

## **Введение**

# **НЕЙРОКИБЕРНЕТИКА, НЕЙРОИНФОРМАТИКА, НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ**

В.Л. Дунин-Барковский

НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана<sup>1</sup>  
Ростовского Государственного Университета, Ростов-на-Дону

### ***1. Темп прогресса в науке***

В настоящее время все окружающее изменяется необычайно быстро. Разумеется, так было всегда. Единственное различие между прошлым и настоящим состоит в изменении субъекта быстрых изменений. Сами же изменения и быстрый, порой мгновенный рост подчиняются широко известному закону экспоненциального роста в ограниченном объеме. Я напомним читателям в двух словах, в чем состоит этот закон. Он прекрасно иллюстрируется задачей о банке с микробами.

Итак: отдельные особи микробов вида М делятся каждую секунду (одна на две) и находятся в стеклянной (трехлитровой) банке. По условию задачи, если в начальный момент времени в банке находится один микроб, то ровно через одни сутки банка наполнится до краев.

Вопрос задачи: "За какое время банка наполнится наполовину?" Ответ - за одни сутки без одной секунды.

Не укладывается в воображении то, что за одни сутки без 20 секунд банка заполнена лишь на одну миллионную часть. Решение этой задачи можно проиллюстрировать графиком - переход с 0 на 1 происходит в течение 10 секунд, т.е. практически за одну десятитысячную часть суток и на графике выглядит как резкая ступенька.

Знания о механизмах мозга представляют типичный пример экспоненциального роста в ограниченном объеме. Специалисты уже сейчас могут констатировать: нам известно уже очень много: 1/10, 1/1000 или 1/1000000 часть всех механизмов мозга. Время удвоения знаний - год (или 5 лет, что в общем-то не очень существенно). В любом случае мы находимся вблизи той точки во времени, когда практически все о

---

<sup>1</sup> В настоящее время президент Российской ассоциации нейроинформатики и нейрокомпьютинга В.Л. Дунин-Барковский работает в Институте проблем передачи информации РАН, Москва.

работе мозга нам станет известно. Таково мое восприятие "десятилетия мозга", провозглашенного Дж. Бушем в 1990 г. То есть сейчас исследователи мозга, выражаясь языком Колумба, "видят берег". Постараюсь дать читателям хотя бы некоторое представление об очертаниях этого берега.

## **2. Отступление I: Российская физиология и прогресс мировой науки**

Великий Иван Петрович Павлов обнаружил простейший существенный фундаментальный элементарный блок, на использовании которого строится, в основном, работа мозга. Это - элементарный (или, скорее - атомарный) условный рефлекс. Сейчас это бесспорно и признается всей мировой наукой. Но, разумеется, как прогресс в современной физике зиждется на достижениях Ньютона, но отнюдь к ним не сводится, так и прогресс в науке о мозге в существенной степени базируясь на новом понимании достижений Павлова, весьма многосторонен и многопланов.

Не удержусь и помяну недоброй памяти годы, когда - о, ирония судьбы, - в нашей стране утверждалось, что все, кроме условных рефлексов - буржуазное мракобесие (Павловская сессия Академии медицинских наук СССР, 1950 г.). Этот пример показывает, что даже в основе своей верные предпосылки могут отнюдь не вести к храму знаний. Для тех, кто не застал те годы, напомним: в 30-е - 50-е годы "советская физиологическая наука" догматизировала результаты нескольких отечественных столпов науки (условные рефлексы Павлова, диалектику торможения через возбуждение (парабиоз, доминанта и т.д.) Сеченова, Введенского и Ухтомского, фазовую концепцию нервного возбуждения Насонова и Александрова), а все остальное, включая кибернетику, предавала анафеме как "механицизм и метафизику".

Итак, достаточно давно стало ясно, что интеллектуальные процессы идут в коре больших полушарий. Павлов указал на условный рефлекс, как на один из основных "атомов" этих процессов в коре. В российской науке поколение чуть постарше нас (лет на 10-15) в силу только что упомянутых причин разделилось на адептов и сокрушителей идеологии "коры больших полушарий". Эта кора очень сложна и, как казалось "диссидентам", слишком сложна для того чтобы всерьез надеяться понять детали происходящих в ней нервных процессов. Гораздо больше шансов было разобраться с механизмами работы более просто устроенных структур: спинного мозга, мозжечка, гиппокампа.

