

От нейрона к нейрокомпьютеру

Масалович А.И.

Опубликована в российском издании **Dr.Dobb's Journal** (N1, январь 1992, стр. 20-24).

В библиографии по нейронным сетям упоминается как *первая статья по данной тематике* в российской периодике.

Идея создания нейрокомпьютеров, использующих в работе принципы функционирования мозга, была высказана еще на заре компьютерной эры. В начале 40-х годов была разработана модель базового "процессорного элемента" мозга - нейрона и сформулированы основные принципы новой науки - нейроматематики. Однако уровень развития электроники в то время не позволял построить даже модель нервной системы муравья (около 20 тыс. нейронов), не говоря уже о мозге человека, этом сложнейшем продукте эволюции, содержащем более 100 млрд. нейронов.

Сегодня мы становимся свидетелями второго рождения нейроматематики. Прогресс микроэлектроники с одной стороны и кризис "нисходящего метода" в построении систем искусственного интеллекта - с другой обусловили новый взлет интереса к нейронным сетям и вычислительным системам на их основе. Современные нейрокомпьютеры способны распознавать речь и управлять самолетами, предсказывать изменения биржевых курсов и обнаруживать пусковые площадки ракет, а также решать массу других сложных задач. Из закрытых лабораторий университетов и военных фирм нейронные сети выходят в мир коммерческих систем, принося разработчикам миллионные прибыли.

Нейроматематика, нейронная сеть, нейрокомпьютер

Несмотря на впечатляющие успехи электронной индустрии, остается достаточно большое число задач, в решении которых самые быстродействующие компьютеры заметно уступают человеку и даже многим животным. Человек легко узнает лица и предметы, понимает речь, ориентируется в пространстве, анализирует динамические сцены.

Если бы удалось создать систему, способную эффективно решать перечисленные задачи и обладающую, кроме того, возможностями традиционных компьютеров, то такая система произвела бы настоящий переворот во многих прикладных областях. Это отчетливо понимают военные и промышленники, щедро субсидирующие перспективные разработки в данной области.

Работы по воспроизведению возможностей человеческого мозга традиционно ведутся по двум основным направлениям. Сторонники т.н. "нисходящего" подхода, или символисты, концентрируют внимание на способах представления знаний и алгоритмах логического вывода. Это научное направление принято называть искусственным интеллектом (ИИ). Приверженцы "восходящего" подхода или коннекционисты (от connection - соединение) изучают и стремятся воплотить в технических системах принципы организации естественных нейронных систем. К настоящему моменту в этой области знаний сложился некоторый набор моделей, называемых "**нейронными сетями**" (НС). Наука, изучающая свойства таких сетей, называется **нейроматематикой**. Необходимо сразу подчеркнуть, что понятие "нейронная сеть" не подразумевает безусловного копирования биологических прототипов. Естественные нейронные системы рассматриваются как объект для подражания лишь в той мере, в которой это необходимо для эффективного решения тех или иных прикладных задач.

Наконец, **нейрокомпьютер** - это вычислительная система, реализующая какой-либо вариант нейронной сети. В последнее время появились также понятия **нейроБИС** или **нейрочип** (реализация нейронной сети на интегральной схеме) и **нейроплата** (то же на печатной плате).

Теоретические основы нейроматематики были заложены в начале 40-х годов. В 1943 году У. Маккалох [U.Makkaloh] и его ученик У. Питтс [W.Pitts] (которому в ту пору было 18 лет) сформулировали основные положения теории деятельности головного мозга. Ими были получены следующие результаты:

- разработана модель нейрона как простейшего процессорного элемента, выполняющего вычисление пороговой функции от скалярного произведения вектора входных значений и вектора весовых коэффициентов;
- предложена конструкция сети таких элементов для выполнения логических и числовых операций;
- сделано основополагающее предположение о том, что такая сеть способна обучаться, распознавать образы, обобщать полученную информацию.

Несмотря на то, что нейроматематика за прошедшие годы ушла далеко вперед, многие утверждения Маккалоха остаются актуальными и поныне. В частности, при большом разнообразии моделей нейронов, принцип их действия остается неизменным.

Подробнее о первых шагах нейроматематики можно прочесть в [Artificial Intelligence, Time-Life Books, Amsterdam, 1986].

Модели нейрона

Нейронная сеть представляет собой совокупность большого числа сравнительно простых элементов - нейронов, топология соединений которых зависит от типа сети. Чтобы лучше понять структуру отдельного нейрона, обратимся к его прототипу - биологическому нейрону (см. рис.1а). Биологический нейрон содержит тело нейрона, совокупность отростков - дендритов, по которым в нейрон поступают входные сигналы и отросток - аксон, передающий выходной сигнал нейрона другим клеткам. Точка соединения дендрита и аксона называется синапсом.

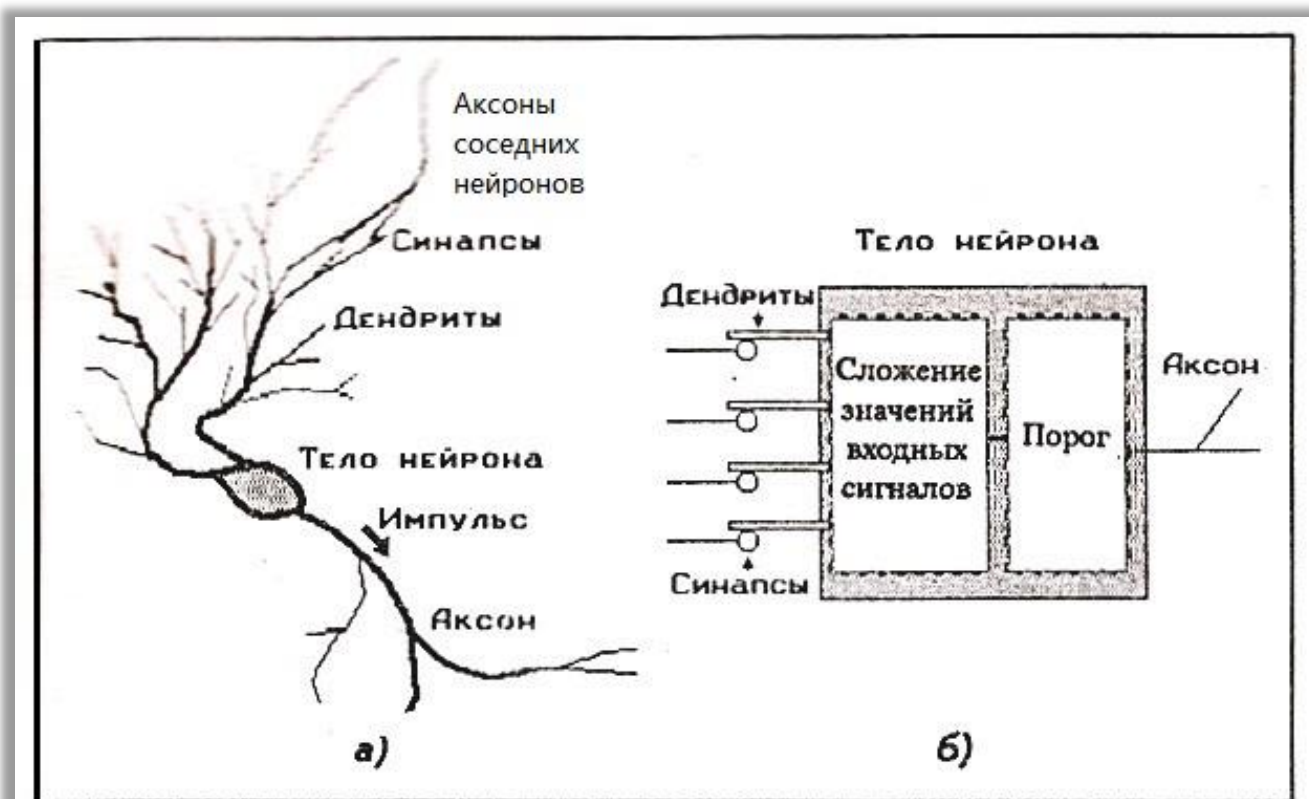


Рис.1. Схематическое изображение (а) и функциональная диаграмма (б) биологического нейрона

В мозгу человека число "соседей" нейрона, соединенных с его дендритами, может достигать 10 тысяч. Общее же число нейронов мозга превышает 100 млрд.

