



Усенков Дмитрий Юрьевич

## НЕЙРОКОМПЬЮТИКА

*С годами мозг мыслителя искусный  
Мыслителя искусственно создаст*

*Гёте*

«Нейрокомпьютеры – принципиально новое направление вычислительной техники, способное совершить переворот в современной цивилизации!» Такие или почти такие фразы ныне нередко можно прочитывать в различных научно-популярных изданиях. Что же такое нейрокомпьютеры, в чем их революционность по сравнению с существующими вычислительными машинами?

### **«ПОЙДИ ТУДА НЕ ЗНАЮ КУДА, НАЙДИ ТО НЕ ЗНАЮ ЧТО»**

Для начала выясним, чем «не устраивают» нас обычные компьютеры? Оказывается, при всей универсальности любой нынешней ПЭВМ, существует целый класс задач, которые им «не по зубам» или во всяком случае решаются на них крайне не рационально. Главная причина – сама конструкция ПЭВМ: как вы, наверное, помните, компьютер представляет собой цифровое вычислительное устройство, способное выполнять некоторый набор арифметических и логических операций исключительно над двоичными числами. Единственный понятный компьютеру «язык» – это нули и единицы, биты и байты. Поэтому, чтобы какая-то задача могла быть решена с его помощью, необходимо, во-первых, формализовать ее (определить в заданном словесном условии, что дано, а что требуется най-

ти), а во-вторых, сообщить компьютеру некоторую последовательность действий, приводящую к получению правильного решения (разработать алгоритм решения и реализовать его в виде программы, причем для этого тоже требуются специальные программы – трансляторы, преобразующие листинг на Бейсике или на Паскале в понятные компьютеру двоичные команды). Но это означает, что любая решаемая с помощью компьютера задача сначала обязательно должна быть решена вручную (ведь иначе откуда стал бы известен алгоритм ее решения), а созданная программа позволит решать только такие же задачи с другими исходными числами. (Конечно, можно создать и «универсальные» алгоритмы для нескольких задач; есть также специальные программы-«решатели» вроде MathCAD, которые могут самостоятельно строить алгоритм по заданным пользователем формулам, но принципиально это дела не меняет: нас лишь избавляют от необходимости программировать, но все равно требуются готовые формулы.) Таким образом, ПЭВМ здесь играет роль только лишь «большого калькулятора».

То же самое можно сказать и о прикладных программах – текстовых и графических редакторах, базах данных и пр. Любая такая программа специализирована для некоторых определенных работ, а обрабатываемая с ее помощью информация долж-

на быть преобразована в цифровой вид (текст – в последовательность кодов символов, рисунок – в последовательность числовых обозначений цветов точек, звук – в последовательность значений громкостей через заданные интервалы времени, и так далее). Так что если «копнуть чуть поглубже», то здесь мы увидим все те же готовые алгоритмы, только в прикладных программах они как бы «скрыты» от пользователя.

Однако существуют и задачи, которые невозможно формализовать (например, как сообщить программе автоматического перевода текста с одного языка на другой правильный смысл слова, которое может иметь несколько различных значений), и задачи, для которых попросту неизвестен способ решения. Вот, например, задача распознавания символов. Пусть у вас есть лист с напечатанным на нем текстом – распечатка на принтере или страница книги, журнала, газеты, и вы хотели бы перенести этот текст в компьютер, чтобы затем с ним работать (скажем, отредактировать и использовать какие-то его фрагменты при написании школьного реферата). Можно, конечно, просто сесть и набрать текст вручную с клавиатуры, но это долго и нудно. Как автоматизировать эту работу? Вы скажете – воспользоваться сканером. Как бы не так: полученное с его помощью оцифрованное изображение текста – это еще не сам текст. Это пока только картинка, которую можно просмотреть на экране, сохранить на диске, распечатать (получится своего рода «ксе-рокопия»), но редактировать ее можно толь-