---

Я сформировался как специалист по устройству и работе мозжечка. Надо сказать, что придя студентом МФТИ в 1962 г. в теоретический отдел Института биофизики АН СССР, возглавлявшийся уже тогда великим математиком и ныне здравствующим академиком И.М. Гельфандом, я был всерьез обижен тем, что мне вместо мышления предложили заниматься управлением движениями, а вместо большого мозга (т.е. коры больших полушарий) - мозжечком. Молодость, молодость..., это только в самое последнее время стало понятно, что распространенное (к сожалению) высказывание о футболистах, мол, ноги есть - ума не надо, глубоко неверно. Современные системы искусственного интеллекта прекрасно играют в шахматы, а вот в футбол - научатся нескоро. Словом, интеллектуальная сфера есть только малая надводная часть айсберга мыслительной деятельности. Я не говорю о подсознательном в традиционном фрейдистском понимании (это - отдельный предмет), а о массе процессов переработки огромных объемов поступающей в мозг первичной информации, соотнесении ее с тем, что хранится в мозге, и синтезе сигналов управления огромным числом степеней свободы организма.

Эти информационные процессы, особенно их периферическая часть, связанная непосредственно с сенсорами и преобразователями внешних воздействий в энергию нервных импульсов, а также первичная обработка потоков этих импульсов, - требуют огромных вычислительных ресурсов, имеющихся в нервной системе, и плохо получающихся в технических системах.

Сказанное зафиксировано в названиях и идеологии всемирных современных научно-технических суперпроектов (программ) века.

В предшествующее десятилетие развитие средств вычислительной техники во всем мире испытало сильное влияние со стороны инициированной Японией программы "Пятое поколение компьютеров". Основным лозунгом этой программы было развитие систем искусственного интеллекта на основе алгоритмических языков. В 1992 г. программа "Пятое поколение" была завершена и ей на смену пришла программа "Вычисления в Реальном мире".

### **3. Real World Computing (RWC)**

Я привожу исходное название этой международной программы. Оно возникло и провозглашено в весьма патриотичной и отнюдь не англоязычной Японии, именно в

той форме, как здесь написано, и без перевода понятно научной аудитории любой национальности.

Итак, программа "Вычисления в Реальном мире". Речь идет прежде всего о том, чтобы дать вычислительным и управляющим системам возможность самостоятельно, без помощи "переводчика"-человека воспринимать воздействия внешнего мира и действовать в нем. Авторы программы огромную роль - до 30-40% ее содержания отводят исследованию естественных и созданию искусственных нейросетевых систем.

Искусственные нейронные сети, они же коннекционистские или связевые системы представляют собой устройства, использующие огромное число элементарных условных рефлексов, называемых по имени недавно умершего канадского физиолога синапсами Хебба. Такой синапс, как основу возможных механизмов памяти и поведения, Д.Хебб описал теоретически в 1949 году, т.е. в первые годы после рождения кибернетики. Уже сейчас искусственные нейронные сети применяются для решения очень многих задач обработки изображений, управления роботами и непрерывными производствами, для понимания и синтеза речи, для диагностики заболеваний людей и технических неполадок в машинах и приборах, для предсказания курсов валют и результатов скачек. Я ограничусь перечислением, поскольку подробности займут слишком много места.

Таков один из "слонов", на котором сейчас стоит платформа современного научно-технического прогресса и одно из важнейших его направлений - программа RWC, провозглашенная Японией, как лидером современного научно-технического прогресса (во всяком случае - в отношении производства предметов и товаров в невоенных целях).

#### **4. Нейрокибернетика**

На протяжении трех последних десятилетий, раз в 2-4 года со всего Советского Союза съезжались в Ростов-на-Дону специалисты на всесоюзные с международным участием конференции по нейрокибернетике. Бессменным организатором этих конференций был профессор Александр борисович Коган (1912-1989). В 1992 г. прошла десятая конференция этого цикла. Она была посвящена памяти А.Б.Когана, человека, проявившего выдающиеся научные и организаторские способности, позволившие ему не только создать единственный в стране Институт

нейрокибернетики (с 1992 г. институт носит имя своего основателя), но и организовать и скоординировать усилия исследователей "тайн мозга" во всесоюзном масштабе.

