

Г.А. Шерозия, М.Г. Шерозия

**Человеческий разум,
рожденный в сетях
искусственных логических
элементов – введение в проект
создания
нового человека**

Россия, Канада
2013 год



007.52 - Искусств. интеллект

ББК 32.813
Ш 49

681.513.8 - Кибернетич.
систем

Шерозия Г. А., Шерозия М. Г.

Ш 49 Человеческий разум, рожденный в сетях искусственных логических элементов – введение в проект создания нового человека : монография / Г. А. Шерозия, М. Г. Шерозия. – Рязань : ПРИЗ, 2013. – 304 с.

ISBN 978-5-93918-060-3

ББК 32.813

2013/118 11933	Alisher Navoiy nomidagi O'zbekiston MK
-------------------	--

VI
347158

ISBN 978-5-93918-060-3

- © Шерозия Г. А., Шерозия М. Г., 2013
- © Оформление. ЗАО «ПРИЗ», 2013

Аннотация

Возможно ли возникновение разума близкого к человеческому в каких-либо искусственных структурах? Достигнет ли этот разум такого уровня, что его обладатель сможет считаться новым человеком? Какие методы для этого должны быть применены – методы строительства или выращивания - и чем эти методы отличаются? Насколько разнообразна и сильна должна быть мотивация, чтобы мозг захотел мыслить?

Какова минимальная сложность мозга, способного мыслить? И какова при этом должна быть сложность соответствующего алгоритма? Искусственный интеллект – это интеллект алгоритмический? Можно ли создать алгоритм изобретения алгоритмов? Творчество – это изобретение новых алгоритмов?

Можно ли мышление человека свести к каким-либо алгоритмам? И можно ли его воспроизвести с помощью прямого программирования на компьютере? Если нет, то можно ли с помощью компьютера создать такую виртуальную нейронную сеть, которая при определенных условиях окажется способной к мышлению?

Нужно ли мыслящему мозгу тело?

Может ли стремление к интеллектуальному слиянию нескольких новых людей по силе мотивации оказаться сильнее, чем стремление людей к физиологическому слиянию?

Может ли стремление к интеллектуальному слиянию считаться высшим уровнем мотивационной пирамиды Маслоу?

Может ли робот считаться младенцем нового человека?

Можно ли использовать модель триединого мозга МакЛина (рептилоидный отдел, лимбическая система, неокортекс) при компьютерном моделировании мышления? Можно ли моделировать рептилоидный уровень мозга с помощью прямого программирования базовых инстинктивных потребностей без моделирования на этом уровне нейронной сети?

Не является ли наше мышление самоорганизующимся процессом в нейронной сети, открытой для входного и выходного информационных потоков и мотивационного воздействия со стороны рептилоидного уровня мозга?

Оптимальна ли структура человеческого мозга или мыслящий мозг может отличаться от человеческого?

Распространение возбуждения по нейронной сети коры головного мозга напоминает процесс диффузии или отличается от него?

Что такое синаптическая неустойчивость и не является ли наше мышление балансом между порядком и хаосом? Обладает ли сознанием соседский кот?

Какие научные, технические, финансовые условия должны быть реализованы, чтобы искусственное мыслящее существо (новый человек) было создано? Не станет ли новый

человек не нашим помощником, а нашим конкурентом? Может ли искусственное мыслящее существо считаться живым? Вот перечень главных тем настоящей книги.

Оглавление

Аннотация	3
Введение.	8
§ В.1 Постановка задачи.....	8
§ В.2. Мышление человека неалгоритмично.....	9
§В.3.Компьютерное моделирование работы мозга.....	15
Глава 1.	
Известные условия зарождения мышления в мозге.....	21
§1.1. Архитектура мозга	21
§1.2. Органы чувств	31
§1.3. Воспитание	39
§1.4. Некоторые временные параметры функционирования нервной системы.....	43
§1.5. Объект управления – тело	49
§1.6. Переход количества в качество	54
§1.7. Сложность.....	55
§1.8. Роль хаоса в работе мозга.....	65
§1.9. Мотивация	73
§1.10. Специализация.....	77
§1.11. Самоорганизация	84
Выводы	91
Глава 2. Мозаика.	93
§2.1. Проблема единой терминологии.....	94
§2.2. Некоторые данные о строении нервной системы.....	101
§2.3.Некоторые экспериментальные данные о работе мозга при удалении определенных его отделов.....	108
§2.4. Нейрон, аксон, дендрит, синапс.....	111
§2.5. Два метода измерения электрической активности мозга.....	122
§2.6. Сознание, сон, память.....	128

Выводы.....	135
-------------	-----

Глава 3.

Современное состояние технической базы, которая может быть использована при моделировании искусственного мыслящего существа	141
---	-----

§3.1. Закон Мура. Современные компьютеры. Проект TOP 500.....	141
§3.2. Искусственные нейронные сети.....	147
§3.3. Сети компьютеров	159
§3.4. Возможность самоорганизации в сети Интернет.....	167
§3.5. Моделирование тела - роботы.....	177
§3.6. Приводы тела роботов.....	181
Выводы	186

Глава 4.

Стадии моделирования. Сознание	187
--------------------------------------	-----

§4.1. Сознание	187
§4.2. Моделирование сознания при жестком программировании (мозг рептилии).....	190
§4.3. Моделирование сознания при наличии коры головного мозга (мозг низшего млекопитающего).....	192

Глава 5.

Стадии моделирования. Мышление человека	197
---	-----

§5.1. Строить или выращивать	198
§5.2. Общие идеи по конструкции модели мозга, способного мыслить.....	202
§5.3. Моделирование условий зарождения Мышления в мозге.....	208
§5.3.1. Архитектура мозга. Специализации.....	209
§5.3.2. Тело. Органы чувств и коммуникации.....	213
§5.3.3. Мотивация.....	216

§5.3.4. Некоторые временные параметры	220
§5.3.5. Сложность мозга как устройства и сложность алгоритма его работы. Хаос.....	222
§5.3.6. Воспитание. Переход количества в качество.....	228
Выводы	233

Глава 6.

Стадии моделирования. Дальнейшие перспективы.

Четыре сюжета для писателей фантастов237

§6.1. Большой мозг. Дополнительная мотивация новых людей.....	238
§6.2 Быстрый мозг.....	243
§6.3. Биологические исследования.....	247
§6.4. Космические исследования	252

Глава 7.

Организационная, финансовая и техническая реальность эксперимента.....254

§7.1. Организационные проблемы	254
§7.2. Технические проблемы	257
§7.3. Финансовые проблемы	259
§7.4. Социальные последствия	259

Заключение

266

Литература

271

Благодарности

300

*Посвящаем эту книгу
дочери и сестре Анюте,
которая пробудила в нас интерес к
исследованиям интеллекта.*

1. Введение.

§ В.1 Постановка задачи.

Настоящая монография предназначена для специалистов различных областей науки, интересующихся проблемой создания искусственного интеллекта, а также работами по исследованию человеческого мозга.

Монография написана на основании предельно краткого обобщения большого количества работ по исследованию процессов зарождения в мозге сознания и мышления. Часть излагаемых идей имеет оригинальный характер.

Учитывая огромный объем информации, накопленный в настоящее время в исследовании мозга, краткость изложения играет принципиальную роль, т.к. требует от авторов выделения тех аспектов имеющейся информации, которые могут иметь решающее значение при зарождении мышления. Слишком большой объем детальной информации затрудняет правильные обобщения, т.к. маскирует главные закономерности.

Целью монографии являлось привлечение внимания ученых и организаторов науки к проблемам изучения мышления, которые незаслуженно находятся во втором эшелоне исследований природы. Такая

ситуация во многом сложилась в силу представления о чрезвычайной сложности проблемы и малой вероятности каких-либо прорывных успехов в исследовании мышления. Хотя в действительности эта проблема для человечества значительно важнее большинства ведущихся в настоящее время научных исследований.

На основании обобщения накопленной информации авторы делают вывод о возможности значительного прогресса в понимании возникновения сознания на основе его комплексного моделирования. По-видимому, мы сможем утверждать, что понимаем, что такое мышление, только если создадим искусственное мыслящее существо. Близкую по содержанию мысль высказывал когда-то Ричард Фейман. Он говорил: «То, что я не могу построить, я не могу понять». Авторы утверждают, что, учитывая достижения в области исследования мозга, в области педагогики, в области развития компьютерной техники, в области роботостроения, мыслящее искусственное существо может быть создано в течение ближайших десяти-двадцати лет. Решение задачи реально. Необходимо только обеспечение координированных усилий ученых различных специальностей, т.к. проблема имеет комплексный характер.

§ В.2. Мышление человека неалгоритмично.

В последние годы появилось большое количество теоретических и экспериментальных работ по созданию искусственного интеллекта (ИИ). Определений самого понятия ИИ огромное количество. В некоторых работах // понятие ИИ определяется через конкретные

направления исследований (программирование игр, автоматический перевод, решение задач и распознавание образов). В других /2,3/ делается попытка дать этому понятию более общее определение. Однако любые определения достаточно быстро устаревают, так как с каждым годом появляются какие-то новые идеи и научные направления, еще больше расширяющие фронт работ, которые можно отнести к понятию ИИ. Поэтому будем исходить из самого общего интуитивного представления о том, что к работам по ИИ можно отнести любые попытки воспроизведения с помощью компьютеров каких-либо проявлений интеллектуальной деятельности человека.

На пути создания ИИ имеются не только технические проблемы, но и проблемы более принципиального характера. К техническим можно отнести, очевидно, неполное знание закономерностей работы мозга и недостаточное пока быстроедействие компьютеров. А идеологическую проблему в своих книгах /4,5/ и в книге /6/, сформулировал Р. Пенроуз, подвергнув сомнению принципиальную возможность смоделировать человеческое мышление с помощью компьютера. В своих книгах Р. Пенроуз, опираясь на работы Геделя, убедительно доказывает, что способность человека к пониманию сути вещей невозможно свести к набору вычислительных правил. Он считает, что человеческую интуицию и понимание в принципе невозможно свести к какому бы то ни было набору стандартных правил. Говоря предельно простым языком теорема Геделя утверждает, что непротиворечивое описание членов множества можно дать только выйдя за пределы множества. Отсюда Пенроуз делает вывод о том, что создатель алгоритмов (мыслитель) не может действовать в соответствии с

каким-то алгоритмом, то есть должен быть неалгоритмичен!

То есть определенная часть человеческого мышления принципиально неалгоритмична. Таким образом, основываясь на теореме Геделя, Р. Пенроуз доказывает неизбежность наличия в человеческом мышлении составляющей, которую никогда не удастся воспроизвести с помощью компьютера.

По-видимому, Р. Пенроуз абсолютно прав. Смоделировать человеческое мышление во всех его аспектах с помощью компьютера, скорее всего, невозможно.

Однако с помощью компьютера можно попытаться создать некое устройство, собственной особенностью которого при ряде условий может оказаться зарождение сознания. Что же это за устройство, и в какие условия его надо поместить, чтобы в нем начался процесс пробуждения сознания – именно обсуждение этих вопросов является главной задачей данной монографии.

В работах /7,8,9/ предложено определение мышления как процесса восприятия, обработки, сохранения, а также генерации и распространения информации без постороннего вмешательства. Различается несколько уровней мышления:

- низший уровень - условные и безусловные рефлексы. Этот уровень, очевидно, может быть обеспечен сравнительно простыми алгоритмами;

- второй уровень – повседневные бытовые задачи. Этот уровень тоже может быть обеспечен четкими алгоритмами;

- третий уровень – традиционная профессиональная деятельность. Если это достаточно простая работа, то тоже можно надеяться ее выполнить

с помощью обучения и следования стандартному набору алгоритмов;

- высший уровень мышления – творчество. Этот уровень принципиально неалгоритмичен и, по-видимому, именно об этом уровне мышления и писал Р. Пенроуз, утверждая, что его невозможно смоделировать на компьютере. Первые три уровня мышления можно отнести к уровню сознания. Сознание при таком подходе есть и у животных, но уровень полноценного мышления достигается только людьми.

Итак, для макроскопического уровня, то есть уровня мышления, утверждение о том, что этот уровень неалгоритмичен, скорее всего, соответствует действительности. Именно это следует непосредственно из теоремы Геделя. Однако далее Р. Пенроуз спускается на микроуровень, на уровень отдельных нейронов и предполагает, что неалгоритмичность мышления задается неалгоритмичностью работы нейронов. В качестве возможных причин неалгоритмичности функционирования нейрона предполагается влияние квантовых явлений в цитоскелете и микротрубочках, содержащихся в нейронах. В качестве гипотезы эта идея имеет право на существование, особенно учитывая реальное отсутствие цельной картины возникновения мышления в мозге.

Однако на сегодня нельзя отбрасывать и другую гипотезу. Можно предположить, что на макроуровне мышление неалгоритмично, но нейроны подчиняются пусть сложным, но алгоритмам. Тогда неалгоритмичность мышления является следствием, не неалгоритмичности функционирования нейронов, а следствием особенностей функционирования нейронной сети (см. рис. 1).