*...ИЭВМ здесь играет роль только лишь «большого калькулятора».*

ко как картинку – по отдельным точкам, а не по символам. Если же мы захотим загрузить этот текст в текстовый редактор, то сначала нужно, чтобы компьютер «опознал» каждый изображенный символ и сопоставил ему соответствующий код. Одним словом, графическое изображение строки текста должно превратиться в соответствующую ей последовательность кодов составляющих ее символов. Подобная задача и называется задачей распознавания, примеров же можно найти множество: «опознать» в поступающем изображении с установленной на конвейере видеокамеры бракованную деталь среди остальных, соответствующих техническим требованиям, «понять» сказанное в микрофон слово, распознать человека по изображению радужки его глаза или кожного узора на пальцах и пр. Даже в современных компьютерных мышках используется этот принцип – шарик в такой мышке покрыт хаотичным узором из множества точек, а электронная схема все время «осматривает» его при помощи фотодатчиков и определяет направление его вращения, а значит, и направление «катания» мышки. Причем никакая налипшая на шарик грязь ей не помеха: схема все время «адаптируется» к новому получающемуся при этом узору.

Самое же главное, что далеко не всегда заранее известно, чем похожи и чем отличаются распознаваемые объекты. Например, почему «А» и «а» – это одна и та же буква, а «Ш» и «Щ» – разные буквы (точнее, мы то понимаем, что «Ш» и «Щ» отличаются «хвостиком» снизу, но как объяснить это компьютеру, тем более, что написание и размеры букв могут встретиться самые разные)? И таких «неизвестно как» решаемых задач множество – «прогностические» (или, проще говоря, задачи предсказания, скажем, ситуации на валютной бирже), поиска оптимального поведения (например, наилучшего политического решения или наилучшей стратегии сражения, когда требуется оценивать и сравнивать вероятности получаемых в итоге результатов) и множество других, когда оперировать с «точными числами» по однозначному алгоритму невозможно.

У читателя, наверное, готово уже следующее возражение автору: ведь для персональных компьютеров уже существуют и программы распознавания текстов, и автоматические переводчики, и «эвристические» пакеты для анализа рыночной экономики... Да, существуют. Но далеко не всегда они работают оптимально (об этом – чуть позже) и качественно – например, качество автоматического перевода с английского до сих пор составляет «притчу во языцах» среди тех, кому приходится с ними работать. Одним словом, подобные задачи компьютер хотя и худо-бедно решает, но ему еще очень далеко до... ну хотя бы до нас с вами, ведь и задачи распознавания, и задачи поиска оптимального поведения, и даже задачи прогностические каждый из нас, даже сам того не замечая, решает по многу раз на дню.

### В ПОИСКАХ ИНТУИЦИИ

Попадают иногда такие задачи – «с хитринкой», где нужно не просто вычислить ответ по известной формуле, а догадаться поискать решение в, казалось бы, совершенно не относящейся к делу области. В изобретательстве, например, почти всегда требуется эта, иногда простая, а иногда гениальная, догадка – ведь очевидное и уже известное техническое решение – это не изобретение! То же касается и открытий: чтобы совершить открытие, исследователь должен не только догадаться, где именно его искать, но и увидеть что-то новое среди всего наблюдавшегося ранее. Но откуда берется догадка?

Если верить самим изобретателям, обычно изобретение делается так: перед изобретателем ставится какая-то техническая задача, решить которую обычными способами не удастся. Изобретатель пытается что-то придумать, пробует подступиться и так и эдак (иной раз достаточно долго), наконец, устав от бесплодных исканий, решает немного отдохнуть, и во время отдыха – на прогулке или даже во сне – готовое решение как бы «всплывает» в сознании, как будто «подсказанное» кем-то извне. Интуиция, инсайт, озарение – можно ли научить

этому компьютер, если мы сами еще не до конца представляем себе, что такое интуиция? Можно лишь предположить, что «инсайт» заключается в способности правого полушария мозга, которое, в отличие от «абстрактно-логического» левого, ведает образным мышлением, устанавливать новые ассоциативные связи – «похожести», на первый взгляд, в принципиально разных объектах. (Причем главный источник ассоциаций – это мельчайшие детали явлений и процессов, даже те, которые, как кажется, совершенно не относятся к рассматриваемой проблеме.)