Собственно нейрокибернетика представляет собой широкое поле наук и технологий, связанных с пониманием устройства нейронных систем и применением полученных знаний в технике и медицине.

В частности, в Институте нейрокибернетики имеются научно-исследовательские отделы (в скобках указаны руководители подразделений):

- внутриклеточной организации нейрона, включающий лабораторию электронной микроскопии (к.б.н. В.Н.Гусатинский, к.б.н. Г.М.Федоренко);

- организации нейронных сетей, включающий лабораторию самообучающихся нейронных систем (к.б.н. А.Г.Сухов, к.б.н. В.Н.Ефимов);

- организации информационных и управляющих систем мозга (д.б.н. А.А.Буриков);

- организации высших функций мозга человека, включающий лабораторию нейрофизиологических механизмов психической деятельности (к.б.н. А.Э.Тамбиев, д.б.н. В.Н.Кирой);

- моделирования нервных механизмов и робототехники (А.И.Самарин);

- автоматизации медицинских исследований (д.б.н. Г.А.Кураев);

лаборатории:

- улучшения и восстановления функций сенсорных систем (д.б.н. Е.Б.Компанеец);

- физиологии и биохимии нейропептидов (д.б.н. А.М.Менджерицкий);

- методов и средств моделирования нейробионических систем и нейрокомпьютеров (Б.А.Финкельштейн);

- нейроинформатики сенсорных и моторных систем (к.б.н. Л.Н.Подладчикова);

- механизмов организации нервных процессов и управления поведением (к.б.н. Е.В.Вербицкий);

- методов анализа экспериментальных данных (д.б.н. Б.М.Владимирский);

а также - группа компьютерной графики (к.б.н. В.Д.Цукерман).

Среди задач, в решении которых в последнее время в Институте нейрокибернетики были существенные достижения: алгоритмы и детали механизмов распознавания полутоновых изображений человеком и животными, системы технического зрения, устройства и методы анализа электрического поля мозга человека, метод и устройство электрической стимуляции кожи века, излечивающие ряд заболеваний, связанных с частичной атрофией сетчатки и зрительного нерва,

программные и аппаратные модели нейронных сетей и процессов обучения в них, выявление отдельных деталей нейронных механизмов памяти и анализа сенсорных сигналов, анализ механизмов и функций сна и гипнотических состояний, межполушарной ассиметрии, разработка методов и приборов психофизиологического естирования и диагностики оптимальных профессиональных склонностей.

## **5. Нейроинформатика**

Та часть работ, которая связана с разработкой устройств переработки информации на основе принципов работы естественных нейронных систем относится к области нейроинформатики или нейровычислений (нейрокомпьютинга). Термины эти появились недавно - в середине 80-х годов. В то же время сравнение электронного и биологического мозга ведется постоянно на протяжении всей истории существования вычислительной техники. Знаменитая книга Н.Винера "Кибернетика", ознаменовавшая рождение этой науки в 1948 г., имеет подзаголовок "Управление в живых системах, технике и обществе".

Новый мощный импульс идея нейро-бионики, т.е. создание технических средств на нейро-принципах, получила в 1982-1984 гг. В это время размеры элементарных деталей вычислительных устройств сравнялось с размерами элементарных "преобразователей информации" в нервной системе. Быстродействие электронных элементов в миллионы раз больше, а эффективность решения задач, особенно связанных с ориентировкой и принятием решений в сложной естественной среде, у биологических систем выше.

Возникло подозрение, что живые организмы выигрывают за счет своих механизмов процессов переработки информации. Резко активизировались фундаментальные и прикладные исследования в этой области. Сейчас нейроинформатика как наука уже обладает собственным аппаратом и предметом исследований.

