

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2020

Всероссийская научная
конференция молодых ученых

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 2

Г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.
в 9-и частях

Часть 2

НОВОСИБИРСК
2020

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных
трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во
НГТУ, 2020.

ISBN 978-5-7782-4288-3

Часть 2: – 309 с.

ISBN 978-5-7782-4290-6

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:
*«Информационные технологии математического моделирования и обработки
данных»*

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Брованов С.В., д.т.н., доцент, проректор по научной работе НГТУ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК

Корель И.И., к.ф-м.н., доцент, декан ФТФ

Осъмук Л.А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е.А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Аманжолова Б.А д.э.н., профессор, декан ФБ

Хрусталев В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ

Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Тюрин А.Г., к.т.н. доцент, декан МТФ

Белоглазов А.В., к.т.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4290-6 (Ч.2)

ISBN 978-5-7782-4288-3

© Коллектив авторов, 2020
© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

**НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

**Секция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ
И ОБРАБОТКА ДАННЫХ**

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕРТОЧНОГО
И БЛОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ В КАНАЛАХ С
ЗАВИСИМЫМИ ОШИБКАМИ**

Р.Р. Ахатов, И.В. Кузнецов

**Уфимский государственный авиационный технический
университет, г. Уфа, ranis.axatov.97@mail.ru**

Разработан и реализован алгоритм работы канала преобразования информации и два алгоритма кодирования информации. Для сравнения работы алгоритмов введен критерий оценки, включающий в себя несколько факторов работы. Получены результаты по эффективности использования определенного алгоритма в определенных условиях канала преобразования информации. По полученным результатам приведены рекомендации по практическому применению алгоритмов кодирования в каналах преобразования на практике.

An algorithm for the information conversion channel and two information encoding algorithms were developed and implemented. To compare the performance of algorithms, an evaluation criterion is introduced that includes several performance factors. Results are obtained on the efficiency of using a certain algorithm in certain conditions of the information conversion channel. Based on the results obtained, recommendations are given for the practical application of encoding algorithms in conversion channels in practice.

В настоящее время кодирование перед передачей информации в канал преобразования используется не только в таких специализированных сферах, как космическая связь, но и в работе мобильной сотовой связи и беспроводных сетях передачи информации, которые очень широко распространены [1]. Проблема заключается в выборе наиболее эффективного алгоритма для кодирования/декодирования информации в каналах преобразования. Некоторые алгоритмы хорошо исправляют единичные ошибки, в отличие от другой группы алгоритмов, хорошо исправляющих пакетные ошибки. Целью работы является введение критерия оценки работы алгоритмов помехоустойчивого кодирования/декодирования и

определение лучшего алгоритма для работы в современных каналах преобразования.

Коды, исправляющие ошибки, используются для надежной передачи цифровых данных по ненадежным каналам преобразования. Выделяют два основных типа таких кодов: сверточные и блочные. Для анализа были выбраны два распространенных алгоритма помехоустойчивого кодирования/декодирования. Это алгоритм сверточного кодирования/декодирования Витерби и алгоритм блочного кодирования/декодирования Хэмминга [2].

Сверточный код по алгоритму Витерби включает в себя вычисления степени сходства (или расстояния) между сигналом, полученным в момент времени t_i , и всеми путями решетки, входящими в каждое состояние в момент времени t_i . В алгоритме Витерби не рассматриваются те пути решетки, которые, согласно принципу максимального правдоподобия, заведомо не могут быть оптимальными. Если в одно и то же состояние входят два пути, выбирается тот, который имеет лучшую метрику. Отбор таких путей выполняется для каждого состояния. Таким образом, декодер углубляется в решетку, принимая решение путем исключения менее вероятных путей [3].

При использовании блочных кодов Хэмминга, когда отправитель, возможно, хочет передать очень длинную информационную последовательность, он разбивает поток на части некоторого фиксированного размера. Каждая такая часть называется сообщением, каждое сообщение кодируется в отдельное кодовое слово. Отправитель передает все блоки к приемнику, который в свою очередь использует механизм декодирования, который с определенной вероятностью восстанавливает исходящие сообщения с искаженных полученных блоков.

В реальных дискретных каналах передачи данных все преобразования имеют коррелированный характер. Существуют статистические данные о вероятностях возникновения ошибок в реальных дискретных каналах передачи. На основе этих данных разработан алгоритм работы канала преобразования, который моделирует дискретный канал преобразования информации [4].

В реальных условиях при преобразовании в дискретных каналах сигналы имеют двоичный вид. Информационная последовательность подается на кодер, работающий по определенному алгоритму, и закодированная информация преобразуется в канале. После преобразования, которое обычно искажает последовательность, информационная последовательность декодируется, и искажения уничтожаются с некоторой вероятностью. В качестве входной

информационной последовательности был выбран набор черно-белых изображений. Изображения представляются в двоичном виде и подаются на вход программы [5].

Для сравнения эффективности работы алгоритмов кодирования/декодирования, в каналах с зависимыми ошибками был введен критерий оценки:

$$K_{res} = ((t_{code} + t_{decode}) \cdot n_{errors})^{-1},$$

где t_{code}/t_{decode} – время работы алгоритма кодирования/декодирования.

Количество ошибок, которые не были исправлены, определяется по формуле:

$$n_{errors} = 1 - (N_{dec}/N_{rec}),$$

где N_{rec}, N_{dec} – количество ошибок при приеме и после декодирования сообщения соответственно.

Для определенного набора данных было проведено исследование с использованием различных алгоритмов кодирования/декодирования в канале с зависимыми ошибками. Модель канала и алгоритмы кодирования/декодирования были реализованы на языке программирования Java. Исследование проводилось на ЭВМ (электронно-вычислительная машина) с процессором AMD Phenom X4 9650, 2.3 Ghz под управлением операционной системы Linux Mint x64. Результаты исследования приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Результаты исследования

Алгоритм кодирования/ декодирования	Входные данные: 25 Кбайт	
	Время ($t_{code} + t_{decode}$), мс	$n_{errors} \cdot 100\%$
Блочный	48	55%
Сверточный (Витерби)	54	40%

Таблица 2 – Результаты исследования

Алгоритм кодирования/ декодирования	Входные данные: 50 Кбайт	
	Время ($t_{code} + t_{decode}$), мс	$n_{errors} \cdot 100\%$
Блочный	90	51%
Сверточный (Витерби)	121	39%

На основе полученных результатов можно утверждать, что алгоритм кодирования/декодирования Витерби работает дольше и хуже, в среднем на 14% исправляет ошибки в каналах с зависимыми ошибками, чем алгоритм кодирования/декодирования Хэмминга. Но известно, что алгоритм дает лучшие результаты при исправлении случайных одиночных ошибок. В свою очередь, использование блочных кодов дает лучшие результаты при коррелированных пакетных ошибках в канале преобразования. Исходя из этого, если вопрос скорости передачи информации является первоочередной, то после анализа ошибок в канале можно выбрать алгоритм, который будет исправлять основную массу ошибок. Если же время передачи данных не является актуальным вопросом, то эти два алгоритма можно комбинировать.

Литература:

1. Белугина С.В. Архитектура компьютерных систем: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 160 с.
2. Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 452 с.
3. Иорданский М.А. Кодирование комбинаторных объектов: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 92 с.
4. Трухин М.П. Моделирование сигналов и систем. Конечномерные системы и дискретные каналы связи: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 284 с.
5. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 440 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

Р.Р. Ахатов, И.В. Кузнецов

**Уфимский государственный авиационный технический
университет, г. Уфа, ranis.axatov.97@mail.ru**

В статье представлены результаты моделирования процессов помехоустойчивого кодирования в цифровых системах связи. В моделях используются различные алгоритмы кодирования с исправлением ошибок: код Рида-Маллера, код Рида-Соломона, сверточный код, турбо-код. Проведен сравнительный анализ этих кодов с точки зрения эффективности работы в канале с аддитивным белым гауссовым шумом. Для оценки эффективности различных кодов была получена зависимость: вероятность битовой ошибки.

The article presents the results of modeling the processes of noise-tolerant coding in digital communication systems. The models use various error-correcting encoding algorithms: reed-Muller code, reed-Solomon code, convolutional code, and turbo code. A comparative analysis of these codes in terms of efficiency in the channel with additive white Gaussian noise is performed. To evaluate the effectiveness of various codes, a dependence was obtained: the probability of a bit error.

Подавляющее большинство радиосистем в настоящее время являются цифровыми. Примерами таких систем цифровой связи могут быть: сотовая связь (GSM, CDMA, системы 3-го поколения), мобильный Интернет (GPRS и другие), беспроводные локальные сети (IEEE 802.11 Wi-Fi), беспроводные сети городского покрытия (IEEE 802.16 WiMax), системы подвижной связи (TETRA). Цифровая радиосвязь используется в навигации, спутниковом радиовещании, телефонии и в специальных задачах [1].

В настоящей работе ставится задача сравнить эффективность современных алгоритмов кодирования с исправлением ошибок, к которым относятся: код Рида-Маллера, код Рида-Соломона, сверточный код и турбо-код с кодовой скоростью 1/2. Задача возникла при выборе наиболее подходящей системы кодирования для разрабатываемой цифровой радиостанции. За точку отсчета была взята система, которая существовала в одном из вооруженных сил, а точнее код Рида-Маллера с длиной блока 8 бит и кодовой скоростью 1/2. На первом этапе анализа было проведено сравнение с более современным кодом Рида-Соломона примерно такой же избыточности и длиной блока 7 бит, в дальнейшем были взяты более поздние коды: сверточные и турбо-коды. Для решения поставленной задачи в среде MATLAB/Simulink создавались модели систем цифровой связи с различными кодировщиками. Оценка эффективности кодов включает получение зависимости, то есть вероятности битовой ошибки BER (Bit Error Rate) от отношения энергии одного бита к спектральной плотности мощности шума:

$$E_b/N_0$$

Коды Рида-Маллера образуют класс двоичных линейных кодов с простым описанием и декодированием. Они существуют в широком диапазоне скоростей передачи и минимальных расстояний. Важным преимуществом кодов Рида-Маллера является то, что они могут быть декодированы с использованием относительно простых методов порогового декодирования [2].

Коды Рида-Соломона – это недвоичные циклические коды, позволяющие исправлять ошибки в блоках данных. Элементами кодового вектора являются не биты, а группы битов. Коды Рида-Соломона, работающие с байтами, очень распространены [3].

Турбо-код представляет собой параллельный каскадный блочный систематический код, способный исправлять ошибки, возникающие при передаче цифровой информации по зашумленному каналу связи. Турбо-код состоит из каскада систематических кодов, соединенных параллельно.

В настоящее время широко используются сверточные коды. Их иногда называют непрерывными кодами, потому что они используют непрерывную обработку символов. Сверточный код создается путем пропускания передаваемой информационной последовательности через линейный сдвиговый регистр с конечным числом состояний [4].

Структурная схема имитационной модели цифровых систем связи представлена на рисунке 1.

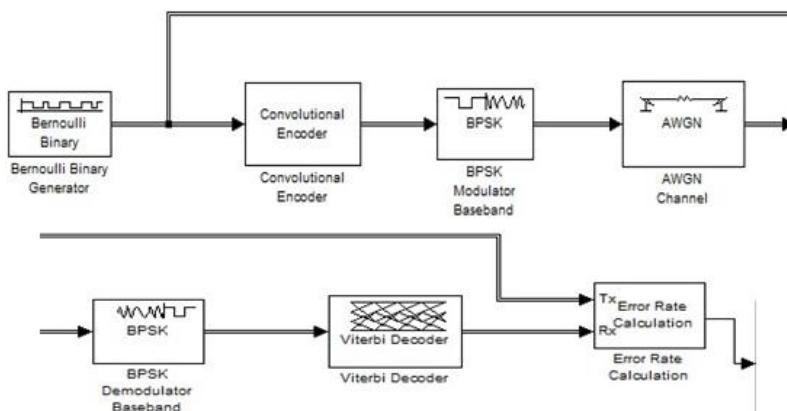


Рис. 1 – Схема имитационной модели

В качестве входного сигнала используется случайная последовательность двоичных чисел Бернулли, которая задается в блоке Bernoulli Binary Generator. Далее сигнал поступает в сверточный кодер Convolutional Encoder, кодирующий последовательность двоичных входных векторов для создания последовательности двоичных выходных векторов. Данный блок может обрабатывать несколько символов одновременно. Затем происходит модуляция сигнала в блоке BPSK Modulator Baseband. Данный блок осуществляет модуляцию с использованием метода двоичной фазовой модуляции. Канал AWGN

(аддитивный белый гауссовский шум) добавляет белый гауссовский шум к проходящему через него сигналу. Следующий блок BPSK Demodulator Baseband моделирует канал связи с помехами, характеризующийся отношением сигнал/помеха в дБ. После чего сигнал поступает в декодер по алгоритму Виттерби, который способен обрабатывать несколько символов одновременно для повышения производительности. Исходный декодированный сигнал поступает в блок вычисления ошибки (Error Rate calculation), где формируется таблица с зависимостью вероятности ошибочного приема от величины отношения сигнал/помеха. Этот блок сравнивает входные данные от передатчика с входными данными от приемника [5].

Основная характеристика, описывающая эффективность кода – BER. На рисунке 2 представлена эта зависимость для различных кодов: 1) турбо-код; 2) сверточный код; 3) код Рида-Соломона; 4) код Рида-Маллера.

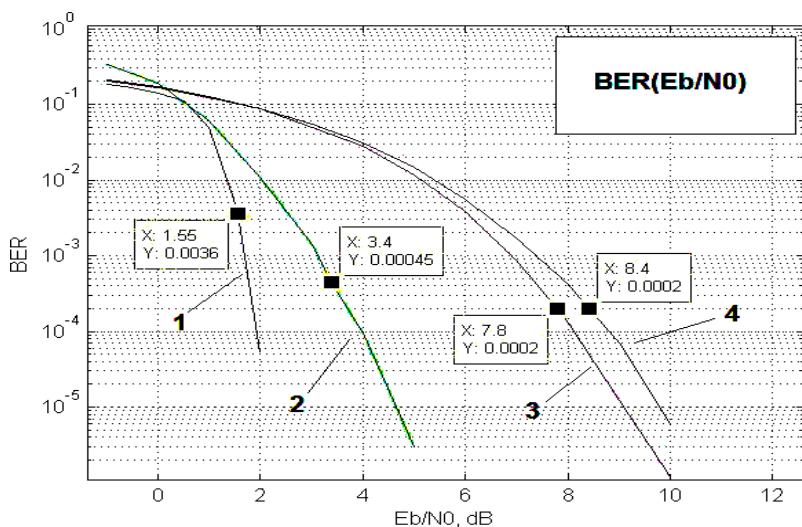


Рис. 2 – Вероятность битовой ошибки BER

Среди рассмотренных методов помехоустойчивого кодирования наименьшую вероятность битовой ошибки имеют турбо-коды, за ним сверточный код, а коды Рида-Соломона и Рида-Маллера работают намного хуже. Сравнивая характеристики исследованных кодов, можно прийти к однозначному преимуществу в помехоустойчивости турбо-кода.

Литература:

1. Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 452 с.
2. Журавлев А.Е., Макшанов А.В., Иванищев А.В. Инфокоммуникационные системы. Аппаратное обеспечение: учебник для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 392 с.
3. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учебное пособие. – 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 596 с.
4. Ревинская О.Г. Символьные вычисления в MatLab: учебное пособие для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 528 с.
5. Трухин М.П. Моделирование сигналов и систем. Конечномерные системы и дискретные каналы связи: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 284 с.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДИАЛОГОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

В.Л. Березуцкий
Новосибирский государственный университет
экономики и управления

В статье рассматриваются многоагентные системы и моделирование диалогового взаимодействия между агентами. Анализируются уже существующие модели и делается вывод о разработки новой модели диалогового взаимодействия между агентами.

The article deals with multi-agent systems and modeling of dialog interaction between agents. The existing models are analyzed and a conclusion is made about the development of a new model of dialog interaction between agents.

В современном бизнесе набирают силу тенденции клиентаориентированности, предполагающие развитие цифровых технологий реализации индивидуального подхода к клиенту.

Соответственно, возникает необходимость разработки новых средств математического и программного обеспечения клиентоориентированных информационных систем различного назначения, работающих в среде интернет.

В рассматриваемом варианте речь идет о задачах управления взаимодействиями предприятий с клиентами (CRM-системы) и поставщиками (SRM-системы). Подобные системы целесообразно строить как многоагентные комплексы [1, 2], которые, реализуя

соответствующий функционал, должны обеспечивать не только выполнение базовых запросов клиентов, но также иметь возможность выполнять функции менеджера по работе с клиентами, в особенности в случаях, когда требования клиентов носят нечеткий характер. В идеальном случае, система должна выполнять любые запросы без вмешательства оператора, за исключением особых случаев.

Центральной проблемой при разработке таких систем является организация диалога между агентами системы. Ввиду особенностей таких систем возможны и такие ситуации, как уклонения от взаимодействия из-за антипатии агентов. В результате качественного анализа таких моделей, как: «формальная модель диалога на основе протокола коммуникации», «формальная автоматная модель диалога» и «теоретико-игровые модели диалога», автор приходит к выводу о необходимости построения новой модели диалогового взаимодействия, основанной на использовании многозначных и многомерных логик диалога, а также, необходимости разработки уникальных диалоговых логик, которые позволяют моделировать диалог между агентами в многоагентных системах.

Литература:

1. Казаков, В. Г. Системы управления знаниями и многоагентные системы / В.Г. Казаков, Г.С. Кощеев, Л.К. Бобров // Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего. - 2017. - № 1. - С. 34-43.
2. Агапов, А.Е. Агентный подход к мониторингу состояния узлов территориально распределенной вычислительной системы / А.Е. Агапов, Л.К. Бобров // Наука. Технологии. Инновации: Сб. научных трудов. В 9-и частях. Под редакцией А.В. Гадюкиной. 2019. С. 86-89.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Боева

**Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, v.boyeva@sibstrin.ru**

В данной работе оценивается точность импульсной переходной функции теплофизической системы «Воздухонагреватель-Вентилятор-Помещение» на

основе разработанного автором алгоритма непараметрической идентификации.

In this paper, the author proposes the non-parametric identification algorithm for the impulse response evaluation in the thermophysical system "Heather-Blower-Room".

При работе с климатическими системами переходные процессы определяют качество параметров микроклимата исследуемой среды и устойчивость системы [1]. В связи с этим возникает необходимость экспериментального изучения переходных характеристик теплообмена климатических систем, наиболее информативной из которых является импульсная переходная функция (ИПФ).

На Рисунке 1 изображена структурная схема теплофизической системы «Воздухонагреватель-Вентилятор-Помещение», в которой $\phi(\tau)$ – входной сигнал системы, представленный в виде единичного скачка; $f(t)$ – выходной сигнал системы, представленный сильно зашумлёнными экспериментальными данными, полученными при работе с лабораторным стендом, который подробно описан в [2].



Рис. 1 – Система «Воздухонагреватель-Вентилятор-Помещение»

Возникающая в системе задача непараметрической идентификации заключается в вычислении оценки для ИПФ $k(t)$ по измеренным значениям входного и выходного сигналов (Рисунок 1). Такая задача относится к классу некорректно поставленных, поскольку нарушается условие устойчивости решения к погрешностям в исходных данных.

Для построения устойчивого решения поставленной задачи предлагается использовать разработанный автором алгоритм непараметрической идентификации технических систем [3,4], на первом шаге которого происходит эффективное удаление шумовых составляющих в исходных данных локально-пространственными фильтрами, а на втором – построение по отфильтрованным значениям сглаживающих кубических сплайнов (СКС), устойчивое вычисление производных и нахождение ИПФ.

Поскольку на вход системы в момент времени $t = 0$ подаётся ступенчатый сигнал, амплитуда которого постоянна и равна 1, то

оценить точность искомой ИПФ $k(t)$ можно, дифференцируя выходной сигнал $f(t)$ при подаче на вход системы функции Хэвисайда:

$$k(t) = \frac{d}{dt} f_H(t), \quad t \in [0, T], \quad (1)$$

где $f_H(t)$ – реакция (выходной сигнал) системы при подаче на вход функции Хэвисайда.

На Рисунке 2 показан выходной сигнал $f_H(t)$ системы, построенный по 500 отсчётом с шагом $\Delta t = 1$ мс. На выходе системы регистрировалась задержка сигнала на 15 мс, которая при моделировании отсекалась для нахождения ИПФ линейной части и компенсировалась введением в систему звена задержки.

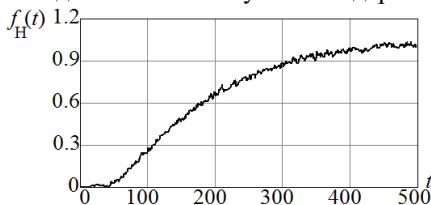


Рис. 2 – Выходной сигнал системы $f_H(t)$

Как было отмечено в работе автора [5], при отсутствии импульсных шумов в исходных данных, которое и наблюдается в данном случае (Рисунок 2), проведение предварительной фильтрации сигналов не представляется целесообразным в силу незначительности наблюдаемого эффекта. При решении данной задачи проведение предварительной фильтрации дало улучшение точности идентификации менее чем на 1%.

Перейдём к следующему шагу алгоритма. Для устойчивого дифференцирования сигналов идентифицируемой системы в работе [3] использовался естественный СКС [6,7]. Выбор параметра сглаживания α проводился на основе критерия оптимальности [6]. Вычисление коэффициентов a_i, b_i, c_i, d_i при заданном параметре α изложено в [6].

В данной задаче для нахождения оценки ИПФ достаточно по значениям выходного сигнала построить СКС и вычислить их первые производные (1). На Рисунке 3 изображены найденные оценки ИПФ, полученные дифференцированием интерполяционного сплайна – $\hat{k}(t)$ (ломаная) и дифференцированием СКС – $\hat{k}_\alpha(t)$ (плавная кривая).

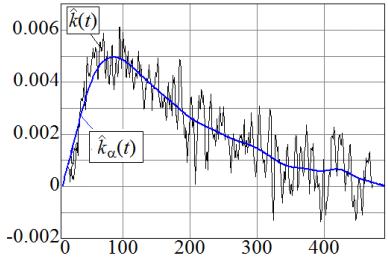


Рис. 3 – Оценки ИПФ системы

Как видно, представленный алгоритм успешно справляется с задачей идентификации ИПФ даже при сильно зашумлённых экспериментальных данных. Благодаря аппарату СКС с подбором оптимального параметра сглаживания минимизируются ошибки дифференцирования и достигается высокая точность по сравнению с известными регуляризирующими алгоритмами (например, на основе дискретного преобразования Фурье).

Устойчивое дифференцирование переходных процессов теплообмена в системе также даёт возможность решить прямую задачу – спрогнозировать реакцию теплового потока $f(t)$ на возмущение $\varphi(t)$ по вычисленной ранее оценке ИПФ $\hat{k}(t)$. Как можно наблюдать на Рисунке 4, выход системы, построенный по экспериментальным данным $f_H(t)$ (ломаная), соответствует вычисленному выходу $\hat{f}(t)$ (плавная кривая). Величина относительной ошибки решения равна 2.5%.

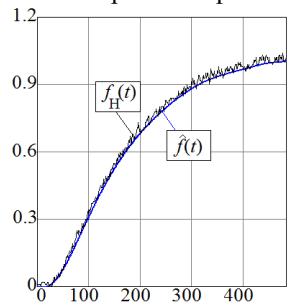


Рис. 4 – Решение прямой задачи

Таким образом, успешное решение инженерной задачи, с использованием реальных экспериментальных данных, доказало эффективность применения предлагаемого алгоритма

непараметрической идентификации для решения практических прикладных задач.

Автор благодарит кандидата технических наук, доцента, Мансурова Рустама Шамильевича за предоставленные экспериментальные данные.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90041. Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90041.

Литература:

1. *Мансуров Р.Ш., Рудяк В.Я.* Переходные процессы в системе нагреватель-вентилятор при изменении режима работы вентилятора // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 3. – С. 50–63.
2. *Мансуров Р.Ш., Рудяк В.Я.* Экспериментальное изучение переходных процессов в системе нагреватель-вентилятор-помещение // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 10. – С. 37–50.
3. *Воскобойников Ю.Е., Боева В.А.* Новый устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем // Современные научноёмкие технологии. – 2019. – № 5. – С. 25–29.
4. *Воскобойников Ю.Е., Боева В.А.* Исследования эффективности использования сглаживающих кубических сплайнов в задачах непараметрической идентификации // Автоматика и программная инженерия. – 2019. – № 4(30). – С. 58–64.
5. *Боева В.А.* Эффективность локально-пространственной фильтрации зашумлённых сигналов в задачах идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2019. – №3-4 (96). – С. 7-16.
6. *Воскобойников Ю.Е.* Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. – Новосибирск: Наука, 1984. – 238 с.
7. *Wang Y.* Smoothing Spline Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121. – A Chapman & Hall book, 2011. – 247 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕРСИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

В.В. Быкова, Н.С. Белинская
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, vvg29@tpu.ru

В данной статье освещается потенциал преобразования попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды с целью рационализации использования природных ресурсов. Составлена формализованная схема превращений попутного нефтяного газа.

This article shows the potential for converting of associated petroleum gas into liquid hydrocarbons for the rational use of natural resources. A formalized scheme of associated petroleum gas conversions on a zeolite catalyst has been drawn up.

Процессы нефтедобычи и нефтепереработки оказывают сильное воздействие на окружающую среду из-за значительного количества попутного нефтяного газа (ПНГ), сжигаемого на факелах [1].

Объектом исследования является процесс конверсии ПНГ в жидкие углеводороды.

На сегодняшний день актуальными являются исследования с применением математических моделей, разработанных на основе термодинамических и кинетических закономерностях процесса.

Целью данной работы является освещение потенциала преобразования ПНГ в жидкие углеводороды, которые могут стать альтернативным источником для производства ценного нефтехимического сырья, при одновременном снижении выбросов CO₂, а также математическое моделирование конверсии ПНГ в жидкие углеводороды на основании термодинамических расчетов и физико-химических закономерностях процесса.

На первом этапе создания математической модели был проведен термодинамический анализ реакций, протекающих в данном процессе (Таблица 1). Расчет термодинамических характеристик был проведен с использованием квантово-химических методов расчёта (теории функционала плотности).

Таблица 1 – Термодинамические параметры реакций (520 °C, 1,2 МПа)

№	Реакции	ΔH, кДж/моль	ΔG, кДж/моль
1	2C ₁₋₂ → C ₃₋₅ + 2H ₂	184,45	-28,0
2	C ₃₋₅ → олефин + C ₁₋₂	69,52	-27,0
3	C ₃₋₅ → АрУВ + 4H ₂ + C ₁₋₂	274,15	-65,0
4	6 олефин → АрУВ + 3H ₂	-248,0	-101,0

№	Реакции	ΔH , кДж/моль	ΔG , кДж/моль
5	АрУВ → ПАУ	-94,84	-291,6
6	ПАУ → коронен + H_2	-87,3	-97,5

Далее на основании литературных источников и термодинамических параметров реакций была составлена формализованная схема превращений ПНГ на цеолитном катализаторе (Рисунок 1).

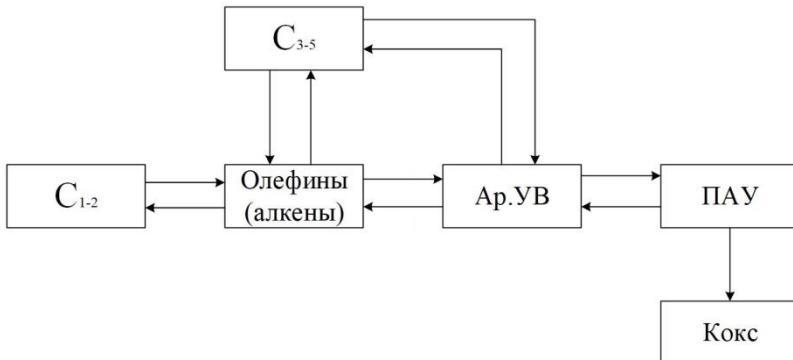


Рис. 1 – Формализованная схема превращений ПНГ на цеолитном катализаторе

Разработанная схема превращений станет основой для кинетической модели исследуемого процесса.

Литература:

1. Акрамов Т.Ф., Яркеева Н.Р. Рациональное использование попутного нефтяного газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2019. – №.1. – С. 68-77.

РАЗРАБОТКА ИМИТАТОРА СИГНАЛА ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СТЕНДА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

З.Р. Гилязова, С.А. Кобелева

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, 1997zarina@gmail.com

В работе рассмотрен принцип работы оптического пирометрического преобразователя и особенности функционирования стенда полунатурного

моделирования. Приведена методика обработки сигнала оптического пирометра. Разработано программное обеспечение для обработки сигнала пирометрического преобразователя. В результате работы программного обеспечения сформирована обучающая выборка. Проведено обучение нейронной сети многослойный персепtron. Рассмотрены перспективы внедрения разработанного имитатора оптического пирометрического преобразователя.

The paper considers the principle of operation of an optical pyrometric converter and the features of the functioning of the semi-full-scale simulation stand. A technique for processing the signal of an optical pyrometer is presented. The software for processing the signal of the pyrometric converter has been developed. As a result of software operation, a training sample was formed. The multilayer perceptron neural network was trained. Prospects for the implementation of the developed simulator of an optical pyrometric converter are considered.

Сегодня одной из важных задач, которую необходимо решить для повышения эффективности и безопасности эксплуатирования газотурбинного двигателя, является измерение и контроль температурного состояния рабочих лопаток газотурбинного двигателя. Эта задача решается с помощью бесконтактных измерителей – оптических пирометрических преобразователей (ОПП). Рабочие лопатки газотурбинных двигателей являются дорогими и определяющими ресурс двигателя. В связи с этим требуется в режиме реального времени оценивать температурное состояние лопаток и его влияние на параметры газотурбинного двигателя в целом [1].

Стенд полнатурного моделирования работы двигателя предназначен для автономной отработки и проверки выполнения всех режимов системы автоматического управления двигателем.

Стенд полнатурного моделирования состоит из:

- комплекса имитаторов сигналов, куда и предполагается внедрить имитатор;
- системы регистрации и отображения параметров;
- программной реализации комплекса математических моделей.

Принцип действия ООП основан на сравнении яркости излучения накаленного тела с яркостью излучения нити пирометрической лампы накаливания [2]. Для измерения температуры рабочих лопаток пирометр крепится на внутреннюю стенку турбины двигателя, так чтобы в область визирования прибора попадала одна рабочая лопатка. При вращении турбины сигнал о температуре лопаток преобразовывается в цифровой сигнал и записывается в файл на жестком диске в виде последовательности отсчетов, которые соответствуют отдельным оборотам турбины.

В процессе измерения температуры лопаток возникают инструментальные погрешности, зависящие от ОПП, и методические, определяемые условиями измерения температуры лопаток.

Для того чтобы избавиться от шумов и помех в сигнале на выходе пиromетра необходимо его отфильтровать, преобразовать в частоту, то есть обработать. Обработка сигнала производится в несколько этапов.

На первом этапе происходит считывание сигнала из файла в виде массива отсчетов. На рисунке 1 представлен фрагмент временной реализации выходного сигнала ОПП на интервале времени, равном одному обороту турбины. В реальном сигнале ОПП присутствуют помехи, частотный спектр которых близок или совпадает со спектром частот полезного сигнала, они могут иметь различную амплитуду и длительность.

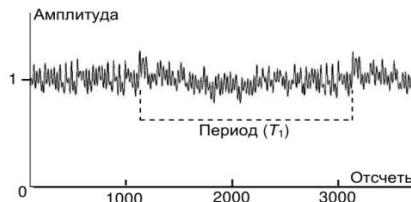


Рис. 1 – Первоначальный вид сигнала на выходе ОПП

Затем применяется высокочастотный цифровой фильтр Баттервортса. На графике сигнала видно, как сглаживается исходный сигнал (рисунок 2a) после обработки фильтром Баттервортса (рисунок 2б).

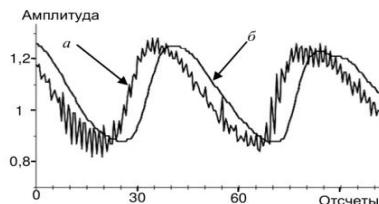


Рис. 2 – Вид сигнала после фильтрации высокочастотных помех

Затем выполняется быстрое преобразование Фурье, результат которого представлен на рисунке 3. Спектр отфильтрованного сигнала во временной области преобразуется в сигнал в частотной области. Это необходимо для того чтобы определить несущую частоту сигнала [3].

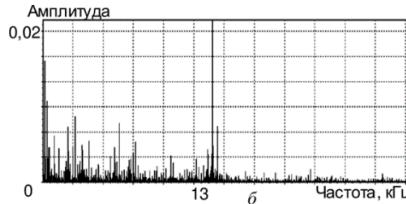


Рис. 3 – Вид сигнала после быстрого преобразования Фурье

Следующий этап включает в себя непосредственно поиск максимальной амплитуды сигнала и вычисление несущей частоты. Несущей частотой называется та частота сигнала, при которой амплитуда максимальна. На рисунке 3 значение несущей частоты сигнала равно около 13 кГц.

Заключительным этапом является построение графика зависимости частоты вращения лопаток турбины от времени для каждого оборота турбины (рисунок 4).

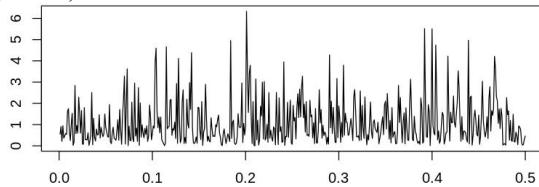


Рис. 4 – Окончательный вид сигнала пирометра

Для программной реализации обработки сигнала пирометрического преобразователя была выбрана среда *LabView* так как эта система наглядней при программировании. В разработанной программе реализовано чтение данных из бинарного файла, так как файл, содержащий запись сигнала, является достаточно большим. Также была реализована фильтрация исходного сигнала с помощью высокочастотного Фильтра Баттервортса. Затем применено быстрое преобразование Фурье, которое позволяет проанализировать спектр частот и выделить несущую частоту сигнала. Зная максимальную амплитуду сигнала, можно найти соответствующую ей гармонику, которая указывает значение несущей частоты сигнала. Далее вычисляется частота вращения лопатки, значение за каждый отрезок равный одному обороту турбины. Результатом выполнения разработанного алгоритма является массив, который содержит зависимость частоты вращения лопаток от времени. Данные на выходе могут быть экспортированы в виде таблицы и будут использованы в качестве обучающей выборки для нейронной сети.

Входными параметрами для обучающей выборки являются частота вращения лопатки и несущая частота сигнала, а выходным параметром является номер лопатки.

Для обучения использована нейронная сеть многослойный персептрон, так как такая сеть содержит один или несколько слоев скрытых нейронов, не являющихся частью входа или выхода сети. Эти нейроны позволяют сети обучаться решению сложных задач, последовательно извлекая наиболее важные признаки из входной выборки [4].

Для обучения нейронной сети был применен метод обратного распространения ошибки – алгоритм, который используется с целью минимизации отклонения фактического от желаемого выхода многослойных нейронных сетей.

Граф обучаемой нейронной сети включает входной слой из 18 нейронов, два скрытых слоя по 2 и 4 нейрона и выходной слой из 6 нейронов. Данная структура обеспечивает высокое качество обучения нейронной сети, при используемых входных данных. Результаты опроса нейронной сети показали, что полученные значения во всех случаях удовлетворяют требованиям точности распознавания.

Обученная нейронная сеть может быть внедрена в виде математической модели в стенд полунатурного моделирования, тем самым выполнять функцию имитатора сигнала оптического пиromетрического преобразователя в режиме реального времени.

При интеграции разработанного имитатора со стендом полунатурного моделирования появляется возможность проведения автономных полунатурных испытаний двигательной установки с учетом влияния температурного состояния лопаток газотурбинного двигателя.

Литература:

1. Чепайкин А.С., Чернышев В. Ю. Создание аппаратно-программного комплекса для измерения температуры лопаток ротора ГТД // Актуальные проблемы науки и техники: сб. тр. 4-ой всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. Уфа, 2009. – С. 554–558.
2. Токарев В. П. Оптический пиrometer в системе термометрирования ГТД // Вестник УГАТУ. – 2009. – № 1 (26). – С. 191–196.
3. Ураксеев М. А., Чернышев В. Ю., Чепайкин А. С., Жернаков С. В., Мунасыпов Р. А., Губайдуллин И. Т., Андреева Т. П. Методика обработки цифрового периодического сигнала произвольной формы с широкополосными помехами // Вестник УГАТУ. – 2011. – № 41. – С. 171–175.

4. Рутковская Д.А. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: РиС, 2013. – 384 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ТКАНЕЙ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРОЧНОЙ

В.В. Довыденко, Н.Д. Ганелина

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, slavadovydenko@gmail.com

Работа посвящена исследованию методов моделирования поведения тканей, а также выбору наиболее подходящего метода для моделирования поведения одежды на теле человека. Описывается один, наиболее подходящий метод моделирования поведения ткани, для моделирования одежды на фигуре человека.

The work is devoted to the study of methods for modeling the behavior of tissues, as well as the choice of the most suitable method for modeling the behavior of clothing on the human body. One, the most suitable method for modeling the behavior of fabric, for modeling clothes on a human figure, is described.

В настоящее время активно используется интернет торговля, одной из лидирующих сфер является рынок одежды. Интернет-магазин одежды предоставляет удобный способ приобретения товаров, человек может найти то, что его интересует, сидя за своим домашним компьютером или телефоном, оплатить товар, доставку, и просто дождаться, пока это привезут ему домой. Но интернет-магазины сталкиваются с проблемой – в интернете нельзя примерить одежду. Она не является критичной для интернет-магазинов, но в то же время создает значительные неудобства, связанные с большой долей возвратов. Это создает необходимость создания виртуальных примерочных, в основу которых ложится моделирование поведение тканей. Ткань не похожа на большинство материалов. Она не имеет простой статической формы, которую можно смоделировать просто с помощью геометрических фигур. Форма ткани меняется в зависимости от ситуации, в которой она находится. Из-за сложности формы для моделирования ткани используются уникальные методы. Еще одну сложность создает индивидуальность фигуры каждого человека, её невозможно описать общим манекеном для всех, поэтому нужно моделировать ткань для каждого человека в отдельности, чтобы оценить как будет сидеть та или иная вещь именно на его фигуре.

Существует три различных типа моделирования ткани: геометрические, физические и гибридные методы.

Геометрические методы фокусируется на создании реалистичных образований, таких как сгибы и складки. Эти методы обычно требуют значительного вмешательства пользователя. Физический метод обычно представляет модели ткани в виде треугольных или прямоугольных сеток с точками конечной массы на пересечениях. Различные силы и энергии вычисляются по отношению к другим точкам. Этот метод включает в себя как энергетические, так и силовые методы. Метод, основанный на энергии, вычисляет энергию всей ткани из набора уравнений и определяет форму ткани, перемещая точки для достижения минимального энергетического состояния. Метод принудительного базирования представляет силы между точками в виде дифференциальных уравнений и выполняет численное интегрирование для получения положений ткани на каждом временном шаге [2].

Физическое моделирование ткани основывается на минимизации ее энергии в каждой точке. Реальная физическая ткань неподвижна, когда ее энергия минимизирована. Это можно проанализировать, рассмотрев функцию отображения конфигураций ткани на энергии. Локальный минимум этой функции представляет собой стационарное состояние ткани. Это происходит, потому что при локальном минимуме любое малое движение ткани приводит к увеличению энергии. Таким образом, с математической точки зрения задача получения реалистичных форм ткани может быть описана, как нахождение отображений отрезка из двумерного пространства (полотна) в трехмерное пространство (предметное пространство), точки которого являются локальными минимумами [1].

Ткань аппроксимируется сеткой точек, разбросанных по ее поверхности, пример такой сетки показан на рисунке 1. В плоском, не растянутом куске ткани эти точки расположены в квадратной сетке с равномерным расстоянием. Конфигурация ткани описывается положением этих точек [4]. Чем чаще сетка, тем точнее можно описать форму ткани. Выпуклости в ткани размером примерно вдвое меньше расстояния между точками сетки не могут быть адекватно описаны, потому что они будут слишком легко "падать между" точками выборки. Таким образом, для повышения точности моделирования ткани, необходимо чтобы расстояние между сетками было очень малым. Но по мере добавления точек сложность вычислений возрастает [1].

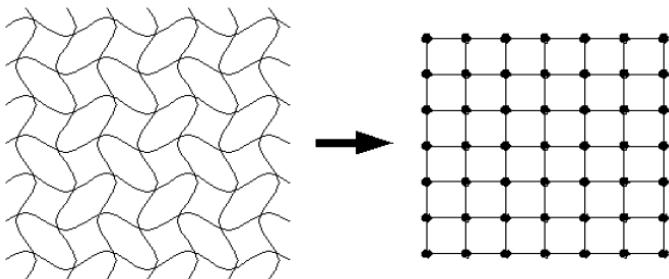


Рисунок 1 - Сетка точек для аппроксимации ткани

Нужно найти локальный минимум энергии относительно небольших изменений положения. Чтобы достичь этого, можно изменить форму ткани в сторону уменьшения энергии. По мере уменьшения энергии идет приближение к локальному минимуму настолько, насколько требуется. Мы можем уменьшить энергию ткани, деформируя небольшой кусок в положение, которое уменьшает энергию всей ткани. Поскольку ткань аппроксимируется в виде сетки точек, способ перемещения небольшого куска заключается в перемещении одной из точек сетки. Перемещая каждый из них, сетка, в свою очередь, указывает на положение, которое уменьшает энергию всей ткани. Конечной будет конфигурация с минимальной энергии. В реальной ткани крошечный кусочек вносит свой собственный вклад в общую энергию. Широко разделенные части ткани не оказывают никакого влияния друг на друга. Мы можем воспользоваться этим свойством, чтобы упростить вычисление приближенного выражения энергии. Если реальная ткань аппроксимируется в виде сетки точек, то энергия всей ткани зависит только от расстояний и углов между соседними точками в сетке. Следовательно, оценка изменения энергии всего полотна, произведенного перемещением одной точки, требует рассмотрения только точки и нескольких ее ближайших соседей, так как энергия более удаленных частей полотна не будет затронута изменением положения точки [1].

Опираясь на эти условия, получается следующее уравнение, на основе минимизации которого в каждой точки сетки получаем необходимую модель поведения ткани. Модель учитывает три основных силы присутствующих в ткани. Эти параметры влияют на то, как ткань будет ложиться на предмет: более плотные ткани не так точно сидят на форме, в то время как менее плотные и более эластичные способны лучше соответствовать и повторять форму предмета. Также

более плотные ткани подвержены заломам, в то время как менее плотные и более эластичные имеют мягкие плавные изгибы [1].

$$E(P_{i,j}) = k_s * E_{elst\ i,j} + k_b * E_{bend\ i,j} + k_g * E_{grav\ i,j}$$

k_s – эластичность, k_b – изгибаемость, k_g – плотность

Использование такого подхода к моделированию поведения ткани позволит создать её более реалистичную модель как в визуализации, так и в реальных физических характеристиках ткани. Этот метод учитывает определенные аспекты ткани, что позволяет учитывать различные структуры, в отличие от геометрических методов. Это полезно для моделирования того, как наряды из различных тканей будут выглядеть на человеческой фигуре. Такое преимущество является необходимым для метода, выбранного для виртуальной примерочной в связи с тем, что каждый человек является уникальным, и невозможно подобрать универсальный манекен для каждой человеческой фигуры, а покупателю важно знать, как данное изделие будет сидеть именно на нём.

Литература:

1. Feynman R.C. Modeling the Appearance of Cloth. – Massachusetts Institute of Technology, 1986. – 114c.
2. Mechanics-Aware Modeling of Cloth Appearance / Z. Montazeri, C. Xiao, Y. Fei, C. Zheng, S. Zhao // IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS. – 2019. – C. 1-14
3. Learning-Based Animation of Clothing for Virtual Try-On / I. Santesteban, M. A. Otabuy, D. Casas // EUROGRAPHICS 2019. – 2019. - № 2. – C. 26-38.
4. Ландовский В.В. Моделирование взаимодействий ткани с твердыми многогранными объектами // Сборник научных трудов НГТУ, - 2006. - № 2(44). – с. 53-58.
5. Baraff D., Witkin A. Large steps in cloth animation // In SIGGRAPH 98 Conference Proceedings, Annual Conference Series. – 1998. – C.43-54.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА АВТОУВЯЗКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

К.Е. Дунаева, Е.В. Чимитова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dunaeva-1998@inbox.ru

В данной работе рассматривается проблема увязки временных рядов на основе различных коэффициентов корреляции. Разработан алгоритм для решения задачи увязки временных рядов, позволяющий наиболее точно находить смещение одного временного ряда относительно другого с меньшими вычислительными затратами. Для исследования эффективности разработанного алгоритма разработан программный модуль на языке Python, проведены экспериментальные исследования работы алгоритма с использованием модельных и реальных данных.

In this paper, the problem of alignment of time series has been considered on the basis of various correlation coefficients. The algorithm for solving the task of time series alignment, that allows to find accurately an offset of one time series from another with the lowest cost, was developed. To explore the efficiency of the developed algorithm a software module was developed in Python, experimental studies of the algorithm were held using simulated and real data.

Существует ряд подходов к решению задачи увязки временных рядов. Методика увязки данных реализована во многих отечественных и зарубежных программных комплексах. Но на практике некоторые объективные факторы, такие как нелинейность процессов, внешние условия, погрешности наблюдений, не позволяют получить высокий коэффициент корреляции и высокую точность конечных результатов. В связи с отмеченным возникает задача поиска новых алгоритмов.

Во многих работах (см., например, [1, 2]) для решения данной задачи использован подход, основанный на динамическом программировании. Данный подход берет начало из систем распознавания речи, где решается аналогичная задача. В таких системах, распознавание требует сравнения между входным словом и словами из словаря. Эффективное решение проблемы лежит в динамических алгоритмах сравнения. Алгоритмы такого типа являются динамическими алгоритмами трансформации временной шкалы. Наибольшее распространение из алгоритмов данного класса получил алгоритм Dynamic Time Warping, основанный на нелинейном выравнивании сопоставляемых кривых с поиском наилучшего соответствия. К недостаткам этого алгоритма можно отнести необходимость наличия большого объема данных для увязки. Кроме того, ввиду сравнительно недавнего начала применения

алгоритма к задачам увязки данных, в литературе скучно изложены практические результаты использования данного метода.

Таким образом, можно утверждать, что задача автоматизации увязки данных, на сегодняшний день все еще остается открытой для новых исследований, повышающих эффективность и доступность данной процедуры.

Пусть x – первый временной ряд, $\{y_1, \dots, y_n\}$ – блоки второго временного ряда y , где n – количество блоков. Необходимо найти смещения $\{s_1, \dots, s_n\}$, где s_1 – смещение блока y_1 относительно начала ряда x , s_2 – смещение блока y_2 относительно начала ряда x и т. д.

Для каждого блока второго временного ряда $y_i, i = \overline{1, n}$:

Находим множество возможного смещения D_i :

$$D_1 = \left[0; \text{len}(x) - \sum_{k=2}^n \text{len}(x_k) \right],$$

$$D_i = \left[s_{i-1} + \text{len}(y_{i-1}); \text{len}(x) - \sum_{k=i+1}^n \text{len}(x_k) \right], i = \overline{2, n-1},$$

$$D_n = \left[s_{n-1} + \text{len}(y_{n-1}); \text{len}(x) \right],$$

где $\text{len}(\square)$ – количество элементов временного ряда.

Вычисляем множество значений коэффициентов корреляции $R_i = \{r_{i1}, \dots, r_{ij}\}$ на всем множестве возможного смещения $D_i = \{d_{i1}, \dots, d_{ij}\}$;

Среди множества вычисленных коэффициентов корреляции R_i выбираем наибольшее по модулю значение. Результат определяется как индекс смещения с данным коэффициентом корреляции. То есть искомое положение блока – это его положение, в котором коэффициент корреляции был наибольшим по модулю:

$$s_i = \{d_{ij} \mid r_{ij} = \max R_i\}.$$

Последовательно выполнив эти действия для всех блоков второго ряда мы получим искомые смещения.

На рисунке 1 представлен укрупненный алгоритм автоуязки временного ряда x и блоков временного ряда y .

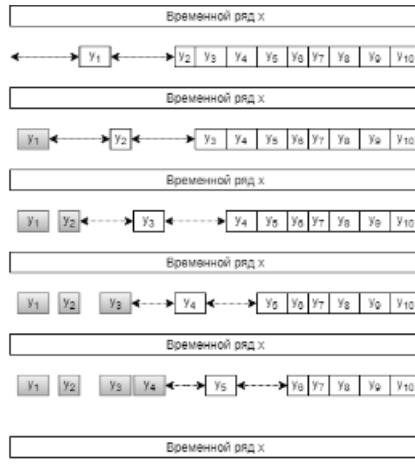


Рис. 1 – Укрупненный алгоритм автоувязки временных рядов

Коэффициенты корреляции является общепринятой в математической статистике характеристикой связи между двумя случайными величинами. Коэффициент корреляции - показатель степени взаимозависимости, статистической связи двух переменных; изменяется в пределах от -1 до +1.

В разработанном нами алгоритме необходимо использовать коэффициент корреляции как меру связи между временными рядами. Резонно протестировать алгоритм, применяя несколько различных по своим свойствам коэффициентов. Для сравнительного анализа нами были выбраны 4 коэффициента: Пирсона, Спирмена, Distance correlation (Корреляция расстояния), Maximal information coefficient (Коэффициент максимальной информации).

В качестве меры погрешности разработанного алгоритма мы вычислили ошибку для полученных результатов.

Пусть $a^n = (a_1, \dots, a_n)$ – вектор истинных смещений, $b^n = (b_1, \dots, b_n)$ – результат, полученный на выходе алгоритма. Ошибка рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - b_i|}{\max * n} ,$$

где \max – максимальное смещение, n – количество блоков.

В результате исследования разработанного алгоритма показано, что:

- при монотонных функциональных зависимостях между значениями временных рядов наилучший результат был получен при использовании коэффициента корреляции Пирсона и Distance correlation (Корреляция расстояния);
- при немонотонных функциональных зависимостях между значениями временных рядов наилучший результат был получен при использовании коэффициента корреляции Maximal information coefficient (Коэффициент максимальной информации);
- в условии отсутствия априорной информации о виде функциональной зависимости между значениями временных рядов лучше использовать коэффициента корреляции Maximal information coefficient (Коэффициент максимальной информации).

Литература:

1. Буторин А.В., Севостьянов А.И., Стуликов С.К., Тимиргалин А.А. Автоматизированная увязка сейсмических и скважинных данных с использованием алгоритма dynamic time warping. — Территория нефтегаз, 2019. №12, с. 30-32.
2. Романенко А.А. Выравнивание временных рядов: прогнозирование с использованием DTW. - Машинное обучение и анализ данных, 2011. Том 1, №1, с. 73-84.

ВЛИЯНИЕ НЕТРАНЗИТИВНОСТИ НА МНОЖЕСТВЕННОСТЬ РЕШЕНИЙ ПРИ АГРЕГИРОВАНИИ ПРЕДПОЧТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРАВИЛА КЕМЕНИ

Е.Ю. Емельянова
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет,
г. Томск, zeta@tpu.ru

В статье представлены результаты исследований нетранзитивности, природы и влияния нетранзитивности на множественность оптимальных решений задачи о медиане Кемени.

This article presents the results of a study of nontransitivity, its nature and influence on the multiplicity of all optimal solutions to the Kemeny ranking problem.

Целью агрегирования предпочтений является определение единственного оптимального ранжирования консенсуса β_{fin} , дающего интегральную характеристику входного профиля предпочтений $\Lambda(m, n) = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$. Ранжирование $\lambda_k \in \Lambda$ может быть задано указанием некоторого признака k из списка $K = \{1, 2, \dots, m\}$, каждое λ_k формируется бинарным отношением слабого порядка на множестве $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Любая из пар элементов $(a_i, a_j)_k$ из A находится друг с другом в отношении строгого предпочтения ρ , т.е. $a_i \succ_k a_j$, или в отношении толерантности τ , т.е. $a_i \sim_k a_j$.

Выходной профиль состоит из ранжирований консенсуса $B(N, n)$, определяя собой все возможные N решения задачи о нахождении ранжирования Кемени (ЗРК), $B(N, n) = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\} \in \Psi_k$. Ранжирование консенсуса β определяется в терминах числа попарных несоответствий между ранжированиями и рассчитывается по правилу Кемени. Пусть Ψ_k является порождающим множеством для любого λ_k , $\Psi_k = \{\rho_g^k\}$ содержит все перестановки первых n натуральных чисел $\infty_n = \{1, 2, \dots, n\}$, которые являются взаимно однозначным соответствием строгим порядкам $\rho \in \Pi_n$, где Π_n является набором всех $n!$ отношений строгого порядка \succ на множестве A .

Задача нахождения ранжирования Кемени (ЗРК) представляет собой оптимизационную задачу и предполагает определение такого линейного порядка β , $\beta \in \Pi_n$, характеризующую такую перестановку ρ_g , $\Psi_k = \{\rho_g^k\}$, строк и столбцов $(n \times n)$ -матрицы профиля предпочтения $P = [p_{ij}]$, что сумма элементов ее верхнетреугольной подматрицы будет минимальна, т.е. $D(\rho, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij} \rightarrow \min$. Расстояние Кемени $D(\beta, \Lambda)$

между всеми β и ранжированием исходного профиля $\Lambda(m, n)$ минимально для всех возможных перестановок $\Psi_k = \{\rho_g^k\}$, т.е.

$$\beta = \arg \min \sum_{i < j} p_{ij}. \text{ Учитывая тот факт, что ранжирование Кемени } \beta$$

всегда существует, сложность заключается в множественности оптимальных решений, которая проявляется хаотичным образом, если не учитывать ряд особенностей, проявленных в результате наших экспериментальных исследований. Ранжирование Кемени β не всегда является единственным, т.к. возможна ситуация, когда

$$D(\beta_1, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}^1 = D(\beta_2, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}^2 = \dots = D(\beta_N, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}^N, \text{ где } N$$

– количество оптимальных перестановок P (ранжирований Кемени), которые хоть и находятся на минимальном расстоянии от m исходных ранжирований, в подпространстве строгих порядков могут быть довольно далеко друг от друга, формируя совершенно различный порядок $\Psi_k = \{\rho_g^k\}$ альтернатив множества A . В определенных случаях значение N может быть огромным (Таблица 2), не только при больших значениях m и n , но даже при малых значениях m и n N превышает 10^6 (при $m = 4$ и $n = 15$).

Следовательно, актуальной становится проблема приведения к единому решению всех отношений консенсуса, определяемых правилом Кемени и исследование причин множественности. *Правило свёртки* [1] даёт β_{fin} единственное возможное правильное итоговое ранжирование для $\Lambda(m, n)$. Это объясняется тем, что β_{fin} лежит *равноудалено* между итоговыми оптимальными решениями, т.е. от всех β_k , $D(\beta_1, \Lambda) = \dots = D(\beta_k, \Lambda) = D(\beta_N, \Lambda)$, $k = 1, \dots, N$.

Проведенный анализ возможных причин множественности показал, что наиболее влияющим фактором является *нетранзитивность* входного $\Lambda(m, n)$ и выходного $B(N, n)$ профилей, а также изменение их характеристик (n, m и t) при определенных комбинациях этих сочетаний.

Транзитивность определяется как свойство отношений, при котором из того, что первый элемент a_i находится в определенном отношении λ ко второму a_j , а второй a_j к третьему a_k , следует, что первый элемент находится в этом же отношении к третьему для всех i, j, k (из $a_i \lambda a_j$ и $a_j \lambda a_k$ следует $a_i \lambda a_k$). Степень нетранзитивности $\Lambda(m, n)$ тем выше, чем больше разность расстояний ($D_u - D_{least}$), где D_u – расстояние от профиля предпочтения $\Lambda(m, n)$ до текущей конкретной ρ_i перестановки; D_{least} – наименьшее возможное расстояние от профиля предпочтения $\Lambda(m, n)$ до некоторого строгого порядка [2]. При вычислении D_{least} в него включаются меньшие значения из каждой пары (p_{ij}, p_{ji}) , то есть $D_{least} =$

$\Sigma_{i < j} \min(p_{ij}, p_{ji})$ для $i, j = 1, \dots, n$. Если все λ_k согласованы и матрица профиля предпочтений P транзитивна, то D_{least} является достижимой нижней границей ($D_u = D_{least}$), однако, как показали экспериментальные исследования это не всегда возможно. В рамках исследований был реализован план эксперимента, представленный в таблице 1, состоящий из 10800 опытов при различных значениях числа альтернатив n и ранжирований m .

Таблица 1 – План экспериментов для равномерного закона распределения

m	$t = 0$	$t = 1$	$t = 2$
3	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
4	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
5	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
6	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
7	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
10	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
15	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
49	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$
50	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$	$n = 10, 15, 18, 20$

Эксперименты проводились для равномерного закона распределения с разным значением толерантности t : t_0, t_1, t_2 . Величина t определяется как отношение количества толерантностей τ к произведению $m \cdot n$ и проявляется во входном профиле Λ случайным образом.

$t_0, t = 0$ (no ties)	$t_1, t = 1$ (small density of ties)	$t_2, t = 2$ (increased density of ties)
нет толерантностей	количество толерантностей от 0,02 до 0,10	количество толерантностей от 0,20 до 0,50

При помощи рекурсивного алгоритма RECURSALL, разработанного на основе метода ветвей и границ, для каждой комбинации (n, m, t) был сгенерирован пакет из 100 входных профилей. Найдены все возможные решения ЗРК $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N$. На рисунках 1 и 2 представлены кривые, показывающие изменения множественности оптимальных решений и D_n , характеризующее нормированное значение изменения расстояния между D_u . $D_n = D_u / (m \cdot n) \cdot (n - 1)$. Из проведенных экспериментов видно, что значения D_u, D_{least} увеличиваются при увеличении m и n , при этом изменение значений $(D_u - D_{least})$ в большей степени проявляется при малых нечетных значениях m .

Результаты исследования множественности в соответствии с планом экспериментов для равномерного закона распределения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментального исследования множественности

m	t = 0				t = 1				t = 2			
	n = 10	n = 15	n = 18	n = 20	n = 10	n = 15	n = 18	n = 20	n = 10	n = 15	n = 18	n = 20
3	2,6	4,8	11,6	9,4	4	6,9	17,2	20,2	4,8	10	24,2	27,7
4	349,2	13042,9	194119	468646,2	193,2	4987	42408	337186,6	177,2	4334	31916	81827,6
5	2,5	5,02	12,7	13,5	3,6	8,31	20,2	17,07	4,14	12,3	26,1	18,3
6	79,8	1964	33077	34467,3	36,4	775,6	2504	12604,5	27,8	540	2001	11450
7	2,7	4,5	8,3	10,2	4,0	7,58	10,7	18,6	5	7,9	12,4	19,6
10	29,8	476,7	1314,1	1707,8	13,2	142,9	573,9	277,6	12,4	159,3	576,4	249,5
15	2,1	4,2	5,9	7,2	2,4	5,1	8,5	12	2,4	4,8	8,8	11,6
49	1,6	2,1	2,8	3,2	1,9	3,4	4,3	4,1	1,9	3,7	4,48	3,7
50	4,4	12,8	33,5	27,7	2,9	4,0	8,8	6,3	3,0	4,0	8,8	6,9

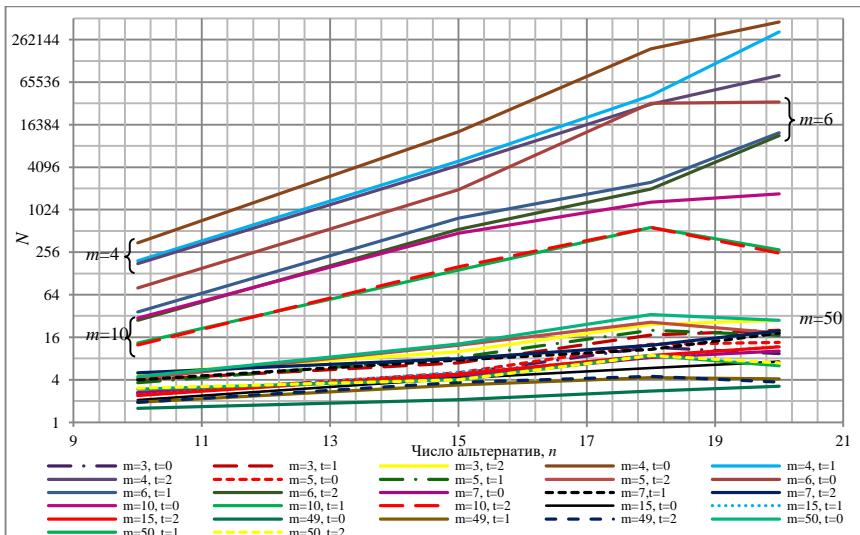


Рис. 1 – Множественность оптимальных решений N

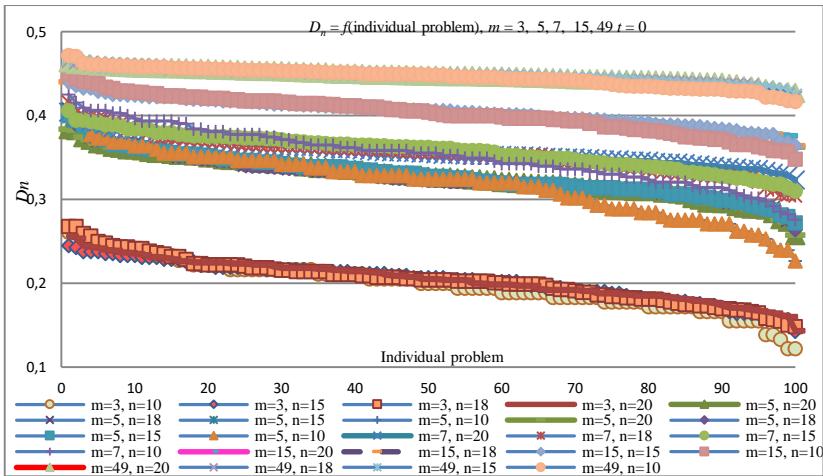


Рис. 2 – Анализ изменения D_n при нечётных значениях m, n при $t = 0$

Изменение количества транзитивных профилей предпочтения ($D_u = D_{least}$) для чётных и нечётных значений m в объемах проводимых экспериментов для равномерного закона распределения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментального исследования транзитивности

m	$t = 0$				$t = 1$				$t = 2$			
	$n = 10$	$n = 15$	$n = 18$	$n = 20$	$n = 10$	$n = 15$	$n = 18$	$n = 20$	$n = 10$	$n = 15$	$n = 18$	$n = 20$
3	6	0	0	0	13	0	0	0	21	0	0	0
4	94	79	61	48	92	68	55	40	89	62	51	38
5	0	0	0	0	7	0	0	0	8	0	0	0
6	67	30	15	6	61	22	8	2	59	21	8	3
7	2	0	0	0	3	3	0	0	6	1	0	0
10	40	6	1	0	31	2	0	0	31	2	0	0
15	3	0	0	0	5	0	0	0	6	0	0	0
49	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
50	12	0	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0

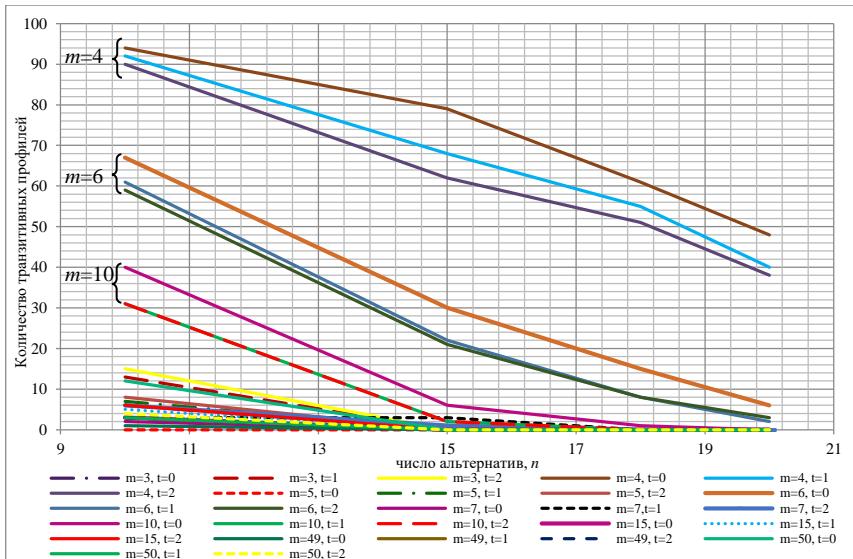


Рис. 2 – Изменение количества транзитивных профилей

Чем больше m и сильнее выражен слабый порядок во входном профиле, тем меньше проявляется транзитивность. Все параметры входного профиля предпочтения $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ - n, m, t по-разному влияют на нетранзитивность и множественность. При увеличении числа альтернатив n множественность ЗРК N увеличивается, причём значительное увеличение множественности происходит при малых чётных значениях m и в тех случаях, когда входной профиль предпочтений состоит из строгих порядков ($t = 0$). Экспериментально выявлена особенность проявления транзитивности при нечётных значениях m , особенно при $m = 3, t = 2$. Во всех иных случаях, подтверждается высокая степень транзитивности при малых чётных значениях m . Параметрами выходного профиля предпочтения $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$, влияющими на нетранзитивность являются N, n . Одним из условий транзитивности отношений предпочтений является ацикличность, поэтому расчет вероятности $P(m, n)$ существования парадокса Кондорсе и определение победителя Кондорсе является одним из методов в оценке множественности решений задачи о медиане Кемени. Необходимы дальнейшие исследования и анализ природы возникновения множественности оптимальных перестановок ($\lambda_m \gg \beta_N$), парадокса Кондорсе, изучение возможных причин: нетранзитивность λ_k и/или β_k , входного и выходного профилей, изучение математической

природы изменения расстояния между D_u и D_{least} . Наличие парадокса Кондорсе в некоторых опытах подтверждает факт того, что профиль предпочтений Λ может быть нетранзитивным, хотя индивидуальные ранжирования $\lambda_1, \dots, \lambda_k$ являются абсолютно логичными, последовательными и транзитивными, что является также дальнейшим объектом изучения [3].

Используемый в исследованиях метод называется методом комплексированием интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA) [3], использует правило Кемени и имеет многообещающий потенциал для использования при обработке данных гетероскедастических измерений в таких ситуациях, как межлабораторные и/или ключевые сравнения, корректировка значений фундаментальных констант, работами с данными узлов сенсорных сетей и т.д.

Экспериментальные исследования проводились в рамках работ по гранту Российского научного фонда № 18-19-00203 (НИР ТПУ № 4.1959.РНФ.2018).

Литература:

1. Muravyov S.V., Baranov P.F., Emelyanova E.Y. How to transform all multiple solutions of the Kemeny Ranking Problem into a single solution // Journal of Physics: Conference Series, [Electronic resource]. – 2019. – Vol. 1379. – [012053, 6 p.] <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012053>.
2. Muravyov S.V. (Murav'ev), Emelyanova E.Y. Combinatorial characterization of inrankings as weak orders induced by intervals // Journal of Physics: Conference Series [Electronic resource]. – 2019 . – Vol. 1379. – [012052, 7 p.] <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012052>.
3. Kemeny J.G., Mathematics without numbers// Daedalus 88 (1959) 571–591.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ ИБС НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ

В.К. Заморщиков, Е.В. Каштанова, И.Н. Яковина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vovazamorshikov@gmail.com

В рамках данной работы рассматривается решение задачи разработки диагностических моделей ИБС с использованием деревьев решений, проводится сравнительный анализ эффективности для решения задачи бинарной классификации двух ансамблевых моделей-классификаторов: леса случайных деревьев и экстремального градиентного бустинга, затрагиваются вопросы

оценки точности получаемых моделей набором метрик, позволяющих получить эффективные диагностические модели.

In this research, the problem of developing diagnostic models of coronary heart disease using tree solutions is considered, a comparative analysis of the efficiency is carried out for solving the problems of binary classification of two ensemble classifier models: a random tree forest and extreme gradient boosting, the issues of evaluating the metrics obtained by the model are evaluated, which make it possible to obtain effective diagnostic models.

Согласно Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти и инвалидизации во всем мире, а на долю ишемической болезни сердца (ИБС) приходится около 40% всех смертей от ССЗ [1]. Проблема своевременной диагностики ИБС очень актуальна, а использование методов и моделей машинного обучения позволяет формировать новые диагностические модели, которые могут внести существенный вклад в повышение качества диагностического процесса.

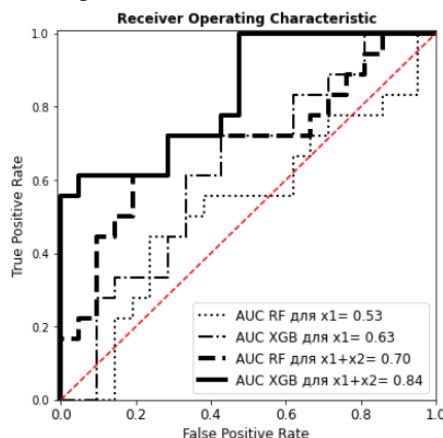
В рамках данной работы рассматривается задача повышения качества диагностической модели ишемической болезни сердца (ИБС) за счет включения дополнительных параметров (среди которых $X_1=11$ – это набор параметров, использованных в моделях ранее разработанного рискометра [2], а $X_2=6$ – новые характеристики состояния пациентов. Исходные данные содержат информацию о 198 пациентах, среди которых выделяется контрольная группа (118 человек) и пациенты с установленным диагнозом – ИБС (80 человек). В ходе работы необходимо разработать модели бинарной «жесткой» классификации с целевой переменной Y – булевской величиной, принимающей значение 1 – для пациентов, у которых вероятнее всего имеется ИБС, и 0 – для пациентов, у которых вероятнее всего нет этого заболевания.

На этапе первичного анализа был сделан вывод, что из-за схожести плотности распределения ряда параметров для обоих классов (больные и группа контроля) использование линейных моделей (линейная регрессия, метод опорных векторов) не дает хороших результатов. Для работы с несбалансированными данными больше всего подходят модели, основанные на деревьях – случайный лес и градиентный бустинг [3, 4]. Поскольку в деревьях решений и их обобщениях от дисбаланса классов зависят меры неоднородности листьев (*impurity*), то это влияние примерно пропорционально для всех кандидатов на очередную разбивку, что обычно не особо влияет на выбор разбивок. Сэмплирование (добавление синтетических данных) в данной работе не применялось, так как такой прием мог повлиять на искомый результат.

Для оценки точности формируемых моделей используются: матрица ошибок (confusion matrix) и доля правильных ответов алгоритма

(accuracy). Однако, при большом дисбалансе классов, модель может хорошо предсказывать только один класс и точность будет 90%. Поэтому, дополнительно была использована композиция метрик: для оценки качества работы на каждом из классов - полнота (recall), ROC-кривая – для оценки качества бинарной классификации (AUC – площадь под кривой), F-мера (среднее гармоническое точности и полноты) – для оптимизации гиперпараметров моделей [5]. Все эти инструменты оценки точности являются функциями 4 переменных – TPR, FPR, TNR, FNR (количество истинно-положительных, ложно-положительных, истинно-отрицательных, ложно-отрицательных результатов). Смотря на алгебраические операции над этими переменными с разных углов, можно без потерь оценивать точность формируемых моделей.

Учитывая специфику данных и поставленной задачи, были выбраны две ансамблевые модели-классификатора: лес случайных деревьев (RF) и экстремальный градиентный бустинг (XGB). Для оптимизации гиперпараметров моделей, был использован метод GridSearch [6]. В ходе генерации моделей для RF были использованы: количество деревьев, глубина каждого дерева, минимальное количество разделений узла и минимальное количество листьев в узле; а для XGB: количество и глубину деревьев, веса наблюдений, скорость обучения и величину шага. Показатели метрик для «лучших» моделей по каждому из наборов исходных данных приведены на рисунке 1. По «лучшим» моделям был сделан вывод о том, что в ходе работы задача повышения качества диагностической модели (ИБС) за счет включения дополнительных параметров была решена и значения метрик точности моделей как RF, так и XGB значительно выше для набора характеристик состояния пациента, включающего ранее использованные и новые параметры.



Значения метрик точности для «лучших» моделей

Модель	Recall	F1	Accuracy
RF (X1)	0,222	0,308	0,538
XGB (X1)	0,389	0,452	0,564
RF (X1+X2)	0,556	0,625	0,692
XGB (X1+X2)	0,722	0,703	0,718

Рис. 1 – ROC-кривые и величины метрик для «лучших» моделей.

В результате сравнения использованных в работе алгоритмов классификации наиболее результативным для двух наборов (X1 и X1+X2) оказался экстремальный градиентный бустинг (XGB), который позволил получить более эффективные диагностические модели. Это хорошо иллюстрируют значения метрик точности моделей, приведенных на рисунке 1.

В процессе формирования диагностических моделей был получен еще один, интересный для специалистов, результат. Вместо типичной гистограммы важности вклада параметров, была использована диаграмма разброса плотности значений – SHAP, отражающую степень влияния каждого параметра на результатирующую переменную [7]. График «лучшей» модели XGB(X1+X2) приведен на рисунке 2. На графике вертикальная линия от нулевой точки разделяет отрицательный класс (слева) от положительного (пациенты без ИБС располагаются правее линии раздела). Признаки сортируются в оси ординат по сумме величин значений SHAP для всех выборок, и чем темнее точка – тем выше его значение. Например, для признака hdl точки более темных оттенков располагаются на отрицательных значениях по оси 0x, что показывает, что у здоровых пациентов значение признака hdl выше.

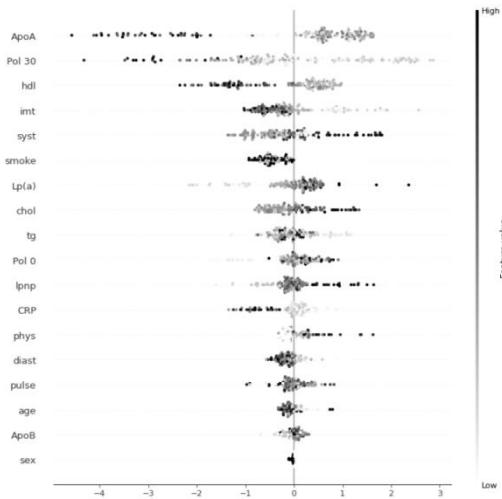


Рис. 2 – График SHAP.

При анализе параметров графика SHAP был сделан вывод о том, что нововведенные параметры имеют очень большую диагностическую информативность в выявлении пациентов с ИБС. Так два признака из массива X2: ApoA и Pol 30 являются ключевыми для «лучшего» из полученных алгоритмов классификации, что подтвердило гипотезу специалистов об эффективности их введения в диагностическую палитру.

