

Математические модели и методы искусственного интеллекта в прогнозировании эпидемий ОРВИ: кооперация вместо конкуренции

Леоненко Василий Николаевич

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: vnleonenko@itmo.ru

Соавторы: Абрамова Ю.Ю.

Вспышки эпидемий гриппа и COVID-19, представляют опасность для благополучия населения во всем мире. Чтобы эффективно бороться с эпидемиями, органам здравоохранения необходимы средства прогнозирования и тестирования сценариев контроля заболеваемости. Указанные задачи можно решить с помощью математического моделирования и методов машинного обучения. Популярным методом является использование SIR-моделей в силу их простоты и интерпретируемости, однако они не всегда могут корректно отразить особенности динамики заболеваний, связанные со стохастическими эффектами и неопределённостью в данных, а их калибровка сложнее по сравнению с методами искусственного интеллекта (ИИ). Методы ИИ также имеют ряд недостатков, в частности, отсутствие интерпретируемости, в силу чего методам ИИ не доверяют решение задач с высоким уровнем рисков (Rudin, 2019). Ещё одним популярным методом является применение мультиагентных моделей. Они позволяют описывать инфекционный процесс с любой степенью детализации, а результаты моделирования легче всего интерпретировать. Основным недостатком подхода является сложность моделей и, как следствие, большие временные затраты на разработку моделирующих комплексов и проведение вычислений. При решении задач, связанных с контролем инфекций, указанные подходы часто рассматриваются в качестве конкурирующих. Между тем, рядом научных групп предлагается кооперирование данных подходов для нивелирования их недостатков и усиления достоинств. Так, сочетание SIR-моделей с мультиагентными в составе гибридных комплексов позволяет добиться значительного повышения быстродействия расчётов, не теряя в точности результатов (Hunter, Kelleher, 2021; Leonenko, 2022).

В данной работе исследовались три варианта комбинации методов ИИ с моделями динамики инфекций, а именно:

- Суррогатные модели на основе ИИ в комплексе с SIR и мультиагентными моделями (Pereira et al., 2021; Matveeva, Leonenko, 2022). Суррогатные модели обучаются путём усвоения результатов многократного запуска классических моделей с различными значениями параметров.

- Нейронные дифференциальные уравнения (NeuroODE) (Chen et al., 2018), которые позволяют свести задачу оценки параметров SIR-моделей к задаче обучения нейронной сети.

- Физически информированные нейронные сети (PINN) (Hu et al., 2022). Данный подход, в отличие от SIR-моделей, позволяет давать прогноз заболеваемости с учётом разброса данных относительно среднего, тем самым отражая неопределённость результата. По сравнению с применением стандартных подходов ИИ преимуществом PINN является включение законов распространения инфекции в функцию потерь, что увеличивает прогнозную силу нейросети.

Результаты применения авторами указанных подходов к задаче прогнозирования COVID-19 для нескольких типов данных заболеваемости (агрегированные по США и г. Санкт-Петербургу, детальные по г. Санкт-Петербургу, синтетические с добавлением случайного шума) показали преимущество использования гибридных подходов и наличие перспектив их применения для решения задач эпидемического контроля, в том числе в рамках

эпидемиологического надзора.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, соглашение № 22-71-10067.

Источники и литература

- 1) Chen, R.T., Rubanova, Y., Bettencourt, J. and Duvenaud, D.K., 2018. Neural ordinary differential equations. *Advances in neural information processing systems*, 31.
- 2) Hu, H., Kennedy, C.M., Kevrekidis, P.G. and Zhang, H.K., 2022. A modified PINN approach for identifiable compartmental models in epidemiology with application to Covid-19. *Viruses*, 14(11), p.2464.
- 3) Hunter, E. and Kelleher, J.D., 2021. Using a hybrid agent-based and equation based model to test school closure policies during a measles outbreak. *BMC Public Health*, 21(1), pp.1-13.
- 4) Leonenko, V., 2022, June. A Hybrid Modeling Framework for City-Scale Dynamics of Multi-strain Influenza Epidemics. In *International Conference on Computational Science* (pp. 164-177). Cham: Springer International Publishing.
- 5) Matveeva, A. and Leonenko, V., 2022. Application of Gaussian process regression as a surrogate modeling method to assess the dynamics of COVID-19 propagation. *Procedia Computer Science*, 212, pp.340-347.
- 6) Pereira, F.H., Schimit, P.H. and Bezerra, F.E., 2021. A deep learning based surrogate model for the parameter identification problem in probabilistic cellular automaton epidemic models. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 205, p.106078.
- 7) Rudin, C., 2019. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature machine intelligence*, 1(5), pp.206-215.