Упрощенно функционирование нейрона можно представить следующим образом (Рис. 1б) :

1. Нейрон получает от дендритов набор (вектор) входных сигналов.
2. В теле нейрона выполняется оценка суммарного значения полученных сигналов. Однако входы нейрона неравнозначны (и это, пожалуй, самое важное для понимания принципов действия нейронной сети). Каждый вход характеризуется некоторым весовым значением, определяющим важность поступающей по нему информации. Таким образом, нейрон не просто суммирует входные значения, а вычисляет скалярное произведение вектора входных сигналов и вектора весовых коэффициентов.
3. Нейрон формирует выходной сигнал, интенсивность которого зависит от значения вычисленного скалярного произведения. Если это значение не превышает некоторую заданную величину - порог, то выходной сигнал не формируется вовсе - нейрон "не срабатывает".
4. Выходной сигнал поступает на аксон и передается дендритам других нейронов.

Время срабатывания нейрона составляет около одной миллисекунды, чуть меньше тратится на передачу сигнала между двумя нейронами. Таким образом, биологический нейрон - чрезвычайно медленный процессорный элемент, уступающий быстродействию современных компьютеров в миллионы раз. Тем более удивительно, что мозг в целом способен за доли секунды решать задачи, которые "не по зубам" даже суперкомпьютерам. Например, узнавать лицо человека, показанное в непривычном ракурсе и т.д.

Модель нейрона - процессорный элемент нейронной сети представлен на рис. 2а. В соответствии с вышеизложенным, нейрон имеет набор входов, на которые поступают входные значения (S_1, \dots, S_n). Входы характеризуются вектором весовых значений (W_1, \dots, W_n). На рисунке 2б показаны некоторые возможные виды переходной функции f , вычисляемой от суммы взвешенных входов - пороговая, сигмовидная, псевдолинейная.

По типу переходной функции f нейроны делятся на два класса - детерминистские и вероятностные.

Типы детерминистских нейронов:

1. Нейрон скалярного произведения, полностью соответствующий рис.2а. Это наиболее широко используемый тип нейрона. Он применяется в НС для классификации, прогнозирования и создания ассоциативной памяти.
2. Нейрон "с ближайшим соседом", вычисляющий и передающий на выход расстояние между входным вектором и вектором весовых коэффициентов. Такие нейроны применяются в НС для квантования векторов, кластеризации, составления кодовых книг и т.д.

Вероятностный (стохастический) нейрон, применяемый в системах классификации и ассоциативной памяти, формирует свое выходное значение по следующему правилу:

$y=1$ с вероятностью $P(x)=1/(1+\exp(-bA))$,

$y=0$ с вероятностью $1-P(x)$.

Здесь x -входной вектор, A -скалярное произведение входного и весового векторов, y - выходное значение.

Вероятностные нейроны используются в моделях ассоциативной памяти и в НС для задач классификации.

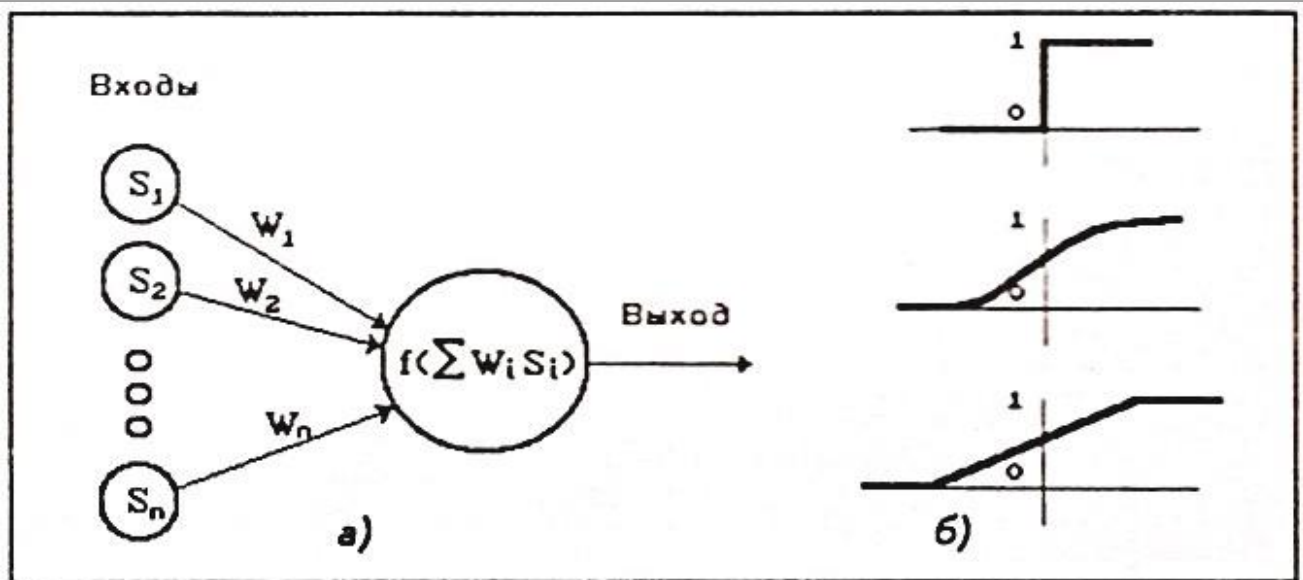


Рис.2. Модель процессорного элемента нейронной сети (а) и возможный вид переходной функции f (б)

Подробнее о биологических нейронах можно прочесть в [J.Dayhoff. *Neural Network Architectures*, Van Nostrand reinhold, New York, 1990], о моделях нейронов в НС - в [Neural Computing, IBC Technical Services, London, 1991].

Нейронные сети и алгоритмы их обучения

Нейронная сеть - это совокупность нейронов, определенным образом соединенных между собой. НС характеризуется типом используемых нейронов, их количеством, топологией межсоединений (в том числе т.н. "слоистостью" - количеством уровней в иерархической структуре), а также принятым набором алгоритмов настройки - "обучения".

Одним из наиболее простых типов НС является **перцептрон**, введенный Ф.Розенблатом [F.Rosenblatt] в 1958 году. Первоначально перцептрон представлял собой однослойную структуру с жесткой пороговой функцией процессорного элемента (ПЭ) и бинарными или многозначными входами. Первые перцептроны были способны распознавать некоторые буквы латинского алфавита. Впоследствии модель перцептрона была значительно усовершенствована. В частности, на рисунке 3 представлен пример трехслойного перцептрона.

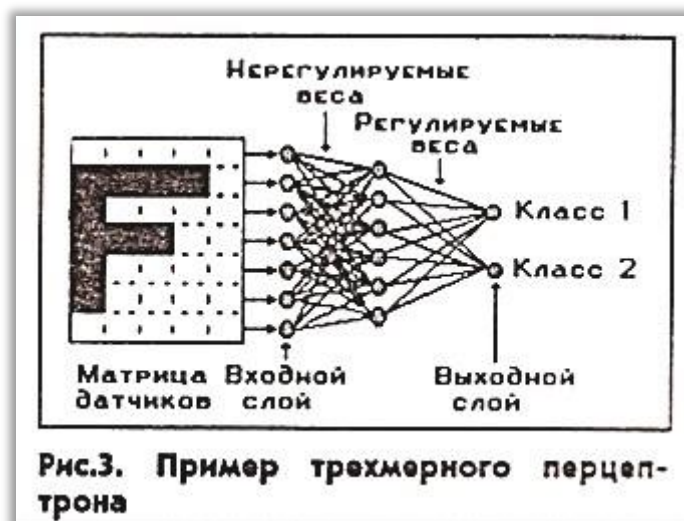
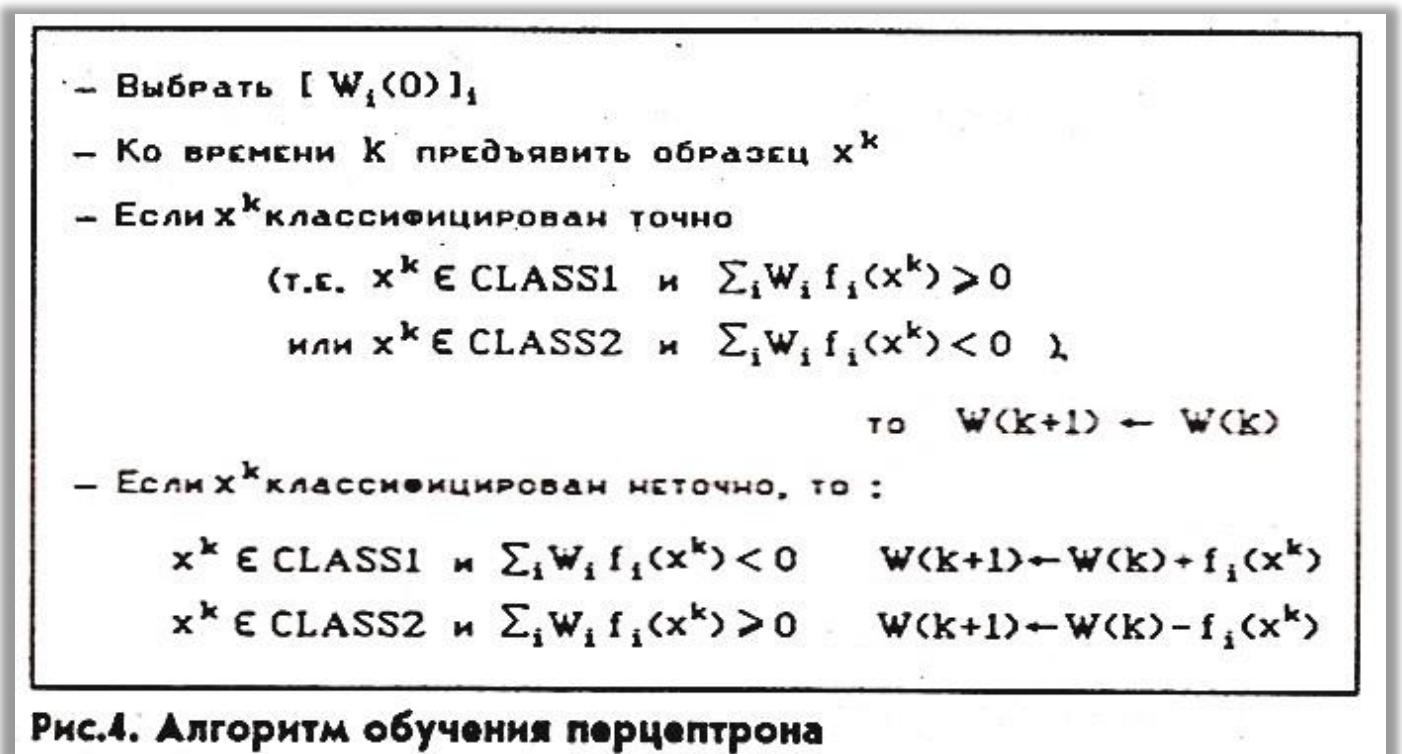