Таким образом, поставленная задача была решена, а разработанные модели могут быть рекомендованы для разработки нового рискомерта.

Литература:

1. Д.В. Азарнов. Ишемическая болезнь сердца. Сопутствующие изменения в крови пациента. — Актуальные проблемы биомедицины. — 2020. — стр. 27-28.
2. И.Н. Яковина, Н.А. Баннова, Е.В. Каштанова, Я.В. Полонская, Ю.И. Рагино. Новые методы и модели оценки риска развития ишемической болезни сердца. — Анализ риска здоровья. — 2017. — № 3. — стр. 40-47.
3. Yan Wang, Xuelei Sherry Ni. Random Forests and Decision Trees — International Journal of Computer Science Issues. — 2012. — Vol. 19. — pp. 272-278.
4. Chen Wang, Chengyuan Deng, Suzhen Wang. Imbalance-XGBoost: leveraging weighted and focal losses for binary label-imbalanced

classification with XGBoost. – Pattern Recognition Letters. – 2020. – Vol. 136. – pp. 190-197.

5. Oluwasanmi Koyejo, Nagarajan Natarajan, Pradeep Ravikumar, Inderjit S. Dhillon. Consistent binary classification with generalized performance metrics — Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems. — 2014. – Vol. 2. – pp. 2744-2752.

6. Yan Wang, Xuelei Sherry Ni. XGBoost risk model via feature selection and Bayesian hyper-parameter optimization — International Journal of Database Management Systems. — 2019. – Vol. 11.

7. Dillon Bowen, Lyle Ungar. Generalized SHAP: Generating multiple types of explanations in machine learning. – Conference on Neural Information Processing Systems – 2020. – Vol. 1. – p. 12

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ

А. Кузовова, Д.Я. Суханов

Томский государственный университет

г. Томск, ang_kuz93@mail.ru

Предлагается метод численного моделирования акустических процессов в твердых телах на основе метода динамики частиц. В данном методе твердые тела, рассматриваются на фундаментальном уровне в виде совокупности взаимодействующих частиц размещенных в кубической объемно – центрированной кристаллической решетке. Взаимодействие между частицами описывается зависимостью силы притяжения частиц от расстояния. Показана возможность применения предлагаемого метода для численного моделирования акустических процессов в линейных и нелинейных средах.

A method for the numerical simulation of acoustic processes in solids based on the method of particle dynamics is proposed. In this method, solids are considered at a fundamental level as a set of interacting particles located in a cubic body-centered crystal lattice. The interaction between particles is described by the dependence of the force of attraction of particles on the distance. The possibility of using the proposed method for numerical simulation of acoustic processes in linear and nonlinear media is shown.

Для решения различных задач механики широкое применение находит метод динамики частиц [1]. В нём рассматриваемая среда представляется в виде совокупности взаимодействующих частиц (материальных точек или твердых тел), для которых записываются классические уравнения движения Ньютона [2]. Взаимодействие частиц

описывается посредством потенциалов взаимодействия, основным свойством которых является отталкивание при сближении и притяжение при удалении. По сравнению с методами, основанными на концепции сплошной среды, он требует меньше априорных предположений о свойствах материала. Использование потенциала взаимодействия (например, типа Леннарда-Джонса) и незначительной диссипации позволяет моделировать такие сложнейшие эффекты, как пластичность [3], образование трещин [4-5], разрушение [6]. Для описания каждого из этих эффектов в рамках сплошной среды требуется отдельная теория, в то время как при моделировании методом динамики частиц эти эффекты получаются автоматически.

В данной работе предлагается метод численного моделирования нелинейных сред на основе метода динамики частиц. Рассмотрим твердые тела, на фундаментальном уровне представляя твердое тело в виде совокупности взаимодействующих частиц размещенных в кубической объемно – центрированной кристаллической решетке [7-8]. Каждая частица обладает собственной массой и силой взаимодействия с соседними частицами. В такой кристаллической решетке каждая частица имеет 14 ближайших соседей 6 на расстоянии d и 8 на расстоянии $d\sqrt{3}/2$. Координата и скорость частицы рассчитывается путем численного интегрирования ускорения частицы по времени. Масса частицы и сила взаимодействия определяют тип материала. Взаимодействия между частицами в линейной среде описывается линейной функцией зависимости силы притяжения частиц от расстояния вида:

$$F = k(x - R) \quad (1)$$

где k - коэффициент упругости, x - координата частицы, R - равновесное расстояние между частицами ($R = d$ или $R = d\sqrt{3}/2$).

Было проведено численное моделирование распространения плоской синусоидальной волны на частоте 600 кГц с верхней грани куба высотой 40 мм, шириной 40 мм и толщиной 40 мм, $d = 1$ мм. В качестве материала куба состоящего из 1036880 частиц рассматривалась сталь (скорость звука 5000 м/с, плотность 7850 кг/м³). На рис. 1 представлен результат моделирования распространения плоской синусоидальной волны в однородной среде.

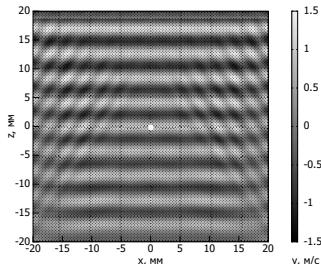


Рис. 1 – Распространение плоской волны в линейной среде

Наблюдалась скорость частицы размещённой в центре куба, показанная белым цветом. В ходе моделирования регистрировался, дошедший до нее сигнал от времени. На рис. 2 представлен измеренный от времени сигнал (скорость частицы), имеющий синусоидальную форму. Далее от зарегистрированного сигнала мы вычислили спектр. Спектр пространственных колебаний V_z частиц представлен на рис.3. Видно, что преобладает одна гармоника на частоте источника, что характерно для линейных сред.

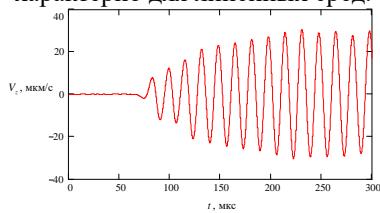


Рис. 2 – Распределение колебаний V_z частиц от времени

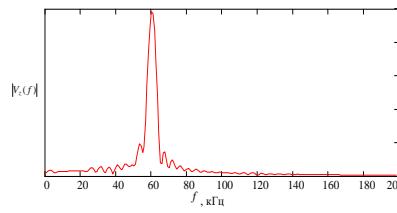


Рис. 3 – Спектр пространственных колебаний $|V_z(f)|$ частиц

Также было проведено численное моделирование плоской синусоидальной волны в нелинейной среде при тех же параметрах численного моделирования, что и в линейной среде (рис.1). Взаимодействия между частицами в нелинейной среде описывалось посредством силы взаимодействия соответствующей потенциалу Леннарда – Джонса вычисляемой по формуле вида:

$$F(R) = \frac{kR}{6} \left[-\left(\frac{R}{x}\right)^{13} + \left(\frac{R}{x}\right)^7 \right] \quad (2)$$

где k - коэффициент упругости, x - координата частицы, R - равновесное расстояние между частицами ($R = d$ или $R = d\sqrt{3}/2$).

На рис. 4 представлен измеренный от времени сигнал V_z частиц в нелинейной среде. Спектр пространственных колебаний V_z частиц в нелинейной среде представлен на рис.5.

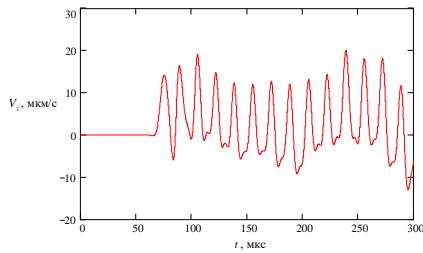


Рис. 4 – Распределение колебаний V_z частиц в нелинейной среде

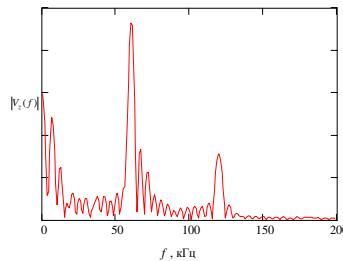


Рис. 5 – Спектр пространственных колебаний $|V_z(f)|$ частиц в нелинейной среде.

Из рис.5 видно, что в нелинейной среде происходит обогащение спектра сигнала и помимо основного максимума наблюдается еще один максимум соответствующий удвоенной частоте. Вместе с этим появляется постоянная составляющая.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90074.

Литература:

1. Hockney R.W., Eastwood J.W. Computer simulation using particles // IOP Publishing. – 1988. – P. 1 – 5.
2. Кривцов А.М. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой. – М.: Физматлит, 2007. – 304 с.
3. Starikov S., Tseplyaev V. Two-scale simulation of plasticity in molybdenum: Combination of atomistic simulation and dislocation dynamics with non-linear mobility function. // Computational Materials Science. – 2020. – Volume 179. – P. 1–14.
4. Zhou X.P., Bi J. Numerical Simulation of Thermal Cracking in Rocks Based on General Particle Dynamics // Journal of Engineering Mechanics. V.144, №1. – P. 1 – 13.
5. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method. // Proceedings of XLI International Summer School-Conference APM 2013. P. 285–291.

6. Кривцов А.М., Волковец И.Б., Ткачев П.В., Цаплин В.А. Применение метода динамики частиц для описания высокоскоростного разрушения твердых тел. // Тр. Всероссийской конференции «Математика, Механика и Информатика 2002», посвященной 10-летию РПФИ, 2004. – С. 361–377.
7. Суханов Д.Я., Кузовова А.Е. Численное моделирование акустических процессов на основе взаимодействия частиц // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т.62, № 12, – С. 107–113.
8. Суханов Д.Я. Кузовова А.Е. Моделирование волновых процессов методом динамики частиц // Математическое моделирование. – 2020. – Т. 32, № 10. – С. 119–134.

МЕТОД ГРУППОВОГО АНАЛИЗА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Е.В. Гармс, К.Е. Горшкова, А.А. Лазарев

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН), г. Новосибирск, laz.alex98@yandex.ru

В России особенно распространено монолитное строительство, позволяющее возводить здания практически любой этажности и сложности. Учитывая климатические особенности местности, необходимо обеспечить набор критической прочности бетона при отрицательной температуре наиболее рациональным способом.

Целью научно-исследовательской работы является попытка усовершенствования технологии прогнозирования температурных режимов забетонированных конструкций на основе нелинейной модели распространения тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника тепла. В статье рассмотрены две нелинейные подмодели, показывающие динамику распределения температурных полей в забетонированной конструкции и приведены результаты экспериментов на строительной площадке.

In Russia, monolithic construction is especially widespread, which allows the construction of buildings of almost any number of storeys and complexity. Given the climatic features of the area, it is necessary to ensure the critical strength of concrete in the most rational way at negative temperatures.

The aim of the research work is an attempt to improve the technology for predicting the temperature regimes of concrete structures based on a nonlinear model of heat propagation in an inhomogeneous rod in the presence of an unsteady heat source. The article considers two nonlinear submodels showing the dynamics of the

distribution of temperature fields in a concrete structure and presents the results of experiments at the construction site.

Введение

В настоящей работе сделана попытка применить нелинейную модель распространения тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника тепла для решения практической задачи - прогнозирования тепловых полей в колонне, бетонируемой в условиях отрицательных температур.

Теоретическое исследование

Для анализа результатов эксперимента были взяты следующие 2 подмодели распределения температуры в колонне, полученные из модели [1], описывающей распространение тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника:

1. Подмодель, для которой точное значение температуры определяется по формуле (1) при α и $\beta \neq 1$:

$$T_1 = c_1 x^{\frac{1-\alpha}{\beta+1}} (\varepsilon'(t))^{\frac{1}{\beta}}, \quad (1)$$

2. Подмодель, для которой точное значение температуры определяется по формуле (2) при $(1 - \alpha)(\beta + 1) \neq 0$:

$$T_{10} = (c_8 x + c_9)^{\frac{1}{\beta+1}} (\varepsilon'(t))^{\frac{1}{\beta}}. \quad (2)$$

Эти точные решения (1), (2), полученные с помощью метода группового анализа[2], заведомо не могут аппроксимировать эти приращения температуры. Поэтому для получения расчетных формул, аппроксимирующих эти приращения, в формулы (1), (2) вводятся поправочные аддитивные слагаемые и коэффициенты по формуле:

$$T_n = \lambda T_{n,exact}(t; 0,5) - \mu \quad (n = 1,10), \quad (3)$$

где числа λ и μ принимают конкретные значения для каждой расчетной формулы (3).

Эксперимент в условиях строительной площадки

Условия проведения первого и второго эксперимента:

- колонны с размером сечения 300x1200 мм и 300x800 мм соответственно, высотой 2700 мм (схема представлена на рисунке 1);
 - температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, в обоих экспериментах составляла $\approx 20,0$ °C;
 - температура наружного воздуха для первого эксперимента $\approx -4,0$ °C, для второго эксперимента $\approx -13,0$ °C

- опалубка колонн с ламинированной фанерой ФСФ 18 мм, неутепленная;
- греющий провод ПНСВ, диаметров 1,6 мм;
- термораствор устраивался в четырех сечениях по высоте на армокаркас из хромель-копелевых термопар с шагом между сечениями (отсчет снизу) 1000, 900 и 800 мм;
- в первые 25 часов прогрева напряжение подается на ступень ниже – 75 В, а затем 85 В.

Снятие опалубки в первом эксперименте происходило после 19 ч, во втором эксперименте – 18 ч. После снятия опалубки прогрев колонны осуществляется в первом эксперименте 25 ч, во втором – 40 ч.

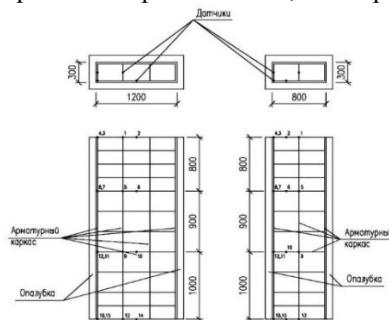


Рис. 1 – Схема расположения термодатчиков по номерам в сечениях и по высоте для двух экспериментов

Обработка и анализ результатов эксперимента

В ходе анализа были выявлены 2 расчетные формулы, показывающие наиболее точную аппроксимацию. Результаты обработки данных первого эксперимента сведены в (таблице 1) и представлены на совмещенных графиках 2,3 (рисунок 2, рисунок 3).

Таблица 1 – Расчетные формулы для прогнозирования температурных режимов

Рис. №	α	β	Расчетная формула
Прогрев первой колонны до снятия опалубки			
2	1,45	4	$T_{10} = 24,5T_{10,exact}(t; 1,35) - 30$
3	1,44	3	$T_1 = 19T_{1,exact}(t; 1,35) - 20$
Прогрев первой колонны после снятия опалубки			
2	2,7	2,5	$T_{10} = -8,5T_{10,exact}(t; 1,35) + 53,5$
3	1,43	2	$T_1 = -7T_{1,exact}(t; 1,35) + 49$

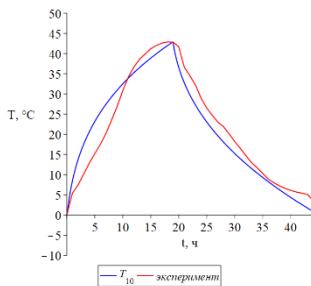


Рис. 2 - Сравнение кривой T_{10} с данными эксперимента

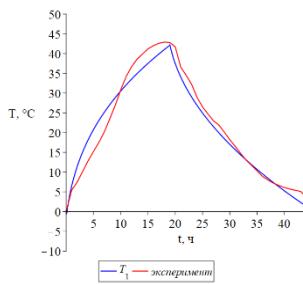


Рис. 3 – Сравнение кривой T_1 с данными эксперимента

Результаты обработки данных второго эксперимента сведены в (таблице 2) и представлены на совмещенных графиках 4,5 (рисунок 4, рисунок 5).

Таблица 2 – Расчетные формулы для прогнозирования температурных режимов

Рис. №	α	β	Расчетная формула
Прогрев второй колонны до снятия опалубки			
4	1,45	4	$T_{10} = 27T_{10,exact}(t; 1,35) - 34$
5	1,44	3	$T_1 = 19T_{1,exact}(t; 1,35) - 21,5$
Прогрев второй колонны после снятия опалубки			
4	2,7	2,5	$T_{10} = -1,5T_{10,exact}(t; 1,35) + 47$
5	1,43	2	$T_1 = -1,5T_{1,exact}(t; 1,35) + 47,5$

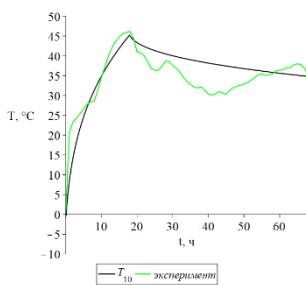


Рис. 4 - Сравнение кривой T_{10} с данными эксперимента

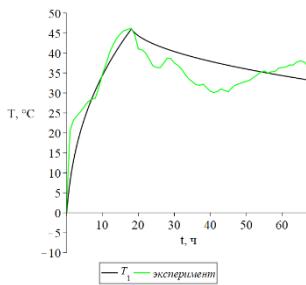


Рис. 5 – Сравнение кривой T_1 с данными эксперимента

В результате проведенных исследований было установлено:

1. Принятые для исследования подмодели T_1 и T_{10} отображают результаты сопоставимые с экспериментальными данными;

2. Доказана эффективность использования подмоделей, погрешность находится в пределах 21%;

3. Требуется более детальное исследование данных, полученных в производственных условиях.

Литература:

1. Чиркунов Ю.А. Нелинейное распространение тепла в неоднородном стержне при воздействии нестационарного источника тепла применительно к задачам зимнего бетонирования. // Изв. вузов. Стр-во. 2018. № 2. – С. 70–76.

2. Чиркунов Ю.А., Хабиров С.В. Элементы симметрийного анализа дифференциальных уравнений механики сплошной среды. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 659 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

А.В. Лузянин, Н.Д. Ганелина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 261-96@mail.ru**

Работа посвящена исследованию методов хранения больших объёмов данных, позволяющих быстро производить операции поиска, удаления и обновления в структуре больших данных. Также в данной работе представлен способ оптимизации хранимых данных и предварительная оценка сокращения объёма базы при его использовании.

The work is devoted to researching of methods of storing large amounts of data that allows to provide quick search, delete and update operations in the big data structure. Also, this work presents the optimization method of stored data and preliminary estimate of reducing the database capacity.

В настоящее время одной из актуальных проблем, требующих решения, является проблема хранения больших данных и работа с ними. Традиционно для хранения больших объёмов данных используется реляционная база данных, использующая язык структурированных запросов (Structured Query Language). Такая организация данных позволяет относительно легко и быстро оперировать огромными объёмами данных. Однако существуют задачи, для которых организация данных в реляционной базе данных не может быть оптимальной: в случае, если она используется для хранения однотипных данных, таких как параметры устройств. Среди этих данных может присутствовать большое количество дубликатов, хотя каждая

структурная единица этих данных будет уникальной и предназначена для конкретного устройства. Таким образом, база данных раздувается наличием дубликатов, и с течением времени становится всё тяжелее управлять этим объёмом данных, а также растут затраты на их хранение.

Для решения данной проблемы следует провести анализ хранимых данных. Параметры конкретного устройства представляют собой строку в реляционной базе данных. Содержание различных экземпляров строк может совпадать между собой, отличаясь только номером устройства, для которого предназначены данные параметры.

Решением этой проблемы могут являться нереляционные базы данных [1]. Обычно такие базы данных используются для хранения документов, параметров, как например, MongoDB. MongoDB предназначена для хранения документов и использует JSON-модель для их хранения и организации. Это означает, что каждый экземпляр параметра будет являться отдельной сущностью. В случае хранения параметров устройств такая организация не является оптимальным решением, поскольку она не решает проблемы дубликатов, а также производительность MongoDB в сравнении со стандартной реляционной базой данных намного ниже из-за её принципа организации.

Проблему организации однотипных данных можно решить, используя графовую структуру организации хранения этих данных. В вершинах графа будут находиться значения по умолчанию, т.е. самые используемые значения параметров устройств. Ребро данного графа будет вести к параметрам, отличающимся от параметров по умолчанию.

Возьмём за основу следующую структуру таблицы:

Таблица 1 - Структура таблицы в базе данных

Название столбца	Тип данных
Id	int
DeviceType	varchar(50)
Build	int
File	binary(max)

Для определения необходимого набора параметров для конкретного устройства будут использоваться теги, по которым будет

осуществляться переход по рёбрам графа. Устройство обладает набором тегов, для того чтобы получить необходимые параметры. Оно отправляет запрос на получение конфигурации для работы, запрос содержит набор тегов устройства. Сервер получает данный запрос и осуществляет запрос в граооориентированную базу данных с полученными тегами. В случае, если теги означают, что устройство запрашивает конфигурацию по умолчанию (отсутствие тегов в запросе также может означать запрос на конфигурацию по умолчанию), то сервер берёт значения из вершин графа, которые являются значениями по умолчанию, собирает необходимую конфигурацию для устройства и отправляет его данному устройству. В случае, если теги запроса указывают на отличную от стандартной конфигурацию, в граооориентированной базе данных происходит поиск необходимого значения. Это осуществляется посредством перехода по рёбрам графа на основе тегов. Теги задают последовательность перехода по узлам графа, таким образом указывая на необходимую конфигурацию. После того, как поиск в графе будет завершён, сервер соберёт требуемую конфигурацию и отправит её устройству.

Использование данной структуры организации данных позволит сократить объём базы данных, что приведёт к упрощению и ускорению работы с ней, а также уменьшит затраты на её содержание. Так, при наличии в представленной ранее таблице в базе данных N строк и долей дубликатов в ней 40% использование представленной структуры позволит сократить объём хранимых данных в базе SQL Server следующим образом [2]:

- $N \times 8$ байт для столбца Id, поскольку поле Id в граооориентированной структуре становится невостребованным;
- $N \times 0.4 \times (50 + 2)$ байта для столбца DeviceType (худший случай);
- $N \times 0.4 \times 8$ байт для столбца Build;
- $N \times 0.4 \times (2^{31} - 1)$ байт для столбца File (худший случай).

Литература:

1. Li, Z. (2018). NoSQL Databases. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2018 Edition), John P. Wilson (Ed). DOI: 10.22224/gistbok/2018.2.10
2. Типы данных (Transact-SQL) - SQL Server | Microsoft Docs [Электронный ресурс] - URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/t-sql/data-types/data-types-transact-sql?view=sql-server-ver15> (дата обращения: 10.10.2020)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СОГЛАСОВАНИЯ КАДРОВ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.И. Максимов, Г.В. Цой

Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва,
г. Самара, aleksei.maksimov.sau@gmail.com

В данной работе производится исследование методов геометрического согласования изображений в рамках задачи повышения пространственного разрешения по серии кадров видеопоследовательности. Представлены результаты сравнения среднеквадратической ошибки согласования рассмотренных методов. Производится выбор наилучшего для решаемой задачи алгоритма.

In this paper, the methods of image registration for the multi-frame super-resolution task are considered. The results of the comparison of the registration root mean square error of the considered methods are presented. The choice of the best algorithm for the considered task is made.

Введение

В задаче сверхразрешения (повышения пространственного разрешения) [1] изображения по серии наблюдаемых кадров низкого разрешения одним из значимых этапов является геометрическое согласование кадров. Кадры необходимо согласовать с высокой точностью, так как ошибка согласования оказывает существенное влияние на результирующее изображение. На сегодняшний день разработано большое количество методов геометрического согласования изображений. В связи с этим был проведен сравнительный анализ различных алгоритмов геометрического согласования.

Методы геометрического согласования изображений

В данной работе исследуется 12 алгоритмов геометрического согласования изображений.

Был исследован метод, основанный на использовании особых точек изображений [2]. При этом были исследованы различные дескрипторы особых точек - SIFT[3], SURF[4], BRIEF[5], ORB[6].

Был исследован метод, основанный на пирамidalном подходе [7], при этом были исследованы различные модели искажения кадра – сдвиг, сдвиг и поворот, сдвиг-масштаб-поворот, аффинное преобразование, билинейное преобразование.

Был исследован метод, использующий пики взаимной корреляционной функции (ВКФ) двух изображений, предложенный в

работе [8] – как его классический вариант, так и его модификация, использующая χ^2 -меру.

Также был исследован метод геометрического согласования изображений с использованием оптического потока [9].

Экспериментальное исследование ошибки согласования

В данной работе произведено экспериментальное исследование среднеквадратической ошибки (СКО) согласования в зависимости от выбора метода геометрического согласования.

В качестве тестового набора использовался набор из 50 полутооновых кадров видеопоследовательности разрешением 700×700 . Видеопоследовательность получена при помощи статически закрепленной камеры. На кадрах изображен объект интереса (калибровочная шахматная доска), который испытывает умеренное движение. Примеры кадров тестовой последовательности приведены на рисунке 1. На рисунке 2 приведены примеры геометрически согласованных кадров.

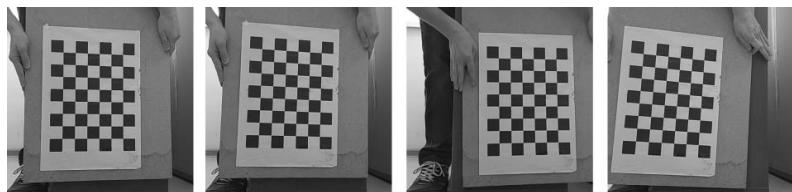


Рис. 1 – Примеры кадров тестовой последовательности

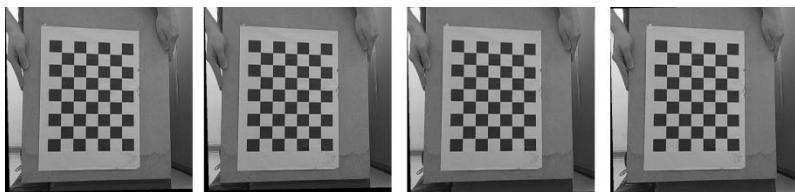


Рис. 2 – Примеры результатов согласования кадров с использованием метода, предложенного в [7]

Экспериментальное исследование было выполнено следующим образом – при помощи выбранного метода кадры последовательности геометрически согласовывались с первым изображением последовательности, после чего вычислялась среднеквадратическая ошибка согласования. Ошибка усреднялась по всему тестовому набору. Полученные результаты представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

Таблица 1 – СКО согласования исследуемых методов

Наименование метода	Среднее СКО согласования
1. С использованием особых точек, дескриптор SIFT	29,017
2. С использованием особых точек, дескриптор SURF	29,264
3. С использованием особых точек, дескриптор BRIEF	29,205
4. С использованием особых точек, дескриптор ORB	28,841
5. Пирамидальный подход, сдвиг	27,551
6. Пирамидальный подход, сдвиг и поворот	23,506
7. Пирамидальный подход, сдвиг-масштаб-поворот	23,465
8. Пирамидальный подход, аффинное преобразование	23,155
9. Пирамидальный подход, билинейное преобразование	23,272
10. С использованием пиков ВКФ	27,879
11. С использованием пиков ВКФ, с χ^2 -мерой	27,842
12. С использованием оптического потока	29,419

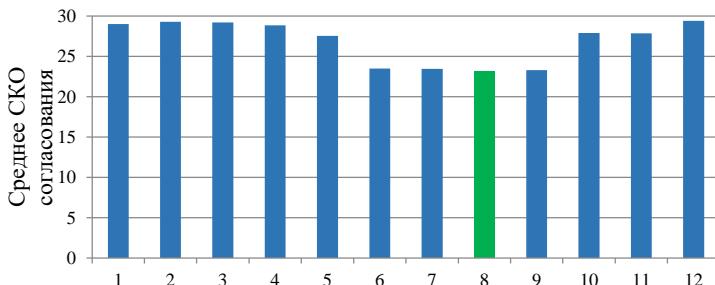


Рис. 3 – Диаграмма усредненных по тестовому набору СКО для исследуемых методов. Номера столбцов диаграммы соответствуют номерам методов в таблице 1

Наилучшие результаты были получены при исследовании методов, основанных на пирамидальном подходе. Среди них наименьшее СКО было получено при использовании аффинного преобразования в качестве модели искажения кадра.

Заключение

В работе произведен сравнительный анализ 12 различных по используемым подходам алгоритмов геометрического согласования изображений. Экспериментальное исследование проводилось на самостоятельно полученном тестовом наборе. Наилучшие результаты для задачи сверхразрешения по набору кадров, полученных по статически закрепленной камере, продемонстрировал метод, использующий пирамidalный подход и аффинного преобразования в качестве модели искажения кадра.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90113.

Литература:

1. Park S.C., Park M.K., Kang M.G. Super-resolution image reconstruction: a technical overview // IEEE Signal Processing Magazine. – 2003. – Vol. 20, N 3. – P. 21–36.
2. Zitová B., Flusser J. Image Registration Methods: A Survey // Image and Vision Computing. – 2003. – Vol. 21, N 11. – P. 977–1000. – doi: 10.1016/S0262-8856(03)00137-9.
3. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60. – P. 91–110.
4. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // European Conference on Computer Vision ECCV 2006, Graz, Austria, 7–13 may, 2006. – P. 404–417.
5. Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features // 11th European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, 5–11 sep., 2010. – P. 778–792
6. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G.R. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF // The 13th International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain, 6–13 nov., 2011. – P. 2564–2571.
7. Thévenaz P., Ruttimann U.E., Unser M. A Pyramid Approach to Subpixel Registration Based on Intensity // IEEE Transactions on Image Processing. – 1998. – Vol. 7, N 1. – P. 27–41.
8. Guizar-Sicairos M., Thurman S.T., Fienup J.R. Efficient subpixel image registration algorithms // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33. – P. 156–158. – doi:10.1364/OL.33.000156.
9. Wedel A., Pock T., Zach C., Bischof H., Cremers D. An improved algorithm for TV-L1 optical flow // Statistical and geometrical approaches to visual motion analysis, Dagstuhl Castle, Germany, 13-18 jul., 2008. – P. 23–45. – doi:10.1007/978-3-642-03061-1_2.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19 ПРИ ПОМОЩИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Н.С. Олейник, В.Ю. Щеколдин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, olejnik.2015@stud.nstu.ru

В работе рассматривается проблема построения классификации стран по степени серьёзности распространения COVID-19 с использованием модификации метода главных проекций Торгерсона.

The countries classification problem by the severity of COVID-19 spread using Thorgerson main projection method modification is considered.

Прошёл почти год после первой вспышки COVID-19. Само название является сокращение от «**CO**rona**VI**rus **D**isease» – «заболевание, вызванное коронавирусом». В этом названии «CO» означает «корона» (corona), «VI» – «вirus» (virus), «D» – «болезнь» (disease), а «19» – год, в котором была выявлена первая вспышка заболевания (31 декабря 2019 года). Всемирная организация здравоохранения публикует актуальную информацию о 235 государствах по 28 показателям, характеризующим состояние проблемы COVID-19 в них [6]. В настоящий время по всему миру появляется всё больше научных публикаций, посвящённых COVID-19 [5]. Целью данного исследования является выделение однородных групп стран, характеризующихся разными значениями степени серьёзности распространения COVID-19.

1. Постановка задачи

Из имеющихся 235 государств полные данные имеются только у 160, которые были выбраны для исследования. Из 28 показателей по этим странами для анализа были выбраны следующие семь: усреднённое за неделю количество новых случаев заражения COVID-19 (*new_cases_smoothed*), усреднённое за неделю количество новых смертей от COVID-19 (*new_deaths_smoothed*), количество обнаруженных случаев заражения от COVID-19 на один миллион человек населения (*total_cases_per_million*), усреднённое за неделю количество новых случаев заражения COVID-19 на один миллион человек населения (*new_cases_smoothed_per_million*), количество смертей от COVID-19 на один миллион человек населения (*total_deaths_per_million*), усреднённое за неделю количество новых смертей от COVID-19 на один миллион человек населения (*new_deaths_smoothed_per_million*) и степень жёсткости мер, применяемых в государствах по противодействию COVID-19 (*stringency_index*) [6]. Для оценки динамики развития пандемии были

взяты три временные отметки – 23 марта, 20 июля и 5 октября. В следствии существенной положительной асимметричности выбранных показателей, для обеспечения хороших статистических свойств получаемых результатов было решено применить к ним логарифмическое преобразование вида $y = \ln(x + 1)$, где единица в скобках добавляется для обеспечения непрерывности и конечности обрабатываемых значений. Кроме того, поскольку исходные данные выражены в разных измерительных шкалах, то для того, чтобы избавиться от эффекта масштаба необходимо применить преобразование Стьюдента нормирование на величину математического ожидания и среднеквадратического отклонения [4].

Результатом анализа будет построение классификации стран по трём категориям (группам), а именно: С – некритическое состояние распространения COVID-19, которое может означать, что-либо пандемия ещё не добралась до страны, либо распространение COVID-19 взято под контроль; А – пандемия в таких странах принимает масштабы проблемы государственного уровня и требует применения незамедлительных и существенных мер; страны попадающие в группу В занимают промежуточное положение, в них масштабы пандемии не такие существенные, как в странах класса А, но сама проблема не локализована, как в странах класса С.

2. Описание исследования

В качестве инструмента для анализа многомерных данных в работе используется модифицированная процедура нахождения выбросов CC-ABOD (Cumulative Curves for Angle-Based Outlier Detection) на основе метода анализа кумулятивных кривых, предложенного авторами в [2]. Она основана на оценке углов, под которыми из каждой точки пространства, соответствующей определенному наблюдению, видны остальные наблюдения выборки.

Часто для визуализации многомерных данных применяется метод многомерного шкалирования – метод главных проекций Торгерсона [3], согласно которому на основе имеющихся исходных многомерных данных путём вычисления матриц расстояний с условием обеспечения наименьшей дисперсии результатов проектирования (что достигается выбором в качестве начала отсчёта центра тяжести анализируемых данных) определяются направления проектирования, которые обеспечивают наилучшую визуализацию входных данных.

Основным недостатком классического метода Торгерсона является то, что проектирование проводится на оси, соответствующие двум максимальным собственным значениям матрицы расстояний. Однако это оказывается неэффективным в случае, когда процедура для которой

производится визуализация носит существенно нелинейный характер. В рассматриваемой в работе ситуации именно таким свойством обладает метод СС-ABOD. Поэтому логичной модификацией метода Торгерсона (ММТ) является предложенная авторами в [1] методика определения наилучших осей проектирования, использующая аппарат кумулятивных кривых.

3. Обсуждение результатов

Применение комбинации метода СС-ABOD и модифицированного метода Торгерсона позволило получить группирование стран по степени серьёзности распространения COVID-19 и отследить возникающую динамику по периодам 2020 года: январь-март, апрель-июль, август-октябрь. Полученные результаты были обобщены в виде следующей таблицы:

Таблица 1 – Динамическая классификация по методу СС-АВОД

Периоды	Категории стран	Апрель - Июль			Итого
		C	B	A	
Январь - Март	C	83	38	5	126
	B	11	13	4	28
	A	0	2	4	6
Итого		94	53	13	160
Август - Октябрь	C	81	28	2	111
	B	13	22	10	45
	A	0	3	1	4

По представленной таблице видно, что за первый и второй периоды в 47 странах ухудшилось положение относительно распространения COVID-19 и только в 13 оно улучшилось, при этом в 100 странах ситуация существенно не изменилась. Сравнение второго и третьего периодов показывает ухудшение положения в 16 странах, а улучшение – в 40 странах, а без существенных изменений – в 104 странах.

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация результатов проектирования на оптимальные оси согласно комбинации СС-ABOD и ММТ. Хорошо видно, что точки, соответствующие странам класса А, располагаются на существенном удалении от общего скопления, тогда как разделение между классами В и С не столь очевидно. При уменьшении масштаба заметно, что в центре скопления преобладают страны класса С. Такая ситуация может означать, что класс В на самом деле состоит из двух подклассов, один из которых является переходом из С в В, а другой из А в В.

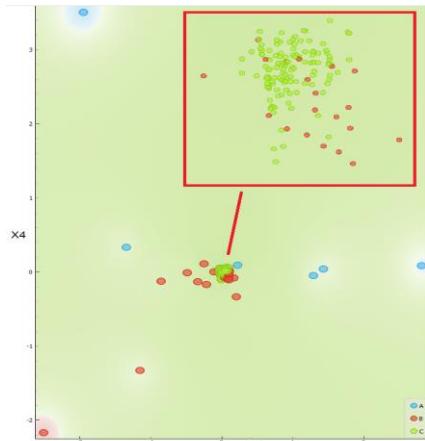


Рис. 2 – Визуализация результатов проектирования за январь-март

Выводы:

Применения комбинации методов СС-ABOD и ММТ позволило выявить группы стран, характеризующихся однородными тенденциями в распространении COVID-19. Построенная графическая интерпретация позволила предположить наличие более сложной структуры при построении классификации стран. Также заслуживает внимания изучение процедуры выбора оптимальных осей проектирования для построения удобных визуализаций результатов классификаций.

Литература:

1. Олейник Н. С., Щеколдин В. Ю. Методы многомерного шкалирования в задаче визуализации данных больших размерностей // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.: в 9 ч., Новосибирск, 2–6 дек. 2019 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 214–217.
2. Олейник Н. С., Щеколдин В. Ю. Разработка модификации метода главных проекций Торгерсона с применением анализа кумулятивных кривых в задаче выявления выбросов в данных больших размерностей // Вычислительные технологии. - 2020. – Т. 25, № 3. – С. 119–129.
3. Торгерсон У. С. Многомерное шкалирование в психологии. Теория и метод. – В кн.: Статистическое измерение качественных характеристик. – АиТ, 1980, № 10.
4. Oleinik N.S., Shchekoldin V.Y. Study of the properties of geometric ABOD-approach modifications for outlier detection by statistical simulation. Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and

simulation, AMSA'2019: proc. of the intern. workshop. – Novosibirsk: NSTU publ., 2019. – P. 389-395.

5. Sardelis, D. On the coronavirus spread worldwide, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/344753958_ON_THE_CORONAVIRUS_SPREAD_WORLDWIDE (accessed: 28.10.2020)

6. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. URL: <https://covid19.who.int/> (accessed: 28.10.2020)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИИ НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ВИНЕРОВСКОЙ ДЕГРАДАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Е.А. Осинцева, Е.В. Чимитова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, osinceva.j@gmail.com**

Функция надежности определяет вероятность безотказной работы исследуемого изделия. Для винеровской деградационной модели функция надежности определяется через нормальный закон распределения при значении критического уровня деградации и параметрами, зависящими от функции тренда изменения деградационного показателя. В случае линейного тренда распределение времени наработки до отказа можно описать обратным гауссовским распределением. Вместе с тем, функцию надежности можно оценить с использованием методов статистического моделирования. Данная работа посвящена исследованию статистических свойств оценок времени безотказной работы, получаемых на основе рассматриваемых трех подходов.

The reliability function determines the probability of a failure-free operation of an item. For the Wiener degradation model, the reliability function is obtained by using the normal distribution law at the point of threshold degradation value with parameters depending on the trend function. In the case of the linear trend function the failure time distribution is described by the inverse Gaussian distribution. Moreover, the reliability function can be estimated with statistical simulation methods. This paper is devoted to the comparison of the statistical properties of lifetime estimates based on the considered methods.

Современный мир требует от производителей оборудования разработки новых, высокотехнологичных устройств в рекордно короткие сроки. При этом производительность, надежность и качество продукции должны постоянно улучшаться [1]. Оценка распределения времен наработки до отказа или ресурсных характеристик компонентов высоконадежных изделий особенно сложная задача. Большинство современных изделий рассчитаны на бесперебойную работу в течение

нескольких десятков лет и более. Таким образом, при тестировании без дополнительных нагрузок многие объекты сохранят работоспособность.

Наряду с этим, для получения дополнительной информации об отказах используют деградационные данные, которые обладают значительно большей информации о надежности, чем можно было бы получить из традиционных цензурированных данных о времени наработки до отказа [2]. Данное утверждение особенно справедливо для задач, в которых ожидается небольшое количество отказов или их отсутствие.

В данной работе построена функция надежности для винеровской деградационной модели на основе нормального распределения [2] и обратного гауссовского распределения [3], проведено сравнение статистических свойств оценок времени наработки до отказа.

Описание винеровской деградационной модели

Случайный процесс $Z(t)$, характеризующий процесс деградации исследуемых изделий, называется деградационным винеровским процессом, если данный процесс центрированный $\Delta Z_0(t) = 0$, приращения деградационного показателя независимы и подчиняются нормальному распределению с функцией плотности:

$$f(u, \theta_1, \theta_2) = \frac{1}{\theta_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(u - \theta_1)^2}{2\theta_2^2}\right),$$

где $\theta_1 = \mu(\rho(t + \Delta t) - \rho(t))$, $\theta_2 = \sigma\sqrt{\rho(t + \Delta t) - \rho(t)}$, $\sigma > 0$, $\rho(t)$ – некоторая возрастающая функция. В данной работе в качестве функции тренда будет рассмотрена линейная функция.

Формулы для оценки неизвестных параметров представлены в [4].

Момент времени отказа представляет собой случайную величину

$$\tau = \sup\{t : Z_x(t) < z_0\},$$

где z_0 – критическое значение показателя деградации. Функцию надежности можно представить в следующем виде:

$$S(t) = P\{\tau > t\} = P\{Z_x(t) < z_0\} = \Phi\left(\frac{z_0 - \mu\rho(t/r(x; \beta); \gamma)}{\sigma\sqrt{\rho(t/r(x; \beta); \gamma)}}\right). \quad (1)$$

В случае линейного тренда распределение времен наработки до отказа представляет собой обратное гауссовское распределение [5]:

$$f(\Delta z_{ij}) = \sqrt{\frac{z_0^2}{2\pi\sigma^2 t^3}} \exp\left[-\frac{(\mu t - z_0)^2}{2\sigma^2 t}\right], \quad t > 0. \quad (2)$$

При построении оптимального эксперимента на надежность часто минимизируют асимптотическую дисперсию оценки времени безотказной работы. В данной работе проведен сравнительный анализ статистических свойств оценок времени безотказной работы, получаемых на основе (1) и (2), а также в случае оценки функции надежности методами статистического моделирования.

Исследования

На рис.1 и рис. 2 представлены эмпирические распределения функции надежности винеровской деградационной модели. На графиках наглядно видно, что при большом разбросе деградационных процессов и малом критическом уровне деградации, функция надежности, основанная на обратном гауссовском распределении, лучше описывает эмпирическое распределение отказов. При этом при малом разбросе процессов графики визуально близки к друг другу.

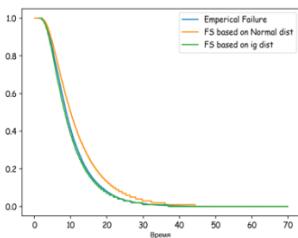


Рис. 1 – Функция надежности для линейной функции тренда с параметрами $\sigma = 1$, $\mu = 0.5$, $z_0 = 5$

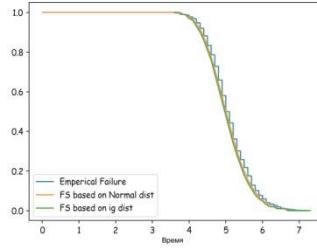


Рис. 2 – Функция надежности для линейной функции тренда с параметрами $\sigma = 0.5$, $\mu = 1$, $z_0 = 10$

В данном контексте интересно сравнить среднее и выборочную дисперсию оценок квантили $q_{0.95}$. Исследование проводилось при различных параметрах σ , μ , z_0 , количество процессов 1000, интервал $[0, 100]$ с шагом 1. Количество повторений эксперимента 100.

Среднее: $\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i$. Выборочная дисперсия $V(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_i - \bar{q})^2$.

Таблица 1 – Сравнение статистических свойств оценок квантилей

σ	μ	z_0	Эмпир. Распр.		Норм. Распр.		ОГ Распр.	
			\bar{q}	$V(\theta)$	\bar{q}	$V(\hat{\theta})$	\bar{q}	$V(\hat{\theta})$
0.25	0.5	5	12.87	0.012	12.88	0.001	12.76	0.002
		10	23.90	0.025	23.93	0.002	23.84	0.002
0.5	1	5	7.09	0.010	7.13	0.0002	7.00	0.001
		10	12.84	0.017	12.87	0.0004	12.49	0.002
1	1	5	9.36	0.063	10.08	0.002	9.14	0.003
		10	15.89	0.084	16.51	0.004	15.72	0.006
1	0.5	5	22.45	0.753	26.48	0.052	21.83	0.039
		10	37.07	1.209	40.36	0.102	36.5	0.093

Выводы

На основании результатов, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что для оценки времени безотказной работы изделий, деградационный процесс для которых описывается винеровской деградационной моделью с линейной функцией тренда, предпочтительно использовать обратное гауссовское распределение (2).

Данный результат планирует использовать в дальнейшем при разработке алгоритма построения оптимального плана эксперимента на надежность на основе винеровской деградационной модели.

Литература:

1. W. Meeker, L. Escobar, J. Lu, Accelerated Degradation Tests: Modeling and Analysis: Technometrics, 1999.
2. Чимитова Е.В., Четвертакова Е.С. Построение деградационной гамма-модели с учетом влияния объясняющих переменных: Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2014.
3. H. Lim, B-J. Yum, Optimal design of accelerated degradation tests based on Wiener process models, 2009.
4. Осинцева Е.А., Чимитова Е.В. Информационная матрица Фишера для винеровской деградационной модели с учетом объясняющих переменных [Журнал] // Обработка информации и математическое моделирование. - Новосибирск: СИБГУТИ, 2018 г. - стр. 92-99.
5. A. Onar and W.J. Padgett, Accelerated test models with the inverse Gaussian distribution, J. Stat. Plan. Inference 892000, pp. 119–133.

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ АССОЦИАЦИЙ, С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Д.В. Поверин, С.И. Кушмуратов, С.Н. Постовалов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, foxlandg@gmail.com

В данной работе предлагается подход построения оптимального критерия ассоциаций, с помощью технологий машинного обучения. Так же приведено краткое описание уже существующих критериев ассоциаций и проведения мета-анализа. Для реализации программного обеспечения использовался язык программирования Python. Для машинного обучения применялись библиотеки TensorFlow и Keras. Для получения обучающей выборки были использованы критерии хи-квадрат, Кокрена-Армитеджа, MAX3 и MERT. Объём обучающей выборки составил около 6 млн экземпляров. В результате, был построен оптимальный критерий ассоциации, имеющий точность 81,21%, относительно исходных данных.

In this research proposed an approach for constructing an optimal association test using machine learning technologies. Also provided a brief description of the already existing associations tests and meta-analysis. To implement the software, the Python programming language was used. For machine learning, the TensorFlow and Keras libraries were used. Chi-square, Cochran-Armitage, MAX3 and MERT tests were used to obtain the training dataset. The size of the training dataset was about 6 million elements. As a result, the optimal association test was built, having an accuracy of 81.21%, relative to the initial dataset.

Полногеномный анализ ассоциаций (ПГАА) в наши дни является одним из важных и перспективных направлений исследований в биоинформатике, которые направлены на выявление связи между геномом человека и наблюдаемыми заболеваниями. В основе данного метода лежит проверка гипотезы независимости между генотипом индивидуума и наличием заболевания (фенотипом).

В полногеномном анализе ассоциаций изучают связь геномных мутаций с любыми фенотипическими (внешними) признаками, но особый интерес представляют трудно диагностируемые и редкие заболевания, например, различные раковые опухоли, болезнь Паркинсона, сердечнососудистые заболевания и пр. Одной из самых главных проблем для выявления зависимостей является недостаток объема рабочей выборки испытуемых, ввиду низкой распространённости наблюданного заболевания в исследуемой популяции.

На данный момент существует множество критериев ассоциаций, такие как классический критерий хи-квадрат, критерий отношения правдоподобий с ограничением (CLRT), критерии максимизации

минимальной эффективности (MERT), критерий тренда Кокрена-Армитеджа (CATT), для разных генетических моделей наследования. Позже, появились робастные критерии, основанные на CATT, которые имеют хорошую мощность, в условиях неопределенности генетической модели, такие как критерий MAX3, критерий выбора и исключения генетической модели (GMS и GME). Существуют, также, подходы обобщения результатов независимых экспериментов ПГАА, основанные на комбинировании p-value [1,3,4]. Такие подходы, при определенных условиях, дают очень хороший прирост мощности, в результате чего, уменьшается частота ложных срабатываний, при относительно малых значениях вероятности ошибки первого рода [6]. Но каков будет прирост мощности, если разработать интеллектуальную систему выбора оптимального критерия ассоциаций, в условиях неопределенности генетической модели? В данной работе, предлагается подход, построения оптимального критерия ассоциаций, с помощью технологий машинного обучения.

Машинное обучение - это подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения моделей алгоритмов, способных обучаться. Процесс обучения делится на две категории. Обучение по прецедентам, или индуктивное обучение, основано на выявлении общих закономерностей по частным эмпирическим данным. Дедуктивное обучение предполагает формализацию знаний экспертов и их перенос в компьютер в виде базы знаний. Дедуктивное обучение принято относить к области экспертных систем, поэтому термины машинное обучение и обучение по прецедентам можно считать синонимами [2,5].

В рамках данной работы было разработано программное обеспечение на языке программирования Python, с использованием библиотек TensorFlow и Keras. Структура элемента обучающей выборки имеет следующий вид:

1. SNP таблица наблюдений (является группированной выборкой пациентов по генотипам и по принадлежности к контрольной или рабочим группам);
2. набор параметров, определяющие верную гипотезу ассоциаций;
3. статистики критериев ассоциаций: критерий хи-квадрат, критерий тренда Кокрена-Армитеджа для рецессивной, доминантной и аддитивной моделях наследования, критерий MAX3 и критерий MERT;
4. P-value, соответствующие значениям статистик критериев из пункта выше.

Объем обучающей выборки составил около 6 млн экземпляров.

Далее обучающая выборка подавалась на вход многослойной нейронной сети. Полученная в результате нейронная сеть может

рассматриваться как новый статистический критерий, который позволяет предсказывать верную гипотезу.

Для пятислойной нейронной сети, у которой на вход подавались p-value критериев тренда САТТ был построен критерий, точность которого составила 81,21%.

В дальнейшем планируется исследовать другие комбинации критериев, а также разную архитектуру нейронной сети, а также сравнить мощность полученного критерия с другими критериями ассоциаций.

Литература:

1. A meta-analysis of genome-wide association studies identifies 17 new Parkinson's disease risk loci / Chang D, Nalls M.A., Hallgrímsdóttir I.B., Hunkapiller J., van der Brug M., Cai F.; International Parkinson's Disease Genomics Consortium; 23andMe Research Team, Kerchner G.A., Ayalon G., Bingol B., Sheng M., Hinds D., Behrens T.W., Singleton A.B., Bhangale T.R., Graham R.R. // Nat Genet. 2017. – Vol. 49(10). P. 1511-1516. doi: 10.1038/ng.3955.
2. Bishop, C. M. (2006), Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, ISBN 978-0-387-31073-2
3. Evangelos E., Ioannidis J.P.A. Meta-analysis methods for genome-wide association studies and beyond // Nature Reviews Genetics – 2013. – Vol. 14. – P. 379-389.
4. Chen, Z. A new statistical approach to combining p-values using gamma distribution and its application to genome-wide association study / Z. Chen, W. Yang, Q. Liu // BMC Bioinformatics. – 2014. – DOI: 10.1186/1471-2105-15-S17-S3.
5. Hopfield, J. J. (1982). "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities". Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 79 (8): 2554–2558. Bibcode:1982PNAS...79.2554H. doi:10.1073/pnas.79.8.2554. PMC 346238. PMID 6953413
6. Поверин Д. В. Исследование вероятности обнаружения новых геномных ассоциаций при комбинировании результатов полногеномного анализа ассоциаций = Estimating of probability discovery the new association by combining the results of genome-wide association study / Д. В. Поверин, С. Н. Постовалов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., [Новосибирск, 25–26 апр. 2019 г.]. – Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2019. – С. 100–113. - ISBN 978-5-91434-048-0.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Попова А.Г.

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.g.popova.2015@stud.nstu.ru

Цель данного исследования – рассмотреть моделирование дискретных процессов. Используется простая система организации очереди $M/M/2$ с зависящей от толпы скоростью поступления. В первой части скорость поступления сразу же уменьшается по мере увеличения количества заявок в системе. Система моделируется с использованием дискретных событий. Во второй части количество заявок в системе влияет на скорость поступления сначала с непрерывной задержкой информации, а затем с дискретной задержкой.

The purpose of this study is to consider the modeling of discrete processes. A simple $M/M/2$ queuing system is used with a crowd-dependent arrival rate. In the first part, the rate of receipt immediately decreases as the number of applications in the system increases. The system is simulated using discrete events. In the second part, the number of requests in the system affects the rate of arrival, first with a continuous delay of information, and then with a discrete delay.

Моделирование дискретных событий подходит для задач, в которых переменные изменяются дискретно [1].

Моделирование дискретных событий было основным инструментом для получения выводов о сложных сетях массового обслуживания [2].

Дискретное моделирование системы

Исходная система массового обслуживания представляет собой цепь Маркова с непрерывным временем и дискретным состоянием, где состояние системы - это количество людей в системе. Мы можем записать уравнения баланса и найти предельные вероятности нахождения в каждом состоянии [3]. Скорость перехода из состояния (i) в состояние $(i + 1)$ - это скорость поступления. Значения скорости поступления показаны на рисунке 1. Скорость перехода из состояния (i) в состояние $(i+1)$ соответствует скорости обслуживания. Скорость обслуживания составляет 10/мин для $i = 1$ (поскольку обслуживается только один человек) и 20/мин для всех остальных состояний. Решение уравнения баланса дает показатели производительности в установившемся режиме. Ожидаемое количество людей в системе рассчитывается как 8,5470, а ожидаемое время в системе составляет 0,4291 минуты.

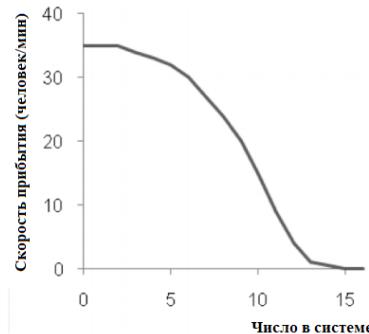


Рисунок 1 – Изменение средней скорости поступления в зависимости от состояния системы

Чтобы получить динамику системы, мы используем моделирование дискретных событий [4]. Система запускается с пустыми начальными условиями. На рисунке 2 показано поведение количества людей в системе для типичного прогона моделирования. На рисунке 3 показано поведение той же переменной с использованием среднего значения 20 прогонов. В среднем – поведение более плавное. На рисунке 4 показано поведение среднего времени, проведенного в системе при типичном запуске, с ежеминутными наблюдениями.

Среднее время, проведенное в системе в момент времени t , рассчитывается путем усреднения времени ожидания всех запросов за период $[0, t]$.

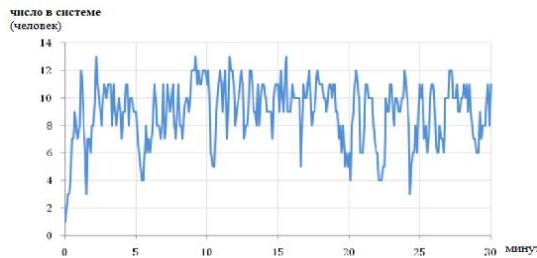


Рисунок 2 – Поведение системы от количества людей, дискретная модель

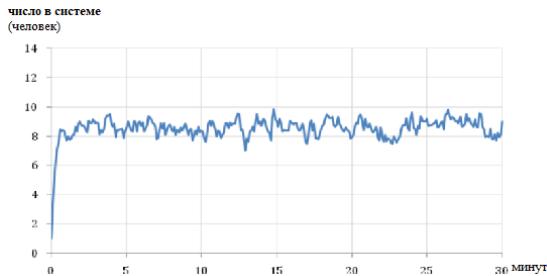


Рисунок 3 – Поведение системы от количества людей,
дискретная модель (20 прогонов)



Рисунок 4 – Поведение среднего времени, проведенного
в системе для дискретной модели

Значения переменных в установившемся состоянии также оцениваются для сравнения с аналитическими результатами, приведенными выше. Для определения установившихся значений переходный период находится с использованием процедуры Велча, а статистические данные за этот период игнорируются. Чтобы получить более надежные оценки, были использованы более длинные серии с большим количеством повторений. В таблице 1 показаны результаты стабильного состояния для 100 повторов по 10 часов каждая. Статистические значения в установившемся режиме согласуются с аналитическими результатами.

Таблица 1. Стационарные результаты моделирования дискретных событий и их истинные аналитические значения

	Значение	95% доверительный интервал	Аналитический результат
Среднее число в системе	8.5452	(8.5306, 5.5999)	8.5470
Среднее время в системе (минуты)	0.4294	(0.4280, 0,4308)	0.4291

Заключение

В этом исследовании дискретное моделирование рассмотрено с точки зрения динамического поведения и установившихся значений двух основных переменных системы массового обслуживания М/М/2 с зависящей от толпы скоростью поступления. В серии экспериментов проверяется влияние следующих факторов: масштаб проблемы, наличие и тип задержки на пути обратной связи от уровня толпы до скорости прибытия. Увеличение масштаба проблемы достигается за счет увеличения скорости поступления и количества серверов в десять раз. Этот увеличенный масштаб делает дискретный характер проблемы менее значимым [5].

Литература:

1. Crespo-Márquez, A., R. R. Usano and R. D. Aznar Continuous and Discrete Simulation in a Production Planning System, 1993. – 58 с. // The System Dynamics Society.
2. Yew S. Ong, Prasanth B. Nair and Andrew J. Keane Evolutionary Optimization of Computationally Expensive Problems via Surrogate Modeling, 2003.
3. Sweetser A. A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES), 1999 – 8 с. // The System Dynamics Society.
4. Т. Алиев Основы моделирования дискретных систем, 2009 – 363 с.
5. В. Рыбин Моделирование нестационарных непрерывно-дискретных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики, 2011 – 81 с.

СЕГМЕНТАЦИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ U-NET

В.С. Прилуцкий, С.Н. Терещенко

Новосибирский государственный университет

**Новосибирский государственный университет экономики и
управления,**

г. Новосибирск, 89508752074@mail.ru

В данной работе рассматривается задача сегментации неоднородных объектов на примере задачи идентификации объектов размещения отходов на аэрокосмических снимках с применением сверточной сети на основе архитектуры U-Net. Разработана архитектура и подобраны гиперпараметры нейронной сети для решения поставленной задачи.

In this paper, we consider the problem of segmentation of heterogeneous objects is considered using the example of the problem of identifying waste disposal facilities on aerospace images using a convolutional network based on the U-Net architecture. The architecture was developed and the hyperparameters of the neural network were selected to solve the problem.

Сегментация неоднородных объектов на аэрокосмических снимках затруднительна из-за сложности обучения алгоритмов распознавать их характерные признаки. Рассмотрим специфические особенности сегментации неоднородных объектов на примере задачи идентификации объектов размещения отходов (ОРО). Объекты размещения отходов могут сильно отличаться по составу: строительные, металлические, пищевые, химические, смешанные и др. В связи с этим данные объекты имеют различную плотность, химический состав и отражающие свойства. Также такие объекты могут сильно отличаться по занимаемой площади (от нескольких десятков метров до сотен метров) [1].

Анализ методов обработки данных дистанционного зондирования для обнаружения ОРО указывает на необходимость разработки новых методов или комплексной методики на базе комплексирования существующих методов идентификации данных объектов, для минимизации недостатков существующих методов и повышения точности распознавания, для возможности оперативного дистанционного мониторинга [2].

В данной работе представлен метод сегментации неоднородных объектов (на примере ОРО) по мультиспектральным данным дистанционного зондирования с использованием сверточной нейронной сети U-Net. Архитектура сети U-Net, предложенная в [3] представляет собой полностью сверточную сеть с симметричным

U-образным дизайном, для определения контекста и локализации сегментированных объектов.

Каждый уровень U-Net преобразует входные данные на основе выбранной функции. Для построения архитектур U-Net используются следующие типы слоев (уровней):

- входной уровень,
- сверточный уровень,
- уровень пакетной нормализации,
- уровень пулинга
- уровень конкатенации
- слой Dropout.

Архитектура сети U-Net для сегментации неоднородных объектов на примере задачи идентификации ОРО на аэрокосмических снимках (рис.1).

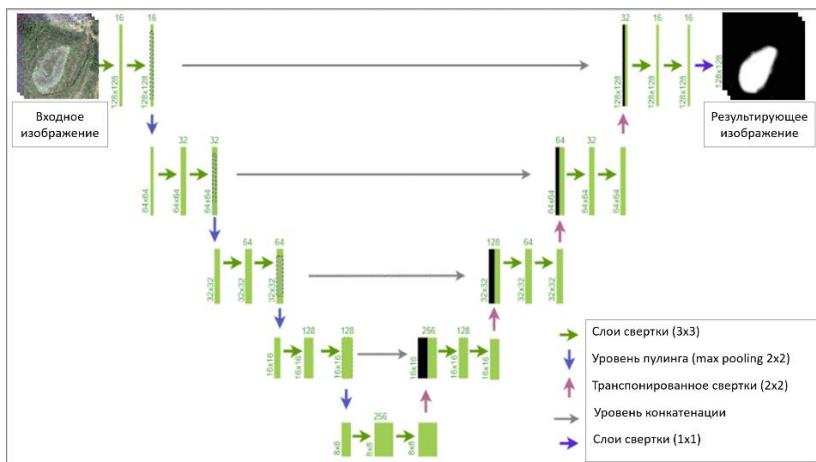


Рис. 1 – Архитектура сети U-Net для сегментации неоднородных объектов на аэрокосмических снимках

Разработанная архитектура была реализована с использованием библиотеки TensorFlow на языке Python.

В качестве оптимизационных алгоритмов, были использованы ADAM, ADAMAX и NADAM [4].

В качестве функции потерь использовалась перекрестная кросс-энтропия.

В качестве функции активации на уровне свертки была выбрана функция RELU.

Для обучения данной сети использовались изображения из свободных бесплатных источников, таких как яндекс карты, goodle Earth, LandViewer, Sentinel Hub.

В большинстве бесплатных источников спутниковые изображения имеют низкое или среднее пространственное разрешение, что негативно сказывается на обучении модели. В связи с недостаточностью пространственной информации затрудняется точное определение объектов с высокой неоднородностью. Частично с этой проблемой помогают бороться методы повышения пространственного разрешения, использованные в качестве этапа предварительной обработки снимков [5].

Заключение

Предложенная архитектура сети распознает заданные объекты с точностью от 67.2 до 81.7 % по метрике intersection over union (IoU) при использовании оптимизационного алгоритма NADAM. Полученные результаты указывают на перспективность использования нейронных сетей на основе архитектуры U-Net для сегментации неоднородных объектов на аэрокосмических снимках. Полученные результаты работы разработанной сети для решения задачи сегментации ОРО возможно улучшить при обучении сети на большем количестве аннотированных данных и использовании снимков более высокого пространственного разрешения.

Литература:

1. Прилуцкий В.С. Анализ существующих методов обработки разноспектральных аэрокосмических данных в задаче идентификации несанкционированных объектов размещения отходов / В.С. Прилуцкий, С.Н. Терещенко // Сборник научных статей Семьдесят третий всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль: ЯГТУ – 2020. – С. 971-974.
2. Официальный сайт ООО «Иннотер» Мониторинг полигонов ТБО и обнаружение стихийных мусоросвалок по данным космической съемки [Электронный ресурс] // Иннотер – 2014. Режим доступа: <https://innoter.com/articles/monitoring-poligonov-tbo-i-obnaruzhenie-stikhiynykh-musorosvalok-po-dannym-kosmicheskoy-semki/> (дата обращения: 20.01.2020).
3. O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation" in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI, Cham, Switzerland:Springer, vol. 9351, pp. 234-241, 2015.

4. Сайт Хабр «Методы оптимизации нейронных сетей» [Электронный ресурс] // Хабр <https://habr.com/ru/post/318970/> Режим доступа:

5. Прилуцкий В.С. метод повышения разрешения мультиспектральных снимков дистанционного зондирования Земли // Сборник научных трудов 9-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития». Курск – 2020 – С 103-107.

АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЧ-УСТРОЙСТВ

А.С. Сальников, Т. Файль, Ю.А. Новичкова

Томский государственный университет систем управления и

радиоэлектроники, лаборатория «50ohm Lab»

г. Томск, andrei.salnikov@main.tusur.ru

В статье рассматриваются кластерный анализ параметров рассеяния. Описаны алгоритмы кластерного анализа, процедура подготовки тестовых данных и результаты численного эксперимента. Автоматическое разбиение электронных устройств по группам может использоваться при статистическом контроле.

Cluster analysis for S-parameters are presented. Cluster analysis algorithms, test data generation and numerical studies results are presented. Automated clustering is useful during statistical process control of electronic devices.

Кластерный анализ применяется для контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов. В статье [1] рассмотрены различные алгоритмы кластеризация, применяемые для анализа параметров электронной компонентной базы с точки зрения качества технологического процесса и радиационной стойкости изделия, а также комбинирование алгоритмов для повышения точности определения дефекта. В работе [2] рассмотрены методы обнаружения пространственных кластеров микросхем с дефектами на полупроводниковой пластине, позволяющие ускорить обнаружение сбоя технологического процесса. В [3] предложен алгоритм анализа данных, который использует корреляционный график и методы кластерного анализа для оперативного получения шаблона распределения параметров схем по подложке и сопоставления с

известными причинами сбоя процессов. Авторы работы [4] провели анализ шаблонов обнаружения дефектов и их сопоставления одному из кластеров, соответствующих определенной причине нарушения технологического процесса.

Ключевой характеристикой СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) являются параметры рассеяния. Разброс технологических параметров при изготовлении элементов СВЧ МИС в некоторых случаях приводят к появлению нескольких групп элементов с близкими параметрами (кластеров). В данной статье рассматривается возможность автоматического определения групп со сходными параметрами с помощью кластерного анализа. Это позволяет упростить процедуру статистической обработки результатов измерений, а также, возможно, определять кластеры, даже если те не определяются визуально.

В данной работе решалась задача кластеризации измерений параметров рассеяния. Параметры рассеяния представляют собой матрицу комплексных чисел 2×2 , ее элементы S_{11} и S_{22} представляют коэффициенты отражения, а S_{21} и S_{12} – коэффициенты передачи. Для упрощения будем рассматривать только модуль комплексного значения, перейдя таким образом к вещественным числам.

Для проверки алгоритмов кластеризации были подготовлены тестовые данные. Данные генерировались на основе линейной модели, представленной на рис. 1. Для моделирования технологического разброса параметры модели варьировались случайным образом по нормальному закону, для разных кластеров изменялось математическое ожидание распределения. Были сгенерированы 5 кластеров по 10 образцов в каждом. На рис. 2 показана полученная частотная зависимость S_{21} .

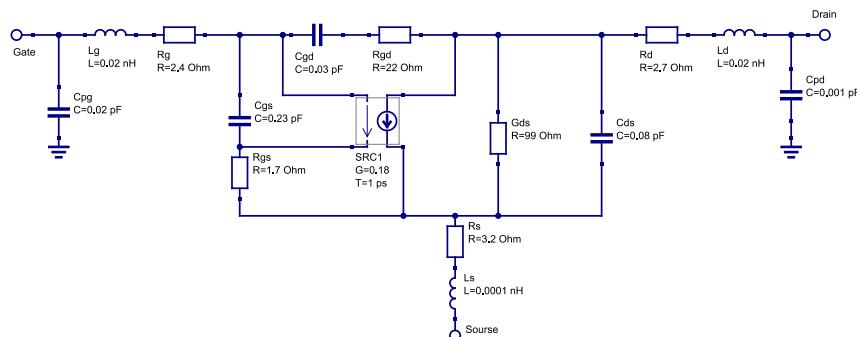


Рис. 1 – Малосигнальная модель СВЧ-транзистора

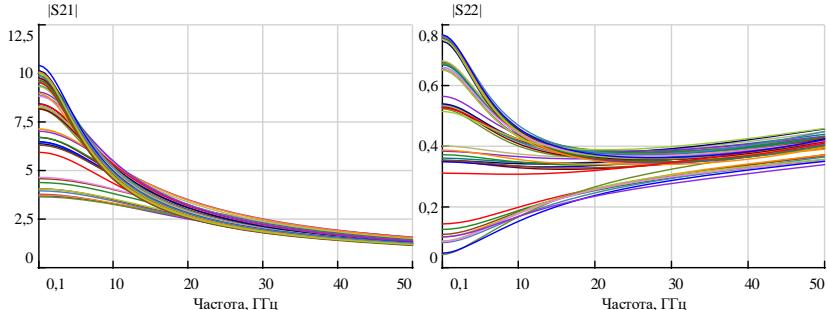


Рис. 2 – Частотная зависимость $|S21|$ полученных исходных данных

Параметры рассеяния имеют частотную зависимость. Поэтому для кластеризации использовались методы, разработанные для временных рядов (оба объекта представлены набором данных, зависящих от некоторой переменной – времени или частоты). Одним из самых простых методов кластеризации временных рядов является представление каждого временного ряда из n наблюдений в виде точки в n -мерном пространстве и применение к ним метода k -средних. При этом различают несколько метрик, выражающих схожесть временных рядов. Пусть два временных имеются два временных ряда $x = (x_1, \dots, x_n)$ и $y = (y_1, \dots, y_n)$. Тогда евклидова метрика для этих рядов вводится как

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}.$$

При анализе временных рядов целесообразно сравнивать форму сигнала, а сдвиг по времени игнорировать. Для оценки такого подобия вводятся метрики, например, Dynamic Time Warping (DTW), которая определяется как:

$$DTW(x, y) = \min_{\pi} \sqrt{\sum_{(i, j) \in \pi} d(x_i, y_j)^2},$$

где $\pi_k = (i_k, j_k)$, $0 \leq i_k \leq n$, $0 \leq j_k \leq n$. Метрика DTW рассчитывает расстояние между каждым элементом ряда x и ближайшим к нему элементом из ряда y . Недостатком метрики DTW является недифференцируемость. Чтобы избавится от этого недостатка вместо операции выбора минимального значения вводят оператор soft-min следующим образом [5]. Пусть выбирается минимальное значение из набора (a_1, \dots, a_n) , тогда

$$\text{soft-min}_{\gamma}(a_1, \dots, a_n) = -\gamma \log \sum_i e^{-a_i/\gamma},$$

где γ – это параметр работы алгоритма. Метрика на основе такого оператора называется Soft-DTW.

С использованием метода k -средних на основе всех трех метрик проведена кластеризация сгенерированных параметров рассеяния. Для повышения достоверности перед кластеризацией файлы перемешивались случайным образом. Также для проверки была проведена нормировка параметров рассеяния, далее будем обозначать исходные данные как $|S_{ij}|$, а их нормированную версию как $|\widetilde{S}_{ij}|$. Поскольку в данном случае распределение по кластерам известно заранее, в качестве оценки точности используем процент верно классифицированных параметров рассеяния. Результаты оценки приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Доля верно классифицированных образцов для каждого из анализируемых параметров рассеяния

Метрика	$ S_{11} $	$ \widetilde{S}_{11} $	$ S_{12} $	$ \widetilde{S}_{12} $	$ S_{21} $	$ \widetilde{S}_{21} $	$ S_{22} $	$ \widetilde{S}_{22} $
Эвклидова	1,0	1,0	0,94	0,98	0,92	1,0	1,0	0,5
DTW	1,0	1,0	0,84	0,98	0,74	1,0	1,0	0,64
Soft-DTW	0,74	0,74	0,96	0,72	0,68	0,74	1,0	0,66

Численный эксперимент показывает, что для данных наибольшую точность обеспечивает применение эвклидовой метрики и анализ на ненормированных данных.

В настоящей статье показано применение кластеризации временных рядов к задаче распределения СВЧ-элементов в группы, возникающие при разбросе технологических параметров, на основе их параметров рассеяния. Показано, что использованные методы с высокой достоверностью определяют классы на модельных данных. При этом нормировка параметров может ухудшить точность работы методов. Дальнейшими задачами работы могут стать автоматическое определение числа кластеров, сбор большей статистики, оценка влияния измерительного шума на точность кластеризации и другие.

Литература:

- Rozhnov I. P. Ensembles of clustering algorithms for problem of detection of homogeneous production batches of semiconductor devices / I. P. Rozhnov, V. I. Orlov, L. A. Kazakovtsev // OPTA-SCL 2018 - Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications – 2018. - C. 338-348.

2. Spatial Pattern Recognition with Adjacency-Clustering: Improved Diagnostics for Semiconductor Wafer Bin Maps / A. A. Ezzat [et al.] – 2020. - 30 с. - (Препринт arXiv)
3. Gallo C. Wafer Bin Map “Relaxed” Clustering Algorithm for Improving Semiconductor Production Yield / C. Gallo, V. A. Capozzi // Open Computer Science. – 2020. – Т. 10. – №. 1. – С. 231-245.
4. Kim J., Lee Y., Kim H. Detection and clustering of mixed-type defect patterns in wafer bin maps / J. Kim, Y. Lee, H. Kim // Iise Transactions. – 2018. – Т. 50. – №. 2. – С. 99-111.
5. Cuturi M. Soft-DTW: a differentiable loss function for time-series / M. Cuturi, M. Blondel // – 2017. - 23 с. - (Препринт arXiv).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕАНСОВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ МЕЖДУ ЗЕМНЫМИ СТАНЦИЯМИ

Е.Д. Подкаминер, В.С. Старшинов, С.Г. Цапко
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет,
г. Томск, vss21@tpu.ru

В статье представлены описание проблемы и аспекты решения задачи управления орбитальной группировкой космических аппаратов земными станциями, в том числе алгоритм распределения сеансов связи и имитационная модель распределения сеансов связи с заданными ограничениями.

The article presents the problem and aspects of solving the problem of controlling the orbital constellation of spacecraft by earth stations, including an algorithm for the distribution of communication sessions and a simulation model of the distribution of communication sessions with specified restrictions.

В настоящий момент число проектов, основанных на орбитальных группировках космических аппаратов (ОГ КА), постоянно увеличивается. Вместе с тем растет потребность в увеличении количества и продолжительности сеансах связи (СС) между космическими аппаратами (КА) и земными станциями (ЗС). Увеличение ОГ в скором времени повлечет за собой возрастание требований к информационному обеспечению, что приведет к повышению пропускной способности каналов связи. Для своего функционирования КА требуют постоянного контроля и обслуживания со стороны оператора на ЗС. Из-за отсутствия физического доступа к КА, а также

большого количества КА и особенностей управления для разных поколений КА, контроль и обслуживание становятся затруднительными для операторов ЗС. Хранить все ограничения в определенном формате и при этом уметь распределять ЗС для обслуживания КА в динамично меняющихся условиях человеку не под силу. Также управление каждым КА проблематично по причине ограничений зоны радиовидимости (ЗРВ) и различной функциональности каждой ЗС. Поскольку все эти ограничения влияют на оперативное решение задачи распределения сеансов между КА и ЗС, а в центре управления полётами средства решения этой задачи не оптимальны, задача автоматизированного планирования и автоматического составления графика СС КА и ЗС является актуальной и востребованной.