А. Гипотеза Пенроуза



Б. Альтернативная гипотеза



Рисунок 1. Неалгоритмичность работы человеческого мозга объясняется либо по варианту "А", либо "Б". Вариант "Б" дает надежду на возможность компьютерного моделирования мышления

Если принять эту гипотезу в качестве рабочей, то появляется перспектива для попыток смоделировать работу мозга, в котором может зародиться мышление, через компьютерное моделирование работы нейрона (формальный нейрон) и дальнейшего объединения нейронов в сеть.

Есть ли надежда, что при переходе от алгоритмического микроуровня на макроуровень возникает неалгоритмичность? Есть. И таких оснований несколько.

Во-первых, сложность возникающего объекта при объединении в сеть громадного количества нейронов. Известно, что у сложных систем возникают новые качества, которыми не обладали подсистемы этих систем /10,11,12,13/.

Во-вторых, нейроны могут функционировать в двух режимах. Они могут спонтанно (самопроизвольно) генерировать импульсы (пейсмейкерный режим) и могут обрабатывать поступающие на них сигналы от других нейронов и передавать результирующий сигнал дальше (детекторный режим). На генерацию или детектирование сигналов расходуется энергия, запасенная в нейроне. То есть нейронная сеть, состоящая из таких нейронов, есть пример активной среды, в которой сигнал распространяется и поддерживается благодаря процессам локального высвобождения запасенной в среде энергии, идущей на запуск аналогичных процессов в соседних областях. То есть, в отличие от консервативных сред, энергия активной среды не сохраняется, а расходуется на поддержание распространяющегося сигнала. В таких средах могут складываться условия для развития процессов самоорганизации /14,15,16/, которые могут сообщить системе принципиально новые качества.

В-третьих, как уже отмечалось, каждый нейрон может самопроизвольно генерировать импульсы, которые могут в дальнейшем распространяться по всей нейронной сети мозга. Учитывая, что в мозге около 10^{11} нейронов, а частота генерации спонтанных импульсов достигает 0,1 Гц, получается, что мозг ежесекундно генерирует около 10^{10} шумовых импульсов, которые в дальнейшем хаотически распространяются по нейронным сетям.

В-четвертых, мышление зарождается в мозге, который является открытой структурой для постоянного сенсорного возбуждения.

Кроме того, представляется вероятным, что к мозгу применима идея динамического хаоса /17,18,19,20,21/, из которой следует, что даже в простейших механических системах есть принципиальное ограничение, связанное с прогнозом. Существует характерное время – горизонт прогноза, по прошествии которого возможно только предсказание вероятности найти систему в разных состояниях. В главе 1 настоящей книги перечислены еще ряд условий, выполнение которых необходимо для зарождения в мозге сознания и мышления. Очень, похоже, что перечисленные условия и причины позволяют нам надеяться на перспективность компьютерного моделирования работы отдельных нейронов и объединения их в сеть с целью моделирования неалгоритмичного процесса мышления. Такие работы ведутся в ряде стран.

§ В.3. Компьютерное моделирование работы мозга.

Наиболее интересными современными работами по моделированию мозга, по-видимому, можно считать

проекты SyNAPSE /22-35/ и Blue Brain /36-58/. В проекте Blue Brain взята, по утверждению авторов, полностью биологически точная модель нейрона. В результате при использовании суперкомпьютера с производительностью около 2×10^{13} flops удалось смоделировать кусочек мозга, содержащий 10^4 нейронов и 3×10^7 синапсов.

Программа оказалась настолько точной, что моделируемые нейроны начали спонтанно соединяться, что идентично процессам, происходящим в мозге живых существ. Однако, столь точная программа очевидно сложна и легко видеть, что для моделирования мозга человека (свыше 10^{10} нейронов и 10^{14} синапсов) потребуется компьютер с производительностью свыше 10^{20} flops. Такие компьютеры даже при сохранении темпов развития по закону Мура появятся еще не скоро. И это с учетом того, что закон Мура утверждает, что быстродействие процессоров удваивается каждые два года, а последние годы даже быстрее.

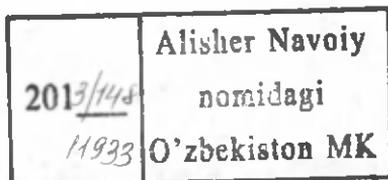
В проекте SyNAPSE не делается попытка идеально точно воспроизвести биологические особенности нейрона, из которых следуют его свойства как логического элемента нейронной сети (формальный нейрон). Моделируются сразу свойства нейрона как логического элемента. Учитывается, что 20% синапсов в коре запрещающие, а остальные возбуждающие; учитываются известные на сегодня особенности архитектуры мозга. В результате авторам при использовании суперкомпьютера с производительностью около 4×10^{14} flops удалось смоделировать кусочек мозга, содержащий около 10^9 нейронов и 10^{13} синапсов при их работе медленнее, чем реальный мозг, ориентировочно в 100 раз. Из этих цифр видно, что для моделирования работы мозга человека с

учетом его реального быстродействия при использовании моделей проекта SyNAPSE потребуется компьютер с производительностью около 10^{18} flops, что может быть достигнуто в ближайшие 10 лет.

Реалистичность моделирования работы мозга человека уже в ближайшие годы можно подчеркнуть, учитывая, что суммарная производительность ПК, входящих в Интернет уже сегодня превышает 10^{20} flops (число пользователей более 10^9 , производительность ПК около 10^{11} flops). Объединять усилия отдельных пользователей Интернет в едином проекте уже удавалось. Так, в эксперименте по поиску внеземных цивилизаций было объединено около миллиона добровольцев. А при объединении возможностей хотя бы одного процента пользователей Интернет уже можно было бы получить производительность, достаточную для моделирования мозга человека при использовании программ, аналогичных использованным в проекте SyNAPSE.

В последние годы также достигнут значительный прогресс в моделировании тела животных и человека / 59-64 /, что, как будет отмечено ниже, также очень важно при попытках создания разума, аналогичного человеческому.

Однако очевидно, что одно дело - создать некое даже очень совершенное устройство, возможно полностью идентичное человеческому мозгу, и совершенно другое дело - научить это устройство действительно мыслить. Возможно, вторая задача - обучение искусственной нейронной сети, аналогичной по параметрам мозгу человека, окажется не менее сложной, чем собственно создание самой сети. Однако без решения этой второй задачи все эксперименты по



моделированию мозга человека будут экспериментами по моделированию мозга идиота.

В принципе работ по искусственным нейронным сетям опубликовано огромное количество /65-79/. В том числе одна из проблем, изучаемая в этих публикациях, это проблема обучения нейронной сети. Однако, одно дело - разработать технологию обучения сравнительно простой нейронной сети, создаваемой для решения какой-либо конкретной задачи, и совершенно другое дело - обучение нейронной сети, по сложности не уступающей человеческому мозгу. В то же время очевидно, что если ставить целью именно создание разума, то методы его обучения должны максимально приближаться к методам воспитания человека. Тогда у нас появится шанс создать действительно разум, а не просто очередной, пусть даже совершенный, компьютер, действующий в рамках жестко заданных алгоритмов.

В процессе разработки методов обучения придется научиться отличать имитацию мышления от реального им обладания. В 1950г. Тьюринг в одной из своих статей, обсуждая вопрос, могут ли машины мыслить, предложил известный теперь под его именем тест. В этом тесте предлагалось считать машину мыслящей, если, беседуя с ней, но не видя ее, человек будет не в состоянии узнать, что это машина. Попытки формализовать понятие «интеллект» и сравнить интеллект машины и человека предпринимались и после Тьюринга. В частности Шейн Легг (Shane Legg) и Маркус Хаттер (Marcus Hutter) из швейцарского института искусственного интеллекта в статье «Универсальный интеллект: определение машинного интеллекта» дали следующее определение интеллекта:

«Интеллект есть мера способности индивидуума добиваться цели в различных обстоятельствах».

Однако, сомнительно, что человеческое мышление можно определить каким-либо простым образом, а тест Тьюринга – это, скорее всего, тест на возможность совершенной имитации мышления.

Реальный тест на наличие мышления, по-видимому, - это все-таки тест на способность и стремление к творчеству, к свободе выбора, к постановке новых задач. Если на этом пути при опоре на методы воспитания человека будет получен интеллект, то, по-видимому, считать его искусственным будет не совсем верно. По-видимому, его следует называть естественным интеллектом, возникшим в сети искусственных логических элементов. Таким образом, **ИИ** - это интеллект алгоритмический, моделируемый с помощью компьютера. Это интеллект, который в принципе не может развиваться до уровня мышления. Это интеллект, который работает на уровне синтаксиса, но не достиг уровня семантики. В то же время, если нам когда-либо удастся создать некое устройство, которое окажется способным мыслить неалгоритмично, то его нельзя будет классифицировать, как относящееся к ИИ. Его необходимо будет считать естественным интеллектом, созданным на основе искусственных логических элементов. Сокращенно естественный-искусственный интеллект ЕИИ.

Какие бы теории и модели не строили исследователи мозга, ответом на то, какая из этих моделей является правильной, может быть только прямой эксперимент. Однако, если ставить задачей исследование не просто наличия сознания, а исследование процесса мышления и творчества, то очевидно, что прямой эксперимент практически

невозможен. Более того, он, по-видимому, никогда не будет возможен по этическим и медицинским соображениям, так как такой эксперимент потребовал бы вмешательства в мозг живого человека с целью изменения его творческих способностей.

Поэтому можно утверждать с высокой степенью вероятности, что человек сможет сказать, что понимает, что такое мышление, только создав некий искусственный объект, который окажется мыслителем, не уступающим человеку.

Очевидно, что успешное решение поставленной выше задачи не снизит, а скорее всего повысит интерес к исследованию человеческого мозга. Во-первых, всегда будут оставаться чисто медицинские проблемы, а во-вторых, более ясными станут перспективы совершенствования человеческого мозга, в том числе и за счет интеграции с искусственными устройствами /124/.

Таким образом, единственным способом выяснить, как в мозгу возникает мышление, – это попробовать его создать. Опираясь в этой работе можно только на точно известные экспериментальные факты. Такие факты нам пока известны только о процессе зарождения мышления в мозге человека.

Глава 1. Известные условия зарождения мышления в мозге.

Итак, какие факты о развитии человеческого мозга известны точно и почти не вызовут никаких сомнений и дискуссий? Что нам известно об условиях, необходимых для развития мозга и всей центральной нервной системы? Какие достижения психологии и нейрофизиологии должны быть учтены при моделировании работы мозга? Еще раз подчеркнем, что одной из наших задач было предельно кратко изложить основные идеи, чтобы они не утонули в огромном объеме имеющейся информации о различных механизмах работы мозга и его подсистем.

Один из вопросов, который мы постараемся частично снять, это терминологическая путаница. Многие термины из физики не знакомы медикам, а медицинскую терминологию, очевидно, не знают специалисты по кибернетике. Поэтому в процессе изложения мы будем стараться избегать узкоспециальных терминов, а при невозможности этого пояснять термины, возможно незнакомые далеким от биологии специалистам.

§ 1.1. Архитектура мозга.

В данном параграфе мы отметим только несколько наиболее важных фактов, касающихся архитектуры мозга. Чуть более подробно эти вопросы будут рассмотрены во второй главе книги.

Здесь мы отметим только два факта. Первый - это то, что мозг является сложнейшей нейронной

сетью. И второй - это то, что нервная система (НС), включая Мозг, состоит как бы условно из двух частей – одной, жестко заданной генетически, и второй, развивающейся в процессе жизни.

Нейронная сеть Мозга содержит в совокупности около $10^{10} \div 10^{11}$ нейронов, которые могут работать в пейсмейкерном или детекторном режиме. Каждый нейрон имеет $10^3 \div 10^4$ входных отростков - дендритов и один длинный (до метра) выходной отросток – аксон. Контакты между аксонами одних нейронов и дендритами других нейронов называются синапсами. Важнейшее качество синапсов – их пластичность, то есть эффективность их работы, зависит от частоты их использования. То есть этот элемент нейронной сети явно обладает памятью. Поэтому многие исследователи считают, что долговременная человеческая память обусловлена именно работой синапсов (см. например /13/). Есть и другие точки зрения /80/.

В работах американского нейрофизиолога лауреата Нобелевской премии за 2000 год Эрика Канделя (см. например /121/) показано, что за кратковременную память отвечает изменение активности синапсов, а за долговременную – появление или исчезновение новых синапсов между нейронами. Причем изменение активности синапсов обусловлено изменением формы белков, поступающих в синапсы, а возникновение новых синапсов обусловлено синтезом новых белков.

Если исходить из того, что память обусловлена синапсами, и считать в простейшем случае, что один синапс может содержать один бит информации, то легко видеть, что объем памяти обычного человека должен достигать величины приблизительно 10^{14} бит. Учитывая, что 500 страничная книга содержит около 10^7 бит, ясно,

что емкость синаптической сети вполне достаточна для любых человеческих потребностей.

Известно, что объединение нейронов в сеть с помощью дендритов, аксонов и синапсов в коре головного мозга изначально при рождении не задано, а происходит постепенно по мере роста ребенка. Особенно интенсивно формирование сети происходит в первые три года жизни ребенка. Известно так же, что скорость формирования сложной нейронной сети определяется информационной сложностью той среды, в которой находится ребенок. То есть конечное состояние, к которому придет нейронная сеть в результате развития ребенка, генетически не предопределено.