Рис.3. Пример трехмерного перцептрона

Помимо перцептрона, существует несколько десятков разновидностей НС, наиболее известны среди них следующие:

- сеть Хопфилда/Кохонена [Hopfield/Kohonen] - модель ассоциативной памяти, представляющая собой однослойную сеть ПЭ с бинарными входами и жесткой пороговой функцией. Каждый ПЭ соединен со всеми соседями. Настройка весов межсоединений производится по правилам Хеббиана [Hebbian rule] ;
- машина Больцмана [Boltzmann machine] - многослойная или случайным образом связанная НС. Настройка весов производится на основе распределения Больцмана с использованием т.н. "температурного" параметра определения кривизны вероятностной функции;
- НС с обратным прохождением [Back propagation], принцип действия которой базируется на вычислении отклонений значений на выходных ПЭ от эталонных и обратном "прогоне" этих отклонений до породивших их элементов с целью коррекции ошибки;
- неокогнитрон [Neocognitron] - одна из наиболее сложных моделей НС. Это многослойная иерархическая сеть с двухсторонним прохождением сигналов, содержащая два вида ПЭ - т.н. S-ячейки, выполняющие основную функцию сети и C-ячейки, позволяющие корректировать позиционные ошибки во входных последовательностях. Неокогнитрон способен распознавать даже сильно зашумленные выборки.



Функционирование большинства нейронных сетей (и, в частности, перцептрона) происходит в две стадии. На стадии настройки, или обучения, на вход НС подаются эталонные обучающие выборки и производятся вычисления на промежуточных и выходном слоях сети. Затем проводятся действия с целью коррекции и минимизации ошибок путем перенастройки весовых коэффициентов (часто для этого данные "проводят" по сети в обратном направлении). На рис. 4 в упрощенном виде приведен алгоритм обучения перцептрона. В житейских терминах, обучение НС сводится к следующему - "избирательные права" процессорных элементов, "нелояльных" к навязываемым сети решениям впоследствии уменьшаются (знакомая картина, не так ли ?). На стадии функционирования сети в рабочем режиме и решения прикладных задач, как правило дальнейшей настройки не происходит. Однако возможны повторные сеансы обучения для улучшения характеристик сети либо для адаптации к новым классам объектов.

Перечисленные выше типы НС нашли свое отражение в многочисленных реализациях нейроплат, нейроБИС и нейрокомпьютеров. Архитектура нейронных сетей подробно обсуждается в [R.Hecht-Nielsen, "Neurocomputing: picking the human brain", IEEE SPECTRUM, vol.25, no.3, pp.36-41, 1988].

Нейроплаты и нейроБИС

На современный рынок изделия на базе НС первоначально вышли в виде нейроплат. В качестве типичного примера нейроплаты можно привести плату MB 86232 японской фирмы Fujitsu. Плата содержит процессор цифровой обработки сигналов и собственную память объемом 4 Мб, что позволяет моделировать НС объемом до 1000 нейронов. Есть и более совершенные платы.

Основными коммерческими аппаратными изделиями на основе НС являются и, вероятно, в ближайшее время будут оставаться, нейроБИС. Сейчас выпускается более двадцати типов нейроБИС, параметры которых различаются порой на несколько порядков. Среди них - модель ETANN фирмы Intel. Это БИС стоимостью около 2000 дол, выполненная по микронной технологии и реализующая НС с 64 нейронами и 10240 синапсами.

К числу самых дешевых нейроБИС относится модель MD 1220 фирмы Micro Devices. При цене 41 дол эта БИС способна моделировать НС с 8 нейронами и 120 синапсами.

Среди находящихся в разработке нейроБИС выделяются модели фирмы Adaptive Solutions (США) и Hitachi (Япония). НейроБИС фирмы Adaptive Solutions, вероятно станет одной из самых быстродействующих - объявленная скорость обработки составляет 1.2 млрд. соединений/сек (объем НС - 64 нейрона, 262144 синапса). НейроБИС фирмы Hitachi сможет моделировать НС объемом до 576 нейронов. После выхода этих нейроБИС в производство, они, несомненно, станут основой новых нейрокомпьютеров и специализированных многопроцессорных изделий.

Нейрокомпьютеры

Большинство сегодняшних нейрокомпьютеров представляют собой просто персональный компьютер или рабочую станцию, в состав которых входит дополнительная нейроплата. К их числу относятся, например, компьютеры серии FMR фирмы Fujitsu. Такие системы имеют бесспорное право на существование, поскольку их возможностей вполне достаточно для разработки новых алгоритмов и решения большого числа прикладных задач методами нейроматематики. Однако наибольший интерес представляют специализированные нейрокомпьютеры, непосредственно реализующие принципы НС. Типичными представителями таких систем являются компьютеры семейства Mark фирмы TRW (напомним, что первая реализация перцептрона, разработанная Розенблатом, называлась "Mark-I"). Модель Mark III представляет собой рабочую станцию, содержащую до 15 процессоров семейства Motorola 68000 с математическими сопроцессорами. Все процессоры объединены шиной VME. Архитектура системы поддерживает до 65000 виртуальных ПЭ с более чем 1 млн. настраиваемых соединений и позволяет обрабатывать до 450 тыс. межсоединений/сек. Mark IV - это однопроцессорный суперкомпьютер конвейерной архитектуры, поддерживающий до 236 тыс виртуальных ПЭ и позволяющий обрабатывать до 5 млн. межсоединений/сек. Компьютеры семейства Mark имеют общую программную оболочку ANSE (Artificial Neural System Environment), обеспечивающую программную совместимость моделей. Помимо указанных моделей фирма TRW предлагает также пакет Mark II - программный эмулятор НС.

Другой интересной моделью нейрокомпьютера является NETSIM, созданный фирмой Texas Instruments на базе разработок Кембриджского университета. Топология системы представляет собой трехмерную решетку стандартных вычислительных узлов на базе процессоров 80188. NETSIM используется для реализации таких моделей НС как Hopfield

model и Back Propagation. Общая производительность компьютера NETSIM - 450 млн. межсоединений/сек.

Фирма CRS (Computer Recognition Systems) представляет серию нейрокомпьютеров WIZARD/CRS 1000, предназначенных для обработки видеоизображений. Размер входной матрицы изображения - 512 x 512 пикселей. Модель CRS 1000 сейчас нашла применение в промышленных системах автоматического контроля.