Для создания инструмента, на основе которого составляется расписание для системы КА и ЗС с динамическими параметрами, необходимо разработать алгоритм распределения СС между ЗС [1].

Сформируем аналитическое описание работы алгоритма:

Шаг 0. Ввод исходных данных в систему: подсчет количества матриц ЗРВ для ЗС, подсчет строк и столбцов в матрице ЗС и ввод нулевой матрицы для обслуженных КА.

Шаг 1. Цикл перебирает матрицы ЗРВ каждой ЗС.

Шаг 2. Цикл перебирает все КА данной матрицы.

Шаг 3. Если имеется запись о сеансе КА в результирующей матрице (на протяжении всего временного отрезка равна 0), то переход к *Шагу 4*, иначе КА уже зарезервировал ЗРВ в матрице и возврат к *Шагу 2*.

Шаг 4. Цикл перебирает количество необслуженных временных промежутков.

Шаг 5. Если КА виден на протяжении интервала времени суммы выбранной зоны i и количества временных промежутков для обслуживания, то переход к *Шагу 6*, иначе возврат к *Шагу 4*.

Шаг 6. Если выбранный интервал в *Шаге 5* не занят другим КА, то ЗС свободна и переход к *Шагу 7*, иначе ЗС занята и возврат к *Шагу 4*.

Шаг 7. Интервал, требуемый для обслуживания, записывается в матрицу для КА – номер ЗС для обслуживания, а в матрицу ЗРВ записывается КА, который будет обслуживаться в данном интервале.

Шаг 8. Вывод матриц расписания для КА, расписания для ЗС [2-3].

Блок-схема описанного алгоритма представлен на рис. 1.

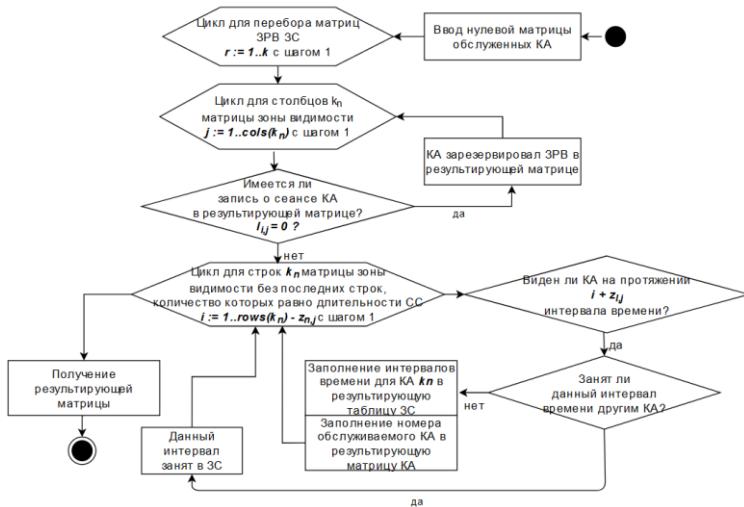


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма для распределения СС между ЗС

Исходя из описанного выше алгоритма, необходимо показать его работоспособность. Для этого надо реализовать имитационную модель в AnyLogic, с помощью которой можно будет проверить занятость космическими аппаратами ЗС. Блок-схема алгоритма работы модели представлена на рис. 2.

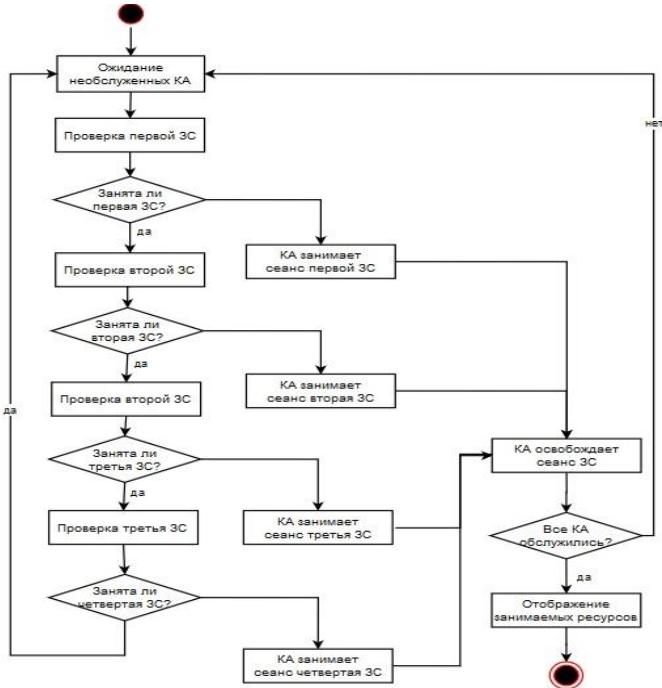


Рис. 2 – Блок-схема работы модели

Сначала генерируются заявки в виде КА для их дальнейшего обслуживания, которые будут помещаться в очередь. После помещения заявок в очередь будет производиться проверка работоспособности ЗС по порядку. Если текущая ЗС уже занята другим КА, то проверяется следующая ЗС. В случае если все ЗС заняты, КА помещается обратно в очередь. В случае, если ЗС не занята или освобождена, то КА занимает эту ЗС. Следующий в очереди КА занимает сеанс связи с ним и освобождает по завершению зоны видимости.

На основании представленного алгоритма обслуживания КА ЗС необходимо выбрать, а каком виде будет реализована модель: в двухмерном виде или с использованием трехмерной графики. Ввиду отсутствия необходимости представления наглядности, как космических аппаратов, так и земных станций, а также необходимости учета количественных данных при обработке КА было принято решение о реализации модели в двухмерном виде [4]. Имитационная модель обслуживания КА ЗС представлена на рис. 3.

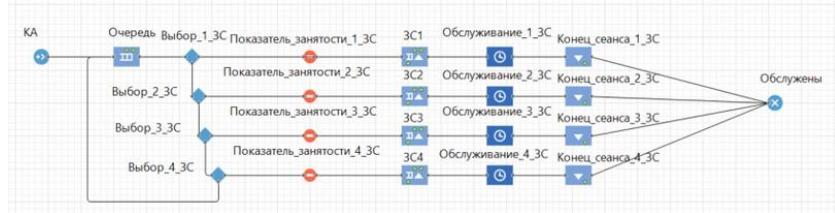


Рис. 3. – Имитационная модель обслуживания КА ЗС

Для исследования работы модели на вход КА поступают данные, которые формируют значение, соответствующее 24 космическим аппаратам. Полученные результаты модели представлены на рис. 4.

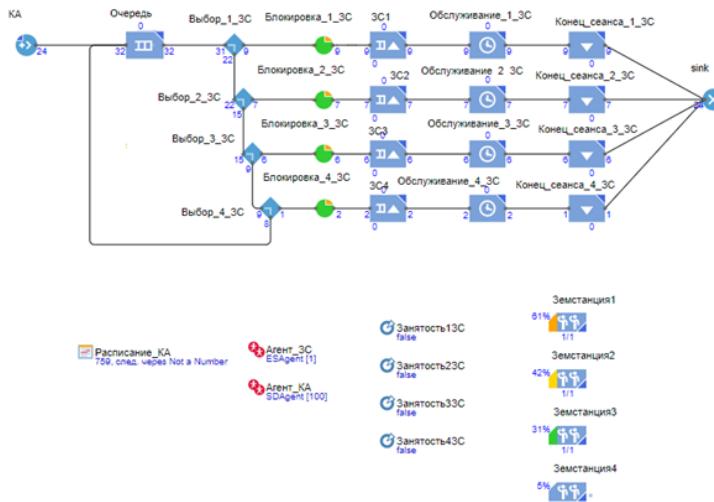


Рис. 4 – Результаты моделирования

В результате, был реализован алгоритм распределения СС между КА и ЗС, который был апробирован на имитационной модели в AnyLogic. КА распределились по ЗС, и все КА смогли зарезервировать СС, что показывает высокую эффективность его работы (24 заявки в блоке КА были переданы в блок «Обслужены»). Через очередь прошли 32 заявки, судя по полученным результатам. Это связано с тем, что 8 раз КА не могли обслужиться из-за занятости всех ЗС, поэтому были помещены обратно в очередь. Алгоритм позволил обслужить все КА только определенной ЗС без переключения между ними, что говорит о выполнении поставленной задачи.

Литература:

1. Микрин, Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения: науч. изд. / Е. А. Микрин. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2003. – С. 336.
2. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. – 2002. – № 6. – С. 45-61.
3. Метод адаптивного планирования сеансов связи ЦУП с группировкой КА по критериям надежности и экономичности связи / Калашников Д.А., Соловьев В.А., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Майоров И.В., Лахин О.И., Тихонов Д.И., Ворожейкин В.Н.; вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 58–70.
4. Т.Т. Газизов, Моделирование систем // Учебное пособие. – Томск: Изд-во: Томский государственный педагогический университет, 2016. – С. 2.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПАССАЖИРОПОТОК МЕТРОПОЛИТЕНОВ В РАДИУСЕ ШАГОВОЙ ДОСТУПНОСТИ

Д.Е. Ушаков, Д.В. Карелин

**Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), г. Новосибирск, dmitrii@mail.ru**

В исследовании рассмотрено 14 городов имеющих метрополитен. Проведена оценка взаимосвязи жилой площади зданий в шаговой доступности от станций метро на пассажиропоток. Метод исследования регрессионный анализ. В результате выявлена линейная зависимость между исследуемыми величинами и получено уравнение регрессии.

The study has viewed 14 cities have subway. This paper has estimated relationship between residential space of houses at walking distance from metro stations and metro passenger traffic. Regression analysis was used. The result of research has revealed linear relationship between residential space of houses and passenger traffics. There has received a regression equation.

Общественный транспорт является важной составной частью «городской ткани» обеспечивая взаимосвязь всех его элементов. Для развития транспортной системы необходимо лучше понять степень влияния факторов формирующих пассажиропоток [3]. Это позволит проводить эффективную политику улучшения общественного транспорта.

В работе предложено проанализировать зависимость пассажиропотока метро от жилой площади зданий, как основного влияющего фактора. Ранее была выявлена линейная зависимость между планировочной структурой города Новосибирска в шаговой доступности от станций и пассажиропотоком метрополитена [1]. Гипотеза исследования – линейная зависимость от плотности жилой застройки характерна для других городов имеющих метрополитены. Для анализа выбраны метрополитены в городах: Новосибирск, Нижний Новгород, Самара, Екатеринбург, Тбилиси, Баку, Ереван, Ташкент, Харьков, Днепропетровск, Киев, Минск, Казань, Алматы.

Метод исследования.

Для оценки влияния жилой застройки на пассажиропоток метро использовался метод регрессионного анализа [2]. Регрессия рассматривалась как парная: независимая переменная – жилая площадь зданий в радиусе шаговой доступности; зависимая переменная – пассажиропоток метро. Исходные данные были следующие:

1. Площадь домов в радиусе шаговой доступности от существующих станций метрополитена. Данные были получены из открытого источника – OpenStreetMap.
2. Пассажиропоток метрополитена. В работе использованы количественные данные 2019 года, полученные от Международной Ассоциации «Метро».
3. Радиус шаговой доступности принят исходя из средней величины скорости движения 2,9 км/ч: 10 мин. – 0÷480 м.

Результаты.

Для оценки существования зависимости между пассажиропотоком метро и жилой площадью зданий была построена диаграмма рассеяния (Рисунок 1). Зрительная оценка диаграммы позволила предположить существование линейной зависимости между величинами. График линейной регрессии подтвердил гипотезу.

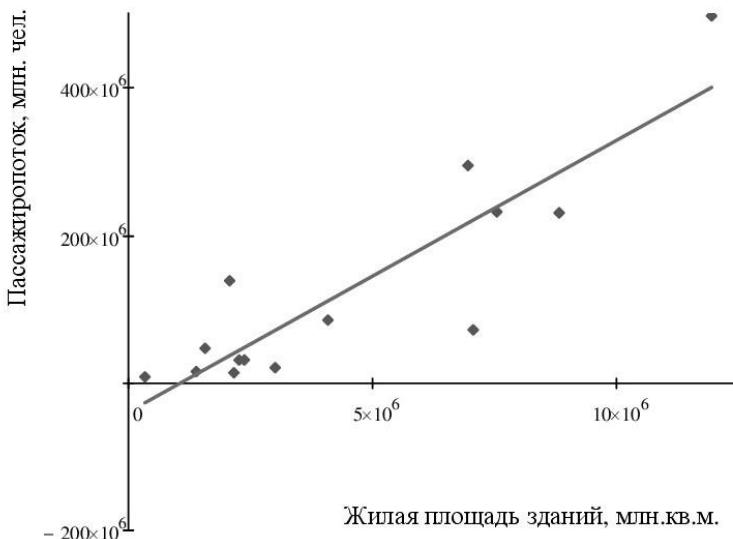


Рис. 1 – Диаграммы рассеяния с графиком линейной регрессии.

Полученная линейная функция с достаточной достоверностью описывают зависимость между жилой площадью зданий и пассажиропотоком метро (Таблица 1), т.к. коэффициент корреляции имеет значение выше 0,75.

Таблица 1. Результаты регрессионного анализа.

Радиус шаговой доступности, м	Коэффициенты		
	Корреляции	Детерминации	Эластичности
0÷480 (10 мин)	0,89	0,78	1,327

Получено уравнение регрессии:

$$y(x) = -4 \cdot 10^7 + 36,8 \cdot x$$

Коэффициент уравнения $-4 \cdot 10^7$ по результатам проверки является не значимым, но уравнение в целом и коэффициент 36,8 по результатам проверок являются значимыми.

Заключение

В исследовании были проанализированы пассажиропотоки 14 метрополитенов за 2019 год в радиусе шаговой доступности 480 м от станций метро. Установлено, что жилая площадь зданий формирует пассажиропоток метрополитенов на 78%. Это подтверждает гипотезу, что жилая застройка является основным определяющим фактором

пассажиропотока и взаимосвязана линейно. Результаты исследования могут быть применены для рациональной планировки территорий в зоне пешеходной доступности станций.

Не исследованной областью является степень влияния коммерческой недвижимости в шаговой доступности станций, а также выполняется ли линейная зависимость между жилой площадью и пассажиропотоком для метрополитенов в городах не постсоветского пространства.

Литература:

1. Ушаков Д.Е., Карелин Д.В. Оценка возможности прогнозирования пассажиропотока Новосибирского метрополитена на основе плотности жилого фонда // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XXIV междунар. (XXVII Екатеринбургской, II Минской) науч.-практ. конф. – Минск: Изд-во БНТУ, 2018. – С. 126-136.
2. Воскобойников Ю. Е. Построение регрессионных моделей в пакете MathCAD : учеб. пособие / Ю. Е. Воскобойников; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 220 с.
3. Александр К.Э., Руднева Н.А. Скоростной рельсовый транспорт в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 140 с.

АППРОКСИМАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ

Н.Ю. Филипенко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikita1994@ngs.ru**

Представлены результаты аппроксимации сигнала, состоящего из трех сгенерированных импульсов с разными частотами и длительностью, а также реального сейсмического импульса, с помощью параметрической модели. Приведены изображения сигналов и их аппроксимации параметрической моделью. Также представлены критерии оценки точности аппроксимации сигналов и их значения.

The results of approximating a signal consisting of three generated pulses with different frequencies and durations, as well as a real seismic pulse, using a parametric model are presented. The images of signals and their approximation by a parametric model are presented. Criteria for evaluating the accuracy of signal approximation and their values are also presented.

При работе с реальным сигналом необходимо учитывать, что он получен путем наложения нескольких импульсов с разной частотой и длительностью. Задачей аппроксимации сигнала является найти каждый импульс с разными характеристиками частоты и длительности и аппроксимировать их отдельно.

В данной работе приведена аппроксимация сигнала, состоящего из трех генерированных импульсов с разными частотами и длительностью, с помощью параметрической модели. [1]

Параметрическая модель (1):

$$s(X, t) = cA \frac{\cos(kX - \omega t + \theta)}{\operatorname{ch}\left(\frac{(X-Vt)}{T}\right)} \quad (1)$$

В параметрической модели c – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида эволюционного уравнения, A и T_0 – амплитуда и длительность импульса, $X = x - x_0$ – расстояние между сейсмоприемником и источником импульса, $\omega = kv$ – угловая частота, которая равна произведению волнового числа k и фазовой скорости волны v , θ – фазовый сдвиг волны. На рисунке 1 представлены 3 импульса, которые, не накладываясь, располагаются последовательно друг за другом, образуя импульс.

Все 3 импульса получены с помощью параметрической модели 1 и отличаются следующими параметрами: $\omega_1=\omega_2=2$ Гц, $\omega_3=4$ Гц и $T_1=1$ с, $T_2=0.5$ с, $T_3=2$ с.

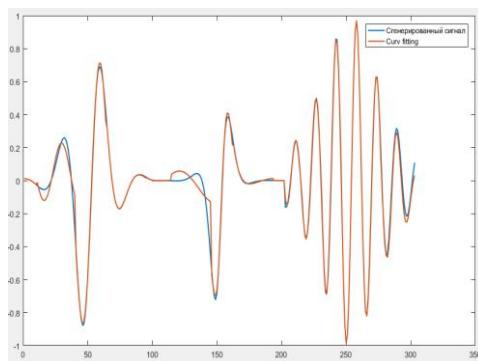


Рис. 1 – Сигнал из трех генерированных импульсов (синий) и его аппроксимация (красный)

Для улучшения качества аппроксимации, программа автоматически разбила данный сигнал на 3 участка и аппроксимировала каждый по отдельности.

Для того чтобы показать качество аппроксимации сигнала, приведены критерии точности подбора коэффициентов параметрической модели (среднее значение для 3 участков).

Сумма квадратов ошибок (*SSE*): 0.0586;

Квадрат смешанной корреляции (*R-square*): 0.9564;

Уточненный квадрат смешанной корреляции (*Adjusted R-square*): 0.9403;

Корень из среднего для квадрата ошибки (*RMSE*): 0.0556;

Средняя абсолютная ошибка (*MAE*): 1.412e-07.

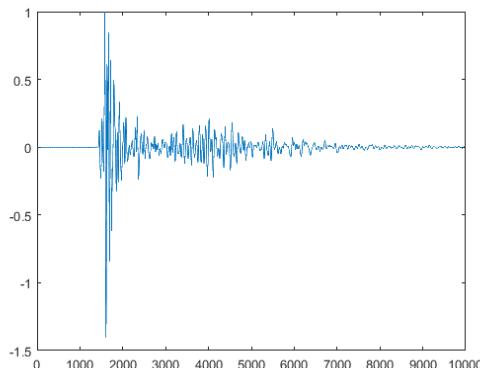


Рис. 2 – Изображение реальной сейсмограммы (10000 отсчетов)

На рисунке 2 показан пример реального сигнала, который необходимо аппроксимировать. Для аппроксимации был взят участок с отсчетом номер 2500 по 7250, так как в этой области хранится полезная информация о сигнале.

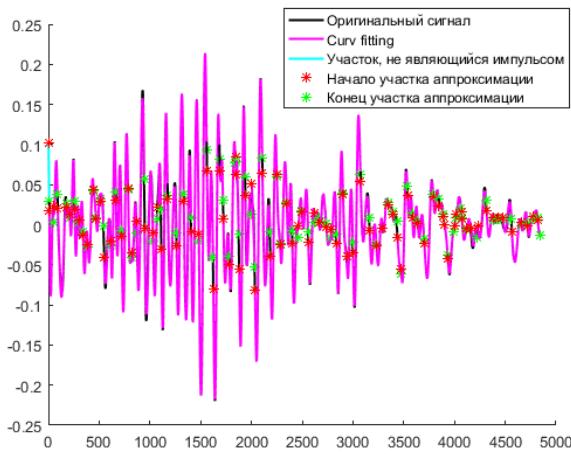


Рис. 3 – Участок 2500:7250 и его аппроксимация

Данный участок сейсмоподробности длиной в 4750 отсчетов программа разбила на 90 частей и аппроксимировала каждую часть отдельно.

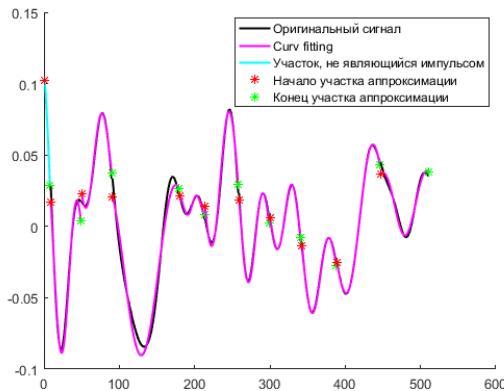


Рис. 4 Участок 2500:3000 и его аппроксимация

На рисунке 4 показан участок в 500 отсчетов для того, чтобы лучше увидеть работу программы. На данном участке программа нашла 10 импульсов и аппроксимировала каждый.

Для того чтобы показать качество аппроксимации участка длиной 4750 отсчетов, приведены критерии точности подбора коэффициентов (среднее значение для 90 участков).

Сумма квадратов ошибок (*SSE*): 2.6028e-08;

Квадрат смешанной корреляции (*R-square*): 0.9512;

Уточненный квадрат смешанной корреляции (*Adjusted R-square*): 0.9322;

Корень из среднего для квадрата ошибки (*RMSE*): 4.4745e-05;

Средняя абсолютная ошибка (*MAE*): 1.3836e-07.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Параметрическая модель позволяет находить отдельные импульсы в сигнале и аппроксимировать их по отдельности, находя у них информацию о частоте и длительности.

Литература:

1. Модель сейсмического импульса, возникающего при гидравлическом разрыве пласта / Е.В. Рабинович, К.С. Ганчин, И.М. Пупышев, Г.С. Шефель // Математические структуры и моделирование. – 2014. №4. – С. 105 - 111

УМЕНЬШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ВЗВЕШЕННЫХ ГРАНИЦ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

М.Д. Хо, С.В. Муравьев

Томский политехнический университет,

г. Томск, minhdai2410@gmail.com

Предложен метод взвешенных границ (MWB), который позволяет на основе линейного программирования с повышенной точностью оценить значения измеряемых величин и их неопределенности. Проведена экспериментальная апробация MWB на примере задачи уменьшения неопределенности типа В результатов измерений сопротивлений.

A method of weighted bounds (MWB) is proposed, which makes it possible on the base of linear programming with improved accuracy to estimate the values of the measured quantities and their uncertainties. An experimental verification of the MWB by the example of problem of reducing the type B uncertainty of resistance measurement results is carried out.

Пусть имеются n измеряемых величин X_1, \dots, X_n , значения которых будем представлять в векторной форме $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$. В каждом i -ом

опыте совокупных измерений [1], значение измеряемой величины линейно зависит от \mathbf{x} с матрицей плана \mathbf{K} . Обозначим вектор результатов измерений через $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_N)^T$, вектор погрешностей измерений через $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_N)^T$.

Зависимость вектора \mathbf{y} от \mathbf{x} имеет следующий вид:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Kx} + \mathbf{e}. \quad (1)$$

В данной работе предлагается метод взвешенных границ (МВГ), предназначенный для оценивания значений измеряемых величин и их неопределенностей.

Когда погрешности e_i распределяются равномерно в интервале $[a_i, b_i]$, $b_i > a_i$, функции плотности распределения для y_i имеют вид [2]:

$$f_i(y_i, \Delta_i | \hat{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 0.5\Delta_i^{-1}, & \text{если } e_i \in [-\Delta_i, \Delta_i] \\ 0, & \text{если } e_i \notin [-\Delta_i, \Delta_i], \end{cases} \quad (2)$$

где $\Delta_i = 0.5(b_i - a_i) > 0$, $i = 1, \dots, N$.

Функция правдоподобия для вектора \mathbf{y} имеет вид:

$$L(\mathbf{y}, \Delta | \hat{\mathbf{x}}) = \prod_{i=1}^N f_i(y_i, \Delta_i | \hat{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 2^{-N} \prod_{i=1}^N \Delta_i^{-1}, & \text{если } e_i \in [-\Delta_i, \Delta_i] \\ 0 \text{ в противном случае,} & \end{cases} \quad (3)$$

где $\Delta = (\Delta_1, \dots, \Delta_N)^T$.

В МВГ оценка для \mathbf{x} получается путем максимизации (3), т.е.:

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \max_{\hat{\mathbf{x}}} L(\mathbf{y}, \Delta | \hat{\mathbf{x}}). \quad (4)$$

Из (3) видно, что $L(\mathbf{y}, \Delta | \hat{\mathbf{x}})$ не зависит от $\hat{\mathbf{x}}$ и достигает максимального значения $2^{-N} \prod_{i=1}^N \Delta_i^{-1}$ при $-\Delta_i \leq e_i \leq +\Delta_i$, $i = 1, \dots, N$, т.е.:

$$y_i - \Delta_i \leq k_{i1}x_1 + \dots + k_{in}x_n \leq y_i + \Delta_i. \quad (5)$$

Для каждой x_j найдем оценки ее нижней границы \hat{x}_j^{lower} и верхней границы \hat{x}_j^{upper} , $j = 1, \dots, n$. Оценка \hat{x}_j^{lower} получается путем максимизации следующего выражения:

$$\hat{x}_j^{\text{lower}} = \max_{\alpha^{(j)+}, \alpha^{(j)-}} [(\boldsymbol{\alpha}^{(j)+} - \boldsymbol{\alpha}^{(j)-})\mathbf{y} - (\boldsymbol{\alpha}^{(j)+} + \boldsymbol{\alpha}^{(j)-})\Delta], \quad (6)$$

при условиях:

$$(\boldsymbol{\alpha}^{(j)+} - \boldsymbol{\alpha}^{(j)-})\mathbf{Kx} = x_j^+ - x_j^-,$$

где $\boldsymbol{\alpha}^{(j)+} = (\alpha_1^{(j)+}, \dots, \alpha_N^{(j)+})$, $\boldsymbol{\alpha}^{(j)-} = (\alpha_1^{(j)-}, \dots, \alpha_N^{(j)-})$, $\alpha_i^{(j)+} \geq 0$, $\alpha_i^{(j)-} \geq 0$,
 $x_j = x_j^+ - x_j^-$, $x_j^+ \geq 0$, $x_j^- \geq 0$.

Оценка \hat{x}_j^{upper} получается путем минимизации выражения:

$$\hat{x}_j^{\text{upper}} = \min_{\boldsymbol{\theta}^{(j)}-\boldsymbol{\theta}^{(j)+}} [(\boldsymbol{\theta}^{(j)+} - \boldsymbol{\theta}^{(j)-})\mathbf{y} + (\boldsymbol{\theta}^{(j)+} + \boldsymbol{\theta}^{(j)-})\Delta], \quad (7)$$

при условиях:

$$(\boldsymbol{\theta}^{(j)+} - \boldsymbol{\theta}^{(j)-})\mathbf{K}\mathbf{x} = x_j^+ - x_j^-,$$

где $\boldsymbol{\theta}^{(j)+} = (\theta_1^{(j)+}, \dots, \theta_N^{(j)+})$, $\boldsymbol{\theta}^{(j)-} = (\theta_1^{(j)-}, \dots, \theta_N^{(j)-})$, $\theta_i^{(j)+} \geq 0$, $\theta_i^{(j)-} \geq 0$,

$$x_j = x_j^+ - x_j^-, \quad x_j^+ \geq 0, \quad x_j^- \geq 0.$$

Задачи линейного программирования (6) и (7) решаются с помощью стандартного программного обеспечения, например, MATLAB.

Оценка измеряемой величины x_j определяется следующим образом:

$$\hat{x}_j = 0,5(\hat{x}_j^{\text{lower}} + \hat{x}_j^{\text{upper}}). \quad (8)$$

Предложенный МВГ был экспериментально исследован в ходе статистических испытаний Монте-Карло [3] в сравнении с методом аддитивных совокупных измерений (АСИ) и методом непосредственной оценки (МНО) [1] на примере задачи уменьшения неопределенности типа В окончательных результатов измерений, вызванной максимальной допускаемой погрешностью (МДП) цифрового средства измерения (СИ). Пусть имеются пять резисторов R_k , значения сопротивлений x_k , $k = 1, \dots, 5$, которых нужно оценить. Номинальные значения сопротивлений x_k^* резисторов R_k были выбраны равными 4420, 4420, 1100, 1100 и 100 Ом соответственно.

С помощью мультиметра UT61Е были проведены совокупные измерения, подробно описанные в [1]. Для каждого результата измерения y_i , $i = 1, \dots, N = 31$, определили МДП Δ_i . Затем с помощью метода Монте-Карло была сформирована матрица наблюдений $\mathbf{Z} = [z_{ij}]$, где $z_{ij} = y_i + e_{ij}$, погрешность e_{ij} распределена равномерно на отрезке $[-\Delta_i; +\Delta_i]$; $j = 1, \dots, M$; $M = 10^4$ – число испытаний Монте-Карло.

В каждом j -ом испытании для получения оценок R_k были применены методы МНО, АСИ и МВГ. В каждом методе определяли среднее значение \hat{x}_k , стандартную неопределенность $u(\hat{x}_k)$, верхнюю и нижнюю границы 95 %-ого интервала охвата для оценок R_k .

Для каждого метода, абсолютное отклонение ξ_k для оценки \hat{x}_k от его номинального значения x_k^* вычисляли как $\xi_k = |\hat{x}_k - x_k^*|$.

Поскольку в методе АСИ наибольшее сопротивление давало наибольшее повышение точности [1], в данной работе рассмотрим результаты только для R_1 и R_2 . В таблице 1 показаны отклонения ξ_k ($k = 1, 2$) и неопределенности для оценок сопротивлений R_1 и R_2 ,

полученные методами МНО, АСИ и МВГ. Из таблицы видно, что методы АСИ и МВГ дают меньшие значения ξ_k и $u(\hat{x}_k)$, чем МНО, причем, в МВГ стандартные неопределенности значительно меньше по сравнению с АСИ. По сравнению с МНО, МВГ позволяет уменьшить стандартные неопределенности в 3,8-4,1 раза, а АСИ – в 2,8-2,9 раза.

Таблица 1 – Сравнение отклонений и неопределенностей оценок сопротивлений, полученных различными методами

	x_k^* , Ом	МНО		АСИ		МВГ	
		ξ_k , Ом	$u(\hat{x}_k)$, Ом	ξ_k , Ом	$u(\hat{x}_k)$, Ом	ξ_k , Ом	$u(\hat{x}_k)$, Ом
R ₁	4420	5,07	32,08	2,86	11,97	3,02	8,53
R ₂	4420	5,07	32,08	2,78	11,12	3,34	7,90

На рисунке 1 показаны: аппроксимация плотностей распределения вероятностей (GUM) для R₁, полученных применением Руководства по выражению неопределенности измерения (GUM) [4], и гистограммы для данной плотности распределения, полученные МНО, АСИ и МВГ. Границы вероятностно симметричного 95 %-го интервала охвата, полученные разными методами, показаны вертикальными линиями. Видно, что МНО дает аппроксимацию плотности равномерного распределения вероятностей для оценок сопротивлений R₁, а АСИ и МВГ – гауссовского распределения. При этом 95 %-й интервал охвата, полученный МВГ, является более узким, чем для АСИ. Это значит, что, с точки зрения уменьшения неопределенности оценок сопротивлений, МВГ дает лучший эффект, чем АСИ.

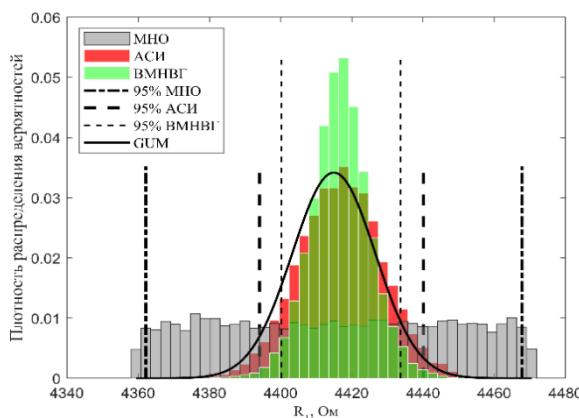


Рис. 1 – Аппроксимации плотности распределения вероятностей для R₁, полученные разными методами

Таким образом, предложенный метод взвешенных границ позволяет оценивать значения измеряемых величин и их неопределенности с повышенной точностью. Экспериментальная апробация МВГ в задаче уменьшения неопределенности типа В результатов измерений сопротивлений показала, что предложенный метод позволяет уменьшить неопределенности оценок сопротивлений в 3,8-4,1 раза по сравнению с методом непосредственной оценки.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 18-19-00203.

Литература:

1. Ho M.D., Muravyov S.V. Accuracy enhancement of measurand estimate on the base of additive combined measurements // Sensor Review. – 2020. – Vol. 40. – N 3. – P. 377–383.
2. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.
3. ГОСТ Р 54500.3.1-2011. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло. М.: “Стандартинформ”, 2013. – 82 с.
4. ГОСТ Р 54500.3-2011. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2012. – 107 с.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СТОХАСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДВУХЭТАПНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Ю.С. Четвертакова, О.С. Черникова
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, chetvertakova.2015@stud.nstu.ru**

В работе приводится процедура параметрической идентификации нелинейных моделей, сочетающая традиционный этап оценивания неизвестных параметров с идентификацией неучтенных возмущений.

The paper presents a procedure for parametric identification of nonlinear models, which combines the traditional stage of estimating unknown parameters with the identification of unaccounted disturbances.

Описание системы в терминах нелинейных математических моделей позволяет учитывать дополнительные факторы, обусловленные нелинейными законами природы, и проводить более качественный анализ объектов. Для получения модели с хорошими прогнозирующими свойствами необходимы информативные данные измерений и подходящая структура модели, способная точно описывать динамику процесса, поэтому при построении моделей нелинейных систем прибегают к методам параметрической идентификации. Однако, не всегда построенные модели обладают необходимой прогнозирующей способностью. Для более точного построения математической модели в работе предлагается дополнительно оценивать возмущения по измерениям остаточных разностей.

Рассмотрим следующую модель гауссовской нелинейной дискретной системы в пространстве состояний:

$$x(t_{k+1}) = f(x(t_k), u(t_k), t_k, \Theta) + w(t_k), \quad (1)$$

$$y(t_{k+1}) = h(x(t_{k+1}), t_{k+1}, \Theta) + v(t_{k+1}), \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

Здесь $x(t_k)$ – вектор состояния, $u(t_k)$ – детерминированный вектор управления, $w(t_k)$ – вектор шума системы, $y(t_{k+1})$ – вектор измерения, $v(t_{k+1})$ – вектор шума измерения, $f(\cdot)$ и $h(\cdot)$ – нелинейные функции, $\Theta = (\theta_1, \dots, \theta_p)$ – вектор неизвестных параметров (p – размерность вектора состояния).

Предположим, что:

- случайные векторы $w(t_k)$ и $v(t_{k+1})$ являются белыми гауссовскими шумами, для которых

$$\begin{aligned} E[w(t_k)] &= 0, \quad E[w(t_k)w^T(t_i)] = Q(t_k)\delta_{ki}, \\ E[v(t_{k+1})] &= 0, \quad E[v(t_{k+1})v^T(t_{i+1})] = R(t_{k+1})\delta_{ki}, \\ E[v(t_{k+1})w^T(t_i)] &= 0, \quad k, i = 0, 1, \dots, N-1. \end{aligned}$$

(здесь δ_{ki} – символ Кронекера);

- начальное состояние $x(t_0)$ имеет нормальное распределение с параметрами

$$E[x(t_0)] = \bar{x}(t_0), \quad E[[x(t_0) - \bar{x}(t_0)][x(t_0) - \bar{x}(t_0)]^T] = P(t_0)$$

и не коррелирует с $w(t_k)$ и $v(t_{k+1})$ при любых значениях переменной k .

Для модели (1)–(2) с учетом указанных априорных предположений приведем двухэтапную процедуру параметрической идентификации на

основе метода максимального правдоподобия с применением сигмачечного фильтра Калмана.

Этап 1. Оценивание неизвестных параметров математической модели [1]

1. Решим задачу параметрической идентификации на основе метода максимального правдоподобия

$$\hat{\Theta} = (\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_p) = \arg \min_{\theta \in \Omega_\Theta} \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \ln \det B(t_{k+1}) + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \varepsilon(t_{k+1})^T B^{-1}(t_{k+1}) \varepsilon(t_{k+1}),$$

$\varepsilon(t_{k+1})$ и $B(t_{k+1})$ находятся по уравнениям сигма-точечного фильтра Калмана.

2. Построим по уравнениям сигма-точечного фильтра Калмана $\hat{x}(t_{k+1} | t_k)$, $k = 0, \dots, N-1$ с использованием найденных на шаге 1 оценок параметров $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_p$.

Этап 2. Идентификация неучтенных возмущений по измерениям остаточных разностей [2]

1. Вычислим остаточные разности:

$$\Delta(t_{k+1}) = y(t_{k+1}) - \hat{y}(t_{k+1}), \quad k = 0, \dots, N-1,$$

$$\hat{y}(t_{k+1}) = h(\hat{x}(t_{k+1} | t_k), t_{k+1}, \hat{\Theta}).$$

2. Зададим модель $M(\tilde{\Theta})$ и оценим неизвестные параметры по вычисленным остаточным разностям $\Delta(t_{k+1})$.

3. Рассчитаем $\hat{\Delta}(t_{k+1})$, $k = 0, \dots, N-1$ с учетом найденных оценок $\hat{\Theta}$ на основе сигма-точечного фильтра.

4. Вычислим $\hat{y}^*(t_{k+1}) = \hat{y}(t_{k+1}) + \hat{\Delta}(t_{k+1})$, $k = 0, \dots, N-1$ с использованием найденного на шаге 3 прогноза $\hat{\Delta}(t_{k+1})$ и прогноза $\hat{y}(t_{k+1})$, найденного на шаге 1.

Рассмотрим следующую модель гауссовской нелинейной дискретной системы в пространстве состояний:

$$x(t_{k+1}) = 0.1x(t_k) + \frac{x(t_k)}{1 + x^2(t_k)} + 5.44 + w(t_k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (3)$$

$$y(t_{k+1}) = \frac{x^2(t_{k+1})}{\theta} + v(t_{k+1}), \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (4)$$

Априорные предположения имеют вид

$$Q(t_0) = 1, \quad R(t_1) = 0.1, \quad \bar{x}(t_0) = 1, \quad P(t_0) = 1, \quad N = 151, \quad \theta_{ucm.} = 20. \quad (5)$$

В качестве модели для оценки погрешностей прогнозирования была выбрана следующая регрессионная модель:

$$\Delta(t_{k+1}) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + b_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + b_2 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + \\ + c_1 \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right) + c_2 \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right), T = 50,$$

Далее оценки неизвестных параметров данной модели $a_0, a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ были получены на основе метода наименьших квадратов:

$$\hat{\Theta} = (\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{c}_1, \hat{c}_2) = (B^T B)^{-1} B^T \Delta(t_{k+1}),$$

где

$$B = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & \cos\left(\frac{2\pi t_1}{T}\right) & \sin\left(\frac{2\pi t_1}{T}\right) & \cos\left(\frac{4\pi t_1}{T}\right) & \sin\left(\frac{4\pi t_1}{T}\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_N & t_N^2 & \cos\left(\frac{2\pi t_N}{T}\right) & \sin\left(\frac{2\pi t_N}{T}\right) & \cos\left(\frac{4\pi t_N}{T}\right) & \sin\left(\frac{4\pi t_N}{T}\right) \end{bmatrix}.$$

Были вычислены следующие оценки параметров:

$$(\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{c}_1, \hat{c}_2) = (0.0031, -0.0002, 0.0085, 0.0002, 0.0067, 0.0075).$$

На основе полученных оценок параметров была построена модель и получены оценки остаточных разностей $\hat{\Delta}(t_{k+1})$. Результаты качества оценивания отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Численные результаты оценивания в пространстве откликов

$\hat{\Theta}, \hat{\Theta}$	$\ y - \hat{y}\ $	$\ y - \hat{y}^*\ $
$\hat{\Theta} = 19.65$	0.6359	0.6190
$\hat{\Theta} = (0.0031, -0.0002, 0.0085, 0.0002, 0.0067, 0.0075)$		

Данные результаты показывают, что модель, построенная на основе двухэтапной процедуры идентификации, является более точной по сравнению с моделью, полученной с использованием традиционной процедуры идентификации.

Таким образом, дополнительный анализ возмущений по измерениям остаточных разностей позволяет получить модель с наилучшей прогнозирующей способностью.

Литература:

1. Чубич В.М., Черникова О.С. Parametric identification based on the adaptive unscented Kalman // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование = Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2020. – № 2. – С. 121-129.
2. Бартенев В.А., Гречкоов А.К. Комбинированный алгоритм определения и прогнозирования параметров движения ИСЗ с использованием адаптации // «Космические исследования». – 1986. – №4. – С. 564 – 574.

**Секция ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ И ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РДТТ И
РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ**

К.Л. Алигасanova, Р.Ю. Бургомистренко

Национальный исследовательский

Томский государственный университет,

г. Томск, aligasanova@gmail.com

В работе представлены результаты расчета газодинамических характеристик течения с учетом потерь импульса на трение в проектируемых соплах. Решена задача определения величины коэффициента потери удельного импульса на трение для сопел разных типов с учетом влияния внешних факторов. Проведен сравнительный анализ полуэмпирической инженерной методики и методики, основанной на решении интегральных соотношений. Выполнены параметрические исследования и верификация численного алгоритма.

The presented work presents the results of calculating the gas-dynamic characteristics of the flow taking into account the momentum losses due to friction in the projected nozzles. The problem of determining the value of the coefficient of loss of specific impulse to friction for nozzles of different types, taking into account the influence of external factors, is solved. A comparative analysis of a semi-empirical engineering technique and a technique based on the solution of integral relations has been carried out. Parametric studies and verification of the numerical algorithm are carried out.

В настоящее время математическое моделирование течений в газодинамических трактах ракетных двигателей проводят с целью определения локальных параметров потока и интегральных характеристик, таких как тяга, удельный импульс, потери удельного импульса тяги, процессов тепломассообмена. Их определение является основной задачей на этапе теоретической проработки. Это связано с тем, что проектирование геометрии сопел требует расчета основных параметров течения потока, а также сопротивления трения по всей его длине. Это подчеркивает необходимость разработки программного обеспечения для математического моделирования поставленных задач проектирования сопел.

С точки зрения разработки инженерного ПО, позволяющего с достаточной степенью точности получать оценку интересующих локальных и интегральных характеристик, предпочтительным считается

проведение расчета в два этапа с выделением в движущемся потоке двух областей – невязкого ядра и пограничного слоя. Такой подход позволяет существенно упростить расчет, поскольку оказывается возможным в ядре потока пренебречь влиянием сил вязкости и считать течение идеальным, а в пограничном слое из-за малой его толщины – пренебречь членами уравнения движения и энергии, содержащими вторые производные скорости и температуры по продольной координате.

В настоящей работе численная методика расчета параметров в ядре потока осуществляется с использованием схемы Годунова, которая позволяет получить параметры в центрах расчетных ячеек, для определения которых необходимо знать потоки через грани ячейки. Учет потоков на границах ячеек разностной сетки осуществляется с использованием точного решения задачи Римана.

Расчет толщины потери импульса турбулентного пограничного слоя осуществляется с помощью двух методик: инженерной полуэмпирической методики [1], и методики, основанной на решении интегральных соотношений [2], которая учитывает большее количество внешних параметров. На основе реализованных методик проведены численные исследования для получения зависимостей потерь удельного импульса тяги для радиусно-параболического и радиусно-конического сопел [3]. Варьируемыми параметрами являются безразмерные длины сверхзвуковой части; степени расширения и показатели адиабаты.

На Рисунке 1 представлен график зависимости потерь импульса на трение в сверхзвуковой части радиусно-конического сопла от степени расширения при различных показателях адиабаты и безразмерных длинах сверхзвуковой части для обеих методик. Диапазон значений коэффициента потери удельного импульса при длине сверхзвуковой части равной 5-ти лежит от 0,01 и ниже. Результаты выше данного значения соответствуют длине сверхзвуковой части сопла равной 10-ти. Сплошной линией обозначены результаты численного решения с помощью инженерной методики, а сплошной линией – с помощью метода, основанном на решении интегральных соотношений. На графике наблюдается заметная отличие полученных зависимостей, что подтверждает целесообразность использования реализованной методики [2], с целью увеличения точности расчетов. Из графика видно, что с увеличением радиуса выходного сечения величина потерь удельного импульса уменьшается, это связано с тем, что плотность газа вблизи стенок падает.

Из результатов параметрических исследований следует, что величина потери удельного импульса растет с увеличением относительной длины сопла, на которую действуют силы вязкого трения газа о стенки сопла и

уменьшается с увеличением степени расширения сопла. Уменьшение показателя адиабаты, а значит рост молекулярного веса продуктов сгорания, ведет к увеличению потерь на трения [4,5]. Для сопел с одинаковой степенью расширения потери на трения увеличиваются за счет интенсификации теплообмена между стенками и газом в результате повышения плотности газовой фазы вблизи стенок сопла в области пограничного слоя, и ростом отвода тепла в стенку.

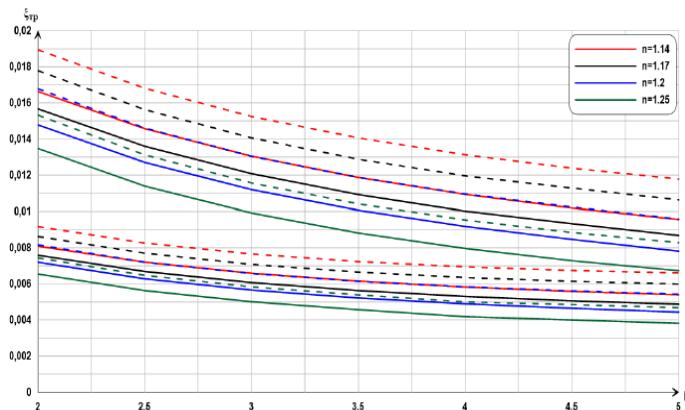


Рис 1 Сравнение величин коэффициента потери импульса на трение от для длины сверхзвуковой части сопла, полученных с помощью реализованных методик

Методика расчета интегральных соотношений также реализована с учетом поправок, описанных в модели С.С. Кутателадзе – А.И. Леонтьева [5]. Учет соответствующих поправок обеспечил увеличение точности результатов, в сравнении с инженерной методикой, погрешность с экспериментом которой составляет около 10-12%.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0032

Литература

1. Глушко В.П. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания/ В.П Глушко, М.: ВИНТИИ, 1971. – 263 с.
2. Шишков А.А., Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива. – М.: Машиностроение. 1989. – 239 с
3. Алигасанова К. Л. Математическое моделирование внутрибаллистических характеристик РДТТ и расчет потерь на трение:

выпускная бакалаврская работа по направлению подготовки: 16.03.01 - Техническая физика / Алигасанова, Кристина Лачиновна - Томск: [б.и.], 2020.

4. Алемасов В. Е. Теория ракетных двигателей / В. Е. Алемасов, А. Ф. Драгалин, А. П. Тишин. – М.: Машиностроение, 1989. – 462 с.
5. Ерохин Б. Т. Теория внутренних процессов и проектирование РДТТ / Б. Т. Ерохин – М.: Машиностроение, 1991. – 560 с.
6. Кутателадзе С.С., Леонтьев А. И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергия, 1978. –344 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.З. Булатова, О.А. Солнышкина, Н.Б. Фаткуллина
Центр Микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем,
Башкирский государственный университет,
г. Уфа, bulatova29@yandex.ru

Работа посвящена исследованию гидродинамических потоков в плоском микроканале прямоугольного поперечного сечения с внутренней структурой, состоящей из цилиндрических элементов, расположенных поперек потока. Численный подход основан на методе граничных элементов (МГЭ). В работе приведены результаты исследования влияния детерминированного бокового смещения недеформируемых цилиндрических структур в канале на картину течения и распределения продольной и поперечной компонент скорости потока.

The work is devoted to study of hydrodynamic flows in a flat microchannel with a rectangular cross-section and with an internal structure that consists of cylindrical elements located across the flow. The numerical approach is based on boundary element methods (BEM). The paper presents the influence of deterministic lateral displacement (DLD) of non-deformable cylindrical structures in the microchannel on the flow pattern and distribution of longitudinal and transverse components of flow rate.

В последние годы микрофлюидные устройства (МФУ) вызывают большой интерес в различных отраслях промышленности. Использование МФУ обусловлено рядом преимуществ: они повышают производительность, точность экспериментов, автоматизируют химические, биохимические и биологические анализы, а из-за своих малых размеров снижают затраты на инструменты и использование реагентов. Микрофлюидные системы на основе «lab-on-chip» широко применяются в биофизике, биохимии и медицине [1] для управления

движением микрочастиц, а именно для разделения и сортировки их по размерам, плотности, упругости. Результаты исследований гидродинамических потоков в микрофлюидных чипах могут быть использованы в области биохимии и молекулярной биологии для культивирования и исследования клеток человека, животных и растений. В медицине они могут применяться для изучения миграции вирусов или влияния различных химических веществ и лекарственных препаратов на клетки, в частности, в исследовании метастазирования и динамики опухолевых клеток и др.

В настоящей работе проведено численное исследование гидродинамических потоков внутри плоского микроканала с детерминированным боковым смещением элементов внутренней структуры. Рассматриваемые процессы протекают при малых числах Рейнольдса, поэтому вязкие силы, возникающие при течении, значительно сильнее сил инерции. Следовательно, установившееся периодическое течение жидкости в канале описывается уравнениями Стокса. На боковых стенках канала, а также на поверхности недеформируемых структур задается условие прилипания. Все процессы рассматриваются при изотермических условиях без учета сил Ван-дер-Ваальса.

Численный подход, применяемый для решения поставленных задач, основан на методе граничных элементов (МГЭ) [2], который очень эффективен при исследовании задач со сложной геометрией, поскольку все расчеты связаны только с границей рассматриваемых объектов, что снижает сложность задачи на единицу.

В работе представлены результаты влияния детерминированного бокового смещения цилиндрических элементов на характер течения жидкости внутри микроканала. Варьировался параметр ε ($\varepsilon = tg\theta = \frac{\Delta D}{D}$), который показывает смещение цилиндрических элементов микроканала по оси z как показано на рис.1.

Была рассчитана картина течения вязкой жидкости в рассматриваемой геометрии при $Re \approx 0.5$. Общее количество расчетных узлов $N_\Delta = 243656$. На рис. 2 представлены картины течения, а также поля компонент U_x и U_z скорости потока для $\varepsilon = 0.04$ и $\varepsilon = 0.08$.

Показано, что увеличение параметра ε значительно влияет на поле скоростей вокруг недеформируемых структур в микроканале.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ МК-549.2019.1.

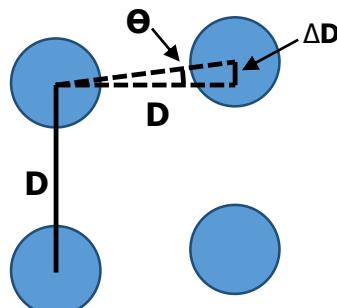


Рис. 1 – Схематическое изображение параметра смещения.

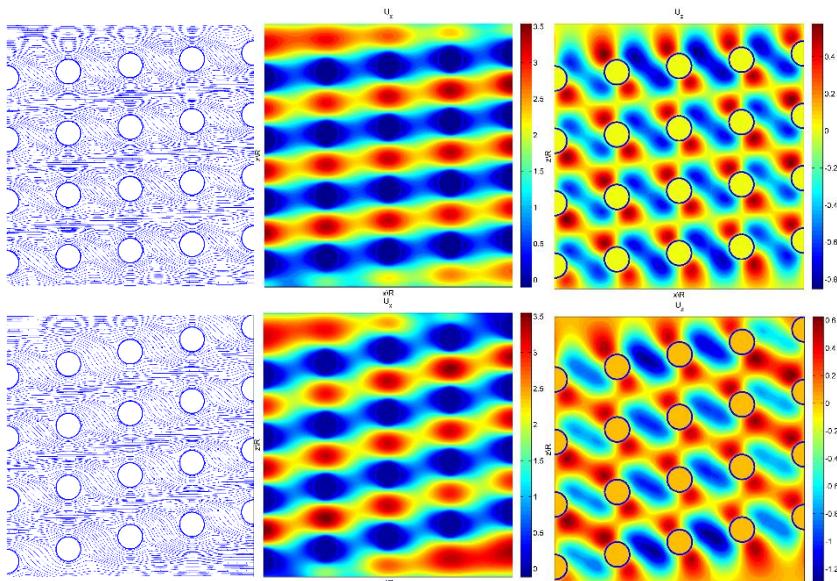


Рис. 2 – Компоненты U_x и U_z поля скорости потока для $\varepsilon = 0.04$ и $\varepsilon = 0.08$.

Литература:

1. Rivet C. Lee H., Hirsch A. et al. Microfluidics for medical diagnostics and biosensors // Chemical Engineering Science. - 2011. - V. 66. - p. 1490–1507.
2. Pozrikidis C. Boundary integral and singularity methods for linearised viscous flow // Cambridge (Cambridge University Press). - 1992. – p. 259.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕБЕР НА СРЕДНЮЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОГРУЖНЫХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ ДЕСУБЛИМАЦИИ UF₆

М.В. Верлинский¹, А.А. Орлов¹, Р.В. Малюгин²

¹Томский политехнический университет,
г. Томск, orlova@tpu.ru

²Тюменское отделение СургутНИПИнефть ПАО Сургутнефтегаз,
г. Тюмень, roma_malyugin@mail.ru

В данной работе с помощью созданной математической модели проведено исследование зависимости средней производительности емкостей объемом 1,0...4,0 м³ с вертикальным оребрением от ширины вертикальных ребер.

In this work, using the mathematical model, the study of the dependence of the average productivity of tanks with a volume of 1.0 to 4.0 m³ with vertical ribbing on the width of vertical ribs.

В настоящее время на разделительных предприятиях является актуальной интенсификация процесса десублимации UF₆ [1]. Наиболее оптимальный методом исследования процесса десублимации UF₆ является математическое моделирование.

Процесс десублимации UF₆ является нестационарным. Его скорость определяется подводом газообразного UF₆ к поверхности теплообмена и интенсивностью теплообмена с хладагентом. При заполнении емкости увеличивается толщина слоя десублимата на внутренней поверхности. Происходит ухудшение условий теплообмена между поверхностью фазового перехода UF₆ и хладагентом.

В данной работе для определения влияния ширины вертикальных ребер на среднюю производительность вертикальных погружных емкостей для десублимации UF₆ использована математическая модель [2].

Оптимальной шириной вертикального ребра считали ее максимальное значение, при котором возможно заполнение емкости до 70% без «перемерзания» между центральными краями ребер.

Оптимальную ширину вертикальных ребер определяли с помощью численных исследований для наиболее широко используемой на разделительных производствах емкости объемом 2,5 м³ с 12 вертикальными ребрами длиной 1,5 м. Ширину ребер меняли от 0,41 до 0,47 м с шагом 0,005 м, интервал, на котором находится оптимальное значение ширины, уточнялся с шагом 0,001 м. Результаты представлены в виде графика зависимости степени заполнения емкости от ширины

ребра и графика зависимости средней производительности ёмкости от ширины ребра на рисунке 1.

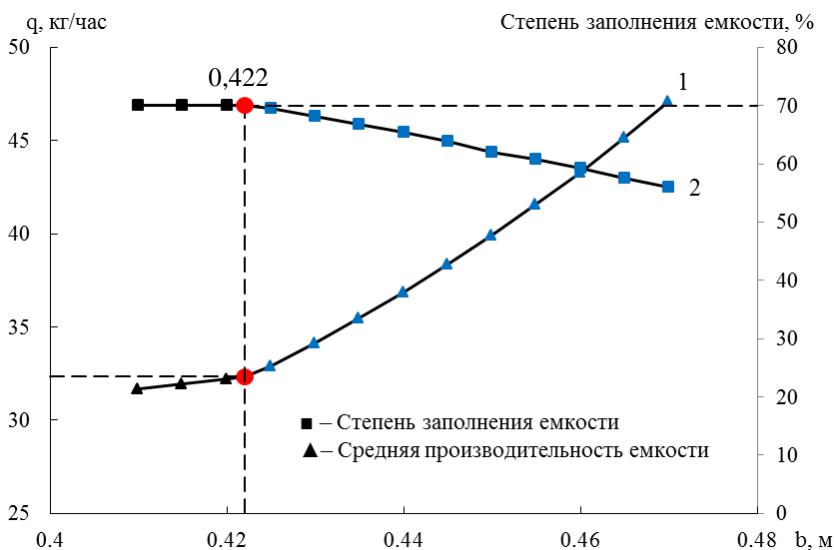


Рис. 1 – Зависимости средней производительности и степени заполнения ёмкости объемом $2,5 \text{ м}^3$ от ширины ребра
(1 – график зависимости средней производительности от ширины вертикальных ребер, 2 – график зависимости степени заполнения от ширины вертикальных ребер)

Расчет показал, что оптимальная ширина ребра для данной ёмкости составляет 0,422 м (красный маркер). При меньшем значении производительность уменьшается, а конечная масса десублимата не изменяется (черный маркер), так как заполнение проводится всегда до 70%. При большем значении ширины ребра происходит «перемерзание» (синий маркер), которое не позволяет заполнить ёмкость до нужной степени.

Литература:

- Орлов А.А., Малюгин Р.В. Анализ способов получения гексафторида урана, очистки его от примесей и заполнения в транспортные ёмкости // Современные научноемкие технологии. Региональное приложение. – 2014. – № 3. – С. 89-98.

2. Орлов А.А., Цимбалюк А.Ф., Малогин Р.В. Десублимация UF₆ в емкостях с вертикальным оребрением // Теоретические основы химической технологии. – 2020. – Т. 54. – № 1. – С. 52-61.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

А.М. Гриф, М.Г. Персова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск alexgrif@inbox.ru

В работе представлен способ для оптимизации геометрии цифровых 3D-моделей с учетом ограничений на прочность. Тестирование способа производится на задаче изгиба балки, моделируемой с помощью метода конечных элементов.

The paper presents a method for optimizing the geometry of digital 3D models taking into account strength constraints. The method is tested on the beam bending problem, modeled by using the finite element method.

Введение. Развитие современных технологических решений для большинства процессов реального сектора экономики в настоящий момент практически невозможно без внедрения в практику методов трехмерного высокоразрешающего моделирования, базирующихся на фундаментальных математических моделях, описывающих физические процессы в виде дифференциальных уравнений в частных производных. Оптимизация геометрии цифровых трехмерных моделей позволяет получать изделия с улучшенными свойствами, требующие для производства меньший объем сырья, и при этом имеющие запас необходимой прочности.

Примером оптимационной задачи может служить снижение веса индивидуального титанового имплантата для нейрохирургии с ограничением на допустимую прочность и толщину изделия [1, 2].

Математическая модель. Система разрешающих уравнений теории упругости относительно трех неизвестных полей перемещений $u = (u_x, u_y, u_z)^T$, деформаций $\varepsilon = (\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx})^T$ и напряжений $\sigma = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx})^T$ состоит из трех групп уравнений: кинематических соотношений, определяющих (физических) уравнений и уравнений равновесия в области тела. Первая известна как соотношения Коши, вторая – обобщенный закон Гука, третья – уравнения Навье.

При отсутствующих начальных напряжениях в теле эта система уравнений может быть записана в виде векторного уравнения Ламе

$$(\lambda + \mu) \nabla \nabla \cdot u + \mu \Delta u + f = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}.$$

Записанная система содержит вектор объемных сил с компонентами f_x, f_y, f_z ; матрицу упругих модулей с компонентами d_{ij} , связывающую напряжения и деформацию в точке тела; две символические матрицы, состоящие из частных производных по пространственным координатам, а также инерционную составляющую системы с координатами $\rho \partial^2 u_x / \partial t^2, \rho \partial^2 u_y / \partial t^2$ и $\rho \partial^2 u_z / \partial t^2$; λ и μ – коэффициенты Ламе, содержащие модуль Юнга материала E и коэффициента Пуассона ν .

Краевые условия для трехмерных задач теории упругости могут быть корректно поставлены путем задания поверхностных (граничных) нагрузок и перемещений. В этом случае задаются условия:

$$\begin{cases} \sigma_x n_x + \tau_{xy} n_y + \tau_{xz} n_z = p_x, \\ \tau_{yx} n_x + \sigma_y n_y + \tau_{yz} n_z = p_y, \\ \tau_{zx} n_x + \tau_{zy} n_y + \sigma_z n_z = p_z; \end{cases} \quad \text{на } S_\sigma \text{ и } \begin{cases} u_x = \bar{u}_x, \\ u_y = \bar{u}_y, \\ u_z = \bar{u}_z, \end{cases} \quad \text{на } S_u,$$

где $n(n_x, n_y, n_z)$ – направляющие косинусы к внешней нормали S , а p_x, p_y, p_z и $\bar{u}_x, \bar{u}_y, \bar{u}_z$ – заданные граничные нагрузки и перемещения. Решение данной задачи эффективно в рамках формулировок метода конечных элементов [3].

Оптимизационная задача. На основе прочностных характеристик трехмерного тела возможно поставить задачу оптимизации его параметров. Целевым критерием может быть, например, как снижение веса самого изделия с ограничением на минимально допустимую прочность, так и, например, достижение необходимой прочности за счет оптимизации свойств материала изделия.

Пусть задан неотрицательный функционал качества модели

$$F(u) = F(Q(u)) \rightarrow \min,$$

где Q – физическая модель, зависящая от вектора параметров $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$.

Поставлено линейное ограничение на область допустимых значений параметров

$$\begin{cases} u_1^{\min} \leq u_1 \leq u_1^{\max}, \\ u_2^{\min} \leq u_2 \leq u_2^{\max}, \\ \dots \\ u_n^{\min} \leq u_n \leq u_n^{\max}; \end{cases}$$

а также в общем случае задано ограничение, зависящее от прочностной модели

$$G(Q(u)) \leq u^G.$$

Данная оптимизационная задача эквивалентна минимизации функционала [4]

$$J_\alpha(u) = F(Q(u))^2 + \sum_{j=1}^n \alpha_j (u_j - \bar{u}_j)^2,$$

где α_i – параметры регуляризации, \bar{u}_i – фиксируемые параметры среды, в окрестности которых ищутся оптимальные значения (то есть различие u_i и \bar{u}_i «штрафуется» с весом α_i).

Вычислительный эксперимент. В качестве модели для тестирования процедуры оптимизации рассмотрим задачу изгиба однородной балки, левый конец которой закреплен, а к правому приложено усилие перпендикулярно нормали, т.е. тянувшее вверх (рисунок 1) [5].

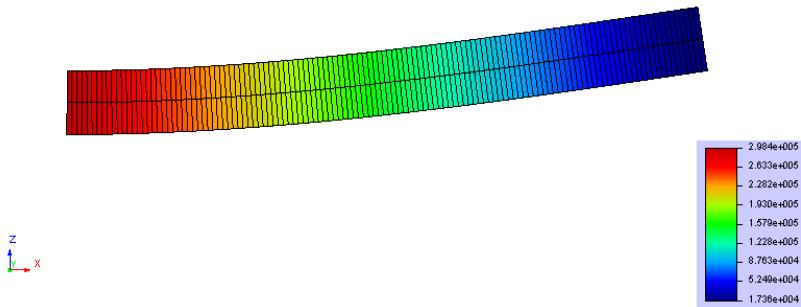


Рисунок 1 – Обобщенное напряжение по Мизесу для задачи изгиба однородной балки.

Длина балки равна 10 метров, ширина – 0.1 метр, а высота 1 метр. Коэффициент Пуассона ν равен нулю, а модуль Юнга E составляет 40×10^6 Па. С одной стороны балка закреплена, а с противоположной приложено тянувшее вверх усилие $10^3 \frac{N}{m^2}$. Аналитическое решение данной задачи (максимальное смещение балки) есть $u_z = 1$.

Будем минимизировать ее объем $V(h, t)$ за счет вариации ее толщины t и высоты h с учетом ограничения на максимальный изгиб u^G :

$$\begin{cases} F(u) \equiv F(u_1, u_2) \equiv V(h, t) = L \cdot h \cdot t \rightarrow \min, \\ h_1 \leq h \leq h_2, \quad t_1 \leq t \leq t_2, \\ G(Q(u)) \equiv \max_{(x,y,z) \in \Omega} |\delta Qu(x, y, z, h, t)| \leq u^G; \end{cases}.$$

Пусть заданы ограничения по высоте: $h_1 = 0.05$, $h_2 = 0.2$ и толщине модели: $t_1 = 0.5$, $t_2 = 2$. В качестве ограничения для максимально допустимого прогиба задано значение, полученное при параметрах $(h, t) = (1, 0.1)$, равное 1.002. В качестве начального приближения выбран вектор параметров $u^0 = (0.2, 2)$.

В результате были найдены параметры балки $(t, h) = (0.0744, 1.1041)$, при которых она имеет максимальный прогиб 1.0009 и объем, равный 0.8225. В результате объем был снижен на 79.4% для изначального приближения и на 17.75% для балки, имеющей эквивалентный прогиб (для $(t, h) = (0.1, 1)$).

Заключение. Описанный метод для оптимизации геометрии трехмерных тел с целью минимизации их объема и, с другой стороны, наложенных ограничений на полученную прочность самого изделия. Данный метод был протестирован на различных конфигурациях для задачи по оптимизации балочной конструкции, в результате которого была найдена искомая оптимальная конфигурация изделия.

Литература:

- Гриф А.М. Технология формирования конфигурации индивидуальных имплантатов для проведения реконструктивных нейрохирургических операций / Гриф А.М., Мишинов С.В. // Сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Цивьянские чтения», 25-26 ноября 2016. – Новосибирск.
- Grif M. G. Planning technology for neurosurgical procedures by using a software platform to create an optimal configuration of customized titanium implants / M. G. Grif, A. M. Grif // Proceedings international multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Akademgorodok, 18–22 Sept. 2017. – Novosibirsk : IEEE, 2017. – Р. 544-549.
- Соловейчик, Ю.Г. Метод конечных элементов для скалярных и векторных задач / Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. – Новосибирск : НГТУ, 2007. – 869 с.
- Алгоритмы решения обратных задач для дифференциальных уравнений в частных производных: учеб.-метод. пособие / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников. - :НГТУ, 2012. - 28 с.
- Растяжение однородного стержня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roman3dweb.wordpress.com/author/roman3dweb/>

ПОСТРОЕНИЕ НЕСОГЛАСОВАННЫХ СЕТОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА

М.В. Иванов, П.А. Домников

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, m.ivanov.2017@stud.nstu.ru

Описывается алгоритм построения эффективных несогласованных прямоугольных сеток для решения задач индукционного каротажа. Приведены результаты решения краевой задачи методом конечных элементов с использованием полученных сеток.

An algorithm of constructing effective non-conforming rectangular grids for solving problems of induction logging is described. The results of solving the boundary value problem by the finite element method using the obtained grids are presented.

Введение. Индукционный каротаж – это один из методов скважинной геофизической разведки, в котором исследуется околоскважинное пространство на основе изменения сигнала в приёмной катушке каротажного зонда. В простейшем виде каротажный зонд состоит из одной измерительной катушки и одной генераторной катушки, в которой течёт гармонический по времени ток. Для решения уравнения, описывающего поведение гармонического по времени электромагнитного поля, можно использовать метод конечных элементов (МКЭ). Для этого необходимо построить конечноэлементную сетку со сгущением около генератора и приёмника. Из-за того, что сетка неравномерная, вдали от областей сгущения появляются вытянутые элементы, почти не влияющие на точность решения, но увеличивающие вычислительные затраты. С помощью предложенного в данной работе алгоритма можно построить несогласованные сетки, исключающие появление вытянутых элементов, что позволяет более эффективно решать данные задачи.

Использующиеся в МКЭ базисные функции, элементы локальных матриц и алгоритм сборки глобальной матрицы с использованием матрицы перехода подробно описаны в работе [1].

Математическая модель. Двумерная осесимметричная краевая задача, описывающая поведение гармонического по времени магнитного поля, определяется уравнением

$$-\operatorname{div}\left(\frac{1}{\mu} \operatorname{grad} A_{\varphi}\right)-\frac{1}{\mu r^2} A_{\varphi}+\left(i \sigma \omega-\varepsilon \omega^2\right) A_{\varphi}=J_{\varphi} \quad (1)$$

с краевыми условиями

$$A_\varphi \Big|_{S_1} = 0, \frac{1}{\mu} \frac{\partial A_\varphi}{\partial n} \Big|_{S_2} = 0,$$

заданным на границе расчётной области $S=S_1 \cup S_2$, где φ – компонента вектор-потенциала электромагнитного поля, μ – магнитная проницаемость среды, σ – удельная электрическая проводимость среды, ε – диэлектрическая проницаемость среды, ω – угловая частота тока в источнике, S_1 – граница бака, S_2 – ось симметрии [1].

Напряжённость электрического поля можно найти по формуле

$$\bar{E} = -i\omega \bar{A}.$$

Аналитическая формула для нахождения напряжённости электрического поля, представлена в работе [2]:

$$\bar{E} = \frac{i\omega\mu IS}{4\pi r^2} (ikr + 1) e^{-ikr} \left(\frac{z}{r} u_y - \frac{y}{r} u_z \right), k = \alpha - i\beta, \alpha = \beta = \left(\frac{\sigma\mu\omega}{2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где I – величина тока в катушке, r – радиус-вектор в точке (x, y, z) , S – площадь сечения катушки.

Построение несогласованной прямоугольной сетки. На Рис. 1 (а) представлен пример согласованной сетки, имеющей 3315 узлов. На ней можно увидеть, как вдали от областей сгущения сетки возникают вытянутые вертикальные (вдоль координаты Z) и горизонтальные (вдоль координаты R) элементы. Объединение таких элементов происходит во время прохода согласно Рис. 1 (б) по подобластям, каждая из которых обрабатывается независимо от остальных. Объединение происходит, если объединяемые элементы имеют соотношение длин сторон большее, чем коэффициент объединения, а также если они принадлежат одному слову, то есть имеют идентичные характеристики. Пример работы алгоритма представлен на Рис. 1 (в), где сетка после объединения элементов имеет 2225 узлов.

Отличие сеток, полученных с помощью разработанного алгоритма, от сеток, алгоритм построения которых описан в [3], заключаются в том, что сетки, полученные с помощью разработанного алгоритма, можно применять для задач индукционного каротажа. Это происходит благодаря тому, как строятся линии, от которых ведётся объединение. Линии объединения находятся на одном уровне с генератором, приёмником, посередине между ними, а также проходят через генератор и приёмник параллельно прямым $Z=R$ и $Z=-R$. Рядом с генератором и приёмником сетка остаётся регулярной, что обеспечивает достаточно высокую точность решения.

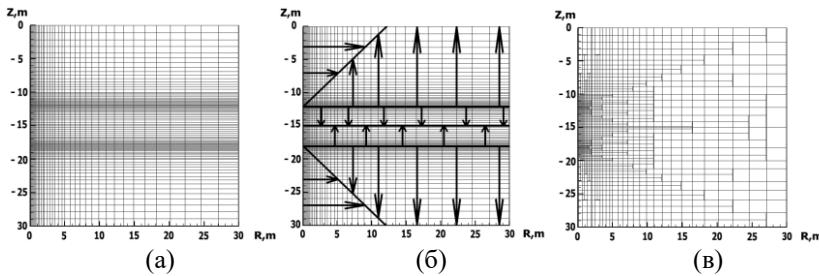


Рис. 1 – Согласованная сетка, содержащая “лишние” узлы (а), порядок обхода алгоритма (б), несогласованная сетка (в).

Результаты. В данной работе исследовалось затухание электромагнитного поля в среде вдоль горизонтальной линии, расположенной на уровне генераторной катушки. Максимальное значение погрешности решения, полученного на несогласованной сетке относительно согласованной сетки, представленной на Рис. 1 (а), достигается при $R=3.5\text{м}$ и составляет 0.23%, при этом величина напряжённости электрического поля на таком расстоянии падает в $5 \cdot 10^3$ раз. В данной задаче $\epsilon=\epsilon_0$, $\mu=\mu_0$, $\sigma = 10^{-3} \text{ См/м}$, $\omega = 2\pi \cdot 10^4 \text{ Гц}$.

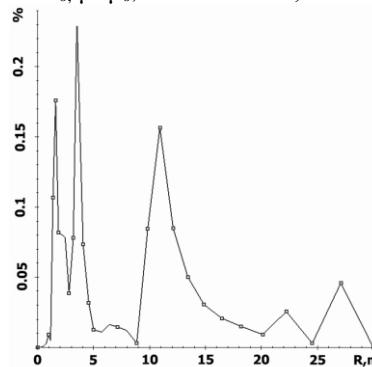


Рис. 2 – Погрешность компоненты $\text{Im}E_\phi$.

В Таблице 1 приведено сравнение вычислительных затрат при различных коэффициентах объединения. Для исследования была выбрана более подробная согласованная сетка с количеством узлов 16512. Время решения СЛАУ методом PARDISO на ноутбуке с процессором Intel(R) Core(TM) i5-3317U CPU @ 1.70GHz составило 3.32 секунды. Погрешность полученного решения составила 0.965% относительно аналитического (2).

Таблица 1 – Сравнение временных затрат при разных коэффициентах объединения.

Коэффициент объединения	Кол-во узлов	Время решения СЛАУ, с	Максимальная погрешность относительно аналитического решения в компоненте $\text{Im}E_\phi$, %
3	9033	1.72	0.981
2	7746	1.39	0.988
1.9	7595	1.26	0.994
1.8	7421	1.08	1.02

При уменьшении коэффициента объединения сокращается количество узлов и, соответственно, сокращаются вычислительные затраты, но при этом возрастает погрешность решения. Оптимальный найденный коэффициент объединения, при котором максимальная погрешность составляет менее 1%, был равен 1.9.

Заключение. Был разработан алгоритм генерации несогласованных прямоугольных сеток. Применение данных сеток в задачах индукционного каротажа позволяет уменьшить время решения задачи благодаря сокращению количества узлов в сетке, при этом сохраняется необходимая точность полученного решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-71-10068).

Литература:

- Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 896 с.
- Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Vol. 1, Theory (Investigations in Geophysics No.3) / Edited by Misac N. Nabighian.: SEG, 2008. — 513 р.
- Токарева М.Г., Персова М.Г., Задорожный А.Г. Алгоритм оптимизации прямоугольных сеток для решения задач электроразведки // Сб. науч. тр. НГТУ. — 2002. — №2(28). — С. 41-48.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА

М.В. Иванов, П.А. Домников

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, m.ivanov.2017@stud.nstu.ru

Описывается возможность программного комплекса для моделирования электромагнитных полей и интерпретации данных индукционного каротажа. Приведены скриншоты работы пользовательского интерфейса.