Суть всех подходов нейроинформатики: разработка методов создания (синтеза) нейронных схем, решающих те или иные задачи. Нейрон при этом выглядит как устройство очень простое: нечто вроде усилителя с большим числом входов и одним выходом. Различие между подходами и методами - в деталях представлений о работе нейрона, и, конечно, в представлениях о работе связей. Собственно, как уже отмечалось выше, устройства нейроинформатики представляют собой связевые системы. В отличие

от цифровых микропроцессорных систем, представляющих собой сложные комбинации процессорных и запоминающих блоков, нейропроцессоры содержат память, распределенную в связях между очень простыми процессорами. Тем самым основная нагрузка на выполнение конкретных функций процессорами ложится на архитектуру системы, детали которой в свою очередь определяются межнейронными связями.

Значительную роль в общем подъеме интереса к нейропроблемам сыграла теория, предложенная Джоном Хопфилдом в 1982 г. Она буквально заворжила на продолжительное время физиков-теоретиков. И хотя с точки зрения нейро- теоретиков и технологов эта теория мало что дала, возбужденные ей аналогии и каскады головокружительных теоретических вычислений доставили немало эстетических радостей адептам науки. Кроме того, теория эта представляет хорошее поле для освоения понятий и упражнений, помогающих образовывать и развивать аналитические и моделирующие способности студентов.

Не углубляясь в технические детали, скажу, что благодаря работам Хопфилда возникло мнение, что наряду с ферромагнетиками и антиферромагнетиками возможны нейромагнетики, т.е. теоретические конструкции того же класса, что и первые два, но разительно от них отличающиеся и описывающие только запоминание дискретных образов (или так называемых паттернов информации) в нейронных сетях.

Другой важный класс нейронных систем введен в рассмотрение финном Тейво Кохоненом. У этого класса красивое название: самоорганизующиеся отображения состояний, сохраняющие топологию сенсорного пространства. теория Кохонена активно использует теорию адаптивных систем, развивавшуюся на протяжении многих лет академиком РАН Я.З.Цыпкиным.

Весьма популярна сейчас во всем мире оценка возможностей обучающихся систем, в частности, нейронных сетей (теория размерности Вапника-Червоненкиса). Ее основа была создана еще в 1966 г. советскими исследователями А.Я.Червонекисом и В.Н.Вапником.

Еще один класс нейроподобных моделей представляют сети с обратным распространением ошибок. Метод уходит корнями в довольно отдаленное прошлое. В развитии его современных модификаций ведущую роль сыграли французский исследователь ле Кун и проф. А.Н.Горбань из Красноярска.

Нейроинформатика стала внедряться в окружающую нас действительность в виде нейропроцессоров и нейрокомпьютеров. Перейдем к ним.

## **6. Отступление 2: нейронная бомба и психотронное оружие**

Когда в журнале "Успехи физических наук" стали появляться статьи в стиле теории Хопфилда, т.е. связанные с фазовыми переходами в нейронных системах корректоры упорно исправляли в этих статьях слово нейрон на слово нейтрон. Аналогичным образом - по аллитерации нейрон-нейтрон возникло сочетание "нейронная бомба". Однако связь здесь оказалась в действительности более глубокой. Во всем мире военные проявляют огромный интерес к нейровычислительным системам. В частности, нейросетевые исследования и разработки финансируются в рамках исследовательских программ всех родов войск США: во многих научных журналах опубликованы условия конкурсов на финансирование, проводимых этими ведомствами. Российские военные также проявляют интерес к научным конференциям и выставкам по нейросетевой тематике, проводимым в России. Не исключено, что на вооружении каких-то стран уже имеются нейронные снаряды-комикадзе, чей нейросетевой "интеллект" направлен на уничтожение каких-то конкретных целей. Таким образом нейронные технологии таят в себе определенные потенциальные опасности и должны постоянно находиться в сфере общественного внимания.