На рынке сегодня представлено достаточное число моделей нейрокомпьютеров. На самом деле их, видимо, гораздо больше, но наиболее мощные и перспективные модели по-прежнему создаются по заказам военных. К сожалению, не имея достаточной информации о моделях специального назначения, трудно составить представление об истинных возможностях современных нейрокомпьютеров.

Исчерпывающий обзор по нейрокомпьютерам дан в [P.Treliaven, "Neurocomputers", University College London, 1989]

Потенциальные применения нейрокомпьютеров

Вероятно, у многих читателей уже появился вопрос - могут ли помочь нейрокомпьютеры и нейроматематика в решении их задач? Чтобы облегчить ответ на этот вопрос, перечислим основные признаки прикладных задач, для решения которых целесообразно использовать НС:

- не известен алгоритм или принципы решения задачи, но накоплено достаточное количество примеров;
- проблема характеризуется большими объемами входной информации;
- данные неполны или избыточны, зашумлены, частично противоречивы.

Таким образом, НС хорошо подходят для распознавания образов и решения задач классификации, оптимизации и прогнозирования. На рис.5а приведено распределение прикладных систем на базе НС по областям применения, на рис.5б - распределение источников финансирования разработок по НС (по данным Тома Шварца [T.Schwartz]).

Ниже приводится перечень возможных промышленных применений нейронных сетей, для которых либо уже существуют коммерческие изделия на базе НС, либо были реализованы демонстрационные прототипы. Перечень составлен по материалам фирмы MIMETICS и докладу Франсуазы Фогельман Соулье [F.Fogelman Soulie. *Neural Networks, State of The Art. Neural Computing, IBC Technical Services, London, 1991*]:

Банки и страховые компании:

- автоматическое считывание финансовых чеков и документов;
- проверка достоверности подписей;
- оценка риска для займов;
- прогнозирование финансовых тенденций.

Административное обслуживание :

- автоматическое считывание административных документов;
- автоматическое распознавание штриховых кодов.

Нефтяная и химическая промышленность:

- анализ геологической информации;
- идентификация неисправностей оборудования;
- разведка минералов по данным аэрофотосъемок;
- анализ состава смесей;

- управление процессами.

Военная промышленность и авиация :

- обработка звуковых сигналов (разделение, идентификация, локализация, устранение шума, интерпретация);
- обработка радарных сигналов (распознавание целей, идентификация и локализация источников);
- обработка инфракрасных сигналов (локализация) ;
- обобщение информации;
- автоматическое пилотирование.

Промышленное производство:

- управление манипуляторами;
- управление качеством;
- управление процессами;
- обнаружение неисправностей;
- адаптивная роботехника;
- управление голосом.

Служба безопасности:

- распознавание отпечатков пальцев, лиц, голосов.

Биомедицинская промышленность:

- анализ рентгенограмм;
- обнаружение отклонений в ЭКГ.

Телевидение и связь:

- адаптивное управление сетью связи;
- сжатие и восстановление изображений.

Представленный перечень далеко не полон. Ежемесячно западные средства массовой информации сообщают о новых коммерческих продуктах на базе НС. К примеру, фирма LIAC выпускает аппаратуру для контроля качества воды. Нейросистемы фирмы SAIC находят пластиковые бомбы в багаже авиапассажиров. Специалисты инвестиционного банка Citicomp (Лондон) с помощью программного нейропакета делают краткосрочные прогнозы колебаний курсов валют. На рис.6 приведены результаты такого прогнозирования за 1990-й год. Результаты применения нейронных сетей впечатляют, не правда ли?

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОМАТЕМАТИКИ В НАШЕЙ СТРАНЕ

А каковы достижения в области нейроматематики в нашей стране? На первый взгляд, положение удручающее. Попытки создать оригинальную нейроплату, предпринятые специалистами Москвы и Казани, окончились не совсем удачно - первый образец платы в сравнении с зарубежными аналогами выглядит примерно как ЕС-1840 рядом с IBM PC AT/386. Вопрос о создании конкурентоспособной отечественной нейроБИС, а тем более нейрокомпьютера всерьез не обсуждается. Немногочисленные пока специалисты в области нейроматематики для моделирования нейронных сетей используют транспьютерные системы, а то и просто персональные компьютеры. Коммерческих программных систем (за исключением нескольких демонстрационных пакетов) практически нет.

Тем не менее, нейроматематика - одна из немногих областей, в которых советские ученые могут сказать сегодня новое слово. Во-первых, это область знаний, где отставание в технологии не так критично для исследователя. Если для моделирования торнадо, например, ученому не обойтись без суперкомпьютера, то модель нейронной сети можно исследовать и на сравнительно дешевой транспьютерной системе. При этом можно довольно точно оценить

параметры и возможности будущей сети. Во-вторых, основные проблемы создания прикладных систем на базе нейронных сетей концентрируются сегодня вокруг научных задач, а не вопросов реализации. Проще говоря, если какой-либо из советских ученых предложит более эффективный нейронный алгоритм для решения, например, задачи идентификации подписи, то он легко найдет западную фирму, готовую воплотить его идеи в промышленное изделие. В-третьих, за счет того, что "первая волна" исследований в этой области дошла до СССР с опозданием на 8-10 лет (т.е. в 70-х годах), многие из участников тех разработок еще ведут активную научную деятельность и, в принципе, могут принять участие в становлении нейроматематики. Наконец, несмотря на то что исследования в области нейронных сетей находятся у нас в начальной стадии, уже есть некоторые разработки, которые могут представлять интерес для мировой науки.

Об одной из таких разработок стоит рассказать подробнее. Речь идет о попытке модифицировать модель нейрона, используя для этого новые достижения отечественной нейрофизиологии и в первую очередь результаты профессора В.Б.Вяльцева. В мировой науке неоднократно предпринимались попытки использовать результаты биомедицинских исследований для усовершенствования нейронных сетей. Первоначально нейробиологи и нейроматематики работали сообща, и введенные в 40-е годы модели нейрона и нейронной сети устраивали и тех и других. Довольно скоро, впрочем, пути двух наук разошлись. К примеру, нейрофизиологи считают, что в деятельности мозга участвует около 14 тыс различных химических реакций. Построить модель мозга, адекватно учитывающую такое количество реакций, нереально не только сегодня, но и в обозримом будущем.

Однако сегодня нейробиологи готовы предложить новую модифицированную модель нейрона и нейронной сети, которая более адекватна их представлениям и сравнительно легко поддается реализации. Принципиальные отличия новой модели следующие:

1. Базовый элемент системы - нейрон - сложнее и универсальнее, чем в сегодняшних моделях, организация сети - проще.
2. Нейрон содержит как возбуждающие, так и тормозящие входы, причем последние преобладают. Обучение сети таких нейронов сводится преимущественно к настройке тормозящих входов.
3. В сети присутствуют два четко различающихся типа нейронов - один с большим числом входов и высоким порогом срабатывания (назовем его "ответственный") и другой, "безответственный" - с низким порогом и малым числом входов.
4. Существенной частью системы является усложненная модель синапса. Настройка и обучение синапсов позволяет моделировать механизм т.н. кратковременной памяти.
4. Нейросистема имеет два вида реакции на каждый стимул - срабатывание на ввод сигнала и реакцию на его задний фронт (т.н. "офф-реакция"). Последняя оптимизирует поведение сети при поступлении повторяющихся сигналов.
5. Сеть работает в колебательном режиме. При отсутствии возбуждающих импульсов на вход подается ритмический фоновый сигнал.
6. Сеть реализует как прямое распараллеливание подзадач, так и иерархическую декомпозицию.

Как утверждается, построенная на этих принципах модель будет значительно ближе к реальным нейронным системам, выбранным тысячелетней эволюцией. Реализация такой модели "в кремнии" может привести к рождению нового поколения нейрокомпьютеров, способных решать гораздо более интеллектуальные задачи по сравнению с существующими. Так что не исключено, что в основе завтрашних нейрокомпьютеров будут лежать новые концепции нейронных сетей, разработанные советскими учеными.

ИСТОРИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ: НЕКОТОРЫЕ СОБЫТИЯ

1943 - У.Маккалох и У.Питтс предлагают модель нейрона и формулируют основные положения теории деятельности головного мозга.

1958 - Ф.Розенблат разрабатывает принципы построения перцептрона - первого технического воплощения нейронных сетей.

1960 - Ф.Розенблат создает первый перцептрон - систему "Марк-1", способную распознавать некоторые буквы.

1960-1968 - период активных разработок в области теории нейронных сетей и их технических воплощений.

1969 - М.Минский и С.Пейперт издают книгу "Перцептроны", где доказывают принципиальную ограниченность возможностей перцептронов. Падение интереса к перцептронам и нейронным сетям. Переключение внимания исследователей на "нисходящие методы" искусственного интеллекта.