The feature set of the software package for electromagnetic fields modeling and for the induction logging data interpretation is described. Screenshots of the user interface are shown.

Введение. Для моделирования гармонических по времени электромагнитных полей и интерпретации данных индукционного каротажа необходим специальный программный комплекс. Данный комплекс должен включать в себя: вычислительные модули для решения задач индукционного каротажа в осесимметричной среде [1] с помощью метода конечных элементов [2], а так же в однородной среде аналитически, пользовательский интерфейс, позволяющий удобно и быстро анализировать и интерпретировать данные индукционного каротажа.

Разработка. Реализация вычислительных модулей выполнена на языке программирования C++. Реализация графического интерфейса выполнена на языке программирования C# с использованием API Windows Forms. Компиляция вычислительных модулей и пользовательского интерфейса выполнена в среде Microsoft Visual Studio 2017 для операционной системы Microsoft Windows.

Основными модулями данного программного комплекса являются: модуль генерации несогласованных двумерных конечноэлементных сеток [3], модуль сборки конечноэлементных матриц с использованием матриц перехода [2], модуль решения СЛАУ и графический интерфейс [4].

Двумерная осесимметричная краевая задача, описывающая поведение гармонического по времени магнитного поля, определяется уравнением

$$-\operatorname{div}\left(\frac{1}{\mu} \operatorname{grad} A_{\varphi}\right)-\frac{1}{\mu r^2} A_{\varphi}+\left(i \sigma \omega-\varepsilon \omega^2\right) A_{\varphi}=J_{\varphi}$$

с однородными краевыми условиями на границе бака.

Комплексная СЛАУ решается с помощью программы PARDISO [5]. Передача данных между вычислительными модулями и интерфейсом происходит путём записи данных в файлы и последующим чтением из файлов.

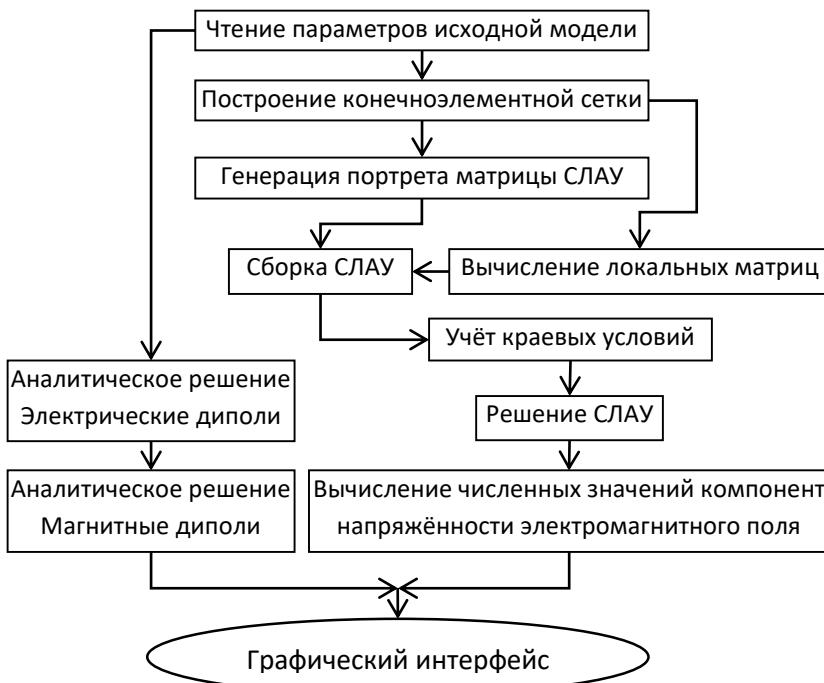


Рис. 1 – Структура программного комплекса.

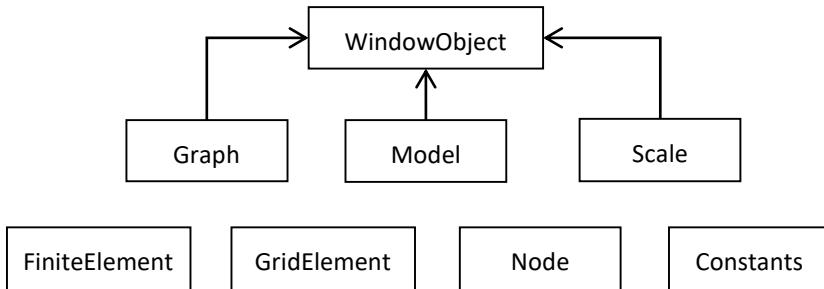


Рис. 2 – Диаграмма классов интерфейса.

Результаты. Возможности разработанного программного комплекса включают в себя:

- Расчёт электромагнитных полей в заданной среде
- Отображение модели с её параметрами
- Отображение истинной модели для проведения инверсии на синтетических данных
- Отображение модели, полученной на различных итерациях инверсии
- Отображение распределения электромагнитных полей
- Отображение конечноэлементной сетки
- Изображение практических и теоретических графиков фаз, разности фаз, амплитуд, отношения амплитуд ЭДС для зондов с различными частотами
- Отображение легенды графиков
- Задание модели, на которой будут проводиться расчёты в вычислительных модулях
- Задание шкалы для параметров моделей и полей
- Запуск внешних исполняемых файлов
- Обновление моделей и шкал во время работы интерфейса
- Отображение справки о программе.

Данный интерфейс масштабируется и корректно отображается при любом разрешении экрана и любом размере окна, но не менее 800x600px.

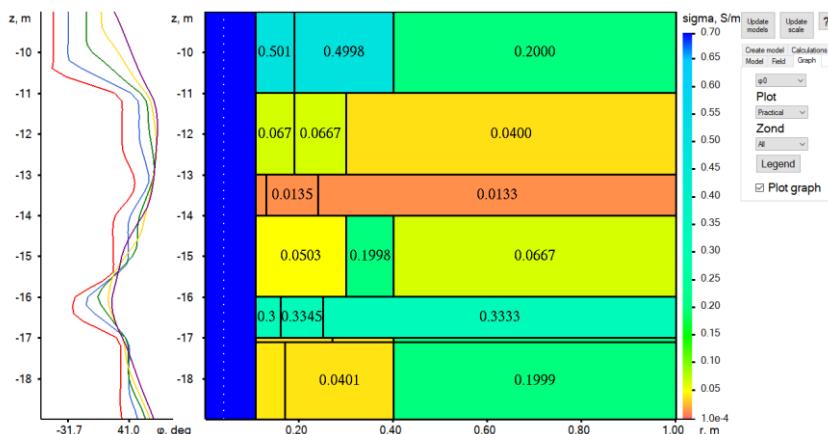


Рис. 3 – Окно пользовательского интерфейса.

Для удобной работы с перечисленным функционалом используется панель вкладок, находящаяся в правой части окна интерфейса.

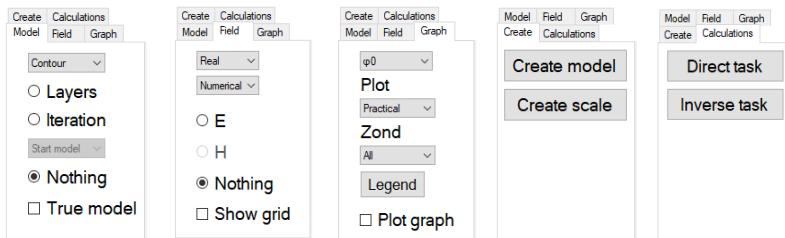


Рис. 4 – Панель вкладок.

Заключение. Был разработан программный комплекс, позволяющий моделировать электромагнитные поля в двумерных задачах индукционного каротажа и отображать результаты с помощью пользовательского интерфейса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-71-10068).

Литература:

1. Domnikov P.A., Koshkina Y.I., Persova M.G., Soloveichik Y.G. 2D Modeling and 2D inversion for induction logging data processing [Electronic resource] // Углеводородный потенциал Дальнего Востока 2019: тез. докл. 5 междунар. науч.-практ. семинара, Южно-Сахалинск, 1–3 окт. 2019 г. – Южно-Сахалинск: EAGE Publ., 2019 – URL: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=99800>.
2. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 896 с.
3. Иванов М.В., Домников П.А. Построение несогласованных сеток для решения двумерных задач индукционного каротажа // Наука. Технологии. Инновации: Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2020. – Наст. сб.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020662448. Графический модуль программного комплекса интерпретации данных индукционного каротажа в вертикальных скважинах / Домников П.А., Иванов М.В., Кошкина Ю.И. – опубл. 14.10.20.
5. Schenck O., Gärtnner K. Solving unsymmetric sparse systems of linear equations with PARDISO // Future Generation Computer Systems. – 2004. – Т. 20. – №. 3. – С. 475-487.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЕФОРМАЦИИ СЕТОК ПРИ АППРОКСИМАЦИИ НАКЛОННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.С. Киселева, М.Г. Персова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vodostoeva_anna@mail.ru

Работа посвящена разработке и программной реализации алгоритма для деформации сеток при наличии наклонных объектов.

The work is devoted to the development and software implementation of an algorithm for deformation of meshes in the presence of inclined objects.

На сегодняшний день существует множество технологий геофизических исследований [1-2], обработка данных для которых сопряжена с моделированием различных физических процессов, основанным на численных методах [3]. При моделировании таких процессов возникает необходимость учета наклонных геологических объектов, в связи с чем является актуальной разработка и программная реализация средств, позволяющих аппроксимировать такие объекты при построении конечноэлементной сетки.

В данной работе предлагается алгоритм, основанный на преобразовании параллелепипедальной конечноэлементной сетки. Помимо наклонных объектов расчетная область может включать множество иных неоднородностей, поэтому преобразование сетки предлагается выполнять локально, в некоторой области вокруг наклонного объекта. Основные этапы алгоритма до преобразования сетки представлены на рис. 1.

На вход подается множество наклонных объектов, которые группируются с учетом их близости. Для каждой группы строится обхватывающий объект, граница которого отстоит от наклонных объектов на заданную величину. Далее внутри обхватывающих объектов будет выполнено преобразование конечноэлементной сетки [4].

Для преобразования параллелепипедальной сетки в наклонную для каждого обхватывающего объекта строятся два шаблона – наклонный и прямоугольный, как показано на рис. 1. Наклонный шаблон строится объединением обхватывающего объекта с наклонными объектами внутри него в регулярную структуру. Прямоугольный шаблон строится выпрямлением линий наклонного шаблона, после чего из него извлекаются прообразы наклонных объектов. Эти прообразы встраиваются в параллелепипедальной сетку.

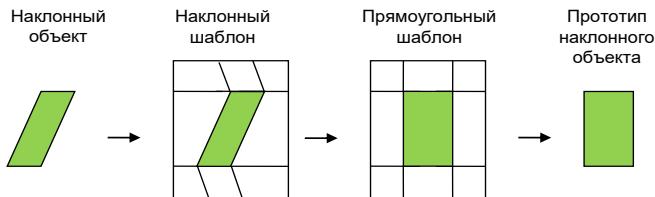


Рис. 1 – Основные этапы алгоритма

На последнем этапе алгоритма выполняется преобразование параллелепипедальной сетки, как показано на рис. 2. Прообразы наклонных объектов и сами объекты обозначены красным цветом на рис. 2а и 2б соответственно. Преобразование заключается в отображении координат узлов сетки, попавших в прямоугольный шаблон, на наклонный шаблон. Таким образом, прообразы наклонного объекта точно принимают заданную в модели форму.

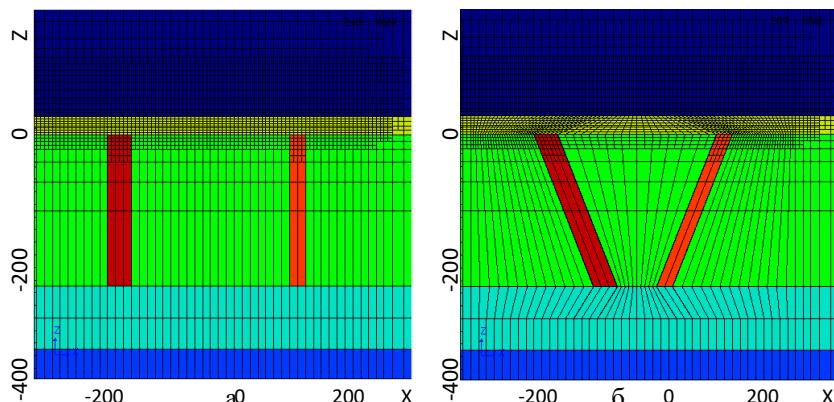


Рис. 2 – Сечения исходной (а) и преобразованной (б) сеток

На рис. 3 показаны сигналы вдоль профиля, полученные при решении задачи с наклонными объектами и с вертикальными объектами. По графикам видно, что отклики наклонных объектов и вертикальных объектов сильно отличаются, поэтому аппроксимация наклонных объектов вертикальными не является допустимой.

Также из результатов видно, что предложенный алгоритм позволяет обрабатывать ситуации, когда в среде присутствуют несколько наклонных объектов.

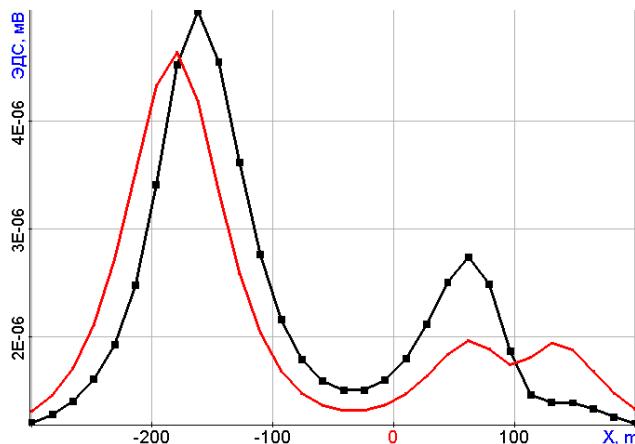


Рис. 3 – Сигнал вдоль профиля. Чёрный – сигнал от наклонных объектов, красный – от вертикальных

Литература:

1. Persova M.G. The Approach to Parametric Multidimensional Inversion of Marine Electrical Prospecting Data Considering Bathymetry / Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D.V., Kiselev D.S., Koshkina Y.I., Kurskiy D.N. // 19th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development «Geomodel 2017» — Gelendzhik, Russia, 11 – 14 September 2017. Submission ID: 43834.
2. Persova, M.G. Geometrical Nonlinear 3D Inversion of Airborne Time Domain EM Data / M.G. Persova, Y.G. Soloveichik, Y.I. Koshkina, D.V. Vagin, O.S. Trubacheva // EAGE: 22nd European Meeting of Environmental and Engineering GeophysicsNear Surface Geoscience 2016 (First Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, 5 - 6 September 2016), Barcelona, Spain. 2016
3. Соловейчик Ю. Г., Рояк М. Э., Персова М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 896 с.
4. Применение неконформных сеток с шестиугранными ячейками для 3D-моделирования технологий аэроэлектроразведки / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, Д.В. Вагин, Д.С. Киселев, Н.В. Кондратьев, Ю.И. Кошкина, О.С. Трубачева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2018. – № 1 (38). – С. 64–79. – DOI: 10.17212/1727-2769-2018-1-64-79

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГНСС-ЗОНДИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А.К. Кишкина^{1,3}, Н.В. Шестаков^{2,3}, А.Н. Бугаец^{1,4}

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

² Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток

³ Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток

⁴ Институт водных проблем РАН, г. Москва

В работе реализована методика определения интегрального содержания водяного пара (Integrated Water Vapor – IWV) в тропосфере Земли по данным ГНСС-наблюдений для двух пунктов, расположенных в континентальной и прибрежной части Приморского края. На пунктах измерений изучено изменение влагосодержания за период 2015-2019гг., построены эмпирические модели годичных вариаций IWV, полученные оценки сравнены с данными глобальной прогностической модели GFS.

The paper implements a method for determining the integral water vapor content (IWV) in the Earth's troposphere using GNSS-observations for two points located in the continental and coastal parts of Primorsky Krai. At the measurement points, the IWV variability for the period of 2015-2019 was studied, empirical models of annual variations in IWV were constructed, the estimates obtained were compared with the data of the global GFS model.

Водяной пар является важным компонентом земной атмосферы, от его распределения зависят метеорологические и климатические изменения в различных районах планеты, а также процессы формирования и выпадения осадков [3]. Решающее значение для прогнозирования текущей погоды имеет непрерывный мониторинг концентрации атмосферного водяного пара, который могут обеспечить глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) благодаря высокой временной и пространственной разрешающей способности [4]. В мировой практике данные о водяном паре, полученные методом ГНСС-зондирования, активно используют в глобальных цифровых моделях прогнозирования погоды [5]. В настоящее время подразделения Росгидромета ДВФО при задании начальных и граничных условий при прогнозировании погоды с помощью региональных моделей атмосферы используют результаты расчетов Системы глобального прогнозирования - Global Forecast System (GFS) [9], которая удовлетворительно функционирует в пограничных зонах «суша-море», коей является Приморский край. Использование ГНСС-наблюдений для работы

региональной системы мониторинга и прогнозирования погоды ранее не использовалось в ДВФО, а, возможно, и в России. Поэтому в будущем планируется создание автоматизированного комплекса по передаче измеренных значений концентрации водяного пара методом ГНСС-зондирования в режиме приближенном к реальному времени в автоматизированную информационную систему гидрометеорологического мониторинга (АСГМ) Приморского УГМС.

Целью данного исследования является изучение закономерностей изменения IWV на длительном промежутке наблюдений и перспектив использования данных об атмосферном водяном паре для уточнения цифровых моделей погоды для территории Приморского края Российской Федерации (Рисунок 1).



Рис. 1 – Карта расположения ГНСС-пунктов в Приморском крае.

Метод ГНСС-зондирования атмосферы заключается в извлечении IWV из данных о зенитной тропосферной задержке спутникового сигнала ZTD, которая получается в качестве побочного параметра или целенаправленно в результате обработки результатов ГНСС-наблюдений [1, 6, 7]. Наши ранние исследования показали, что результаты определения IWV имеют высокую корреляцию с данными ретроспективного анализа (данными радиозондирования и глобальной климатической модели Reanalysis ERA5) [2, 8].

На станциях VLAD (г. Владивосток) и IMAN (г. Дальнереченск) с трехчасовым интервалом были получены ряды изменений IWV за период 2015-2019 гг. (Рисунок 2). На основе полученных данных нами построена аппроксимационная модель тригонометрическим рядом

Фурье второго порядка для пунктов VLAD и IMAN. Полученная нами эмпирическая модель может быть эффективно использована для прогноза сезонных вариаций интегрального влагосодержания, однако для прогноза осадков ее недостаточно.

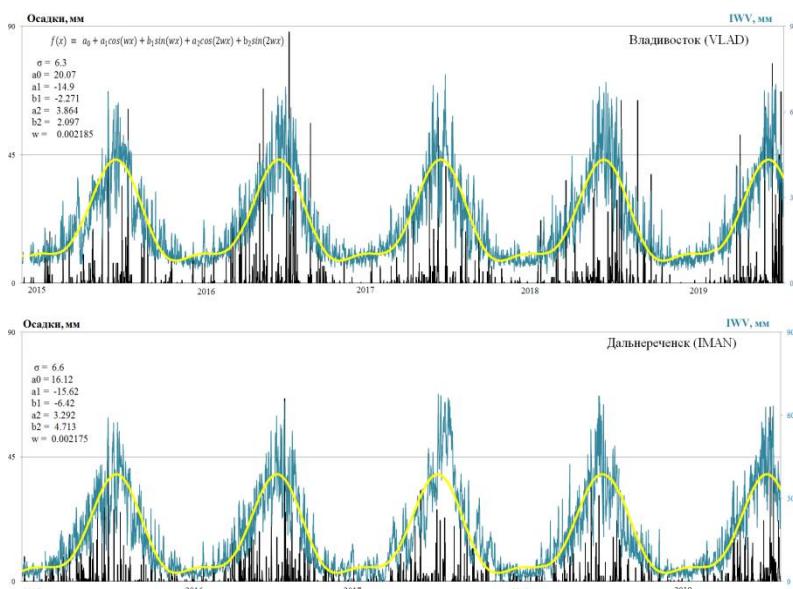


Рис. 2 – Ряды изменения концентрации IWV, полученные на пунктах VLAD и IMAN за период 2015-2019 гг. и фактически выпавшие осадки за указанный период.

Результаты расчётов IWV по данным ГНСС-зондирования, полученные с 13 пунктов Приморской ГНСС-сети, сопоставлены с переменной «Precipitable water entire atmosphere», которая извлечена из модели GFS для четырех точек сетки вокруг каждого ГНСС-пункта с дискретностью 6 часов в виде численных прогнозных значений на четверо суток (00h – 96h) за период 2017 – 2019 гг. (Рисунок 3). Сравнение рядов значений IWV показало постепенное снижение корреляции с увеличением заблаговременности прогноза, которое вызвано систематическим занижением модельных данных в сравнении с результатами ГНСС-метода. Наибольшие расхождения модельных значений IWV и полученных по результатам спутниковых наблюдений

замечены в периоды выпадения массивных осадков, в том числе вызванных тайфунной активностью.

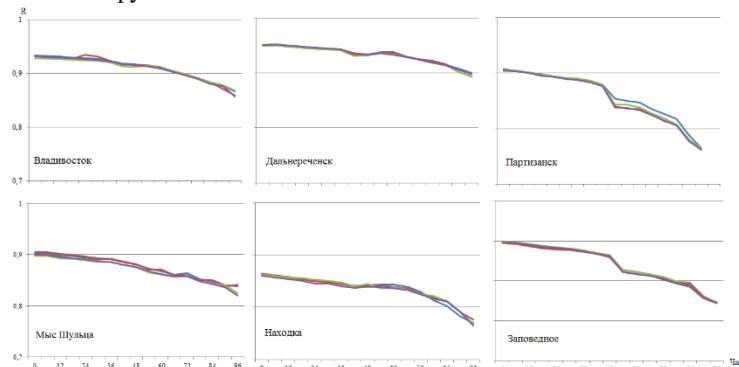


Рис. 3 – Сопоставление оценок IWV по данным ГНСС-наблюдений и данных глобальной прогностической модели GFS (2017-2019 гг.).

В результате исследования на основе данных об изменении концентрации интегрального влагосодержания в течение нескольких лет спроектирована эмпирическая модель для прогнозирования IWV для выбранного пункта в определенные периоды наблюдения. Результаты сравнения IWV, полученных из результатов ГНСС-наблюдений и данных глобальной модели GFS имеют высокую степень корреляции, что открывает перспективы использования оценок интегрального влагосодержания ГНСС-методом для коррекции данных региональных цифровых моделей атмосферы, с целью улучшения качества текущего прогноза погоды.

Литература:

1. Калинников В.В. Восстановление интегрального влагосодержания атмосферы с помощью глобальных навигационных спутниковых систем: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Казань, 2013. – 18 с.
2. Кишикина А.К., Шестаков Н.В., Гончуков Л.В., Бугаец А.Н. Оценка содержания водяного пара по данным ГНСС-наблюдений в атмосфере в Приморском крае, Россия // В сборнике: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, 2020. С. 96-100.

3. *Марченко О.Ю., Мордвинов В.И., Антохин П.Н.* Исследование долговременной изменчивости и условий формирования атмосферных осадков в бассейне реки Селенга// Оптика атмосферы и океана. –2012. Т. 25. – № 12. – С. 1084–1090.
4. *Bevis M., Businger S., Herring T. A., Rocken C., Anthes R., Ware R.* GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System // Journal of Geophysical Research. – 1992. – Vol. 97, D14. – P. 787–801.
5. *Cerlinia P.B., Cotanaa F., Rossia F., Asdrubalia F.* Numerical modeling of atmospheric water content and probability evaluation. Part I // 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013 Procedia Engineering 70. – 2014 – P. 321 – 329
6. *Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E.* GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo, and more. SpringerWienNewYork, 2008 – 515 p..
7. *Igondova M., Cibulka D.* Precipitable Water Vapour and Zenith Total Delay time series and models over Slovakia and vicinity // Contributions to Geophysics and Geodesy. – 2010. – Vol. 40/4, – P. 299–312.
8. *Kishkina A.K., Shestakov N.V.* Estimation of the content of integrated water vapor in the atmosphere according to GNSS observations and radiosonde data at the area of Vladivostok, Russia // Proceedings of the 6th Annual student scientific conference, 27–31 may 2019: Proceedings. – Vladivostok, 2019 – P. 105-106.
9. NOAA National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets> [дата обращения 15.05.2020]

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУСКОВОГО ИМПУЛЬСА НА ДЖИТТЕР ВЫХОДНОГО ИМПУЛЬСА ЛТД СТУПЕНИ

С.С. Кондратьев, В.М. Алексеенко
Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск,
kondratiev@oit.hcei.tsc.ru

Распределение пускового импульса между разрядниками внутри ЛТД ступени влияет на параметры выходного импульса этой ступени. В данной работе изучается изменение джиттера ЛТД ступени при разных системах распределения пускового импульса.

The distribution of the trigger pulse between the switches inside the LTD stage affects the parameters of the output pulse of the stage. In this paper, we study the change of the LTD stage jitter for different systems of distribution of the trigger pulse.

Главной особенностью ЛТД генераторов является модульность, когда генератор представляет собой набор из необходимого количества ЛТД ступеней. Каждая ЛТД ступень в таком генераторе содержит одинаковое количество единичных секций, состоящих из двух накопительных конденсаторов и одного разрядника. Все единичные секции одной ступени разряжаются параллельно. Поэтому достижение максимального возможной мощности на выходе ЛТД ступени возможно только при одновременном срабатывании всех разрядников ступени. Для этого в ЛТД ступенях используются управляемые разрядники. Момент срабатывания такого разрядника обусловлен подачей на его пусковой электрод запускающего импульса, который поступает и распространяется внутри ступени по специальным проводникам.

В данной работе нами исследовались две единственных используемые на данный момент топологии распределения пускового импульса внутри масляной ЛТД ступени. Первая топология – это простое кольцо из проводника, к которому через равномерные промежутки попарно подключены разрядники ЛТД ступени через индивидуальный развязывающий элемент (соленоид с индуктивностью порядка 6 мГн). В дальнейшем будем называть эту топологию классической. Она используется в подавляющем числе ЛТД генераторов, таких как MYCONOS [1], URSA Minor [2], IDERIX [3], MAIZE [4] и подобных. Для такой топологии варьировалось количество пусковых кабелей, равномерно подключенных к кольцу, и рассматривались варианты 1 кабель на 10, 20 и 40 разрядников.

Вторая топология, представленная на рис.1, разработана китайскими коллегами и является развитием первой топологии [5-6]. В ней помимо кольца есть дополнительная система распределения, которая импульс от одного пускового кабеля распределяет на несколько равномерно расположенных точек кольца. В дальнейшем будем называть её альтернативной. Для этой топологии исследовалась два варианта: первый – это описанный в [5] вариант, когда дополнительная система выводит импульс на 4 точки кольцевого провода; второй – это когда дополнительная система выводит импульс на 2 точки кольцевого провода (показан на рис.1(а)).

Моделирование проводилось для ЛТД ступеней с 20 и 40 секциями. Были рассчитаны параметры систем распределения пускового импульса для этих ступеней и построены модели на основе модели из [7].

Нагрузкой ЛТД ступени являлось активное сопротивление величиной в 0.8 от импеданса ступени.

На рис. 1(б) приведена типовая осциллограмма напряжения на выходе пускового генератора. На срабатывание разрядников оказывает влияние форма напряжения в верхней половине импульса. Видно, что усреднённая скорость нарастания напряжения в этой области составляет порядка 1 кВ/нс. Поэтому примем такую скорость нарастания пускового импульса за среднюю величину. В моделировании на вход пускового кабеля будет подаваться импульс напряжения трапецидальной формы со скоростью нарастания dU/dt и амплитудой U_m . Этот импульс будет подаваться независимо на вход каждого пускового кабеля в схеме.

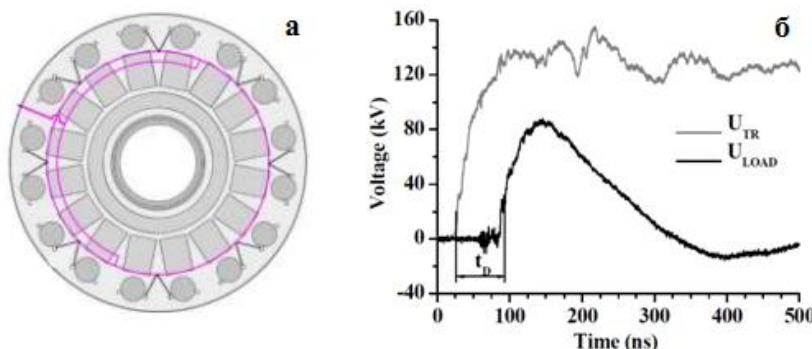


Рисунок 1. Альтернативная топология распределения пускового импульса в ЛТД ступени (а) и типовые осциллограммы пускового импульса и выходного импульса ступени (б)

В качестве показателя качества системы распределения пускового импульса будет использоваться параметр S , рассчитываемый по формуле:

$$S = \sigma^* / \sigma$$

где σ^* – джиттер разрядника в составе ступени, σ – джиттер разрядника отдельной единичной секции. Любая система распределения ухудшает параметры пускового импульса, поскольку импульс с одного кабеля распределяется на несколько единичных секций. Таким образом, величина S показывает во сколько раз джиттер разрядника в составе ЛТД ступени больше, чем джиттер разрядника отдельной единичной секции.

В результате моделирования с параметрами пускового генератора $dU/dt=1$ кВ/нс и $U_m=80$ кВ получены данные, приведенные в Таблице 1. Для каждого варианта джиттер определялся по результатам 600 прогонов, по аналогии с экспериментальными данными.

Таблица 1. Параметр S для ступеней с различными топологиями системы распределения пускового импульса.

40 секций				
Классич.		Альтерн.		
1 кабель	2 кабеля	4 кабеля	2 точки	4 точки
1.36	1.36	1.36	2.24	2.14
20 секций				
Классич.		Альтерн.		
1 кабель	2 кабеля	2 точки		
1.31	1.31	1.38		

В таблице обозначение “1 кабель” означает что к кольцевому проводу подключен 1 кабель. “2 точки” – означает что пусковой импульс распределяется на две точки кольцевого провода.

Из таблицы видно, что для классической топологии требование 1 кабель на 10 разрядников является избыточным и может быть уменьшено как минимум вдвое до 1 кабеля на 20 разрядников. Уменьшение количества пусковых кабелей ведет к улучшению эксплуатационных характеристик ЛТД генераторов и упрощению их обслуживания. Альтернативная топология распределения пускового импульса в ЛТД ступенях требует использования всего лишь 1 пускового кабеля для каждой ЛТД ступени. Однако для ступени с 40 секциями это приводит к значительному увеличению джиттера (в ~1.6 раза). Тогда как для ступени с 20 секциями это изменение не так значительно. Эти данные получены для случая использования пускового генератора с выходным импульсом, приведенным на рис.1(б).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-38-00199).

Литература:

1. M. G. Mazarakis и др., «Linear Transformer Driver (LTD) development at Sandia national laboratory», в 2009 IEEE Pulsed Power Conference, Washington, DC, USA, 2009, сс. 138–145, doi: 10.1109/PPC.2009.5386187.
2. J. J. Leckbee и др., «Comparison of trigger requirements for gas switches for linear transformer drivers», в 2014 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), Santa Fe, NM, USA, 2014, сс. 93–96, doi: 10.1109/IPMHVC.2014.7287215.
3. M. Toury и др., «IDERIX: An 8 MV flash x-rays machine using a LTD design», в 2007 16th IEEE International Pulsed Power Conference, Albuquerque, NM, 2007, сс. 599–602, doi: 10.1109/PPPS.2007.4651913.
4. R. M. Gilgenbach и др., «MAIZE: a 1 MA LTD-Driven Z-Pinch at The University of Michigan», в AIP Conference Proceedings, Alexandria, Virginia (USA), 2009, сс. 259–262, doi: 10.1063/1.3079742.
5. S. Fengju и др., «Trigger method based on internal bricks within cavities for Linear Transformer Drivers», в 2015 IEEE Pulsed Power Conference (PPC), Austin, TX, USA, 2015, сс. 1–4, doi: 10.1109/PPC.2015.7296925.
6. L. Zhou и др., «Design of a 5-MA 100-ns linear-transformer-driver accelerator for wire array Z-pinch experiments», Phys. Rev. Accel. Beams, т. 19, вып. 3, с. 030401, мар. 2016, doi: 10.1103/PhysRevAccelBeams.19.030401.
7. Кондратьев Сергей Сергеевич, Алексеенко Виталий Михайлович. Метод численного моделирования пусковой системы ЛТД-ступеней // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2019. – с. 128-132.
8. A. A. Kim, V. M. Alexeenko, S. S. Kondratiev, и V. A. Sinebrukhov, «Statistical Regularity in LTD Technology», в 2018 20th International Symposium on High-Current Electronics (ISHCE), Tomsk, 2018, сс. 123–125, doi: 10.1109/ISHCE.2018.8521228.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ
КИНЕМАТИКИ ГИБРИДНОГО РЕКОНФИГУРИУЕМОГО
ТРОСОВОГО РОБОТА**

Е.А. Марчук, А.М. Идрисов

**Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники
Университет Иннополис,
г. Иннополис, marocci@bk.ru**

В статье приводится описание математической модели кинематики гибридного тросового робота. Численное решение прямой задачи кинематики

параллельного робота найдено с использованием алгоритма Левенберга – Марквардта. Кинематика последовательной подсистемы представлена моделью Денавита-Хартенберга. Пространственная ориентация задана в виде кватернионного представления.

The article deals with a problem of mathematical modeling of kinematics of cable-driven hybrid robot. Numerical solution of forward kinematics problem for parallel cable-driven robot has been found with the Levenberg – Marquardt algorithm. The Denavit – Hartenberg model has been used to describe forward kinematics of serial robot and orientations have been represented with quaternions.

При выполнении работ, типичных для тросовых роботов, может возникнуть потребность интенсивных перемещений рабочего органа робота на относительно небольшие расстояния в пределах некоторых участков [1]. Перемещение всей платформы тросового робота в таких случаях оказывается неэффективным решением. Становится обоснованным использование гибридной конфигурации, предусматривающей установку модуля манипулятора последовательного робота на мобильную платформу параллельного робота. Описываемый в настоящей статье гибридный реконфигурируемый робот используется применительно к крупногабаритным объектам при покрасочных работах со сложными участками окрашиваемой поверхности.

Приводимая далее математическая модель кинематики гибридного робота разделена на две субмодели: основного параллельного и модульного последовательного робота. Обратная задача кинематики параллельного тросового робота не представляет особых сложностей, однако, для прямой задачи кинематики параллельных тросовых роботов в настоящее время не известно представление аналитического решения [2]. В ходе численного решения в конкретных случаях рекомендуется использование алгоритмов Ньютона – Рафсона или Левенберга – Марквардта. В процессе выполнения действий модульного манипулятора необходимо обеспечить устойчивость платформы, для этого должны соблюдаться условия: масса платформы $>>$ массы рабочего органа (для IRPM); положение платформы в пространстве жестко фиксируется натянутыми тросами (для CRPM и RRPM). Поскольку в качестве основного параллельного робота используется строительный тросовый робот Университета Иннополис, задача прямой кинематики далее рассматривается в отношении платформы с $n = 6$ степенями свободы и количеством тросов $m = 8$ (система кинематически переопределена) [3]. При решении задачи тросы будем считать пружинами и используем энергетический подход, основанный на минимизации потенциальной энергии системы тросов

$$U = \sum_{i=1}^m \frac{1}{2} k_i \Delta l_i^2$$

$$\Delta l_i^2(l, r, R) = \|a_i - r - Rb_i\|_2^2 - l_i^2$$

a – вектор, соединяющий начало координат неподвижной системы с точкой схода i -го троса с направляющего ролика; b – вектор, соединяющий начало координат подвижной системы с точкой крепления i -го троса к подвижной платформе; k – коэффициент жесткости i -го троса; l – длина вектора, соединяющего точку схода i -го троса с точкой крепления i -го троса к подвижной платформе; r – радиус-вектор, соединяющий начало координат неподвижной системы с началом координат подвижной системы; R – матрица поворота.

Обратим внимание на то, что минимум функции потенциальной энергии определяется не значением жесткости, а зависит от величины удлинения каждого троса. Для системы с количеством тросов $m = 8$ функциональная зависимость принимает вид:

$$\varphi(l) = \min_{r, R} \sum_{i=1}^m \Delta l_i^2(l, r, R)$$

$$l = [l_1 \dots l_m]^T$$

l – вектор, состоящий из значений длин вытравленных тросов.

Для определения приблизительного положения центра масс подвижной платформы воспользуемся методами интервальных вычислений. Если решение существует, то центр масс платформы будет гарантированно находиться внутри области, ограниченной поверхностями пересечения сфер, таких, что центром каждой сферы является точка схода троса с направляющего ролика, а радиус ρ определен выражением:

$$\rho = l_i + \|b_i\|_2$$

Координаты оценочного положения центра масс платформы определены радиус-вектором:

$$r_0 = \frac{1}{2} (r^{low} + r^{up})$$

$$r^{low} = \max_i r_i^{low} = a_i - (l_i + \|b_i\|_2) [1, 1, 1]^T$$

$$r^{up} = \min_i r_i^{up} = a_i + (l_i + \|b_i\|_2) [1, 1, 1]^T$$

и будут использоваться в качестве начального приближения для решения задачи минимизации методом Левенберга – Марквардта. Если условие

$$r^{up} \geq r^{low}$$

не выполняется, то решение задачи для заданных значений длин тросов не существует. Необходимым условием существования экстремума в точке является условие равенства нулю градиента и достаточным условием минимума является положительная определенность гессиана для целевой функции

$$g(l, r, R) = \sum_{i=1}^m \left(\|a_i - r - Rb_i\|_2^2 - l_i^2 \right)$$

Искомое решение находится среди корней полинома, выраженного в виде определителя гессиана H целевой функции $g(y)$ от обобщенной координаты

$$y = [x, y, z, \varphi, \theta, \psi]^T$$

с использованием алгоритма Левенберга – Марквардта.

Для модуля трехзвенного последовательного робота-манипулятора с поворотными шарнирами прямая задача кинематики решается с использованием представления Денавита – Хартенберга, где a , b , c – длины звеньев и α , β , γ – углы поворота шарниров. Координаты основания манипулятора выражаются из найденных на предыдущем этапе координат центра масс подвижной платформы.

Результаты численного эксперимента в среде Matlab для модели гибридного реконфигурируемого тросового робота Университета Иннополис представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

<i>i</i>	<i>l,m</i>	<i>Алгоритм Левенберга – Марквардта</i>		<i>Представление Денавита – Хартенберга</i>				
1	9	<i>Начальное приближение</i>		<i>Найденное значение</i>		<i>q</i>	<i>Положение захвата</i>	
2	17	<i>x</i>	4.311	4.235	<i>a</i>	0.54	<i>x</i>	4.312
3	21	<i>y</i>	5.592	5.650	<i>b</i>	0.48	<i>y</i>	6.251
5	9	<i>z</i>	8.219	8.320	<i>c</i>	0.27	<i>z</i>	9.002
6	17	φ	0	-	α	+30	φ	-
7	21	θ	0	-	β	+45	θ	-
8	15	ψ	0	-	γ	0	ψ	-

Примененные в ходе решения задач прямой кинематики алгоритмические методы используются при реализации системы управления манипулятором гибридного робота в реальном времени.

Литература:

1. *Марчук Е.А., Идрисов А.М., Малолетов А.В.* Особенности тросовых роботизированных систем, используемых в строительстве методом 3-D печати // 10-я Международная научно-практическая конференция «Перспективное развитие науки, техники и технологий». – Курск, 2020.
2. *Pott A.* Cable-Driven Parallel Robots. – Springer, 2018. – 465 p.
3. *Марчук Е.А., Идрисов А.М., Малолетов А.В.* Расчет нагрузок на элементы тросовой системы роботизированного комплекса, используемого в строительстве методом 3-D печати // XIII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Издательство ТПУ, 2020. – С. 48 – 50.
4. *Duffy D.G.* Advanced Engineering Mathematics with MATLAB. – Taylor & Francis Group, 2017. – 980 p.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ 2D РЕШЕТОЧНОГО ГАЗА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА НИТРИДИЗАЦИИ САПФИРА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

Д.С. Милахин¹, В.Г. Мансуров¹, К.С. Журавлев^{1,2}

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова,

²Новосибирский государственный университет

г. Новосибирск, dmilakhin@isp.nsc.ru

В рамках данного исследования разработана модель, описывающая процесс формирования кристаллической фазы AlN на базе универсальной модели решеточного газа, изучен характер и роль прямых и непрямых латеральных взаимодействий, определена критическая температура для оценки величины латеральных взаимодействий.

In this work, the universal 2D lattice gas model describing the AlN crystalline phase formation on the sapphire surface within the mean field theory was investigated, the nature and role of direct and indirect lateral interactions of the AlN lattice gas were studied, and the critical temperature for estimating the magnitude of lateral interactions was determined.

После того, как Isamu Akasaki, Hiroshi Amano и Shuji Nakamura удалось получить на подложке сапфира (Al_2O_3) первый яркий синий светодиод на основе полупроводниковых соединений A_3 -нитридов, данные полупроводники рассматриваются как очень многообещающие материалы дляnano- и оптоэлектронных применений. Одной из самых распространенных инородных (по отношению к A_3 -нитридам) подложек для роста A_3 -нитридов является подложка сапфира. Сапфир прозрачен в видимом и ультрафиолетовом диапазонах длин волн, имеет довольно высокую теплопроводность (38,5 Вт/м·К при 300 К), термически стабилен, имеет высокое кристаллическое совершенство и намного дешевле собственных нитридных подложек или SiC. Поэтому Al_2O_3 является широко используемой подложкой при синтезе гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) на основе A_3 -нитридов преимущественно для оптоэлектронных приборов, а также при отработке технологии роста ГЭС для НЕМТ-транзисторов.

Проблема эпитаксиального роста A_3 -нитридов на подложке Al_2O_3 связана с большим рассогласованием (~53%) латеральных параметров кристаллических решёток выращиваемого слоя AlN/GaN и подложки Al_2O_3 . Для минимизации рассогласования осуществляется химическое преобразование поверхности Al_2O_3 в процессе экспонирования нагретой подложки в потоке активного азота с формированием тонкого кристаллического слоя AlN. Такой процесс называется «нитридацией»

– являющийся неотъемлемой частью технологии роста А₃-нитридов на сапфире. При образовании кристаллического AlN, элементарная ячейка располагается с поворотом на 30° относительно элементарной ячейки Al₂O₃, что приводит к эффективному рассогласованию латеральных параметров ячеек до ~ 13%. В результате становится возможным рост эпитаксиальных слоев А₃-нитридов с пониженными упругими напряжениями.

В настоящее время, достигнут значительный прогресс в понимании и численном моделировании разнообразных процессов на поверхности твердых тел [1]. Методы на основе различных вариантов моделей решеточного газа позволяют описывать широкий класс явлений: равновесные состояния поверхности, адсорбцию, диффузию, образование упорядоченных структур на поверхности (реконструкции), фазовые переходы и критические явления на поверхности, и многие другие. Эмпирически установлено, что в решеточном газе адсорбированных частиц при достаточно низких температурах появляется конденсированная (жидкая или твердая) фаза. Возникновение конденсированного состояния возможно только при наличии латерального притяжения между частицами адсорбата, которое хорошо описывается простой моделью Ван-дер-Ваальса. В данной модели в рамках теории среднего поля учитывается как потенциал притяжения, так и отталкивания, которые описываются двумя константами. Однако, между однотипными адсорбированными частицами, как в случае формирования AlN, прямое взаимодействие носит характер отталкивания. Возникает проблема объяснения конденсации в решеточном газе.

Мы приняли, что элементарная ячейка AlN играет роль ячейки решеточного газа. Представляется разумным предположить, что формирование сложной элементарной ячейки AlN включает несколько стадий (Рисунок 1), что приводит к появлению промежуточных метастабильных ячеек и может рассматриваться как образование промежуточного решеточного газа, состоящего из промежуточных ячеек.

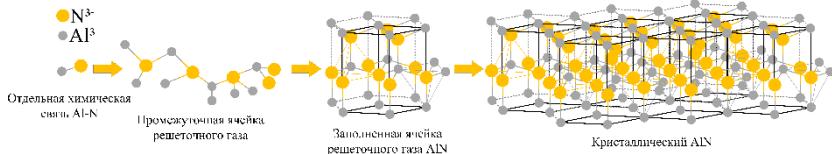


Рис. 1 – Схематическое представление сложного процесса формирования кристаллической фазы AlN, включающего несколько стадий: образование отдельной химической связи, промежуточного решеточного газа, состоящего из промежуточных ячеек; образование заполненных ячеек решеточного газа AlN и кристаллического AlN.

Двумерная система адсорбированного газа может быть охарактеризована уравнением состояния, которое выражает отношение между давлением, покрытием и температурой. Используя традиционный статистический анализ, мы выразили свободную энергию F , соответствующую решеточному газу заполненных ячеек AlN с покрытием θ , в виде:

$$F = -\varepsilon\theta + k_B T \cdot [\theta \cdot \ln \theta + (1-\theta) \cdot \ln(1-\theta)] + \frac{1}{2} \cdot E_i \cdot \theta^2 - U \cdot \omega \cdot \theta, \quad (1)$$

где ε - энергия взаимодействия заполненных ячеек с подложкой, E_i - энергия парного латерального отталкивания соседних заполненных ячеек решеточного газа, ω обозначает покрытие промежуточным решеточным газом, которое затем трансформируется в решеточный газ ячеек AlN с покрытием θ , U - энергия стабилизации, возникающая при образовании заполненной ячейки AlN. Свободная энергия, соответствующая образованию решеточного газа, состоящего из промежуточных ячеек с покрытием ω , выражается как:

$$F_j = V\omega + k_B T \cdot [\omega \cdot \ln \omega + (1-\omega) \cdot \ln(1-\omega)] - U \cdot \omega \cdot \theta, \quad (2)$$

где V - энергия, затраченная на создание заполненной промежуточной метастабильной ячейки решеточного газа.

Используя обычное определение химического потенциала $\mu = dF/d\theta$, минимизируя выражение (2) по концентрации ω и учитывая член $U\omega\theta$ по аналогии с уравнением Ван-дер-Ваальса, для описания процесса формирования кристаллической фазы AlN было получено трехпараметрическое уравнение, которое ранее успешно применялось для описания различных 2D систем: для реконструкционных фазовых

переходов на поверхностях GaAs(001) [2], InAs(001) [3], InSb(001) [4], гомоэпитаксии GaAs [5], образования квантовых точек GaN на AlN [6]:

$$\frac{\mu + \varepsilon}{k_B T} = \ln \left[\frac{\theta}{1-\theta} \right] + \left[\frac{E_i \theta}{k_B T} - \frac{U/k_B T}{1 + \exp[(V-U\theta)/k_B T]} \right] \quad (3)$$

где μ - химический потенциал ячейки решеточного газа AlN, E_i , V , U - параметры латерального взаимодействия соседних заполненных ячеек решеточного газа, θ - степень заполнения/покрытия поверхности ячейками AlN, k_B - константа Больцмана.

Хорошее согласие (Рисунок 2) рассчитанной изотермы с экспериментальной кривой при температуре $T_{\text{эксп}} = 1020^\circ\text{C}$ найдено путем численной подгонки для следующих параметров латерального взаимодействия: $E_i = 0,725\text{эВ}$, $U = -0,725\text{эВ}$, $V = 0,09\text{ эВ}$ [7]. Как видно из формулы, эффективное притяжение резко возрастает с увеличением покрытия θ .

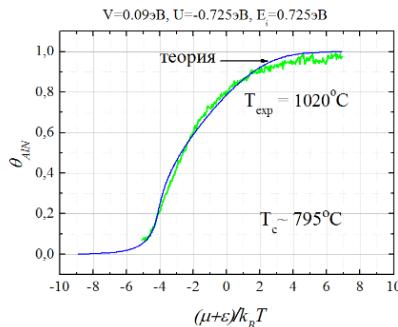


Рис. 2 – Сравнение рассчитанной трехпараметрической изотермы (гладкая) и экспериментальной кривой (ломаная).

Критическая температура $T_c = 795^\circ\text{C}$ определяется параметрами латерального взаимодействия. Поскольку экспериментальный диапазон температур был выше T_c , то наблюдаемый фазовый переход является непрерывным фазовым переходом, то есть без межфазной границы между решеточным газом и конденсированной фазой AlN.

Работа поддержанна РФФИ (гранты № 21-52-46001 и № 21-52-15009).

Литература:

1. Жданов В. П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности – Новосибирск: Наука, 1988. – 320 с.

2. Asymmetric $c(4\times 4) \rightarrow \gamma(2\times 4)$ reconstruction phase transition on the (001)GaAs surface / Yu. G. Galitsyn, D. V. Dmitriev, V. G. Mansurov, S. P. Moshchenko, A. I. Toropov // JETP Letters. – 2007. – Vol. 84. – P. 505–508.
3. Self-assembled quantum dots: from Stranski-Krastanov to droplet epitaxy / Yu. G. Galitsyn, A. A. Lyamkina, S. P. Moshchenko, T. S. Shamirzaev, K. S. Zhuravlev, A. I. Toropov // In: Belucci S. editor. Selfassembly of nanostructures. New York: Springer. – 2012. – Vol. 23. – P. 127–200.
4. Reconstruction phase transition $c(4\times 4) \rightarrow (1\times 3)$ on the (001)InSb surface / A. Bakarov, Yu. Galitsyn, V. Mansurov, K. Zhuravlev // Journal of Crystal Growth. – 2017. – Vol. 457. – P. 207–210.
5. Role of lateral interaction in the homoepitaxy of GaAs on the (001)- $\beta(2\times 4)$ surface / Yu. G. Galitsyn, D. V. Dmitriev, V. G. Mansurov, S. P. Moshchenko, A. I. Toropov // JETP Letters. – 2007. – Vol. 86. – P. 482–486.
6. Role of the phase transition at GaN QDs formation on (0001) AlN surface by ammonia molecular beam epitaxy / K. A. Konfederatova, V. G. Mansurov, T. V. Malin, Y. G. Galitsyn, I. A. Aleksandrov, V. I. Vdovin, K. S. Zhuravlev // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – Vol. 133. – P. 1181–1187.
7. Chemical kinetics and thermodynamics of the AlN crystalline phase formation on sapphire substrate in ammonia MBE / D. S. Milakhin, T. V. Malin, V. G. Mansurov, Y. G. Galitsyn, K. S. Zhuravlev // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – Vol. 133. – P. 1099–1107.

КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ НА ЗОНАХ ПЕРФОРАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

А.С. Овчинникова, М.Г. Персова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ovanse96@gmail.com

В работе представлены специальные краевые условия для получения корректного распределения давления вдоль ствола скважины с учетом гидростатического давления жидкости при численном моделировании процессов многофазной фильтрации в пористых средах.

The paper presents special boundary conditions for correct pressure distribution along the wellbore, taking into account the hydrostatic pressure of fluid in the numerical simulation of multiphase flow in porous media.

В настоящее время в нефтедобывающей отрасли для оптимизации процессов разработки месторождений происходит активное внедрение специализированных программно-математических пакетов, позволяющих проводить численное моделирование процессов, протекающих в геологических средах. Ввиду этого, становятся актуальными задачи компьютерного моделирования месторождений и разработка вычислительных схем, позволяющих проводить расчеты для сложных физических моделей.

Краевую задачу для расчета поля давления для численного моделирования процессов многофазной фильтрации, полученную на основе закона Дарси, можно записать в виде уравнения

$$-\operatorname{div}\left(\mathbf{K} \sum_{m=1}^M \frac{\kappa^m}{\eta^m} \operatorname{grad}(P + \rho^m g z)\right) = 0 \quad (1)$$

с краевыми условиями, определенными на границе $\partial\Omega = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$ расчетной области Ω ,

$$P|_{\Gamma^1} = P^\Gamma, \quad (2)$$

$$\mathbf{K} \sum_{m=1}^M \frac{\kappa^m}{\eta^m} \frac{\partial P}{\partial n}|_{\Gamma^2} = F^\Gamma, \quad (3)$$

где \mathbf{K} – тензор структурной проницаемости, m – номер фазы, M – количество фаз, κ^m, η^m, ρ^m – коэффициент относительной фазовой проницаемости, вязкость и плотность фазы m , P – давление, g – ускорение свободного падения, а z – координата на вертикальной оси, Γ^1 – границы расчетной области, где задано давление P^Γ , а Γ^2 – границы расчетной области, где задан поток смеси F^Γ . Функция F^Γ не равна нулю на тех частях границы Γ^2 , которые соответствуют активным в данный момент времени зонам перфорации скважин.

Более подробно описание численного метода решения данной задачи с использованием метода конечных элементов [1] представлено в работах [2-4].

Зачастую при моделировании процессов течения жидкости в пористой среде скважины обладают зоной перфорации с большим размером по Z или несколькими зонами перфорации, расположенными на разной высоте и в разных пластах

геологической среды, характеризующихся различными значениями структурной проницаемости. В этом случае при задании отбора или нагнетания для таких скважин давление, полученное в результате расчета, может неравномерно изменяться вдоль скважины. Для того чтобы получившееся давления вдоль скважины было распределено с учетом давления столба жидкости применим следующую вычислительную схему.

Пусть в расчетной области Ω задана конечноэлементная сетка. Разобьем все грани, образующие скважину, на N_z групп, отличающихся глубиной расположения (рисунок 1). Тогда грани скважины представляют собой множество $\{\Gamma_{i,j}\}$, где i – номер группы, j – номер грани внутри группы.

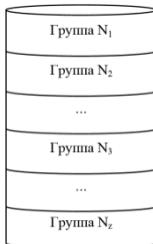


Рис. 1 – Разбиение граней скважины на N_z групп по глубине расположения граней

Грани внутри групп пронумеруем таким образом, чтобы грани, расположенные друг под другом, имели один и тот же номер j .

Связем давление внутри каждой группы с давлением в верхней группе. Тогда краевое условие (3) для j -той грани скважины будет выглядеть следующим образом:

$$K \sum_{m=1}^M \frac{\kappa^m}{\eta^m} \left. \frac{\partial P}{\partial n} \right|_{\Gamma_{1,j}} = \frac{V_{1,j}}{S_{1,j}} + \frac{\alpha}{S_{1,j}} \left(\sum_{i=2}^{N_z} (P_{i,j}^c - \rho^{mix} g (z_1 - z_i)) - (N_z - 1) P_{1,j}^c \right), \quad (4)$$

$$K \sum_{m=1}^M \frac{\kappa^m}{\eta^m} \left. \frac{\partial P}{\partial n} \right|_{\Gamma_{i,j}} = \frac{V_{i,j}}{S_{i,j}} + \frac{\alpha}{S_{i,j}} (P_{1,j}^c - P_{i,j}^c + \rho^{mix} g (z_1 - z_i)), \quad i = 2..N_z, \quad (5)$$

где $V_{i,j}$ – часть закачиваемого/отбиаемого объема смеси $F^\Gamma \cdot \sum_{i,j} S_{i,j}$, проходящая через грань $\Gamma_{i,j}$, $S_{i,j}$ – площадь грани $\Gamma_{i,j}$,

α – коэффициент регуляризации, $P_{i,j}^c$ – давление в центре грани $\Gamma_{i,j}$, ρ^{mix} – плотность закачиваемой/отбираваемой смеси, z_i – координата z центра граней i -той группы.

Полный объем смеси, проходящий через скважину, делится на части $V_{i,j}$, пропорционально площади грани $\Gamma_{i,j}$ и значениям

коэффициента $\sum_{m=1}^M K \frac{\kappa^m}{\eta^m}$ на конечном элементе, содержащем эту грань.

Соотношения (4)–(5) обеспечат одновременное выполнение условия (3) (с заданным значением F^Γ) и распределение давления на гранях $\Gamma_{i,j}$ согласно давлению в столбе жидкости.

Для демонстрации разработанной вычислительной схемы проводится сравнение с результатами 10-го «SPE» теста [5]. На основе представленных в статье данных была построена модель, которая представляет собой куб с размерностью $365.76 \times 670.56 \times 51.816 \text{ м}^3$. Были использованы предоставленные распределения пористости и тензора структурной проницаемости.

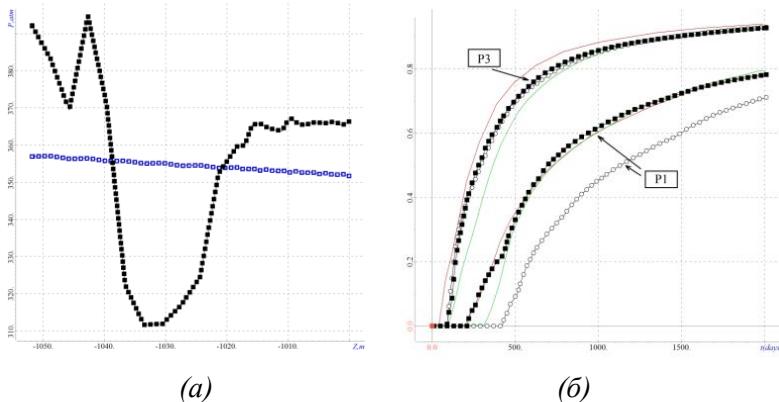


Рис. 2 – Графики а) давления вдоль скважины без выравнивания давления (черный квадрат) и с выравниванием (не закрашенный квадрат); б) обводненности в скважинах Р1 и Р3, с выравниванием давления (черный квадрат), без выравнивания (черный круг), данные из статьи (сплошные линии)

Модель включает в себя нагнетательную скважину, расположенную в центре модели и закачивающую 5000 баррелей воды в сутки (794.9 куб. м в сутки), а также четыре добывающие скважины в углах модели (скважины $P_1 - P_4$), работающие при фиксированном давлении 272 атм. Распределение компонент тензора структурной проницаемости обладает сильной неоднородностью, как по горизонтали, так и по вертикали.

Результаты моделирования показаны на рисунке 2. Из представленных графиков видно, что без применения описанной процедуры давление вдоль скважины очень неравномерно изменяется по глубине из-за высокой неоднородности среды, что приводит к сильному отклонению графика обводненности одной из добывающих скважин от данных, представленных в статье [5].

Литература:

1. Соловейчик Ю. Г., Рояк М. Э., Персова М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 896 с.
2. Numerical modeling of multi-phase flow for various junctions of water and oil saturated layers in 3-D porous media/ Persova M.G., Soloveichik YU.G., Patrushev I.I., Grif A.M. // Actual problems of electronic instrument engineering (AREIE–2018): междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск 2-6 окт. 2018 г.– Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – С. 212-215.
3. Flow balancing in FEM modelling of multi-phase flow in porous media/ Marina G. Persova, Yuri G. Soloveichik, Alexander M. Grif, Ilya I. Patrushev // Actual problems of electronic instrument engineering (AREIE–2018): междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск 2-6 окт. 2018 г.:– Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – С. 205-211.
4. Патрушев И.И., Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г. Исследование численного метода трёхмерного моделирования процесса многофазной фильтрации // Обработка информации и математическое моделирование : материалы Рос. науч.-техн. конф. – Новосибирск : СибГУТИ, 2018. – С. 85-92.
5. Christie M. A., Heriot-Watt U., Blunt M. J. Tenth SPE Comparative Solution Project: A Comparison of Upscaling Techniques // SPE Reservoir Simulation Symposium. – 2001.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ СДВИГА НА ВЯЗКОСТЬ ПОЛИМЕРА

И.И. Карасенко, А.С. Овчинникова, И.И. Патрушев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, patrushev.ii@mail.ru

В работе рассматривается подход к 3D-моделированию нефтяных месторождений, позволяющий учитывать влияние скорости сдвига на вязкость полимера, закачиваемого в пласт для повышения нефтеотдачи.

The paper considers an approach to 3D modeling of oil reservoirs, which allows to take into account the dependence of viscosity on shear rate of polymer injected into the reservoir to enhance oil recovery.

В настоящее время актуальными являются задачи моделирования нефтяных месторождений с учетом физических свойств, оказывающих особое влияние на процессы, протекающие в ходе применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Одним из таких методов является полимерное заводнение (polymer flooding) [1,2], в рамках которого в качестве замещающего агента в коллектор нагнетается водный раствор полимера. При этом вязкость нагнетаемого раствора значительно выше вязкости воды и может быть сопоставима с вязкостью нефти. Корректное моделирование физических процессов, протекающих в ходе применения МУН, имеет высокое значение при синтезе оптимального управления месторождением, в особенности на поздних этапах разработки.

В работе рассматривается подход к численному моделированию многофазной фильтрации в пористой среде на основе метода конечных элементов. Рассмотрим модификацию решения краевой задачи, описанной в работах [3,4], учитывающую зависимость вязкости фазы от скорости сдвига:

$$-\operatorname{div}\left(K \sum_{ph} \frac{k^{ph}(S^{ph})}{\eta^{ph}(v^{ph}, C^{pol})} \operatorname{grad} P\right) = 0, \\ P|_{\Gamma_1} = P^{plast}, \quad K \sum_{ph} \frac{k^{ph}(S^{ph})}{\eta^{ph}(v^{ph}, C^{pol})} \frac{\partial P}{\partial n} \Bigg|_{\Gamma_2} = \theta, \quad (1)$$

где P – давление, S^{ph} – насыщенность фазы ph , k^{ph} – коэффициент относительной фазовой проницаемости, K – структурная проницаемость породы, P^{plast} – пластовое давление, θ – плотность потока отбираемой/закачиваемой смеси, а η^{ph} – вязкость фазы ph ,

причем вязкость воды может зависеть от концентрации растворенного в ней полимера C^{pol} и скорости сдвига v^{ph} . Зависимость $\eta^{ph}(v^{ph}, C^{pol})$ можно найти, например, в работе [5]. Скорость сдвига рассчитывается по формуле [6]:

$$v^{ph} = \sqrt{\frac{2K \cdot k^{ph}}{\Phi} \frac{\|\text{grad}P\|}{\eta^{ph}}},$$

где Φ – пористость.

Краевая задача (1) относительно давления P является нелинейной. Для решения этой задачи используется метод простой итерации, схема соответствующего алгоритма представлена на рисунке 1.

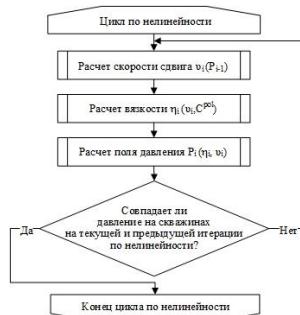


Рис. 1 – Схема решения краевой задачи с учетом зависимости вязкости фазы от скорости сдвига

В данной работе рассматривается влияние учета зависимости вязкости раствора полимера от скорости сдвига на аппроксимацию его распространения по коллектору. Исследование проведено на модели месторождения с четырьмя слоями, одной добывающей и одной нагнетательной скважиной. Разрез модели месторождения приведен на рисунке 2, на котором показаны толщины слоев и положение скважин. Расстояние между скважинами – 150 м. Проницаемость двух тонких слоев – 5000 мД, а остальных слоев – 500 мД. Вязкость нефти – 80 мПа·с, воды (без полимера) – 1.16 мПа·с. Стартовая насыщенность нефти (во всей области) – 0.6. Объем добычи и нагнетания – 15 м³ в сутки. Рассмотрим три режима: режим 1 – нагнетание только воды; режим 2 – полимерное заводнение без учета скорости сдвига, режим 3 – полимерное заводнение с учетом скорости сдвига. Причем нагнетание полимера производится только в первые 30 суток с концентрацией 0.1%, а затем нагнетается вода. Время расчета 400 суток.

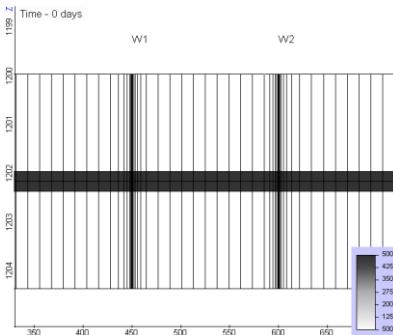


Рис. 2 – Модель месторождения в плоскости Oxz

На рисунке 3 изображены графики давления на нагнетательной скважине и графики доли нефти в отбираемой жидкости для трех режимов работы нагнетательной скважины.

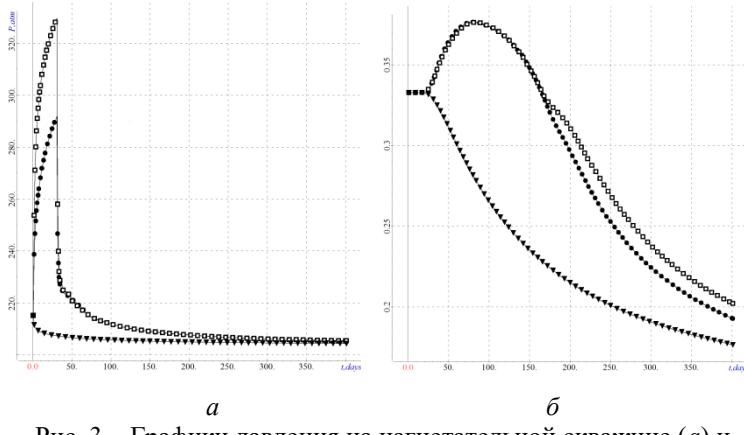


Рис. 3 – Графики давления на нагнетательной скважине (а) и графики доли нефти в отбираемой жидкости (б). Режим 1 – треугольник, режим 2 – квадрат, режим 3 – круг.

На рисунке 4 приведены поля вязкости воды с полимером для режимов 2 и 3 в момент времени 30 суток.

Исходя из полученного результата, можно сделать вывод, что учет рассматриваемой зависимости вязкости раствора полимера в значительной мере влияет на аппроксимацию потока смеси в пористой среде, а также на величину давления на нагнетательной скважине, что в

свою очередь может иметь большое значение в ходе синтеза оптимального управления разработкой месторождения.

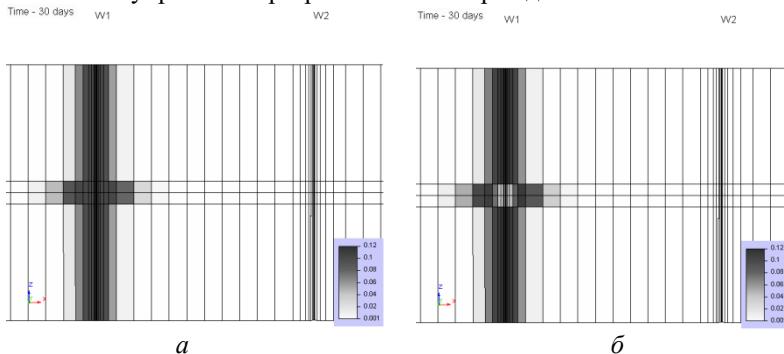


Рис. 4 – Поля вязкости фазы воды с полимером для режима 2 (а) и режима 3 (б) в плоскости O_{xz} в разрезе по скважинам

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90049.

Литература:

1. *Sheng J.J., Leonhardt B., Azri N.* Status of polymer-flooding technology // *J. Can. Pet. Technol. Society of Petroleum Engineers*, 2015. Vol. 54, № 2. P. 116–126.
2. *Dang C. et al.* Modeling and optimization of alkaline-surfactant-polymer flooding and hybrid enhanced oil recovery processes // *J. Pet. Sci. Eng. Elsevier B.V.*, 2018. Vol. 169. P. 578–601.
3. *Soloveichik Y.G., Persova M.G., Patrushev I.I., Glushkov S.A.* Numerical modeling of multi-phase flow in porous media for petroleum technology using polymers flood // 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2018 - Proceedings. IEEE, 2018. P. 301–306.
4. *Persova M.G., Soloveichik Y.G., Grif A.M., Patrushev I.I.* Flow Balancing in FEM Modelling of Multi-Phase Flow in Porous Media // 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2018 - Proceedings. IEEE, 2018. P. 205–211.
5. *Lopes L.F., Silveira B.M.O., Moren R.B.Z.L.* Rheological Evaluation of HPAM fluids for EOR Applications // *IJET Int. J. Eng. Technol.* 2014. Vol. 14, № 03. P. 35–41.
6. *Lake L.W.* Enhanced oil recovery. Englewood Cliffs (N. J.) : Prentice Hall, Cop., 1989.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ

Е.И. Рожкова, К.М. Моисеева
Томский государственный университет,
г.Томск, katushar2801@mail.ru

Работа посвящена численному решению задачи о сгорании газовзвеси угольной пыли в высокоскоростном закрученном потоке. Постановка задачи основана на подходах механики двухфазных реагирующих сред Р. И. Нигматуллина и учитывает тепловое, инерционное и химическое взаимодействие между газом и частицами. Решение задачи выполнено с использованием алгоритма распада произвольного разрыва. Из решения задачи определялась форма пламени в зависимости от состава смеси и величины закрутки потока на входе в канал.

The work is devoted to the numerical solution of the problem of combustion of a gas suspension of coal dust in a high-speed swirling flow. The statement of the problem is based on the approaches of the mechanics of two-phase reacting media of R.I. Nigmatullin and takes into account the thermal, inertial and chemical interactions between gas and particles. The problem was solved using an arbitrary discontinuity decay algorithm. From the solution of the problem, the shape of the flame was determined depending on the composition of the mixture and the amount of flow swirling at the channel inlet.

В работе решается задача о горении взвеси угольной пыли в канале с расширением при закрутке потока. Горение с закруткой потока на настоящий момент является одной из важных инженерных задач для физики горения. В научной литературе существует гипотеза о повышении эффективности горения реагирующих газовых смесей в камерах сгорания с закруткой потока. Полагается, что закрутка потока может приводить к повышению эффективности сжигания газодисперсных топлив за счет интенсификации теплообмена.

В настоящей работе закрутку потока предложено моделировать через учет угловой составляющей скорости потока. Ранее, была решена задача о течении газовзвеси в канале с расширением и показано, что при большой скорости закрутки частицы «выбрасываются» на стенки канала [1]. Указанный эффект может существенным образом повлиять на тепловые и химические процессы в энергетических устройствах, рабочим телом которых является газовзвесь. Целью настоящего исследования является определение влияния угловой составляющей скорости потока на характеристики течения и горения газовзвеси угольной пыли в канале с расширением.

Решается задача горения газовзвеси угольной пыли в двухмерной осесимметричной постановке задачи. Постановка задачи основана на подходах механики двухфазных реагирующих сред Р. И. Нигматуллина [2]. Полагается, что система, уравнений, описывающих движение газовзвеси, учитывает изменение скорости потока по осевой и радиальной составляющей, производная скорости потока по угловой составляющей равна нулю. Предполагается, что до начала процесса канал заполнен холодным воздухом, частицы угольной пыли отсутствуют. Внутри канала расположен постоянный источник зажигания. Правый торец канала открыт, с левого торца в канал подается аэровзвесь угольной пыли. На рисунке 1 представлена схема канала. Источник зажигания Q расположен внутри канала после расширения.

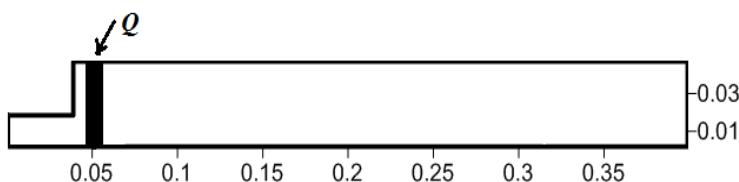


Рис. 1. – Схема цилиндрической камеры сгорания с внезапным расширением

Основные предположения физико-математической модели соответствуют работе [1]. Полагается, что поток аэровзвеси является закрученным. Не учитываются диффузионные слагаемые в уравнениях энергии газа и парциальной плотности окислителя в газе. Разогретые частицы угольной пыли способны к химическому реагированию. На поверхности частиц протекает гетерогенная реакция первого порядка по кислороду. Скорость гетерогенной химической реакции на частицах лимитируется коэффициентом массоотдачи β . Учитывается межфазное взаимодействие между частицами и газом. Постановка задачи определяется уравнениями сохранения массы, импульса и энергии газа; уравнениями сохранения массы, импульса и энергии частиц; уравнениями баланса массы кислорода в смеси и сохранения количества частиц.

Метод решения задачи соответствовал работе [1] и был основан на алгоритмах [3, 4]. Шаги расчетной сетки по пространству вдоль осевого и радиального направления задавались равными 10^{-3} м , шаг по времени вычислялся из условия устойчивости Куранта [3].

На рисунках 2 – 4 представлены результаты решения задачи. Рисунки представлены для случая горения взвеси угольной пыли с массовой концентрацией $0.08 \text{ кг}/\text{м}^3$ при значении осевой составляющей скорости

подачи аэровзвеси 5 м/с. Рисунки 2 – 3 построены для частиц радиуса 10 мкм, рисунок построен для частиц радиуса 2 мкм. Угловая составляющая скорости потока задавалась по закону $u_\phi = A_z \left(\frac{r}{R} \right) u_{xb}$.

