

Секция «Психофизиология, когнитивные нейронауки, информационные технологии и искусственный интеллект (на русском и английском языках)»

Моделирование зрительных механизмов второго порядка средствами искусственной свёрточной нейронной сети

Научный руководитель – Явна Денис Викторович

Иконописцева Кристина Александровна

Студент (магистр)

Южный федеральный университет, Академия психологии и педагогики, Кафедра психофизиологии и клинической психологии, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: xabkot@gmail.com

В наши дни понимание сложности, многогранности психофизиологической организации человека не подвергается сомнению. Эта организация обеспечивается взаимодействием большого числа нейрофизиологических механизмов, многие из которых хорошо изучены. Так, подробно описаны принципы обработки зрительной информации в сетчатке, НКТ таламуса и затылочных отделах коры, обеспечивающие анализ сцены с выделением информации о цвете, градиентах яркости, движении и ряде других визуальных признаков.

Механизмы восприятия позволяют нам без труда синтезировать и целостный зрительный образ, разделенный при этом на фон и отдельные объекты. Данный процесс возможен благодаря операции связывания (binding). Один из вариантов связывания реализуется так называемыми зрительными механизмами второго порядка (ЗМВП), отвечающими за обнаружение пространственных модуляций (контраста, ориентации и пространственной частоты) и т. н. движения второго порядка, задаваемого временным изменением фазы модуляции.

Настоящая работа посвящена моделированию ЗМВП. Исследование ЗМВП началось с 80-х годов прошлого века [1] и продолжается по сей день. Было показано существование нейронов, избирательно реагирующих на пространственные модуляции [5], исследованы некоторые свойства ЗМВП [2] и предложены их функциональные модели, использующие операции пространственно-частотной фильтрации с нелинейными преобразованиями [4]. Однако детали реализации этих моделей существенно отличаются у разных авторов [3, 7], и организация нейронального субстрата ЗМВП остаётся неясной. Так как прямое нейрофизиологическое исследование этих взаимодействий затруднено, целесообразным представляется применение современных методов нейросетевого моделирования.

И несмотря на то, что изначально разработка ИНС велась с учётом нейрофизиологических данных, они не представляют собой полный аналог биологической нейронной сети. Тем не менее, искусственные сети могут демонстрировать значительное число свойств, присущих работе головного мозга. ИНС способны к обучению, основываясь на предыдущем опыте, к выделению существенных свойств информации, отсекая излишние данные. В настоящее время существуют две взаимно обогащающие друг друга цели нейронного моделирования: первая - понять функционирование нервной системы человека на уровне физиологии и психологии и вторая - создать вычислительные системы (искусственные нейронные сети), выполняющие функции, сходные с функциями мозга [8]. Таким образом, моделирование позволяет лучше понять фундаментальные психофизиологические закономерности построения зрительного образа.

В настоящей работе исследовались возможности обучения нейронной сети с разным количеством свёрточных слоёв специфичной демодуляции пространственных модуляций контраста, ориентации и пространственной частоты текстуры. Под специфичностью в данном случае подразумевается чувствительность к исключительно одному виду модуляции

при нечувствительности к другим. Это связано с тем, что человеческая зрительная система использует, по-видимому, разные механизмы для декодирования разных пространственных модуляций [4].

Стимульный материал, используемый в психофизических исследованиях ЗМВП человека - текстуры, модулированные по контрасту, ориентации и пространственной частоте [6], - использовались для формирования обучающей, валидационной и тестовой выборок изображений, представлявших собой серые растры размером 256x256 пикселей. Несущая задавалась суммацией случайно расположенных микропаттернов, яркость которых описывалась двумерной функцией Габор, огибающая была синусоидальной. Случайно варьировались наклон оси модуляции, наклон оси несущей, число периодов модуляции, фазовый сдвиг модуляций, длина волны несущей, средняя яркость и общий контраст текстуры. Из 15 тысяч сформированных изображений (по 5 тысяч для каждого модулируемого признака) 10500 использовались для обучения, остальные - для валидации и тестирования.

Моделирование и обучение сетей, включавших полносвязную и свёрточную части, проводились средствами библиотеки Keras. Полносвязная часть включала два слоя из 64 и 32 элементов, выходной слой из трёх нейронов и представляла собой классификатор. Параметры свёрточных частей варьировались, но так, чтобы на последнем свёрточном слое размеры фильтров примерно соответствовали четверти площади изображения. Проверялась обучаемость трёх-, четырёх- и пятислойных сетей. На данный момент обучаемость продемонстрировала только сеть с пятислойной свёрточной частью, причём для тестовой выборки процент правильных классификаций составил 94,31. Трёх- и четырёхслойные сети за сопоставимое время обучения не смогли преодолеть порог случайного «угадывания».

Полученный результат согласуется с представлениями о специфичности ЗМВП к модулируемым локальным признакам изображения, причём число слоёв в модели соотносится с нейрофизиологическими данными. Визуализация результатов обучения поможет в выдвижении гипотез об организации рецептивных полей клеток, реализующих ЗМВП.

Источники и литература

- 1) Chubb C., Sperling G. Drift-balanced random stimuli: a general basis for studying non-Fourier motion perception // Journal of the Optical Society of America A. Optics and Image Science. 1988. No 11 (5). P. 1986–2007.
- 2) Graham N., Wolfson S.S. Is there opponent-orientation coding in the second-order channels of pattern vision? // Vision Res. 2004, Vol. 44, No 27, P. 3145–3175.
- 3) Graham N.V. Beyond multiple pattern analyzers modeled as linear filters (as classical V1 simple cells): useful additions of the last 25 years // Vision Research. 2011. No 13 (51). P. 1397–1430.
- 4) Kingdom F.A., Prins N., Hayes A. Mechanism independence for texture- modulation detection is consistent with a filter-rectify-filter mechanism // Vis. Neurosci. 2003. No 1 (20). P. 65–76.
- 5) Mareschal I., Baker C.L.J. Cortical processing of second-order motion // Vis. Neurosci. 1999. No 3 (16). P. 527–540.
- 6) Prins N., Kingdom F.A.A. Detection and discrimination of texture modulations defined by orientation, spatial frequency, and contrast // J. Opt. Soc. Am. A. 2003. No 3 (20). P. 401–410.
- 7) Schofield A.J., Yates T.A. Interactions between orientation and contrast modulations suggest limited cross-cue linkage // Perception. 2005. No 7 (34). P. 769–792.

- 8) Шебакпольский М.Ф. Конспект лекций по дисциплине «Нейрокомпьютерные системы»: <https://pandia.ru/text/78/324/45530.php>