1970-1976 - активные разработки в области перцептронов в СССР (основные заказчики - военные ведомства).

1982 - Дж. Хопфилд предлагает усовершенствованную модель нейронной сети (т.н. "сеть Хопфилда") и указывает новые пути моделирования функций мозга в электронных схемах и программном обеспечении. Возобновление интенсивных разработок в области нейронных сетей.

1987 - первые представители нового поколения нейронных сетей выходят на рынок. Годовой объем рынка - 7 млн дол. Правительства и военные ведомства США, Японии и Западной Европы начинают крупномасштабное финансирование разработок в этой области.

1988 - Японские фирмы Nihon Denki и Fujitsu выпускают на рынок первые модели персональных нейрокомпьютеров Neuro-07 и FMR 50.

1989 - Нейронные сети - один из самых быстрорастущих секторов рынка (за два года объем средств вырос в пять раз). Разработки и исследования в области нейронных сетей ведутся практически всеми крупными электронными фирмами.

1990 - Гиганты электронной индустрии выпускают на рынок целый ряд готовых изделий : AT&T анонсирует нейроплату, IBM - нейро-сканер, Philips - нейроБИС и т.д. DARPA финансирует 47 проектов 60-ти компаний на общую сумму 15 млн дол. Появляются первые признаки активности советских исследовательских организаций в области нейронных сетей.

1991 - годовой объем рынка нейронных систем приближается к 140 млн дол. На рынке присутствует целый спектр программных и аппаратных коммерческих систем на базе нейронных сетей как специального, так и общего назначения. Работы по данной тематике разворачиваются в Минске, Москве, Новосибирске, Санкт-Петербурге. В Москве и Таганроге создаются Центры нейрокомпьютеров.

Статья помещена в Мемориальную библиотеку А.П. Ершова -

<https://lib.iis.nsk.su/node/226760>

ЖУРНАЛ
Д-ра Добба

ISSN 0869-2343

RUSSIAN
DR. DOBB'S
JOURNAL

№ 1'1992

ОТ НЕЙРОНА К НЕЙРОКОМПЬЮТЕРУ

Тесты Лаборатории
журнала *DBMS*

Операционная система Pick

ПРОБЛЕМЫ
ПРАВОВОЙ ОХРАНЫ
ПРОГРАММ

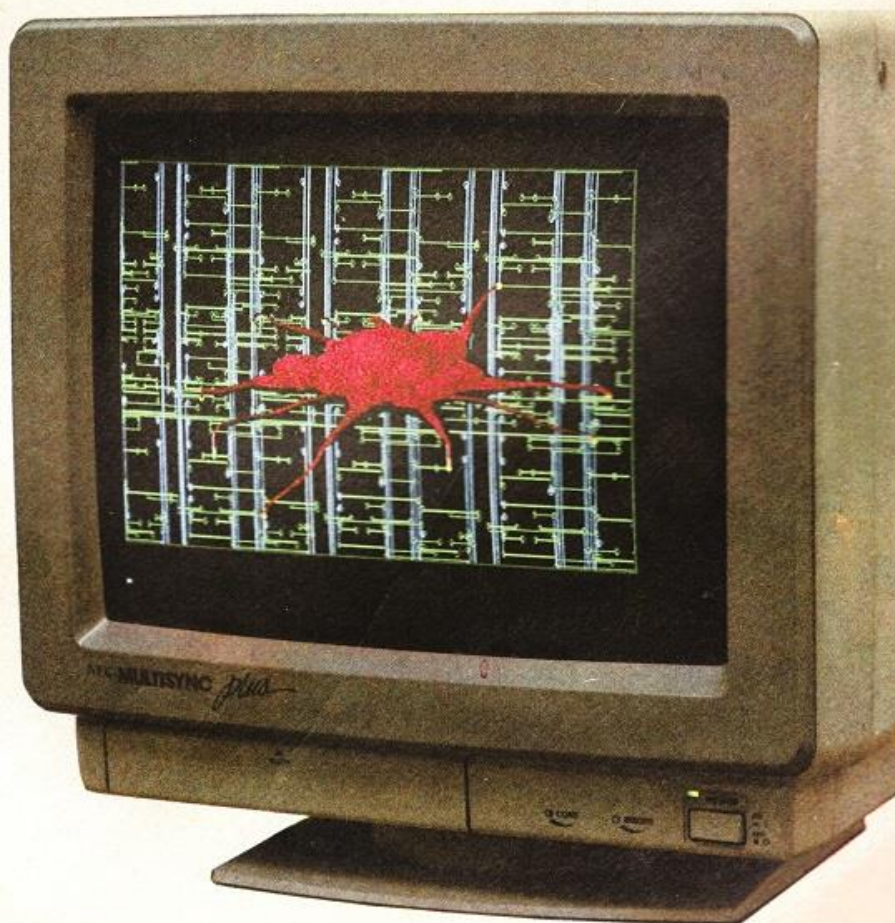
ПАМЯТЬ
ДЛЯ ФАЙЛ-СЕРВЕРА

ПЕРСПЕКТИВЫ
РЫНКА ПО

НОВАЯ МОДЕЛЬ
ОБЪЕКТНОЙ
ОРИЕНТАЦИИ

ИМПОРТ ОБЪЕКТОВ
ИЗ ПРОГРАММЫ
НА TURBO PASCAL 6.0

ОБРАБОТКА
ТАБЛИЦ-ПОТОМКОВ



От нейрона к нейрокомпьютеру

А. И. Масалович

Идея создания нейрокомпьютеров, работа которых основана на использовании принципов функционирования мозга, возникла еще на заре компьютерной эры. В начале 40-х годов была разработана модель базового "процессорного элемента" мозга - нейрона, и были сформулированы основные принципы новой науки - нейроматематики. Однако уровень развития электроники в то время не позволял построить даже модель нервной системы муравья (примерно 20 тыс. нейронов), не говоря уже о мозге человека, этом сложнейшем продукте эволюции, содержащем более 100 млрд. нейронов.

Сегодня мы становимся свидетелями второго рождения нейроматематики. Прогресс микроэлектроники, с одной стороны, и кризис "нисходящего" подхода к построению систем искусственного интеллекта, с другой, обусловили новый взлет интереса к нейронным сетям и вычислительным системам на их основе. Современные нейрокомпьютеры способны распознавать речь и управлять самолетами, предсказывать изменения биржевых курсов и обнаруживать пусковые площадки ракет, а также решать множество других сложных задач. Из закрытых лабораторий университетов и военных фирм нейронные сети выходят в мир коммерческих систем, принося разработчикам миллионные прибыли.

Нейроматематика, нейронная сеть, нейрокомпьютер

Несмотря на впечатляющие успехи электронной индустрии остается довольно большое число задач, в решении которых самые быстродействующие компьютеры заметно уступают человеку и даже многим животным. Человек легко узнает лица и предметы, понимает речь, ориентируется в пространстве, анализирует динамические сцены.

Создание системы, способной не только эффективно решать перечисленные задачи, но и обладающей возможностями традиционных компьютеров, произвело бы настоящий переворот во многих прикладных областях. Особенно хорошо это понимают военные и промышленники, щедро субсидирующие перспективные разработки в данной области.

Работы по воспроизведению возможностей человеческого мозга традиционно ведутся по двум основным направлениям.

Сторонники так называемого "нисходящего" подхода, или символисты, концентрируют внимание на способах представления знаний и алгоритмах логического вывода. Это научное направление принято называть искусственным интеллектом (ИИ). Приверженцы "восходящего" подхода, или коннекционисты (от *connection* - соединение), изучают и стремятся воплотить в технических системах принципы организации естественных нейронных систем. К настоящему моменту в этой области знаний сложился некоторый набор моделей, называемых нейронными сетями. Наука, изучающая свойства таких сетей, называется нейроматематикой. Необходимо сразу подчеркнуть, что понятие "нейронная сеть" не подразумевает безусловного копирования биологических прототипов. Естественные нейронные системы рассматриваются как объект для подражания лишь в той мере, в которой это необходимо для эффективного решения тех или иных прикладных задач.

Наконец, нейрокомпьютер - это вычислительная система, реализующая какой-либо вариант нейронной сети. В последнее время появились также понятия нейроБИС, или нейрочип (реализация нейронной сети в виде интегральной микросхемы), и нейроплата (то же на печатной плате).