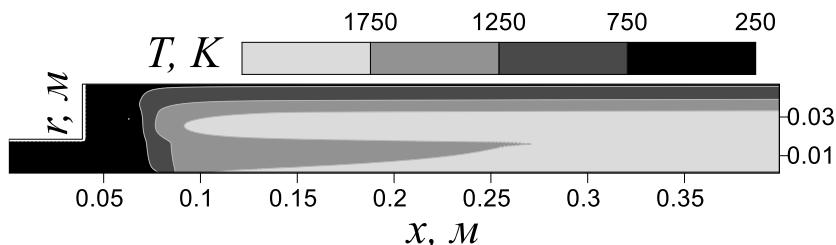


Рис. 2 – Температура газа при $m_k=0.08 \text{ кг}/\text{м}^3$, $r_{kb}=10^{-5} \text{ м}$, $u_{xb}=5 \text{ м}/\text{с}$, $A_z=1$

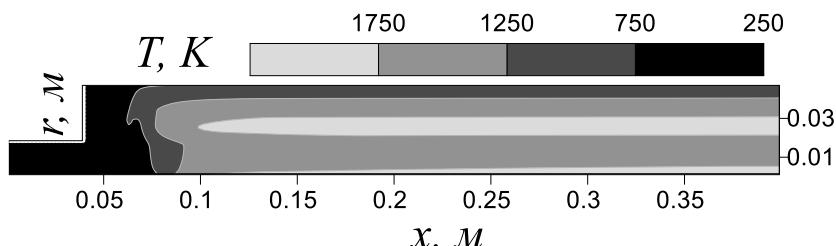


Рис. 3 – Температура газа при $m_k=0.08 \text{ кг}/\text{м}^3$, $r_{kb}=10^{-5} \text{ м}$, $u_{xb}=5 \text{ м}/\text{с}$, $A_z=100$

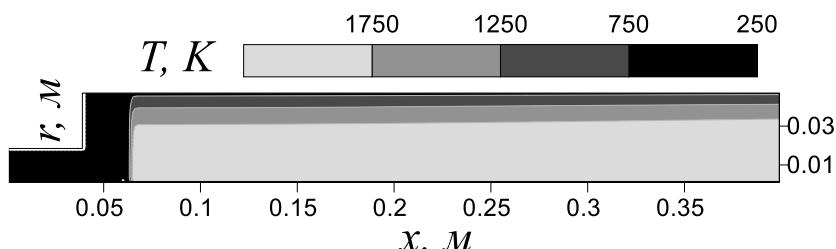


Рис. 4 – Температура газа при $m_k=0.08 \text{ кг}/\text{м}^3$, $r_{kb}=2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, $u_{xb}=5 \text{ м}/\text{с}$, $A_z=100$

Согласно полученным результатам при горении крупных частиц (рисунки 2, 3) фронт горения устанавливается внутри канала. Вдоль

стенок канала реализуются низкие температуры смеси. При этом при большом коэффициенте закрутки (рисунок 3) фронт горения удален и от оси канала. Формирование низкотемпературной зоны вдоль стенок канала объясняется недогоранием частиц угольной пыли в этой зоне. При высоких скоростях закрутки вдоль оси канала частицы отсутствуют, что приводит к невысоким температурам в этой области. В случае горения крупных частиц фронт пламени имеет искривленную форму. При уменьшении размера частиц формируется не искривленный фронт горения, симметричный относительно оси канала (рисунок 4). Частицы в этом случае успевают сгореть внутри очага зажигания.

Выводы.

Разработана физико-математическая модель горения газовзвеси угольной пыли в канале с внезапным расширением при закрутке потока. Показано, что в зависимости от угловой составляющей скорости подачи смеси на входе в канал фронт горения может быть вытянутым вдоль оси канала или искривленным. Также показано влияние размера частиц на форму фронта горения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта № 19-48-703006 р_мол_а).

Литература:

1. Моисеева К. М., Крайнов А. Ю., Рожкова Е. И. Физико-математическое моделирование закрученного течения газовзвеси в цилиндрическом канале с внезапным расширением// Тезисы XVI Всероссийского семинара с международным участием «Динамика многофазных сред». 30 сентября – 5 октября 2019 г. – 2019 г. – с. 118 – 120.
2. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред, Москва: Наука, 1987.
3. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики, Москва: Наука, 1976.
4. Крайко А.Н. О поверхностях разрыва в среде, лишенной 'собственного' давления// Прикладная математика и механика. 1979. Т. 43. № 3. С. 500–510.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ MOBILEMT

А.П. Сивенкова, М.Г. Персова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nastya_sivenkova19@mail.ru

В работе рассмотрен подход к интерпретации данных электромагнитного зондирования, полученных с помощью технологии MobileMT и приведены результаты исследования на теоретических и практических данных.

The article considers the interpretation of electromagnetic sounding data obtained using the MobileMT technology and the results of a study on theoretical and practical data.

Mobile MagnetoTellurics (MobileMT) – это технология аэроэлектроразведки, основанная на измерении магнитотеллурического поля в достаточно широком частотном диапазоне.

Аэрогеофизическая система включает в себя две пары заземленных электрических линий (именуемые базой) и подвесную к вертолету движущуюся трехкомпонентную индуктивную катушку для измерений вариаций магнитного поля в трех ортогональных направлениях.

Для моделирования электромагнитных полей используется схема с выделением поля [1]. Напряженность электрического поля представляется в виде суммы: $\vec{E}' = \vec{E}^p + \vec{E}^s$, где \vec{E}^p – напряженность первичного электрического поля, возбуждаемого источником электромагнитного поля в горизонтально-слоистой среде, а \vec{E}^s – напряженность электрического поля, определяемая полем влияния аномалий. Аномальная составляющая поля $\vec{E}^s(x, y, z, t)$ без учета токов смещения в трехмерной расчетной области Ω может быть найдена из решения векторного дифференциального уравнения для вектор-потенциала $\vec{A}^s(x, y, z, t)$

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{A}^s \right) + i\omega\sigma \vec{A}^s = (\sigma - \sigma^p) \vec{E}^p, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, σ – удельная электрическая проводимость трехмерной среды, σ^p – удельная электрическая проводимость горизонтально-слоистой среды.

Все исследуемые поля представляются как комплекснозначные функции. Нормальное поле рассчитывается с помощью одномерной задачи в декартовых координатах для вектор-потенциала $\vec{A}^p(z)$.

Измеренные три составляющие магнитного поля линейно связаны с горизонтальными электрическими полями, измеренными на земле [2,3], с помощью следующего соотношения:

$$\begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \\ H'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{xx} & Y_{xy} \\ Y_{yx} & Y_{yy} \\ Y_{zx} & Y_{zy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где матрица Y является тензором магнитотеллурического адmittанса [2,3].

На основе измеренных и расчетных данных вычисляется кажущаяся проводимость:

$$\sigma_\rho = \mu_0 \omega |Y^2|, \quad (3)$$

которая используется в качестве зависящих от частоты сигналов при решении обратной задачи.

Параметры геологической модели будут определяться на основе минимизации функционала

$$\Phi^\alpha(\mathbf{b}) = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K (\tilde{\omega}_{lk} \delta\epsilon_{lk}(\mathbf{b}))^2 + \sum_{m=1}^M \alpha_m (b_m - \bar{b}_m)^2, \quad (4)$$

где $\delta\epsilon_{lk} = \tilde{\epsilon}_{lk} - \epsilon_{lk}$, ϵ_{lk} – сигналы, зарегистрированные в l -м приемнике на частоте ω_k , $\tilde{\epsilon}_{lk}$ – теоретические сигналы, полученные в результате решения прямой задачи, b_m – компоненты вектора искомых параметров \mathbf{b} , \bar{b}_m – фиксированные параметры, α_m – параметры регуляризации, $\tilde{\omega}_{lk}$ – некоторые веса, отражающие уровень погрешности при приеме сигнала в l -м приемнике и масштаб измерения приемного сигнала на определенной частоте.

С помощью рассмотренного математического аппарата были исследованы глубинность и разрешающая способность технологии. Для этого было создано две геологические модели.

Для формирования геоэлектрической модели №1 в семислойную горизонтальную среду помещается проводящий объект. Объект расположен по Z-координате от -70 метров до -30 метров. Диапазон частот, в котором выполняются измерения, составляет от 42.2 Гц до 16961.1 Гц.

Для формирования геоэлектрической модели №2 к объекту модели №1 был добавлен глубинный проводящий объект (по Z-координате от -1310 метров до -610 метров).

На рис.3 а представлены графики сигналов для модели № 1, для модели № 2, график для модели, содержащей только объект в нижнем слое и график для модели вмещающей среды. Графики представлены в точке над объектом в зависимости от частоты. На рис.3 б показаны отношения (в %) этих сигналов к сигналу от вмещающей среды.

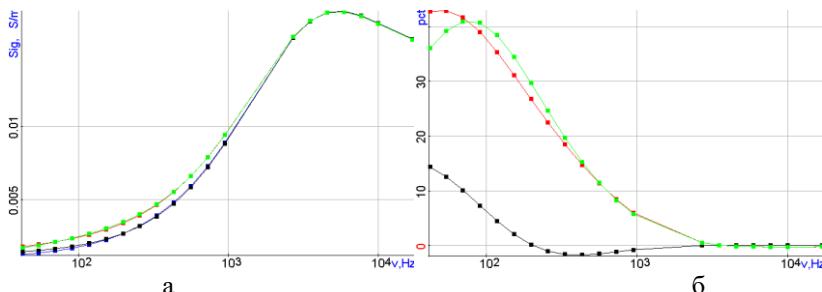


Рис. 3– Графики сигналов в точке над объектом в зависимости от частоты для вмещающей среды (синий цвет), для моделей № 1 (зеленый цвет) и № 2 (красный цвет), для модели № 2 без верхнего объекта (черный цвет) (а), а также их отношения к вмещающей среде (б)

Из представленных графиков видно, что влияние верхнего объекта является существенно более высоким, чем влияние объекта расположенного на глубине, которые создают лишь некоторый шум в сигнале. Таким образом, выявление глубинного объекта возможно только с помощью аппарата 3D-инверсии.

Для интерпретации данных были заданы блочные структуры [4]. В ходе инверсии подбирались удельные электрические проводимости внутри блоков и границы блоков.

В результате 3D-инверсии по данным модели №1 было получено, что в верхнем слое сопротивления блоков и координаты их границ достаточно точно отражают объект, соответствующий объекту в истинной модели. В нижнем же слое получено практически однородное распределение сопротивления, что также хорошо согласуется с истинной моделью.

В результате 3D-инверсии по данным модели №2 было получено, что в верхнем слое сопротивления блоков и координаты их границ, в целом, отражают объект, соответствующий объекту в истинной модели. При этом в нижнем слое в результате инверсии также была получена

некоторая аномальная зона с пониженным сопротивлением, положение которой также соответствует аномальному объекту, расположенному в нижнем слое истинной модели.

Результаты 3D-инверсий, полученные для наборов данных, синтезированных для моделей № 1 и №2, позволяют говорить о том, что, несмотря на очень слабый отклик в сигнале от низких объектов, разработанные подходы позволяют определять их наличие/отсутствие в геологической среде.

Были проведены 3D-инверсии на практических данных MobileMT, полученных в окрестности г.Кокран, Онтарио, Канада, с различными стартовыми модели: с разными размерами блочных структур, с различными поворотами блочных структур. Результаты инверсий показали хорошую сходимость практических и расчетных данных, и позволили выделить проводящие субвертикальные структуры, расположенные под различными углами в условиях существенно неоднородной верхней части разреза, согласующиеся с геологическими представлениями на изучаемом участке.

В задачах поиска, когда целевые объекты имеют преимущественно вертикальное залегание, целесообразно проводить несколько запусков 3D-инверсий с различными поворотами сеток из блоков стартовой модели, так как если при другой ориентации сеток из блоков будет получено близкое распределение проводимости вмещающей среды и, соответственно, близкая конфигурация целевых объектов, полученную геоэлектрическую модель с высокой степенью уверенности можно признать корректной.

Литература:

1. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 896 с.
2. Bagrianski A., Kuzmin P., Prikhodko A., AFMAG Evolution - Expanding Limits// 16th SAGA Biennial Conference & Exhibition 2019, 6 – 9 oct. 2019: Extended Abstracts. – Durban,2019 – P. 1-4.
3. A brief analysis of MobileMT data / Daniel S., Witherly K., Kaminski V // SEG Technical Program Expanded Abstracts –2019.– P. 2138-2142. – doi.org:10.1190/segam2019-3215437.1.
4. Three-dimensional inversion of airborne data with applications for detecting elongated subvertical bodies overlapped by an inhomogeneous conductive layer with topography / Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D.V., Kiselev D.S., Grif A.M., Koshkina Y.I., Sivenkova A.P. // Geophysical Prospecting - 2020. – Vol.98, iss.7.-P.2217-2253. - doi: 10.1111/1365-2478.12979.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТРАССИРОВКИ ЧАСТИЦ И ТРАССИРОВКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В СРЕДЕ COMSOL

П.С. Сиренко¹, Ю.А. Зюзькова¹, А. Салих², А.А. Кривцун²

¹Томский политехнический университет,

**²Томский университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск, pss12@tpu.ru, aiatulla_97@mail.ru**

Публикация рассматривает сравнение двух методов моделирования траассировки частиц в рамках разработанной трехмерной модели. Полученные результаты могут быть использованы для исследования ионизационного излучения при взаимодействии с человеческой головой. Результаты работы так же показывают способность методов выступать как аналоги методу Монте-Карло в рамках моделирования движения заряженных частиц.

The publication discusses the comparison of two methods for modeling particle tracing within the framework of the developed three-dimensional model. The results obtained can be used to study ionization radiation when interacting with the human head. The results of the work also show the ability of the methods to act as analogs to the Monte Carlo method in the framework of modeling the motion of charged particles.

Введение

Математическое моделирование процессов взаимодействия ионизирующего излучения с объектами, имеющими внутреннюю структуру имеет важное значение в рамках задач рентгеновской диагностики материалов и конструкций требуется определить и проанализировать рентгеновские изображения исследуемых объектов, а при исследовании электромагнитного воздействия проникающего излучения необходимо проанализировать распределение потоков релятивистских электронов, возникающих в результате взаимодействия ионизирующего излучения с материалами объектов. Все это возможно с помощью метода Монте-Карло

На сегодняшний день известен широкий ряд научных работ, посвященных разработкам, программным реализациям и практическому применению метода Монте-Карло для моделирования транспорта электронов в различных средах с учетом специфики исследуемых сред, аспектов экспериментального наблюдения, симметрии и размерности задачи, теоретических основ, лежащих в основе физической модели процесса [1-3]. Различные варианты реализации метода случайных траекторий реализовано в программных продуктах, позволяющих изучать поведение электронного пучка в твердом теле (Casino, NISTMonte, WinXRay, Penelope, David Joy's, NBSPMonte, Electron Flight Simulation и др.). Однако поддержка метода Монте-Карло встречается не

взде, например COMSOL Multiphysics – среда для моделирования физических процессов, который представляет библиотеки для более популярных платформ для моделирования, таких как MATLAB и др.

В проводимой работе предлагается частичное решение проблемы отсутствия полноценной рандомизации для использования метода Монте-Карло при использовании программы COMSOL. В качестве альтернативы методу Монте-Карло предлагается моделирование распространения частиц, используя доступный инструментарий, двумя методами как в рамках твердого тела, так и в газовой среде.

Выполнение данной задачи в перспективе даст возможность использовать ионизирующее излучение в рамках физических моделей основанных на COMSOL.

Построение модели исследования

Первым этапом работы являлось построение геометрии всей среды исследования. Основными пунктами геометрического моделирования являлись: рентгеновская трубка, среда распространения заряженных частиц, голова человека, состоящая из мышц и костей, стальной объект в 2 мм и область контроля, которую можно принять за плоский рентгеновский детектор. Результаты проектирования приведены на рисунке 1

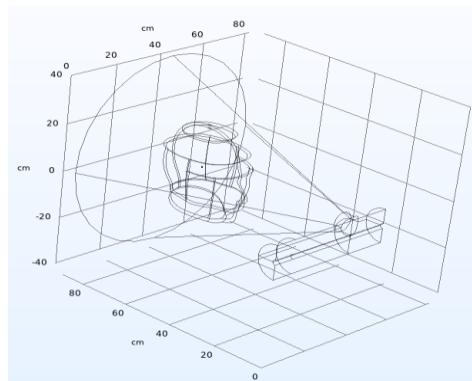


Рис. 1 – Геометрия исследования

Масштаб полученной модели является сопоставимым с реальными объектами. Ниже приведена таблица 1 с используемыми для исследования материалами и их параметрами.

Таблица 1 – Параметры материалов

	Воздух	Мышцы	Сталь	Кость	Титан
Электрическая проводимость [См/м]	0	0.4	4.032e6	0.8	7.407e5
Относительная диэлектрическая проницаемость(В/м)	1	71	82.8	48.97	91

Приведенные в таблице параметры были автоматически выставлены используемым САПР.

Согласно задаче, использовались три физических процесса для моделирования, со всеми зависимостями:

1. Математическая трассировка частиц, с использованием всех параметров частиц, идентичных электронам.
2. Электромагнитные поля для создания условия распространения электронов в исследуемой среде, где векторный потенциал электромагнитного поля взят за 0.1 Вб/м
3. Трассировка заряженных частиц.

Исследование проводилось во временной области итеративным методом.

Результаты моделирования

Методология исследования следующая:

- 1) Регистрация объемных изображений частиц как для математического моделирования частиц(ММЧ), так и для моделирования заряженных частиц(МЗЧ) через 1 мсек. Их последующее сравнение
- 2) Регистрация контрольных областей для ММЧ и МЗЧ, сравнение долей взаимодействий электронов на областях.

Результаты работы моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Метод	Доля взаимодействий электронов на стальном объекте	Доля взаимодействий электронов на катетере
ММЧ	0,015	0,127
МЗЧ	0,003	0,131

Из таблицы 2 следует минимальное отличие между методами ММЧ и МЗЧ, это может объясняться отсутствием реализации рандомайзеров в

COMSOL. Взаимодействие электронов разительно отличается только при взаимодействии со стальным объектом (в 5 раз). В остальном картины можно считать схожими без превышения отклонений в 5%.

Заключение

В ходе работы разработана модель взаимодействия ионизационного излучения в виде частиц с человеческой головой с инородным стальным объектом внутри. В ходе исследования обнаружено практически полное сходство распределений электронов в крупных масштабах. В то время в малых масштабах, на примере стального объекта существует разница в пять раз между ММЧ и МЗЧ. Моделирование прохождения рентгеновского излучения другими авторами [2] указывает на больший процент остановленных частиц твердыми мелкими предметами, что приближает ММЧ к методу Монте-Карло.

Литература:

1. Борисов С.С. Вычисления распределений по глубине энергии и заряда, выделенных при облучении мишени электронным пучком в приближении дискретных потерь / С.С. Борисов, Е.А. Грачев, С.И. Зайцев // Прикладная физика. 2007. №1. С.50-54.
2. Akarsu M. Monte Carlo simulation for electron dynamics in semiconductor devices / M. Akarsu, O. Ozbas // Mathematical and Computational Applications. 2005. V.10. No.1. P. 19-26.
3. Кортов В.С. Моделирование методом Монте-Карло транспорта электронов в заряженным при облучении кристаллических диэлектриках / В.С. Кортов, С.В. Звонарев // Математическое моделирование. 2008. Т.20. №6. С.79-85.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КАПЕЛЬ В ПОТОКЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ВОКРУГ С-ОБРАЗНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК

Н.Б. Фаткуллина, О.А. Солнышкина, А.З. Булатова
Центр Микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем,
Башкирский государственный университет,
г. Уфа, nazgulbay1999@gmail.com

Рассматривается течение жидкости в плоском прямоугольном микроканале с С-образными гидродинамическими ловушками. Численный подход к решению задачи основан на методе граничных элементов, ускоренном гетерогенным быстрым методом мультиполей.

The flow pattern around C-shaped hydrodynamic traps distributed in a flat microchannel is considered. The numerical approach is based on the Boundary Element Method, accelerated using heterogeneous Fast Multipole Method.

В настоящее время многие отрасли промышленности требуют применения новых эффективных технологий, которые могут быть разработаны на основе фундаментальных исследований в области микрогидродинамики. Трехмерное моделирование течения жидкости в сложных областях, как правило, необходимо при производстве лабораторий-на-чипе, используемых, например, для изучения многоступенчатых биохимических процессов [1]. Кроме того, микрофлюидные устройства широко используются в таких областях, как биофизика, биохимия, фармакология и медицина. Микрофлюидные устройства применяются для осуществления химических реакций, а также для точного манипулирования частицами в потоке, например, для фиксации и сортировки. Одной из важнейших задач в этой области является подбор оптимальных геометрических параметров при проектировании различных типов микрофлюидных устройств, которые необходимы для изучения биологических микрообъектов и проведения сортировки (сепарации) частиц, фиксации частиц, культивирования биологических объектов (клеток, бактерий и т.д.), подготовки и обработки образцов. Влияние геометрии структуры активно рассматривается исследовательскими группами, как с экспериментальной, так и с теоретической точки зрения.

Настоящее исследование посвящено проблеме течения вязкой жидкости с деформируемыми каплями в микроканалах с С-образными гидродинамическими ловушками. Все процессы рассматриваются при изотермических условиях и при малых числах Рейнольдса ($Re < 1$). На поверхности всех элементов ловушек и боковых ограничивающих стенок канала задается условие прилипания $\mathbf{u}(\mathbf{x}) = 0$, $\mathbf{x} \in S_s$, где S_s – поверхность неподвижных элементов. На границе раздела фаз жидкость-жидкость скорости совпадают, и задается разность векторов нормального напряжения, а также задается кинематическое условие $\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{u}(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} \in S_d$, где S_d – поверхность капель. Таким образом, поток жидкости описывается стационарными уравнениями Стокса.

Численный подход основан на методе граничных элементов (МГЭ) для трехмерных задач. Одним из достоинств метода граничных элементов является то, что он эффективен при решении трехмерных задач и задач в областях со сложной геометрией. Метод граничных элементов хорошо подходит для описания трехмерной динамики частиц с произвольной деформацией в областях со сложной геометрией, а также в сдвиговых потоках в неограниченной области. В случае сеток

небольшого размера используется неускоренная версия МГЭ. Однако при увеличении масштаба задачи возникают проблемы, обусловленные нехваткой памяти вычислительной системы. В таком случае необходимо ускорение метода граничных элементов. В данной работе стандартный МГЭ ускоряется как с помощью усовершенствованного масштабируемого алгоритма (БММ – быстрый метод мультиполей), так и с помощью гетерогенной вычислительной архитектуры (многоядерные процессоры и графические процессоры). Реализация ускоренного метода граничных элементов более подробно описана в работе [2].

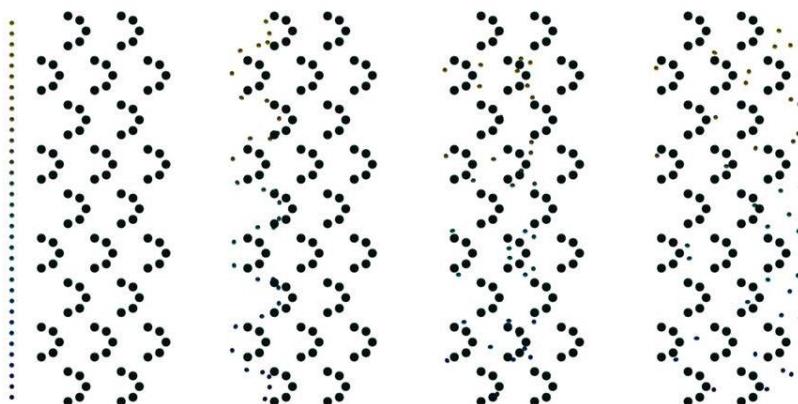


Рис. 1 – расположение деформируемых капель в микроканале с гидродинамическими ловушками ($d_x = 1 \cdot L_{trap_x}$) в моменты времени $t=0, t=31.2, t=62.4, t=93.6$ (слева направо).

На рис. 1 представлено пространственное расположение деформируемых капель в микроканале при течении через массив гидродинамических ловушек. С-образные ловушки представлены в виде пяти цилиндрических элементов одинакового радиуса $R=0.25$, расположенных полукругом, то есть С-образно. Длина ловушки составила $L_{trap_x} = 6.25 \cdot R$, ширина – $L_{trap_z} = 9 \cdot R$. Расстояние между рядами ловушек по оси O_x варьировалось от $d_x = 1 \cdot L_{trap_x}$ до $d_x = 3 \cdot L_{trap_x}$. По оси O_z расстояние постоянно $d_z = L_{trap_z}$. В плоском микроканале прямоугольного поперечного сечения 22 гидродинамические ловушки расположены в шахматном порядке. Отношение вязкости капель к вязкости несущей жидкости равно $\lambda = \mu_2/\mu_1 = 10$. Радиусы капель $a = 0.5 \cdot R$, расстояние между центрами

капель по оси $O_z - 2.5 \cdot R$. Изначально капли имели сферическую форму и располагались в один ряд, после чего в потоке вязкой несжимаемой жидкости они деформировались и проходили через С-образные гидродинамические ловушки, двигаясь по линиям тока. На рисунке наглядно показана динамика и деформация капель в микроканале с ловушками.

Таким образом, изучена динамика капель в микроканалах и влияние характеристик капель на поток вокруг гидродинамических ловушек. Разработана качественная триангуляция микроструктур с плоскими гладкими стенками со сложной внутренней геометрией. Проведены исследования течения в микроструктурах с гидродинамическими ловушками С-образной формы, расположенных на различном расстоянии друг от друга. Исследована динамика капель в микроструктурах при нескольких соотношениях вязкости, различных значениях капиллярного числа и нескольких размерах капель.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ МК-549.2019.1, библиотека FMM представлена Fantalgo, LLC (Maryland, USA).

Литература:

1. Chung K., Rivet C., Lu Y., Kemp M. Imaging single-cell signaling dynamics with a deterministic high-density single-cell trap array — *Anal. Chem.*, 2011. — Pp. 7044–7052.
2. Abramova (Solnyshkina) O.A., Pityuk Y.A., Gumerov N.A., Akhatov I.S. Three-dimensional simulation of stokes flow around a rigid structure using FMM/GPU accelerated BEM — *Communications in Computer and Information Science*, 2019. — Pp. 427-438.

**Секция ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА,
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**ОПАСНОСТЬ ЗЛОНАМЕРЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ИССКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Е.Е. Белоусова, О.В. Дубровина
Технический колледж ТГТУ, г. Тамбов,
katya78947@bk.ru, prepov@rambler.ru

Одновременно с развитием технологий защиты, также получают аналогичное развитие технологии взлома и получение доступа к защищенным данным. Особую опасность представляет злонамеренное использование методов интеллектуальной защиты в виде искусственного интеллекта. В статье представлено как искусственный интеллект поможет хакерам усовершенствовать кибератаки.

Simultaneously with the development of protection technologies, a similar development of hacking technologies and gaining access to protected data is also received. The malicious use of intellectual protection methods in the form of artificial intelligence is especially dangerous. The article presents how artificial intelligence can help hackers improve cyberattacks.

Исследования и развитие искусственного интеллекта могут помочь специалистам в области информационной безопасности достичь более высокого уровня защищенности данных. Однако системы искусственного интеллекта могут принести и огромный вред. На данный момент они не способны самостоятельно выстраивать логические цепочки и имитировать полноценное человеческое сознание, однако, выступая в качестве высококлассного орудия в руках злоумышленников, способны причинить немало проблем.

Следует разобраться, что собой представляет современный искусственный интеллект. Под искусственным интеллектом понимается свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека; науку и технологию создания интеллектуальных машин, особенно интеллектуальных компьютерных программ. С каждым годом открываются новые и совершенствуются старые подходы к созданию систем искусственного разума. Более известен подход, при котором электронно-вычислительная машина познаёт окружающий её мир, либо определённую предметную область при помощи нейронной сети, совершая ошибки и учась на них.

В истории развития направления "искусственный интеллект" можно выделить три периода: имитация мыслительной деятельности человека; нейросети как возможность создания «мыслящих» машин; технологии машинного обучения.

Задачей искусственного интеллекта является обработка получаемой информации и информирование оператора или принятие решения о самостоятельных действиях. Развивая данный вывод, можно утверждать, что внедрение искусственного интеллекта в системы атак создает новый вектор реализации угроз информационной безопасности.

В качестве своих конечных или промежуточных целей кибератаки преследуют нарушение безопасности информации, т.е. нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации.

Нарушение информационной безопасности зависит от многих факторов, в то же время может быть запланированными действиями злоумышленника или отсутствием навыков у персонала, а также действия сотрудников, перешедших на сторону конкурентов.

Одним из основных источников угроз безопасности информации является вредоносное программное обеспечение, в том числе компьютерные вирусы, трояны, черви, целенаправленные вредоносные программы и т. д. Технологии, используемые злоумышленниками для нарушения безопасности информации не стоят на месте - идет постепенное осваивание искусственного интеллекта.

Доступные на текущий момент представители систем машинного интеллекта не способны к автономной жизнедеятельности, поэтому сами по себе опасности не представляют, однако в качестве инструмента злоумышленников способны принести множество проблем.

Эксперт по информационной безопасности Кевин Ходжес, на конференции Hackers on Planet Earth в 2018 году в Нью-Йорке, продемонстрировал хакерскую программу «начального уровня», созданную с помощью инструментов машинного обучения с открытым исходным кодом, которая может вести атаку несколькими способами, автоматически меняя тактику. Специалист призвал как можно скорее начать поиск методов борьбы с такими киберугрозами, отметив, что преступники уже готовятся использовать искусственный интеллект в своих корыстных целях.

Искусственный интеллект, машинное обучение и анализ тональности позволяют предсказывать будущее путем анализа прошлого, потенциально такая возможность выгодна и для злонамеренного использования искусственного интеллекта. Комплексная система всегда обучается и не имеет свойства забывать,

поэтому чем больше корпоративная система контрбезопасности объединяет информационных ресурсов, тем она будет наиболее интеллектуально развитой.

Как искусственный интеллект изменит троянские программы

Троянская программа (также — троян, троянец, троянский конь) — разновидность вредоносной программы, проникающая в компьютер под видом легального программного обеспечения. Распространяется только при помощи злоумышленника.

Со временем «обогащенное» искусственным интеллектом вредоносное программное обеспечение научится самостоятельно распространяться, выискивая любые возможные уязвимости для компрометации сети. К примеру, программа с искусственным интеллектом сможет «понять», что ее нацелили на уже исправленные уязвимости и провести атаку методом подбора еще неисправленных, которая задействует кейлоггинг и другие методы, доказавшие свою эффективность при проведении целевых атак.

Особую опасность придает тот факт, что такие программы могут сидеть в засаде, учиться, подбирать техники атаки и делать все это без участия серверов команд и управления.

Программы-двойники и искусственный интеллект

Аналитики не исключают, что искусственный интеллект будет содействовать дальнейшей адаптации программ-двойников в различных окружениях. К примеру, если троянские программы будут обходить антивирусы, имитируя поведение клиентских программ, то внедренный в программу-двойник искусственного интеллекта сможет скрывать свое присутствие за счет имитации доверенных элементов системы. В результате искусственный интеллект не будет угадывать, когда следует атаковать — он будет знать это наверняка. Он сможет понять, какая коммуникация в сети пользователя является доминирующей, какие каналы связи будут задействованы и смешаться с этим окружением.

Маломощные и медленные атаки

Искусственный интеллект может обеспечить канал не только для крайне быстрых, но и маломощных и медленных атак. Особенность атаки заключается в том, что данные уводятся хакерами на продолжении длительного времени и столь крошечными пакетами, что они не превышают пороговых значений объема данных, допустимых инструментами безопасности. Искусственный интеллект сможет выступать в качестве инструмента, анализирующего скорость передачи данных и прогнозировать, как на эту активность будут реагировать решения безопасности. Также он сможет избавить

хакеров от практики жесткого кодирования (встраивания данных непосредственно в исходный код программы или другого исполняемого объекта), высчитывая взамен безопасный для кражи объем данных, время вторжения и способы обхода антивирусов.

Таким образом, по степени реализации злонамеренного использования искусственного интеллекта подразделяется на:

- существующую практику злонамеренного использования;
- существующие возможности злонамеренного использования, которые еще не были использованы на практике;
- будущие возможности злонамеренного использования на основе текущих разработок и будущих исследований;
- неопознанные риски — «неизвестное в неизвестном». Не все разработки в сфере искусственного интеллекта можно точно оценить. Готовность встретить неожиданные скрытые риски имеет решающее значение.

Искусственный интеллект вызвал у человечества опасную, но одновременно и жизненно важную на данном этапе социально-экономического развития зависимость. Активно внедряя его без глубинного научного, а также политического и правового осмыслиения последствий возникающей зависимости, мы добровольно рискуем, иногда значительно, нашей безопасностью. Поэтому задача выявления и предотвращения злонамеренного использования искусственного интеллекта имеет ключевое значение. Чтобы избежать угроз, страны должны тесно сотрудничать в этой области, а исследователи и инженеры — осознавать двойное назначение выполняемой ими работы.

Результатом данного исследования является понимание реальных опасностей, которые несёт за собой злонамеренное использование систем искусственного интеллекта. В перспективе ученым и экспертам также предстоит ответить на многие трудные и неудобные вопросы, относящиеся к ответственности за использование искусственного интеллекта. В частности, совершенно очевидно, что на сегодняшний день невозможно предугадать то, какой ущерб его развитие может нанести обществу.

Литература:

1. Казарин О. В. Основы информационной безопасности: надежность и безопасность программного обеспечения: учебное пособие для среднего профессионального образования / О. В. Казарин, И. Б. Шубинский. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 342 с.

2. Монаппа К. А. Анализ вредоносных программ / К. А. Монаппа; перевод с английского Д. А. Беликова. — Москва: ДМК Пресс, 2019. — 452 с.
3. Станкевич Л. А. Интеллектуальные системы и технологии: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Л. А. Станкевич. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 397 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ПЕРСПЕКТИВА ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ МАШИНЫ С ЧЕЛОВЕКОМ

К.Д. Воскресенский, О.В. Дубровина
Технический колледж ТГТУ, г. Тамбов,
voskresensky3@gmail.com, prepov@rambler.ru

В статье описаны основные понятия темы искусственного интеллекта и определено влияние развития различных, объединенных между собой технологий на интеллектуальные способности машин.

The article describes the main concepts of the topic of artificial intelligence and determines the impact of the development of various technologies combined with each other on the intellectual abilities of machines.

Изначально искусственный интеллект создавался, чтобы сделать компьютеры более полезными и способными к независимым рассуждениям. Он развивался постепенно: между значительными открытиями в сфере развития искусственного интеллекта прошел не один десяток лет. Эта научная область зародилась в сфере военных исследований и статистики, военных увлекла идея сделать принципы работы компьютеров более схожими с мыслительной деятельностью человека, в нее также влились определенные знания из философии, психологии, математики и науки о познании. Такие работы как: создание виртуальных карт в 70-х годах, создание личных помощников в 2003 году проложили путь к использованию принципов автоматизации, применяемых в современных компьютерах.

К искусственному интеллекту относят следующие понятия:

- Машинное обучение – область знаний, обучающаяся на данных путем поиска закономерностей.
- Нейросеть – аппаратное или программное воплощение математической модели, построенная по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма.

- Глубокое обучение – усовершенствованные методики обнаружения сложных закономерностей в огромных массивах данных.
- Компьютерное зрение – распознавание шаблонов и глубокое обучение для распознавания фото и видео.
- Обработка естественного языка – способность компьютеров анализировать, понимать и синтезировать человеческую речь, даже устную.

Существующий сегодня уровень развития искусственного интеллекта опирается на десятилетия исследований. Благодаря развитию вычислительной мощности компьютеров и увеличению вместимости хранилищ стало возможным накапливать и обрабатывать больше данных, чем когда-либо раньше. Одновременно начали создаваться большие объемы данных за счет подключения к Интернету большего количества компьютеров и передачи данных с них. Благодаря увеличению количества входных данных были улучшены различные алгоритмы. Системы машинного обучения получили гораздо больше информации, на основе которой они могут развиваться. Этот прогресс приблизил искусственный интеллект к первоначальной цели его разработки — созданию устройств, которые приспособлены для работы в нашей повседневной жизни.

С искусственным интеллектом можно вслух задавать устройствам любые вопросы на самые разные темы - и получать на них ответы. Компьютеры также могут находить и предоставлять информацию, важность которой вы сами и не понимали. Они смогут создавать краткую сводку по вашим данным и предлагать разные способы их аналитики. Вы получите ответы на экране, или устройство озвучит их.

В здравоохранении можно будет быстрее оценивать эффективность лечения. Технология протезирования получила быстрое развитие. Современные умные протезы позволяют управлять движениями рук при помощи прикрепленных к мышцам и сухожилиям датчиков. Все более популярными становятся приложения телемедицины, собирающие данные с фитнес-браслетов и прочих датчиков, а также приложения, устанавливающие точные симптомы и заболевания пациентов. Так, искусственный интеллект способен распознать множество болезней и нарушение работы внутренних органов.

Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве выражается в появлении беспилотных летательных аппаратов, оснащенных радарами и GPS-мониторингом. Они опрыскивают с/х культуры, обеспечивают надежную доставку опасных химикатов и аэрофотосъемку. Существуют роботы для сбора урожая. Если

зерноуборочные машины существуют уже давно, то робота, который собирает клубнику, удалось создать совсем недавно.

Искусственный интеллект в образовании скоро станет неотъемлемой частью, он будет отслеживать уровень знаний обучающегося и адаптировать порядок блоков курсов под его способности или же информировать преподавателя, насколько хорошо ученик усвоил материал. Примером такой системы может стать платформа Third Space Learning, которая сейчас находится на стадии разработки.

Сфера искусственного интеллекта, ставшая зрелой наукой, развивается постепенно - медленно, но неуклонно продвигаясь вперед. Поэтому результаты достаточно хорошо прогнозируемые, хотя на этом пути не исключены и внезапные прорывы, связанные со стратегическими инициативами. Например, в 80-х годах национальная компьютерная инициатива США вывела немало направлений искусственного интеллекта из лабораторий и оказала существенное влияние на развитие теории высокопроизводительных вычислений и ее применение во множестве прикладных проектов. Такие инициативы будут появляться скорее всего на стыках разных математических дисциплин - теории вероятности, нейронных сетей, алгебры логики.

Новые технологии вливаются в нашу повседневную жизнь и меняют ее, они ставят этические вопросы, о которых люди раньше не задумывались, так как их не было. Изменения в жизни человечества, которые может приносить искусственный интеллект, пока довольно трудно сравнить с тем, что появлялось ранее. Но все-же люди должны держать в голове то, что в целом этот технологический прогресс означает лучшую жизнь для всех. Искусственный интеллект имеет огромный потенциал, и такие вещи как, например, его ответственное использование, зависят от нас.

Литература

1. Станкевич Л. А. Интеллектуальные системы и технологии / Москва 2020. — 397 с.
2. Иванов В. М. Интеллектуальные системы / Москва 2020. — 91 с.

ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТА

В.А. Галлингер
Томский политехнический университет,
г. Томск, vag40@tpu.ru

Одним из важнейших направлений стратегии развития любого ВУЗа является повышение качества образования, так как оно оказывает большое влияние на компетентность будущих специалистов-выпускников ВУЗа и, следовательно, на рейтинги ВУЗа. В данной статье рассматривается вопрос построения предсказательной модели с использованием методов машинного обучения на основе уже предобработанных и проанализированных данных.

One of the most important development strategy directions of any university is improvement the quality of education, since it has a great influence on the competence of future specialists-graduates of the university and, consequently, on the ratings of the university. This article discusses the issue of building a predictive model using machine learning methods based on already preprocessed and analyzed data.

Предсказательная модель, представленная в данной работе, позволяет получить оценку обучающей способности студента еще до начала очередного семестра. В качестве датасета были использованы данные о студентах, которые были предварительно предобработаны и проанализированы А.В. Семенютой. В основе модели заложен алгоритм машинного обучения с учителем, т.е. сначала модель обучается на данных, а затем начинает предсказывать целевую переменную. Были опробованы следующие модели:

- Линейная регрессия
- Логистическая регрессия
- Метод k-ближайших соседей
- Полносвязная глубокая нейронная сеть
- «Случайный лес» (Random forest classifier)
- Метод опорных векторов (Support vector Classifier)

Прежде, чем начать обучать модели, было проведено преобразование данных в нужный вид; категориальные данные приведены в цифровой вариант, данные нормализованы по формуле:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Модель линейной регрессии была взята из библиотеки sklearn. Точность на тестовых данных оказалась равно 58.5%, что не

удовлетворяет нашим ожиданиям. Модель линейной регрессии является достаточно слабой моделью, т.к. способна лишь показать линейную зависимость между целевой и объясняющими переменными.

Усложним модель, применив логистическую регрессию. Модель логистической регрессии была взята из библиотеки sklearn. Итоговая точность на тестовых данных равна 73.4%. Качество предсказания увеличилась всего 14.9%, что уже неплохо.

Теперь опробуем метод k-ближайших соседей из библиотеки sklearn. В данном методе нужно указать число k соседей, что является параметром экспериментальным. Для этого мы создадим цикл с перебором первых 20-ти значений параметра k и посмотрим, при каком значении точность модели будет наибольшей.

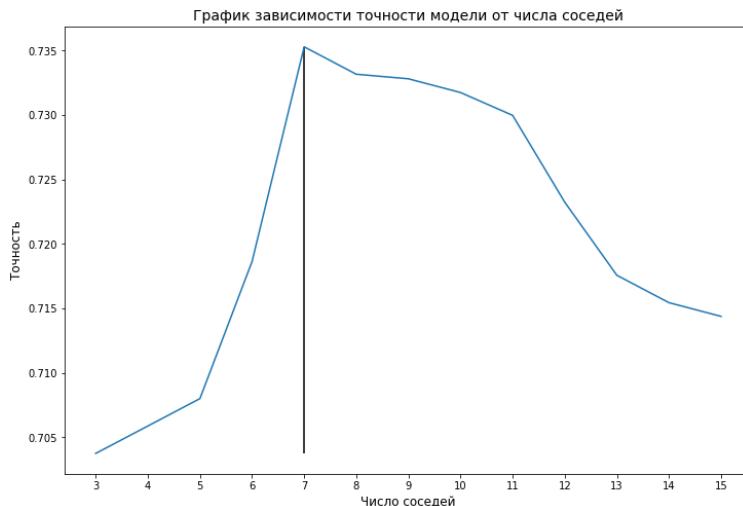


Рис. 1 – график зависимости точности модели от параметра k

Как можно заметить, наибольшей точности модель достигает при k=7, и равна 73.5%, что всего на 0.1% больше.

На этот раз построим полносвязную нейронную сеть с одним скрытым слоем. Модель была построена с помощью библиотеки keras, которая представляет собой надстройку над фреймворками TensorFlow. Архитектура сети следующая:

- Размер входного вектора – 235;
- Число нейронов на входном слое – 128;
- Функция активации на входном слое – Tanh (гиперболический тангенс);
- Слой Dropout (слой для отключения нейронов с вероятностью 0.2);

- Число нейронов на скрытом слое – 256;
- Функция активации на скрытом слое – ReLU (Rectified Linear Unit, или линейный выпрямитель);
- Слой Dropout (слой для отключения нейронов с вероятностью 0.2);
- Число нейронов на выходном слое – 3;
- Функция активации на выходном слое – Softmax;
- Функция оптимизации – SGD (стохастический градиентный спуск);
- Функция потерь – категориальная кросс-энтропия;
- Метрика качества – точность (accuracy)

Всего было проведено 100 эпох обучения. Точность – 74.7%, что больше, чем у предыдущей модели, на 1.2%, что незначительно, однако данная модель намного сложнее, чем линейная регрессия или метод k-ближайших соседей. Заметим, что определение архитектуры и настройка нейронных сетей требует определенных знаний и опыта.

Теперь в качестве моделей выберем два классификатора: Random forest (он же рандомный лес) и SVC. Начнем с первого.

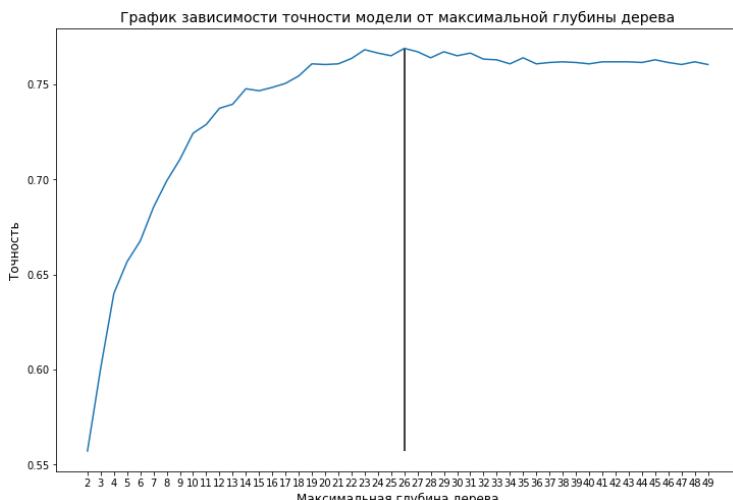


Рис. 2 – график зависимости точности модели от параметра max_depth

На рисунке 2 можно наблюдать рост точности на всем отрезке. Данный график напоминает функцию корень квадратный от аргумента и, если ее сгладить, она будет монотонно возрастать и сходиться к $\sim 76.3\%$. Итоговая точность при значений $\text{max_depth} = 26$ равна 76.9%. Это больше, чем у нейронной сети на 2.2%.

Последней моделью в данной статье будет модель, основанная на методе опорных векторов. Метод опорных векторов имеет несколько различных модификаций, но мы будем использовать метод из библиотеки sklearn и перебирать параметр регуляризации С. Этот параметр обратно пропорционален силе L2 регуляризатора, а штраф за ошибку модели равен штрафу L2, возвещенный в квадрат.

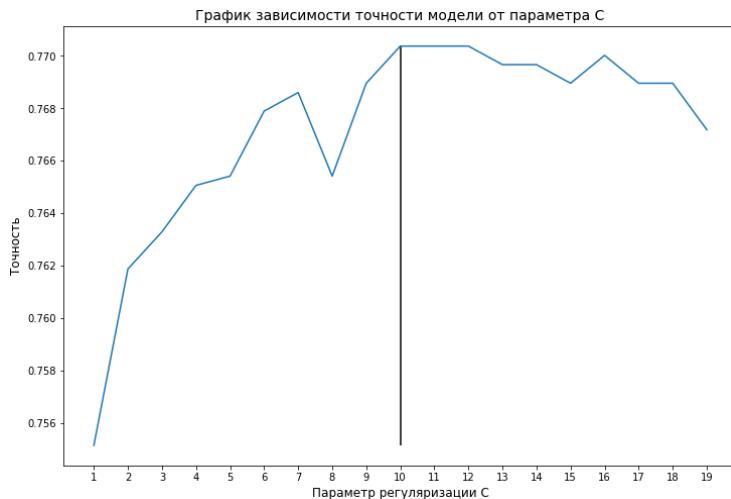


Рис. 3 – график зависимости точности модели от параметра С

Точность этой модели равна 77%, что на 0.1% больше, чем у случайного леса.

Таким образом, была разработана предсказательная модель, которая с 77% вероятностью может определить принадлежность студента к одному из классов успешности по заранее известным параметрам, а также с учетом истории обучения студента.

Литература:

1. С. Хайкин, «Нейронные сети: полный курс, 2-е издание»: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Интеллектуальные системы: Учебное пособие – Томск: Издательство ТПУ, 2012. – 72 с.
3. Губин Е.И. Методология подготовки больших данных для прогнозного анализа. / Современные технологии, экономика и образование: Сборник трудов Всероссийской научно-методической

конференции. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 139с. – [С. 25-28].

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СОРЕВНОВАНИЯ KAGGLE ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЛАЗНЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Э.Р. Добров

Новосибирский государственный университет
экономики и управления «НИНХ»,
г. Новосибирск, sib.2020@bk.ru

В статье рассматриваются алгоритмы машинного обучения в задаче компьютерного зрения. Применение сверточных нейронных сетей в распознавании изображений глазного дна.

The article discusses machine learning algorithms in the problem of computer vision. Application of convolutional neural networks in fundus image recognition.

Рассматриваются алгоритмы для разработки программного обеспечения в области применения искусственного интеллекта в распознавании изображений. Алгоритмы основываются на применении глубокого обучения.

Поставлена задача разработать информационную систему классификации изображений заболевания глазного дна на основе сверточных нейронных сетей.

Основная особенность заключается в том, что для решения поставленной задачи в разработке информационной системы используются технологии машинного зрения в диагностике глазных болезней.

По результатам завершившегося соревнования Kaggle APTOS 2019 Blindness Detection точность распознавания медицинских офтальмологических снимков составляет 93%. На сегодняшний день практика показывает, что диагнозы офтальмологов отличаются для одного и того же пациента. В рамках подготовки НКР научная задача заключается в улучшении результата распознавания до 99%.

По результатам рассмотрения и сравнения используемых алгоритмов в конкурсе «Обнаружение слепоты» на веб-платформе Kaggle будет отобрано успешное достижение проведенного исследования. Проводить оценку планируется на открытых наборах данных Kaggle.

В условиях пандемии развитие телемедицины получило новый толчок в развитии.

В области медицины существует большая потребность в распознавании изображений, поскольку возможность автоматического распознавания на компьютере открывает множество новых возможностей для развития науки и технологий, например разработка систем обнаружения и диагностика глазных болезней по фотографиям [1].

Полученная математическая модель искусственной нейронной сети для распознавания изображений основана на анализе современных достижений в области машинного обучения в обработке изображений. Разработанный программный продукт в будущем будет использоваться в глазных клиниках.

Литература:

1. Методы машинного обучения в офтальмологии. Обзор литературы. / Гарри Д.Д., Саакян С.В., Хорошилова-Маслова И.П., Цыганков А.Ю., Никитин О.И., Тарасов Г.Ю. [Электронный ресурс] // Офтальмология. – 2020. - Т. 17, №1. – С. 20–31. – URL: <https://www.ophthalmojournal.com/opht/article/view/1127> (дата обращения: 15.11.2020). - doi: 10.18008/1816-5095-2020-1-20-31.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ К ЗАДАЧЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ

П.К. Ершов, Т.В. Авдеенко
Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, PMI62.Ershov@outlook.com

В работе рассматривается применение самоорганизующихся нейронных сетей в решении задачи кластеризации данных. Были выявлены особенности работы самоорганизующихся нейронных сетей.

The paper discusses the use of self-organizing neural networks in solving the problem of data clustering. The features of the work of self-organizing neural networks were identified.

С течением времени происходит рост объемов обрабатываемой информации. Современное общество использует огромное количество данных, нуждающихся в анализе и удобном представлении. Одной из важнейших областей, реализующей работу с многомерными наборами разнородных данных, является машинное обучение.

Поскольку человек не в состоянии в разумные сроки и при разумных затратах проводить анализ большого объема данных эта задача делегируется машинам. Машинное обучение представляет собой целый

класс методов искусственного интеллекта, которые обучаются, т. е. улучшают решение задачи в процессе решения множества схожих задач.

Для решения задачи будет использован один из вариантов нейронных сетей: самоорганизующиеся нейронные сети.

Самоорганизующиеся нейронные сети имеют значительное преимущество перед другими типами нейронных сетей. Как понятно из названия, такие нейронные сети способны изменять свою структуру [1] в ходе процесса обучения, что позволяет им находить более оптимальные решения, чем сети с фиксированной структурой.

Применение самоорганизующихся нейронных сетей в задаче кластеризации актуально во много потому, что менее зависимы от структуры выборки, чем другие нейронные сети.

В качестве исследуемой выборки была выбрана выборка записей мужских и женских голосов. Анализ голоса является важной задачей методов машинного обучения, так как может быть использован во множестве областей современной жизни, от аутентификации пользователей, до криминалистики. Так как известно, что в используемой выборке присутствуют два кластера, результаты работы нейронных сетей будут выглядеть более наглядно.

Начальные результаты кластеризации исходной выборки на рисунках 1 2 не дают чётких результатов.

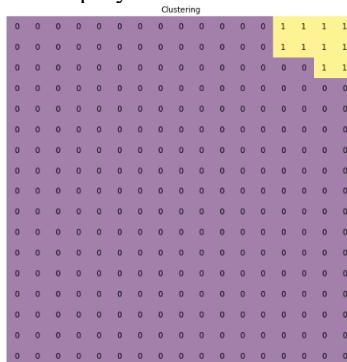


Рисунок 1 – Кластеризация с помощью SOM

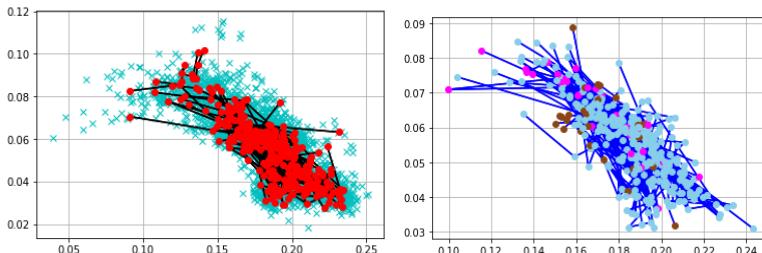


Рисунок 2 – Кластеризация с помощью SOINN (слева) и с помощью ESOINN (справа)

Поэтому у выборки была снижена размерность данных [2], что позволило устраниТЬ малозначимые признаки. Для этого были использованы два метода:

1. Метод выделения значимых признаков с помощью алгоритма случайного леса, который позволяет выделить число значимых признаков [3], что позволяет определить насколько необходимо понизить размерность данных с помощью второго метода
2. Метод главных компонент.

Как хорошо видно на рисунках 3 и 4 все три используемые нейронные сети смогли выделить два кластера, хотя результаты SOINN заметно хуже результатов ESOINN.

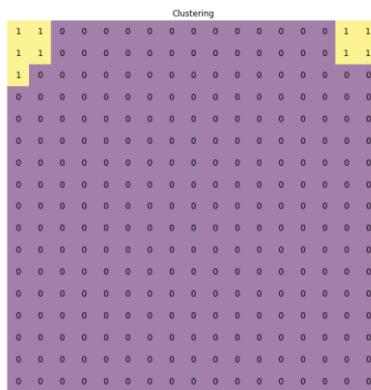


Рисунок 3 – Карта кластеризации SOM модифицированной выборки

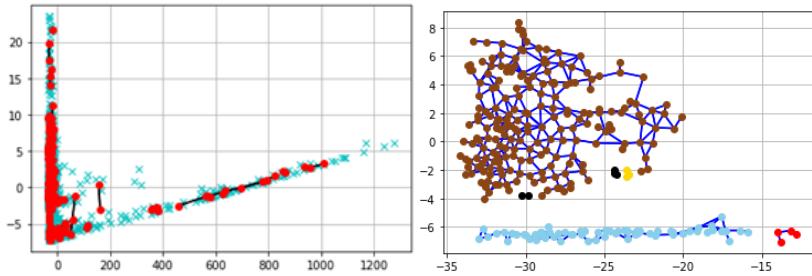


Рисунок 4 – Кластеризация модифицированной выборки с помощью SOINN (слева) с помощью ESOINN (справа)

Таким образом, исходя из результатов, полученных в ходе исследований можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на то, что SOM, SOINN и ESOINN достаточно гибкие при решении задачи кластеризации, они также не в состоянии провести правильную кластеризацию выборки с большим количеством малозначимых признаков.
2. При наличии большого количества малозначимых признаков ESOINN справляется с кластеризацией лучше, чем SOINN или SOM.
3. Результаты кластеризации на выборке, размерность которой уменьшена с помощью метода главных компонент значительно лучше результатов на исходной выборке.

Литература:

1. Сараев П.В. Нейросетевые методы искусственного интеллекта: учебное пособие / Сараев П.В. – Липецк: ЛГТУ, 2007. – 64 с.
2. Козин Н.Е., Фурсов В.А. Снижение размерности векторов признаков по критериям мультиколлинеарности // Компьютерная оптика, том 32. – 2008. – № 3. – С. 307-311.
3. Вагин В.Н., Ганищев В.А. Кластеризация пользователей по голосу с помощью улучшенных самоорганизующихся растущих нейронных сетей // Программные продукты и системы. – 2015. – № 111. – С. 136-142.

ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА НА ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

И.А. Канаева, Ю.А. Иванова

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, iap15@tpu.ru**

Работа посвящена анализу применимости современных нейросетевых алгоритмов детектирования объектов к задаче выделения объектов на панорамных изображениях. Представлены результаты обнаружения дефектов дорожного полотна на панорамных изображениях с помощью глубокой сверточной нейронной сети, обученной на обычных изображениях.

The work is devoted to the analysis of the applicability of state-of-the-art architectures for object detection to the problem of object detection in panoramic images. The paper presents the results of detecting road surface defects in panoramic images using a deep convolutional neural network trained on planar images.

Панорамным изображением считается изображение с соотношением сторон 1×2 и больше, охватывающее поле зрения около $160^\circ \times 75^\circ$ или превышающее его, полученное с помощью кадиоптрической камеры или путем сшивки из отдельных кадров. На сегодняшний момент панорамные изображения и видеоданные благодаря наличию большого угла обзора и высокому качеству успешно применяются в геоинформатике, медицине, медиаиндустрии, безопасности, дорожной отрасли и др. Обширность и востребованность использования панорам приводят к задачам применения современных методов компьютерного зрения. Развитие глубоких архитектур сверточных нейронных сетей, таких как Faster R-CNN, YOLO, SSD, MobileNet, Inception, позволило успешно обнаруживать объекты на изображениях и видео. Данная работа посвящена анализу применимости нейросетевых алгоритмов детектирования объектов к задаче обнаружения дефектов дорожного полотна на панорамных изображениях.

Для понимания различий между отображением объектов на обычном и панорамном изображении кратко рассмотрим разработанный алгоритм синтеза бесшовных изображений в панораму по серии перекрывающихся кадров сцены [1]. Он включает в себя регистрацию изображений, исправление дисторсии, поиск точек интереса, определение проекционных матриц по наборам коррелирующих точек интереса, цветокоррекцию кадров и сшивку спроектированных изображений в панораму с применением выбранного метода смешения в областях перекрытия. Результат применения алгоритма показан на рис. 1.



Рис. 1 – Исходные изображения и полученная панорама

Искривление исходно прямых линий на изображении описывается термином дисторсия и вызвано кривизной фотографической линзы. Причиной искажения перспективы, которое проявляется в сходимости исходно параллельных прямых, является положение камеры и применение цилиндрической или сферической проекции при построении панорамы. Искажения объектов на панорамном изображении по-разному меняются в зависимости от расстояния и точки обзора. Таким образом, обнаружение объектов на панорамных изображениях является сложной задачей.

В работе [2] сделан вывод, что неэффективно применение традиционных алгоритмов обнаружения объектов, основанных на оконном извлечении признаков с помощью дескрипторов, таких как SIFT, LBP, HOG, ACF и др., и обработки с помощью обученного алгоритма SVM, AdaBoost, Random Forest или нейронных сетей. Это обусловлено различающимися масштабами и соотношением сторон деформированных объектов, а применение групп скользящих окон разных размеров сопряжено со значительным увеличением количества и времени вычислений.

Недавно китайские исследователи в своей работе [3] представили набор данных Pano-RSOD для детектирования объектов дорожной сцены: автомобилей, пешеходов, дорожных знаков и разметки направления движения по полосам. По результатам проведенных экспериментов по обнаружению автомобилей и пешеходов на панорамах показано, что обученная модель на наборе данных дорожных

сцен KITTI [4] выдает результат хуже примерно на 20%, чем модель, обученная на панорамном наборе данных Pano-RSOD.

Перспективным является применение сферической сверточной нейронной сети в задаче обнаружения объектов на панорамных изображениях, что показано в исследовании [5] на примере панорамного набора данных WHU с аннотированными объектами классов автомобиль, столб освещения, пешеходный переход и дорожная разметка «ромб».

Во всех выше рассмотренных работах разметка объектов на панорамных изображениях осуществлялась стандартным способом с помощью ограничивающих рамок (bounding box). В работе [6] финских ученых представлен метод уточнения аннотирования объектов на панораме переходом к прямоугольной проекции, а также оригинальная многопроекционная сеть на основе архитектуры YOLO v2.

Отметим две основные проблемы, которые серьезно ограничивают обнаружение дефектов покрытия на панорамных изображениях дорожных сцен:

- отсутствие наборов данных обнаружения панорамных дефектов дорожного покрытия для глубокого обучения и тестирования;
- перенесение существующих методов обнаружения дефектов на обычных изображениях на обнаружение панорамных затруднено ввиду отсутствия модели, статистики оценки и контрольных показателей специально для обнаружения панорамных объектов.

Для оценки применимости нейросетевых моделей детектирования дефектов дорожного полотна, обученных на обычных изображениях, для распознавания дефектов на панорамных изображениях и видео использовалась архитектура SSD. В качестве входной нейросети для построения карт признаков использовалась Resnet50. Обучение производилось на наборе данных японских ученых Road Damage Dataset 2019 [7], содержащим следующие типы разрушений: трещины продольные, продольный шов, трещины поперечные, поперечный шов; множественное растрескивание; выбоины; износ разметки пешеходного перехода; износ разметки линий; люк.

Был аннотирован набор данных из 20 панорамных изображений и 60 исходных со следующими типами дефектов: трещины (без учета направления) и выбоины. Панорамные изображения преобразовывались к размеру 2048×640 пикселей, а исходные кадры использовались в расширении 2048×1024 пикселей.

Для оценки качества детектирования использовалась F-мера (F1 score), которая представляет собой совместную оценку точности и полноты и вычисляется по следующей формуле:

$$F1 = 2 \cdot \frac{p \cdot r}{p + r}, p = \frac{tp}{tp + fp}, r = \frac{tp}{tp + fn},$$

где p – точность, r – полнота, tp – истинноположительный, fp – ложноположительный, fn - ложноотрицательный ответ.

В таблице 1 приведены результаты детектирования дефектов на панорамном изображении и на исходных изображениях с помощью обученной глубокой сверточной нейронной сети SSD Resnet50.

Таблица 1 – Результаты детектирования дефектов

Набор данных	F-мера
Обычные изображения	0.33
Панорамные изображения	0.08

В результате проведенного исследования применимости современных нейросетевых моделей выделения объектов к задаче выделения объектов на панорамных изображениях выявлена необходимость обучения на панорамных наборах данных ввиду сильной деформации объектов и различающихся масштабов соотношения сторон ограничивающих рамок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-00977 А и в рамках Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

Литература:

1. Канаева И.А., Болотова Ю.А. Методы коррекции цвета и яркости при создании панорамных изображений // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 885–897. – doi: 10.18287/2412-6179-2018-42-5-885-897.
2. Deng F., Zhu X., Ren J. Object detection on panoramic images based on deep learning // 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), IEEE, 2017: Proceedings. – Nagoya, 2017. P. 375–380. – doi: 10.1109/ICCAR.2017.7942721.
3. Pano-RSOD: A Dataset and Benchmark for Panoramic Road Scene Object Detection / Y. Li, G. Tong, H. Gao, Y. Wang, L. Zhang, H. Chen// Electronics. – 2019. – Vol. 8, N 3. – P. 329–351. – doi: 10.3390/electronics8030329.
4. Fritsch J., Kuhnl T., Geiger A. A new performance measure and evaluation benchmark for road detection algorithms // 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013). IEEE, 2013. P. 1693–1700. – doi: 10.1109/ITSC.2013.6728473.

5. Object Detection in Equirectangular Panorama / W. Yang, Y. Qian, J. Kamarainen, F. Cricri, L. Fan // 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 2018, August: Proceedings. – Beijing, 2018. P. 2190–2195. – doi: 10.1109/ICPR.2018.8546070.

6. Yu D., Ji S. Grid Based Spherical CNN for Object Detection from Panoramic Images // Sensors. – 2019. – Vol. 19, N 11. – P. 2622–2637. – doi: 10.3390/s19112622.

7. Generative adversarial network for road damage detection / H. Maeda, H. Omata, T. Kashiyama, Y. Sekimoto, T. Seto // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2020. P. 1–14. – doi: 10.1111/mice.12561.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ ТЯЖЕСТИ РОЖИСТОГО ВОСПАЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ ПРИЗНАКОВ

Е.В. Кащеева, В.С. Шалаев, С.В. Аксёнов
Томский политехнический университет, г. Томск,
ev.kashcheeva@mail.ru

В данной статье рассматривается такая проблема, как неверное определение степени тяжести заболевания. Описывается процесс построения классификатора степеней тяжести рожистого воспаления с помощью методов машинного обучения и языка программирования Python. Также определены наиболее важные признаки, оказывающие влияние на степень тяжести заболевания.

This article provides information about such a problem as incorrect determination of the severity of the disease. The process of constructing a classifier of erysipelas severity using machine learning methods and the Python programming language is described. The most important features that affect the severity of the disease are also identified.

По данным Минздрава России ежегодно ошибки врачей становятся причиной более 70 тыс. случаев осложнений состояния здоровья пациентов. 5 % пациентов лечебных учреждений России умирают в результате неправильно поставленных диагнозов [1]. Некорректное определение степени тяжести заболевания может привести к нерациональному расходу материальных средств, трудовых ресурсов, лекарственных средств и т.д.

Начиная с прошлого столетия, в сферу медицины активно внедряются различного рода информационные системы, с целью улучшения качества работы медицинских учреждений. Функционал основной части медицинских информационных систем (МИС)

ограничен автоматизированным ведением документооборота. Лишь немногие МИС позволяют извлекать полезную информацию из собранных в процессе ведения медицинской деятельности данных.

Существует множество медицинских документов, одним из которых является «История болезни», где содержится информация о пациенте и состоянии его здоровья. История болезни, в свою очередь, включает в себя такой документ, как «Осмотр пациента лечащим врачом». Последний составляется при осмотре пациента.

Отделение инфекционных заболеваний Сибирского государственного медицинского университета предоставило деперсонализированные истории болезни пациентов, с диагнозом рожистое воспаление, а также температурные листы, в которых отражаются результаты измерения температуры тела, давления и пульса пациентов в период нахождения в медицинском учреждении.

Цель данного исследования – улучшение качества работы врача-инфекциониста при анализе данных из историй болезни пациентов с рожистыми воспалениями путем создания классификатора степеней тяжести заболевания.

Выделяют три степени тяжести рожистого воспаления [2]: легкую (I), среднетяжелую (II) и тяжелую (III). Форма заболевания, выявленная при поступлении пациента в медицинское учреждение, определяет дальнейшие действия, производимые над пациентом для улучшения его состояния.

Сформировав из текстовых данных предоставленных документов набор данных, для каждого пациента была определена степень тяжести заболевания на основе значений следующих параметров: температура, длительность лихорадочного процесса, интоксикация, головная боль, озноб, мышечные боли, пониженное давление, тошнота, рвота, учащеный пульс, адинамия, бред, спутанность сознания, судороги, местный процесс. Степень тяжести в процессе обучения модели классификации выступает в качестве меток классов. Для обеспечения проверки качества работы модели классификации, набор данных был разделен на тренировочную и тестовую выборки в отношении 70:30.

Классификация производилась по трем алгоритмам: «Дерево решений», «Случайный лес», «Градиентный бустинг». Качество работы моделей определялось с помощью точности их предсказаний, каждая модель оценивалась по 10 раз на случайном наборе записей из набора данных. Наилучший результат показал алгоритм «Градиентный бустинг».

Для данной модели был проведен подбор оптимальных параметров. Алгоритм «XGBClassifier» может принимать следующие параметры:

- «max_depth» – максимальная глубина дерева;
- «learning_rate» – размер шага, используемый при обновлении, предотвращает переоснащение;
- «objective» – задача обучения и соответствующая цель обучения или специальная целевая функция, которая будет использоваться;
- «booster» – используемый бустер: gbtree, gblinear или dart;
- «gamma» – минимальное уменьшение потерь, необходимое для создания дальнейшего разбиения на листовом узле дерева;
- «min_child_weight» – минимальная сумма веса экземпляра, необходимая для потомка, если в результате шага разбиения дерева получится листовой узел с суммой веса экземпляра меньше данного параметра, то дальнейшее разбиение прекратится;
- «subsample» – соотношение подвыборок учебных экземпляров;
- «colsample_bytree» – отношение выборки столбцов при построении каждого дерева, подвыборка выполняется один раз для каждого построенного дерева;
- «scale_pos_weight» – балансировка положительных и отрицательных весов.

Было решено установить следующие значения для параметров: «objective» = binary:logistic, «booster» = gbtree, «gamma» = 0, «min_child_weight» = 1, «scale_pos_weight» = 1. Остальные параметры варьировались следующим образом при подборе с помощью перекрестной проверки: «max_depth» = [3, 4, 5, 6]; «learning_rate» = [0,1, 0,2, 0,3, 0,4]; «subsample» = [0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1]; «colsample_bytree» [0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1].

Каждая комбинация проверялась с использованием кросс-проверки, которая позволяет выбрать лучшую комбинацию параметров. После исчерпывающего поиска по сетке были определены следующие оптимальные параметры: XGBClassifier(booster='gbtree', colsample_bytree=0.1, gamma=0, learning_rate=0.1, max_depth=3, min_child_weight=1, n_estimators=100, objective='binary:logistic', scale_pos_weight=1, subsample=0.3, tree_method='exact').

Модель классифицирует большую часть выборки верно. 46 записей о пациентах со средней степенью тяжести заболевания и 48 записей с тяжелой степенью классифицированы верно, и только два тяжелых случая и три средней формы отнесены неверно. Значения таких метрик качества как верность (accuracy), полнота (recall), точность (precision) и F1 составили 0,95, 0,96, 0,94 и 0,95 соответственно.

Также для определения наиболее важных признаков, оказывающих влияние на определение степени тяжести рожистого воспаления, был построен график важности параметров (Рис. 1).

Данный график демонстрирует следующую информацию: важность параметров ранжируется в порядке убывания; горизонтальное расположение показывает, связано ли влияние данного значения с более высоким или более низким прогнозом; цвет показывает, является ли данный параметр высоким (красный) или низким (синий) для данного наблюдения. Наличие таких показателей как гиперемия и жар имеет высокое отрицательное влияние, а головной и слабость – высокое положительное влияние на степень тяжести рожистого воспаления.

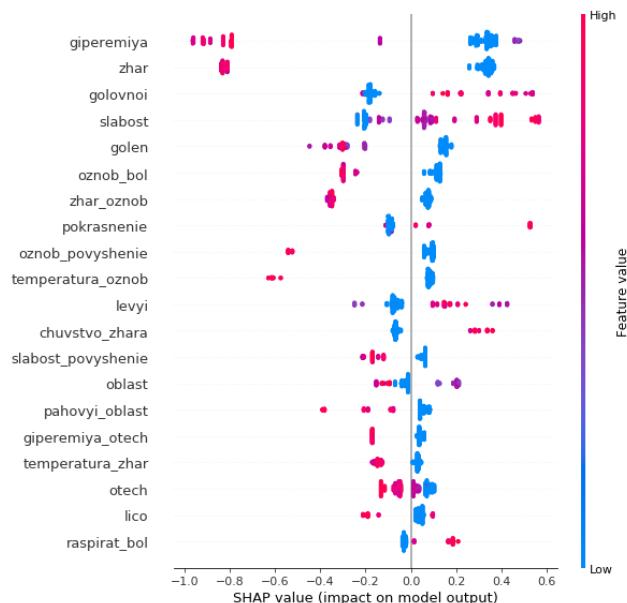


Рис. 1 – График важности параметров

Таким образом, в рамках данного исследования на основе текстовых данных из документов «Осмотр пациента лечащим врачом» были определены степени тяжести заболевания, которые выступили в качестве меток классов при обучении моделей классификации. Лучшим алгоритмом классификации оказался «Градиентный бустинг». Наиболее важными признаками являются «гиперемия», «жар», «головной» и «слабость». Использование разработанной модели может помочь в построении эффективных медицинских информационных систем.

Литература:

1. Минздрав сообщил о 70 тысячах осложнений в год из-за ошибок врачей [Электронный ресурс] / РИА Новости. 2020. 8 февраля. – URL: <https://ria.ru/20200208/1564435275.html> (дата обращения: 10.06.2020).
2. Черкасов В. Л., Рожа. Руководство по внутренним болезням: Т. Инфекционные болезни / под ред. В. И. Покровского. – М., 1996. С. 135–150.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ПРЕЦЕДЕНТНОМ ПОДХОДЕ, НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО РЖД

М. П. Лыкова, Т. А. Распопина

**Сибирский государственный университет путей сообщения,
mrl0904@yandex.ru**

В данной статье описан прецедентный подход и действие экспертных систем. Также перечислены примеры использования экспертных систем в экономике на примере деятельности ОАО РЖД. Экспертные системы на основе прецедентного подхода могут стать прекрасным дополнением к существующим.

This article describes the case-based approach and operation of expert systems. Examples of the use of expert systems in the economy are also listed on the example of Russian Railways. Expert systems based on a case-based approach can be a great addition to existing ones.

Экспертные системы (ЭС) – это компьютерные системы, которые предназначены для частичной замены специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации. По сути – это программа, которая может накапливать знания экспертов и использовать их в дальнейшем для обеспечения высокоэффективного решения неформализованных задач в узкой предметной области. В основе ЭС лежит база знаний (БЗ) о предметной области, которая способна накапливаться в процессе построения и эксплуатации ЭС. [1]

Прецедентный подход (Case-based reasoning) – это процесс (методология) решения проблемы через использование и возможную адаптацию уже имеющихся решений подобных проблем, которые возникали ранее. Прецедентный подход позволяет упростить процесс принятия решений в условиях ограниченного времени и при наличии различного рода неопределенности в исходных данных и экспертных

знаниях, а также в случае возникновения различных аварийных (аномальных) ситуаций.

Суть подхода в том, что знания по решению определенных задач накапливаются в системе и, если происходит подобная проблема, то решается она намного быстрее, чем в первый раз. Подход базируется на понятии прецедент — случай или событие, имевшее место в прошлом и служащее примером или основанием для последующих действий в настоящем. В основном прецедент включает в себя описание ситуации и алгоритм тех действий, которые привели к решению проблемы. [2]

CBR-системы, основанные на прецедентном подходе, уже активно используются в разных сферах жизни человека (медицина, юриспруденция, техника и тд). Также прецедентный подход начали активно применять в динамических информационных системах, в системах экспертного диагностирования, в информационных системах поддержки принятия решений, системах машинного обучения, при решении задач прогнозирования, обобщения накопленного опыта, поиска решения в малоизученных предметных областях и др. С экономической точки зрения такие системы удобны тем, что на них можно обучать поведению в аварийных ситуациях молодых специалистов. Тогда при возникновении реальной ситуации ущерб от нее будет минимальным.

В данном методе есть четыре основных этапа, которые образуют CBR-цикл: Retrieve - извлечение наиболее соответствующего прецедента для сложившейся ситуации из библиотеки прецедентов; Reuse - повторное использование извлеченного прецедента для попытки решения текущей проблемы; Revise - пересмотр и адаптация в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей проблемой; Retain - сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента.

Приведем пример того, как экспертные системы применяются в ЖД. Экспертная система Северо-Муйского тоннеля (ЭС СМТ) была разработана для Восточно - Сибирской железной дороги и является частью системы поддержки эксплуатации, осуществляя высококвалифицированную интеллектуальную помощь специалистам, обслуживающим тоннель.

Экспертная система обеспечивает: использование качественной информации для принятия решений по вопросам эксплуатации, сгенерированной на основе экспертных знаний; количественную информацию, позволяющую экстраполировать поведение объекта управления (СМТ).

Как видно из описания основных функций работы данной системы и приведённого выше описания прецедентного подхода можно сделать вывод, что такой подход прекрасно подошел бы для проектирования подобных экспертных систем. Знания экспертов в области аварийных ситуаций и способов их решения легли бы в основу базы прецедентов. На основе нее система сможет принимать решения, быстро анализируя и выдавая алгоритм действия в подобных или таких же ситуациях, это сократит расходы и потери. [3]

Плюс использования прецедентного подхода в том, что система перебирает все возможные случаи, она не может что-то упустить или забыть, как человек, что сильно уменьшает вероятность ошибки. Также база знаний системы состоит из опыта нескольких людей, а не одного. Это увеличивает качество анализа ситуации.

