

УДК: 591.48:004.032.26

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НЕРВНЫХ СИСТЕМ ПРИ СОЗДАНИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ

Султанов Л.В., Брылева С.В., Вершенко М.М.

ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава Российской Федерации — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, направление подготовки «Биология», Россия, Волгоград, e-mail: vladislavovich24@yandex.ru

Аннотация: Технология компьютерных нейросетей и искусственного интеллекта всё сильнее проникает в нашу жизнь. Скоро не останется сфер человеческой деятельности, в которой нельзя было бы её использовать. Но желание полномасштабного развёртывания этой технологии упирается в недостаточное понимание фундаментальных принципов работы нейронных сетей. Лучшим способом преодоления этой преграды является изучение работы биологических нейросетей. Однако далеко не всякий объект подходит для такого рода исследований. В данной работе мы рассмотрим ключевые модели, используемые в работах, направленных на изучение работы нейронных сетей, от круглых червей до человека.

Ключевые слова: нервная система, нейросеть, модель, коннектом, нейрон.

SIMULATION OF THE WORK OF NERVOUS SYSTEMS IN THE CREATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Sultanov L.V., Bryleva S.V., Vershenko M.M.

FSBEI HE VolgSMU Of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Medical University» Of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, direction of preparation «Biology», Russia, Volgograd, email: vladislavovich24@yandex.ru

Abstract: The technology of computer neural networks and artificial intelligence is increasingly penetrating into our lives. Soon there will be no spheres of human activity in which it would be impossible to use it. But the desire for a full-scale deployment of this technology rests on a lack of understanding of the fundamental principles of neural networks. The best way to overcome this obstacle is to study the work of biological neural networks. However, not every object is suitable for this kind of research. In this paper, we will consider the key models used in studies aimed at studying the work of neural networks, from roundworms to humans.

Keywords: nervous system, neural network, model, connectome, neuron.

Введение

Искусственные нейронные сети (НС) — совокупность моделей биологических нейронных сетей. Представляют собой сеть элементов — искусственных нейронов — связанных между собой синаптическими соединениями. Сеть обрабатывает входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формирует совокупность выходных сигналов.

Нейронные сети позволяют решать самые разные задачи:

1. Изучение организации нервной системы человека и животных, в частности таких процессов и явлений как память, обработка сигналов от органов чувств, моторика.

2. Различные методы обработки информации:

- а) нелинейная аппроксимация многомерных функций;
- б) прогнозирование мультипараметрических процессов;
- в) классификация и систематизация массивов данных
- г) распознавание образов;
- д) ассоциативный поиск информации
- е) поиск закономерностей в массивах данных.

В перспективе нейросети должны помочь понять принципы, на которых построены высшие функции нервной системы: сознание, эмоции, мышление.

Основные свойства биологических нейросетей:

1. Параллельность обработки информации: каждый нейрон формирует выходной сигнал только на основе входящей в него информации и собственного внутреннего состояния под воздействием общих механизмов регуляции нервной системы.
2. Самоорганизация: в процессе работы биологические нейронные сети самостоятельно, под воздействием внешней среды, обучаются решению разнообразных задач.
3. Самоусложнение — стремление нейронных систем постепенно усложнить и масштабировать свою структуру.
4. Аналоговый принцип кодирования информации: вид информации определяется номером нервного волокна, по которому она передается, а амплитуда входного воздействия — плотностью нервных импульсов, передаваемых по волокну.
5. Надежность: выход из строя даже 10% нейронов в нервной системе не прерывает ее работы.

Основные отличия параллельных систем (нейросетей) от обычных компьютеров:

1. Тирания межсоединений. Каждый процессор в параллельной системе связан с большим количеством других. Количество связей занимает намного больший объем, чем сами процессоры. Такая плотность связей не реализуется в обычных интегральных схемах.
2. Трехмерность структуры связей между процессорами. Существуют различные типы связности процессоров в параллельной системе. Обычно требуются трехмерные связи. Технологически такие связи тоже пока невыполнимы.
3. Сложность программирования. Пока не создано единых способов программирования параллельных ЭВМ и средств для написания программ.

Основной областью исследований по искусственному интеллекту в 60-е — 80-е годы были экспертные системы. Такие системы основывались на высокоуровневом моделировании процесса мышления (в частности, на представлении, что процесс нашего мышления построен на манипуляциях с символами). Скоро стало ясно, что подобные системы, хотя и могут принести пользу в некоторых областях, не ухватывают некоторые ключевые аспекты человеческого интеллекта. Согласно одной из точек зрения, причина этого состоит в том, что они не в состоянии воспроизвести структуру мозга. Чтобы создать искусственный интеллект, необходимо построить систему с похожей архитектурой. Поэтому возникла потребность в изучении и моделировании нервных систем. Мозг человека – имеет очень сложную структуру и в какой-то момент учёным стало ясно, что моделирование работы человеческого мозга – непосильная задача на сегодняшний день. Поэтому они обратились к более простым моделям [1].