Теоретические основы нейроматематики были заложены в начале 40-х годов. В 1943 году У. Маккалох (U. McCulloch) и его ученик У. Питтс (W. Pitts), которому в ту пору было 18 лет, сформулировали основные положения теории деятельности головного мозга. Ими были получены следующие результаты:

- разработана модель нейрона как простейшего процессорного элемента, выполняющего вычисление переходной функции от скалярного произведения вектора входных сигналов и вектора весовых коэффициентов;
- предложена конструкция сети таких элементов для выполнения логических и арифметических операций;
- сделано основополагающее предположение о том, что такая сеть способна обучаться, распознавать образы, обобщать полученную информацию.

Несмотря на то что за прошедшие годы нейроматематика ушла далеко вперед, многие утверждения Маккалоха остаются актуальными и поныне. В частности, при большом разнообразии моделей нейронов принцип их действия остается неизменным.

Подробнее о первых шагах нейроматематики можно прочесть в книге "Artificial Intelligence", (Amsterdam: Time-Life Books, 1986).

Модели нейрона

Нейронная сеть представляет собой совокупность большого числа сравнительно простых элементов - нейронов, топология соединений которых зависит от типа сети. Чтобы лучше понять структуру отдельного нейрона, обратимся к его прототипу - биологическому нейрону (рис.1.а). Биологический нейрон имеет тело, совокупность отростков - дендритов,

Андрей Игоревич Масалович,
кандидат физико-математических наук,
главный инженер
Научно-исследовательского отделения
НИИ "Квант", известен читателям
"Журнала д-ра Добра", а также
журналов "Интеркомпьютер",
"Мир ПК" и "Вопросы радиоэлектроники".
Области его научных интересов -
САПР СВИС, объектно-
ориентированное программирование,
интеллектуальный интерфейс
систем проектирования, архитектура
многопроцессорных систем.



по которым в нейрон поступают внешние сигналы, и отросток - аксон, передающий выходящий сигнал нейрона другим клеткам. Точка соединения дендрита и аксона называется синапсом.

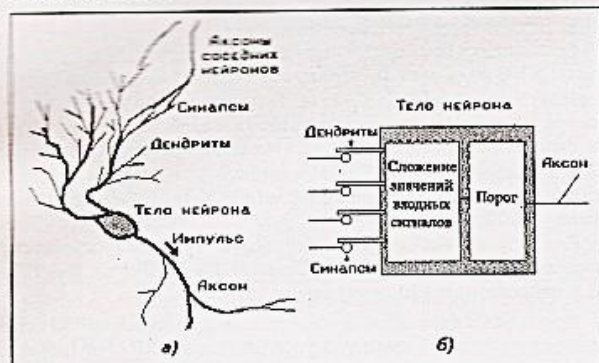


Рис.1. Схематическое изображение (а) и функциональная диаграмма (б) биологического нейрона

В мозгу человека число "соседей" нейрона, соединенных с его дендритами, может достигать 10 тыс. Общее же число нейронов мозга превышает 100 млрд.

Упрощенно функционирование нейрона можно представить следующим образом (рис.1,б):

1. Нейрон получает от дендритов набор (вектор) входных сигналов.
2. В теле нейрона оценивается суммарное значение входных сигналов. Однако входы нейрона неравнозначны (и это, пожалуй, самое важное наблюдение для понимания принципов действия нейронной сети). Каждый вход характеризуется некоторым весовым коэффициентом, определяющим важность поступающей по нему информации. Таким образом, нейрон не просто суммирует значения входных сигналов, а вычисляет скалярное произведение вектора входных сигналов и вектора весовых коэффициентов.
3. Нейрон формирует выходной сигнал, интенсивность которого зависит от значения вычисленного скалярного произведения. Если оно не превышает некоторого заданного порога, то выходной сигнал не формируется вовсе - нейрон "не срабатывает".
4. Выходной сигнал поступает на аксон и передается дендритам других нейронов.

Время срабатывания нейрона составляет примерно 1 мс, чуть меньше тратится на передачу сигнала между двумя нейронами. Таким образом, биологический нейрон - чрезвычайно медленно работающий процессорный элемент, уступающий по быстродействию современным компьютерам в миллионы раз. Тем более удивительно, что мозг в целом способен за доли секунды решать задачи, которые "не по зубам" даже суперкомпьютерам. Например, он может узнать лицо человека, показанное в непривычном ракурсе, и т.п.

Модель нейрона - процессорного элемента нейронной сети, представлена на рис.2,а. В соответствии с вышеописанным нейрон имеет набор входов, на которые поступают входные сигналы (S_1, \dots, S_n). Входы характеризуются вектором весовых коэффициентов (W_1, \dots, W_n). На рис.2,б показаны некоторые возможные виды переходной функции f , вычисляемой от суммы взвешенных входных сигналов: пороговая, сигмовидная, псевдолинейная.

В зависимости от вида переходной функции нейроны делятся на два класса: детерминистские и вероятностные.

Различают два типа детерминистских нейронов:

1. Нейрон, в теле которого вычисляется скалярное произведение, (полностью соответствует рис.2,а). Это наиболее ши-

роко используемый тип нейрона. Он применяется в нейронных сетях для решения задач классификации и прогнозирования, а также для создания моделей ассоциативной памяти.

2. Нейрон "с ближайшим соседом", вычисляющий расстояние между входным вектором и вектором весовых коэффициентов и передающий полученное значение на выход. Такие нейроны применяют в нейронных сетях для решения задач квантования векторов, кластеризации, составления кодовых книг и т.д.

Вероятностный (стохастический) нейрон формирует выходное значение по следующему правилу:

$$y = 1 \text{ с вероятностью } P(x) = 1/(1 + \exp(-bAx)),$$

$$y = 0 \text{ с вероятностью } 1 - P(x).$$

Здесь x - вектор входных сигналов, A - скалярное произведение вектора входных сигналов и вектора весовых коэффициентов, y - выходной сигнал.

Вероятностные нейроны используют в моделях ассоциативной памяти и в нейронных сетях для решения задач классификации.

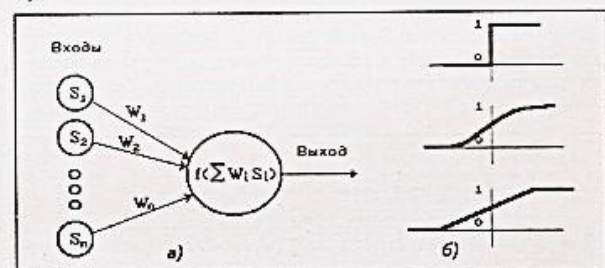


Рис.2. Модель процессорного элемента нейронной сети (а) и возможные виды переходной функции f (б)

Подробнее о биологических нейронах можно прочесть в книге Дейхофф (J. Dayhoff) "Neural Network Architectures" (New York: Van Nostrand Reinhold, 1990), а о моделях нейронов в нейронных сетях - в трудах конференции "Neural Computing" (London: IBC Technical Services, 1991).

Нейронные сети и алгоритмы их обучения

Нейронная сеть (НС) - это совокупность нейронов, соединенных определенным образом. Она характеризуется типом используемых нейронов, их числом, топологией межсоединений (в том числе так называемой "слоистостью" - числом уровней в иерархической структуре), а также принятым набором алгоритмов настройки (обучения).

Одной из наиболее простых НС является перцептрон, принципы построения которого предложены Ф. Розенблаттом (F. Rosenblatt) в 1958 году. Первоначально перцептрон представлял собой однослойную структуру с жесткой пороговой функцией процессорного элемента и бинарными или многозначными входами. Первые перцептроны были способны распознавать некоторые буквы латинского алфавита. Впоследствии модель перцептрона была значительно усовершенствована. На рис.3 представлен пример трехслойного перцептрона.

Помимо перцептрона существует несколько десятков разновидностей НС, наиболее известными из которых являются следующие:

- сеть Хопфилда - Коопена (Hopfield/Kohonen network) - модель ассоциативной памяти, представляющая собой однослойную сеть процессорных элементов с бинарными входами и жесткой пороговой функцией. Каждый процессорный элемент соединен со всеми соседями. Настройка весовых коэффициентов межсоединений производится по правилам Хеббiana (Hebbian rules);

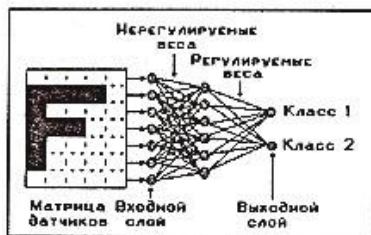


Рис.3. Пример трехмерного перцептрона

• машина Больцмана (Boltzmann machine) - многослойная или случайным образом связанная НС. Настройка весовых коэффициентов производится на основе распределения Больцмана с использованием так называемого "температурного" параметра для определения кривизны вероятностной функции;

• НС с обратным прохождением (back propagation network), принцип действия которой базируется на вычислении отклонений значений сигналов на выходных процессорных элементах от эталонных и обратном "прогоне" этих отклонений до породивших их элементов с целью коррекции ошибки;

• неокогнитрон (neocognitron) - одна из наиболее сложных моделей НС. Это многослойная иерархическая сеть с двухсторонним прохождением сигналов, содержащая процессорные элементы двух видов: S-ячейки, выполняющие основную функцию сети, и C-ячейки, позволяющие корректировать позиционные ошибки во входных последовательностях. Неокогнитрон способен распознавать даже сильно зашумленные выборки.

