

## НОВАЯ ЭРА НЕЙРОМОРФНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Буквально год назад мне было интересно то, как работает мозг человека поэтому начал с помощью искусственного интеллекта сравнивать биологические элементы мозга с электронными. И как выяснилось есть очень много общих элементов схожих по принципу своей работы.

Например, нейроны мозга можно сравнить с электронными транзисторами, они по принципу работы выполняют те же функции что и нейроны в мозге человека. То есть, по сути это как процессор, который состоит из миллиарда транзисторов, но работает в компьютере как отдельная часть, которая установлена на материнскую плату, которая соединяет его с RAM памятью и хранилищем данных HDD или SSD. Но меня больше начало интересовать что же тогда схоже и является RAM – оперативной памятью и SSD – памятью, как в мозге человека. И как позже выяснилось после анализа и поиска данных, это были - синапсы. Но мозг — это плотное единое вещество, в котором нейроны и синапсы работают в паре, то есть - это не отдельные независимые компоненты, а тесно связанная пара. Нейрон получает сигналы через множество синапсов, каждый синапс имеет свою "силу" (проводимость), которая влияет на то, насколько сильно входящий сигнал повлияет на нейрон, после чего нейрон интегрирует все эти взвешенные сигналы и "решает" стрелять или нет. Когда нейрон стреляет, это влияет обратно на синапсы - поэтому они могут усиливаться или ослабевать.

После мне пришла в голову мысль о том, что если нейроны – как транзистор, то какой единый электронный элемент может быть похож на синапс. Я снова начал рыться и искать информацию после чего нашел единый пассивный электронный элемент. В электронной классификации он описывается как четвёртый базовый пассивный элемент в электронике (наряду с резистором, конденсатором и индуктивностью), предложенный в 1971 году Леоном Чуа. Им оказался - Мемристор (от англ. **memristor** — **memory resistor**) то есть: Мемристор — это элемент, сопротивление которого зависит от истории прохождения тока, то есть он «запоминает» своё состояние даже при отключении питания. По сути заменяет RAM и SSD если его объединить в пару как нейрон с синапсом, только транзистор с мемристором. Так как мемристор запоминает предыдущее состояние (как флеш-память). В данный момент используется в перспективных технологиях: нейроморфные системы, энергосберегающая память. Впервые реализован физически не так давно, впервые в 2008 году (**Hewlett-Packard Labs**).

То есть, когда формируется один нейроморфный чип или процессор, нужда в оперативной и основной памяти отпадает. По сути если коробка самого мощного компьютера была размером с обычный системный блок, то, когда реализуется данная технология и начнет внедряться везде в электронику, самый мощный компьютер буде не больше по размерам чем ваш смартфон или ещё меньше. Именно поэтому современные разработчики создают гибридные архитектуры, где: Транзисторные схемы имитируют интегрирующую функцию нейрона, а Мемристоры хранят синаптические веса и обеспечивают пластиичность. Они работают в тесной связке, как в биологическом мозге. Такие системы как Intel Loihi или IBM TrueNorth как раз и реализуют эту концепцию - каждый искусственный нейрон соединен с другими через программируемые синоптические связи, где изменение "силы" связи влияет на поведение всей сети. Мемристоры хранят и обрабатывают информацию в одном и том же месте — то есть, нет разделения, как в классических компьютерах (**процессор ↔ RAM ↔ диск**). Это устраняет узкое горлышко фон-неймановской архитектуры. Мемристор удерживает состояние процесса без питания — заменяя как RAM, так и SSD/HDD. Мемристорные матрицы работают одновременно по всему полю, как мозг. Что невозможно реализовать практически на классической архитектуре, где операции идут последовательно или с ограниченным параллелизмом. Принцип нейроморфной системы реализуется **1T1R** — один транзистор + один мемристор или **2T1R** — два транзистора + один мемристор. Транзистор управляет током, предотвращая нежелательные утечки и помехи, Мемристор хранит информацию (аналог веса в нейронной сети). В связке получается управляемый, устойчивый и обучаемый узел, пригодный для нейроподобных вычислений, аналогичных тем который реализуются в мозге человека, но без погрешности и потери удерживаемой информации. Именно тандем "транзистор + мемристор" приближает нас к созданию искусственного мозга, способного к ассоциативному мышлению, памяти и обучению. Поэтому мне так же стало интересным, то как программировать такую технологию, и с этим вопросом мне пришлось обратится к искусственному интеллекту, после чего он дал ответ о том: - Что именно тут начинается революция в программировании. То есть, классический код (на C+, Python, Java и пр.) больше не управляет напрямую таким процессором. Вместо обычных инструкций нужна новая парадигма. Нейроподобное программирование в которое не пишется код в привычном виде. Вместо

этого: обучаются веса (сопротивления мемристоров), как в нейросетях. То есть управление — через данные и обучение, а не кодовый алгоритмы. Среди типа "spiking neural networks" (SNN), где начинают использоваться импульсные сигналы, как в настоящем мозге. Управление идёт через "спайки" (всплески напряжения) — не кодом, а паттернами сигналов, с помощью аппаратного описания (HDL). Где на этапе проектирования: используется Verilog, VHDL — для описания логики чипа. Но уже в готовом чипе — всё работает через обучение, а не исполнение строк кода.