Нематода *Caenorhabditis elegans*

Одной из первых моделей стала нематода *Caenorhabditis elegans*. Она является самым простым организмом, обладающим нервной системой. Одним из важнейших свойств этого организма является строгая консервативность числа клеток. У взрослой нематоды - гермафродита 959 клеток, у самцов — 1031 клетка. Более того количественное соотношение разных типов клеток также сохраняется внутри этого вида. Согласно подсчетам клеток нематоды, у взрослой особи *C. elegans* 302 нейрона. Такое небольшое их количество прельщало исследователей с самого начала. Первая попытка реконструировать коннектом была предпринята под руководством Сиднея Бреннера еще в 1975 году, но тогда он сосредоточился только на 58 нейронах в голове нематоды. В 1986 году его группа опубликовала почти полную карту связей нейронов *C. Elegans*. В 2011 году уже другая группа ученых опубликовала еще более детальную версию коннектома нематоды и

предложила более удобные способы анализа и визуализации таких данных. На сегодняшний день известно, что коннектом нематоды включает в себя 302 нейрона 118 подтипов, 6393 химических, 890 электрических и 1410 нейромышечных синапсов. Эти знания делают *C. elegans* удобным объектом для нейротоксикологических исследований, а также для изучения механизмов управления движениями, передачи сигналов по нейронной сети, хемотаксиса и т.п. *C. elegans* исследовали с точки зрения поведения и генетики привыкания, использования долговременной и короткой памяти для обучения, а также нейронных и молекулярных механизмов поведения. *C. elegans* является важной моделью для понимания патофизиологии и молекулярных механизмов нейродегенеративных заболеваний, таких как болезни Альцгеймера и Паркинсона.

До 2018 года *C. elegans* оставалась единственным организмом, имеющим полностью воссозданный коннектом [2, 3].

Drosophila melanogaster

Одной из проблематик является обучение искусственных нейросетей. В живой природе нет существ, которые при появлении на свет имели бы «чистую» нервную систему и им бы приходилось адаптироваться к среде, используя некий универсальный алгоритм обучения с нуля. Нервная система простейших животных уже содержит все рефлексы и инструкции необходимые для жизни в традиционной для них среде. Возможности их адаптации к изменениям внешних условий очень ограничены.

В машинном обучении укоренились термины обучение без учителя и обучение с учителем. Обучение без учителя – это обучение по неразмеченным данным, или примерам. А обучение с учителем это обычно обучение по некоторым размеченным данным, обучение на примерах при котором результат регулируется и корректируется некоторым внешним механизмом с учётом этой самой разметки. В живой природе нет примеров обучения без учителя, т.к. базовые программы заложены в нервной системе нового организма изначально.

Для того чтобы разобраться в принципах обучения нейронных сетей в качестве модельного объекта была использована плодовая мушка дрозофила. В частности было подробно изучено устройство и работа её обонятельного анализатора.

Обонятельный анализатор состоит из нескольких слоёв нейронов. 1. Первый слой образуют обонятельные рецепторы в количестве около 50. Их функция заключается в непосредственной реакции на концентрацию тех или иных химических маркеров. Каждый рецептор отвечает за свой тип химических маркеров.

2. Второй слой называется дублирующий. Число нейронов в нём равно числу нейронов в первом слое. Его функция незначительные преобразования сигнала от рецепторов и передача сигнала далее по цепи.

3. Следующий слой представляет собой нервные ганглии размером около 2000 нейронов. Эти нейроны называются нейроны Кеньона. Каждый ганглий связан с 10% от всех нейронов дублирующего слоя (около 5).

4. Замыкает цепь обратная ингибирующая система. Её функцией является подавление излишней активности ганглиев таким образом, чтобы в работе участвовало не более 5% их нейронов (около 100).

Каждый запах представляет собой комбинацию из различных химических маркеров. Эта комбинация обуславливает комбинацию активируемых рецепторов. Эта же комбинация передаётся на дублирующий слой и затем на нейроны Кеньона. Совокупное сочетание всех связей, задействованных в реакции на данный запах формирует 4 группы конечных сигналов:

- 1) Источник пищи
- 2) Партнёр для размножения
- 3) Опасность
- 4) Нейтральный запах

Эти группы запахов заложены на генетическом уровне. Все запахи, встречающиеся мухе в течение жизни определяются в одну из этих групп.