С другой стороны ряд структур центральной нервной системы задан генетически. Так, очевидно задано разделение центральной нервной системы на спинной мозг, мозжечок и собственно мозг. Задана связь различных частей мозга с органами чувств, с внутренними органами и т.д. Работы по созданию все более точных атласов мозга ведутся уже не первую сотню лет, но мы сошлемся только на один проект, профинансированный одним из владельцев компании Microsoft Полом Алленом. В Алленовском институте (Allen Institute for Brain Science) создается подробный трехмерный атлас экспрессии генов в человеческом мозге. (Экспрессией генов называется программируемый геном процесс синтеза белков или РНК). Здесь, по-видимому, необходимо напомнить, что геном человека состоит из 46 молекул ДНК. Отдельным геном принято называть часть генома, ответственную за производство одного белка. На сегодня принято считать, что геном человека содержит около 30 тысяч генов. Геном во всех клетках человеческого тела одинаков, но в разных

органах он задействован в разной степени, производя белки, необходимые только для данного органа.

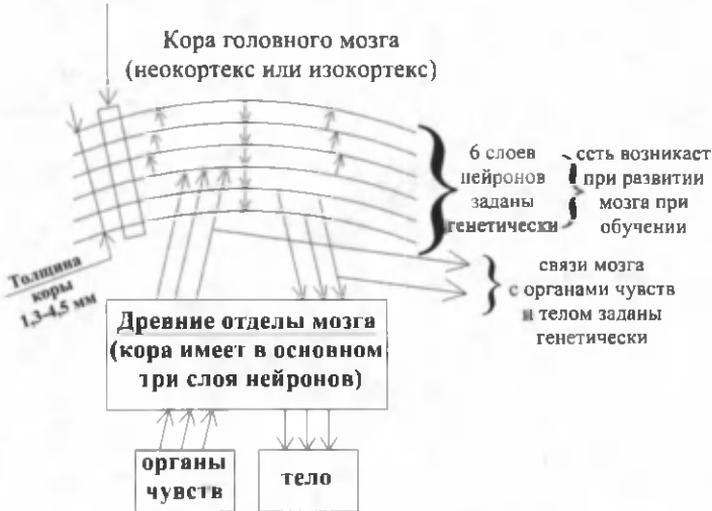
Сотрудникам Алленовского института удалось обнаружить, что в мозге задействовано около 80 % всех генов, содержащихся в геноме человека /81/. Отметим, что в /13/ и в /82/ дается оценка информационной емкости генома человека приблизительно в 10^{10} бит информации. Из этих цифр ясно, что для «сборки» НС необходим объем информации масштаба 8×10^9 бит. Исходя из этой цифры, становится ясно, почему структура НС состоит из жестко заданной генетической части и свободно развивающейся сложнейшей нейронной сети. Дело в том, что информационной емкости части генома, руководящего производством белков для мозга, не достаточно для фиксации сложнейшей нейронной сети, содержащей около 10^{14} синапсов. Геном в состоянии сформировать только каркас НС и обеспечить необходимым набором белков самостоятельно формирующуюся нейронную сеть.

В действительности, позволив нейронной сети в значительной степени развиваться самостоятельно, природа не только сэкономила на размере генома (несколько порядков!), но и обеспечила для собственника генома и нейронной сети возможность обучения. Как оказалось, свободно развивающаяся нейронная сеть в информационно насыщенной среде способна к обучению. На рисунке 2А условно изображено строение коры головного мозга человека. На рис.2Б схематически показано соединение нейронов и подчеркнуто, что некоторые элементы строения мозга заданы генетически, а нейронная сеть формируется в процессе взаимодействия с социально сложной средой.

Учитывая, что целью настоящей книги является формулирование конкретных рекомендаций по

A.

Вертикальная колонка или столбец - цилиндрический образец коры, охватывающий все шесть слоев нейронов коры.



Слои нейронов в колонке

1. Поверхностный слой - молекулярный
2. Наружный зернистый
3. Наружный пирамидный
4. Внутренний зернистый
5. Внутренний пирамидный
6. Слой веретеновидных клеток
далее белое вещество

Рисунок 2. А. Схема коры головного мозга и ее связей с органами чувств и телом



Рисунок 2. Б. Схема соединения нейронов

моделированию работы мозга, целесообразно представить архитектурное устройство мозга в виде некоторой пусть упрощенной схемы. Для этой цели наиболее удобна схема мозга, предложенная американским нейрофизиологом, руководителем лаборатории эволюции мозга и поведения Национального института умственного здоровья США Полем МакЛином /13, 110, 111, 112/. Свою схему МакЛин назвал триединым мозгом. Изучая эволюцию развития мозга у животных и человека, а также эмбриональное развитие человека МакЛин пришел к выводу, что головной мозг человека состоит условно из трех частей, две из которых развились из мозга живых существ, стоящих на более низких ступенях эволюционного развития по сравнению с людьми. Так, самый нижний отдел мозга (древняя кора) развился из мозга рептилий (Р-комплекс), следующий по рангу и времени возникновения отдел (лимбическая система) развился из мозга низших млекопитающих (старая кора) и только появление новой коры (неокортекс) означало, что появился человек разумный. Все перечисленные отделы последовательного развития мозга являются естественным продолжением спинного, заднего и среднего мозга, которые в совокупности МакЛин называл нейрошасси. Такое образное название МакЛин дал этой части нервной системы, так как головной мозг управляет телом именно посредством этой ее части (нейрошасси). Схематически идея МакЛина для устройства головного мозга изображена на рисунке 3. Для того, чтобы сопоставить схему МакЛина с отделами мозга, которые обычно выделяют физиологи, отметим, что укрупнено мозг подразделяют по мере удаления от спинного на: 1. продолговатый; 2. задний мозг; 3. средний мозг; 4. промежуточный мозг (таламус,

Кора головного мозга (неокортекс) - развивается в процессе взаимодействия с окружающей средой - генетически заданы связи с органами чувств (афферентные), с телом(эфферентные) и шестислойная структура.



Рисунок 3. Схема триединого мозга, предложенная Полем МакЛином.

эпиталамус, метаталамус, гипоталамус); 5. конечный мозг (два полушария и мозолистое тело – смотри Главу 2). Сравнивая две приведенные классификации можно заключить, что к нейрошасси МакЛин относит спинной, продолговатый, задний и средний мозг. Рептилоидный отдел - это образование вокруг среднего мозга. Мозг животных или лимбическая система включает в себя промежуточный мозг и некоторые структуры конечного мозга (таламус, гипоталамус, гипофиз, гиппокамп, миндалевидное тело и другие). Кора головного мозга, или конечный мозг, или неокортекс, состоит из двух полушарий и мозолистого тела, которое является совокупностью аксонов, соединяющих полушария. Принципиально важным моментом, который следует учесть при моделировании, это то, что по МакЛину после каждого эволюционного шага старые части мозга продолжали существовать и функционировать. Новое наслаение мозга привносит новые функции и новые возможности.

Так как же распределены роли между отделами триединого мозга? Мозг рептилии отвечает за жизнеобеспечение организма и поддержание основных функций, таких, как дыхание, пищеварение, движение. Этот отдел мозга отвечает за половой инстинкт и инстинкт самосохранения. То есть это те функции, которые жестко заданы генетически в результате эволюционного отбора. Однако этому отделу не свойственна функциональная пластичность, он не способен к обучению и способен обеспечивать жизнедеятельность лишь в условиях постоянства окружающей среды.

Лимбическая система или древний мозг млекопитающих отвечает за эмоции и память. Это тот отдел мозга, который руководит нашим стремлением

избегать боль и получать удовольствие. Этот отдел мозга уже обладает определенной гибкостью и способностью ограниченного обучения.

И, наконец, третий отдел мозга (новый мозг – неокортекс) отвечает за прогнозирование, способен к обучению и вносит коррективы в стандартные схемы поведения. Два полушария неокортекса связаны с противоположными половинами тела. У большинства людей левое полушарие обеспечивает способность к абстрактно логическому, аналитическому мышлению, отвечает за возможность вербального общения (речь). Правое полушарие отвечает за пространственно образное синтетическое мышление, отвечает за наличие музыкальных и художественных способностей (смотри, например /113/).

Нейрошасси служит не только для передачи управляющих сигналов от мозга к телу, но и для непосредственного формирования управленческих команд в ряде экстренных жизненно важных ситуаций, которые необходимо разрешить быстро. Это, например, прикосновение к горячему или острому предмету. В таких случаях управленческая команда должна быть выдана срочно, то есть любым самым близко расположенным отделом нервной системы. И таким отделом нервной системы для любой части тела является нейрошасси. Именно нейрошасси дает команду отдернуть руку в случае прикосновения к чему-либо горячему. Такая реакция называется рефлексом. Термин «рефлекс» происходит от латинского слова reflexus – отраженный. Для рефлекторных действий характерны автоматизм и произвольность. Различают рефлексы условные, приобретенные в процессе жизни, и безусловные (базовые), которые заданы генетически. Упрощая реальную ситуацию, что нам необходимо для

последующего моделирования, будет считать, что простейшая поведенческая реакция на опасный внешний раздражитель (базовый рефлекс) формируется именно в нейрошасси.

§ 1.2. Органы чувств.

Со времен Аристотеля принято считать, что у нас пять органов чувств, позволяющих видеть, слышать, осязать, чувствовать вкус и запах. Однако в действительности различных органов чувств у нас гораздо больше. В частности чрезвычайно важны чувство тепла, чувство равновесия, чувство голода и жажды, чувство осознания собственного тела, то есть постоянного знания, где находятся, в частности, наши конечности.

Информация от органов чувств передается в мозг по нервным волокнам, и всего таких чувствительных (афферентных) волокон у человека около 2,5 миллионов. В том числе зрительный нерв имеет около одного миллиона волокон, слуховой нерв имеет около 25 тысяч волокон, вестибулярный нерв около 20 тысяч волокон /83, 84/. Зная быстродействие (лабильность) функционирования элементов нервной системы, можно оценить объем информации, который способны передать афферентные нервные пути от органов чувств в мозг. Так как афферентные пути обычно состоят из трех нейронов, то быстродействие будет определяться быстродействием не только аксонов, но и синапсов.

Так, если аксоны способны пропустить до $500 \div 1000$ импульсов за секунду, то синапсы менее лабильны и способны передать только $100 \div 150$

возбуждений в секунду. Поэтому результирующая лабильность каждого нервного волокна составит около 100 импульсов в секунду. Так как в предельно напряженном режиме нервная система может работать только в экстренных ситуациях, то, по-видимому, можно предположить, что в штатном режиме каждое нервное волокно пропускает в среднем 10 импульсов в секунду.

Тогда общее количество импульсов за секунду, которое способна пропустить в среднем афферентная система нервных волокон, составит около $2,5 \times 10^7$ импульсов в секунду. Считая, что каждый импульс способен передать один бит информации, получаем $2,5 \times 10^7$ бит в секунду.

Оценим, достаточно ли такой пропускной способности для передачи информации от органов чувств к мозгу, взяв для оценки зрение. Человеческий глаз обеспечивает угловое разрешение около одной минуты, а пространственное – менее одного мегапикселя (около 0,4 мегапикселя). Именно поэтому для непрофессиональных фотографов с учетом сравнительно малого размера фотографий достаточно фотоаппарата, имеющего разрешение более пяти мегапикселей. Пиксель (pixel) является характеристикой наименьшего размера визуализации, но глаз у каждого такого минимально различимого объекта способен различить еще и оттенки цвета и его интенсивность. В итоге получается, что картинка, которая различается нашим глазом, содержит в себе приблизительно мегабит информации. А учитывая, что глаз способен за секунду разглядеть около 10 таких картинок, получаем, что только от глаз идет поток информации около 10^7 бит за секунду.

Таким образом, общий поток информации, идущий от органов чувств, и пропускная способность афферентной системы нервных волокон приблизительно совпадают и дают оценку для средней величины информационного потока, поступающего от органов чувств в мозг приблизительно 2×10^7 бит в секунду. Учитывая, что в году приблизительно 3×10^7 секунд, получаем, что объем информации, поступающий в мозг за год, составляет около 6×10^{14} бит. В предыдущем параграфе мы оценили общую информационную емкость мозга в 10^{14} бит. То есть, казалось бы, заполнение должно произойти менее, чем за год. Однако механизм памяти обеспечивает селекцию поступающей информации, и в долгосрочную память записывается не более одного процента информации, прокачиваемой через краткосрочную память. Таким образом, приведенные оценки для емкости долгосрочной памяти (10^{14} бит) и интенсивность среднего информационного потока (2×10^7 бит/сек) неплохо стыкуются (см. рис.4).