Пример "кода" для такого чипа:

Это будет не if/else, а, например: Подключение к массиву входов, Подготовка обучающего набора, Запуск обучения (через импульсы), Проверка результата — как на нейросети. То есть придется программировать искусственный мозг на мемристорах — не с помощью кодирования, а обучения. Вы не даёте инструкции — а формируете поведение процессов через реальный опыт. После чего мне стало понятно, что для чтобы заложить чистый исходный алгоритма обучения, для такого процессора или электронного мозга, потребуется **«искусственный анализатор восприятия»**, как у человека, основанный на восприятии 6 чувств. Традиционно говорят о пяти чувствах - зрение, слух, обоняние, вкус и осязание. Но на самом деле у человека гораздо больше сенсорных систем! Как по мне и на мой взгляд их 6, шестое это ментально чувство, зависящее от внутренних переживаний зависящее от самочувствия и настроения то, что действительно может быть отдельной сенсорной модальностью - внутренне эмоциональное и ментальное восприятие. Чувство, которое мы интуитивно ощущаем, но которое сложно описать в терминах классической физиологии. Мне пришлось прийти к этому выводу по тому, что в 2017 году разрабатывал концепцию, для устройства – «Искусственного Анализатора Восприятия (ИАВ)», из-за отсутствия востребования и финансирования проект был свернут и прекращён. Но на самом деле современная наука не останавливается и выделяет сейчас около 20+ чувств.

Поэтому нейроморфные процессоры открывают революционные возможности в различных сферах благодаря своей энергоэффективности и способности к адаптивному обучению. Это основные области их применения:

## **Edge Computing и IoT устройства**

Низкое энергопотребление нейроморфных архитектур может помочь с проблемой короткого времени работы батареи устройств, таких как смартфоны и носимые устройства, а их адаптивность и событийно-ориентированная природа подходят для методов обработки информации удаленных датчиков, дронов и других устройств Интернет вещей. Становится возможна обработка больших данных на конечных устройствах без необходимости дополнительных вычислительных мощностей Нейроморфные вычисления — новое мышление РИИ.

## **Автономная робототехника**

Нейроморфные процессоры уже используются в различных областях, включая сенсорику, робототехнику, здравоохранение и крупномасштабные приложения ИИ. ИИ-приложения в автономных транспортных средствах, умных домах, персональной робототехнике и космических исследованиях полагаются на быстрые вычисления Creating Futuristic Edge Systems with Neuromorphic Computing, что делает нейроморфные системы идеальными для таких задач.

## **Медицина и здравоохранение**

Благодаря обширным возможностям параллельной обработки, нейроморфные вычисления могут использоваться в приложениях машинного обучения для распознавания паттернов в естественном языке и речи, анализа медицинских изображений и обработки сигналов изображений от фМРТ мозга. В области умных носимых устройств, достигается лучшее время работы батареи и более точный мониторинг здоровья через продвинутые датчики Neuromorphic Computing. Но с другой стороны такие технологии могут быть использованы во вред, при получении неконтролируемого доступа к таким технологиям, манипулируя человеком и его сознанием. Даже сейчас это возможно, если нелегально использовать, например, такую технологию как Wi-Fi Sensing достаточно расположить несколько датчиков в квартире человека или использовать программу через домашний Wi-Fi. Хотя в перспективе такая технология применяется, в нормальных условиях для конфиденциального присмотра за престарелыми людьми.

## **Умные города и транспорт**

Нейроморфные системы способствуют инновациям в электронном здравоохранении, науке, образовании, транспорте, планировании умных городов и метавселенной Neuromorphic Computing: Cutting-Edge Advances and Future Directions. Они особенно эффективны для систем реального времени, требующих быстрого принятия решений.

## **Коммуникационные технологии**

Нейроморфные подходы значительно улучшают обработку сигналов и оптимизацию сети в коммуникационных технологиях, особенно в спутниковой связи и IoT Neuromorphic Computing.

## **Intel - Loihi / Loihi 2**

Intel Lab's новый чип Loihi 2 превосходит своего предшественника до 10 раз и поставляется с открытым сообществом-ориентированным фреймворком нейроморфных вычислений под названием Lava. На пути к искусственному мозгу: создан новый нейроморфный чип. Чип Loihi 2 на высоком уровне: 128 нейроморфных ядер, но теперь каждое ядро имеет в 8 раз больше нейронов и синапсов. Каждое из этих 128 ядер имеет 192 КБ гибкой памяти. Нейроморфный процессор из Индии перемножает матрицы в сотни раз эффективнее графических чипов.