Применение подобных систем для анализа ЖД объектов может в значительной мере снизить вероятность аварий. Все неисправности система будет видеть заранее и сразу же выдавать алгоритм для их исправления. Основным требованием к такой системе должна быть простота использования, так как не все знакомы с языками программирования.

Литература:

1. Экспертные системы: назначение, область применения [Электронный ресурс] // URL: <https://megaobuchalka.ru/3/12946.html> (дата обращения: 16.10.20)
2. Введение в метод рассуждений по прецедентам [Электронный ресурс] // URL: http://systematy.ru/articles/vvedenie_v_metod_rassujdeniy_po_pretsedentam (дата обращения: 18.10.20)
3. Экспертная система СМТ для Восточно-Сибирской железной дороги [Электронный ресурс] // URL: <http://vgroup.ru/SMT> (дата обращения: 19.10.20)

НЕЙРОСЕТЕВАЯ АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ВЫХОДЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

Д.С. Лысенко

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Dmitry-Lusenko@yandex.ru**

Работа посвящена созданию алгоритма нейросетевой адаптации

параметров ПИ-регулятора температуры воды на выходе котла-utiлизатора. В зависимости от состояния системы, нейронная сеть формирует значения коэффициентов ПИ-регулятора для разных рабочих точек.

The work is devoted to the creation of an algorithm neural network adaptation of the parameters for PI-regulator of the water temperature at the outlet of the waste heat boiler. Depending on the state of the system, the neural network generates the values of the PI-controller coefficients for different operating points.

Системы автоматического регулирования, основанные на ПИД законе управления и его вариациях: П, ПИ, ПД, получили широкое применение, благодаря простоте реализации и ясности функционирования. Эффективность применения ПИД-регуляторов снижается при параметрических возмущениях объекта управления, вследствие чего необходимо постоянно вносить корректировки в коэффициенты регулятора. Может быть сформулирована задача разработки адаптивного алгоритма автоматической настройки коэффициентов регулятора, оценивая параметры объекта управления. Среди методов автоматической настройки коэффициентов ПИД-регулятора, можно выделить автонастройку по табличным значениям. В таблицу заносится необходимое количество наборов коэффициентов регулятора. Наборы коэффициентов привязываются к определённым условиям по наступлению которых выполняется изменение текущих значений коэффициентов регулятора на значения из таблицы. Реализация автонастройки по табличным значениям, возможна только в том в случае, когда известна информация о характере изменения технологических параметров [1]. Инструментом реализации адаптивного алгоритма автоматической настройки могут быть нейронные сети. Применение алгоритмов автоматической настройки созданных на базе нейронных сетей, имеет несколько преимуществ: простота реализации — достаточно включить в обучающую выборку данные, в которых отражена зависимость выходного сигнала нейронной сети от параметров на входе; масштабируемость — возможность переобучения и самообучения нейронной сети для новых условий в процессе управления объектом.

Создание алгоритма нейросетевой адаптации включает три последовательных этапа.

На первом этапе была синтезирована и верифицирована нейросетевая модель объекта управления [2]. В качестве объекта управления был выбран котёл-utiлизатор. Выходным параметром нейросетевой модели выступает температура сетевой воды за котлом (Two). В качестве входных параметров используются: расход сетевой воды (Fw), температура сетевой воды на входе в котёл (Twi), давление

отработанного газа на входе в котёл (P_g), температура газа на входе в котёл (T_g). В качестве управляемой величины была выбрана температура сетевой воды на выходе из котла (Two). В качестве управляющего воздействия выступает расход сетевой воды через котёл (F_w).

На втором этапе, в результате анализа нейросетевой модели котла-utiлизатора, были определены амплитудно-частотные характеристики объекта управления. На основе амплитудно-частотных характеристик были рассчитаны значения коэффициентов ПИ-регулятора для разных рабочих точек (Two). В обучающую выборку были включены шесть наборов коэффициентов регулятора, которые соответствуют шести рабочим точкам. При расчете коэффициентов было сделано предположение, что температура сетевой воды на входе (Twi), в процессе эксплуатации котла-utiлизатора может изменяться в пределах 5 °C. Представленные в таблице 1 коэффициенты ПИ-регулятора рассчитаны для значения $Twi = 45$ °C. В таблице 2, представлены коэффициенты ПИ-регулятора, рассчитанные для $Twi = 50$ °C. Параметры уходящих газов $P_g=0,55$ кПа, $T_g=510$ °C имели постоянные значения. Тип ПИ регулятора — обратного действия. Значения рабочей точки (Two) и температура сетевой воды на входе (Twi) были определены, как входы нейронной сети, которая вносит корректировки в коэффициенты регулятора, значения пропорциональной (Кп) и интегральной (Ки) составляющей, определены как выходы.

Таблица 1 – Значения коэффициентов ПИ-регулятора; $Twi=45$ °C

Входы нейронной сети		Выходы нейронной сети	
Two, °C	Twi, °C	Кп	Ки
92,8	45	0,550056294111994	1,100112588223988
90	45	0,526846176350390	1,053692352700781
88	45	0,534970768695418	1,069941537390836
83	45	0,638722138120409	1,277444276240818
77,9	45	1,034185569677254	2,068371139354510
72,7	45	3,672905679694671	7,345811359389344

Таблица 1 – Значения коэффициентов ПИ-регулятора; $Twi=50$ °C

Входы нейронной сети		Выходы нейронной сети	
Two, °C	Twi, °C	Кп	Ки
92,8	50	0,625561846463328	1,251123692926655
90	50	0,649420541282429	1,298841082564859
88	50	0,734862523883055	1,469725047766110
83	50	1,010143119038715	2,020286238077430

Входы нейронной сети		Выходы нейронной сети	
77,9	50	1,887350560284238	3,774701120568477
72,7	50	2,545256535883831	5,090513071767663

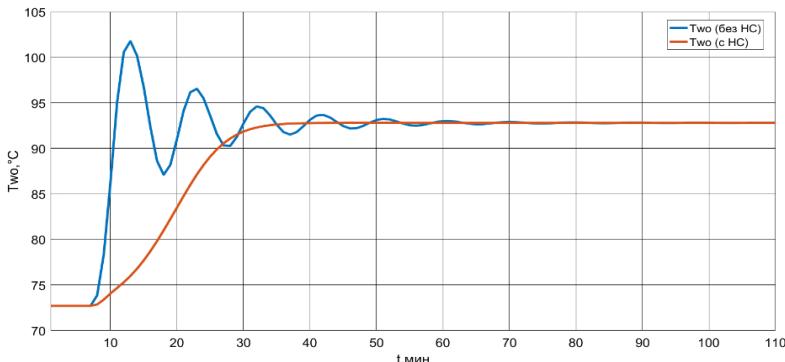


Рис. 1 – Результаты моделирования при изменении Two с 72,7 до 92,8 °C; Twi=45°C.

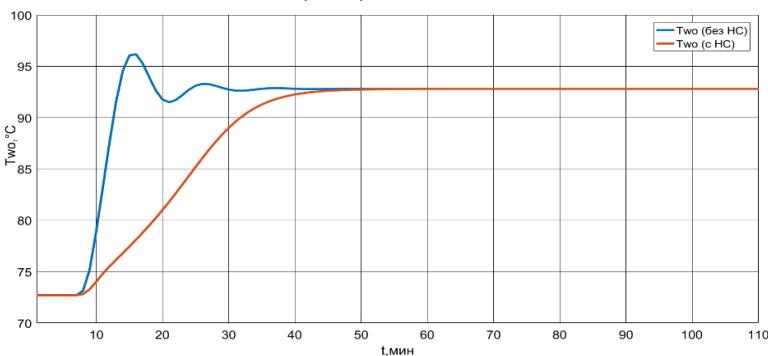


Рис. 1 – Результаты моделирования при изменении Two с 72,7 до 92,8 °C; Twi=50°C.

Литература:

1. Романов М.П. Высокоточная система управления для сборочных роботов на основе ассоциативной памяти// Вестник Московского государственного технического университета МИРЭА» «HERALD of MSTU MIREA». Сер. Роботизированные комплексы и системы технологии. – 2015. – Вып.3 (8). – С. 60-87.
2. Лысенко Д.С., Данилушкин И.А., Динамическая модель котла-утилизатора на базе рекуррентной нейронной сети// Вестник

Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2020. – Вып.2 (65). – С. 59-72.

**РАСЧЁТ КАЛИБРОВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ
РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ КООРДИНАТ
ДЛЯ ЗАДАЧИ МНОГОРАКУРСНОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ**

Д.А. Михайленко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dmmikhajlenko@yandex.ru

В данной статье рассматривается проблема расчета калибровочных коэффициентов в математической модели перехода между различными системами координат для задачи многоракурсного отслеживания объектов, описывается существующий алгоритм калибровки камеры.

Данная работа поддержана грантом РФФИ 20-37-90076.

In this paper the problem of calculation of the calibration coefficients for the mathematical model of transition from object's image coordinate to object's world coordinate is considered, the algorithm for calculation of the calibration coefficients is described.

This work was supported by the RFBR grant No. 20-37-90076.

Вместе с активным развитием компьютерного зрения как дисциплины растет число используемых в системах компьютерного зрения камер. Кроме того, с появлением т.н. "умных" камер и интернета вещей возможности таких систем значительно расширились. Например, стало возможным создавать распределенные системы компьютерного зрения, в которых видеопоток предобрабатывается на отдельных узлах сети, снижая тем самым нагрузку на центральный обработчик. Подобные системы могут применяться в технологиях «умного» дома, в системах безопасности, на производстве для отслеживания объектов с помощью нескольких камер и дальнейшего прогнозирования их появления в поле зрения других камер, не задействованных в настоящий момент в наблюдении объекта.

В рамках будущей работы предполагается разработать механизм отслеживания объектов по несколькимкамерам. Для этого потребуется решить множество задач, одной из них является калибровка камеры с целью расчёта поправочных коэффициентов

математической модели перехода между системами координат изображения, камеры и мировой системой координат. Такая модель позволит в дальнейшем строить единый план сцены для системы видеонаблюдения.

1. Калибровка камеры

Калибровка камеры является одной из важнейших задач компьютерного зрения, особенно в тех областях, где требуется извлечение точной метрической информации из двумерных изображений. Большинство подходов рассматривают калибровку как задачу определения соответствия трёхмерных координат точки (или базовой фигуры – линии, эллипса и др.) пространства и двумерных координат её проекции на плоскость изображения. Мировые координаты калибровочного объекта должны быть известны заранее и измерены с высокой точностью. Сам процесс калибровки состоит в определении внутренних параметров камеры (центр проекции, фокусное расстояние, дисторсии) и внешних параметров камеры (т.н. позы – положение камеры в пространстве относительно сцены изображения)

Алгоритмы калибровки можно разделить на три категории:

- **линейные алгоритмы.** Такие алгоритмы (например, [1]) используют метод наименьших квадратов для расчёта внутренних и внешних параметров камеры, однако они неспособны рассчитать дисторсии,

- **алгоритмы нелинейной оптимизации.** Эти методы использовались ещё в фотограмметрии [2]. В их основе лежит минимизация ошибки между мировыми координатами объекта и координатами его обратной проекции. Обычно, минимизация производится с помощью итерационных численных алгоритмов, таких как метод Ньютона-Рафсона и метод Левенберга-Марквартда. Основным достоинством данных алгоритмов является их точность и универсальность. Однако, вместе с тем они склонны к расходжению и локальным минимумам,

- **двухэтапные алгоритмы.** Данные алгоритмы [3,4,5] выполняют линейную оценку внешних параметров, а затем – итеративную оценку внутренних параметров камеры и дисторсии. Такой подход позволяет повысить скорость схождения алгоритма.

Отдельно стоит упомянуть алгоритмы автокалибровки [6], позволяющие получать калибровочные данные непосредственно по особым характерным точкам на изображении, причём в сцене не требуется присутствие специальных калибровочных объектов. Основными недостатками таких алгоритмов являются их низкая

точность, а также то, что калибруемая камера должна быть подвижной.

В данной работе для калибровки используется алгоритм “virtual visual servoing based calibraton” (VVS) [7]. В данном алгоритме в модели сцены создаётся виртуальная камера. Затем, эта виртуальная камера итеративно перемещается внутри сцены до тех пор, пока она не примет то же самое положение, в котором находится реальная камера, сделавшая калибрующий снимок. Одновременно с перемещениями вычисляются внутренние параметры камеры. Такой подход имеет следующие преимущества:

- алгоритм даёт более точные результаты калибровки по сравнению с другими существующими алгоритмами (в том числе [1, 3]),
- возможно использование более сложных математических моделей камер (например, учитывающих дисторсию тонкой призмы и неколлинеарность оптических осей линз),
- возможно одновременное использование нескольких калибровочных изображений для повышения точности вычисления поправок,
- возможно одновременное использование различных геометрических примитивов (точка, линия, эллипс и т.д.) в качестве характеристик изображения.

2. Построение трёхмерной модели сцены

Для корректного вычисления мировых координат отслеживаемого объекта требуется построение трёхмерного плана снимаемой камерой сцены. Для этого требуется обнаружение на изображении характерных объектов – ориентиров, с помощью которых будет осуществляться привязка координат трёхмерной сцены к мировым координатам. Для описания ориентиров в трёхмерном плане можно использовать геометрические примитивы, поскольку множество объектов окружающего нас мира имеют простые геометрические формы – наружные и внутренние стены зданий, фонарные столбы и т.п. Такой подход позволит вносить в модель различные объекты, минимизировав при этом количество калибровочных снимков.

В будущем, планируется разработка алгоритма построения трёхмерного плана сцены по калибровочным изображениям. Обобщённо, алгоритм будет работать следующим образом:

- калибровка камеры и определение координат калибровочных объектов (например, шахматной доски с известным размером клетки),
- поиск геометрических примитивов на калибровочном изображении,
- увязка геометрических примитивов с координатами калибровочных объектов;

Литература:

1. Faugeras, Olivier & Toscani, Giorgio. (1987). Camera Calibration for 3D Computer Vision. Proceedings of International Workshop on Machine Vision and Machine Intelligence. p. 240-247
2. D.C. Brown. Close-range camera calibration. Photogrammetric Engineering, 37:855-866, March 1971
3. Tsai, R.Y. (1992). A versatile camera calibration technique for high accuracy 3-D machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses. A Versatile Camera Calibration Technique for High-accuracy 3d Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf Tv Cameras and Lenses. 221-244.
4. Weng, Juyang & Cohen, Paul & Herniou, Marc. (1992). Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. 14. 965-980. 10.1109/34.159901.
5. Wei, Guo-qing. (1994). IMPLICIT AND EXPLICIT CAMERA CALIBRATION - THEORY AND EXPERIMENTS. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 16. 469-480.
6. Long, Li & Dongri, Shan. (2019). Review of Camera Calibration Algorithms. 10.1007/978-981-13-6861-5_61.
7. Marchand, Ric & Marchand, Eric. (2000). A New Formulation for Non-Linear Camera Calibration Using Virtual Visual Servoing.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЯ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОТОЧНЫХ ОБРАЩЕНИЙ УНИВЕРСИТЕТА НА ПЛАТФОРМЕ DIALOGFLOW

Е.Д. Моисеева, С.Н. Терещенко

**Новосибирский государственный университет экономики и
управления, г. Новосибирск, medngueu@gmail.com**

В статье рассмотрена проблема обработки поточных обращений в университете; объектом исследования является сценарий чат-бота; новизна проекта заключается в применении современных технологий в образовательной организации.

The article deals with the problem of processing stream calls at the university; the object of research is the chat-bot script; the novelty of the project lies in the application of modern technologies in an educational organization.

Технологии искусственного интеллекта широко применяются во многих отраслях. [1] Чат-бот – инструмент, с помощью которого можно значительно упростить процесс обмена информацией между организацией и обратившимися в нее лицами и уменьшить объем затрат на содержание колл-центра. Он нашел себе применение в широком спектре задач, например, таких как сбор информации и принятие заказа, консультации по наиболее часто задаваемым вопросам и др.

Сейчас университеты стали все чаще сталкиваться с проблемой организаций взаимодействия студентов, преподавателей и структурных подразделений между собой с минимальными временными затратами и максимальным обеспечением наиболее полного спектра задач. Немаловажным фактором стала пандемия COVID-19, приведшая к внедрению в принудительном порядке новых технологий и приведшая к пониманию, что нынешний уровень обеспечения взаимодействия имеет множество недостатков.

Цель моей работы заключается в проектировании сценария чат-бота для оптимизации процесса обработки поточных обращений. Чат-бот должен решать такие проблемы, как: множество однотипных обращений; дублирование информации при многократном обращении человека с целью ее уточнения; длительное выяснения вопроса сотрудниками в связи с его неточной формулировкой обратившимся человеком; длительная обработка множества поступивших единовременно обращений; плохая осведомленность о контактах ответственных по вопросу лиц. В ходе исследования будет рассмотрен

предмет – обработка поточных обращений в вузе и объект – сценарий чат-бота.

Метод использования чат-ботов для процесса обработки поточных обращений в большей степени освоен коммерческими организациями (например, банками). Для некоммерческих организаций проблема обработки поточных обращений стоит не менее остро, но в связи с тем, что данный метод является довольно новым, не нашел широкого применения.

Готовый результат будет применен для юридических лиц, реализующих в соответствии с лицензией образовательные программы высшего профессионального образования.

Любой диалог начинается с постановки цели, от которой зависит ход общения, например, это может быть желание выяснить ответ на конкретный вопрос, получить товар или услугу, или узнать какую-либо информацию. В зависимости от цели диалог будет развиваться по определенному сценарию.

Можно выделить четыре основных сценария:

- стержневой (каскадный);
- дерево вопросов;
- односвязный;
- многосвязный.

По уровням сценарии могут быть одноуровневыми или многоуровневыми.

Стержневой или каскадный сценарий представляет собой многоуровневую структуру, состоящую из последовательно задаваемых вопросов, ответы на которые коренным образом не меняют ход развития диалога, и целью которых является сбор информации. Вопросы задаются сверху-вниз.

К таким сценариям можно отнести диалоги, которые направлены на сбор контактной информации и информации о предпочтениях от клиента на заказ товара (оформление доставки цветов, заказ пирогов и т.п.). Данный сценарий может быть реализован в рамках только одного тематического блока.

Тематический блок – это предметная область, характеризующаяся совокупностью взаимосвязанных предметов, рассматриваемых в рамках одной темы.

Дерево вопросов представляет собой многоуровневый сценарий, при котором последующее развитие диалога прямо связано с выбором предыдущего вопроса. Ветви дерева равнозначны. Вопросы так же задаются в направлении сверху-вниз. Дерево может предполагать, как один, так и несколько тематических блоков.

К таким сценариям можно отнести диалоги, в которых происходит сбор информации о приобретении товаров или предоставлении услуг, которые имеют разные качественные характеристики и от выбора которых зависит дальнейшая процедура оформление (например, звонок сотовому оператору с целью отключения тарифа или получения консультации).

Односвязный сценарий представляет собой одноуровневую структуру, которая может содержать множество блоков вида «Вопрос-ответ» и имеет, в основном, консультирующий характер и может состоять как из одного, так и из нескольких тематических блоков. Например, к таким диалогам можно отнести рубрику FAQ.

Многосвязный сценарий представляет собой многоуровневый набор многонаправленно связанных вопросов, которые могут складываться во множество каскадов с обратной или кольцевой связью. При таком сценарии каждый вопрос рассматривается в контексте нескольких предыдущих вопросов. Многосвязный сценарий предполагает, как один, так и несколько тематических блоков. Такой сценарий диалога наиболее близок к виду повседневного общения.

В ходе работы было рассмотрено около четырнадцати платформ для разработки чат-ботов, которые не требуют в процессе создания глубоких знаний и навыков программирования и предоставляют достаточный функционал для построения сложных сценариев. В результате сравнения была выбрана платформа DialogFlow от компании Google, так как она наиболее полно удовлетворяла основным требованиям: стоимость; интуитивность функционала; возможность интеграции с различными платформами; поддерживаемые языки. DialogFlow, посредством WebHook (веб-перехватчика) позволяет реализовывать стержневой, односвязный сценарий и дерево вопросов. [2]

Построение сценария чат-бота для вуза необходимо начинать с определения общей структуры, основных тематических блоков и подблоков и т.д. Наиболее четкое представление о структуре можно получить из карты сайта университета (НГУЭУ). [3]

На карте выделены следующие основные тематические блоки:

- университет;
- образование;
- наука;
- трудоустройство;
- international;
- медиа.

В свою очередь каждый из блоков декомпозируется на множество подблоков. Например, подблоками для блока *университет* будут являться: страница ректора; новости и анонсы; факты и цифры; структура и т.д. У подблоков могут так же иметься подблоки. Например, у подблока *структура* будут подблоки: ректорат; учений совет; попечительский совет; факультеты и кафедры; административные подразделения.

Но структура чат-бота для университета не будет ограничиваться только теми сведениями, что указаны в карте сайта. Каждый блок и подблок – это совокупность множества вопросов, множества формулировок и уточнений, заключенных в рамки одной темы. То есть в одном тематическом подблоке может содержаться множество блоков вопросов, число которых ограничивается лишь точкой зрения, с которой рассматривается подблок.

Исходя из этого можно сделать вывод, что наиболее верным будет использовать сценарий дерева вопросов. Однако, практика показывает иное.

Дерево вопросов предполагает последовательный спуск сверху-вниз. Таким образом человек, который захочет получить информации о графике работы бухгалтерии не сможет получить эти данные, так как они располагаются на самом нижнем уровне. Чтобы обратиться к нему, ему необходимо спросить сначала про блок *университет*, далее, про блок *структура*, блок *административные подразделения*, и только после этого можно задать вопрос о графике работы. Разумеется, никто не будет держать в голове такие сложные системы, тем более, когда имеется смутное представление о том, где искать информацию.

Следовательно, следует использовать односвязную структуру, которая позволит обратиться к нижнему уровню в одно действие. При этом следует сделать условное разделение на тематические блоки (разрабатывать чат-бот по отдельным веткам снизу-вверх, проводя постоянное слияние более мелких веток). Эта структура так же будет содержать небольшие включения в виде каскадов и деревьев вопросов в ситуациях, когда необходимо собирать информацию для предоставления ответа на самом последнем уровне.

Литература:

1. Терещенко, С. Н. Проблема трудоустройства в эпоху искусственного интеллекта / С.Н. Терещенко // International Journal of Advanced Studies. 2017. Т. 7. № 4-3. С. 132-135.

1. vc.ru [Электронный ресурс] 14 сервисов для создания чат-бота без навыков программирования URL: <https://vc.ru/services/57488-14-servisov->

dlya-sozdaniya-chat-bota-bez-navykov-programmirovaniya (Дата обращения: 13.11.2020)

2. НГУЭУ [Электронный ресурс] Карта сайта URL: <https://nsuem.ru/map.php> (Дата обращения: 13.11.2020)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И. Л. Мухутдинов, В.Н. Невзоров

**Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева, Казань, ilnarm.work@gmail.com**

В данной статье сравниваются три метода извлечения признаков из изображения для задачи локализации летательного аппарата (ЛА). Наилучший метод будет использован в дальнейшем для разработки системы распознавания и локализации ЛА.

This article compares three methods for extracting features from an image for localization of an aircraft problem. The best method will be used in the future to develop a system for recognition and localization of an aircraft.

Введение

Признаки изображения (image features) – это такие его особенности, опираясь на которые можно определить, что изображено на картинке. Полезность признака определяется его информативностью – величина, количественно пригодная для распознавания классов объектов. Чем информативнее признак, тем с большей вероятностью мы относим определённый объект к определённому классу. Данная величина позволяет отсеивать ненужные признаки, сокращая тем самым признаковое поле [1].

Извлечение признаков из изображения позволяет увеличить число параметров, описывающих конкретный объект, а также сделать процесс распознавания устойчивым к различным трансформациям (поворот, изменение цвета, сжатие и т.д.).

Существует три популярных метода извлечения признаков: SIFT (Scale-Invariant Features Transformation), ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF), SURF (Speeded Up Robust Features).

Метод SIFT

Суть метода SIFT подробно описана в статье [2]. В его основе лежит нахождение разностей гауссиан с применением фильтра Лапласа и поиск дескрипторов точек, что дает найденным ключевым точкам независимость к масштабированию

Метод SURF

Метод ищет особые точки при помощи матрицы Гессе. Детерминант матрицы достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Он хорошо детектирует пятна, углы и края линий. Гессиан инвариантен относительно вращения, но не инвариантен масштабу. Поэтому SURF использует разномасштабные фильтры для нахождения гессианов. Для найденных ключевых точек формируются дескрипторы, отображающие направление градиента вокруг ключевой точки. [3].

Метод ORB

Метод объединяет особые точки, найденные детектором углов FAST (Features from an Accelerated Segment Test), с дескриптором признаков BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features).

Критерий FAST определяет наличие угла путем рассмотрения значений изображения на окружности с центром в данном пикселе. Критерием наличия угла является условие, при котором значение в центральном пикселе должно быть темнее (или ярче), чем значения в 8 соседних пикселях на окружности, и похожим на значения остальных пикселей на окружности. После того, как особые точки найдены, вычисляют их дескрипторы BRIEF – быстрый эвристический дескриптор, строится из 256 бинарных сравнений между яркостями пикселей на размытом изображении. [4]:

Сравнение методов извлечения признаков.

Сравнение методов выполнялось как на нескольких видах одного самолета (вид спереди; вид сбоку; вид сзади; вид снизу; вид с азимутом -50°), так и на разных дистанциях: 500 м; 1000 м; 2000 м; 3500 м; 5000 м. Кроме этого были созданы копии исходных изображений с увеличенной резкостью. Изображения выполнены в чёрно-белом цвете.

Стоит учесть, что несколько ключевых точек с одинаковыми координатами имеют разные дескрипторы. Например, визуально на изображении показана 1 ключевая точка, но алгоритм вычислил 7. У этих 7 точек одинаковые координаты, но разные дескрипторы.

Работа методов была реализована при помощи программы на языке Python с использованием библиотеки OpenCV.

Результаты сравнения

На рис. 1, 2 и 3 представлены результаты работы алгоритмов SIFT, SURF и ORB соответственно на изображениях самолета на разных дистанциях. На каждой из дистанций по 5 изображений.

Во-первых, видно, что алгоритмы извлекают больше ключевых точек, если у изображения предварительно увеличить резкость.

Во-вторых, алгоритм SIFT проигрывает по количеству ключевых точек всех дистанциях, кроме 5000 м.

На дистанции в 5000 м SURF не извлек ключевые точки на виде спереди, а ORB – на видах спереди и сбоку.

На дистанции в 500 м на 4 из 5 видах (спереди, сбоку, сзади, азимут -50°) ORB извлек больше ключевых точек, чем SURF, а на дистанциях в 1000 м, 2000 м и 3500 м ORB - на всех 5 видах. На дистанции в 5000 м выигрывает SURF.

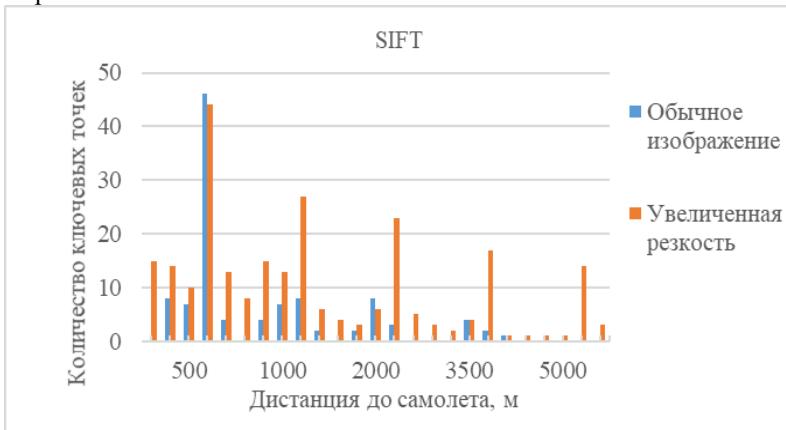


Рис. 1 - Диаграмма результатов алгоритма SIFT

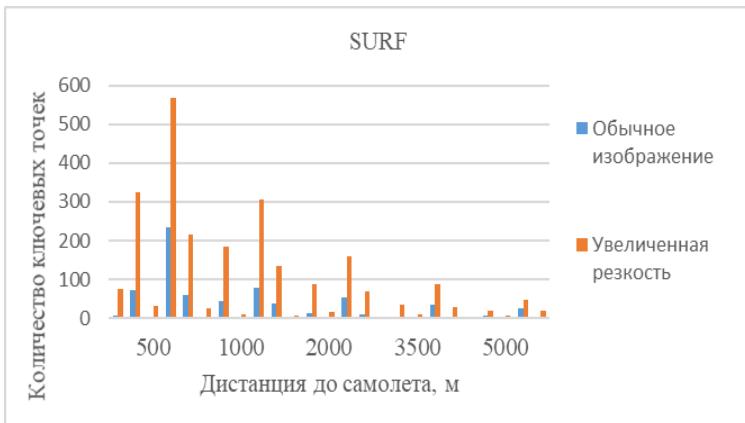


Рис. 2 - Диаграмма результатов алгоритма SURF

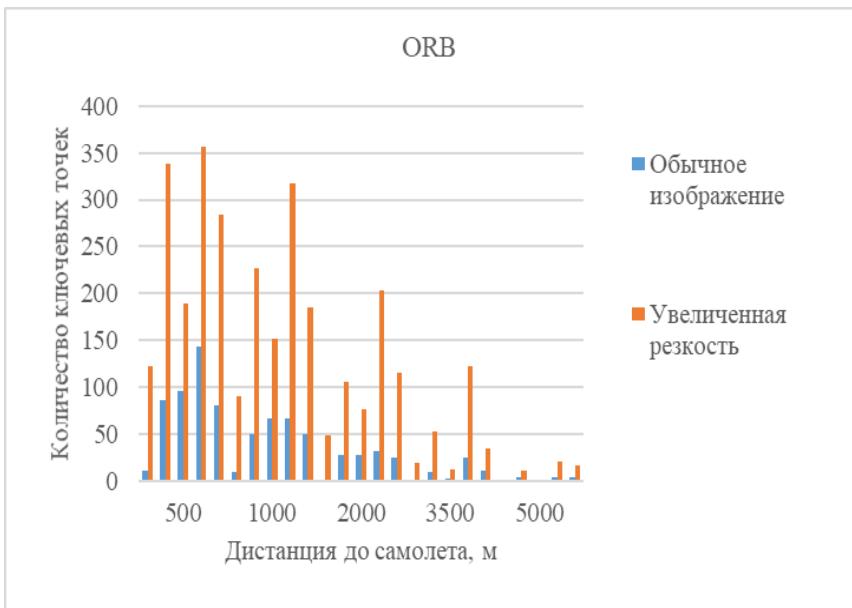


Рис. 3 - Диаграмма результатов алгоритма ORB

Вывод

Для будущей системы распознавания и локализации ЛА будет использован метод извлечения признаков ORB, т.к. среди рассматриваемых методов он извлек больше ключевых точек на 4 из 5 дистанциях. Для дистанции в 5000 м будут изучены возможности доработки этого алгоритма, чтобы на этой дистанции ключевые точки имелись на всех рассматриваемых видах. На вход метода ORB необходимо подавать изображение с повышенной резкостью.

В данной статье были рассмотрены факторы, влияющие на инновационные проекты. Из этих факторов были выведены критерии с помощью которых будет рассчитываться эффективность результатов инновационных проектов. Точная оценка эффективности результатов инновационных проектов возможна с применением информационных технологий, которые настроены на конкретную отрасль. Поэтому для оценки эффективности результатов была разработана гибридная система нечеткого вывода, которая включает в себя два метода, а именно нечеткий логический вывод и нейронные сети. С помощью нечеткого вывода были разработана база правил и выявлена зависимость между критериями и эффективностью инновационного проекта, с помощью нейронной сети была обучена разработанная

система, т.е. смоделирована в данных условиях. На базе нейро-нечеткой системы была разработана методика оценки эффективности результатов инновационных проектов с применением гибридной системы.

Литература:

1. Глушков В.М., Амосов Н.М., Артеменко И.А. Энциклопедия кибернетики // Мир. 1974., Т. 1. С. 392-393.
2. David G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // Computer Science Department // University of British Columbia, January 5, Vancouver B.C., Canada, 2004.
3. Джгаркава Г. М., Лавров Д. Н. Использование метода SURF для обнаружения устойчивых признаков изображения при создании сферических панорамных снимков // Математические структуры и моделирование. 2011. Вып. 22. С. 95-100.
4. Клетте Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы // пер. с англ. Слинкин А. А. // М.: ДМК Пресс. 2019. С. 411-413.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Перельгин И.А., Шаламова О.А.

Сибирский государственный университет путей сообщения
oksana.sh73@mail.ru

Научная работа посвящена разработке имитационной модели, позволяющей изучать, тестировать процессы технического сервиса, а также обучать этому других. Проведение экспериментов на имитационной модели технического сервиса избавляет от необходимости проведения экспериментов в реальной жизни и не мешает работе уже существующего производства.

С каждым годом предприятия растут и развиваются, и для хорошей работы в условиях постоянно изменяющихся потребностей клиента, структуры таких предприятий всегда должны быть построены оптимально, дабы сократить производственные затраты и повысить производительность труда. Эксперименты над структурой, проводимые на предприятии в реальной жизни могут быть не оправданы, так как занимают большое количество времени, и мешают производственному процессу. В таких ситуациях используется имитационное моделирование, которое является отличным решением для выявления слабых мест предприятия, при этом не вмешиваясь в его работу. Для

этого важно понять, какие процессы происходят на нашем исследуемом объекте, чтобы воспроизвести их в имитационной среде.

Имитационная модель системы массового обслуживания выглядит следующим образом: на вход СМО с определённой очередью и интенсивностью поступает простейший поток заявок в зависимости от состояния системы. Если заявка застаёт все каналы свободными, то она принимается на обслуживание и обслуживается одним из каналов. После окончания обслуживания один канал освобождается. Если заявка застаёт все каналы занятыми, то она становится в очередь, и ждёт своего обслуживания.

Наглядную схему модели СМО вы можете наблюдать ниже.

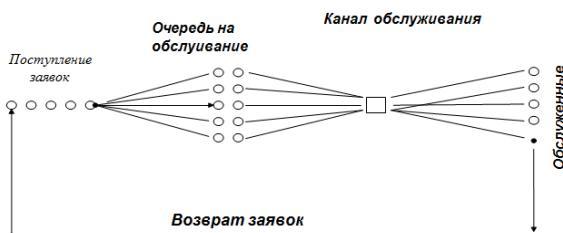


Рисунок – Схема модели обслуживания

В качестве исследуемого объекта было выбрано ремонтно – сервисное предприятие г.Черепаново. Это предприятие, занимающееся ремонтом около 27 типов путевых машин, которые поступают из Свердловска, Южного Урала, Новосибирска и Красноярска. Производственная часть предприятия разделена на 5 участков, что позволяет нам исследовать каждый из участков в отдельности. В ряде экспериментов были сделаны прогоны модели участка по ремонту колёсных пар, в котором мастер занимается сортировкой и контролем выполнения заявок, а обслуживание выполняют 4 слесаря. Первым делом мы выполняем запуск изначальной структуры для определения правильности работы модели. Если полученные данные на выходе совпадают со статистическими данными работы участка, можно начинать выполнение экспериментов над моделью. Изменяя такие данные, как частота поступления заявок, количество персонала, время выполнения заявки, мы можем наблюдать, какое количество заявок будет выполнено за выбранное время, и какую нагрузку будут испытывать мастера. Отталкиваясь от полученной информации, можно сделать выводы, при каких условиях выбранный участок не справляется с возложенной на него нагрузкой, или же наоборот работает не в полную силу, что соответственно влияет на общую производительность.

В конечном итоге мы можем определить оптимальное количество персонала для наилучшей производительности участка.

Литература:

1. Информация о AnyLogic // AnyLogic: официальный сайт. [Электронн. ресурс] - Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/>
2. Боев В. Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7: — СПб.: ВАС, 2014. — 432 с.

ОБНАРУЖЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

И.С. Петрухин, В.М. Волкова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, petruxin.2016@stud.nstu.ru**

Цель работы – реализация программного обеспечения для генерации размеченных космологических данных, реализация программного обеспечения для обнаружения и классификации космологических структур, проведения сравнительного анализа алгоритмов кластеризации на сгенерированных данных, применение алгоритмов кластеризации для обнаружения космологических структур.

В процессе работы был реализован генератор размеченных космологических данных. На сгенерированных данных был проведен сравнительный анализ нескольких популярных алгоритмов кластеризации. Затем, наиболее эффективные алгоритмы кластеризации были применены в задаче обнаружения и классификации структур в предоставленных данных.

The purpose of the work is the implementation of software for generating labeled cosmological data, the implementation of software for the detection and classification of cosmological structures, the comparative analysis of clustering algorithms on the generated data, the use of clustering algorithms for the detection of cosmological structures.

In the process of work, a generator of labeled cosmological data was implemented. On the generated data, a comparative analysis of several popular clustering algorithms was carried out. Then, the most efficient clustering algorithms were applied in the problem of detecting and classifying structures in the provided data.

Данная работа посвящена задаче обнаружения и классификации астрофизических объектов (структур) в наборе космологических данных. Набор космологических данных представляет собой

космологическую паутину, состоящую из множества структур трех возможных типов: сгусток, цепь и стена (см. Рис 1).

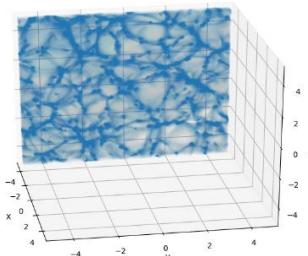


Рис.1 Срез космологической паутины

Такой набор данных является результатом моделирования эволюции и динамики взаимодействия небесных тел [1]. Задача выделения структур из набора космологических данных обусловлена заинтересованностью астрофизиков в исследовании их взаимодействия.

Первым делом, для решения этой задачи, было решено выбрать минимальный порог яркости, что позволяет значительно улучшить разделимость данных. Было получено несколько наборов данных с разными порогами яркости, которые были направлены эксперту. После этого, экспертом был выбран оптимальный порог яркости равный 0.05 (см. Рис. 2).

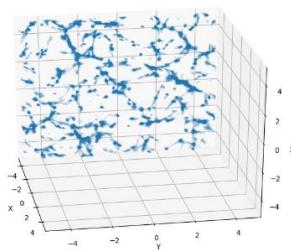


Рис.2 Срез космологической паутины с порогом яркости 0.05

Следующим шагом является кластеризация исходных данных. Исходными данными для кластеризации является массив объектов, каждый из которых имеет положение в пространстве, заданное тремя пространственными координатами и яркостью. Для решения задачи кластеризации было выбрано 2 наиболее подходящих из известных

методов на основе плотности: DBSCAN и HDBSCAN. Также, для проведения сравнительного анализа, был выбран один из наиболее простых и быстрых методов: k-means.

Для решения задачи классификации был разработан алгоритм на основе метода главных компонент. Сперва необходимо найти 3 главных компоненты. Затем, используя собственные значения, соответствующие главным компонентам, структура классифицируется, на основе следующих правил:

- структура считается «Сгустком», если все три собственных значения различаются не более, чем на порядок;
- структура считается «Цепью», если одно из собственных значений больше остальных как минимум на порядок;
- структура считается «Стеной», если два собственных значения больше третьего как минимум на порядок.

Для получения оценок качества кластеризации и классификации при использовании выбранных методов, а также для проведения сравнительного анализа, был разработан генератор размеченных данных, схожих с исходными. Для оценки качества классификации использовалась матрица ошибок и вычисляемые на ее основе метрики precision, recall и среднее гармоническое этих двух метрик f1-score [2]. Для оценки качества кластеризации были использованы метрики на основе энтропии, такие как полнота, однородность, а также их среднее гармоническое v-measure [3].

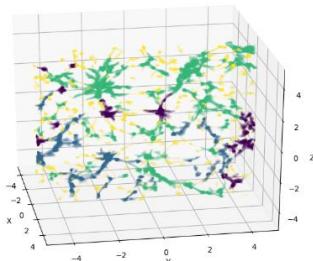


Рис.3 Результат классификации кластеров, полученных с помощью DBSCAN

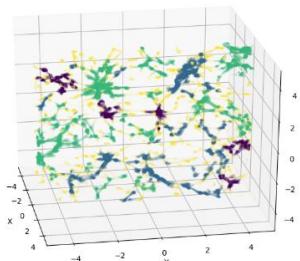


Рис.4 Результат классификации кластеров, полученных с помощью HDBSCAN

Последним шагом было обнаружение и классификация структур во всем наборе исходных данных. Для отсечения недостаточно ярких точек были выбраны пороги яркости 0.05 и 0.025. Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2:

Таблица 1 – Оценка кластеризации для DBSCAN

Порог яркости	Кол-во точек	Время выполнения, сек.	Обнаружено структур		
			Сгустки	Цепи	Стены
0.025	1696621	168. 02	96	30	120
0.05	1001689	63.78	155	67	201

Таблица 2 – Оценка кластеризации для HDBSCAN

Порог яркости	Кол-во точек	Время выполнения, сек.	Обнаружено структур		
			Сгустки	Цепи	Стены
0.025	1696621	1327.79	60	51	132
0.05	1001689	325.56	115	103	249

По результатам видно, что скорость работы DBSCAN выше, чем у HDBSCAN (что подтверждает результаты, полученные в сравнительном анализе). Значит, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным алгоритмом кластеризации для решения данной задачи является именно DBSCAN.

Литература:

1. Kulikov I.M. [et al.] AstroPhi: A code for complex simulation of dynamics of astrophysical objects using hybrid supercomputers // Computer Physics Communications. 2015. P. 71-80.
2. Рашка С. Python и Машинное обучение. PACKT. 2015. 456 с.
3. Andrew Rosenberg, Julia Hirshberg. V-Measure: A conditional entropy-based external cluster evaluation measure // aclweb. 2007. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/D07-1043.pdf> (дата доступа: 15.05.2020).

СОЗДАНИЕ ПАРСЕРА ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА ЯЗЫКЕ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ

А.Е Поддымникова, В.И. Хабаров

**Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, poddymnikovaae@mail.ru**

Данная работа направлена на создание программы на языке Prolog, которая выступает парсингом в процессе преобразование фраз естественного языка на язык логики предикатов. Обоснован выбор данного языка и представлена часть программы, которая обрабатывает условные предложения русского языка.

This work is aimed at creating a program in the Prolog language, which acts as parsing in the process of converting natural language phrases into the language of predicate logic. The choice of this language is substantiated and a part of the program is presented that processes conditional sentences of the Russian language.

Задачи, касающиеся обработки текстов, появились практически сразу после появления ЭВМ, но, несмотря на множество исследований в области искусственного интеллекта, скачок в развитии информационных технологий, исчерпывающего решения таких задач пока нет. Производить анализ человеческих языков (в отличие от компьютерных) сложно из-за большого количества неоднозначностей (омонимия), при этом нужно учесть, что русский язык является одним из самых сложных в мире, из-за чего еще более ставит проблему анализа естественного языка в ряды актуальных.

Большое количество разработок и исследований в данной области существуют для английского языка. Найти открытый парсер для русского языка практически невозможно, а существующие наработки (ЭТАП, ABBYY) имеют закрытый исходный код. Для любой серьезной задачи анализа текстов необходимо иметь свой синтаксический парсер. В связи с этим возникает необходимость создания собственного парсера.

Для представления смысла фраз на естественном языке хорошо подходят логические высказывания. В целом язык логики является более мощным по сравнению с формальными языками доступа к базе данных, поскольку позволяет учитывать более тонкие семантические закономерности.

Основная деятельность, которая реализована в данной работе — это перевод фразы на ограниченном (контролируемом) естественном языке (КЕЯ) в предложение на языке логики предикатов (ЛП). Под предложением в ЛП понимается замкнутая формула ЛП т.е. формула, не имеющая свободных переменных.

Русский язык относится к классу синтетических языков, то есть к типологическому классу языков, в которых преобладают синтетические формы выражения грамматических значений. Синтетические языки противопоставляются аналитическим языкам, в которых грамматические значения выражаются при помощи служебных слов, например, артиклями. Этот факт усложняет морфологический, синтаксический и семантический анализы языка и приводит к необходимости использовать контекстно-зависимые грамматики.

Язык Пролог имеет мощный инструмент в виде DCG (Definite Clause Grammar) для описания порождающих грамматик. Это дополнение упрощает задачу определения контекстно-зависимых формальных грамматик и, в частности, дает возможность для реализации парсера для ограниченного русского языка. Грамматика, заданная в системе обозначений DCG, может быть непосредственно вызвана на выполнение с использованием интерпретатора Prolog в качестве синтаксического анализатора.

Расширение DCG упрощает также трактовку семантики языка, в результате чего семантические (смысловые) конструкции в языковой фразе, которая определена с помощью DC-грамматики, могут чередоваться с синтаксическими. Более того, DCG позволяет трансформировать смысл ограниченных фраз на естественном языке в выражения на языке ЛП.

Порождающая формальная грамматика обладает одним замечательным свойством — она позволяет генерировать правильно построенные согласно этой грамматике фразы. Если на сочетаемость слов наложить дополнительные семантические условия, то возможно построение обратного транслятора, который будет генерировать фразы на КЕЯ соответствующие фразам на ЛП. Данную возможность можно использовать для извлечения онтологий ((греч.) суть вещей) из текста на ограниченном естественном языке и решать обратную задачу синтеза текста на основе онтологии. В данной работе эта задача демонстрируется только частично.

Правила грамматики написаны на DCG с использованием русского языка. Их форма естественна и не требует особых комментариев. Ниже рассмотрена грамматика только для повествовательных предложений. Среди них на первое место ставиться условное предложение, поскольку это важно для написания правил для экспертных систем. Далее, как часть условного предложения рассматриваются повествовательные предложения: простые, сложноподчиненные и сложносочиненные.

Далее в качестве примера приведена обработка условного предложения из созданной программы.

В КЕЯ условное предложение может быть представлено в следующих двух форматах:

- Если <сложно_соч_предл> то <сложно_соч_предл> (Если он рисует, то она сидит).
- <Сложно_соч_предл> если <сложно_соч_предл> (Она сидит, если он рисует).

Субъект — имя переменной в логическом выражении, связанной квантором.

Лог_выражение — это выражение в ЛП, синтезируемое из входного списка слов текста.

Необходимо отметить, что в запросе в предикате:

? - условное_предл(х, Лог_выражение,TokenList ,[])

присутствуют два дополнительных параметра - TokenList и пустой список - [], которые отсутствуют в DSG-предложении (см. ниже). Это объясняется тем, что по-существу Пролог создает "обертку" для DCG - предложения и превращает его в предложение Пролога с дополнительными параметрами.

TokenList - это список токенов, т.е. слов, выделенных из текста вместе со знаками препинания.

Пример запроса:

?- tokenize_atom('Если он рисует, то она сидит', TokenList),
условное_предл(х, Лог_выражение,TokenList ,[]).

Ответ:

TokenList = ['Если', он, рисует, (','), то, она, сидит],
Лог_выражение = существует (х, местоимение(х, он)&&рисует(х))=>
существует (у, местоимение(у, она)&&сидит(у))

Параметр 'Субъект' выполняет чисто декларативную функцию. Значением этого параметра является символ, которым удобно обозначить предметную переменную для предиката. Обычно имена таких переменных выбирают из последних строчных букв латинского алфавита, например: v,w,x,y,z.

Фрагмент DCG - предложения в фигурных скобках- это текст на Прологе.

{gen_var(Субъект,Субъект1)}

В данном случае обращение к предикату, который генерирует новое имя для предметной переменной в алфавитном порядке. Например, если:

Субъект = x, то Субъект1 = y.

Рассмотрим принцип формирования условного предложения типа: 'Если А то В'.

Логическим эквивалентом является импликация 'A => B'.

'Лог_выражение1' формируется в результате грамматического разбора предложения А, а 'Лог_выражение2' - предложения В. Результатом является логическое выражение 'Лог_выражение1 => Лог_выражение2'.

```

условное_предл(Субъект, Лог_выражение1 => Лог_выражение2 ) →
если,
    сложно_соч_предл(Субъект, Лог_выражение1),
    то,
        сложно_соч_предл(Субъект, Лог_выражение2).
условное_предл(Субъект, Лог_выражение1 => Лог_выражение2 ) →
{gen_var(Субъект, Субъект1)},
    сложно_соч_предл(Субъект1, Лог_выражение2),
если,
    сложно_соч_предл(Субъект, Лог_выражение1).
если → ['Если'].
если → [',','если'].
то → [',','то'].

```

На рисунке 1 представлен результат работы программы.

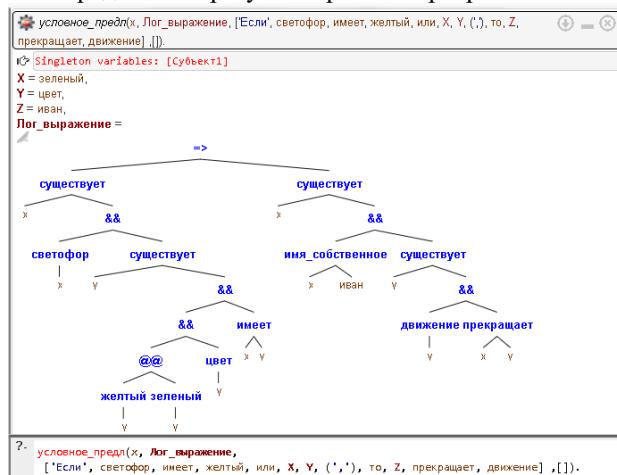


Рис. 1. Пример работы программы

Литература:

- Братко Иван Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG, третье издание, Москва • Санкт-Петербург • Киев 2004
- Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 288 с.

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К ПОИСКУ И РАСПОЗНАВАНИЮ МАШИНОПИСНОГО ТЕКСТА СО СКАН-КОПИЙ ДОКУМЕНТОВ

А.А. Ржевский, А.А.Попов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, arseniirzhevskii964@gmail.com**

В данной работе представлено сравнение современных подходов к распознаванию и сегментации машинописного текста, а также некоторые их модификации. Полученные в итоге подходы позволяют с более высокой точностью выполнять распознавание машинописного текста.

This paper presents a comparison of modern approaches to recognition and segmentation of typewritten text, as well as some of their modifications. The resulting approaches allow for higher accuracy typescript recognition.

Одной из основных тенденций последнего времени является всеобщая автоматизация и цифровизация. Стارаясь следовать этому курсу, многие компании внедряют технологии OCR (оптическое распознавание символов) в свои бизнес-процессы. Автоматизируя и оцифровывая свой документооборот, они стремятся полностью исключить человеческий фактор из этого процесса. Успешность такого подхода во многом зависит от качества распознавания машинописного текста. В связи с этим для повышения качества распознавания проводится множество исследований в смежных с OCR областях. Самой обширной из них является сегментация текста. При решении проблем сегментации неизбежно возникает множество проблем, таких как дефекты сканирования, сложный фон, нетекстовые объекты, нетривиальное расположение текста и рукописный текст. Существующие на сегодняшний день алгоритмы и системы компьютерного зрения не способны в полной мере справится с этими проблемами.

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу различных подходов и их модификаций для решения задач сегментации и распознавания машинописного текста со скан-копий документов различной степени сложности.

Под сегментацией страницы понимается ее декомпозиция на области, имеющие общие семантические характеристики. При решении задач, связанных с распознаванием текста с изображений, выделяют две основные: области, содержащие нетекстовые объекты и области с текстом. О распознавании последних и пойдет речь в данной работе.

В целях повышения эффективности решения задачи сегментации изображения, как правило, предварительно обрабатывают. При этом в зависимости от качества изображения применяются различные способы и алгоритмы такой обработки. Алгоритмы, вносящие наибольший вклад в итоговый результат, а также алгоритмы поиска нетекстовых объектов и сегментации текстовых представлены в работе [1].

Непосредственно распознавание найденных текстовых областей является самым важным этапом процесса автоматической обработки документа. По сути все остальные этапы можно считать подготовкой к нему, а целью этих этапов – повышение точности распознавания. Точность распознавания зависит от двух составляющих: качество найденных текстовых объектов и применяемого способа распознавания. Остановимся более подробно на последнем.

Способы распознавания можно разделить на две группы: с использованием и без использования нейронных сетей. Методы без использования нейронных сетей в настоящий момент уже практически не используются и не исследуются в связи с практической невыполнимостью необходимой для них нормализации в реальных задачах. Примером реализации такого метода распознавания может служить одна из старых версий компьютерной программы tesseract [2]. В последних же версиях этой программы такой подход был упразднен ввиду низкого качества итоговых результатов. На смену алгоритмическому методу распознавания пришел нейросетевой, а именно сверточная сеть с использованием LSTM ядер. Стоит отметить, что не только в tesseract используется такой подход. Из последних представленных работ по данной тематике наиболее высокие результаты точности распознавания достигнуты в работах, посвященные нейронным сетям, и в каждой из них используются LSTM ядра.

В рамках настоящей работы будут рассмотрены и модифицированы два таких метода. Первый метод предусматривает последовательное использование двух сетей, одной для сегментации [3], другой для распознавания [4]. Второй [5] сосредоточен только на решении задачи распознавания. Отметим, что данные методы изначально были разработаны для решения задач STR (распознавание снимков с камер), и, следовательно, в силу разной специфики областей (различная природа шумов и искажений на изображениях), показывают низкое качество при решении задач OCR. Для повышения эффективности решения задачи OCR данными методами внесем в них ряд изменений.

Первым шагом для повышения качества и скорости работы метода из [4] служит замена сегментации с помощью нейросетей на

сегментацию с помощью метода из [1]. Это сделано в основном из соображений повышения скорости работы итогового алгоритма, так как алгоритмический подход показал намного более высокую скорость и сопоставимое с нейросетевым качество.

Следующее изменение касается только первого подхода [4]. Заключается оно в использовании наиболее подходящей под наши задачи архитектуры сети: ResNet-BiLSTM-Attn. Основным отличием здесь служит отказ от трансформационного (TPS) слоя, поскольку, в силу различий в задачах, решаемых с помощью OCR и STR, он не актуален и приводит скорее к уменьшению качества распознавания и скорости работы.

Еще одним элементом модификации, примененным для обеих сетей [4],[5] является сборка датасетов и обучение моделей с подбором оптимальных параметров. Сборка датасетов осуществлялась на основе скриптов, представленных в программе [2]. Они позволяют генерировать в различной степени испорченные фрагменты текста, что в наиболее полной мере соответствует рассматриваемой области. При этом осуществлялось добавление в датасет, состоящий из 14 миллионов искусственно сгенерированных изображений слов, данных с 300 размеченных вручную страниц, что позволило поднять точность распознавания еще на несколько процентов.

В таблице 1 представлена сравнительная точность сегментации и последующего распознавания 40 изображений. Для определения точности использовалась метрика из работы [6]. Ее суть заключается в подсчете неверно разделенных/слепленных по вертикали/горизонтали слов и сравнении распознанного текста с истинным. Из полученных результатов видно, что предложенный в работе [1] способ сегментации страницы является эффективным и при его объединении с одним из модифицированных подходов к распознаванию показывает относительно высокую точность. Есть определенный резерв в повышении качества сегментации, поскольку основной процент ошибок приходится на оставшиеся после предварительной обработки дефекты сканирования и кусочки заднего плана или нетекстовых объектов, ошибочно принятых за текст. Мало исследованным остается также вопрос оптимизации архитектуры нейронных сетей.

Таблица 1 – Сравнительная точность алгоритмов сегментации и распознавания и их модификаций

	Точность сегментации и распознавания текста на тестовой выборке
Движок tesseract[2] с использованием нейронной сети	0.927075
Модель сегментации и модель распознавания из работ[3],[4]	0.843213
Разработанный алгоритм сегментации и модель распознавания из работ[3],[4]	0.907231
Разработанный алгоритм сегментации и измененная модель из работы[4], обученная на созданных датасетах	0.9317917
Разработанный алгоритм сегментации и измененная модель из работы[4], обученная на созданных датасетах с добавлением вручную размеченных изображений	0.959234
Разработанный алгоритм сегментации и модель распознавания из работы[5]	0.8810394
Разработанный алгоритм сегментации и измененная модель из работы[5], обученная на созданных датасетах	0.918924
Разработанный алгоритм сегментации и измененная модель из работы[5], обученная на созданных датасетах с добавлением вручную размеченных изображений	0.933012

Литература:

1. Ржевский А.А., Попов А.А. Сегментация скан-копий документов с выделением текстовых и не текстовых объектов. // Наука. Технологии. Инновации: материалы всерос. науч. конф. молодых ученых: в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 178–182.
2. The Tesseract open source OCR engine. <http://code.google.com/p/tesseract-ocr>.
3. Character Region Awareness for Text Detection / B. Youngmin, L. Bado, H. Dongyoong, Y. Sangdoo, L. Hwalsuk // In Proc. CVPR. – 2019. – P. 9365–9374.
4. What is wrong with scene text recognition model comparisons? dataset and model analysis / B. Jeonghun, K. Geewook, L. Junyeop, P. Sungrae, H. Dongyoong, Y. Sangdoo, J. Oh Seong, L. Hwalsuk // In

Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2019. – P. 4715–4723.

5. *Canjie L., Lianwen J., Zenghue S.* MORAN: A Multi-Object Rectified Attention Network for scene text recognition // Pattern Recognit. – 2019. – Vol. 90. – P. 109–118.

6. *Wusong M., Kanungo T.* Empirical Performance Evaluation Methodology and Its Application to Page Segmentation Algorithms // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2001. – Vol. 23, iss. 3. – P. 242–256. – doi: 10.1109/34.910877.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ С ПОМОЩЬЮ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦ

Д.Д. Родищев, Е.Б. Тарасов

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, rodishevdd@edu.stu.ru

В процессе работы был собран и проанализирован теоретический материал о технологиях распознавания лиц. Произведен выбор среди разработки и сторонних библиотек. Описан процесс разработки и тестирования программного продукта для распознавания объектов на изображении. В результате выполнения работы был реализован программный продукт для контроля доступа в учебных заведениях с помощью технологий идентификации человека по лицу. Для учета статистики создана веб – версия приложения.

In the course of this work, we collected and analyzed theoretical material about face recognition technologies. The development environment and third-party libraries were selected. The process of developing and testing a software product for recognizing objects in an image is described. As a result of the work, a software product was implemented for access control in educational institutions using technologies for identifying a person by face. A web version of the app has been created to account for statistics.

Актуальность выбранной темы определяется тем, что создание технологий идентификации человека по лицу для учета посещений учебных заведений позволит отказаться от обычных железных ключей от аудиторий или индивидуальных карт, которыми пользуются для входа в помещение. Существует много мест, где имеется возможность применить систему идентификации лиц. Самыми известными местами применения являются безопасность и криминалистика. Также существуют другие области применения. К примеру, в рамках данного проекта, технология будет применяться для контроля аудиторий в

университете и специальных помещений, где требуется ограничить доступ.

Распознавание лиц в настоящее время, является одной из популярных тем для разработки. Множество компаний мира используют в своей работе данную технологию.

Целью является исследование алгоритмов распознавания лиц для последующего создания своей ИС для идентификации личности.

Данный проект можно разделить на два модуля, первый – ведет поиск человека, а точнее его лица на видеофрагменте, а второй – обрабатывает изображение и сопоставляет с эталонами, которые хранятся в базе данных. Для поиска лица используется метод Виолы-Джонса, так как результаты поиска очень быстры, и он является одним из лучших по соотношению показателей распознавания/скорость работы. Данный метод использует признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта, в данном случае лицо и его черт.

В ходе выполнения практической части выяснили, что для повышения правильно распознанных лиц требуется усовершенствование программы. После первых экспериментов, точность была около 20%-30%, что никак не могло удовлетворять потребностям. Сейчас, на данном этапе, с учетом всех нововведений, программа идентифицирует человека с точностью 94%.

Проект имеет модульную систему, что позволяет использовать продукт не только в университете, школе или другом образовательном учреждении. ПО имеет возможность использоваться на любом предприятии для контроля сотрудников. А главное достоинство заключается в том, что систему нельзя обмануть или договориться.

Таким образом, для системы контроля доступа, разработан проект, который будет осуществлять процедуру доступа в помещение, а также, информировать об этом администратора. Камера, которая будет располагаться над дверью или на специальном кронштейне с креплением к потолку, записывает видео, далее видеофрагмент отправляется на сервер, где происходит выделение лица человека и идентификация. Обработка состоит из нескольких модулей, сначала обрезается видео с момента обнаружения движения, далее происходит раскадровка и поиск лица, затем после обнаружения, сравнивание с эталонами, которые хранятся в базе данных. После обработки программа составляет отчет о личностях. Далее, если человек имеет доступ к помещению, то происходит отправка запроса на микроконтроллер Arduino, который в автоматическом режиме открывает электромеханический замок, расположенный в двери

В результате разработки данной системы планируется сократить время и человеческие ресурсы, за счет ненадобности определённому сотруднику открывать или закрывать дверь после занятия или пребывания в помещении. В веб-версии продукта, имеется возможность отобразить статистику, где будет видно кто и когда хотел получить доступ, но не получил его, что поможет улучшить безопасность, а также узнать сколько раз и какое количество времени определённая личность проводила в помещении.

Литература:

1. *Форсайт Д.* Компьютерное зрение. Современный подход // Будущее компьютерного зрения. – 2004. – 912 с.
2. *Гlorия Буэнo Гарсия.* Обработка изображений с помощью OpenCV // Технический прогресс. – 2012. – С. 253 – 288.

**ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ
СТУДЕНТОВ И ПРОВЕДЕНИЕ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА
С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПОСТРОЕНИЯ
ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ**

А.В. Семенюта
Томский Политехнический Университет,
г. Томск, avs183@tpu.ru

Одним из важнейших направлений стратегии развития любого университета является повышение качества образования. В числе прочих подходов используется интеллектуальный анализ накопленных данных и сведений. В данной работе описаны предобработка данных о характеристиках студентов Томского Политехнического Университета на весеннюю сессию 2019 года и проведение разведочного анализа. Результаты данной работы использованы для построения предсказательной модели.

One of the most important directions of the development strategy of any University is improving the quality of education. Among other approaches, it uses intelligent analysis of accumulated data. This paper describes the pre-processing of data on the characteristics of students of Tomsk Polytechnic University for the spring session of 2019 and conduction an exploratory analysis, The results of this work are used to build a predictive model.

Используемый набор данных состоит из 8551 записи студентов и 26 столбцов-характеристик обучающихся (рисунок 1).

```

RangeIndex: 8551 entries, 0 to 8550
Data columns (total 26 columns):
 #   Column          Non-Null Count Dtype  
 0   Форма обучения      8551 non-null object  
 1   Квалификация      8551 non-null object  
 2   Курс                8551 non-null int64  
 3   Специальность      8551 non-null object  
 4   Профиль            6676 non-null object  
 5   Выпуск. отдел.     8551 non-null object  
 6   Выпуск. школа      7988 non-null object  
 7   Группа              8551 non-null object  
 8   Обуч. подразд.     8551 non-null object  
 9   Фамилия             8551 non-null object  
 10  Имя                 8551 non-null object  
 11  Отчество             8551 non-null object  
 12  Форма финансирования 8551 non-null object  
 13  Страна               8533 non-null object  
 14  Гражданство         8551 non-null object  
 15  Пол                  8551 non-null object  
 16  Дата рождения       8551 non-null object  
 17  Академ отпуск (действующий) - да / нет 8551 non-null object  
 18  Всего                8551 non-null int64  
 19  Положительных       8551 non-null int64  
 20  Неудовлетворительных 8551 non-null int64  
 21  Дисциплины по которым получены неудовлетворительные оценки 6370 non-null object  
 22  Пропусков по дисциплинам по которым получены неудовлетворительные оценки 8551 non-null int64  
 23  Всего часов пропусков по дисциплинам по которым получены неудовлетворительные оценки 8539 non-null float64  
 24  Всего часов           8551 non-null int64  
 25  Всего часов аудиторных занятий в семестре    8470 non-null float64  
dtypes: float64(2), int64(5), object(18)
memory usage: 1.7+ MB

```

Рис. 1 – Список регулярных выражений для удаления факультативов

Для предобработки и анализа данных использовался скриптовый язык программирования Python и среды разработки Google Collab и Jupyter Lab.

Обработка персональных данных была проведена следующим образом. Столбцы «Фамилия», «Имя», «Отчество» были объединены в новый столбец «Полное имя», каждому студенту присвоен индекс, получившиеся данные вынесены в отдельный набор.

Также были удалены все факультативы из рассмотрения, так как они портили статистику другим студентам.

Так как в наборе данных нет переменной, значения которой характеризует успешность студента, было решено создать числовую переменную «Успешность», построенную путем деления столбца «Всего» на столбец «Положительных».

Далее все студенты были разбиты на три класса. В класс «0» записаны студенты, чья успешность ≤ 0.25 . В класс «1» – от 0.25 до 0.75, не включая граничные значения. Чья успешность ≥ 0.75 – записаны в класс «2».

Далее была рассмотрена таблица корреляции столбцов данного набора признаков (рисунок 3). Будем считать, что признаки линейно зависимы, если значение коэффициента корреляции ≥ 0.75 по модулю.

Заметим, что имеются линейные зависимости между целевыми признаками «Класс» и «Успешность», что подчеркивает построение одного признака на основе другого. Следующая зависимость – между признаками «Форма Обучения_Очная» и «Всего аудиторных занятий в семестре». Других линейных зависимостей нет.

После удаления столбцов, не представляющих интереса для дальнейшего анализа, осталось 15 признаков. Все признаки были нормализованы.

Проведем разведочный анализ итогового набора данных. На рисунке 2 представлена гистограмма распределения студентов по несданным дисциплинам. Заметно, что студентов, не имеющих долгов – большинство.

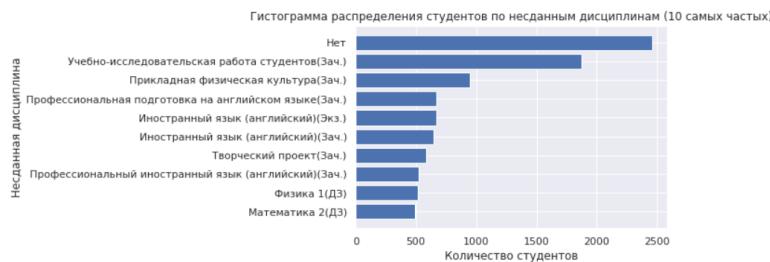


Рис. 2 – Словарь частот несданных дисциплин

Самая часто встречающаяся несданная дисциплина – «Учебно-исследовательская работа студентов». Возможно, студенты недооценивают этот предмет. Также можно допустить, что студенты несерьезно относятся к предметам «Прикладная физическая культура» и «Иностранный язык (английский)», считая, что следует уделить внимание более сложным дисциплинам.

В ходе дальнейшего исследования выяснилось, что среди студентов большинство родилось в промежуток с 1997-го по 2000-ый год. Большинство студентов обучается очно на бакалавриате. Форма финансирования – бюджетная. Большинство студентов являются мужчинами и обучаются в Инженерной школе природных ресурсов и Инженерной школе энергетики. Большинство обучающихся в указанный период в академическом отпуске не находились.

Среднее арифметическое количество несданных дисциплин находится в районе двух, а медиана равна 3.28. Среднеквадратичное отклонение равно 3.36 несданных дисциплин.

Сформулируем статистические гипотезы. На рисунке 3 представлена таблица сопряженности класса студента и его пола. Заметно, что в каждом из классов мужчин больше, чем женщин, однако во втором классе процентное отношение женщин резко возрастает. Возможно, это повлияет на прогнозирование успешности студента.

Класс	0	1	2	All
Пол				
Женский	477	416	1608	2501
Мужской	1637	1429	2984	6050
All	2114	1845	4592	8551

Рис.3 – Таблица сопряженности класса студента и его пола

Проверим, являются ли распределения успешности мужчин и женщин нормальными. На рисунке 4 приведены соответствующие Q-Q графики. По графику видно, что распределения далеки от нормальных.

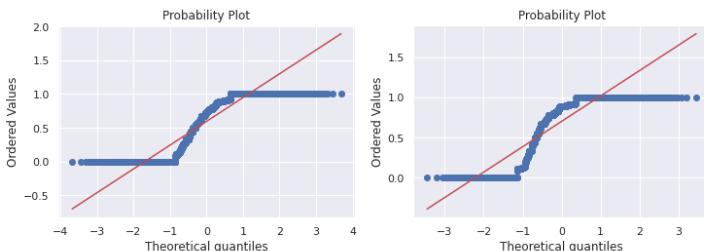


Рис. 4 – Q-Q графики распределения успешности мужчин и женщин

Для большей точности проверим нормальность критерием Шапиро-Уилка. При взятом уровне значимости $\alpha=0.05$ р-значения и в том, и другом случаях равны нулю, следовательно, отвергаем нулевые гипотезы, что распределения нормальны. Такая ситуация повторяется для любого признака. Вид распределения не определен, поэтому придется использовать непараметрические критерии. Мы сравниваем две независимые выборки, поэтому будет использовать критерий Манна-Уитни и перестановочный критерий. Сформулируем первую гипотезу: «Средняя успешность студентов-женщин значимо выше, чем успешность студентов-мужчин». Уровень значимости примем за 0.05.

Применяя аппарат формулирования и проверки статистических гипотез, получаем следующие выводы:

1. Студенты женского пола имеют меньше несданных дисциплин;
2. Студенты ИШЯТ и ИШНКБ имеют меньше несданных дисциплин по сравнению с остальными;
3. Студенты, обучающиеся по целевому приему, имеют меньше несданных дисциплин, чем остальные;
4. Студенты, обучающиеся на специалитете имеют меньше несданных дисциплин по сравнению с остальными;
5. Студенты, имеющиеся гражданство Российской Федерации, имеют меньше несданных дисциплин;

6. Студенты-четверокурсники обучаются успешнее остальных;
7. Студенты, не состоящие в академическом отпуске, обучаются успешнее.

Таким образом был предобработан набор данных о характеристиках студентов, проведен разведочный анализ, а также сформулированы и проверены статистические гипотезы. Результаты данной работы были использованы В.А. Галлингером при создании предсказательных моделей.

Литература:

1. Губин Е.И. Методика подготовки больших данных для прогнозного анализа. / «Наука и бизнес: пути развития». Выпуск № 3(105). 2020, 2020. – [С. 33-35].
2. Губин Е.И. Методология подготовки больших данных для прогнозного анализа / Современные технологии, экономика и образование: Сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 139с. – [С. 25-28].
3. Python для анализа данных. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.coursera.org/specializations/machine-learning-data-analysis>, свободный. – Загл. с экрана. (Дата обращения 23.09.2020).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.А. Серебрянников^{1,2}

¹ Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, г. Томск

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, serebriannikov.alexandr@yandex.ru

В данной статье рассматривается возможность применения методов машинного обучения при эксплуатации установок электроцентробежных насосов в добывающих скважинах на нефтегазопромыслах с целью прогнозирования аварий насосного оборудования. Использование методов машинного обучения при эксплуатации электроцентробежных насосов позволит увеличить межремонтный период работы добывающих скважин и наработку на отказ скважинного оборудования, также появится возможность предугадывать возможные аварии эксплуатируемых насосов.

This article showed the possibility of using machine learning methods in the operation of electric centrifugal pump installations in well production at oil and gas fields in order to predict emergency of pumping equipment. The use of machine learning methods in the operation of electric centrifugal pumps will increase the turnaround time of production wells and the mean time between failures of downhole equipment, and it will also be possible to predict possible accidents in the operated pumps.

Установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) на сегодняшний день являются наиболее распространенным способом добычи пластовой жидкости на поверхность при разработке нефтегазовых месторождений, так как позволяет нефтяникам добывать углеводородное сырье даже при наличии большого числа осложняющих факторов, присущих для большинства месторождений нефти и газа в России [1].

За продолжительную историю работы УЭЦН на месторождениях нефти и газа в России промысловики и сопровождающие их исследовательские центры достигли значительных результатов в мониторинге технологических процессов добычи нефти, но несмотря на это достаточно высоким остается процент аварийности скважинного оборудования, в том числе и насосов УЭЦН. Проблема предотвращения аварийности насосного оборудования связана не только с высокими затратами на их последующий ремонт, но и с потерями больших объемов добычи углеводородного сырья в период проведения ремонтных операций на добывающих скважинах. В работе [2] приводятся статистические показатели, согласно которым денежные потери в результате непредвиденной аварии УЭЦН могут превышать затраты на плановый текущий ремонт более чем в 5 раз.

При анализе работы фонда добывающих скважин, оборудованных электроцентробежными насосами, важное значение имеют такие показатели УЭЦН, как наработка на отказ ЭЦН и межремонтный период работы ЭЦН. Расчет наработки на отказ производится отношением суммы отработанного числа суток всеми установками ЭЦН к общему числу отказов данных установок за указанный период времени [3]. Межремонтный период работы является характеристикой УЭЦН, определяющейся как среднее время работы насосной установки между двумя очередными ремонтами, при которых происходят спуск/подъемные работы [4].

В данной работе предложено рассмотреть возможность повышения межремонтного периода работы и наработки на отказ погружного оборудования с помощью создания предсказательной модели для прогнозирования аварийности насосного оборудования на основе

методов машинного обучения. В нефтегазодобыче стремительно развивается интеграция технологий больших данных и машинного обучения в процессы добычи углеводородов от стадий геологоразведки до непосредственно управления технологическим процессом подъема и транспортировки нефтегазового сырья. Алгоритмы Machine Learning, используемые при эксплуатации нефтегазового оборудования, позволяют настроить автоматизированный сбор и анализ промысловых данных, что открывает большие возможности для оптимизации диагностических проверок оборудования, повышает эффективность их использования и снижает потери добычи нефти и газа за счет заглавоременного выявления технических неисправностей [5].

Известно много различных алгоритмов машинного обучения, но в своей работе мы остановились на алгоритме «случайного леса». Модель «случайного леса» (с англ. «random forest») подразумевает наличие огромного множества деревьев решений [6]. Под деревом решений понимается базовая единица рассматриваемого алгоритма, которую можно представить простым языком в виде серии вопросов об исходных данных, ответом на которые могут быть лишь «Да» или «Нет». В конечном итоге, при правильной задаче исходных данных должно получиться определенное решение задачи в виде предсказания определенной величины или класса. «Случайным» модель деревьев решений делает наличие двух ключевых концепций, одна из которых заключается в наличии случайной выборки образцов из набора исходных данных во время построения деревьев, вторая – в выборе случайных наборов параметров при разделении узлов.