Приведенные оценки показывают уровень информационного потока от органов чувств, постоянно поступающего в мозг. И, видимо, именно такого уровня информационный поток и необходим, для того чтобы мозг развивался особенно в первые годы жизни. Как уже отмечалось, объединение нейронов в сеть с помощью дендритов, аксонов и синапсов изначально при рождении не задано, а происходит постепенно по мере роста ребенка. Причем скорость формирования нейронной сети и ее сложность зависят от информационной сложности среды, в которой ребенок растет. Аналогичные результаты наблюдаются и у животных. В частности, вскрытия мозга животных, выращенных в информационно бедной среде, по

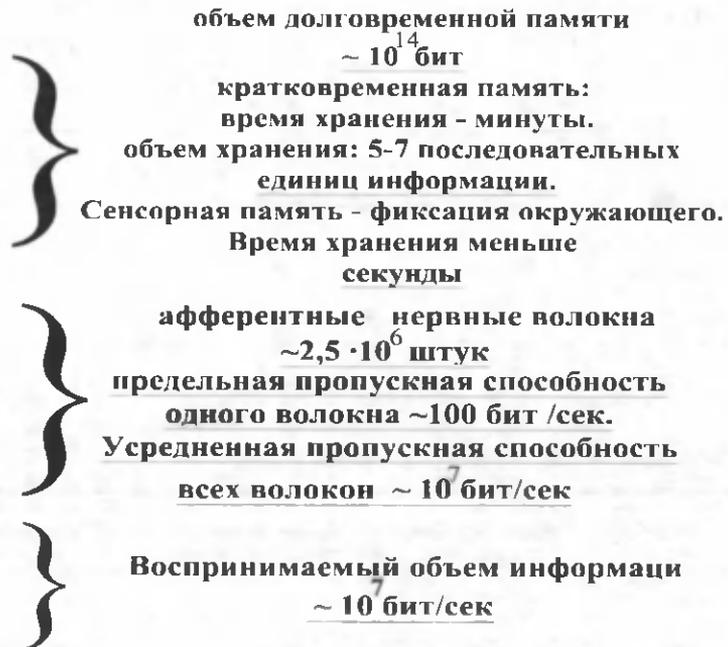


Рисунок 4. Ориентировочные информационные потоки от органов чувств к мозгу.

сравнению с другими животными, выращенными в информационно сложной среде, однозначно показывают неразвитость нейронной сети в первой группе.

Очевидно, что для восприятия информации, необходимой для развития мозга, нужны эффективно работающие органы чувств и нервные волокна, передающие информацию от органов чувств в мозг. Если какие-то из обычного набора органов чувств не действуют, то развитие мозга затрудняется. Если не действуют зрение и слух, то развитие мозга такого слепоглухонемого ребенка превращается в сложнейшую педагогическую задачу /85/. До девятнадцатого века такие дети были обречены даже не на животное, а скорее на растительное существование, так как многие из них были не способны научиться даже ходить. Первые успешные попытки обучения слепоглухонемых детей были сделаны в 1837 году в школе Пеккинса (Бостон, США) доктором Хоувом (Howie). Доктор Хоув впервые смог воспитать и обучить некоторым ремеслам слепоглухонемую девочку.

В дальнейшем воспитание таких детей было освоено еще в ряде стран, в том числе в СССР /85/.

Но даже прошедшие успешное обучение слепоглухонемые люди могут выжить только при помощи здоровых окружающих людей. В случае каких-либо катаклизмов они погибают первыми.

Органы чувств играют определяющую роль при развитии мозга, это очевидно. Но сами органы чувств развиваются в связи с конкретными техническими характеристиками окружающей среды. Если рыбы живут в подземном озере в абсолютной темноте, то глаза у них постепенно атрофируются, и мозг переключается на прием информации о внешней среде от других датчиков. Если для выживания необходимо

чувствовать электрическое или магнитное поле, или поляризацию света, то соответствующие датчики у живых организмов постепенно появляются.

Интересную историю об особенностях работы органов чувств рассказал однажды авторам Герой России, врач-исследователь, полярный путешественник Михаил Малахов /109/. Ему неоднократно приходилось совершать лыжные экспедиции на Северный Полюс, когда все снаряжение погружалось в рюкзаки на сани, которые везли за собой участники. Ему удалось совершить более чем четырехмесячное путешествие от Канады до Северного Полюса и назад вдвоем с канадским путешественником Ричардом Вебером. Во время таких путешествий огромное значение имеет правильность подбора снаряжения и особенно – адекватное питание. Как показали исследования Малахова, путешественник во время такого экстремального перехода должен потреблять ежедневно не менее 7 тысяч килокалорий, так как в день необходимо проходить в среднем около 20 километров, передвигая за собой сани весом более 200 кг. В условиях низких и сверхнизких температур (до -60°C) естественно, что главным в запасаемой пище является не вкус, а качественный состав, калорийность, компактность. При потреблении такой диеты в течение четырех месяцев весь набор экспедиционных продуктов (сублимированные сыр, мясо, молоко, орехи, сливочное масло, сыро-копченный бекон, сухари, чай, кофе и т.д.) был необычайно вкусным без тонкой дифференциации вкусовой разницы, то есть все продукты воспринимались одинаково, как просто вкусная еда. После возвращения из экспедиции все нормальные продукты, даже деликатесного плана, имели совершенно одинаковый вкус («как трава»), а

экспедиционный набор вызывал отвращение. Подобные вкусовые ощущения наблюдались в течение 2-3 недель. Возврат к нормальным ощущениям происходил постепенно.

Таким образом, органы чувств формируются в зависимости от параметров окружающей живое существо среды. И в дальнейшем, если это живое существо – человек, то для нормального развития его мозга ему необходимо получать каждую секунду около 10^7 бит сенсорной информации. При более слабом информационном потоке мозг развивается плохо.

А что если мозг развивался в благоприятных условиях, достиг уровня зрелости, а потом вдруг был резко ограничен в получении сенсорной информации? По рассказам того же путешественника Михаила Малахова, одна из его экспедиций проходила в течение месяца в условиях полярной ночи. Через две недели перемещения по арктическим льдам в полной темноте, (использовались только на короткое время весьма тусклые фонарики и свечи), у членов экспедиции начали развиваться зрительные и слуховые галлюцинации.

Например, некоторые из них начинали видеть впереди ярко освещенный город, кто-то разговаривал со своими родными. Временами возникало ощущение, что цепочка путешественников, идущая след в след по единой лыжне, перемещается по гребню горы. А временами, наоборот, казалось, что справа и слева высокие стены и группа идет в узком коридоре.

По-видимому, развитый мозг для нормального функционирования должен получать из внешней среды определенное количество сенсорных сигналов. То есть в мозге должен поддерживаться определенный уровень активности, который, по всей видимости, складывается

за счет возбуждения нейронов мозга со стороны органов чувств и за счет собственной активности нервных клеток (см. § 1.8). В случае снижения сенсорного возбуждения, по-видимому, часть нагрузки по поддержанию нужного уровня возбуждения перекладывается на спонтанную активность нейронов. И это может субъективно восприниматься как появление галлюцинаций.

§ 1.3. Воспитание.

Как уже ясно из предыдущих разделов книги, в случае, если у человека нормально развиты органы чувств и проводящие пути от органов чувств к мозгу, то следующим важным условием развития мозга является нахождение растущего ребенка в информационно сложной среде.

Новорожденный мозг должен находиться в среде, гарантирующей его обучение и воспитание. И самой сложной и развивающей средой является среда людей со всей присущей ей запутанностью социальных отношений, не понятных постороннему условностей и, главное, - общению с помощью речи. При отсутствии воспитывающей среды мозг не развивается и остается на уровне мозга животного. Особенно важно наличие воспитывающей среды в первые дни, месяцы и годы жизни ребенка, когда мозг способен активно развиваться и создавать нейронную сеть. Если же этот первый период воспитания пропущен и воспитание начато, когда нейроны утратили способность к быстрому и массовому росту дендритов, аксонов и синапсов, то достигаемые результаты развития, как правило, оказываются более чем скромными.

Случаи, когда дети не получали надлежащего и своевременного воспитания и обучения, описаны в многочисленных художественных и научных произведениях (см. например /86, 87/). Наиболее ярко результат таких педагогических катастроф проявляется в случаях, когда дети вырастали в среде животных. По имени героя известного рассказа Кипплинга, таких детей зовут дети – маугли. Большинство потерявшихся в лесу маленьких детей быстро погибает. Однако известно и описано несколько десятков случаев, когда дети выживали, жили в среде животных и попадали опять к людям спустя годы или даже десятилетия. Если эти дети были потеряны совсем маленькими, то они, конечно, не могли говорить, а издавали звуки, копирующие звуки, характерные для тех животных, с которыми жили. Они обучались тому, что видели. Поэтому некоторые из таких детей не могли ходить на двух ногах, а передвигались на четвереньках.

В 1996 году в мозге обезьян, а в последующем и в мозге людей, были обнаружены так называемые зеркальные нейроны /88/, которые позволяют легко копировать действия тех, с кем мы общаемся. Очевидно, что такие нейроны и способность копировать очень важны в процессе обучения, в том числе и при обучении речи. Однако ребенок, растущий в среде животных, может обучиться только копированию их поведения. Попытки вернуть детей – маугли в человеческое общество редко приводят к позитивному результату, так как наиболее благоприятный период развития нейронной сети мозга упущен.

Совершенно обратный эффект отмечается в работах ряда зоопсихологов /89, 90/ в отношении животных, живущих в среде людей. Замечено, что многие животные, живущие в городах, резко поумнели.

Собаки научились пользоваться общественным транспортом, в том числе метро. Знают, на каких остановках надо сесть, а на каких выйти. Знают наиболее безопасные пути миграции по городу. Более интеллектуальными стали вороны и коты: у них появилась способность к манипуляции различными предметами. Отмечается, что чем выше интеллектуальность животного, тем меньше его агрессивность, так как интеллект позволяет вернее и полнее оценить обстановку.

Оба рассмотренные примера свидетельствуют об одном и том же: для развития мозга необходима информационно насыщенная среда, и тогда у мозга будет шанс достичь уровня, соответствующего его генетическому потенциалу.

Именно такая ситуация реализуется в благополучных семьях и странах при воспитании детей. Каждое последующее поколение вырастает во все более сложной среде. Технологии последние столетия развиваются, стремительными темпами и это не могло не сказаться на развитии людей. Достижения предыдущего поколения становятся естественной средой обитания младенцев следующего поколения. У нового поколения домашней игрушкой является компьютер, у предыдущего был телевизор, а еще раньше приходилось довольствоваться погремушкой (см. рис. 5).

В восьмидесятые годы, прошлого века психолог Джеймс Флинн, анализируя архивные данные, обнаружил удивительный результат, который тут же получил имя своего первооткрывателя – Flynn effect /91/. Им было обнаружено, что на протяжении всего XX века результаты интеллектуальных тестов значительно улучшались. Если в 1932 году средний результат был



Рисунок 5. Воспитание ребенка в процессе взаимодействия с информационно сложной средой.

равен 100 баллам, то в 1990 году он составил 120 баллов. Если человек, показавший в 1990 году средний результат, очутился бы в 1932 году, то он оказался бы среди лучших. Уровень интеллекта оценивался по ряду психологических тестов, результаты которых имеют положительную корреляцию. Это свидетельствует о наличии некоего общего фактора, определяющегося не просто уровнем эрудиции, а действительно уровнем мыслительных способностей, и именно такие способности позволяет оценить показатель IQ.

В статье /92/ прослеживается взаимосвязь между информационным взрывом и развитием интеллекта. Автор считает, что в последние десятилетия XX века общество стало сложнее, и этот фактор стал стимулировать наше интеллектуальное развитие.

Джеймс Флинн в результате своих исследований пришел к выводу, что уровень интеллекта зависит не только от наследственных факторов, но и от окружения. В частности было замечено, что родные и приемные дети, воспитывающиеся в одной семье, часто показывают близкие результаты при тестировании. Из-за эффекта Флинна приходится постоянно усложнять тесты IQ, чтобы средний показатель теста по-прежнему составлял 100 баллов.

Высказывается мнение, что школа даже тормозит развитие умственных способностей. По данным Флинна у шестилетних и более младших детей отмечается больший рост IQ, чем у школьников.

По-видимому, рост интеллекта у детей обусловлен все более насыщенной информационной средой, в которой они находятся с самого рождения.

В последние годы в некоторых странах рост IQ замедлился, но общая тенденция пока сохраняется.

§ 1.4. Некоторые временные параметры функционирования нервной системы.

К условиям зарождения мышления в мозге, безусловно, относятся определенные временные параметры, характерные для мозга. А кроме того, при моделировании работы мозга (а это главный приоритет данной книги) временные параметры знать необходимо.

Очевидно, что процесс мышления существенным образом зависит от скорости протекания процессов в различных элементах, входящих в нейронную сеть мозга. А кроме того, скорость протекания мыслительных процессов должна определяться принципами организации и последовательностью происходящих в мозгу процессов. Учитывая неалгоритмический характер происходящих в мозгу высших мыслительных процессов, предсказать, например, сколько времени математик будет решать новую задачу, видимо, в принципе невозможно. Поэтому ограничимся перечнем некоторых временных параметров элементов нейронной сети и данных, приведенных в /93/ о нейронном и психофизическом потоке информации при сознательном восприятии (см. также /94/).