Яркий пример того, что такое ассоциативные связи, можно найти в фантастической повести С. Павлова «Лунная радуга». Расследуются причины получения несколькими космодесантниками странных, необъяснимых, «нечеловеческих» качеств – умения чувствовать электрические поля, менять молекулярную структуру вещей, скажем, превращая обыкновенную деревяшку в телеприемник, производить двойников из неизвестной серебристой субстанции, нарушать прозрачность телеэкранов, оставляя пугающие «черные следы»... Перед компьютером ставится задача – найти и вывести на экран маршрут ежегодных туристических поездок во время отпуска одного из подозреваемых. И вдруг компьютер выдает на экран список, где каждому городу соответствует фамилия: после недолгого удивления следователи выясняют, что это сработал имеющийся в компьютере «блок ассоциаций» – машина обнаружила, что подозреваемый посещал города, в которых родились его бывшие друзья – погибшие космодесантники...

Но это – в фантастике. Возможно ли создать «искусственный мозг» в реальности?

### НЕМНОГО «ПРЕДЫСТОРИИ»

Первые попытки разработать устройство, способное распознавать образы, относятся к 60-м гг. уже прошедшего XX века. Перцептрон – так назывался прибор, созданный Ф. Розенблотом, от английского слова *perception* – восприятие, познание, понимание. «Классический» перцептрон представляет собой матрицу фотодатчиков, совер-

шенно хаотичным образом соединенных с усилителями, коэффициенты усиления которых могут меняться произвольным образом, а усиленные сигналы затем суммируются (вычисление так называемой «взвешенной суммы»:  $a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n$ ).

Далее результат суммирования сравнивается с некоторым пороговым значением: если он больше порога – ответ перцептрона «символ опознан». Когда речь идет о распознавании символов из некоторого предложенного набора, то усилителей, сумматоров и пороговых устройств тоже надо предусмотреть несколько, по одному «каналу» на каждый возможный символ. Заметим особо, что соединения фотодатчиков с усилителями совершенно хаотичны, фактически здесь нет речи ни о какой принципиальной схеме как таковой, и чем больше этих соединений, чем они случайнее, тем лучше будет работать перцептрон. Точно так же случайным образом задаются изначальные значения коэффициентов усиления. Затем на матрицу фотодатчиков проецируется изображение символа (пусть это будет буква «А»). Первый полученный ответ устройства, скорее всего, окажется неправильным, тогда оператор, работающий с перцептроном, уменьшает коэффициенты усиления для тех сигналов, которые «внесли наибольший вклад» в принятие неверного решения, и снова предъявляет устройству тот же символ. Очевидно, что рано или поздно все «мешающие» сигналы будут уменьшены настолько, что перцептрон выдаст правильный ответ, тогда ему предъявляют для опознания другой образец буквы «А» (другого размера или начертания) и

вновь добиваются правильного ответа. Когда перцептрон «научится» уверенно распознавать эту букву в любых ее видах (вернее, во всех видах, которые ему предлагались), на фотодатчики проецируют следующую букву (пусть это будет «Б») и добиваются уверенного ее распознавания и отличения от «А» во всех предлагаемых вариантах написания. И так далее, пока перцептрон не будет «обучен» распознавать и отличать друг от друга все нужные буквы.

Если сравнить перцептрон с компьютером, то проявляется два его удивительных свойства. Во-первых, изначально мы не закладываем в него никаких критериев распознавания букв и тем более алгоритмов – ни в виде программы, ни схемотехнически; более того, мы можем даже и не знать этих критериев. Наоборот, делая схему хаотичной, мы стараемся не закладывать в него изначально вообще никакой предварительной информации! И во-вторых, перцептрон необходимо долго «обучать» решению интересующей нас задачи на примерах – образцах, только в отличие от школьника, уже обученный перцептрон можно «растиражировать» в нужном количестве экземпляров, зная получившиеся в результате его «обучения» значения коэффициентов усиления. Причем чем дольше и тщательнее проводится «обучение», тем меньше ошибок будет допускать перцептрон в дальнейшей работе, а если ему встретится образец буквы, с которым он еще «не знаком», то для правильной работы устройство, возможно, потребует «дообучить». Фактически здесь алгоритм решения задачи рождается в процессе «обучения»!