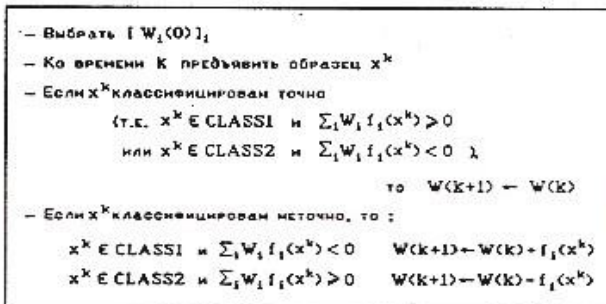


Рис.4. Алгоритм обучения перцептрона

Функционирование большинства НС (в частности, перцептрона) происходит в две стадии. На стадии настройки, или обучения, на вход НС подаются эталонные обучающие выборки и производятся вычисления в процессорных элементах промежуточных и выходного слоев сети. Затем проводят коррекцию и минимизацию ошибок путем перенастройки весовых коэффициентов (часто для этого данные "проводят" по сети в обратном направлении). На рис.4 в упрощенном виде приведен алгоритм обучения перцептрона. В житейских терминах, обучение НС сводится к следующему: "права" процессорных элементов, "недоляльных" к навязываемым сети решениям, впоследствии ограничиваются (знакомая картина, не так ли?). На стадии функционирования сети в рабочем режиме, соответствующем решению прикладных задач, дальнейшей настройки, как правило, не происходит. Однако возможны повторные сеансы обучения для улучшения характеристик сети либо для их адаптации к новым классам объектов.

Перечисленные выше типы НС нашли свое отражение в многочисленных реализациях нейроплат, нейроБИС и нейрокомпьютеров. Архитектура нейронных сетей подробно обсуждается в статье Р. Хейт-Нильсена (R. Hecht-Nielsen) "Neurocomputing: picking the human brain" (IEEE SPECTRUM, - 1988. - Vol.25, N 3. - P. 36-41).

Нейроплаты и нейроБИС

На современном рынке изделия, основанные на использовании механизма действия НС, первоначально появились в виде

нейроплат. В качестве типичного примера нейроплаты можно назвать плату MB 86232 японской фирмы Fujitsu. На плате размещены процессор цифровой обработки сигналов и оперативная память емкостью 4 Мбайт, что позволяет использовать такую плату для реализации НС, содержащих до 1000 нейронов. Есть и более совершенные платы.

Основными коммерческими аппаратными изделиями на основе НС являются и, вероятно, в ближайшее время будут оставаться нейроБИС. Сейчас выпускается более двадцати типов нейроБИС, параметры которых порой различаются на несколько порядков. Среди них - модель ETANN фирмы Intel. Эта БИС, выполненная по микронной технологии, является реализацией НС с 64 нейронами и 10240 синапсами. Ее цена - 2000 дол.

К числу самых дешевых нейроБИС (41 дол.) относится модель MD 1220 фирмы Micro Devices. Эта БИС реализует НС с 8 нейронами и 120 синапсами.

Среди разрабатываемых в настоящее время нейроБИС выделяются модели фирмы Adaptive Solutions (США) и Hitachi (Япония). НейроБИС фирмы Adaptive Solutions, вероятно, станет одной из самых быстродействующих: объявленная скорость обработки составляет 1,2 млрд. соединений/с (НС содержит 64 нейрона и 262 144 синапса). НейроБИС фирмы Hitachi позволяет реализовать НС, содержащую до 576 нейронов. Эти нейроБИС, несомненно, станут основой новых нейрокомпьютеров и специализированных многопроцессорных изделий.

Нейрокомпьютеры

Большинство современных нейрокомпьютеров представляют собой просто персональный компьютер или рабочую станцию, в состав которых входит дополнительная нейроплата. К их числу относятся, например, компьютеры серии FMR фирмы Fujitsu. Такие системы имеют бесспорное право на существование, поскольку их возможностей вполне достаточно для разработки новых алгоритмов и решения большого числа прикладных задач методами нейроматематики. Однако наибольший интерес представляют специализированные нейрокомпьютеры, непосредственно реализующие принципы НС. Типичными представителями таких систем являются компьютеры семейства Mark фирмы TRW (напомним, что первая реализация перцептрона, разработанная Розенблаттом, называлась Mark I). Модель Mark III фирмы TRW представляет собой рабочую станцию, содержащую до 15 процессоров семейства Motorola 68000 с математическими сопроцессорами. Все процессоры объединены шиной VME. Архитектура системы, поддерживающая до 65 000 виртуальных процессорных элементов с более чем 1 млн. настраиваемых соединений, позволяет обрабатывать до 450 тыс. межсоединений/с. Mark IV - это однопроцессорный суперкомпьютер с конвейерной архитектурой. Он поддерживает до 236 тыс. виртуальных процессорных элементов, что позволяет обрабатывать до 5 млн. межсоединений/с. Компьютеры семейства Mark имеют общую программную оболочку ANSE (Artificial Neural System Environment), обеспечивающую программную совместимость моделей. Помимо указанных моделей фирма TRW предлагает также пакет Mark II - программный эмулятор НС.

Другой интересной моделью является нейрокомпьютер NETSIM, созданный фирмой Texas Instruments на базе разработок Кембриджского университета. Его топология представляет собой трехмерную решетку стандартных вычислительных узлов на базе процессоров 80188. Компьютер NETSIM используется для моделирования таких моделей НС, как сеть Хопфилда - Коонена и НС с обратным прохождением. Его производительность достигает 450 млн. межсоединений/с.

Фирма Computer Recognition Systems (CRS) продает серию нейрокомпьютеров WIZARD/CRS 1000, предназначенных для

обработки видеозображений. Размер входной матрицы изображения 512x512 пикселей. Модель CRS 1000 уже нашла применение в промышленных системах автоматического контроля.

Сейчас на рынке представлено немало моделей нейрокомпьютеров. На самом деле их, видимо, гораздо больше, но наиболее мощные и перспективные модели по-прежнему создаются по заказам военных. К сожалению, не имея достаточной информации о моделях специального назначения, трудно составить представление об истинных возможностях современных нейрокомпьютеров.

Исчерпывающий обзор по нейрокомпьютерам дан в статье Ф. Треливена (F. Treleven), "Neurocomputers" (London: University College, 1989).

Потенциальные применения нейрокомпьютеров

Вероятно, у многих читателей уже возник вопрос: "Могут ли нейрокомпьютеры и нейроматематика помочь в решении их задач?" Чтобы облегчить ответ на этот вопрос, перечислю основные признаки прикладных задач, для решения которых целесообразно использовать НС:

- отсутствует алгоритм или не известны принципы решения задачи, но накоплено достаточное число примеров;
- проблема характеризуется большими объемами входной информации;
- данные неполны или избыточны, зашумлены, частично противоречивы.



Рис.5. Области применения нейронных сетей (а) и источники финансирования их разработок (б)

Таким образом, НС хорошо подходят для распознавания образов и решения задач классификации, оптимизации и прогнозирования. На рис.5,а показано распределение прикладных систем на базе НС по областям применения, на рис.5,б - распределение источников финансирования их разработок (по данным Т. Шварца (T. Schwartz)).

Ниже приведен перечень возможных промышленных применений НС, на базе которых либо уже созданы коммерческие изделия, либо реализованы демонстрационные прототипы. Перечень составлен по материалам фирмы MIMETICS и докладу Ф. Фогельман Сулье (F. Fogelman Soulie) "Neural Networks, State of The Art"/"Neural Computing", (London: IBC Technical Services, 1991).

Банки и страховые компании:

- автоматическое считывание чеков и финансовых документов;
- проверка достоверности подписей;
- оценка риска для займов;
- прогнозирование изменений курсов валют.

Административное обслуживание:

- автоматическое считывание документов;
- автоматическое распознавание штриховых кодов.

Нефтяная и химическая промышленность:

- анализ геологической информации;
- идентификация неисправностей оборудования;

- разведка залежей минералов по данным аэрофотосъемок;
- анализ составов смесей;
- управление процессами.