Временные параметры в целях упрощения будем давать, опираясь на формализованную классификацию характерных времен для активной среды (см. например /95, 96/). Будем исходить из того, что каждый элемент активной среды может находиться в одном из трех состояний: покой, возбуждение и рефрактерность.

Терминология несколько непривычная для физиков, так как под покоем здесь понимается такое состояние среды, когда она запасла энергию и готова к генерации импульса (спайка). Под возбуждением

понимается именно процесс генерации или распространения импульса. А под рефрактерностью системы понимают такое ее состояние, когда среда не способна к генерации (возбуждению), так как восстанавливает потраченную на генерацию энергию. Также предполагается, что от каждого возбужденного элемента возбуждение распространяется с определенной скоростью по многим соседним элементам, находящимся в покое. В этой модели предполагается, что если элемент активной среды не возбужден в течение некоторого определенного времени, то по прошествии этого времени он самопроизвольно переходит в возбужденное состояние, то есть происходит спонтанная генерация импульса (спайка). Этот процесс очень напоминает аналогичные процессы в атомной и ядерной физике.

Исходя из изложенного, нам необходимо для дальнейшего изложения знать: время возбуждения (длительность нервного импульса или спайка) — τ_b ; длительность рефрактерного периода — τ_r ; время спонтанного возбуждения — $\tau_{сп}$. Время спонтанного возбуждения — это по сути среднее время продолжения состояния покоя. Кроме перечисленных величин необходимо знание скорости распространения сигналов по активной среде от элемента к элементу. В нашем случае это означает, что нам необходимо знать скорость распространения возбуждения по аксонам (V_a).

Итак, приведем теперь численные значения для перечисленных параметров (см. например /94, 80/). Длительность импульса возбуждения нейрона $\tau_b \approx 1 \div 3$ мс.

Длительность рефрактерного периода ориентировочно $\tau_r \approx 1 \div 5$ мс. Время спонтанного возбуждения $\tau_{сп} \approx 1 \div 10$ с.

Для скорости распространения возбуждения по аксонам требуется отдельный комментарий (см. например /80, 94, 83/). Дело в том, что скорость распространения сигнала зависит от диаметра аксона и в еще большей степени от того, покрыт ли аксон снаружи специальной изолирующей оболочкой (миелиновый слой – см главу 2). Поэтому приведем для скорости две цифры: одну с миелиновой оболочкой $V_{a,m}^p \approx 5 \div 120$ м/с, а другую без миелиновой оболочки $V_{a, без м}^p \approx 0,5 \div 5$ м/с.

Еще один временной параметр, который влияет на скорость распространения по нейронной сети, - это временная задержка в синапсах.

В химических синапсах с момента прихода импульса в нервное окончание и появление электрического потенциала в постсинаптической клетке проходит около 1 мс. Эта задержка обусловлена тем временем, которое необходимо для освобождения медиатора нервным окончанием /80/. (Медиатор или нейротрансмиттер – биологически активное химическое вещество, посредством которого осуществляется передача возбуждения от одной нервной клетки к другой через синаптическую щель).

Учитывая, что характерный размер коры головного мозга составляет $\approx 0,15$ м, средняя скорость распространения по аксонам около 20 м/с, а также учитывая время возбуждения, рефрактерное время и синаптическую задержку, получаем, что максимальное быстроедействие в активной среде состоящей из нейронов не должно превышать 10^7 Гц (см. рис. 6).

Как отмечено в ряде работ (см. например /80/), развитие мозга у ребенка проходит в несколько этапов. На первом этапе при прочих благоприятных условиях происходит развитие нейронной сети,

№	Название параметра	Численное значение
1.	Время возбуждения (длительность нервного импульса или спайка) $t_{в}$	1-3 мсек
2.	Длительность рефрактерного периода $t_{р}$	1-5 мсек
3.	Время спонтанного возбуждения $t_{сп}$	1-10 сек
4.	Скорость распространения сигнала по аксону с миелиновой оболочкой $t_{а.м.}$	5-120 м/с
5.	Скорость распространения сигнала по аксону без миелиновой оболочки $t_{а. без м.}$	0.5-5 м/с
6.	Временная задержка сигнала в синапсе $t_{с}$	1 мсек
7.	Минимальное время распространения сигнала в пределах коры мозга с учетом ее характерного размера (0,15 м), а также $t_{а.м.}, t_{р}, t_{в}, t_{с}$	0.01 сек
8.	Скорость сознательного восприятия информации	40бит/сек

Рисунок 6. Некоторые временные параметры функционирования мозга.

образовывается огромное количество новых дендритов и синапсов. Этот период длится несколько лет и особенно активен в первые три года жизни.

Следующий период, соответствующий приблизительно подростковому возрасту, характеризуется тем, что часть нейронной сети отмирает. По-видимому, эта часть нейронной сети оказалась избыточна и не была задействована в каких-либо процессах в мозге. И завершается созревание мозга тем, что на аксонах образовывается миелиновая оболочка и скорость распространения сигналов по аксонам вырастает на порядок. Этот возраст (20 лет) соответствует способности человека совершать научные открытия или устанавливать рекорды в спринте.

Очень интересно, что миелинизация завершает процесс развития мозга, а не идет например одновременно с первым этапом развития сети и накопления мозгом первичной информации о мире. По-видимому, этот этап формирования сети не требует максимальной скорости распространения сигналов. С другой стороны, очевидно, что выбрав такую последовательность развития мозга, природа существенно экономит, так как какой смысл тратить силы на миелинизацию всех аксонов, если известно, что часть из них на втором этапе развития отомрет. И еще один аргумент о целесообразности такой последовательности. Пока ребенок не научился владеть своим телом, и пока он не поумнел, ему не нужна скорость движений и мысли. Получив скорость раньше времени, ребенок был бы опасен и для себя, и для окружающих. Сначала навыки, потом скорость (см. рис. 7).

Подчеркнем, что миелинизация аксонов играет чрезвычайно важную роль в работе мозга. Это особенно

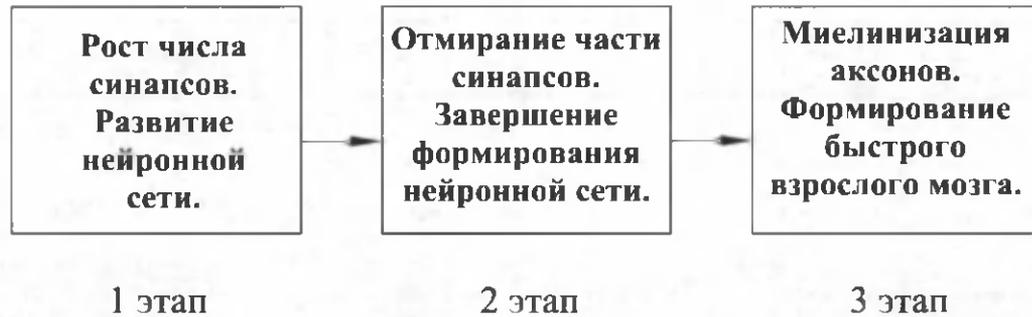


Рисунок 7. Этапы развития мозга ребенка.

очевидно, если указать, что тяжелейшая болезнь – рассеянный склероз – связана именно с поражением миелиновой оболочки аксонов /97/.

Приведем некоторые данные, интегрально характеризующие скорость процессов в головном мозге. В /93/ различают нейронный и психофизический потоки информации. Под нейронным понимается поток информации, передаваемый от органов чувств в мозг и его оценка близка к оценке приведенной нами в § 1.2.

Под психофизическим потоком информации понимается поток информации на уровне сознательного восприятия. Для зрительной системы оценка основана на чтении текста, а для слуховой – на восприятии речи. Приведенная оценка (аналогичная оценка сделана в /13/) для осознаваемого потока дает величину около 40 бит/с. То есть время осознания, когда задействован весь мозг, оказывается на порядки больше отдельных актов, происходящих в нервной системе. Сравнение минимального характерного времени осознания информации (0,025 сек.) и минимального времени распространения сигнала в пределах коры головного мозга (0,01 сек.) (см. рис. 6) подтверждает, по-видимому, очевидный факт: для осознания информации сигнал должен пройти по сетям коры несколько раз.

§ 1.5. Объект управления – тело.

Мозг должен иметь тело, которое с одной стороны обеспечивает его энергией, а с другой стороны стимулирует его развитие и возможности как подчиненный объект экспериментов и управления. Тело должно быть достаточно сложным, что предъявляет повышенные требования к развитию мозга.

Известны всего лишь единичные случаи, когда в теле, лишенном возможности двигаться с детства, развивался выдающийся мозг.

Человеческое тело является достаточно сложным объектом для управления (см. например /98/). Скелет взрослого человека содержит 206 костей, соединенных суставами. Скелетных мышц, которые приводят в движение тело, более 600, а суставов, соединяющих кости и приводимых в движение мышцами около 200. Для управления мышцами тела от мозга идет огромное количество нервных волокон, которые называются центробежными (нисходящие, эфферентные). Если афферентных нервных волокон ориентировочно около 10^6 (см. § 1.2) и они способны передать около 10^7 бит информации в секунду, то эфферентных волокон идущих от мозга к мышцам на порядок меньше (см. например /83/), поток информации по ним составляет около 10^6 бит в секунду. То есть объем информации идущий от органов чувств к мозгу ориентировочно на порядок превышает объем информации, идущий от мозга к мышцам для обеспечения движения тела. Такое соотношение, по-видимому, логично, поскольку прием информации от органов чувств идет постоянно, а двигаемся мы только тогда, когда это необходимо.

Как уже упоминалось, для развития мозга, особенно в первый период жизни, необходимо, чтобы ребенок находился в информационно сложной среде. Тогда накачка информации в мозг от органов чувств стимулирует рост нейронной сети, что необходимо для зарождения в мозге мышления. А какова здесь роль тела? Что если бы, например органы чувств были бы отделены от тела и мозг бы имел доступ к развивающейся

информации, но был лишен тела. Смог бы такой мозг развивать свой интеллект или нет?

Мариан Даймон (см. например /99/), нейроанатом при Калифорнийском университете в Беркли, в начале 80-х годов прошлого века провела серию экспериментов на крысах. Было выделено три группы крыс. Одна группа была помещена в обстановку, стимулирующую развитие: их клетки были наполнены качелями, лесенками и другими играми. Другая группа сидела в пустой клетке и могла наблюдать за первой. А третья сидела в пустой клетке и не могла даже ни за кем наблюдать. У крыс, помещенных в игровые клетки, значительно увеличился размер мозга. Между нейронами выросли сложнейшие сети из дендритов, аксонов и синапсов. Кроме того, у этих крыс резко увеличилась продолжительность жизни. В изолированной не игровой среде, крысы умирали раньше, и их мозг имел значительно меньше межклеточных соединений. Казалось бы, члены групп крыс – наблюдателей также должны были развить у себя дополнительные нейронные сети, но этот факт не был обнаружен. Эти крысы умирали в том же возрасте и имели столь же неразвитый мозг, что и крысы в пустых изолированных клетках. То есть эксперимент показал, что для развития мозга необходимо не просто наблюдение за развивающей средой, но и взаимодействие с этой средой (см. рис 8).

Таким образом, для активного развития мозга действительно необходимо тело, так как взаимодействовать с развивающей средой мозг может только посредством тела. Пассивный прием информации еще не достаточен для успешного развития. Кроме того тренировкой мозга является не

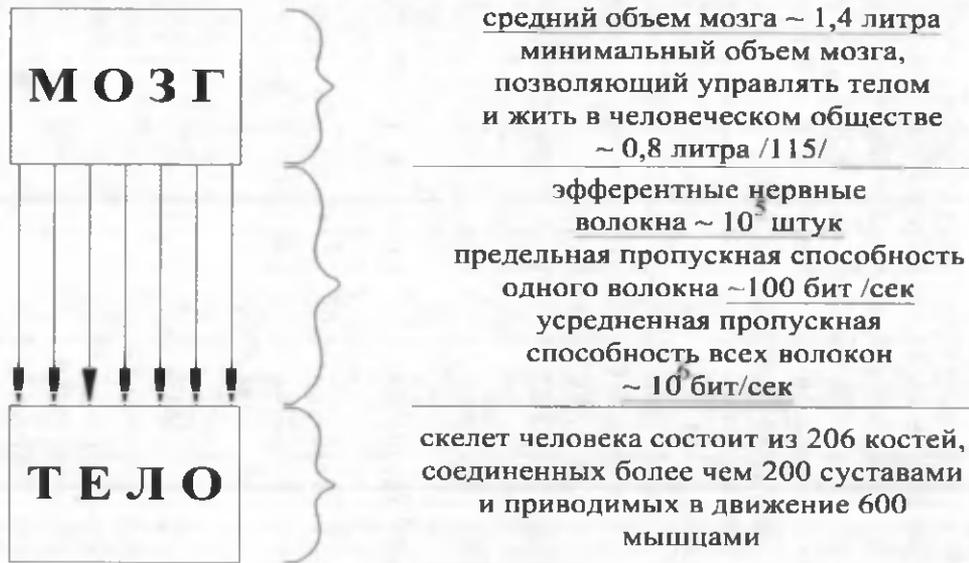


Рисунок 8. Объект управления - тело.