Для модели «случайного леса» были составлены несколько групп признаков объекта исследования, т.е. установок ЭЦН, в каждом из которых были выделены дополнительные признаки, характеризующие каждую группу признаков. Например, возьмем первую группу признаков – технологические признаки УЭЦН – к ним отнесены эксплуатационные характеристики УЭЦН, такие как тип модификации ЭЦН, коррозионная стойкость, износостойкость, модульность исполнения, группа насоса, подача, напор, габариты и т.д. Вторая группа признаков – особенности рабочей среды – к нем отнесены рабочая температура, давление, обводненность продукции, газовый фактор и т.д. Третья группа признаков – причины отказов насосного оборудования. Обучая деревья принятия решений на каждой отдельной выборке данных, получается сделать усредненный прогноз, основанный на решениях каждого отдельного дерева. Размер каждой выборки принят как квадратный корень из общего количества параметров выборки.

На данный момент ведется сбор и обработка конечных выборок, которые в итоговом варианте будут использоваться алгоритмом для прогнозирования возможных аварий насосного оборудования. Ранжирование добывающих скважин по степени важности на основе усредненного прогноза деревьев решений позволит планировать текущий ремонт на скважинах, не допуская потерь добычи углеводородного сырья. На примере добывающей организации «Х» Томской области выполнена технико-экономическая оценка от внедрения алгоритма «случайного леса» в процесс мониторинга работы насосного оборудования, согласно которой при увеличении межремонтного периода хотя бы на 10 % по сравнению с текущим значением (~ 616 суток) при стоимости 1 тонны нефти в размере 26,2 тыс. руб. удастся избежать потерь порядка 32,3 млн. руб. с одной добывающей скважиной при условии работы ее с дебитом $Q_h = 20 \text{ т/сут.}$

Литература:

1. Гареев А. Проблемы эксплуатации ЭЦН при добыче нефти. – Изд-во: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 164 с.
2. Насыров А. М., Кузьмин Г.Г. Латыпов Р.Г., Барданова О.Н. Аварийность скважинного оборудования и методы ее снижения // Экспозиция. Нефть. Газ. - № 72, 2020. – С. 44-48.
3. Мирсаевов О. М., Повышев К. И. Наработка на отказ системы пласт-скважина-насос // Вестник Удмуртского университета. – Изд-во: Удмуртский гос. унив., г. Ижевск. – № 11, 2005. – С. 233-248.
4. Габибов И. А., Дышин О. А., Абасова С. М. Оценка межремонтного периода погружных электронасосов на основе характеристик надежности // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – Изд-во: инст. им. И.М. Губкина, г. Москва. - № 5, 2014. – С. 51-59.
5. Белозеров Б. В. Эра умной разведки // Нефть и капитал. – 2018. – С. 1-16.
6. Koehrsen W. An Implementation and Explanation of the Random Forest in Python // Towards data science. – 2018. – С. 2-20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА ССА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Б.С. Соловьев, В.С. Карманов, Е.В. Филиппова
Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, b.solovev.2013@stud.nstu.ru

В данной работе приводится исследование применения метода сингулярного спектрального анализа к прогнозированию временных рядов параметров вращения Земли с различными параметрами. Проведено сравнение влияния различных параметров метода на точность прогноза.

In this paper the application of the method of singular spectral analysis to forecasting the time series of the parameters of the Earth's rotation with various parameters is studied.

Введение

С появлением и развитием в последние десятилетия новых методов космической и физической геодезии на порядки повысились точность и скорость определения местоположения наземных объектов [1]. Современные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) предоставляют широкие возможности для синхронизации часов в разных частях земного шара, отслеживания положения и скорости движения наземного, морского, воздушного и космического транспорта, беспилотной посадки самолетов и во многих других сферах прикладной деятельности человека. Эффективность работы ГНСС определяется в том числе точностью представляемых данных о параметрах вращения Земли (ПВЗ), задающих положение Земли в пространстве на текущее время. Из полного набора ПВЗ универсальное всемирное время UT1 и координаты Северного полюса x_p и y_p , характеризующие соответственно текущие фазу суточного вращения Земли и точку пересечения ее оси вращения на земной поверхности, считаются основными.

Цель работы

Исследовать влияние параметров метода SSA (Singular spectrum analysis) на точность прогнозирования неравномерности вращения Земли. Разработать программную реализацию для исследования зависимости точности прогноза от используемых параметров.

Постановка задачи

Имеется временной ряд $F = (f_1, f_2, \dots, f_N)$ длиной N , где членом ряда является либо выбранная координата Северного полюса Земли, либо разность между универсальным и координированным временем

$dUT = UT1 - UTC$. Требуется получить M прогнозных значений ряда на заданную длину интервала.

Описание метода

Базовый метод SSA содержит несколько этапов.

Процедура разложения состоит в переводе исходного временного ряда F длиной N в последовательность векторов, на основе которых строится траекторная матрица X . Выбирается целочисленный параметр L - так называемая длина окна, $1 < L < N$. Перемещением окна по ряду строится траекторная матрица X , столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длиной L [2, 3]:

$$X = \left(x_{ij} \right)_{i=1 \dots L, j=1 \dots K} = \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \cdots & f_{K+1} \\ f_3 & f_4 & f_5 & \cdots & f_{K+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_L & f_{L+1} & f_{L+2} & \cdots & f_N \end{pmatrix}.$$

Следующий шаг - это сингулярное разложение траекторной матрицы в виде $X = U\Sigma V^T$, где $U_{L \times L}$ и $V_{K \times K}$ - матрицы соответственно правых и левых собственных векторов матрицы X ; $\Sigma_{L \times K}$ - прямоугольная диагональная матрица, по главной диагонали которой находятся сингулярные значения матрицы X . С помощью сингулярного разложения матрицы X формируются так называемые собственные тройки $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$, где λ_i - собственные числа матрицы

XX^T . Выберем число $d = \max \{i : \lambda_i > \delta\}$ - количество положительных собственных чисел, больших, чем заданное значение δ , которое является параметром метода и определяет точность модели. Тогда результирующая матрица X_{I_l} , соответствующая группе $I_l = \{i_1, \dots, i_d\}$, $l = 1, \dots, m$, определяется как $X_{I_l} = X_{i_1} + \dots + X_{i_d}$.

На последнем шаге каждая матрица сгруппированного разложения переводится в новый ряд g_1, \dots, g_N длины N с использованием диагонального усреднения по всем побочным диагоналям матриц сингулярного разложения [1].

Прогноз значений временного ряда $G_{N+M} = (g_{N+1}, \dots, g_{N+M})$ производится по рекуррентной формуле:

$$g_i = \begin{cases} \tilde{g}_i, & \text{для } i = 1, \dots, N \\ \sum_{j=1}^{L-1} a_j g_{i-L+j}, & \text{для } i = N+1, \dots, N+M, \end{cases}$$

при этом вектор коэффициентов $A = (a_1, \dots, a_{L-1})$ может быть представлен в виде:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^d \text{Last}(U_i) \cdot \text{First}(U_i)}{1 - \sum_{i=1}^d \text{Last}(U_i)^2}.$$

Здесь $\text{First}: R_L \rightarrow R_{L-1}$ - оператор проектирования, оставляющий первые $L-1$ координат исходного вектора; $\text{Last}: R_L \rightarrow R_1$ - оператор проектирования, оставляющий последнюю координату исходного вектора.

Результаты вычислений представлены на рисунке 1.

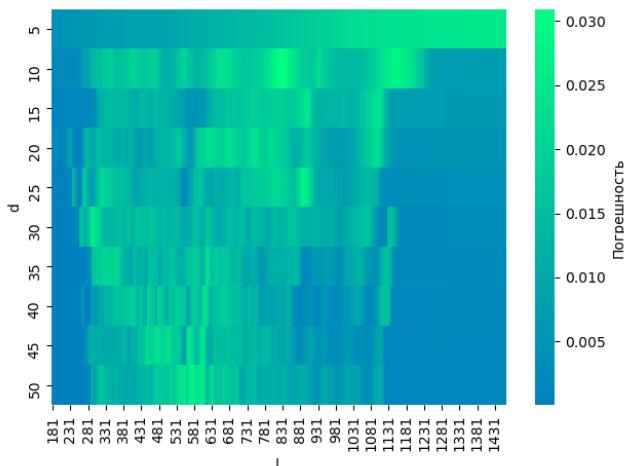


Рис. 1 - Результаты погрешности прогнозов с разными параметрами d и L , длина исходного ряда $N = 2922$

Метод применялся к временному ряду dUT с различными значениями параметров L - ширина окна и $d(\delta)$ - количество собственных значений, выбираемых для аппроксимации ряда. Точность прогноза на $M = 100$ суток вперед определялась по средней абсолютной ошибке (MAE) на последний день прогноза. Видно, что высокая точность прогнозов достигается при увеличении параметров. Для ответа на вопрос, существуют ли оптимальные значения параметров, в настоящий момент проводятся дополнительные исследования.

Заключение

Рассмотрен метод спектрального сингулярного анализа для прогнозирования параметров вращения Земли. Прогноз dUT , полученный с помощью SSA, может конкурировать по точности с прогнозами Международной службы вращения Земли. Проведено исследование зависимости точности прогноза от параметров метода, результаты могут использоваться для разработки практических рекомендаций при решении прикладных задач.

Литература

1. Гречкоев А.К., Толстиков А.С., Туссен В.М., Карманов В.С., Ваганова А.И. Модификация базового метода сингулярного спектрального анализа для повышения точности прогнозирования неравномерности вращения Земли // Вычислительные технологии. – 2020. – № 25(3). – С. 54–65.
2. Голяндина Н.Э. Метод “Гусеница” - SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. – 76 с.
3. Голяндина Н.Э. Метод “Гусеница” - SSA: прогноз временных рядов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. – 52 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫДАЧИ РЕКОМЕНДАЦИЙ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ INFOR CRM

И.М. Стубарев, О.К. Альсова, А.А. Якименко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, stubarev.2013@stud.nstu.ru, alsova@corp.nstu.ru,
yakimenko@corp.nstu.ru**

В статье приводится описание алгоритма рекомендательного сервиса на базе системы Infor CRM. Разработанный алгоритм основан на комплексном

применении методов интеллектуального анализа данных (коллаборативная фильтрация, ассоциативный анализ, методы кластеризации и классификации). К достоинствам алгоритма относятся возможность работы в условиях «холодного старта» и больших данных (решение проблемы масштабирования). Представлены результаты исследования алгоритма на синтетических данных.

The article describes the algorithm of the recommendation service based on the Infor CRM system. The developed algorithm is based on the complex application of data mining methods (collaborative filtering, affinity analysis, clustering and classification). The advantages of the algorithm include the solution to the problem of "cold start" and the ability to work with big data (solving the problem of scaling). The results of the study of the algorithm on synthetic data are presented.

Введение. Владельцы бизнеса заинтересованы в выдаче персональных рекомендаций каждому конкретному пользователю, так как такой подход может существенно увеличить прибыль компаний. Как результат, в последние годы увеличивается потребность в проведении более полного анализа информации на основе применения методов и средств Data Mining [1].

Рекомендательные системы, по большей части, основаны на модификациях алгоритма коллаборативной фильтрации, Singular Value Decomposition и прочих, с поддержкой в виде кластерного и ассоциативного анализа [2]. В наши дни рекомендательные системы уже достаточно распространены и имеют большое количество применений, но с ростом объема данных возникает потребность в более производительных алгоритмах выдачи рекомендаций.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка и исследование алгоритма рекомендательного сервиса, работающего в условиях «холодного старта» и больших данных, позволяющего повысить производительность выдачи рекомендаций, по сравнению с существующими алгоритмами.

Алгоритм рекомендательного сервиса реализован на базе системы Infor CRM компании «ФБ Консалт» [3, 4].

Описание алгоритма. Входными данными для алгоритма является множество клиентов:

$$I = \{I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N\},$$

где j - номер клиента, N - количество клиентов, I - клиент.

Каждый клиент характеризуется набором метаданных и набором купленных/оцененных продуктов:

$$I_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{hj}; Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{mj}\},$$

где x_{ij} — i-ый параметр j-го клиента, например, пол, возраст, город и т.д., $i=1,2,\dots,h$, h - количество параметров; Y_{kj} — вектор информации о k-ом купленном/оцененном продукте, $k=1,2,\dots,m$.

$$Y_{kj} = \{y_{1kj}, y_{2kj}\},$$

где y_{1kj} — идентификатор k-го продукта купленного j-ым клиентом, y_{2kj} - оценка k-го продукта купленного j-ым клиентом. Если сбор оценок не предусмотрен, все купленные продукты имеют оценку 1.

Алгоритм создания рекомендаций состоит из двух основных этапов (обучение на клиентских данных и выдача рекомендаций выбранному клиенту). Опишем подробнее основные операции, выполняемые на каждом этапе, и их последовательность.

1 этап. Обучение на клиентских данных

Клиенты разбиваются по метаданным на кластеры для формирования более точных групповых рекомендаций. Затем, формируются списки наиболее популярных продуктов для каждого кластера для решения проблемы “холодного старта”. Параллельно с этим выполняется кластеризация клиентов по списку покупок для уменьшения объема данных, на которых будут строиться рекомендации и генерируются ассоциативные правила для повышения точности. Обучение занимает довольно продолжительное время, но и производится только при существенных изменениях в клиентских данных.

2 этап. Выдача рекомендаций выбранному клиенту

Второй этап многократно использует обученную модель из первого этапа и проходит довольно быстро. Выбранный для выдачи рекомендаций клиент классифицируется по списку купленных продуктов, используя данные из классов обученной на 1 этапе модели. В рамках кластера выбираются наиболее близкие клиенты с помощью алгоритма колаборативной фильтрации.

После этого, вычисляется средневзвешенная сумма рейтингов наиболее близких клиентов по каждому продукту:

$$\text{rating}_i = k = \frac{\sum_{k=1}^N (\text{rating}_{ki})}{N}$$

, где N - количество близких клиентов, i - номер продукта, rating - оценка продукта, similarity - степень близости Танимото.

Используя список ассоциативных правил из обученной ранее модели, для тех правил, продукты из причины которых содержатся в

списке покупок клиента, рекомендуются продукты из следствия ассоциативного правила.

В том случае если никаких продуктов клиентом не было куплено изначально или никаких новых продуктов не удалось порекомендовать в результате анализа, проводится классификация клиента по его метаданным, используя данные о классах из обученной ранее модели. После классификации, клиенту рекомендуются наиболее популярные продукты среди продуктов его кластера [5, 6].

Исследование алгоритма выдачи рекомендаций. Реализованный алгоритм выдачи рекомендаций тестиировался на синтетических данных, и была подтверждена корректность его работы на всех этапах. Также было выполнено исследование производительности алгоритма в сравнении с алгоритмом коллаборативной фильтрации, результаты которого показали существенное уменьшение удельного времени выдачи рекомендации при схожих показателях точности (Рисунок 1).

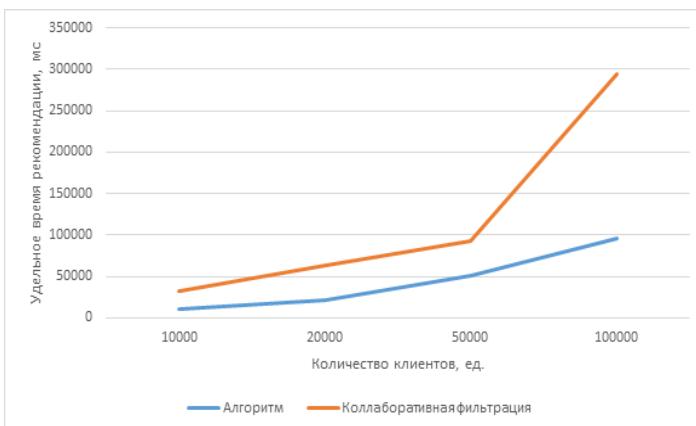


Рис. 1 – Сравнение удельного времени выдачи рекомендации между авторским алгоритмом и алгоритмом коллаборативной фильтрации

Заключение. Таким образом, в работе предложен алгоритм рекомендательного сервиса, который может эффективно работать в условиях больших данных и решающий проблему “холодного старта”. В дальнейшем планируется адаптировать этот алгоритм для выдачи рекомендаций на основе данных с неявной обратной связью и исследовать возможность увеличения его производительности с помощью порождающих состязательных нейронных сетей.

Литература:

1. Шафранский П.К. Цифровой двойник предприятия // Проблемы и перспективы развития промышленности России: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 29 марта 2018 г. / под общ. ред. А. В. Быстрова. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2018. – 592 с.
2. Сегаран. Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2008. – 368 с.
3. Стубарев И.М., Альсова О.К. Аналитический модуль CRM-системы: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662225. 2017.
4. Стубарев И.М., Альсова О.К. Рекомендательный сервис на базе CRM-системы: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617387. 2019.
5. Stubarev I. M., Belov A. I., Alsova O. K. Development of the analytical platform for CRM-system // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018) : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 4. – С. 546-551.
6. Стубарев И. М, Альсова О. К. Статистические методы анализа данных о клиентах в аналитическом модуле Infor CRM = Statistical methods for analyzing customers data in the Infor CRM analytical module // Интеллектуальный анализ сигналов, данных, знаний: методы и средства : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 14-17 ноября, 2017 г. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – С. 88-92.

АНАЛИЗ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КЛАССА YOLO ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

С.А. Ткачёв
Томский политехнический университет,
г. Томск, sat12@tpu.ru

Детектирование объектов – это задача компьютерного зрения, которая включает в себя прогнозирование присутствия одного или нескольких объектов, а также их классов и ограничивающих прямоугольников. В данной статье предлагается анализ сверточных нейронных сетей класса YOLO – это современный детектор объектов, который может выполнять обнаружение объектов в режиме реального времени с хорошей точностью.

Object detection is a computer vision task that involves predicting the presence of one or more objects, as well as their classes and bounding rectangles. This article offers an analysis of convolutional neural networks of the YOLO class – a state of art Object Detector that can perform object detection in real-time with a good accuracy.

Введение

Первые три версии YOLO были выпущены в 2016 [1], 2017 [2] и 2018 [3] годах соответственно. Однако в 2020 году, всего за несколько месяцев, были выпущены новые версии YOLO под названием YOLOv4 и YOLOv5.

Целью данной статьи является анализ новых версий YOLO, подчеркнув при этом их оригинальность, производительность и основные улучшения.

История развития YOLO

Сверточная нейронная сеть YOLO была впервые представлена в 2016 году и стала важной вехой в исследованиях детектирования объектов благодаря своей способности обнаруживать объекты в режиме реального времени с большей точностью.

Ее предложил Джозеф Редмон, выпускник Вашингтонского университета. Статья, описывающая YOLO, получила премию OpenCV People's Choice Award на конференции по компьютерному зрению и распознаванию образов (CVPR) в 2016 году [1].

Позднее им были предложены еще две версии: YOLOv2 [2] может обрабатывать изображения со скоростью 40-90 кадров в секунду, в то время как YOLOv3 [3] позволяет легко найти компромисс между скоростью и точностью, просто изменив размер модели без какой-либо переподготовки.

В таблице 1 показано сравнение ранних версий YOLO [4] на наборах данных VOC 2007+2012 и MS COCO по следующим показателям:

- средняя точность (mAP);
- кадров в секунду (FPS);
- число операций (FLOPS);
- объем весовых коэффициентов (weights).

Таблица 1 – Сравнение ранних версий YOLO

CHC	mAP, %	FPS	FLOPS	weights, Mб	Набор данных
YOLO	63.4	45	40.19	753	VOC 2007+2012
YOLOv2	76.8	67	34.9	193	
YOLOv2 544x544	78.6	40	59.96	193	
Tiny YOLO	57.1	207	6.97	60.5	
YOLOv2 608x608	48.1	40	62.94	194	MS COCO

CHC	mAP, %	FPS	FLOPS	weights, Mб	Набор данных
Tiny YOLO	23.7	244	5.41	42.9	
YOLOv3-320	51.5	45	38.97	237	
YOLOv3-416	55.3	35	65.86	237	
YOLOv3-608	57.9	20	140.69	237	
YOLOv3-tiny	33.1	220	5.56	33.8	
YOLOv3-spp	60.6	20	141.45	241	

Основная реализация YOLO основана на Darknet, который представляет собой фреймворк нейронной сети с открытым исходным кодом, написанный на языках С и CUDA. Darknet задает базовую архитектуру сети и используется в качестве фреймворка для обучения YOLO. Эта реализация введена самим Джозефом Редмоном, и она быстра, проста в установке и поддерживает вычисления CPU и GPU.

Появление новых версий YOLO

Сверточная нейронная сеть YOLO быстро стала известна среди сообщества компьютерного зрения благодаря своей высокой скорости наряду с хорошей точностью. Однако в феврале 2020 года Джозеф Редмон, создатель YOLO, объявил, что прекратил свои исследования в области компьютерного зрения.

Уход Джозефа Редмона не был концом YOLO. В апреле 2020 года Алексеем Бочковским было выпущено 4-е поколение YOLO. Новая версия была представлена в статье под названием «YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection» [5].

Реализация YOLOv4

YOLOv4 использует современный BoF (bag of freebies) и несколько BoS (bag of specials). BoF улучшает точность детектора, не увеличивая время вывода. С другой стороны, BoS увеличивает стоимость вывода на небольшую величину, однако значительно повышает точность детектирования объекта.

YOLOv4 также основана на Darknet и получила значение точности в 43,5% на наборе данных MS COCO, а также скорость в 65 FPS в реальном времени на Tesla V100, опережая самые быстрые и точные детекторы как с точки зрения скорости, так и точности [5].

По сравнению с YOLOv3, точность и скорость увеличились на 10 и 12% соответственно (рисунок 1).

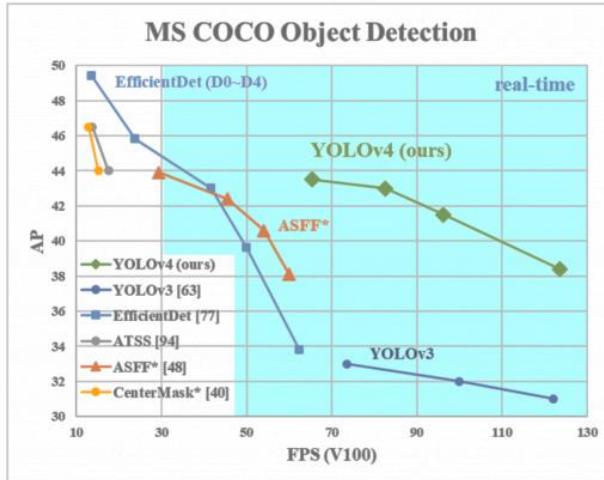


Рисунок 1 – Скорость и точность YOLOv4

Реализация YOLOv5

После выпуска YOLOv4, всего за два месяца, Гленном Джохером была выпущена еще одна версия YOLO под названием YOLOv5 [6].

Кроме того, Гленн Джохер заявил, что его реализация YOLOv5 выпущена публично и рекомендуется для использования в новых проектах. Однако при первоначальном выпуске новой версии он не опубликовал документ, сопровождающий его выпуск.

YOLOv5 отличается от всех других предыдущих выпусков, поскольку это реализация на PyTorch, а не fork от оригинального Darknet. Кроме того, Darknet проигрывает PyTorch в контексте производительности и возможностям конфигурации моделей. Имплементация модели на PyTorch позволяет пользоваться преимуществами фреймворка.

Как и YOLOv4, YOLOv5 имеет CSP backbone и PA-NET neck. Основные улучшения включают mosaic data augmentation и автоматическое обучение bounding box anchors.

С Tesla P100 YOLOv5 выдает предсказания на inference time со скоростью 7 миллисекунд за изображение. Это равноценно 140 FPS. Для сравнения YOLOv4 работает на inference time со скоростью 50 FPS [7].

Однако, YOLOv4 все равно превосходит YOLOv5 по точности на наборе данных MS COCO (рисунок 2).

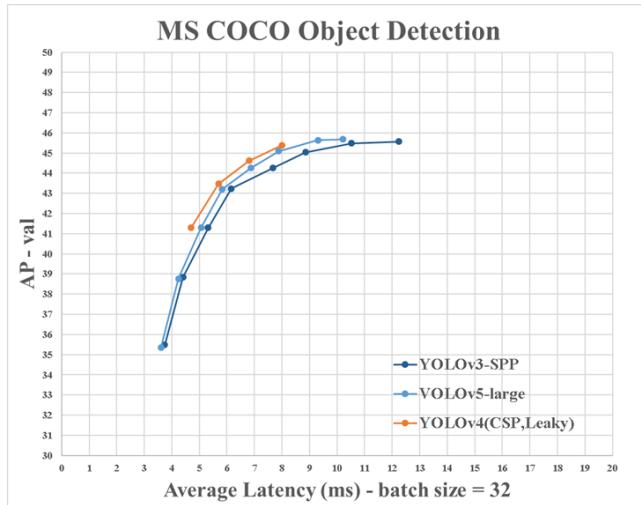


Рисунок 2 – Скорость и точность YOLOv5

Заключение

В данной статье была рассмотрена история развития YOLO и проведен анализ новых версий YOLO в 2020 году, подчеркнув при этом основные улучшения и производительность этих последних версий YOLO.

Таким образом, YOLOv4 – это новейшая Darknet-реализация этого современного детектора объектов. С другой стороны, YOLOv5 – это новая реализация на PyTorch от Ultralytics, и при тестировании с большим размером batch size она имеет более высокую inference speed, чем большинство детекторов. Однако на момент написания данной статьи не было опубликовано ни одной рецензируемой статьи для YOLOv5.

Литература

1. *Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi*. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / arXiv: journal. – 2016.
2. *Joseph Redmon, Ali Farhadi*. YOLO9000: Better, Faster, Stronger / arXiv: journal. – 2017.
3. *Joseph Redmon, Ali Farhadi*. YOLOv3: An Incremental Improvement / arXiv: journal. – 2018.
4. YOLO: Real-Time Object Detection [Электронный ресурс]. – URL: <https://pjreddie.com/darknet/yolo> (дата обращения: 11.11.2020).

5. Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / arXiv: journal. – 2020.
6. YOLOv5 in PyTorch [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5> (дата обращения: 11.11.2020).
7. YOLOv5 is Here: State-of-the-Art Object Detection at 140 FPS [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.roboflow.com/yolov5-is-here> (дата обращения: 11.11.2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

М.В. Хиунин, Н.Д. Ганелина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, xhunin.2016@stud.nstu.ru

Работа посвящена исследованию методов распознавания эмоций человека при помощи данных, получаемых от личных мобильных устройств. В работе рассматриваются существующие разработки в области распознавания эмоций при помощи искусственных нейронных сетей и описывается метод, позволяющий повысить точность распознавания.

The work is devoted to the study of techniques of recognizing human emotions using data received from personal mobile devices. The article examines the existing developments in the field of emotion recognition using artificial neural networks and describes a method that increases the recognition accuracy.

С развитием индустрии автоматизации оценки и поддержания здоровья людей возникла потребность в распознавании эмоций и психологического состояния человека. Данная разработка может пригодиться медицинским работникам для сбора и анализа статистики об изменении эмоционального состояния человека, в маркетинговых исследованиях, анимации, а также позволит создавать интерактивные сервисы в индустрии развлечений.

Для классификации эмоций зачастую используются модели, представляющие схожесть базовых эмоций в их выражении. В литературе в основном упоминаются две модели – круговая модель Дж. Рассела (Рисунок 1) и модель позитивного и негативного аффекта Д. Уотсона и А. Теллегена.

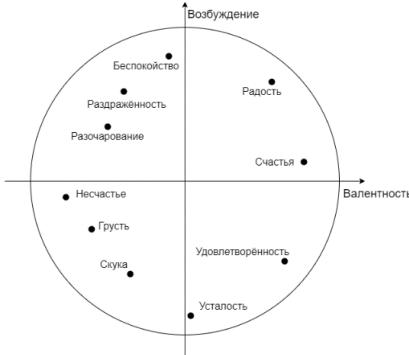


Рисунок 1 – Круговая модель пространства эмоций Дж. Рассела

В круговой модели Дж. Рассела эмоции распределены в двумерном пространстве декартовой системы координат в измерениях валентности (знаком эмоции) и возбуждения (интенсивностью эмоции). Д. Уотсон и А. Теллеген утверждают, что эти ортогональные измерения должны быть повернуты на 45 градусов, чтобы правильно отобразить сочетания крайних значений валентности и возбуждения [1]. Однако для категоризации эмоций при распознавании чаще используют модель Дж. Рассела, т.к. её двумерное семантическое пространство удобнее для интерпретации в численных значениях [2].

Человек выражает свои эмоции в основном при помощи мимики лица, речи и положения тела. Самым очевидным кажется распознавание эмоций с использованием мимики лица. Такой подход является классическим. В нём выделяются ключевые точки положения губ, бровей, разреза глаз, носа и других черт лица при помощи различных моделей, таких как Active Appearance Model (AAM), Point Distribution Model (PDM), Deformable Parts Model (DPM) [3] или при помощи сверточной нейронной сети. После этого полученные координаты нормализуются и классифицируются. Такой способ сам по себе недостаточно точен, т.к. сложно собрать данные для обучения модели классификации, ведь люди по-разному выражают свои эмоции. А модели, обученные на фотографиях профессиональных актёров, показывают низкую точность при классификации настоящих эмоций. Кроме этого, разметка данных требует больших человеческих ресурсов, ведь часто даже человеку трудно определить эмоцию, оценивая лишь область лица на фотографии. Поэтому для увеличения точности следует использовать анализ изменения ключевых точек мимики во времени.

Такие разработки тоже существуют, они используют корреляцию координат ключевых точек мимики в серии последовательных кадров.

Кроме анализа видеопотока можно использовать анализ речи человека, при том как семантический, на основе выделения ключевых слов и оценки их смысловой окраски, так и звуковую оценку речи и изменений голоса. В разработках Стэнфордского университета лучшие модели бинарной классификации эмоций на позитивные и негативные обладают точностью менее 87% на тестовых данных [4]. Однако такой подход не эффективен при классификации на большее число базовых эмоций, ведь речь человека также уникальна, как и мимика, и люди могут различно выражать эмоции в речи.

Самые точные модели распознавания используют сочетание анализа звука голоса, видео мимики и текста речи. Разработками таких моделей занимались в университете Дэлавера [5], в Калифорнийском университете и в Харбинском политехническом университете [6]. Но все эти модели при выделении 4-5 ключевых эмоций способны показывать точность классификации не более 55% на тестовых выборках, близких к данным, на которых происходило обучение.

Таким образом, для увеличения точности требуется использовать сразу несколько факторов и за нормаль принимать данные по конкретному человеку, что частично нивелирует индивидуальность выражения эмоций. Проще всего реализовать данный алгоритм при помощи мобильных устройств, таких как смартфоны. Камера смартфона достаточно часто фиксирует лицо пользователя, что позволяет отслеживать динамику изменения мимики. Аналогично, с помощью микрофона в смартфонах возможно оценить все изменения в речи конкретного человека. Кроме этого, сейчас популярны носимые устройства, которые способны измерять пульс человека, также, появляются новые разработки, например в 2015 году российская компания EPAM представила браслет, способный оценивать уровень стресса посредством измерения гальванического сопротивления кожи (GSR) [7]. Все эти технологические новинки позволяют собирать всё больше факторов для оценки эмоционального состояния человека.

При таком подходе всего используются 3 модели. Первая выделяет ключевые точки мимики и нормализует их координаты. После этого строится вектор, который классифицируется во второй модели. Третья модель используется для классификации звуковой составляющей голоса человека. Затем полученные результаты сравниваются при помощи диаграммы Дж. Рассела, а отклонение пульса от нормы определяет коэффициент, применяемый к школе возбуждения. Всего используются три фактора. Использование семантического анализа текста требует

обработку длительного промежутка, где в различное время могут преобладать разные эмоции, что усложнит распознавание. Конечная схема работы алгоритма представлена на рисунке 2.

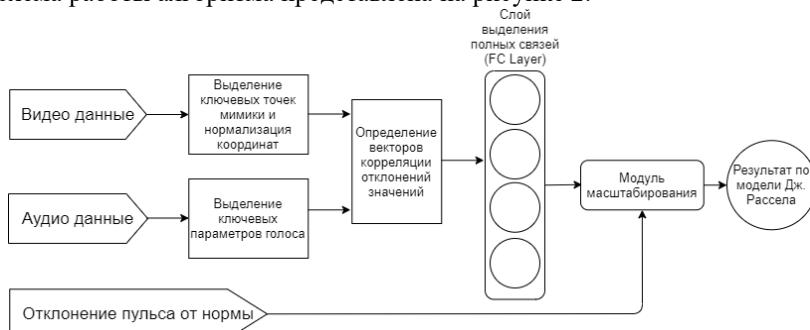


Рисунок 2 – Схема алгоритма распознавания эмоций по трём факторам

Таким образом, построенный алгоритм распознавания эмоций человека на основе анализа мимики, изменений речи и отклонений пульса поможет увеличить точность определения преобладающей эмоции в исследуемый момент времени. Также, в перспективе возможно ещё увеличить число факторов, используемых в анализе, но при этом может возникнуть проблема ограниченности вычислительных ресурсов мобильных устройств.

Литература:

1. Watson D., Tellegen A. Toward a consensual structure of mood // Psychological Bulletin. – 1985. – Vol. 98. – P. 218-239. – doi: 10.1037/0033-2909.98.2.219.
2. Georgia Panayiotou "Emotional dimensions reflected in ratings of affective scripts" Personality and Individual Differences. – 2008, june. – Vol. 44, N 8 – P. 1795-1806
3. Jayashree S. Katagihalli1, SriKrishna Shastri C., Naveen S. Pagad. Facial Landmark Detection and Localization Using Point Distribution Model // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering (IJARCSEE). – 2017, april. – Vol. 6, N 4.
4. Mordkovich A., Veit K., Zilber D. Detecting Emotion in Human Speech [Electronic resource] // Stanford University – 2011. – URL: <http://cs229.stanford.edu/proj2011/VeitZilberMordkovich-DetectingEmotionInHumanSpeech.pdf> (accessed: 20.09.2020).
5. Guo X., Polan'ay L.F., Barner K.E. Audio-video emotion recognition in the wild using deep hybrid networks. [Electronic resource] // Cornell

University, arXiv. – 2020, february – URL:
<https://arxiv.org/pdf/2002.09023v1.pdf> (accessed: 20.09.2020).

6. An End-to-End Visual-Audio Attention Network for Emotion Recognition in User-Generated Videos / Sicheng Zhao, Yunsheng Ma, Yang Gu, Jufeng Yang, Tengfei Xing, Pengfei Xu, Runbo Hu, Hua Chai, Kurt Keutzer. [Electronic resource] // Cornell University, arXiv. – 2020, february – URL: <https://arxiv.org/pdf/2003.00832v1.pdf> (accessed: 20.09.2020).

7. EPAM разработал носимый стресс-трекер. [Электронный ресурс] // EPAM Systems, Inc. – 2015. – URL: <https://www.epam-group.ru/about/newsroom/in-the-news/2015/epam-developed-the-stress-tracker> (дата обращения: 17.10.2020).

**СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,
СТАТИСТИКА И ЭКОНОМЕТРИКА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КЛАСТЕРИЗАЦИИ
БИНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

А.Ю. Тимофеева, М.Е. Рыбачек

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, rybachek.mascha@yandex.ru

В настоящее время очень актуальна задача распределения различной информации на группы однородных данных. Очень большая часть анализа данных связана с анализом бинарных временных рядов. Целью исследования является оценка качества кластеризации бинарных временных рядов при различных подходах. В ходе работы были задействованы два алгоритма генерации данных. Приведены результаты оценки различных способов кластеризации. Такой подход можно применять к реальным данным, например, для оценки корреляции данных.

Currently, the task of distributing various information into groups of homogeneous data is very relevant. A very large part of data analysis is related to binary time series analysis. The aim of the study is to evaluate the quality of binary time series clustering using various approaches. In the course of the work, two algorithms for generating data were used. The results of evaluating various clustering methods are presented. This approach can be applied to real data, for example, to evaluate data correlation.

На практике при анализе временных рядов часто возникают задачи разбиения данных на однородные группы с учетом особенностей их динамики. Особенno сложно кластеризовать бинарные ряды. Выбор метода кластеризации при этом может существенно сказать на результатах.

Для проверки достоверности различных методов кластеризации необходимо сгенерировать бинарные временные ряды с заранее известным истинным распределением по кластерам. Такая генерация была проведена двумя способами.

При первом способе генерации бинарных временных рядов была использована модель с обратной связью [1].

Для генерации ряда использовалось соотношение:

$$\lambda_t = d + a_1 \lambda_{t-1} + b_1 Y_{t-1}, \quad (1)$$

где задавались параметры d , a_1 , b_1 , значение $p_0 = 0.5$. Далее для каждой точки считался параметр λ , а также вероятность p_t , выведенная из формулы:

$$\lambda_t = \log \frac{p_t}{1 - p_t} \quad (2)$$

Значение ряда в каждой точке было сгенерировано с помощью распределения Бернулли с ранее рассчитанной вероятностью. Начальная гипотеза гласила, что при одинаковых значениях параметров d , a_1 , b_1 , сгенерированные ряды будут похожи друг на друга и, соответственно, должны принадлежать одному кластеру. Однако дальнейший анализ полученных рядов показал, что между рядами с одинаковыми значениями параметров d , a_1 , b_1 практически нет корреляции, так же, как и у рядов с различными значениями параметрами d , a_1 , b_1 .

При втором способе генерации рядов использовался иной подход. Для каждого кластера по соотношениям (1) - (2) был сгенерирован так называемый "эталонный ряд". Остальные ряды кластера были получены "зашумлением" эталонного ряда. Для каждой точки ряда с распределением Бернулли с вероятностью $p_0 = 0.5$ было сгенерировано значение некоторой переменной U . При $U = 0$ в качестве точки нового ряда бралось соответствующее значение из эталонного ряда. При $U = 1$ значение нового ряда было сгенерировано случайно с распределением Бернулли с такой же вероятностью, как у эталонного ряда.

Таким способом генерации было получено $n = 100$ рядов для каждого кластера, были сделаны выводы о том, что данный способ реализует хорошее истинное распределение по кластерам, то есть сгенерированные ряды однозначно попадают в один кластер.

Кластеризация может быть реализована различными способами. Первым этапом кластеризации является построение матрицы расстояний, для этого рассмотрим 4 подхода:

- * коэффициент phi;
- * соотношение вероятностей (odds ratio);
- * коэффициент корреляции Пирсона;
- * коэффициент корреляции Спирмена.

Каждое значение из матрицы расстояний было переведено в диапазон $[0...+\infty]$, где 0 — максимально похожие ряды, то есть максимальная корреляция, а $+\infty$ — различные ряды, то есть корреляции нет.

Второй этап — это непосредственно иерархический кластерный анализ исходя из значений в матрице расстояний, для этого использованы 3 метода кластерного анализа:

- * average;
- * single;
- * complete.

Таким образом было получено общее число вариантов кластеризации исходных рядов, равное $3 \cdot 4 = 12$.

Проведена оценка результатов кластеризации.

Мера оценки качества кластеризации была рассчитана следующим образом: для каждого кластера, полученного из результатов кластеризации, берётся набор номеров истинных кластеров, выбирается наиболее часто встречающийся номер истинного кластера и считается его доля во всём наборе номеров. Из полученных значений для каждого кластера выбирается наихудший (наименьший) результат.

Примеры:

«Хорошая» кластеризация:

1 кластер: 1111211113 -> $8/10 = 0,8$

2 кластер: 33323313 -> $6/8 = 0,75$

3 кластер: 222232 -> $5/6 = 0,8(3)$

Качество кластеризации = 0,75

«Плохая» кластеризация:

1 кластер: 1223322131 -> $4/10 = 0,4$

2 кластер: 3221 -> $2/4 = 0,5$

3 кластер: 332212232112113 -> $5/15 = 0,(3)$

Качество кластеризации: 0,33

Таким образом, в идеальном случае получаем значение показателя качества, равное 1. В наихудшем случае получаем $1/N$, где N - количество истинных кластеров.

В таблице приведены реальные данные оценки кластеризации, полученные в ходе работы.

Таблица 1 — Оценка кластеризации

Метод кластеризации	Коэффициент			
	Пирсона	Фи	Спирмена	Соотношение вероятностей
average	0,5	1,0	0,77	1,0
complete	0,47	0,46	0,34	0,37
single	1,0	1,0	1,0	1,0

Таким образом по оценке данных можно сделать вывод, что такой подход к кластеризации данных эффективен и может применяться к анализу реальных данных, например, к анализу данных об авариях.

Литература:

1. Moysiadis T., Fokianos K.. On binary and categorical time series models with feedback // Journal of Multivariate Analysis. — 2014. — N. 131. P. 209 – 228 с.

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ВХОДНЫХ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ

З.Б. Цыденов, М.Ш. Муртазина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, cydenov.2016@stud.nstu.ru**

В докладе рассматриваются вопросы автоматизации процесса тестирования. Предлагается подход к автоматизации процесса генерации входных тестовых данных.

The report discusses the issues of automation of the testing process. An approach to automating the process of generating input test data is proposed.

Тестирование программного обеспечения является ресурсоемкая деятельность, которая требует экспертных знаний высокого уровня. Благодаря тестированию качество программного обеспечения может быть улучшено путём обнаружения ошибок и неисправностей. Автоматизация тестирования является одним из основных предлагаемых решений, направленных на оптимизацию данного процесса. Автоматизация определенных задач, выполняемых вручную, может позволить сократить временные и материальные затраты. А разработка методов, основанные на представлении знаний и рассуждениях, может облегчить проблему формирования тестовых наборов данных. На сегодняшний день выделяется несколько перспективных направлений автоматизации тестирования. Среди них: автоматизация процесса генерации входных тестовых данных с использованием генетических алгоритмов [1] и автоматизация процесса тестирования с использованием онтологий и правил вывода [2]. Первое направление сосредоточено на разработке методов, которые позволяют обеспечить нахождение наиболее сложных частей программного кода и обеспечения достаточного тестового покрытия, чтобы снизить риски, связанные с ошибками в программном коде. Второе направление предполагает автоматизацию генерирования тест-кейсов на основе знаний, извлекаемых из онтологии требований к программному продукту, что позволяет сократить риски отсутствия тестов для отдельных требований к программному продукту.

В рамках данной работы предлагается подход к автоматизации процесса тестирования с помощью автоматической генерации тестовых данных с помощью генетического алгоритма.

Генетический алгоритм работает с популяцией особей, в каждой из которых закодировано возможное решение. В начале работы алгоритма, генерируется начальная популяция, которая содержит в себе случайные значения. Этапы работы алгоритма:

1. Получение начальных параметров алгоритма;
2. Генерация начальной популяции случайными значениями;
3. Для каждой особи в популяции:
 - 3.1. Тестирование программы особями и получение выходной информации;
 - 3.2. Сравнение рассчитываемого пути с остальными путями на отличие;
 - 3.3. Расчёт значения функции приспособленности;
4. Если ограничения алгоритма не были достигнуты, то переход к шагу 5, иначе к шагу 8;
5. Формирование новой популяции из особей, прошедших отбор, и их потомков, полученных с помощью скрещивания.
6. Мутация некоторых из сгенерированных особей;
7. Переход к шагу 3;
8. Конец эволюции и вывод результатов.

Чтобы оценить качество сгенерированных особей используется функция приспособленности [3], которая рассчитывается из двух слагаемых: первое слагаемое определяет длину пути, выполняемого особью, а второе слагаемое определяет удалённость этого пути от путей, выполняемых другими особями в популяции. Чем более удалены друг от друга пути, выполняемые особями популяции, тем больше покрытие кода мы получим в итоге.

Пусть программа T состоит n операций, тогда зададим множество всех операций программы как:

$$B_s = \langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle, \quad (1)$$

где b_i – это операция программы T . Путь P_i состоит из нескольких из этих операций. Количество всех операций в программе обозначается как n .

Функция приспособленности высчитывается на основе покрытия путей и операций программы. При тестировании программы выполненные операции отмечаются единицами, а невыполненные – нулями. Популяция N_w определяется как:

$$N_w = \langle x_1, x_2, \dots, x_m \rangle, \quad (2)$$

где x_i – это особь из популяции, а m – размер популяции.

Путь выполнения операций программы для особи x_i определяется как $P_e(x_i)$ из C_s (C_s – множество всех возможных путей) и состоит из единиц и нулей. $L(x_i)$ – количество пройденных веток в пути. Для подсчёта коэффициента схожести двух путей, пути сравниваются побитово по формуле:

$$V_k(x_i, j) = (P_e(x_i))_k \oplus (P_j)_k, \quad (3)$$

где k – номер бита.

Количество одинаковых битов является значением сходства между двумя путями и вычисляется как:

$$f_{\text{sim}}(P_e(x_i), P_j) = \sum_{k=1}^n V_k(x_i, j), \quad (4)$$

Значение сходства пути особи x_i и набором путей поколения вычисляется как:

$$f_{\text{sim}}(P_e(x_i), C_s(w)) = \sum_{j=0}^{m-1} f_{\text{sim}}(P_e(x_i), P_j) / (m-1), \quad (5)$$

А среднее значение сходства путей в поколении вычисляется как:

$$f_{\text{avg sim}} = \sum_{i=0}^{m-1} f_{\text{sim}}(P_e(x_i), C_s) / (m-1), \quad (6)$$

Коэффициент покрытия операций особью x_i равен количеству выполненных операций, делённому на общее количество операций:

$$f_b(x_i) = B(x_i) / B(T), \quad (7)$$

Таким образом, функция приспособленности особи в поколении будет вычисляться по формуле (8).

$$f_{ft}(x_i, C_s(w)) = f_b(x_i) + [f_{\text{avg sim}} - f_{\text{sim}}(P_e(x_i), C_s(w))]^2, \quad (8)$$

где первое слагаемое – это коэффициент, определяемый сложностью (длиной) пути, а второе – отдалённость пути от остальных путей в поколении.

Также, чтобы не терять найденные особи, предлагается модифицировать алгоритм несколькими способами:

1) *Маркирование элитных особей*. Если особь i , путь, по которому проходит подобранные данные, являются уникальными, то есть отличающихся от остальных, среди других сгенерированных особей начиная от первой до рассматриваемой, то эта особь отмечается как «элитная». Это свойство позволяет сохранить уникальные особи для

того, чтобы избежать их исчезновения при умении значения функции приспособленности.

2)Изменение функции приспособленности. Чтобы избежать заполнения поколения одними и теми же особями, и их потомками, была разработана динамическая версия функции приспособленности, где второе слагаемое делится на число совпадающих с проверяемой особью путей на данный момент.

Для этого можно воспользоваться следующей формулой:

$$f_{fit}(x_i, C_s(w)) = f_b(x_i) + \frac{k * |f_{avg\ sim} - f_{sim}(P_e(x_i), C_s(w))|}{m}, \quad (9)$$

где m – количество одинаковых с $P_e(x_i)$ путей, полученных из особей с 1 по i.

Для реализации генетического алгоритма использован язык Java. Программа обрабатывает код, написанный на языке Java. Для обработки тестируемого кода использовалась Reflection API.

В будущем предполагается разработка программного комплекса для автоматизации тестирования программных продуктов, который будет сочетать в себе инструмент для автоматизации тестирования программного кода на основе генетического алгоритма, представленный в настоящей работе, и инструментарий для генерации тест-кейсов на основе извлечения информации из онтологии требований к программному продукту

Литература:

1. Сердюков К. Е., Авдеенко Т. В. Исследование способов оценки сложности программного кода при генерации входных тестовых данных // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020). В 4 т. Т. 4 : Науки о данных : сб. тр. 6 междунар. конф. и молодеж. шк., Самара, 26–29 мая 2020 г. – Самара : Изд-во Самар. нац. исслед. ун-та, 2020. – С. 662–671.
2. Tarasov V., Tan H., Adlemo A. Automation of software testing process using ontologies // Proceedings of the 11th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management - Volume 2: KEOD / [ed] J. Dietz, D. Aveiro & J. Filipe, SciTePress, 2019, p. 57-66
3. Mustafa W. Optimization of production systems using genetic algorithms. // International Journal of Computational Intelligence and Applications. – 2003. – № 3. – P.233-248.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АДАПТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНДЕКСА ОБЪЁМА ОПТОВОЙ И РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ ФРГ

А. И. Брендель, В.С. Тимофеев
SIG Sales GmbH, г. Берлин, alex.ander.brendel@web.de

В работе рассмотрено применение шести известных адаптивных моделей прогнозирования к анализу индекса оптовой и розничной торговли ФРГ. Изучены методы сочетания прогнозов нескольких моделей, а также предложены способы комбинации этих методов. Приведены несколько различных критериев оценки качества полученных моделей, которые применены для выбора трех наилучших моделей.

The paper considers the application of six well-known adaptive forecasting models to the analysis of the index of turnover and volume of sales in wholesale and retail trade in Germany. Methods for combining forecasts of several models are studied, and methods for combining these methods are proposed. Several different criteria for assessing the quality of the obtained models are given, which are used to select the three best models.

Существует множество моделей и методов адаптивного прогнозирования временных рядов [2]. К ним, например, относится класс интегрированных моделей авторегрессии – скользящего среднего, которые обладают хорошими прогностическими свойствами стационарных временных рядов, но которым в то же время присуща высокая вычислительная сложность.

Наряду с этим, существует более простые модели, основанные на экспоненциальном сглаживании, которые привлекают именно простотой вычисления, что делает их очень удобными для быстрого построения прогнозов. Существует не так много работ, описывающих практическое применение данных моделей для анализа реальных экономических временных рядов. В связи с этим была исследована возможность использования набора простых адаптивных моделей для прогнозирования индекса розничной торговли ФРГ.

Все расчеты выполнены в табличном редакторе MS Excel [1].

Использованы данные с января 2015 по апрель 2020 гг. Данные разбиты на три интервала:

- январь 2015 – декабрь 2016 гг.: для получения начальных оценок моделей;
- январь 2017 – декабрь 2018 гг.: для оптимизации параметров сглаживания;
- январь 2019 – апрель 2020 гг.: для ex-post прогнозирования [4].

Исследованы следующие модели [2] (9-я и 10-я предложены автором):

- 1) простое экспоненциально-взвешенное скользящее среднее,
- 2) модель линейного роста Хольта,
- 3) модель линейного роста Брауна,
- 4) модель линейного роста и мультиплекативной сезонности Хольта-Уинтерса,
- 5) модель линейного роста и аддитивной сезонности Тейла-Вейджа,
- 6) модель с адаптивным параметром адаптации Тригга-Лича (в англоязычных источниках используется название ARRES – Adaptive Response Rate Exponential Smoothing),
- 7) адаптивная модель селекции,
- 8) адаптивная гибридная модель
- 9) селективно-гибридная модель (сначала отбираются наиболее часто используемые модели, затем строится гибридная модель),
- 10) гибридно-селективная модель (гибридная модель включается в селективный набор).

Стоит отметить, что существует проблема выбора критерия оценки качества построенной модели. Существует разные показатели, используемые для этой цели. Например, в [3] описаны 32 возможных способа оценки качества прогнозирования, а в [5] не менее 20, которые лишь отчасти повторяют перечисленные в вышеупомянутой работе, а также предложены новые. В данном конкретном примере, выбор какого-то одного коэффициента мог повлиять на расстановку «на пьедестале», поэтому в качестве итогового критерия была взята сумма рангов модели по нескольким критериям. Т.е. все модели были проранжированы по каждому показателю от наилучшей (ранг 10) к наихудшему (ранг 1), а далее ранги просуммированы и суммы проранжированы снова. Такой подход можно сравнить с системой призовых очков в автогонках. Использованы следующие показатели: квадратный корень из среднеквадратической ошибки (Root of Mean Square Error, RMSE), средняя относительная ошибка (Mean Percentage Error, MPE), средняя абсолютная относительная ошибка (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), взвешенная средняя абсолютная относительная ошибка (MAD/Mean Ration, WAPE), коэффициент детерминации R^2 , относительный RMSE (Relative Root Mean Squared Error, RelRMSE; базовая модель – наивная сезонная). Значения этих показателей для исследованных моделей рассчитанные по итогу ex-post прогнозирования приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Значения критериев оценки для построенных моделей на отрезке ex-post прогнозирования

Model	RMSE	MPE, %	ABS (MPE), %	MAPE, %	MAD/Mean, %	R^2	RelRMS E
EMA	7,69	0,98	0,98	5,67	5,69	0,057	1,14
Holt	7,59	-1,72	1,72	5,36	5,27	0,080	1,12
Brown	7,66	-1,84	1,84	5,56	5,47	0,065	1,13
Holt-Winters	4,12	0,43	0,43	2,74	2,75	0,730	0,61
Theil-Wage	4,03	0,50	0,50	2,81	2,82	0,741	0,60
ARRES	7,18	-0,52	0,52	5,03	4,99	0,178	1,06
Селекция	5,13	0,89	0,89	3,24	3,34	0,58	0,76
Гибрид	4,68	0,32	0,32	3,18	3,18	0,651	0,69
Селекция-гибрид	4,60	0,25	0,25	3,08	3,07	0,663	0,68
Гибрид-селекция	4,96	1,15	1,15	2,98	3,06	0,608	0,73

По итогу наилучшими моделями оказались сезонные модели Хольта-Уинтерса и Тейла-Вейджа, а также селективно-гибридная модель (см. Таблицу 2)

Таблица 2 – Значения рангов моделей по данным из Таблицы 1

	RMSE	ABS(MPE)	MAPE	WAPE	R'2	RelRMSE	Сумма	Итог
EMA	1	4	1	1	1	1	9	10
Holt	3	2	3	3	3	3	17	8
Brown	2	1	2	2	2	2	11	9
Holt-Winters	9	8	10	10	9	9	55	1
Theil-Wage	10	7	9	9	10	10	55	1
ARRES	4	6	4	4	4	4	26	7
Селекция	5	5	5	5	5	5	30	6
Гибрид	7	9	6	6	7	7	42	4
Селекция-гибрид	8	10	7	7	8	8	48	3
Гибрид-селекция	6	3	8	8	6	6	37	5

Литература:

1. Атчаде М.Н. Адаптивные методы прогнозирования: реализация в Excel и программе R : учебное пособие / под ред. чл.-кор. РАН, д-ра экон. наук, проф. И.И. Елисеевой. – СПб. : СПбГЭУ, 2018. – 101 с.

2. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. - 416 с: ил.

3. A Survey of Forecast Error Measures / Shcherbakov M.V., Brebels A., Shcherbakova L.V., Tyukov A.P., Janovsky T.A., Kamaev V.A. // World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society). – 2013. – Vol.24. – P. 171-176. - DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.itmies.80032

4. Ex-Post Forecast [Electronic resource] // SAP Library – Univariate Forecasting. URL: https://help.sap.com/doc/saphelp_scm50/5.0/en-US/ac/216b77337b11d398290000e8a49608/content.htm (accessed 10.11.2020)

5. Mean-Based Error Measures for Intermittent Demand Forecasting / Prestwich S. D., Rossi R., Tarim S. A., Hnich B. // International Journal of Production Research, Taylor & Francis. – 2014. – Vol. 52(22). - P.6782-6791. – DOI: 10.1080/00207543.2014.917771

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И МЕНЕДЖМЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА

Н.В. Пустовалова, Т.В. Авдеенко

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, NVPustovalova@gmail.com**

В данной работе рассмотрена возможность совершенствования образовательного контента за счет использования онтологий в архитектуре образовательных организаций. Предложена модель образовательной экосистемы, учитывающей разные аспекты образовательного процесса (педагогический, административный, архитектурный), а также разные типы акторов, взаимодействующих в рамках образовательного процесса с образовательными ресурсами.

This paper discusses the possibility of improving educational content through the use of ontologies. A model of the educational ecosystem is proposed, taking into account different aspects of the educational process (pedagogical, administrative, architectural), as well as various types of actors involved in the educational process with educational resources.

В 2020 году университеты были вынуждены перейти на дистанционный формат работы. Благодаря этому стали очевидны основные проблемы, связанные с организацией информационно-образовательной среды вузов: отсутствие автоматизации и недостаточный функционал существующих сервисов; низкая степень

интеграции между различными сервисами и подсистемами; недостаточное наполнение и качество электронных образовательных ресурсов для использования в дистанционном формате.

В качестве средства, позволяющего совершенствовать образовательную среду университета, ряд исследователей предлагает использовать онтологию [1, 2]. Онтология – формализованное представление предметной области [3] – может быть многократно использована для разработки e-learning приложений, предназначенных для создания образовательного контента, его последующего использования и оценки. Так, например, онтологии широко используются для описания образовательных объектов (элементов учебных курсов), что позволяет расширить сферу применения существующих спецификаций описания образовательного контента (например, IEEE Learning Object Metadata (LOM)). В нем определено 76 различных элементов, для описания объектов образовательного контента с педагогической, технической и административной точек зрения. Однако данный стандарт оказался неэффективным при создании динамического программного и учебно-методического обеспечения [1].

Сегодня необходимо сократить время на разработку и модернизацию образовательных ресурсов, а также предоставить авторам и разработчикам эффективные средства создания и менеджмента образовательного контента, в том числе, поддерживающие автоматизированную генерацию контента в зависимости от индивидуальных целей и особенностей обучаемых.

Для формализации онтологии, описывающей предметную область разработки образовательного контента, предлагается использовать следующую модель образовательной экосистемы (рис.1). Где под образовательной экосистемой понимается совокупность взаимосвязанных организаций, взаимодействующих на единой платформе, объединяющих внешних и внутренних акторов образовательного процесса [4,5].

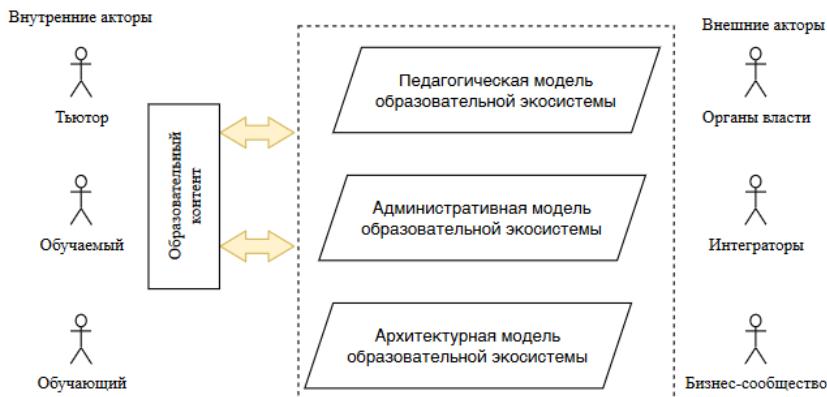


Рис. 1— Модель образовательной экосистемы

Реализация модели в среде Protégé 5.5 предполагает использование двух онтологий. Первая – онтология образовательного контента, благодаря ей можно выполнить проверку соответствия видов образовательного контента потребностям разных акторов, а также выбрать формы реализации образовательного контента, соответствующие различным элементам образовательной стратегии. Вторая – онтология образовательной экосистемы, позволяющая связать архитектурные решения и механизмы работы модели с отдельными элементами образовательного контента, и формализовать требования к ним.

При формировании онтологии авторы опирались на публикации других исследователей [6, 7], а также формировали запросы на языке SPARQL на Wikidata Query Service.

Литература:

1. Brooks, C., McCalla, G., Winter, M. Flexible learning object metadata. // 3rd International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning, Held in conjunction with the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education. Amsterdam, The Netherlands, 2005. – pp. 1-8.
2. Dicheva, D., Sosnovsky, S., Gavrilova, T., & Brusilovsky, P. Ontological Web portal for educational ontologies. // 3rd International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning, Held in conjunction with the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education. Amsterdam, The Netherlands, 2005. – pp. 19-28.

3. Гаврилова, Т. А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы [Электронный ресурс]: Учеб. пособие. 2-е изд. // Высшая школа менеджмента СПбГУ: Санкт-Петербург: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. дом С.-Петербург. гос. ун-та, 2008. 488 с. - ISBN 978-5-9924-0017-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/504514> (дата обращения: 05.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

4. Драгунова Е.В., Пустовалова Н.В., Драгунова Л.С. Совершенствование архитектуры образовательной среды с учетом особенностей подготовки инженерных кадров // Перспективы науки. – 2019. - № 8. – С. 1 -10.

5. Dragunova E.V. Pustovalova N.V., Valdman I.A. Innovative technologies in designing new learning ecosystems // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018) : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 6 – С. 358–364. - 45 copy - ISBN (NSTU) 978-5-7782-3614-1. - DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545087.

6. Kollia I.; Glimm B.; Horrocks I. Sparqlquery answering over owl ontologies. // Proceedings of the 24th International Workshop on Description Logics, volume6643 of Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin/ Heidelberg. 382–396.

7. Makris K., Gioldasis N., Bikakis N., Christodoulakis S. Ontology Mapping and SPARQL Rewriting for Querying Federated RDF Data Sources. // OTM Confederated International Conferences. 2010. - pp. 1108–1117.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С ОГРАНИЧЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ И ВРЕМЕННЫМИ ОКНАМИ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ

М.М. Заводченко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, misha_zavodchenko@mail.ru

В данной работе описывается применение алгоритма муравьиных колоний для решения задачи маршрутизации транспорта с дополнительными ограничениями, такими как временные окна и ограниченная грузоподъемность транспортных средств.

This paper describes the application of the ant colony algorithm to solve the transport routing problem with additional restrictions, such as time windows and limited vehicle carrying capacity.

Задача маршрутизации транспорта, в зарубежной литературе, известная как Vehicle Routing Problems или VRP — это класс задач комбинаторной оптимизации по нахождению маршрута или набора оптимальных маршрутов для парка транспортных средств, расположенных в одном или нескольких депо, на заданном множестве географически рассредоточенных точек — потребителей. Интерес к данной задаче вызван ее практической значимостью при значительной сложности [5].

Сложность задачи заключается в том, что она относится к категории NP-трудных задач комбинаторной оптимизации, время решения которых растет экспоненциально от размера входных данных. При добавлении различных условий и ограничений в постановку задачи возрастает и ее сложность.

В данной работе рассматривается вариант с двумя ограничениями: временные окна и ограниченная грузоподъемность транспортного средства. Задача в данной постановке чаще всего встречается на практике, поэтому она является актуальной и ее решение представляет наибольший интерес.

Для решения этой проблемы предложено множество различных методов, но все они требуют значительного времени решения при большом объеме исходных данных, поэтому поиски новых алгоритмов или модификации известных актуальны до сих пор. Перспективными в данный момент считаются метаэвристики, основанные на различных природных явлениях и системах, которые могут самоорганизовываться. Цель таких эвристик — смоделировать простое поведение агентов так, чтобы получить сложное поведение совокупности агентов как единой системы для решения сложных проблем, например, оптимизации [3]. В данной работе мы рассматриваем один из таких методов, а именно алгоритм муравьиных колоний.

Муравьиные колонии — природное явление, послужившее источником идеи для решения задач комбинаторной оптимизации [3,4]. Идея родилась в ходе наблюдения за муравьями, ищущими пищу. В своём поиске муравьи отмечают пройденный путь, выбрасывая специальные ароматические эссенции, называемые феромонами. Оставленные следы дают информацию остальным муравьям. За счет этого, муравьи всё чаще проходят пути, ведущие к источнику пищи, близкому к гнезду колонии. Описанный механизм является эффективной процедурой поиска пути.

Опишем используемый нами вариант алгоритма.

1. Задаются начальные значения феромонов;

2. Происходит инициализация муравьев. В случае, когда нет ни одного маршрута или невозможно продолжить ни один из существующих муравьи помещаются в депо;

3. Для каждого муравья запускается повторяющийся (итеративный) процесс. Из всех возможных вариантов пути для текущего муравья, вычисляется показатель пути следования:

$$P = \frac{t^a * n^b}{\sum_{l=1}^m t_l^a * n_l^b},$$

где:

t – концентрация феромона,

n – расстояние или время проезда между точками.

При этом для каждого пути следования будет вычислен набор вероятностей;

4. Случайным образом выбирается один вариант пути следования и если точка удовлетворяет всем условиям, таким как попадание во временное окно, то она помещается в “память” муравья, как посещенная вершина, так же в память помещается пройденное расстояние;

5. Для каждого муравья, после завершения итерации, пересчитывается количество феромона для каждого участка пройденного им пути, по формуле:

$$t(i+1) = (1 - p) * t(i) + Q/L,$$

где

p – скорость испарения,

Q – концентрация нанесения феромонов,

L – длина пути или затраченное время.

Осуществляется переход к шагу 3 до окончания итераций;

6. Происходит поиск в сохранных значениях минимального расстояния и порядок следования;

7. В список маршрутов добавляется найденный маршрут, и все входящие в него точки далее не рассматриваются. Если остались еще не распределенные точки переходим к шагу 2.

Данная реализация алгоритма была протестирована на предложенных наборах [6,7].

Каждый набор включает в себя:

- географические данные;
- количество клиентов, обслуживаемых транспортным средством;
- вместимость транспортного средства;
- характеристики временного окна;

- вес заказа;
- информацию о депо.

Под времененным окном понимается промежуток времени, в который необходимо прибыть к клиенту.

Некоторые примеры результатов вычислительного эксперимента приведена в таблице 1.

Таблица 1. - Сравнение результатов полученных при решении тестовых наборов данных с лучшим известным решением

Набор данных	Алгоритм муравьиных колоний		Лучшее известное решение	
	К-во маршрутов	Общее расстояние	К-во маршрутов	Общее расстояние
C101	10	852.95	10	828.94
C105	10	852.95	10	828.94
C106	11	1003.23	10	828.94
C108	11	1128.03	10	828.94
C109	10	854.99	10	828.94

Из приведенных результатов можно увидеть, что данная реализация алгоритма находит достаточно близкие решения.

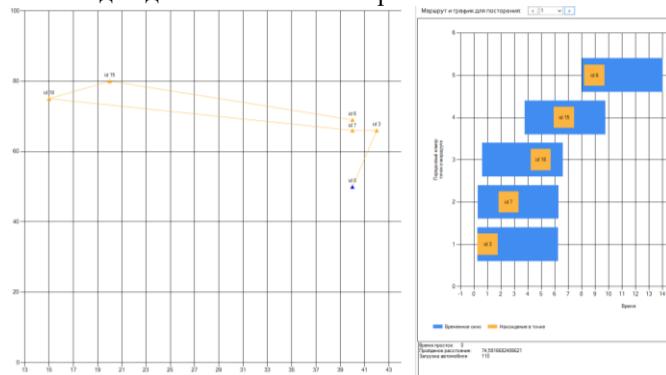


Рисунок 1. - Полученный маршрут для тестовых данных

Заключение

На основе проведенных исследований можно сказать, что данный метод решения задачи маршрутизации транспорта дает достаточно хорошие результаты на задачах разного размера. На тестовых данных полученные решения близки к эталонным.

Литература

1. Долгова О. Э. Муравьиные алгоритмы для решения задач маршрутизации транспорта: автореф. дис.: 05.13.18 / Долгова О. Э. науч. рук. Смагин. С. И.; Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения — Комсомольск-на-Амуре, 2018 — 16 с.
2. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: Учебное пособие / А. П. Карпенко; — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 446 с.: ил.
3. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / Пожидаев М. С.; науч. рук. Костюк Ю. Л.; Томский. гос. ун-т. Томск, 2010. — 136 с.
4. Трофимов Д., Федуков А. Задача маршрутизации транспорта [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/55059/ — Загл. с экрана.
5. Solomon M. M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints // Operations Research — 1987 — T.35(2) — С.254-265
6. VRP-REP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vrprep.org/variants/item/vrptw.html> — Загл. с экрана.

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ПОВЕДЕНИЯ В СФЕРЕ КУЛЬТУРЫ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

М. Л. Каллаур, Н. В. Федорова

**Сибирский государственный университет науки и технологии
им. ак. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, nvfed@mail.ru**

В статье рассматривается процесс влияния ограничений в период самоизоляции в сфере культуры и искусства на потребителей и их поведение, приводится статистика пользования онлайн-сервисами культурных организаций.

The article examines the impact of restrictions during the period of self-isolation in the field of culture and art on consumers and their behavior, provides statistics on the use of online resources of cultural organizations.

Эпидемия коронавируса и вынужденная самоизоляция людей стали стимулом к развитию онлайн-коммуникаций. В том числе и в области культуры. Сфера культуры одной из первой приняла на себя удар от

пандемии - по всему миру отменялись гастроли, закрывались театры, концертные залы и прочие площадки проведения массовых мероприятий в этой области. Мировой опыт показал, что гуманитарный сектор оказался слабо подготовленным к полному переходу в цифровое пространство из-за определенной доли консерватизма и инерционности. Условно культурное сообщество можно разделить на два лагеря: один выступает за классическое потребление информации, а второй — за создание новых форм взаимодействия с произведениями искусства и его дистрибуции. Пандемия перевернула взгляды на то, что гуманитарная сфера не нуждается в новых технологиях, и показала, что инновации в этой сфере просто необходимы. Чем больше информации сейчас будет оцифровано, тем больше сохранится культурного наследия для будущих поколений.

В условиях пандемии цифровой канал стал фактически единственным средством доступа к культурно-развлекательному контенту, широкое использование получили онлайн-технологии в области культуры, артисты и музыканты научились выступать перед пустым залом в рамках трансляции в Интернете перед тысячами невидимых зрителей, музеи и галереи создали более доступное ознакомление с культурным и историческим наследием.

Стремительный рост в сегменте онлайн-кинотеатров связан не только с повышением интереса к онлайн-развлечениям, но и с эффективной маркетинговой политикой провайдеров онлайн-сервисов, предложивших клиентам выгодные условия подписки. Очевидно, что льготные условия подписок не будут постоянными, поэтому в краткосрочной перспективе спрос на досуговые онлайн-сервисы снизится [1].

Чтобы получить статистические данные потребительского поведения, мы решили исследовать данные посредством маркетинговой исследования с помощью создания google формы.

Целевая направленность маркетинг-статистики состоит в повышении эффективности использования информационных ресурсов в маркетинговой деятельности организаций. При комплектовании информационных фондов особенно важно учитывать потребности потребителя. Исходя из потребностей определяют какие услуги необходимы. Затем требуемые информационные ресурсы разделяют по секторам информационного рынка и в каждом секторе выбирают возможные варианты данных и информационных систем. Комплексное исследование рынка информационных услуг предполагает анализ товарной конъюнктуры, отслеживание уровня цен на информационные услуги, определение потенциальных производителей потребной

информации и т.д. Основным статистическим методом сбора информации является опрос, с помощью которого мы выяснили субъективное мнение, предпочтения людей в отношении культурных мероприятий во время пандемии, что обеспечило нас количественными данными и позволило провести статистический анализ [2].

В опросе мы попросили ответить респондентов на следующие вопросы:

1. «Как часто вы посещали культурные мероприятия до пандемии?» - опрос показал, что основная часть респондентов посещали организации культуры и искусства несколько раз в год.

Как часто вы посещали культурные мероприятия до пандемии?

17 ответов

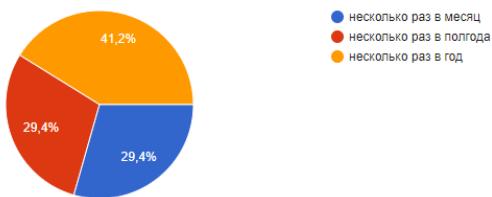


Рис. 1 – Частота посещения мероприятий до пандемии

2. «Какими развлекательными услугами вы пользовались в период самоизоляции?» - ответы показали, что потребители во время самоизоляции при выборе онлайн-площадки отдали предпочтение кинотеатрам и покупке и чтению книг. К примеру, рост продаж книг и фильмов наблюдается за счет невозможности посещать магазины и кинотеатры лично, а также делается упор на специальные карантинные предложения. Не исключено, что после завершения пандемии, издательства будут чаще публиковать книги в онлайн-формате или только онлайн, что повлечет развитие рынка цифровой литературы.

Какими развлекательными услугами вы пользовались в период самоизоляции?

17 ответов

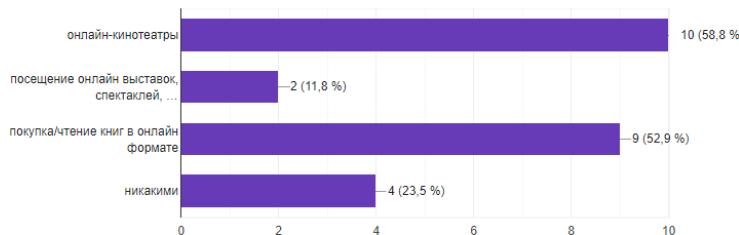


Рис. 2 – Наиболее востребованные виды развлекательных онлайн-услуг во время пандемии

3. «К каким площадкам вы относились более предпочтительно при выборе культурного мероприятия?» - большинство опрашиваемых интересовалось онлайн-мероприятиями мировых учреждений культуры.

К каким площадкам вы относились более предпочтительно при выборе культурного мероприятия?

16 ответов

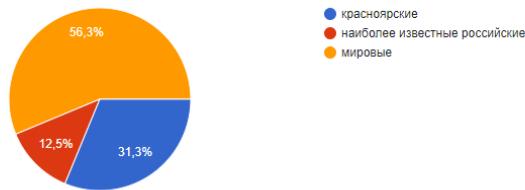


Рис. 3 – Предпочтения потребителей при выборе культурных площадок

4. «Планируете ли вы продлевать подписку на онлайн-кинотеатры, музыкальные или литературные площадки после окончания карантина?» - ответы показали, что вероятность продления подписки после снятия карантинных ограничений, а, соответственно, и льготных предложений на онлайн-сервисы все же высока.

Планируете ли вы продлевать подписку на онлайн-кинотеатры, музыкальные или литературные площадки после окончания карантина?

16 ответов

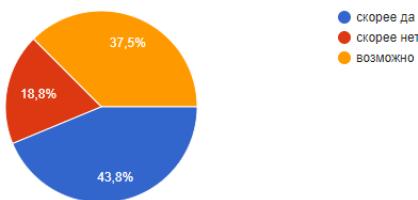


Рис. 4 – Мнение потребителей о вопросе продления онлайн-услуг

В целом респонденты оценивают онлайн формат проведения данных мероприятий как временное неудобство, но все же говорят о том, что им понравилось, ведь таким способом можно не только развлечься, но и справится с проблемами психологически.

Литература:

1. Культура и креативные индустрии [Электронный ресурс] // Агентство инноваций города Москвы – 2020. – URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Finnoagency.ru%2Ffiles%2FPrognoz_Culture%2520And%2520Creative%2520Industries_Covid.pdf&cc_key= (дата обращения 13.11.2020).
2. Статистические исследования в маркетинге: введение в экономический анализ: учебное пособие / Б.И. Герасимов, В.В. Дробышева, О.В. Воронкова ; под ред. проф. Б.И. Герасимова. – Тамбов: Изд- во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 136 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

В.А. Ничипиенко

Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, PMIM01.Nichipienko@outlook.com

В данной работе описывается разработка приложения для моделирования движения гравитационных осцилляторов и исследования их свойств. Исследования проводятся в идеальной среде и среде с силой трения.

In this paper describes the development of an application for modeling the motion of gravitational oscillators and studying their properties. Research is carried out in the ideal and in the not ideal environment.