Чисто "по смежности" проблематики упомяну и проблему "психотронного оружия". Речь идет о том, что какими-то незаметными электромагнитными или просто слабыми воздействиями можно "зомбировать" большие массы людей. На мой взгляд такая возможность нереальна. Она время от времени муссируется средствами массовой информации и возможно даже и вызывает какую-то реакцию у потенциальных "заказчиков" - разработчиков оружия или противооружия. Но, к счастью, сейчас сколько-нибудь серьезной опасности отсюда не исходит. Если же, - не дай бог, - у серьезных специалистов возникнут опасения, что мечты о психотронном оружии становятся реальностью, то, разумеется, нужны глобальные (на уровне ООН) скоординированные действия мирового сообщества, видимо, такого же масштаба, как действия по защите от ядерной радиации или действия по борьбе с наркотиками.

## **7. Нейрокомпьютеры: необходима осторожность**

Прежде, чем рассказать что-то по существу о современных нейрокомпьютерных устройствах, упомяну еще об одной опасности, "профессионально" связанной с



нейрокомпьютингом. Я бы назвал ее сверх-угрозой халтуры, пожалуй, внутренне присущей этому роду занятий.

На высокую степень опасности этой угрозы для нашей профессиональной области указывает хотя бы на тот факт, что в непосредственной близости от нее процветает область, полностью основанная на - сознательном или бессознательном - жульничестве. Я имею в виду все оттенки парапсихологии и "космической биоэнергетики". Это, конечно, крайность, но ее следует иметь в виду и постоянно опасаться к ней скатиться.

Время от времени в СМИ (Средства Массовой Информации) появляются подвалы и многополосья о необыкновенных способностях и возможностях нейрокомпьютинга, который можно сделать нашей отечественной сохой за кратчайший срок и - разом вырваться на мировой уровень вперед, далеко опередив мощью своего интеллекта недалеких в общем-то американцев и, тем более, японцев.

Такие психологические атаки бывают успешными не только в СМИ, но и в кабинете ЛПР (Лиц Принимающих Решения). В последнем случае появляются решения, отправляющие в песок очередную огромную порцию общественных средств.

Таков негатив. Что же в позитиве?

В мире имеется несколько десятков специализированных фирм, выпускающих продукцию в области нейроинформатики и, кроме того, многие гиганты индустрии (IBM, Siemens, Mitsubishi и др.) ведут исследования и разработки в этой области. То есть намерения здесь в настоящее время серьезные. Каковы же достигнутые результаты?

Что такое нейрокомпьютер? На самом деле сейчас между понятиями компьютер и нейрокомпьютер примерно такое же соотношение как между понятиями государь и милостивый государь. То есть сейчас любой нейрокомпьютер не претендует на звание компьютера, но создается для решения какого-то фиксированного круга задач. Похоже, что широкие приложения получают устройства, основанные на комбинированных технологиях, включающие по мере необходимости те или иные нейропроцессорные устройства.

Некоторую рекламу и, соответственно, некоторые средства в Японии получили приборы бытовой техники: пылесосы, кондиционеры, электропечки и стиральные машины, использующие нейропроцессоры в устройствах управления.

Некоторое время назад появилась мода на применения искусственных нейронных сетей в финансово-экономических приложениях. Причиной появления моды стали успехи нейросетевых систем в области предсказания будущего. В этой и других задачах

такого рода речь идет о том, чтобы по имеющемуся числовому и событийному ряду предсказать следующие его члены. Нейросетевые конструкции порой решают эту задачу лучше, чем изощренные статистические методики. В чем здесь дело, пока непонятно, но финансистам это не важно.

На основании таких же методов А.Н.Горбань со своим американским аспирантом Ваксманом еще летом 1992 г. предсказал победу Биллу Клинтону на выборах в США. Более того, они могли также дать совет Бушу, какие действия предпринять, чтобы не потерять власть, но Буш их не услышал.

Традиционной областью применения нероппроцессоров остаются задачи узнавания изображений, речи, радарных сигналов.

Одно из новых, но впечатляющих приложений - физика высоких энергий (элементарных частиц). В задачах этой науки необходимо в огромном потоке данных от многочисленных датчиков сигналов от элементарных частиц в детекторах ускорителей разного рода, найти комбинации данных, означающих наличие определенных известных или предполагаемых событий. Предварительная обработка информации в этих случаях может быть выполнена нейропроцессорами, "натренированными" методами численного моделирования соответствующих процессов на поиск заданных событий.