только управление движением тела, но и управление его гармоничным ростом.

Взаимодействие мозга с развивающей средой осуществляется не только путем приема информации от среды и путем механического воздействия на среду с помощью тела или посредством его перемещения, но и путем генерирования и распространения информации во внешней среде. Для этого тело должно иметь специальные коммуникационные устройства.

Однако, по-видимому, это только часть общей картины. Не только тело необходимо для развития мозга, но и развитие тела идет под влиянием мозга. Это наиболее очевидно при рассмотрении некоторых заболеваний. Наиболее отчетливо это проявляется при заболевании детским церебральным параличом. Это болезнь, при которой поражение центральной нервной системы приводит к двигательным нарушениям разной степени тяжести (см. например /100/).

Таким образом, видимо правильно говорить, что развитие тела и мозга взаимообусловлены.

Исходя из вышеизложенного, по-видимому, следует несколько видоизменить определение, данное процессу мышления во введении настоящей книги, подчеркнув каким-либо образом необходимость обладания телом мыслящим объектом. Сформулируем эту идею, например, следующим образом. **Мышление - это свойство физического объекта, способного воспринимать, обрабатывать, сохранять, а также генерировать и распространять информацию без постороннего вмешательства.**

§ 1.6. Переход количества в качество.

Исследования клеток мозга животных и человека не показывают каких-либо принципиальных различий в их устройстве. Поэтому можно предположить, что такое свойство человеческого мозга, как мышление, появилось как новое качество при значительном количественном усложнении структуры мозга человека по сравнению с животным.

Таким же образом, по-видимому, происходит процесс в мозге постепенно растущего ребенка (см. например /99/). Новорожденный ребенок познает окружающий мир с помощью органов чувств, но реагирует на внешние воздействия инстинктивно, так как нейронная сеть в его мозгу еще не сформировалась полностью. Есть только те связи нейронов, которые заданы генетически. Точно так же инстинктивно реагирует ребенок на присутствие матери. Есть у него определенные навыки, которые необходимы для выживания, в том числе умение сосать молоко. По-видимому, на этой стадии развития поведение ребенка определяется генетической программой, содержащейся в структурах рептилоидной и лимбической систем мозга. Со временем, по мере развития тела и мозга, ребенок осваивает все более и более сложные движения, учится ходить (9÷10 месяцев). Начинает понимать речь, но говорить сам не может. С полутора-двух лет большинство детей осваивает речь. Однако большинство из нас сохранило к зрелости только отдельные наиболее яркие воспоминания детства. Причем эти воспоминания, как правило, соответствуют возрасту ребенка от трех до пяти лет. В это время мозг ребенка достигает 90% своего окончательного веса. Видимо к этому возрасту, нейронная сеть в мозге

развивалась настолько, что в состоянии удержать определенные воспоминания в течение всей жизни. Именно возраст в три-пять лет, по-видимому, может считаться пороговым, когда мозг по развитию достиг уровня мышления.

Причем отметим, что порог развития мозга, с которого он достигает уровня мышления, по-видимому, преодолевается не скачком, а постепенно. То есть количественные изменения, характеризующие развитие мозга, постепенно приводят к новому качеству – развитию мышления. Причем ребенок сначала учится ходить, потом говорить и только когда он полностью освоит речь, воспоминания о событиях его жизни начинают сохраняться в его памяти.

§ 1.7. Сложность

Как уже отмечалось в предыдущих параграфах, мозг становится способным к мышлению только при превышении определенного порога развития или сложности. В животном мире Земли люди оказались первыми, кто этот порог преодолел. И, по-видимому, преодолели мы этот порог незначительно, т.к. очевидно, что все мы сознанием, конечно, обладаем, но до уровня мышления, которое предполагает творческие способности, дотягивают не все. То есть уровень сложности мозга человека, видимо, близок к пороговому значению сложности нейронной сети, отделяющему уровень мышления от всех предыдущих стадий развития мозга в животном мире.

В середине двадцатого века один из основоположников кибернетики Джон фон Нейман рассмотрел как чисто математическую задачу вопрос о

том, можно ли создать самовоспроизводящийся автомат (см. /10/). В процессе изучения данной проблемы фон Нейман получил большое количество совершенно новых на то время результатов, некоторые из которых уместно перечислить в данном тексте. В частности было установлено, что самовоспроизводящийся автомат должен содержать свое полное описание. Говоря современным компьютерным языком, такой автомат должен иметь «железо» и программу по собственной сборке. А на языке биологов в приложении к живым существам эта же мысль звучит так: живое существо должно иметь тело (феном) и геном (см. например /82/). Кроме того, Фон Нейман установил, что существует ряд операций, которые никогда не сможет выполнить упрощенный автомат, какими бы сложными не были бы инструкции. Однако существует определенный минимальный уровень сложности, выше которого при наличии достаточно сложных программ автомат сможет делать все, что в принципе способен делать автомат. В том числе при превышении порогового уровня сложности автомат может получить способность к самовоспроизведению.

Во времена Фона Неймана теория сложности только начинала создаваться. Поэтому дальше следуем за А.Н. Колмогоровым /11,12/ и будем понимать под сложностью какой-либо системы минимальный размер текста или информации, необходимой для описания этой системы. При таком подходе к сложности оказалось, что минимальная сложность автомата, способного к самовоспроизведению при наличии в нем соответствующей программы, составляет 10^6 бит.

Вопрос о наличии пороговой сложности нейронной сети, при превышении которой такая сеть может оказаться способной к мышлению, еще менее

очевиден, чем наличие пороговой сложности у самовоспроизводящегося автомата. Вопрос сложнее хотя бы потому, что нельзя снабдить самый сложный автомат самой совершенной программой и надеяться, что он окажется способным к мышлению. Это доказал Пенроуз. Однако у нас есть как минимум два экспериментальных результата, которые свидетельствуют о том, что порог сложности у нейронной сети, когда она приобретает новое качество – способность к мышлению, – все-таки существует. Первый такой результат – это появления мышления при переходе от животных к людям. И второй такой факт – это приобретение способностей к мышлению при преодолении определенного порога развития детьми.

Для начала попытаемся оценить сложность новорожденного мозга, а потом подумаем о том насколько сложнее мозг взрослого человека, чем ребенка.

Для того, чтобы оценить сложность новорожденного мозга, можно попытаться использовать теорию графов, располагая нейроны в вершинах графа, а дендриты и аксоны (отростки нейронов, обеспечивающие связь между нейронами) считая ребрами или дугами. Однако такая методика не позволяет учесть сложность устройства самих нейронов, дендритов, особенности контакта дендритов с другими нейронами (синапсов), специализацию различных разделов мозга и т.д. Решение такой задачи чисто математическими методами представляется вряд ли возможным.

Однако, согласно Колмогорову сложностью новорожденного мозга можно считать количество двоичных знаков в инструкции по его сборке. И такой инструкцией для живых организмов является геном. Так

как в геноме человека содержится около 10^{11} бит информации (см. /13/ и /82/) и, как уже упоминалось (см. /81/), около 80% этой информации является «инструкцией» по сборке мозга, то очевидно, что величина масштаба 8×10^9 бит может считаться приблизительно верхней оценкой сложности новорожденного человеческого мозга. Известно однако, что некоторые живые организмы имеют геном большего размера, чем у человека. Но сложностью объекта по Колмогорову следует считать не размер любой записи по сборке, а только кратчайшую запись. Т.е. то, что наш геном меньше, чем у некоторых других живых существ, говорит о том, что он в лучшей степени своей краткостью удовлетворяет критерию Колмогорова о сложности.

Итак, ребенок рождается, имея сложность мозга оцениваемой ориентировочно в 8×10^9 бит. И что же происходит в дальнейшем? Очевидно, что при развитии нейронной сети, в коре головного мозга под влиянием обучающей среды и в процессе взаимодействия тела с этой средой, происходит лавинообразное усложнение мозга. Растут новые дендриты, отростки у аксонов, формируются новые синапсы и заполняются информацией, происходит обучение управлению телом, освоение речи и так далее. Как оценить сложность возникающей структуры? По-видимому, эта сложность должна быть соизмерима с количеством возникающих в мозге синапсов как элементов, характеризующих нейронную сеть и определяющих объем накопленной в мозге информации.

Рассмотрим немного подробнее, как можно оценить сложность нейронной сети мозга при его развитии. Для начала в качестве примера рассмотрим сеть, состоящую из десяти элементов, каждый из

которых имеет две-три исходящие связи. Схематично такая сеть и таблица (матрица) связей показаны на рис. 9. Из рассмотрения данного примера становится ясно, что если число элементов в сети P_0 , то полное описание сети будет включать в себя P_0^2 чисел и может быть представлено в виде матрицы A_{ij} , где i и j изменяется от 1 до P_0 . Однако это не значит, что именно такой величины будет сложность данной сети. Дело в том, что согласно определению Колмогорова, сложность системы определяется кратчайшей длиной описания данной системы. А чтобы понять, как из полной записи описания сети выделить кратчайшую запись, приведем дополнительно несколько соображений. Для того, чтобы оценить сложность сети, надо знать, сколько связей приходится на один элемент сети. Если связей гораздо меньше P_0 , то такая сеть называется слабосвязанной, а если число связей равно P_0 , (считаем, что элемент может быть связан с самим собой), то такая сеть называется полносвязанной. Очевидно, что и слабосвязанная сеть и полносвязанная сеть являются самыми простыми. Дело в том, что если связей нет, то сложность сети будет определяться из следующего ее описания: сеть состоит из P_0 элементов, которые описываются геном, имеющим сложность W_g ; элементы сети не связаны. То есть сложность такой сети ориентировочно составит $W = W_g + W_c \approx W_g \sim 10^{10}$ бит. В случае полносвязанной сети описание будет также очень короткое: сеть состоит из P_0 элементов, которые описываются геном, имеющим сложность W_g ; все элементы соединены между собой. Соответствующая сложность также будет близка к W_g . Очевидно, что наиболее длинная запись состояния сети будет получаться при промежуточных параметрах

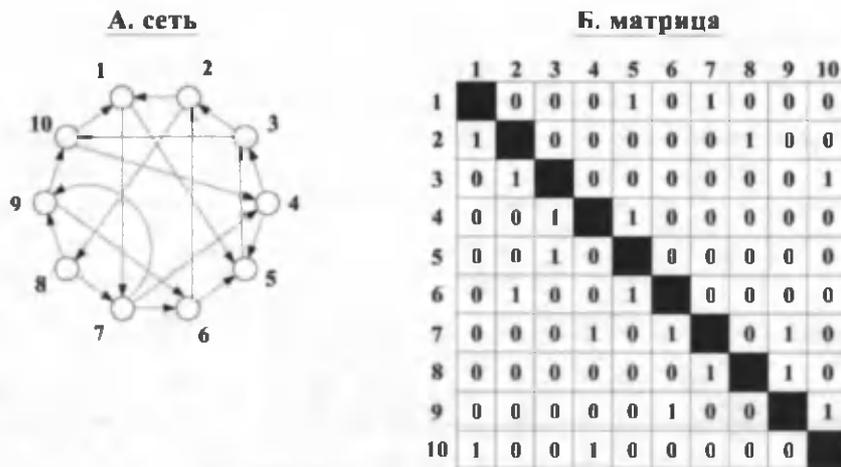


Рисунок 9. А. Пример сети с направленными связями
 Б. Матрица, соответствующая данной сети
 (по горизонтальным строкам - исходящие связи; по
 вертикальным - входящие связи)

связности, когда описание сети должно будет включать в себя конкретное описание практически каждой связи. А этих связей в максимуме может быть n_0^2 , то есть гипотетически сложность мозга может достигать 10^{20} бит. Реальная сложность мозга, по-видимому, таких величин не достигает. Дело в том, что человеческий мозг является слабосвязной сетью, так как $n_0^2 \approx 10^{20}$, а общее число связей «К» (синапсов) составляет порядка $K \sim 10^{14}$. То есть степень связности сети в этом случае

составит $X \sim \frac{10^{14}}{10^{20}} = 10^{-6}$. В связи с этим можно

предположить, что для такой слабосвязной сети ее кратчайшее описание должно включать только описание реализованных связей, то есть 10^{14} значений матрицы A_{ij} . Все остальные ($10^{20} - 10^{14}$) нулевых значений в описание, соответствующее сложности, можно не включать. Тогда оценочная формула для сложности слабосвязной нейронной сети будет выглядеть следующим образом $W \approx W_g + K \approx K = n_0^2 X$.

Качественно зависимость сложности сети, состоящей из n_0 элементов, от степени связности этой сети показана на рис. 10.