Правда, дальнейшая «судьба» перцептрона складывалась не слишком «счастливо». С появлением компьютеров – «универсальных решателей», требующих вместо обучения гораздо более быстрое написание программы, – перцептроны оказались забытыми, и статьи о них сегодня можно отыскать только в старых выпусках журналов и в не менее старых книгах.

А почему же мы вспомнили о них сейчас? – спросит, может быть, кто-то из читателей. Дело в том, что, по предположе-



*...перцептрон необходимо  
долго «обучать»...*

ниям (по большей части подтвержденным экспериментально) ученых, нервные клетки мозга – нейроны функционируют практически аналогично. Известно, что нервные импульсы, поступающие в нейрон, в отличие от сигналов, «циркулирующих» в недрах компьютера и допускающих только два возможных значения – 0 или 1, могут иметь произвольную величину от минимального до максимально возможного значения. Известно и то, что нейрон «занимается» суммированием поступивших величин сигналов, предварительно умноженных на некоторые коэффициенты (которые могут меняться и в том числе быть отрицательными). Фактически это те же действия по вычислению «взвешенной суммы», что и для перцептрона! И точно так же полученное результирующее значение в обоих случаях сравнивается затем с некоторым «пороговым». Так что наш «старый знакомец» перцептрон фактически был первой попыткой создания «искусственного мозга», предшественником современных нейрокомпьютеров!

### МНОГОЛИКИЕ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ

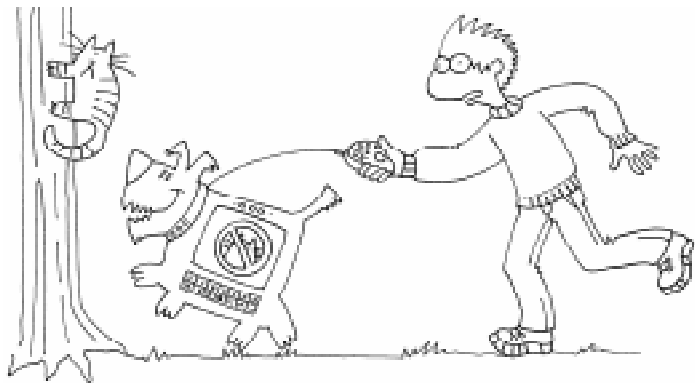
И действительно, в любом современном нейрокомпьютере – «искусственном мозге» – можно отыскать «спрятанный» в нем перцептрон, только более сложный и построенный на другой элементной базе. Нейрокомпьютер может быть и «виртуальным» – реализованным в виде программы для «обычного» персонального компьютера, имитирующей работу нейронной сети. (Помнится, десяток лет назад в журнале «Байтик» №2 за 1991 год даже предлагалось самостоятельно поэкспериментировать с «любительским» нейрокомпьютером под названием «Эмбрион», и приводилась программа для отечественного бытового компьютера БК-0010.)

Следует, однако же, заметить, что в отличие от своего «прадедушки», нынешние нейрокомпьютеры дополнены еще одним важным свойством – «памятью»: сигнал с выхода устройства может

быть запомнен (или же пропущен через линию задержки) и снова подан на его вход. Благодаря этому, нейрокомпьютер может при решении поставленной задачи учитывать предыдущие результаты. Если же рассматривать это устройство как «модель живого существа», то данное свойство позволяет реализовать в этой модели некоторый набор «условных рефлексов» на предъявляемые данные.

Какие же преимущества предоставляет нейрокомпьютер по сравнению с «обычным»?

Прежде всего это решение тех самых упоминавшихся ранее «неформализуемых» задач, «плохо поставленных» (это не образное выражение, а самый настоящий технический термин!), «с нечеткими условиями», задач, где не известен заранее способ решения, а также задач «вероятностного» характера. Фактически же все эти задачи так или иначе связаны с поиском ассоциаций, а нейрокомпьютер можно считать в какой-то мере наделенным интуицией, почти «граничащей с гениальностью»: нейрокомпьютер подчас может найти решение таких задач, к которым не знаешь как подступиться; первоначально даже не всегда удается понять, в чем заключается смысл этого решения, но, проанализировав полученную структуру «искусственной нейросети» (в частности, значения все тех же коэффициентов усиления сигналов), исследователь может получить в свое распоряжение и искомый алгоритм решения задачи. То есть нейрокомпьютер выступает уже не как «простой решатель», а как инструмент исследования.