Военная промышленность и авионавтика:

- обработка звуковых сигналов (разделение, идентификация, локализация, устранение шума, интерпретация);
- обработка радарных сигналов (распознавание целей, идентификация и локализация источников);
- обработка инфракрасных сигналов (локализация);
- обобщение информации;
- автоматическое пилотирование.

Промышленное производство:

- управление манипуляторами;
- управление качеством;
- управление процессами;
- обнаружение неисправностей;
- адаптивная робототехника;
- управление голосом.

Служба безопасности:

- распознавание лиц, голосов, отпечатков пальцев.

Биомедицинская промышленность:

- анализ рентгенограмм;
- обнаружение отклонений в ЭКГ.

Телевидение и связь:

- адаптивное управление сетью связи;
- сжатие и восстановление изображений.



Рис.6. Предсказание изменения курса доллар/рубли в 1990 году с помощью нейронной сети

Представленный перечень далеко не полон. Ежемесячно западные средства массовой информации сообщают о новых коммерческих продуктах на базе НС. Так, фирма IAC выпускает аппаратуру для контроля качества воды. Нейросистемы фирмы SAIC находят пластиковые бомбы в багаже авиапассажиров. Специалисты инвестиционного банка Citicorp (Лондон) с помощью программного нейропакета делают краткосрочные прогнозы колебаний курсов валют. На рис.6 приведены результаты такого прогнозирования на 1990 год. Результаты применения нейронных сетей впечатляют, не правда ли?

Перспективы нейроматематики в нашей стране

А каковы достижения в области нейроматематики в нашей стране? На первый взгляд, положение удручающее. Попытки создать оригинальную нейроплату, предпринятые специалистами Москвы и Казани, окончились не совсем удачно: по сравнению с зарубежными аналогами первый образец платы выглядит примерно так же, как ЕС-1840 рядом с компьютером IBM AT/386. Вопрос о создании конкурентоспособной отечественной нейроБИС, а тем более нейрокомпьютера всерьез не обсуждается. Немногочисленные пока специалисты в области нейроматематики для моделирования нейронных сетей используют транспьютерные системы, а то и просто персональные компьютеры. Коммерческих программных систем (за

исключением нескольких демонстрационных пакетов) практически нет.

Тем не менее, нейроматематика - одна из немногих областей, в которых советские ученые могут сказать сегодня новое слово. Во-первых, это область знаний, где отставание в технологии не так критично для исследователя. Если для моделирования торнадо, например, ученому не обойтись без суперкомпьютера, то модель нейронной сети можно исследовать и на сравнительно дешевой транспьютерной системе. При этом можно довольно точно оценить параметры и возможности будущей сети. Во-вторых, основные проблемы создания прикладных систем на базе нейронных сетей концентрируются сегодня вокруг научных задач, а не в сфере реализации. Проще говоря, если кто-либо из советских ученых сможет успешно применить нейроматематику для решения, например, задачи идентификации подписи, то он легко найдет западную фирму, готовую воплотить его идеи в промышленное изделие. В-третьих, из-за того, что "первая волна" исследований в данной области дошла до СССР с опозданием на 8-10 лет (т.е. в 70-х годах), многие участники этих разработок еще ведут активную научную деятельность и, в принципе, могут принять участие в становлении нейроматематики. Наконец, несмотря на то что исследования в области нейронных сетей находятся у нас в начальной стадии, уже есть некоторые разработки, которые могут представлять интерес для мировой науки.

Об одной из таких разработок стоит рассказать подробнее. Речь идет о попытке модифицировать модель нейрона, основанной на использовании новых достижений отечественной нейрофизиологии, в первую очередь результатов проф. В.Б. Вальцева. В мировой науке неоднократно предпринимались попытки использовать результаты биомедицинских исследований для усовершенствования нейронных сетей. Первоначально нейробиологи и нейроматематики работали сообща, и предложенные в 40-х годах модели нейрона и нейронной сети устраивали и тех, и других. Однако довольно скоро пути двух наук разошлись. Например, нейрофизиологи считают, что в деятельности мозга участвует примерно 14 тыс. различных химических реакций. Построить модель мозга, адекватно учитывающую такое число реакций, нереально не только сегодня, но и в обозримом будущем.

Тем не менее сегодня нейробиологи готовы предложить новую, модифицированную модель нейрона и нейронной сети, которая более адекватна их представлениям и сравнительно легко поддается реализации. Можно назвать следующие принципиальные отличия новой модели:

1. Базовый элемент системы - нейрон - сложнее и универсальнее, чем в сегодняшних моделях, организация сети - проще.

2. Нейрон имеет как возбуждающие, так и тормозящие входы, причем последние преобладают. Обучение сети таких нейронов сводится преимущественно к настройке тормозящих входов.

3. В сети присутствуют нейроны двух четко различающихся типов: один с большим числом входов и высоким порогом срабатывания (назовем его "ответственный") и другой, "безответственный" - с низким порогом срабатывания и малым числом входов.

4. Существенной частью системы является усложненная модель синапса. Настройка (обучение) синапсов позволяют моделировать механизм так называемой кратковременной памяти.

5. Действие каждого стимула вызывает в нейросистемах реакции двух видов: срабатывание на передний фронт сигнала и реакцию на его задний фронт (получившую название "офф-реакции"). Последняя оптимизирует поведение сети при поступлении повторяющихся сигналов.

6. Сеть работает в колебательном режиме. При отсутствии возбуждающих импульсов на вход подается ритмический фоновый сигнал.

7. Сеть реализует как прямое распараллеливание подзадач, так и иерархическую декомпозицию задачи.

Как утверждается, построенная на этих принципах модель будет значительно ближе к реальным нейронным системам, образовавшимся в процессе тысячелетней эволюции. Реализация такой модели "в кремнии" может привести к рождению нового поколения нейрокомпьютеров, способных решать гораздо более интеллектуальные задачи по сравнению с существующими. Так что не исключено, что в основе завтрашних нейрокомпьютеров будут лежать новые концепции нейронных сетей, разработанные нашими учеными.

История нейронных сетей: основные вехи и некоторые события

1943 г. У. Маккалох и У. Питтс предлагают модель нейрона и формулируют основные положения теории деятельности головного мозга.

1958 г. Ф. Розенблатт разрабатывает принципы построения перцептрона, первого технического воплощения нейронных сетей.

1960 г. Ф. Розенблатт создает первый перцептрон - систему Mark I, способную распознавать некоторые буквы.

1960-1968 гг. Период активных разработок в области теории нейронных сетей и их технических воплощений.

1969 г. М. Минский (M. Minsky) и С. Пейперт (S. Papert) издают книгу "Perceptrons", где доказывают принципиальную ограниченность возможностей перцептронов. Падение интереса к перцептронам и нейронным сетям. Переключение внимания исследователей на "нисходящий" подход к построению систем искусственного интеллекта.

1970-1976 гг. Активные разработки в области перцептронов в СССР (основные заказчики - военные ведомства).

1982 г. Дж. Хопфилд предлагает усовершенствованную модель нейронной сети и указывает новые пути моделирования функций мозга в электронных схемах и программном обеспечении. Возобновление интенсивных разработок в области нейронных сетей.

1987 г. Первые представители нового поколения нейронных сетей выходят на рынок. Годовой объем их продаж - 7 млн. дол. Правительства и военные ведомства США, Японии и Западной Европы начинают крупномасштабное финансирование разработок в этой области.

1988 г. Японские фирмы Nihon Denki и Fujitsu выпускают на рынок первые модели персональных нейрокомпьютеров Neuro-07 и FMR 50.

1989 г. Нейронные сети становятся одним из самых быстро растущих секторов рынка (за два года объем продаж вырос в пять раз). Разработки и исследования в области нейронных сетей ведутся практически всеми крупными электронными фирмами.

1990 г. Гиганты электронной индустрии выпускают на рынок целый ряд готовых изделий: AT&T анонсирует нейроплату, IBM - нейросканер, Philips - нейроБИС, и т.д. В США Управление перспективного планирования НИР военного применения (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA) финансирует 47 проектов 60 компаний на общую сумму 15 млн. дол. Появляются первые признаки активности советских исследовательских организаций в области нейронных сетей.

1991 г. Годовой объем продаж на рынке нейронных систем приближается к 140 млн. дол. Создан целый спектр программных и аппаратных коммерческих систем на базе нейронных сетей как специального, так и общего назначения. Работы по данной тематике разворачиваются в Минске, Москве, Новосибирске, Санкт-Петербурге. В Москве и Таганроге создаются Центры нейрокомпьютеров.