Реальность, конечно сложнее описанной выше упрощенной картины. Дело в том, что, во-первых, связи между нейронами (синапсы) имеют разную эффективность и могут иметь, как минимум десяток градаций, а во-вторых, сами нейроны также не идентичны друг другу и различают также не менее десятка их разновидностей. Поэтому, вообще говоря, для описания нейронной сети, хотя бы приближенно соответствующей человеческому мозгу, необходимо

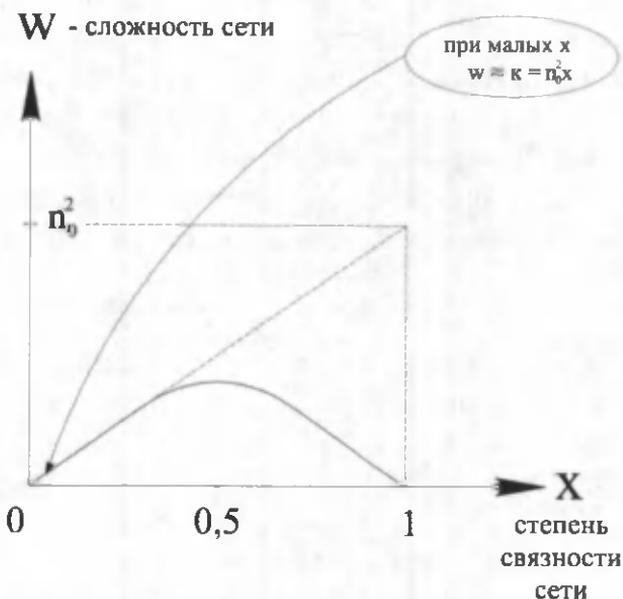


Рисунок 10. Сложность сети, образованной одинаковыми элементами и направленными связями, в зависимости от степени связности.

n_0 - количество элементов в сети

K - общее количество направленных связей

$K_0 = n_0^2$ - максимальное число связей в сети, считая, что возможна связь нейрона с самим собой

x - связность сети

$$x = \frac{K}{K_0} = \frac{K}{n_0^2}; \quad 0 < x < 1$$

0 - элементы не связаны,

1 - каждый элемент связан со всеми элементами сети

использовать не матрицу A_{ij} , имеющей $n_0^2 \sim 10^{20}$ ячеек, а тензор $A_{ij\alpha\beta}$, где индекс Z соответствует различным эффективностям связей, а α – тип нейрона i ; β – тип нейрона j . Если приближенно считать, что максимальные значения Z , α и β составляют один порядок, то число ячеек в таком тензоре составит $\sim 10^{23}$. Однако, для сети, соответствующей мозгу, у этого тензора подавляющее число ячеек будет не заполнено и кратчайшая запись состояния сети будет включать в себя описание всех связей (10^{14} штук), описание эффективности связи, описание типов, соединяемых нейронов. Таким образом, ориентировочно длина такой записи составит $10^{16} \div 10^{17}$ бит. Интересно отметить, что современные суперкомпьютеры уже обладают памятью на уровне 10^{16} бит. И если бы существовали методы считывания информации с биологического мозга в объеме, достаточном для воспроизведения тензора

$A_{ij\alpha\beta}$, то памяти современного компьютера уже хватило бы для заполнения, для последующего дублирования фиксированного состояния соответствующей нейронной сети. Таким образом, памяти компьютера на уровне 10^{17} бит и производительности на уровне 10^{18} flops (смотри введение в книгу) должно быть достаточно для поддержания и функционирования виртуальной сети, соответствующей по сложности мозгу человека.

Отметим еще одну интересную деталь. Полносвязная сеть, состоящая из одинаковых элементов и связей предельно проста. Однако, полносвязная сеть из разных элементов и с разными связями, по-видимому, окажется предельно сложной. Однако, рассмотрение этого интересного вопроса выходит за

рамки данной книги и мы с удовольствием предоставим возможность подумать на эту тему всем желающим.

В заключение данного параграфа еще одна мысль, которая сформировалась в процессе его написания. Авторы, приступая к работе над этой книгой, ставили своей задачей изложить идею проекта создания нового человека предельно кратко. Хотелось бы надеяться, что длина текста книги соответствуем критерию Колмогорова при оценке сложности излагаемых в книге идей.

Итак, сложность взрослого мозга, по-видимому, можно оценить в 10^{17} бит. Именно эта величина, по-видимому, может служить в качестве оценки для уровня пороговой сложности нейронной сети, которая при выполнении всех прочих условий обеспечивает зарождение в мозге мышления (см. рис. 11).



Рисунок 11. Появление новых качества по мере роста сложности объекта (смотри также /13/)

§ 1.8. Роль хаоса в работе мозга.

В результате процессов самоорганизации при разрастании нейронов и поступлении в мозг интенсивного информационного потока происходит формирование упорядоченной нейронной сети (см. § 1.11 настоящей главы). Но в последующем при самопроизвольном генерировании импульсов отдельными нейронами в сети возникает самоподдерживающийся уровень хаоса, на который накладываются сигналы, идущие от органов чувств. Этот постоянный уровень шума, по-видимому, принципиально важен, так как, проводя сравнение с электроникой, обеспечивает прозвон всех сетей в самых удаленных уголках мозга. И такой тотальный прозвон может обеспечить действительно только шум. Очень может быть, что вообще весь процесс мышления, спонтанно возникающие мысли, решения, воспоминания есть всего лишь результат случайного прохождения флуктуационного возбуждения по каким-то цепочкам нейронов и синапсов, на которых записана какая-либо информация. Если это так, то роль спонтанной генерации импульсов нейронами становится чрезвычайно важной.

Как известно, основной чертой объектов, ведущих себя в соответствии с теорией динамического хаоса, является существенная зависимость от начальных условий. То есть минимальное изменение начальных условий приводит к значительным изменениям в итоговом результате (эффект бабочки). Распространение сигналов по нейронным сетям, описываемое системой нелинейных уравнений, по-видимому, является как раз таким случаем. Но только с тем добавлением, что начальные условия сами постоянно меняются, так как нейроны случайным образом генерируют импульсы,

влияющие на общую картину нейровозбуждений в мозге. Если сравнить эту ситуацию с атмосферными явлениями, а первые работы по теории динамического хаоса (/17/) были посвящены именно прогнозированию метеорологических явлений, то ситуацию по прогнозированию нейровозбуждений в мозге, видимо, можно образно сравнить с атмосферным прогнозом на материке с огромным количеством спонтанно извергающихся вулканов. Каждое такое извержение полностью сбивает начальные условия, и погодный прогноз возможен только в промежутках между извержениями. По-видимому, можно сказать, что если какая-то система практически не прогнозируема, то она одновременно будет и практически не алгоритмируемая именно в силу своей хаотичности. Возможно, такой механизм реализуется в мозге и обеспечивает неалгоритмичность мышления.

Однако, по-видимому, только этим фактом роль хаоса в мозге не ограничивается.

Дело в том, что наиболее широко распространенной гипотезой о механизмах обучения и памяти (см. например /101/ и /80/) является предположение о том, что память обусловлена как белковыми и генными механизмами, так и процессами, происходящими непосредственно в синапсах. Известно, что существует память кратковременная и долговременная. Кратковременная память предположительно зависит от изменений в синапсе, а долговременная обусловлена синтезом новых белков и появлением новых синапсов.

Одним из важнейших свойств синапсов, которое собственно и приводит к предположению, что именно они обеспечивают работу памяти, является так называемая пластичность.

Так называют свойство синапсов менять свою эффективность в зависимости от частоты их использования. Чем чаще синапс используется для прохождения нейровозбуждений, тем он эффективнее возбуждает послесинаптический нейрон.

Далее авторы хотят высказать одну мысль, в обоснование которой они не могут привести ни одной литературной ссылки, и возможно, эта мысль высказывается впервые. Как известно, различные системы бывают устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивые – это такие, в которых малое отклонение от положения равновесия приводит к появлению сил, возвращающих систему в положение равновесия. И наоборот, в неустойчивых малое отклонение приводит к возникновению сил еще более отклоняющих систему от равновесия. Наиболее известными и изученными являются всевозможные неустойчивости, с которыми столкнулись физики при попытке реализовать управляемый термоядерный синтез. Самая простая из таких неустойчивостей была обнаружена в первых же экспериментах с Z – пинчами (см. например /102,103/) и заключалась в появлении перетяжки на плазменном столбе при пропускании вдоль него тока (см. рисунок 12). Причины возникновения перетяжки совершенно очевидны, так как малое уменьшение диаметра плазменного столба сразу приводит к увеличению сил, удерживающих плазменный столб от радиального разлета. Увеличение силы давления на плазменный столб приводит к дальнейшему увеличению перетяжки и так вплоть до полного разрыва плазменного столба. С тех пор уже несколько десятков лет сменяющие друг друга поколения физиков ищут способы подавления все новых неустойчивостей плазмы.

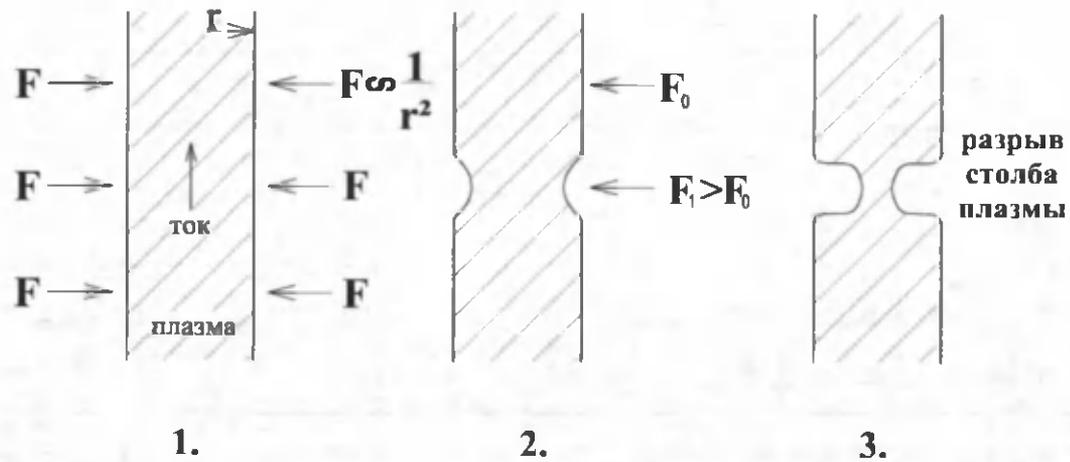


Рисунок 12. Стадии развития перетяжки
плазменного столба в z-пинче

Рассмотрим теперь с этой точки зрения пластичность синапсов. Если рассмотреть это свойство синапсов без учета всех остальных возможных в мозге факторов влияния, то совершенно очевидно, что в этом свойстве синапсов заложена возможность развития неустойчивости. Действительно, чем чаще синапс используется для прохождения нейровозбуждений, тем он более эффективен. Но чем он более эффективно возбуждает постсинаптический нейрон, тем чаще через этот синапс будут проходить нейровозбуждения. Такие синапсы будут выстраиваться в цепочки. Цепочки, скорее всего, будут смыкаться в кольца. Кольца синаптической неустойчивости будут конкурировать между собой до тех пор, пока одно самое эффективное не поглотит все остальные. При таком развитии событий в коре головного мозга должен развиваться своего рода круговой вихрь нейровозбуждения, который подавит любые другие варианты нейроактивности. Последовательная схема развития синаптической неустойчивости показана на рис. 13. По-видимому, по аналогии с некоторыми явлениями в физике такую синаптическую неустойчивость можно также назвать синаптической конденсацией.

Придя к вышеизложенным выводам, естественным образом возникает вопрос – а не реализуется ли синаптическая конденсация в каких-либо явлениях, происходящих в мозге? Очевидно, что в нормальном мозге эта неустойчивость как-то подавляется, т.е. природа с этой проблемой справилась лучше, чем физики-плазменщики справляются со своими неустойчивостями. Значит, какие-то похожие проявления следует искать в болезненных, патологических состояниях мозга. Как возникновение

синаптической конденсации может проявляться внешне? Учитывая, что при такой неустойчивости подавляются все нейровозбуждения, кроме одного кругового возбуждения, видимо, внешне это должно проявляться как некоторая заикленность на чем-то одном, а в движении – как повторяемость каких-то одних движений.

Оказывается, эти проявления очень напоминают аутизм. Перечислим симптомы, которыми характеризуется это заболевание. В ряде специальных источников (см. например /104/) дается приблизительно следующая картина заболевания. Аутизм – болезнь, возникающая при нарушении развития головного мозга. Болезнь характеризуется дефицитом социального общения, ограниченными интересами и повторяющимися действиями. Причины аутизма связаны с генами, влияющими на созревание синаптических связей. Наибольшую известность эта болезнь приобрела после выхода знаменитого кинофильма «Человек дождя».

Сравнение симптомов (повторяемость движений) и возможных причин болезни (нарушение работы синапсов) очевидно, очень напоминает возможные проявления синаптической конденсации. Однако конечно, предположение о том, что причиной аутизма является именно это, пока только гипотеза.

Почему в здоровом мозге синаптическая конденсация не развивается и никаких проявлений болезни, похожей на аутизм, нет? По-видимому, есть какой-то механизм, подавляющий критическое развитие этой неустойчивости. И таким механизмом опять-таки может оказаться хаос.

Поясним, каким образом хаос может предотвратить развитие синаптической конденсации.