Комбинации связей между этими слоями нейронов формируют 4 группы конечных сигналов:

- 1) Притягательный питательный, сладкий или гнилостный запах плодов, обозначающий источник пищи, а также места, где можно отложить личинки (плодовые мухи откладывают личинки в плоды растений);
- 2) Отталкивающий, опасные запахи ядов, токсинов или дыма. Однозначная реакция на эти запахи – бежать, избегать;
- 3) Притягательный связанный с размножением. Любовь и размножение у мух регулируются запахами и важно различать притягательность, связанную с размножением от притягательности связанной с питанием;

4) Нейтральные запахи, это очень важный класс запахов. В жизни мухи их будет очень много и желательно на них никак не реагировать, а то не останется времени на еду и размножение.

Стоит отметить, что связи между нейронами сильно отличаются у разных особей, благодаря чему в популяции формируется большое разнообразие по известным запахам и по их группировке. Это с одной стороны повышает выживаемость популяции, а с другой стимулирует механизмы естественного отбора.

В 2018 году был реконструирован полный коннектом дрозофилы. Он включает в себя более 100 000 нейронов [4].

Осьминоги

Интересным модельным объектом в области искусственного интеллекта являются головоногие моллюски, в частности осьминоги. Они обладают распределенным интеллектом. В отличие от человека, у которого за деятельность организма отвечает один мозг, у осьминога есть еще пучки нервов в каждом щупальце, которые действуют относительно автономно.

Мозг осьминога служит центральным пультом управления, так что если одна конечность захочет двинуться в каком-то направлении — предположим, там есть еда, — мозг отдает команду остальным щупальцам двигаться вслед. Этот принцип работы внедряется в робототехнику, в частности в военной отрасли [5].

Человек

Разумеется, наиболее интересным и наиболее сложным объектом является человек. На сегодняшний день наука признаёт, что мозг устроен настолько сложно, что мы на сегодняшний день не в состоянии понять законов, по которым он работает. Одним из факторов, создающих такую сложность, является парадоксом эффективности нейрона. Оно заключается в том, что с увеличением и усложнением нервной системы эффективность или роль отдельного нейрона в этой системе падает [6]. В 2013 году в Женеве (Швейцария) был основан научно-исследовательский проект The Human Brain Project (HBP). HBP ставит своей глобальной задачей понимание работы головного мозга человека (и грызунов).

Проект включает в себя 12 подпроектов, направленных на получение данных о работе мозга мышей и человека, их сравнение, создание математических инструментов моделирования работы мозга, обработку и систематизацию данных полученных в ходе реализации проекта,

разработку новых компьютерных и роботизированных систем на основе знаний о работе мозга, разработку биоэтических и юридических норм, необходимость в которых будет возникать по мере внедрения тех или иных технологий и множество других более мелких задач [7, 8].

Заключение

Технологии моделирования нервных систем являются очень многообещающей отраслью науки. Но на данный момент существуют фундаментальные преграды, представляющие сложность для полномасштабного внедрения этих технологий в практику. Срок действия контракта о сотрудничестве и финансировании в рамках Human Brain Project истечёт в 2023 году, а значит уже скоро состоится подведение итогов работы и, возможно, мы станем свидетелями наступления новой эры нейротехнологий.

Литературные источники

1. И. В. Заенцев Нейронные сети основные модели / И. В. Заенцев, 76 с.
2. Слащева М. Модельные организмы: нематода // Биомолекула [Электронный ресурс]. URL: <https://biomolecula.ru/articles/modelnye-organizmy-nematoda> (дата обращения: 15.01.2023).
3. Gajdaj E. [и др.]. Caenorhabditis Elegans As A Model Object For Biomedical Studies // Laboratornye Zhivotnye dlya nauchnykh issledovaniy (Laboratory Animals for Science). 2018. № 4 (1).
4. Обучение живых и «биологичная» нейронная сеть / Хабр [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/562908/> (дата обращения: 15.01.2023).
5. Созданы роботы, мыслящие как осьминог [Электронный ресурс]. URL: <https://hightech.fm/2016/03/29/octopus-ai-robots> (дата обращения: 15.01.2023).
6. Сравнение мозга с нейронной сетью / Хабр [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/507420/> (дата обращения: 15.01.2023).
7. Human Brain Project [Электронный ресурс]. URL: <https://www.humanbrainproject.eu/en/> (дата обращения: 15.01.2023).
8. The Human Brain Project: Вы спрашивали – мы отвечаем / Хабр [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/214123/> (дата обращения: 15.01.2023).