И все же основной областью применения нейропроцессоров, скорее всего, станет использование в системах управления и поведения роботами. Глава фирмы, занимающей бесспорно первое место в мире по приложениям нейросетевых систем, автор термина NEUROCOMPUTER, американский профессор из калифорнийского города Сан-Диего Роберт Хехт-Нильсен полагает, что основной продукцией, производимой промышленными фирмами через 10 лет, станут "нейровычислительные роботы" (НВР). В частности, появятся разнообразные работы для выполнения домашней работы (няньки, прачки, кухарки...). Производство НВР быстро превзойдет по объему производство автомобилей и перейдет во все подавляющее производство роботов, производящих роботов...

Представляет такого рода виток спирали опасность человечеству, или нет, я сейчас судить не берусь. Но реальные события этой предполагаемой совершенно новой промышленной революции начнутся лет через пять, т.е. года с 1999 (см. раздел 1 данной статьи).

## **8. Научно-технический прогресс и целеполагание (вместо заключения)**

Нобелевская речь американского физиолога, лауреата нобелевской премии 70-х годов Роджера Сперри меня потрясла тем, что речь в ней шла о... научном коммунизме. Я тогда тоже пришел к этой идее, самостоятельно рассуждая о кошмаре нашего тогдашнего социалистического общества в отблесках пожара, пылавшего на развалинах "Пражской весны социализма с человеческим лицом". Мой товарищ Сергей Адамович Ковалев тогда если не сидел уже в тюрьме, то во всяком случае на всех порах двигался в том направлении. Мне же казалось, что в эпоху глобальных неустойчивостей, порожденных научно-техническим прогрессом, серьезное изменение политической системы нереально. Поэтому было естественно попытаться найти умозрительный хотя бы выход из тупика социализма. Работая младшим научным сотрудником, я, естественно, искал научного выхода. Ну и, конечно, серьезный толчок в этом направлении давали самиздатские "Мысли..." Андрея Дмитриевича Сахарова.

Основная идея моего (совпавшего с мыслями Р.Сперри) научного коммунизма состояла в том, чтобы науку, т.е. добывание новых знаний, поставить в качестве цели существования общества. Естественно, что общество, объединенное некоторой единой целью, является коммунистическим. Оттуда и появилось сочетание "научный коммунизм". Чтобы отличить эту идею от ненавистного марксизма-ленинизма, я употреблял термин "естественно-научный коммунизм" (ЕНК). В упомянутой статье Р.Сперри тоже очень боялся, что его сочтут за сторонника марксизма, и весьма энергично от этого защищался.

Общим местом в наших со Сперри (шутка, конечно) теориях было то, что к целеполаганию общества мы шли со стороны попыток понять устройство мозга. Современный бурный прогресс науки и техники в этом месте, вместе с растущей неустойчивостью глобальных мировых социальных и экологических процессов вводит, мне кажется, идею ЕНК по крайней мере в число идей, достойных общественного внимания.

В ноябре 1993 г. за чашкой чая в небольшой интернациональной компании, состоящей из стажеров университета Хоккайдо, мне довелось провести бурные дебаты "о смысле жизни" с монахом-иезуитом, настоятелем католического храма в префектуре Саппоро гражданином Германии О.Манфредом. Похоже, что мне удалось убедить католического священника в конкурентоспособности естественно-научного целеполагания, по сравнению с религиозным.

Помимо сказанного выше, дискуссия коснулась еще одного вопроса, традиционно решаемого церковью, - проблемы жизни и смерти. В этой проблеме уже давно заметно влияние естественно-научного фактора. С одной стороны - это известные методики замораживания смертельно больных раком и другими неизлечимыми заболеваниями с надеждой на оживление в отдаленном будущем, "когда позволят достижения науки". С другой стороны - здесь известные теоретические представления о том, что информационная основа любой конкретной личности может быть "считана" в компьютерные системы и обрести как бы небиологическую телесную оболочку. Звучит, во всяком случае пока, - несколько фантастично. Тем не менее конкретные технологические задачи, которые здесь вырисовываются, бесспорно относятся к области нейрокибернетики и нейроинформатики, а для их решения должны потребоваться нейрокompьютеры.