...набор «условных рефлексов» на предъявляемые данные

Удобен нейрокомпьютер и как устройство управления – от сложных производственных процессов до полета самолетов и вертолетов, где на нейрокомпьютер возложена ответственная задача определения текущего режима по множеству поступающих с различных датчиков значений параметров и выбора оптимальных в данной ситуации дальнейших действий (и здесь способность к «выработке условных рефлексов» приходится как нельзя кстати).

Что же касается обычного компьютера, то большинство написанных для него программ, реализующих те же функции, тоже представляют собой «виртуальную нейросеть» и к тому же обычно не способны «добраться» в процессе работы; нейрокомпьютер же, если и совершит ошибку при встрече с чем-то новым и незнакомым, то после того, как ему на нее «строго укажут», повторять подобные ошибки уже не будет. Для «типичных» же вычислительных задач «обычные» компьютеры в большинстве случаев вне конкуренции, и «плетение нейросети» – это излишняя сложность.

Впрочем, в некоторых вычислительных задачах применение нейрокомпьютера тоже может дать значительный выигрыш. Существуют задачи (прекрасно формализуемые и с известными алгоритмами решения), для которых требуются слишком громоздкие вычисления (скажем, решение систем из десятков уравнений с десятками неизвестных), так что даже нынешним «Пентиумам» требуется немалое время для полного «обсчета» таких задач. Нейрокомпьютер же во многих случаях способен «предсказать» с очень высокой вероятностью правильный ответ подобной задачи, не выполняя всех этих вычислений или значительно сократив их объемы.

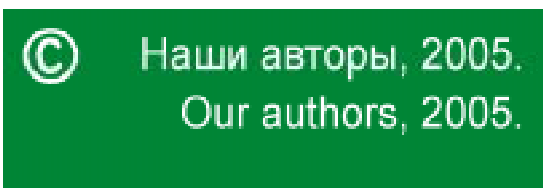
Так что нейрокомпьютеры действительно могут со временем заметно потеснить ПЭВМ на занимаемых ими «позициях» в быту и на производстве, но вряд ли вытеснят

их окончательно. Одним словом, «Богу – Богово, а кесарю – кесарево»...

#### ИСКРА «ИСКУССТВЕННОГО РАЗУМА»

Что такое «искусственный разум»? Конечно, чтобы дать точное определение, сначала нужно понять, что такое разум вообще. Но для начала можно определить «искусственный разум» как способность компьютера («обычного» или нейро) находить оптимальные решения в динамически меняющейся внешней обстановке при заранее неизвестных алгоритмах решения. Этим наш «искусственный разум» отличается от часто встречающегося в литературе термина «искусственный интеллект», который предполагает способность компьютера отыскивать решение лишь путем «логических рассуждений». Разница здесь примерно та же, как между рационализаторством и изобретательством: рацпредложение обычно является улучшенным вариантом уже существующей конструкции, и здесь достаточно «искусственного интеллекта», тогда как для изобретения, где требуется необычная идея (или, как говорят за рубежом, «ноу-хау»), без интуиции не обойтись. А обладая интуицией, нейрокомпьютер сможет самостоятельно решать многие производственные задачи, стать верным советчиком в профессиональных и даже повседневных ситуациях, а может быть, исследовать или обустроить «по человеческим меркам» другие планеты, куда радиосигнал идет несколько лет, и потому о простом дистанционном управлении не может быть и речи.

Остается только один вопрос: если нейрокомпьютеры будут обладать интуицией и, возможно, научатся понимать эмоции, то рано или поздно они могут осознать себя как личность. Сможем ли мы тогда относиться к ним как к машинам? Или это будут уже люди, такие же как и мы, только созданные, а не рожденные?



*Усенков Дмитрий Юрьевич,  
старший научный сотрудник  
Института информатизации  
образования Российской академии  
образования, г. Москва.*