**Система Hala Point** - Intel называет эту новую систему Hala Point, и это крупный прорыв по сравнению с нейроморфной чип-системой первого поколения компании, называемой Pohoiki Springs, обеспечивающей в 10 раз больше нейронной емкости и до 12 раз более высокую производительность. Нейроморфные вычисления — новое мышление ИИ. Системы на базе Loihi могут выполнять AI-инференс и решать оптимизационные задачи, используя в 100 раз меньше энергии при скоростях до 50 раз быстрее, чем обычные CPU и GPU архитектуры

## **Нейроморфные процессоры.**

## **IBM - TrueNorth**

IBM решила попытаться эмулировать мозг с TrueNorth, 4096-ядерным чипом, упаковывающим 1 миллион нейронов и 256 миллионов синапсов Creating Futuristic Edge Systems with Neuromorphic Computing. Новейший IBM нейросинаптический компьютерный чип, называемый TrueNorth, состоит из 1 миллиона программируемых нейронов и 256 миллионов программируемых синапсов, передающих сигналы между цифровыми нейронами.

**TrueNorth** - это 5,4 миллиарда транзисторный, 4096-ядерный, 1М нейронный, 256M синаптический нейросинаптический чип, реализованный в 28нм технологии. Благодаря смешанному асинхронно-синхронному дизайну и кастомному инструментальному потоку, он достигает 58GSOPS и 400GSOPS/W эффективности при работе нейронных сетей в режиме реального времени на 65мВт Neuromorphic computing: The future of AI and beyond - Atos.

## **SpiNNaker 1** (Великобритания, Университет Манчестер)

Часть Human Brain Project. Как архитектуры BrainScaleS, так и SpiNNaker будут обсуждаться во время веб-семинара 22 марта который проходил в 2023. Вместе системы, расположенные в Гейдельберге и Манчестере, составляют "Платформу нейроморфных вычислений" проекта Human Brain Project Neuromorphic Computing and Engineering with AI. И это было доступно уже в 2024 году Optimizing embedded edge AI with neuromorphic computing – Embedded. **SpiNNaker 2** - это уже новый проект, который разрабатывается в Дрезденском техническом университете, Германия. Это не просто продолжение британского проекта, а его отдельная разработка.

## **BrainScaleS** (Германия, Гейдельберг)

Также часть European Human Brain Project, работает в tandemе с SpiNNaker2 как единая нейроморфная платформа для исследований.

## **Китайский вклад**

**Tianjic** основан на 156-ядерной архитектуре с локализованной памятью и упрощенным потоком данных, который может использоваться для симуляции 40,000 нейронов и 10 миллионов синапсов. Чип поддерживает как искусственные нейроны, так и спайковые нейроны.

## **Ключевые Американские достижения**

**Intel Loihi 2** - самый передовой коммерческий нейроморфный процессор с открытым фреймворком Lava и системой Hala Point для масштабных исследований.

**IBM TrueNorth** - пионер в области цифровых нейроморфных архитектур с впечатляющей энергоэффективностью.

**Европейские проекты** - фокусируются на крупномасштабном моделировании мозга и фундаментальных исследованиях нейроморфных принципов.

## **Российские разработки**

Исследования нейроморфных систем в России к 2024 году находятся на высоком уровне, сопоставимом с международным Нейроморфные процессоры. Компания «Мотив НТ» из Новосибирска разрабатывает системы технического зрения и аппаратные решения для их работы, выложив open-source код для создания, обучения и использования импульсных нейросетей - Российский нейроморфный процессор.

## **Будущие перспективы**

В повседневных вычислениях, нейроморфные вычисления могут использоваться совместно с ИИ для автоматизации простых задач, таких как объединение PDF-документов, создание резюме, ведение заметок совещаний и многое другое - все это с молниеносной скоростью без воздействия на вычислительную мощность устройства Optimizing embedded edge AI with neuromorphic computing - Embedded.

Ключевое преимущество нейроморфных процессоров - их способность обучаться и адаптироваться в реальном времени при минимальном энергопотреблении, открывает путь к созданию реальности интеллектуальных автономных систем.

Говоря простым языком если вашего смартфона при активном использовании с аккумулятором 5000 мАм хватает на 1-2 дня, то после внедрения нейроморфных технологий в ваш смартфон продлит этот активный режим работы до 20 дней. Сокращение интернет трафика существенно сократится, за счет учета ваших потребностей и их прогнозирования. При этом у вас в телефоне будет полноценный и автономный искусственный интеллект в виде персонального ассистента, на уровне реального общения как с человеком, намного превышающий современные языковые модели ИИ. Технология достигнет коммерческой зрелости (ориентировочно 2030 году). Сейчас можно только вообразить какими станут человекоподобные роботизированные машины. Но результат более чем очевиден, позже начнут внедрять соответственно и законы обращения с человекоподобными андроидами, так как отношение к ним должно будет быть равным уровню человека, иначе понимание агрессии и реальности пойдет против человечества или отдельных лиц. Так как они уже не просто будут играть с вами по заученным паттернам, а действительно "планировать" стратегию, оценивая позиции, принимая решения в реальном времени.

**RAI – Real Artificial Intelligence** (реальный искусственный интеллект). Это неофициальный термин, который обычно используют для подчёркивания, что речь идёт не о симуляции или голосовой модели, а о самостоятельно мыслящей, обучающейся и адаптирующейся системе, максимально приближённой к человеческому мышлению.

**Автор статьи © Артур Геннадьевич Довгуль, 28.07.2025, FR**