Цель работы

Создание моделей гравитационных осцилляторов, разработка приложения для исследования их свойств.

Введение

В классических задачах о моделировании движении осцилляторов рассматриваются идеальные условия: наблюдается движение материальной точки с концентрированной массой, сила трения отсутствует и пр. В работе рассматривается задача, более соответствующая реальным условиям. Тело имеет форму сферы, которая кроме поступательного, будет совершать ещё и вращательное движение. Потенциал, набранный силой тяжести, при этом будет расходоваться не только на создание скорости поступательное движение тела, но и на создание угловой скорости вращения тела, относительно центра масс, который движется по эквидистантной траектории.

Такие осцилляторы встречаются в совершенно разных сферах жизни:

- В проектировании авто и ж/д дорог, на участках с перепадами высот, для того чтобы подъём и спуск был максимально быстрым.
- В проектировании сортировочных горок для железнодорожного транспорта, чтобы распределение по линиям происходило максимально быстро.
- Спасательный трап для высадки пассажиров самолёта делают по кривой наискорейшего спуска.
- В спорте: горнолыжном, саночном, прыжках на лыжах с трамплина и др., при проектировании горок для спуска.

Постановка задачи

Основной задачей является создание моделей осцилляторов и разработка приложения для исследования их свойств.

Методы решения задачи

В 3D редакторе Blender3D были созданы 3D модели осцилляторов, по форме некоторых кривых, в том числе циклоиды. Циклоида в идеальных условиях обладает двумя свойствами: таутохронность и брахистохронность. Свойство таутохронности говорит о том, что объект помещённый на циклоиду, доберётся до нижней её точки за одно и то же время, независимо от своего начального положения. А свойство

брахистохронности циклоиды говорит о том, что циклоида является кривой наискорейшего спуска.

Далее на платформе Unity3D было разработано приложение для исследования свойств таутохроны и брахистохроны проектируемой кривой. Для доказательства этих свойств потребуется сделать замеры времени спуска сфер по аркам.

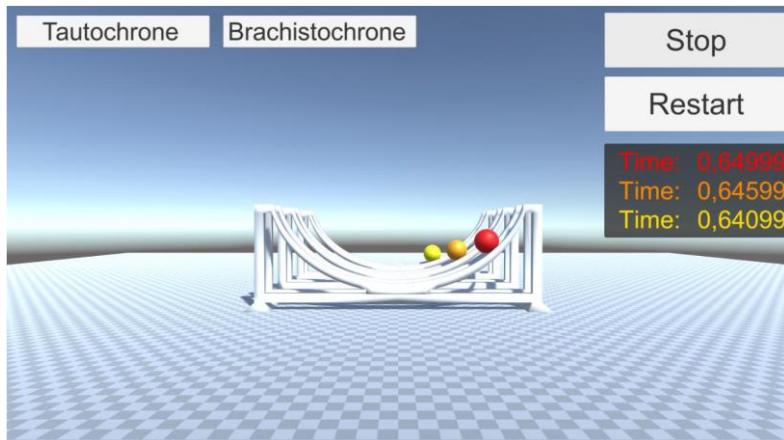


Рисунок 2 - Сцена свойства таутохроны

На первой сцене доказывается свойство таутохронны. На ней располагаются три одинаковые арки по форме циклоиды. И по одной сфере на каждую арку. Изначально все сферы находятся на разных расстояниях до нижней точки арки. Для доказательства свойства таутохроны, все три сферы должны добраться до нижней точки за одно и тоже время. Для замера времени добавлены три таймера, каждый соответствует своей сфере. Отсчёт времени начинается по нажатию на кнопку «Start» и останавливается в момент времени, когда сфера достигнет нижней точки.

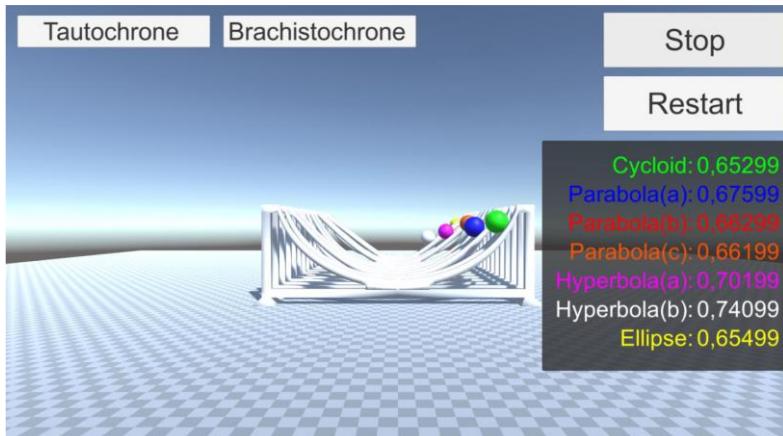


Рисунок 3 - Сцена свойства брахистохроны

На второй сцене доказывается свойства брахистохроны. Для этого на сцену экспортируем арку циклоиды, и шесть других арок, созданных по другим кривым. На каждой арке располагается сфера, и для каждой сферы создан таймер. Свойство брахистохроны будет доказано, если сфера, катящаяся по арке циклоиды, доберётся до нижней точки за наименьшее время.

Результаты

В исследованиях, проведённых в идеальной среде, без силы трения, свойства таутохроны и брахистохроны для циклоиды были доказаны. Хотя сферы не являются материальными точками, которые движутся строго по контуру кривых, центр масс сферы находится над кривой и проходит по эквидистантной траектории. В исследованиях, проведённых в не идеальной среде, результаты будут существенно отличаться.

После проведения исследований, по полученным данным от исследований в идеальной среде, для каждой кривой были построены графики затухания колебаний.

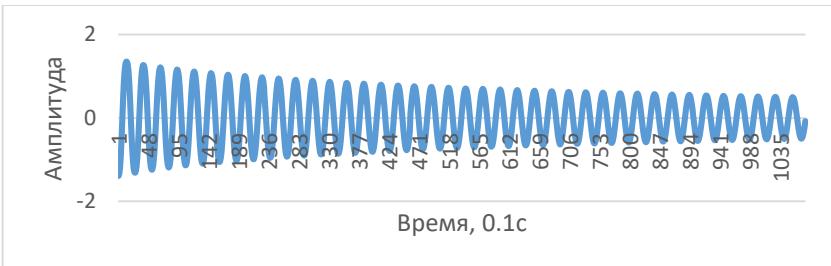


Рисунок 4 - График затухающих колебаний сферы, движущейся по циклоиде, по горизонтальной координате

Заключение

Для решения поставленной задачи, в 3D редакторе Blender3D были созданы модели гравитационных осцилляторов. На платформе Unity3D было разработано приложение для доказательства свойства таутохроны и брахистохроны. Свойства были доказаны при проведении исследования в идеальной среде, без силы трения. В среде, где сила трения действует на объекты, для нахождения линии, удовлетворяющей заданным свойствам, требуется проведение численных расчетов, что будет являться следующим этапом исследований.

Литература

1. Джозеф Х. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. 2-е межд. изд. – СПб.: Питер, 2019. – 352 с.
2. Blender3D [Электронный ресурс]. URL: <https://blender3d.com.ua/> (Дата обращения: 27.04.20).
3. Голубев Ю.Ф. Брахистохрона для твердого тела, скользящего по кривой // Изв. РАН. ТиСУ. 2013. № 4. С. 71-87.
4. Голубев Ю.Ф. Брахистохрона с трением // Изв. РАН. ТиСУ. 2010. № 5. С. 41–52.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЫ

Б.С. Соловьев¹, В.С. Карманов¹, Д.А. Гривастов²

¹**Новосибирский Государственный Технический Университет**

²**Западно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ»**

г. Новосибирск, b.solovev.2013@stud.nstu.ru

Описана динамическая дискретная модель для использования в управлении нагревателями трехзонных электрических печей сопротивления для воспроизведения реперных точек температурной шкалы МТШ-90. Разработан программный комплекс для мониторинга и управления печами как вручном, так и в автоматическом режиме.

A dynamic discrete model for using in the control of heaters of three-zone electric resistance furnaces for reproducing the reference points of the temperature scale ITS-1990 is described.

Введение

В настоящее время адекватное описание многих реальных процессов осуществляется стохастическими математическими моделями. Применение традиционных методов в задачах синтеза оптимального управления стохастическими динамическими системами не всегда эффективно и разработка новых подходов и методов, использующих статистический анализ большого объема данных, представляется актуальной задачей. Привлечение современных интеллектуальных методов анализа данных позволит повысить качество прогнозирования и управления поведением рассматриваемых систем. Разработанные методы могут быть реализованы в виде программного продукта, который можно использовать в целом ряде прикладных задач. В данной работе как динамическая система рассматривается трёхзонная электрическая печь сопротивления, предназначенная для воспроизведения реперных точек температурной шкалы МТШ-90 [1] – фазовых переходов затвердевания чистых металлов.

Цель работы

Разработка и внедрение приложения, выполняющего функции панели оператора для реализации автоматического и ручного управления воспроизведением реперных точек температурной шкалы – точек затвердевания индия, олова и цинка на основе задачи управления динамической системой.

Постановка задачи

Имеются шесть датчиков температуры, находящиеся в определённых местах печи: три непосредственно на нагревателях, один – в ампуле с металлом и два вблизи верхнего и нижнего торцов ампулы. Оператор имеет возможность управлять системой, подавая сигналы на изменение мощности нагревателей. Задача оператора – создать условия для воспроизведения реперной точки температурной шкалы – фазового перехода затвердевания металла, при этом сохраняя безопасный для целостности ампулы градиент температуры по её высоте.

Описание алгоритмов и результаты

Как альтернатива применения ПИД-регулятора, был предложен подход использования динамической дискретной модели, в которой состояние системы описывается так:

$$t(n) = \begin{cases} t_{11}(n), t_{12}(n), t_{13}(n) \\ t_{21}(n), t_{22}(n), t_{23}(n) \end{cases},$$

где первая строка – значения температур нагревателей в момент времени n , вторая строка – значения температуры в ампуле и по ее торцам.

Предложена следующая зависимость компонент состояния друг от друга:

$$\begin{aligned} t_{1i}(n) &= At_{1i}(n-1) + Bu_i(n) \\ t_{2i}(n) &= Ct_{2i}(n-1) + Dt_{1i}(n-1) \end{aligned},$$

где u_i - компонента управления, физическая интерпретацией которой является мощность, подаваемая на i -ый нагреватель (в %), A, B, C, D – матрицы зависимостей текущей температуры от температуры в предшествующий отрезок времени и от текущих значений мощности.

В указанной постановке задачи имеется ряд методов и алгоритмов, которые применимы для динамических дискретных моделей для минимизации функционала:

$$\max_{n \in [0, N]} (|t_{21}(n) - t_{23}(n)|) \xrightarrow{u_0, u_1, \dots, u_N} \min$$

где N – количество временных интервалов на протяжении всей работы установки. Физический смысл функционала представляет собой градиент температуры (в среднем), который необходимо минимизировать на протяжении всего времени работы системы.

Описание разработанного приложения

В начале работы был разработан программный комплекс, использующий клиент-серверную архитектуру на основе технологии сокетов TCP/IP, состоящий из нескольких частей:

- Драйверы многоканального измерителя температуры и цифроаналогового преобразователя (ЦАП).
- Сервер данных, который осуществляет информационное взаимодействие между программами комплекса в режиме реального времени. На сервер программами передаются результаты измерений температуры, уставки, вычисленные значения мощности нагревателей и другие параметры, а также считаются ранее переданные данные, снабженные меткой времени получения.
- Оболочка оператора – программное приложение, с которым взаимодействует оператор. Оболочка обеспечивает возможность просмотра текущих значений параметров процесса, в том числе в виде графиков температуры и мощности. В этой же оболочке реализованы функции ручного управления мощностью нагревателей и управления динамической системой в автоматическом режиме.

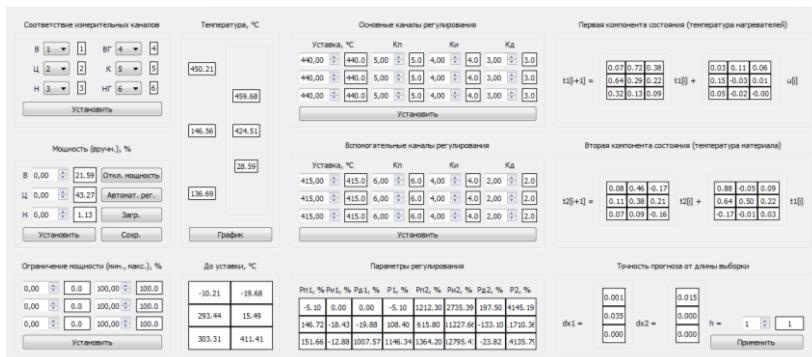


Рис. 1 - Пример интерфейса оболочки оператора

Поскольку мониторинг температуры при воспроизведении реперной точки это основной инструмент анализа состояния процесса, у оператора есть возможность наблюдать графики температуры и мощности в реальном времени.

Результаты измерений температуры и подаваемой на нагреватели мощности сохраняются в виде файлов, которые могут быть использованы для постобработки при анализе воспроизводимости реперной точки. Параметры работы комплекса загружаются при запуске и сохраняются при закрытии приложения, а также по инициативе оператора.

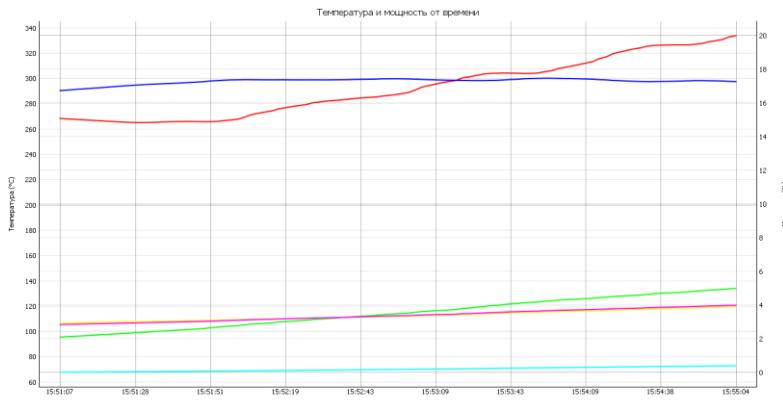


Рис. 2 - Пример визуализации графиков температуры и мощности

Заключение

В ходе работы был разработан программный комплекс, включающий в себя все необходимые программные компоненты для управления аппаратурой для воспроизведения реперных точек температурной шкалы МТШ-90 – фазовых переходов затвердевания чистых металлов. Предложена математическая динамическая модель для описания процесса воспроизведения, которая успешно опробована в автоматическом управлении аппаратурой.

Литература

1. Развитие Международной температурной шкалы [Электронный ресурс] / temperatures.ru Информационный портал // URL: http://temperatures.ru/pages/razvitiie_mejdunarodnoi_temperaturnoi_shkaly (дата обращения: 21.10.2020)
2. Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990: BIPM, 1990
3. Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990: BIPM, 1990
4. Уидроу Б., Стирнс С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с., ил.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОММУНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

А.О. Хуснугдинов, В.С. Карманов

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, evolext@gmail.com**

Работа посвящена решению проблемы моделирования коммунальных сетей и определения их параметров. В результате разработано приложение, позволяющее моделировать водопроводные сети и на базе этих моделей выполнять гидравлических расчеты.

The article focuses on the issue of modeling utility networks and their characterization. A software prototype has been developed, that provides to simulate of utility networks and, base of these models, perform hydraulic calculations.

Введение

Проектирование коммунальных сетей является сложной и одновременно важной инженерной задачей, поскольку наилучшее функционирование жилищно-коммунальной инфраструктуры населенных пунктов – один из наиболее важных факторов для благоприятных условий жизни населения.

Для учета всех требований необходимо выполнять долгие и сложные процедуры моделирования коммунальных сетей и расчета их характеристик, что требует наличия специализированного программного обеспечения. Возможным решением данной проблемы является разработка программных средств, которые бы позволяли создавать модели коммунальных сетей и проводить для них расчеты различных характеристик, как для учебных целей, так и для решения реальных инженерных задач. При этом основой для таких программ служили бы физические законы и математические модели для их представления.

Цель работы

Реализовать прототип приложения, позволяющего создавать модели коммунальных сетей (тепло- и водоснабжения, водоотведения), а также проводить на основе этих моделей расчеты для получения значений неизвестных параметров сети. В данной работе рассматриваются сети водоснабжения.

Математическая постановка задачи

Водопроводная сеть представляет собой связный взвешенный граф, структуру, состоящую из конечного числа вершин (узлов), связанных между собой ребрами (участками).

Каждому ребру ставится в соответствие: потери напора, сопротивление и расход на участке. Источнику ставится в соответствие объем воды, подаваемый в сеть и напор, конечному узлу – объем потребления, остальным узлам – величина утечки (если таковая имеется).

В результате гидравлического расчета определяются расходы на каждом участке водопроводной сети, исходными данными для расчётов являются значения расходов (утечек) на всех узлах сети, коэффициенты сопротивления и величины потери напора на участках сети.

Решение задачи базируется на первом и втором законах Кирхгофа, применительно к гидросетям:

- сумма расходов, втекающих в каждый узел равна нулю (или утечке);
- сумма падений давления на всех участках замкнутого цикла равна ноль (или сумме действующих напоров).

Граф водопроводной сети можно представить с помощью матрицы инцидентности, в которой столбцы соответствуют ребрам, а строки вершинам. С использованием матрицы инцидентности первую систему уравнений Кирхгофа можно записать в виде [1, 2]:

$$Aq = Q \quad (1)$$

где:

A – матрица инцидентности графа сети без последней строки,

q – вектор расходов на участках, м³/час,

Q – вектор расходов (утечек) в узлах, м³/час.

Вторая система уравнений Кирхгофа представляется в виде:

$$BSf(q) = BH \quad (2)$$

где:

B – матрица, описывающая базисные циклы графа сети,

S – диагональная матрица коэффициентов сопротивлений на участках,

H – вектор потерь напора на участках, м.

Зависимость $f(q) = |q|^{\beta-1}q$ обычно представляется для трубопроводных сетей квадратичной, т.е. $\beta = 2$. Данная нелинейная зависимость усложняет процесс решения задачи и делает невозможным использование устоявшихся аналогичных методов, применяемых для электрических цепей.

В итоге получаем нелинейную систему уравнений вида:

$$\begin{cases} Aq = Q \\ BSf(q) = BH \end{cases} \quad (3)$$

Система имеет размерность $n + c$, где: n – число участков водопроводной сети, c – число базисных циклов в графе сети.

Пример расчета

Пусть, имеется система из семи узлов с двумя закольцованными участками (Рис. 1):

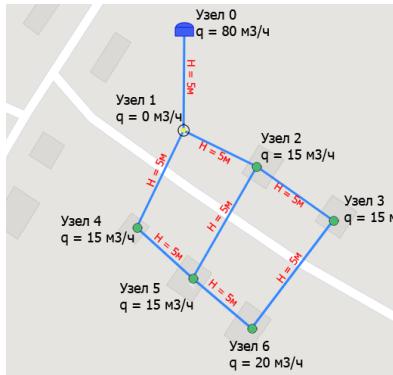


Рис. 5 Сеть и исходные данные

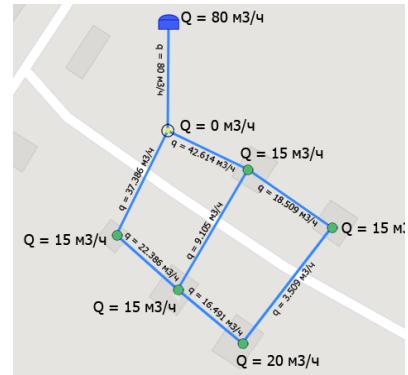


Рис. 6 Результаты расчетов

Матрица инцидентности для такой сети имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Матрица базисных циклов:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Система нелинейных уравнений относительно расходов q :

$$\begin{cases} u_1(q) = q_1 - Q_1 = 0 \\ u_2(q) = -q_1 + q_2 + q_4 - Q_2 = 0 \\ u_3(q) = -q_2 + q_3 + q_5 - Q_3 = 0 \\ u_4(q) = -q_3 + q_6 - Q_4 = 0 \\ u_5(q) = -q_4 + q_7 - Q_5 = 0 \\ u_6(q) = -q_5 - q_7 + q_8 - Q_6 = 0 \\ v_1(q) = s_2 q_2^2 - s_4 q_4^2 + s_5 q_5^2 - s_7 q_7^2 - (H_2 - H_4 + H_5 - H_7) \\ v_2(q) = s_3 q_3^2 - s_5 q_5^2 + s_6 q_6^2 - s_8 q_9^2 - (H_3 - H_5 + H_6 - H_8) \end{cases} \quad (6)$$

где:

q_i – расход на i -участке,

Q_j – расход (утечка) на j -узле,

s_i – коэффициент сопротивления на i -участке,

H_i – потери напора на i -участке

При исходных данных:

$$\begin{cases} Q = (80, 0, 15, 15, 15, 15, 20) \\ H = (0, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5) \end{cases} \quad (7)$$

Для простоты, возьмем для каждого участка коэффициент сопротивления равный единице, тогда численное решение дает следующий результат (Рис. 2):

$$q = (0, 42.614, 18.509, 37.386, 9.105, 3.509, 22.386, 16.491) \quad (8)$$

Заключение

В результате работы был создан прототип программного комплекса для моделирования коммунальных сетей и выполнения гидравлических расчетов. Планируется реализация конструкторских, поверочных и тепловых расчетов для сетей тепло- и водоснабжения.

Литература

1. Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, М.А. Сомов и др. Расчет водопроводных сетей: учебное пособие для вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
2. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей, – М.: Наука, 1985. – 294 с.
3. Михайловский Е.А. Разработка и апробация технологии объекто-ориентированного моделирования гидравлических цепей на примере задач потокораспределения: дис. канд. техн. наук: 05.13.18. - ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2018 - 142 с.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С ВРЕМЕННЫМИ ОКНАМИ

Чепур А.А.

Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, tchepur@mail.ru

В работе сравниваются результаты решения задачи маршрутизации транспорта с учетом ограничений на время прибытия транспортного средства, полученные методами локального поиска с различными окрестностями.

The paper compares the results of solving the problem of transport routing, taking into account restrictions on the time of arrival of the vehicle, obtained by local search methods with different search neighborhoods.

Цель работы

Сравнение результатов решения задачи маршрутизации транспорта, полученных методом локального поиска с окрестностью на перестановках и окрестностью Лина-Кернигана.

Введение

Задача маршрутизации транспорта (ЗМТ) относится к задачам класса комбинаторной оптимизации. Результатом её решения является сформированный набор маршрутов для каждого транспортного средства в автопарке. Во многих как коммерческих, так и государственных предприятиях, оказывающих логистические услуги, остро встает вопрос об определении оптимального маршрута до множества клиентов с целью уменьшения расходов на горюче-смазочные материалы, амортизацию транспортных средств и т.д.

В данной работе рассматривается ЗМТ с учетом ограничений на время прибытия транспортного средства (ТС) в установленный потребителем временной интервал, а в качестве метода решения предлагается использование алгоритма локального поиска с различным механизмом построения окрестностей решений задачи: окрестностью Лина-Кернигана (2-opt) и окрестностью на перестановках (Swap окрестность).

Постановка задачи

Имеется взвешенный граф $G(V, E)$ [1]:

- $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ – множество вершин (потребители), v_0 – депо;
- E – множество ребер $\{(v_i, v_j) \mid i \neq j\}$;

- C – матрица весов рёбер c_{ij} ;
- Для каждой вершины v_i заданы следующие данные: временное окно $[tl_i; tr_i]$ в течение которого ее необходимо посетить, а также Ts_i – длительность нахождения в этой вершине.
- t_0 – момент времени движения ТС;
 - Tv_j – время проезда ТС в j -ую вершину из $(j-1)$ -ой вершины внутри маршрута;
 - $T_{sum}(i) = \sum_{j=0}^i (Tv_j + Ts_j)$ – суммарное время, затраченное на визиты вершин с первой по i -ую;
 - M_i – маршрут i -го ТС, упорядоченное подмножество множества V ;
 - $C(M_i)$ – стоимость маршрута M_i , определяемая по матрице весов;

Целевая функция:

$$\sum_{i=1}^m C(M_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

При ограничениях:

$$tl_i \leq t_0 + T_{sum}(i-1) + Tv_i, \quad (2)$$

$$t_0 + T_{sum}(i) \leq tr_i. \quad (3)$$

Методы решения задачи

Алгоритм локального поиска (ЛП) основан на идеи оптимизации некоторой целевой функции (в случае ЗМТ – функции стоимости маршрута) на основании текущего состояния решения, при этом ранее пройденные состояния не учитываются. Новое возможное решение формируется некоторой функцией окрестности. Окрестность на перестановках $N(p)$ можно определить, как множество всех перестановок, отличающихся от p только в двух позициях [2]. Для окрестности Лина-Кернигана каждое новое решение представляется в виде цикла, из которого удаляются два несмежных ребра и добавляются два других ребра так, чтобы снова получился цикл [3].

Результаты решения задачи

В результате решения задачи были получены основные характеристики маршрутов за несколько дней, такие как: расстояние (РСТ), время объезда (ВО) и времяостоя (ВП). В таблице 1 приведены минимальные (МИН), максимальные (МАКС) и средние значения (СРЗ) исследуемых величин.

Таблица 1 – Сводные характеристики маршрутов

Характеристика	Окрестность Лина-Кернигана			Окрестность на перестановках		
	День 1	День 2	День 3	День 1	День 2	День 3
МИН РСТ, м	1977.8	1502.5	3660.9	1977.8	3600.7	3660.9
МАКС РСТ, м	58083.8	510485.0	62132.1	70096.7	477059.4	59055.0
СРЗ РСТ, м	24424.7	30180.0	23745.5	21567.4	30597.7	25356.2
МИН ВО, мин	163.2	60.8	168.7	115.2	162.4	174.9
МАКС ВО, мин	750.9	819.4	786.0	606.5	725.9	737.5
СРЗ ВО, мин	305.1	305.6	443.7	344.9	343.4	434.9
МИН ВП, мин	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
МАКС ВП, мин	520.9	466.8	510.4	426.2	464.2	482.8
СРЗ ВП, мин	93.7	115.9	199.1	136.4	152.7	188.6

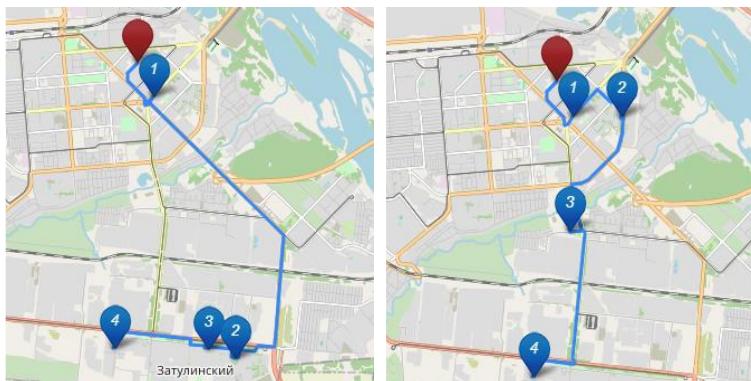


Рис. 1 – Вид маршрута, полученного методом ЛП с окрестностью 2-opt (слева) и окрестность swap (справа)

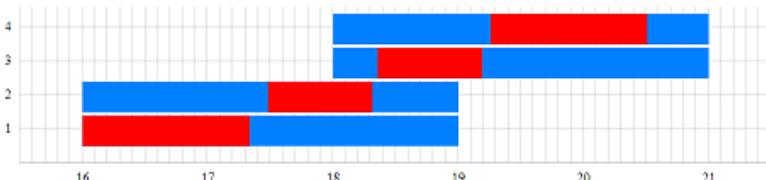


Рис. 2 – График временных окон для маршрута, полученного ЛП с окрестностью 2-opt

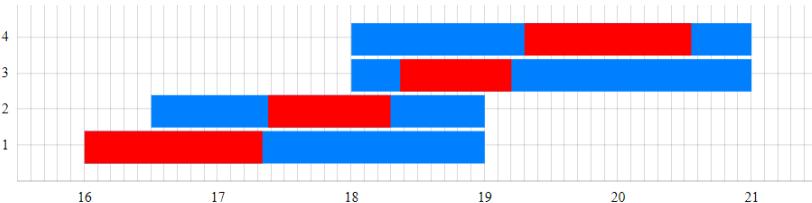


Рис. 3 – График временных окон для маршрута, полученного ЛП с окрестностью swap

На рисунке 1 изображены маршруты, полученные методом ЛП с использованием исследуемых окрестей, а на рисунках 2-3 отражены графики временных окон для этих маршрутов.

Заключение

В среднем характеристики получившихся маршрутов достаточно близки. С точки зрения минимизации среднего расстояния маршрутов несколько лучше себя проявил локальный поиск с окрестностями на перестановках. Что касается временных характеристик, в среднем локальный поиск с окрестностями Лина-Кернигана позволяет строить более выгодные маршруты с точки зрения минимизации затраченного времени в пути.

Литература:

1. Заводченко М. М., Карманов В. С., Олимпиади М. Б. Применение методов кластерного анализа при решении задач маршрутизации транспорта // Интеллектуальные информационные системы: тр. Всерос. конф. с междунар. участием (Воронеж, 12-13 дек. 2017 г.). – Воронеж: ВГТУ, 2017. – Ч.1. – С. 162-165.
2. Хмелев А. В. Алгоритмы локального поиска для задач маршрутизации транспортных средств: дис. канд. техн. наук. 05.13.18 / А. В. Хмелев; науч. рук. Ю.А. Кочетов; Новосибирск. нац. исслед. гос. ун-т. Новосибирск, 2015. — 119 с.
3. Ю. А. Кочетов, А. В. Хмелёв, Гибридный алгоритм локального поиска для задачи маршрутизации разнородного ограниченного автопарка, Дискретн. анализ и исслед. опер., 22:5 (2015), 5–29; J. Appl. Industr. Math., 9:4 (2015), 503–518

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СКЛАДСКОГО ПРОСТРАНСТВА

И.О. Кислицын, В.Ю. Щеколдин, А.В. Фаддеенков
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск**

Для исследования влияния конфигурации складского пространства на эффективность его работы была разработана программа, симулирующая работу склада. Программа была успешно внедрена в учебный процесс на факультете бизнеса НГТУ.

The simulation software is being developed to research a relation between warehouse's configuration and its efficiency. The developed piece of software was successfully implemented in the educational process at the Faculty of Business of NSTU.

Цель работы

Разработать обучающий инструмент моделирования работы склада для оценки эффективности способов организации складского пространства и определения оптимальной конфигурации склада с точки зрения временных затрат на доставку товара в зону отгрузки.

Постановка задачи

Расстановка стеллажей на складе и распределение товаров по ним существенно влияют на эффективность погрузчиков и время загрузки и выгрузки товаров. На данный момент, самой популярной конфигурацией склада является расстановка стеллажей строго параллельно друг другу (см. рис. 1а). На достаточно больших складах может присутствовать дополнительный коридор, перпендикулярный основным.

Данная схема является самой простой в реализации, но не является самой эффективной. Согласно [1], конфигурация Flying V позволяет увеличить производительность погрузчиков на 12% по сравнению с традиционной, а конфигурация Fish-bone Aisles (рис. 1б) — на все 20%.

Для определения эффективной схемы расстановки стеллажей можно воспользоваться имитационным моделированием. Преимущество данного подхода по сравнению с аналитическим расчётом состоит в том, что просимулировать можно практически любую возможную конфигурацию. Это позволяет исследователям быстро проверять свои самые смелые гипотезы.

Основное предназначение разрабатываемого продукта — это обучение студентов. Выбор метода имитационного моделирования для

расчёта характеристик конфигураций позволит студентам наглядно увидеть последствия принятия тех или иных решений при проектировании склада.

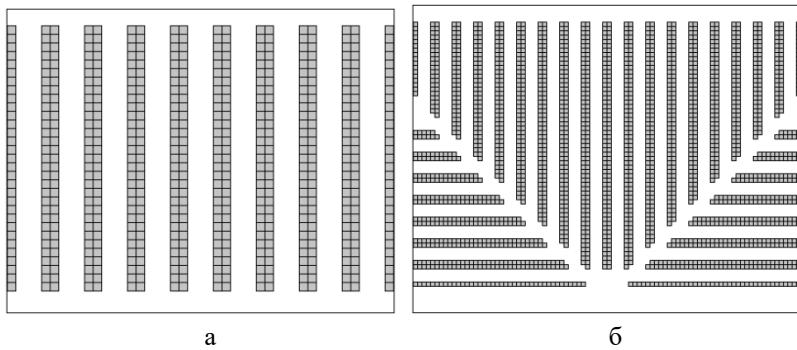


Рисунок 1 — Различные конфигурации складского пространства

Проект системы моделирования склада

В рамках данной работы разрабатывается программный продукт для имитационного моделирования различных конфигураций склада. Данный продукт позволяет изучить влияние расстановки стеллажей и распределения различных товаров по ним на эффективность работы погрузчиков, а также получить тепловую карту склада.

На рис. 2 представлен проект интерфейса разрабатываемого приложения. Главный экран поделен на две части: визуальный редактор складского помещения и панель управления. Непосредственно на панели управления пользователь может задавать параметры склада, такие как:

- размеры складского помещения;
- количество различных видов товара на складе;
- размер клетки редактора;
- выбор конфигурации склада;
- время симуляции;
- количество загружаемого на склад товара за день;
- параметры распределения спроса;
- параметры сезонности спроса.

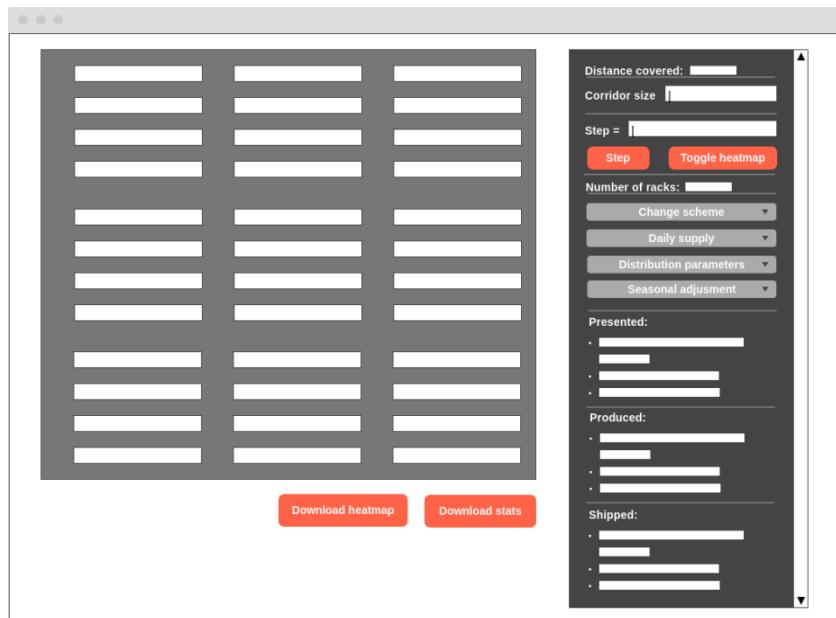


Рисунок 2 — Различные конфигурации складского пространства

Визуальный редактор позволяет задавать размеры и положение стеллажей, местоположение точек погрузки и выгрузки и распределение видов товаров по стеллажам. Для этого в редакторе присутствует панель инструментов, подобная аналогичным в редакторах растровых изображений.

Помимо графического редактора, в программе присутствует возможность описания конфигурации склада с помощью математических формул, описанных на специально разработанном языке описания шаблонов. Данный подход позволяет пользователю проверять эффективность конфигурации склада при различных его параметрах без перерисовки стеллажей.

Реализация системы моделирования склада

Для реализации приложения был выбран язык JavaScript, так как он поддерживается на любом компьютере с установленным на нём веб-браузером и позволяет быстро и просто описывать пользовательский интерфейс [2]. Для экспорта данных о работе модели используется формат CSV [3].

Чтобы сократить требуемое на разработку первого прототипа время, было принято решение моделировать один реально существующий склад. Информация о реальном складе была получена в рамках совместного исследования с кафедрой маркетинга и сервиса ФБ НГТУ. На программу были наложены следующие ограничения:

- зафиксированы несколько возможных конфигураций и не реализована возможность расставлять стеллажи вручную;
- зафиксированы размеры склада, избавив от необходимости описывать алгоритмы генерации различных конфигураций для общего случая;
- зафиксировано количество различных видов товара, основанное на данных о реальном производстве.

Данные ограничения не влияют на пригодность программного продукта для обучения студентов, при этом значительно сокращают время разработки прототипа.

Заключение

Инструмент, разрабатываемый в рамках данной работы не только позволит студентам изучить как различные конфигурации складского пространства влияют на его эффективность, но и, в перспективе, позволяют компаниям с помощью имитационного моделирования принимать взвешенные решения по конфигурированию складов.

Программа, разработанная в рамках данной работы была успешно внедрена в учебный процесс на ФБ НГТУ для обучения студентов IV курса по направлению “Менеджмент” профиль “Логистика”, в рамках дисциплины “Моделирование логистических процессов”. На основе полученной обратной связи, планируется доработка разработанной программы.

Литература

1. *Kevin R. Gue, and Russell D. Meller* Aisle configurations for unit-load warehouses // IIE transactions. – 2009. – Vol. 41, N 3. – P. 171-182.
2. *Chua Chee Kai, and Kah Fai Leong* Rapid Prototyping // Nanyang technological university, 1997.
3. *Yakov Shafrazevich* Common format and MIME type for comma-separated values (CSV) files, 2005

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗИ, ОЦЕНИВАЕМЫХ ПО ПОРЯДКОВЫМ ДАННЫМ

В.В. Войтович, А.Ю. Тимофеева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, victoriavoytovich@mail.ru**

Объектом исследования данной работы являются показатели взаимосвязи с точки зрения их чувствительности к особенностям порядковых данных. В процессе работы проводились вычисления показателей взаимосвязи (полихорического коэффициента корреляции, коэффициента Гудмана и Крускала, коэффициента Спирмена) на порядковых данных, сгенерированных из теоретического непрерывного β -распределения, а также проводились исследования их чувствительности с помощью регрессионного анализа. В результате работы были реализованы алгоритмы оценивания показателей взаимосвязи по порядковым данным, а также получены оценки их чувствительности к особенностям данных.

The object of research of this work is the relationship indicators in terms of their sensitivity to the features of ordinal data. In the course of the work, the relationship indicators (polychoric correlation coefficient, Goodman and Kruskal coefficient, Spearman coefficient) were calculated on ordinal data generated from the theoretical continuous β -distribution, and their sensitivity was studied using regression analysis. As a result of the work, algorithms were implemented for estimating relationship indicators based on ordinal data, as well as estimates of their sensitivity to the features of data.

Корреляционный анализ является одним из методов выявления и изучения взаимосвязей между двумя и более случайными величинами (или величинами, которые с некоторой допустимой степенью можно считать таковыми). Суть корреляционного анализа заключается в выявлении направления корреляционной связи, оценке ее тесноты при помощи некоторого показателя взаимосвязи, который получил название коэффициента корреляции, и проверки значимости этого показателя взаимосвязи [1].

Как показывает статистическая практика, достаточно часто встречаются задачи, в которых требуется оценить силу корреляционной связи между качественными признаками, значения которых представляют собой указание на категорию.

Основной шкалой качественных признаков является порядковая (ранговая), которая получила название от термина «ранг наблюдения». Ранг наблюдения является номером данного наблюдения в упорядоченном ряду наблюдений [1].

Показатели взаимосвязи для порядковых данных позволяют оценить степень согласованности в ранжировании одних и тех же объектов по двум различным признакам.

Для разных условий эксперимента (разного количества уровней признаков, объема выборки, асимметричности распределения признаков) разные показатели взаимосвязи могут давать отличные друг от друга результаты. И появляется необходимость в сравнительном анализе разных показателей взаимосвязи для порядковых данных [2].

Таким образом, целью данной работы является исследование чувствительности показателей взаимосвязи к особенностям порядковых данных.

Исследование заключается в генерации таблиц частот для ситуации, когда есть взаимосвязь между переменными – условные распределения отклика u при фиксированных значениях x изменяются ($\Delta\alpha_y=1$, $\Delta\beta_y=-1$).

План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 2 – План эксперимента

№	Факторы	Уровни
1	Число категорий признака x , n_1	3, 4, 5, ..., 10
2	Число категорий признака y , n_2	5 (число уровней шкалы Лайкера)
3	Исходные параметры α , β для признака y , α_{y0} , β_{y0}	$\alpha_{y0} = 1$, $\beta_{y0} = 2$
4	Параметры α , β для признака x , α_x , β_x	$\alpha_x = 1$, $\beta_x = 1, 1.25, 1.5, \dots, 3$
5	Изменение параметров для признака y , $\Delta\alpha_y$, $\Delta\beta_y$	$\Delta\alpha_y = 1$, $\Delta\beta_y = -1$
6	Объем выборки n	500

Результирующие переменные – показатели взаимосвязи:

1. полихорический коэффициент корреляции,
2. коэффициент Гудмэна и Крускала,
3. коэффициент Спирмена.

Моделирование таблиц сопряженности основано на β -распределении с последующим разбиением на интервалы.

Сначала моделируются значения переменной x как непрерывной с помощью β -распределения с параметрами α_x , β_x . Случайная величина принимает значение от 0 до 1. Чтобы получить дискретную величину, интервал от 0 до 1 разбивается на n_1 равнодistantных (одинаковой длины) интервалов. Считываются частоты попадания в каждый интервал.

Это будут суммы по строкам в таблице сопряженности. Обозначим их как v_{x1}, \dots, v_{xn1} .

Каждая строка таблицы сопряженности получается через условное распределение отклика при фиксированном x . Для первой строки такое распределение – β -распределение с исходными параметрами α_{y0} , β_{y0} .

Моделируются v_{x1} значений случайной величины из β -распределения с параметрами α_{y0} , β_{y0} . Разбиваются на n_2 равноотстоящих интервалов, и считаются частоты попадания в каждый интервал.

Далее для последующих строк процедура аналогична, только параметры задаются так:

$$\begin{aligned} \alpha_{y0} &+ (i-1) \Delta \alpha_y / (n_1 - 1), \\ \beta_{y0} &+ (i-1) \Delta \beta_y / (n_1 - 1). \end{aligned}$$

В результате формируется таблица сопряженности. Генерация повторяется $m = 500$ раз. Для каждой таблицы сопряженности считаются показатели взаимосвязи.

Результатом данного исследования является таблица 2 – таблица оценок регрессии между условиями эксперимента и показателями взаимосвязи.

Таблица 2 – Регрессия между условиями эксперимента и коэффициентами корреляции

Фактор	Коэффициент		
	Полихорический	Гудмэна и Крускала	Спирмена
Константа	0,6385	0,6246	0,5535
β_x	-0,0591	-0,0444	-0,0695
n_1	-0,0196	-0,0261	-0,0107

Оценки регрессии оказались значимы на 1% уровне, что говорит о существенных различиях между коэффициентами корреляции.

По результатам исследования можно сделать выводы, что все показатели взаимосвязи оказались наиболее чувствительны к параметру β_x , т.е. чувствительны к тяжелым хвостам распределения (асимметричности). Если сравнить между показателями, то наибольшей чувствительностью к асимметричности распределения обладает коэффициент Спирмена, наименьшей – Гудмэна и Крускала. Наибольшей чувствительностью к числу категорий n_1 обладает

коэффициент Гудмэна и Крускала, а наименьшей – коэффициент Спирмена.

Практическая значимость работы состоит в том, что проделанные исследования позволяют выбрать подходящий показатель взаимосвязи в зависимости от особенностей данных. Если распределение менее скошено и более равномерно, то допустимо использовать коэффициент корреляции Спирмена, независимо от числа категорий. В противном случае, необходимо использовать более устойчивые коэффициенты корреляции – полихорический коэффициент корреляции или коэффициент Гудмэна и Крускала.

В дальнейшем полученные результаты будут учтены при проведении исследований метода отбора на основе корреляций.

Литература:

1. Тимофеев В.С., Фаддеенков А.В., Щеколдин В.Ю. Эконометрика: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 354 с.
2. Timofeeva A. Y. Data type detection for choosing an appropriate correlation coefficient in the bivariate case // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 1837. – P. 188–194.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ М-ОЦЕНОК К ОЦЕНИВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ОШИБКАМИ В ОБЪЯСНЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ

Е.А. Хайленко, П.П. Лебедев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lebedev.2014@stud.nstu.ru

В данной работе рассмотрена задача устойчивого оценивания параметров регрессионных моделей с ошибками в объясняющих переменных, предложен алгоритм поиска М-оценок в условиях появления ошибок в объясняющих переменных. С помощью вычислительных экспериментов показана работоспособность предложенного алгоритма. Получено, что модифицированный метод М-оценок превосходит по точности классический вариант. Также метод показывает оценки сравнимые с оценками, получаемыми методом наименьших квадратов синусов.

In this paper robust estimation for errors in variables regression models is discussed and M-estimation for such models is presented. Efficiency of suggested method is proved by experiments. The accuracy of modified version of M-estimators higher than classical one. In addition, the estimators which were found by presented method compared with ones were found by least squares sine.

Часто в исследованиях приходится восстанавливать некоторую, в общем случае нелинейную, зависимость между изучаемыми переменными по наблюдаемым данным. Предполагается, что в точности функциональную зависимость наблюдать не представляется возможным в силу погрешностей измерения выходной переменной. В классической регрессионной постановке значения входной переменной являются, как правило, управляемыми и точно измеренными без каких-либо погрешностей.

В отличие от этого модели с ошибками в переменных (или EIV-модели – errors-in-variables models) предполагают наличие некоторых погрешностей в измерении не только отклика, но и входных факторов.

Классические методы оценивания параметров регрессионных зависимостей (такие как метод наименьших квадратов (МНК)) не учитывают появления ошибок в объясняющих переменных и могут давать некорректные результаты, следовательно, необходимо использовать специальные методы, например, ортогональной регрессии, метод максимального правдоподобия. Однако в случае наличия грубых ошибок наблюдений – выбросов, которые могут возникать, например, при появлении ошибок у приборов измерений, при сбоях в энергоснабжении, при наличии человеческого фактора и т.д., данные методы показывают некорректные результаты и, следовательно, необходимо использовать адаптированные к таким EIV-моделям робастные (устойчивые) методы.

Пусть требуется найти точечную оценку параметра θ функции $\varphi = g(\xi, \theta)$, когда точные значения φ и ξ не наблюдаются, но наблюдаются значения случайных величин η и ζ , определяемые следующим образом:

$$\zeta_i = \xi_i + \delta_i, \quad \eta_i = g(\xi_i, \theta) + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где δ_i и ε_i – соответственно ошибки значений переменных и функции (случайные величины), где m – число оцениваемых параметров θ , n – число наблюдений, $n \geq m$.

На ошибки накладываются следующие ограничения:

$$\begin{aligned} E \varepsilon_i = E \delta_i = 0, \quad D \varepsilon_i = \sigma_\varepsilon^2, \quad D \delta_i = \sigma_\delta^2 \quad \forall i, \\ \text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \text{cov}(\delta_i, \delta_j) = 0, \quad \forall i \neq j, \quad \text{cov}(\varepsilon_i, \delta_j) = 0, \quad \forall i, j. \end{aligned} \quad (2)$$

Пусть случайные ошибки ε_i, δ_i независимо нормально распределены.

Для устойчивого оценивания существуют М-оценки, частными случаями которых является метод наименьших квадратов синусов (LSS) [1, 2] и М-оценки Хьюбера [4]. М-оценки Хьюбера в классическом варианте подходят для обычных регрессионных моделей, для моделей с ошибками в объясняющих переменных нужна адаптация. В данной работе предложен следующий алгоритм.

Рассмотрен функциональный случай, когда значения ξ_i из соотношения (1) представляют собой неизвестные константы. Тогда в силу предположений (2) оценки вектора искомых параметров θ находятся из условия минимума функционала [5]

$$G = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(x_i - \xi_i)^2}{\sigma_\delta^2} + \frac{(y_i - g(\xi_i, \theta))^2}{\sigma_\varepsilon^2} \right]. \quad (3)$$

1. В качестве первого приближения $\hat{\theta}$ будем использовать М-оценку при $\xi_i = x_i$;

2. С учетом условия (3) вычисляются значения $\hat{\xi}_i$ при полученных оценках параметров $\hat{\theta}$. Задача сводится к решению n несвязанных между собой систем из m линейных уравнений вида

$$\sum_{r=1}^m \frac{\theta_r \theta_p}{\sigma_\varepsilon^2} \xi_{ri} + \frac{\xi_{pi}}{\sigma_\delta^2} = \frac{x_{pi}}{\sigma_\delta^2} + \frac{y_i \theta_p}{\sigma_\varepsilon^2} - \frac{\theta_0 \theta_p}{\sigma_\varepsilon^2}, \quad p = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n};$$

3. Проверяется принадлежность нового значения $\hat{\xi}_i$ области возможных значений при заданном значении x_i . Ограничение $\hat{\xi}_i \in D_i$ можно записать следующим образом:

$$|x_{ji} - \hat{\xi}_{ji}| \leq 3\sigma_\delta;$$

4. Вычисляется М-оценка $\hat{\theta}$ при новых точных значениях переменной $\xi_i = \hat{\xi}_i$;

Шаги 2 и 3 выполняются поочередно до тех пор, пока не будет выполнено хотя бы одно из условий:

а) на соседних итерациях значения оценок параметров θ отличаются несущественно, т.е.

$$\max \left| \frac{\theta_j^\nu - \theta_j^{\nu+1}}{\theta_j^\nu} \right| \leq e; \quad j = \overline{1, m},$$

где e – заданное значение;

б) исчерпан заданный лимит итераций.

В работе использовались М-оценки Хьюбера со следующими функциями:

$$\rho(z) = \begin{cases} z^2 / 2, & |z| < c \\ c|z| - c^2 / 2, & |z| \geq c \end{cases}, \quad \psi(z) = \begin{cases} z, & |z| < c \\ c \operatorname{sign}(z), & |z| \geq c \end{cases};$$

в качестве оценок дисперсии применялась MAD-оценка [3].

В результате вычислительных экспериментов была продемонстрирована эффективность предложенной модификации М-оценок: адаптированные к EIV-моделям М-оценки показывают лучшие результаты, по сравнению с результатами классических М-оценок. Также показано, что адаптированные М-оценки Хьюбера дают оценки сравнимые (а в некоторых случаях, превосходящие по точности) с оценками, получаемыми методом наименьших квадратов синусов. Было доказано, что метод является устойчивым к различным типам выбросам: горизонтальным, вертикальным и смешанным.

Литература:

1. Hao H. Least Sine Squares and Robust Compound Regression Analysis [Электронный ресурс] / Han Hao, Zhu Wei. – Режим доступа: https://ir.stonybrook.edu/jspui/bitstream/11401/71254/1Han_grad.sunysb_0771E_10819.pdf
2. Hao H. RCR: Robust Compound Regression for Robust Estimation of Errors in-Variables Model [Электронный ресурс] / Han Hao, Zhu Wei. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1508/1508.02925.pdf>.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. М.:Мир, 1975.–648с.
4. Робастность в статистике. Поход на основе функций влияния: Пер. с англ. / Хампель Ф., Рончетти Э., Рауссеу П., Штаэль В.–М.:Мир, 1989.–512с.
5. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.

СМЕСИ БИНОМИАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В РАМКАХ АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

М.Д. Колоскова, В.С. Тимофеев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, koloskova.2016@stud.nstu.ru

Рассмотрена задача идентификации распределений встречаемости биологических терминов с контекстными словами на разных расстояниях в предложениях текстов научных публикаций и патентов в области биологии и биомедицины. В рамках анализа распределения описывались как смеси биноминальных распределений.

The paper discusses the problem of identifying the distributions of the occurrence of biological terms with context words at different distances in sentences of texts of scientific publications and patents in the field of biology and biomedicine. In the analysis, the distributions were described as mixtures of binomial distributions.

Развитие высокопроизводительных технологий в пост-геномную эру вызвало экспоненциальный рост данных. В следствие чего одной из ключевых проблем в области биологии и биомедицины на данный момент является необходимость работы с большими данными, которые представляют собой как фактографические данные, так и тексты научных публикаций и патентов. Для анализа научных текстов широко применяются интеллектуальные методы автоматического извлечения знаний, в частности методы text mining.

В Институте Цитологии и Генетики (ИЦиГ) СО РАН впервые в России была разработана система ANDSystem, основанная на использовании синтаксико-семантических правил для извлечения знаний в области биологии и биомедицины. Программно-информационная система ANDSystem осуществляет полный цикл инженерии знаний, включая экстракцию знаний, формализацию и накопление полученной информации в базе знаний, а также ее графическое представление и анализ [2]. ANDSystem не уступает существующим системам по точности извлечения знаний и даже превосходит их по глубине и детализации онтологического описания предметной области. Программа не всегда корректно распознает слова и термины в предложениях, что сказывается на точности ее работы.

Один из способов улучшения точности распознавания терминов программой ANDSystem – обучение ее различать слова и комбинации слов, которые пишутся одинаково, но имеют разный смысл, по контексту в предложении. Цель данной работы состоит в идентификации распределений встречаемости терминов и слов из

контекста на разных расстояниях в рамках задачи распознавания поименованных сущностей, так называемых биологических объектов, в тексте с учетом контекста.

В качестве исходных данных был предоставлен словарь биологических объектов разных типов. В словаре для каждого биологического объекта (термина) указывались: предложение (в котором был распознан термин), сам распознанный термин, позиция (индексы первого и последнего символа названия объекта в предложении), тип объекта.

Для начальной обработки контекста были отобраны слова, которые чаще всего встречаются рядом с терминами из биологии, генетики или медицины в одном предложении, будем называть их маркерными словами. Присутствие такого слова рядом с, распознанным с помощью программы, термином в одном предложении говорит о том, что с большой вероятностью он подходит по смыслу для этой предметной области, и был распознан правильно.

В дальнейшем исследовании были рассмотрены сочетания маркерных слов и биомедицинских терминов в предложениях. Если два слова встречаются вместе много раз, это свидетельствует о том, что у них есть особая функция [1]. Предположим, что анализ таких словосочетаний позволит правильно распознать и определить термин по контексту в предложении, а маркерные слова, помогут понять к какой области принадлежит данный контекст.

Следует сказать, что исследование частоты встреч двух слов рядом эффективно, но оно не учитывает более гибкие отношения между словами [1], а также слова, имеющие какой-то совместный смысл, очень редко находятся на расстояниях больше 5 пробелов друг от друга, поэтому рассматривать целые предложения не имеет смысла. Следовательно, при исследовании использовалась только часть предложения, включающая в себя рассматриваемый термин (центральное слово) и несколько слов, которые стоят до и после него.

Был проведен частотный анализ, в ходе которого был взят каждый тип биологических терминов и каждое маркерное слово и была посчитана частота встречаемости маркерных слов на разных расстояниях от терминов одного типа в предложениях. Для того, чтобы понять контекст не только для одного термина, а для всех биологических терминов одного типа, они рассматривались как один термин во всех предложениях.

После частотного анализа, самыми часто встречающимися распределениями оказались распределения с провалом (нулевым количеством встреч) на каком-либо из расстояний от термина, этот

провал образует двухмодальное распределение. Двухмодальное распределение – это распределение, в котором с наибольшими и примерно одинаковыми вероятностями встречаются два значения случайной величины. Для описания двумодального распределения можно использовать смесь распределений, где у каждого распределения будет своя мода. Было принято решение с помощью смесей, самых распространенных из дискретных, биномиальных распределений описать полученные для типа “ORGANISM” распределения (из-за аналогичных действий с каждым типом далее в работе будут приведены исследования только для одного из них).

Смесь распределений – это совокупность распределений случайной величины. В ходе данной работы, смесью двух биномиальных распределений были описаны количества встреч одного из маркерных слов и термина на разных расстояниях $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ в одном предложении. Биномиальное распределение – это распространенное дискретное распределение вероятностей в последовательности экспериментов, где эксперимент даёт двоичный результат; при том, что результаты независимы друг от друга:

$$Bin(n|N, \theta) = C_N^n \theta^n (1 - \theta)^{N-n},$$

где n – общее количество встреч термина и маркерного слова рядом на разных расстояниях;

N – количество независимых случайных экспериментов;

θ – вероятность встречи термина и маркерного слова на определенном расстоянии.

Формула смеси двух биномиальных распределений:

$$P(n|N, \Theta) = \pi_1 Bin(n_1|N, \theta_1) + \pi_2 Bin(n_2|N, \theta_2),$$

где π_1 и π_2 – весовые коэффициенты (неотрицательные, общая сумма равна 1), Θ относится к набору параметров $\{\pi_1, \theta_1, \pi_2, \theta_2\}$.

Начальные значения для параметров π_1, π_2 вычислялись по количеству расстояний до и после расстояния с минимальным значением частоты встречаемости: для того, чтобы привести их к коэффициентам, они были поделены на общее количество расстояний.

Чтобы оценить параметры смеси распределений был использован EM-алгоритм, итеративный метод для нахождения оценок максимального правдоподобия параметров вероятностных моделей, когда модель зависит от некоторых скрытых переменных. Алгоритм

начинается со случайно выбранной начальной оценки Θ_0 и постепенно сдвигает ее к конечной достаточно оптимальной оценке Θ [4].

В ходе данной работы были проведены: исследование контекста, с помощью частотного анализа данных и описание распределений расстояний между биологическими терминами и контекстными словами предметной области смесью двух биномиальных распределений.

Результаты описания неизвестных распределений смесями оказались соответствующими ожиданиям, так как полученные значения частот и параметров близки к реальным.

Литература:

1. Chris Manning and Hinrich Schütze, Foundations of Statistical Natural Language Processing, MIT Press. Cambridge, MA: May 1999.
2. SpringerLink [Электронный ресурс] – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/1752-0509-9-S2-S2> (дата последнего обращения: 28.10.2020)
3. MRadford; Neal; Hinton, Geoffrey. A view of the EM algorithm that justifies incremental, sparse, and other variants // Learning in Graphical Models : journal / Michael I. Jordan. — Cambridge, MA: MIT Press, 1999. — P. 355—368. — ISBN 0262600323.
4. MachineLearning.ru [Электронный ресурс] – URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=EM-алгоритм> (дата последнего обращения: 28.10.2020)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ РОБАСТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ

М.А. Сивак, В.С. Тимофеев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, pepelyaeva@ami.nstu.ru**

Рассмотрена задача классификации в условиях работы с зашумленными данными. Построены и реализованы два классификатора: на основе обычной нейронной сети с одним скрытым слоем и на основе устойчивой нейронной сети. Получено оптимальное значение параметра robustной нейронной сети. Проведен сравнительный анализ точности работы построенных классификаторов.

The research is devoted to solving classification problem under the conditions of data outliers' presence. Two classifiers have been designed and implemented. One of them is based on the ordinary neural network with one hidden layer; the second one is based on the robust neural network. The optimal value of the robust function

parameter for the second classifier has been obtained. The comparative analysis of the classification accuracy has been made.

Сегодня искусственные нейронные сети (ИНС) получают все более широкое распространение и применяются для решения множества задач, например, для классификации объектов или для прогнозирования. Однако зачастую в рамках решения подобных задач приходится работать с данными, содержащими достаточное количество нетипичных наблюдений (с зашумленными данными). Как правило, точность работы ИНС с простой архитектурой на таких данных не слишком высокая, что приводит к необходимости использовать более сложные алгоритмы.

Нейронная сеть представляет собой структуру, состоящую из элементарных элементов (нейронов), связанных посредством односторонних каналов, называемых связями или ребрами [1]. В рамках данной работы рассматривались нейронные сети с одним скрытым слоем. У каждого ребра есть свой вес, значение которого корректируется в процессе обучения нейронной сети. Для обучения нейронных сетей, как правило, используется алгоритм обратного распространения ошибки.

Целью данной работы является оптимальная настройка робастной нейронной сети, а также сравнение точности работы робастной и обычной нейронной сетей при решении задачи классификации объектов.

В рамках данной работы исследуется построение моделей нейронных сетей с использованием робастного подхода [2]. Преимущество этого подхода заключается как раз в том, что нетипичные наблюдения не исключаются из данных, а просто снижается их влияние. Для построения модели устойчивой нейронной сети используется функция Хьюбера [2]:

$$f(y_j, t_j) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y_j - t_j)^2, & |y_j - t_j| \leq \beta \\ \beta|y_j - t_j| - \frac{1}{2}\beta^2, & |y_j - t_j| > \beta \end{cases},$$

где y_j – полученный ответ на j -м выходе сети, t_j – требуемый ответ на j -м выходе сети, β – параметр функции. Поиск оптимального значения данного параметра выполнялся с использованием метода золотого сечения.

Сравнение точности работы классификаторов на основе двух нейронных сетей производилось на наборе данных «Ирисы Фишера» [3]. Он содержит 150 объектов, относящихся к трем классам (ирисы трех разных видов). На основе этого набора моделировались

зашумленные данные с различными уровнем шума и долей выбросов. При проведении исследований данные делились на обучающую и тестовую выборки для классификатора в различных процентных соотношениях. Подробное описание исходного набора данных также доступно в источнике [3].

При выполнении данной работы были реализованы классификаторы на основе обычной нейронной сети и на основе устойчивой с использованием средств языка программирования Python 3.6. Для устойчивой нейронной сети найдено оптимальное значение параметра β функции Хьюбера. Был проведен сравнительный анализ точности работы реализованных классификаторов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90077.

Литература:

1. Bishop C. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press, New York, US, 1995.
2. Хьюбер Дж.П. Робастность в статистике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 304 с.
3. UCI Machine Learning Repository [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ics.uci.edu/mlearn/MLRepository.html> (дата последнего обращения: 29.10.2020)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ COVID-19 В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕРФЛИНГА

**Е.И. Дорогин
МАОУ «Гимназия №12»
г. Новосибирск, doroginegor524@gmail.com**

В работе на основе данных о заболеваемости Covid-19 в Новосибирской области найдены оценки параметров методом наименьших квадратов модели Серфлинга. На основе построенной модели выполнен прогноз развития заболеваемости на 17 дней.

In this paper, based on data on the incidence of Covid-19 in the Novosibirsk region, parameter estimates are obtained using the least squares method of the surfing model. Based on the constructed model, a 17-day forecast of the incidence was made.

Введение

С начала 20 века интенсивно начинают развиваться методы прогнозирования инфекционных заболеваний. В последние годы число работ стремительно растет благодаря открытому появлению больших объемов данных, доступных для анализа. Прогнозирование развития заболеваний выполняется для различных сроков в зависимости от целей проведения исследований. Краткосрочный прогноз на несколько недель вперед применяется в оперативном управлении и при выявлении эпидемических вспышек заболеваемости. Среднесрочный прогноз сроком от двух месяцев до полугода является менее точным, по сравнению с краткосрочным, и используется для подготовки к возможным чрезвычайным ситуациям. Долгосрочный прогноз на год вперед и более требуется при оценке необходимых объемов производства лекарственных препаратов и вакцин, оснащении медицинских учреждений и подготовке персонала.

В настоящей работе выполняется оценивание параметров методом наименьших квадратов модели Серфлинга на основе данных о заболеваемости Covid-19 в Новосибирской области (НСО), начиная с 18 марта 2020 г. Также с применением построенной модели осуществляется прогноз развития заболеваемости.

Описание математической модели

Грипп и ОРВИ занимают ведущее место среди инфекционных болезней человечества и, несмотря на все проводимые противоэпидемические мероприятия, заболеваемость ими не имеет тенденции к снижению как в России, так и за рубежом. Поэтому многие из моделей были предложены специально для анализа распространения гриппа.

Одними из популярных методов прогнозирования заболеваемости являются методы регрессионного анализа [1]. Задача построения регрессионной математической модели прогнозирования развития заболевания заключается в нахождении оценок неизвестных параметров модели и формировании функциональной зависимости между заболеваемостью и факторами, ее предопределяющими [2].

Вид регрессионной зависимости выбирается, исходя из свойств анализируемого временного ряда, и чаще всего модель учитывает сезонный характер заболеваемости. Будем считать, что наблюдаемое значение показателя заболеваемости в момент времени t , обозначенное через $y(t)$, формирует временной ряд и описывается следующей моделью Серфлинга:

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + b_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + b_2 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + \\ + c_1 \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) + c_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right), \quad (1)$$

где $y(t)$ — количество заболевших Covid-19 в НСО в момент времени t , $a_0, a_i, b_i, c_i, i=1,2$ — неизвестные параметры регрессии, подлежащие оцениванию, T — период сезонности, например, 365 дней.

Для построения модели (1) необходимо по измерительным данным найти значения параметров модели $X = [a_0, a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2]$.

Для оценок параметров модели воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$X = (B^T B)^{-1} B^T Y, \quad (2)$$

$(*)^T$ - означает транспонирование матрицы, то есть запись строк в соответствующие столбцы;

$(*)^{-1}$ - означает обращение матрицы, то есть нахождение такой матрицы, при умножении на исходную в результате будет получаться матрица с диагональными элементами равными 1, а остальными - 0;

Y - данные наблюдений за развитием заболеваемости (столбцы $y(t)$);

$$B = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & \cdots & \sin\left(\frac{4\pi t_1}{T}\right) & \cos\left(\frac{4\pi t_1}{T}\right) \\ 1 & t_2 & t_2^2 & \cdots & \sin\left(\frac{4\pi t_2}{T}\right) & \cos\left(\frac{4\pi t_2}{T}\right) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & t_N & t_N^2 & \cdots & \sin\left(\frac{4\pi t_N}{T}\right) & \cos\left(\frac{4\pi t_N}{T}\right) \end{bmatrix} \quad - \quad \text{матрица},$$

составленная из слагаемых математической модели.

Численные результаты

По измерительным данным, соответствующим количеству заболевших Covid-19 на территории НСО (представлены на сайте <https://coronavirus-monitor.info>), начиная с 18 марта 2020 года, были найдены по формуле (2) оценки параметров модели регрессии. В итоге была получена следующая модель (1):

$$y(t) = 29.647 - 32.853t - 132.141t^2 + 1744.393 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + \\ + 109.774 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 16.482 \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) + 0.173 \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right). \quad (3)$$

Представим графически на рисунке 1 зависимости появления числа заболевших по времени, которые были использованы в качестве измерительных данных и получены численными расчетами по модели (3):

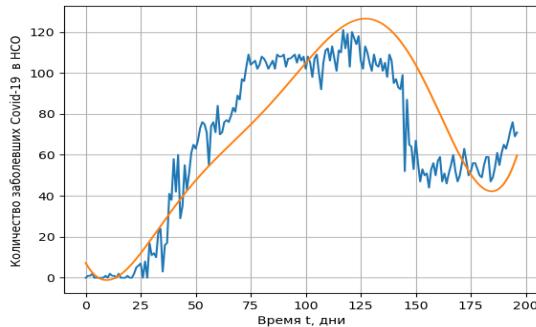


Рис. 1. - График зависимости числа заболевших Covid-19 в НСО (синий цвет – реальное количество заболевших, красный цвет – смоделированные в соответствии с (3))

Используя построенную модель (1), осуществим прогноз заболеваемости в НСО на 17 дней и сравним с действительным количеством заболевших. Результаты представим на рисунке 2.

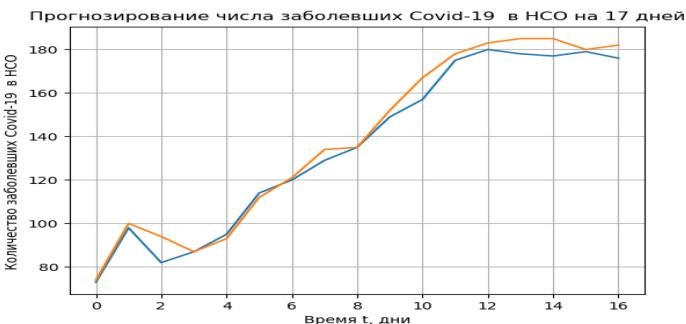


Рис. 2. - График прогноза зависимости числа заболевших Covid-19 в НСО (синий цвет – реальное количество заболевших, красный цвет – рассчитанное прогнозное количество заболевших в соответствии с (3))

Заключение

В работе по реальным данным о распространении заболеваемости на территории НСО были найдены с использованием метода наименьших квадратов оценки параметров модели Серфлинга. Выполнены прогнозы заболеваемости на различные временные промежутки. Установлено, что на основе модели Серфлинга наилучший прогноз рассчитывается на краткосрочный период до 18 дней.

Литература:

1. *Митяков Е.С., Глазов С.И.* Математическое моделирование распространения коронавируса в России // Развитие и безопасность. - 2020.- № 2(6). - С. 77-85.
2. *Макаров Д.А., Шибанова А.Д.* Прогноз развития эпидемии covid-19 с помощью метода нелинейной регрессии // StudNet. - 2020. - Т. 3. - № 10. - С. 135.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Секция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Ахатов Р.Р., Кузнецов И.В.	Уфа	3
Ахатов Р.Р., Кузнецов И.В.	Уфа	6
Березуцкий В.Л.	Новосибирск	10
Боева В.А.	Новосибирск	11
Быкова В.В., Белинская Н.С.	Томск	16
Гилязова З.Р., Кобелева С.А.	Уфа	17
Довыденко В.В., Ганелина Н.Д.	Новосибирск	22
Дунаева К.Е., Чимитова Е.В.	Новосибирск	26
Емельянова Е.Ю.	Томск	30
Заморщиков В.К., Каштанова Е.В., Яковина И.Н.	Новосибирск	36
Кузовова А., Суханов Д.Я.	Томск	41
Гармс Е.В., Горшкова К.Е., Лазарев А.А.	Новосибирск	45
Лузянин А.В., Ганелина Н.Д.	Новосибирск	49
Максимов А.И., Цой Г.В.	Самара	52
Олейник Н.С., Щеколдин В.Ю.	Новосибирск	56
Осипцева Е.А., Чимитова Е.В.	Новосибирск	60
Поверин Д.В., Кушмуратов С.И., Постовалов С.Н.	Новосибирск	64
Попова А.Г.	Новосибирск	67
Прилуцкий В.С., Терещенко С.Н.	Новосибирск	71
Сальников А.С., Файль Т., Новичкова Ю.А.	Томск	74
Подкаминер Е.Д., Старшинов В.С., Томск Цапко С.Г.		78
Ушаков Д.Е., Карелин Д.В.	Новосибирск	83

Филипенко Н.Ю.	Новосибирск	86
Хо М.Д., Муравьев С.В.	Томск	90
Четвертакова Ю.С., Черникова О.С.	Новосибирск	94

**Секция ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ И ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ**

Алигасанова К.Л.,	Томск	99
Бургомистренко Р.Ю.		
Булатова А.З., Солнышкина О.А.,	Уфа	102
Фаткуллина Н.Б.		
Верлинский М.В., Орлов А.А.,	Томск, Тюмень	105
Малюгин Р.В.		
Гриф А.М., Персова М.Г.	Новосибирск	107
Иванов М.В., Домников П.А.	Новосибирск	111
Иванов М.В., Домников П.А.	Новосибирск	115
Киселева А.С., Персова М.Г.	Новосибирск	119
Кишкина А.К., Шестаков Н.В.,	Владивосток, Москва	122
Бугаец А.Н.		
Кондратьев С.С., Алексеенко В.М.	Томск	126
Марчук Е.А., Идрисов А.М.	Иннополис	130
Милахин Д.С., Мансуров В.Г.,	Новосибирск	135
Журавлев К.С.		
Овчинникова А.С., Персова М.Г.	Новосибирск	139
Карасенко И.И., Овчинникова А.С.,	Новосибирск	144
Патрушев И.И.		
Рожкова Е.И., Моисеева К.М.	Томск	148
Сивенкова А.П., Персова М.Г.	Новосибирск	152
Сиренко П.С., Зюзькова Ю.А.,	Томск	156
Салих А., Кривцун А.А.		
Фаткуллина Н.Б.,	Уфа	159
Солнышкина О.А., Булатова А.З.		

**Секция ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА,
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Белоусова Е.Е., Дубровина О.В.	Тамбов	163
Воскресенский К.Д., Дубровина О.В.	Тамбов	167
Галлингер В.А.	Томск	170
Добров Э.Р.	Новосибирск	174
Ершов П.К., Авдеенко Т.В.	Новосибирск	175
Канаева И.А., Иванова Ю.А.	Томск	179
Кащеева Е.В., Шалаев В.С., Аксёнов С.В.	Томск	183
Лыкова М.П., Распопина Т.А.	Новосибирск	187
Лысенко Д.С.	Самара	189
Михайленко Д.А.	Новосибирск	193
Моисеева Е.Д., Терещенко С.Н.	Новосибирск	197
Мухутдинов И.Л., Невзоров В.Н.	Казань	201
Перелыгин И.А., Шаламова О.А.	Новосибирск	205
Петрухин И.С., Волкова В.М.	Новосибирск	207
Подымникова А.Е., Хабаров В.И.	Новосибирск	211
Ржевский А.А., Попов А.А.	Новосибирск	215
Родищев Д.Д., Тарасов Е.Б.	Новосибирск	219
Семенюта А.В.	Томск	221
Серебрянников А.А.	Томск	225
Соловьев Б.С., Карманов В.С., Филиппова Е.В.	Новосибирск	229
Стубарев И.М., Альсова О.К., Якименко А.А.	Новосибирск	232
Ткачёв С.А.	Томск	236
Хнюнин М.В., Ганелина Н.Д.	Новосибирск	241

**Секция ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,
СТАТИСТИКА И ЭКОНОМЕТРИКА**

Тимофеева А.Ю., Рыбачек М.Е.	Новосибирск	246
Цыденов З.Б., Муртазина М.Ш.	Новосибирск	249
Брендель А.И., Тимофеев В.С.	Берлин	253
Пустовалова Н.В., Авдеенко Т.В.	Новосибирск	256
Заводченко М.М.	Новосибирск	259
Каллаур М.Л., Федорова Н.В.	Красноярск	263
Ничипиенко В.А.	Новосибирск	267
Соловьев Б.С., Карманов В.С.,	Новосибирск	272
Грибастов Д.А.		
Хуснутдинов А.О., Карманов В.С.	Новосибирск	276
Чепур А.А.	Новосибирск	280
Кислицын И.О., Щеколдин В.Ю.,	Новосибирск	284
Фаддеенков А.В.		
Войтович В.В., Тимофеева А.Ю.	Новосибирск	288
Хайленко Е.А., Лебедев П.П.	Новосибирск	291
Колоскова М.Д., Тимофеев В.С.	Новосибирск	295
Сивак М.А., Тимофеев В.С.	Новосибирск	298
Дорогин Е.И.	Новосибирск	300

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.
Часть 2
Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 16.12.2020. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Уч.-изд. л. 18,13. Печ. л. 19,5. Тираж 100 экз. Заказ № 37
Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