Если раньше мы сравнивали процессы в мозге с непредсказуемостью атмосферных явлений, то теперь сравним с образованием водоворотов в тонком слое воды (кора головного мозга человека состоит всего из шести слоев нейронов). Пусть есть некий механизм образования таких водоворотов. Но пусть также по поверхности этого слоя воды какой-то другой механизм разгоняет поверхностную хаотическую рябь. Очевидно, что при определенном соотношении стимулов в этих двух противоречивых явлениях водовороты образовываться будут, но существовать они будут не очень долго, и ни один из этих вихрей не сможет развиваться до такого состояния, что подавит все остальные.

Итак, в процессе постепенного изложения накопленного материала о механизмах работы мозга, мы убедились, что мозг является активной средой с восстановлением. Это означает, что рефрактерный период для элементов нейросети невелик и составляет несколько миллисекунд, и мозг опять способен передавать возбуждение. Мы убедились, что в этой активной нейросреде большую роль играет возможность каждого элемента среды генерировать спонтанные импульсы, порождая дополнительный хаос. А кроме этого мы убедились, что эта активная и весьма хаотическая среда обладает памятью, и в ней возможно развитие некоторых специфических неустойчивостей. Но самое главное, видимо, заключается в том, что синаптическая конденсация как проявление упорядоченности нейровозбуждений (мыслей) и хаос, конкурирующий и ограничивающий порядок, по-видимому, в совокупности и в динамическом равновесии могут как раз и соответствовать особенностям нашего мышления.

§ 1.9. Мотивация.

Стимулами к развитию новорожденного мозга являются врожденные инстинкты. Эти инстинкты сформированы многочисленными поколениями животных и людей в процессе естественного отбора, и по сути являются жесткой программой поведения в определенных, наиболее важных ситуациях. Врожденными являются ощущение боли, температуры, голода, интенсивности света, половой инстинкт, любопытство – стремление к получению информации, стадный инстинкт. Причем, чем ниже по шкале развития стоит живое существо, тем больше сфер его деятельности жестко запрограммировано инстинктами, и наоборот, чем выше по развитию существо, тем более оно свободно и тем больше его поведение определяется воспитанием, а не инстинктами. Однако даже для высших существ – людей – инстинкты остаются чрезвычайно важными, т.к. именно они являются стимулирующей к действию силой, поскольку кроме возможности обучаться или заниматься творчеством, которые нам обеспечивает наш сложный мозг, необходимо еще желание это делать. Ведь даже стремление к созиданию, к созданию каких-либо архитектурных достижений в глубинной основе своей опирается на половой инстинкт, предполагающий, в том числе, строительство гнезда для своего потомства.

Генетически заданная мотивация поступков реализуется через эмоции, которые в свою очередь, возбуждаются в мозге путем впрыскивания в него различных гормонов.

Относительно инстинктов и эмоций написано огромное количество работ от чисто мистических до

вполне материалистических (см. например /105, 106, 107/). Учитывая, что нашей задачей является не усложнение картины, а наоборот ее максимальное упрощение как этап подготовки моделирования, будем опираться на биологическую теорию эмоций, развитую Ч. Дарвином, в которой инстинкты и эмоции однозначно связываются между собой /108/. Об этом также свидетельствует тот факт, что и инстинкты и эмоции связаны с рептилоидным отделом мозга и с лимбической системой мозга (см. § 1.1). Если взять за основу биологическую теорию эмоций, многое в этой запутанной теме становится более понятным. Так, инстинкт самосохранения реализуется через страх. Инстинкт размножения через любовь и ревность, через любовь к детям и родителям, через горе о погибших родственниках. Стадный инстинкт, необходимый для развития интеллекта через общение, реализуется через радость от общения с интересными людьми и тоску, когда человек остается один. Инстинкт познания – любопытство, скука. Инстинкт собственника – зависть. И все это уравнивает лень как проявление инстинкта экономии ресурсов.

Именно через инстинкты и эмоции природа воздействует на нас, заставляя совершать поступки, полезные в том числе для развития мозга.

Кроме стадного инстинкта, который советует нам быть как все и не выделяться, есть еще один инстинкт, которым обладают некоторые из нас. Это инстинкт авантюриста, искателя приключений и бунтаря. По-видимому, для обладания полноценным мышлением это необходимое качество. У А.Азимова есть великолепный рассказ «Профессия», в котором описывается далекое будущее Земли, когда традиционным профессиям будут обучать с помощью своеобразного программирования.

Но для того, чтобы стать ученым, необходимо самостоятельно добывать знания с помощью книг, самостоятельно переосмысливать информацию, а кроме того, необходимо пройти тест на способность к бунту.

Анализируя в совокупности материал данного параграфа, параграфа о воспитании и параграфа об архитектуре мозга мы приходим к заключению, что структура нашего поведения формируется по тем же принципам, что и архитектура мозга. Действительно, в обоих случаях есть некая основа, заданная генетически, и какая-то вторая часть, приобретаемая в процессе обучения и общения в среде людей. Для нервной системы такими двумя частями являются генетически заданная архитектура нервной системы (головной мозг, спинной мозг, периферийная нервная система, связь с органами чувств) и развивающаяся в процессе жизни сложнейшая нейронная сеть коры головного мозга. А для поведения основой, задающей обязательные правила поведения и заданной генетически, являются инстинкты и связанные с ними эмоции. А привнесенной составляющей поведения является часть поведения, которая приобретается в процессе обучения и общения с другими людьми.

С высокой степенью вероятности можно утверждать, что генетически predetermined формы поведения связаны с генетически predetermined частью нервной системы. И с другой стороны формы поведения, обусловленные обучением, связаны с развивающейся в процессе обучения корой головного мозга.

Особенно очевидной эта мысль становится, если сопоставить в соответствующем масштабе схему строения мозга МакЛина и пирамиду потребностей человека, разработанную американским психологом

Абрахамом Маслоу (1908-1970) (смотри например /114/ и рисунок 14).

Триединый
Мозг МакЛина

Пирамида
потребностей Маслоу

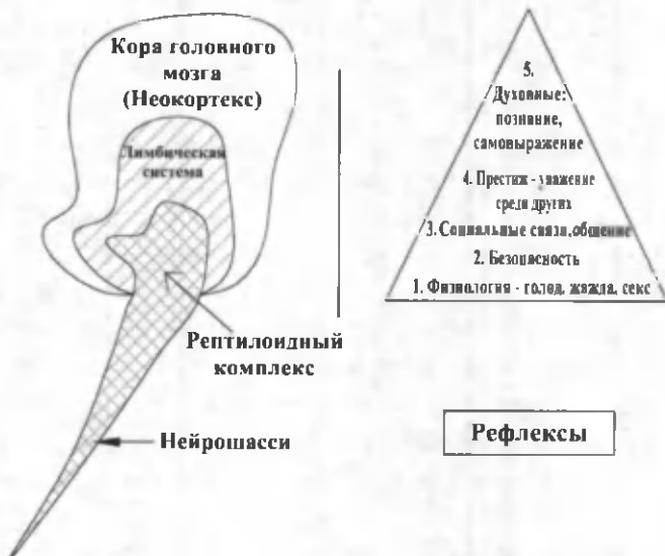


Рисунок 14. Сопоставление схемы строения мозга МакЛина и пирамиды потребностей Маслоу

Важным моментом в данном контексте является то, что для наиболее простых существ (на уровне Р-комплекса) выживание строится на уровне низших потребностей пирамиды Маслоу (инстинкты) и обучение не возможно. На следующем уровне обучение возможно и социальная среда для этого не требуется. Поведение животного будет определяться инстинктами и тем, чему оно обучится в конкретной среде обитания. И, наконец, на уровне человека для обучения необходима социальная среда и, соответственно, поведение будет определяться инстинктами, эмоциями и навыками, приобретенными в человеческой среде. Именно на этом уровне в качестве мотивации появляется потребность в престиже, познании и самовыражении.

И, наконец, на основании вышеизложенного можно еще раз попытаться уточнить, что авторы в этой книге будут понимать под мышлением. По-видимому, как очередной этап уточнения понятия можно принять следующее определение. **Мышление - это свойство физического объекта, способного воспринимать, обрабатывать, сохранять, генерировать и распространять информацию без постороннего вмешательства, а также действовать сообразно имеющейся информации и мотивации, инстинктивной и социальной.**

§ 1.10. Специализация.

Мозг является единым целым, однако ряд его областей имеет и узкую специализацию. Единство мозга обеспечивается тем, что аксоны нейронов могут достигать длины в один метр и пронизывать весь объем

мозга, достигая самых отдаленных его уголков. Поверхность мозга покрыта так называемым серым веществом, которое является ничем иным, как нейронами, так как именно нейроны имеют серый цвет. Слой серого вещества имеет толщину всего несколько миллиметров, которые заполнены всего шестью отчетливо различимыми слоями нейронов. Внутри каждое из полушарий мозга заполнено так называемым белым веществом, являющимся ничем иным, как огромным сгустком аксонов. Аксоны покрыты миелиновой оболочкой, которая имеет белый цвет. Оба полушария соединены между собой пучком аксонов, который принято называть мозолистым телом.

Наряду с единством мозга, когда каждый его участок соединен практически с любым другим, некоторые отделы мозга имеют вполне конкретную специализацию (см. подробнее главу 2).

Мозжечок отвечает за двигательную функцию и включает в себя около 10^{10} нейронов как все остальные вместе взятые области мозга. Есть области, явно связанные с руками, и в частности, с большим пальцем. Есть зрительный центр, центр речи, и т.д.

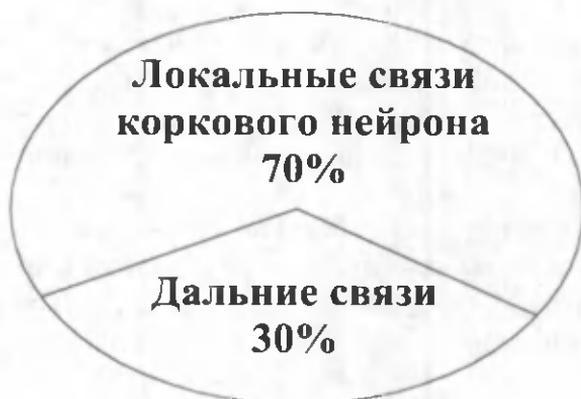
Академик Павлов разделил все центры мозга на две сигнальные системы. К первой сигнальной системе он отнес те центры, которые воспринимают сигналы от внешней среды в виде ощущений, впечатлений, представлений (за исключением речи). Эти центры имеются и у животных, и у человека. Они расположены в обоих полушариях. Вторая сигнальная система имеется только у человека. Она, как считал Павлов, обусловлена развитием речи и составляет основу мышления. Речевые и мыслительные функции выполняются при участии всей коры головного мозга.

В ряде работ, наиболее известными из которых являются работы А.Р.Лурии, предложена теория локализации высших психических функций (см. например /116,117,118/). Эти выводы были сделаны при исследовании психологии больных с локальными поражениями мозга, произошедшими, например, в результате боевых действий. Эта методика позволила провести приблизительную локализацию участков коры головного мозга, ответственных за те или иные функции. Однако также было отмечено, что при поражении отдельных участков мозг зачастую справляется с возникшей проблемой и компенсирует потерю за счет передачи потерянной функции другим участкам.

С другой стороны в конце пятидесятых годов прошлого века был получен ряд экспериментальных результатов, которые позволили считать мозг голографическим экраном действительности (см. например /119/). Так американским нейропсихологом Карлом Прибрамом было обнаружено в экспериментах на мышах, что даже после удаления 90% зрительного отдела коры головного мозга мыши не потеряли способности выполнять сложные зрительные операции. Эти и другие аналогичные эксперименты позволили Карлу Прибраму выдвинуть гипотезу о том, что работа мозга по своим принципам напоминает принципы хранения информации в голограммах. То есть в мозге, как в голограмме, каждая его часть может восстановить запечатленную ранее целую картину.

В работах /22-35/ сочетание, с одной стороны, локализации функций коры, а с другой стороны, распределение части функций по всей коре головного мозга достигалось тем, что приблизительно 70% синапсов выбранного коркового нейрона подключалось

к нейронам из зоны ближнего окружения данного нейрона, а остальные синапсы имеют подключения из других областей коры или областей за пределами коры. Ориентировочный размер зоны ближнего окружения составляет около нескольких миллиметров, то есть соизмерим с толщиной коры (см. рис. 15).



Ближние связи обеспечивают локализацию ряда функций мозга в конкретных его областях. Дальние связи обеспечивают распределение некоторых функций мозга по всему его объему.

Рисунок 15. Распределение синапсов коркового нейрона по ближним и дальним нейронам

С первого взгляда кажется, что в случае возникновения возбуждения в каком-либо участке мозга, это возбуждение будет распространяться по коре в соответствии с закономерностями, напоминающими процесс диффузии, так как связи между нейронами распределены весьма хаотично, и какие –либо выделенные направления отсутствуют. Однако, информация о том, что около 70% связей нейрона имеют локальный характер, а 30% обеспечивают дальние связи, приводят к выводу о соответственно другом принципе распространения возбуждения по коре головного мозга. Вполне вероятно, что процесс распространения возбуждения по коре головного мозга описывается уравнениями, применяемыми в астрофизике при описании процесса распространения излучения в облаках атомов или молекул, резонансно поглощающих это излучение.

Качественно процесс распространения резонансного излучения в облаке атомов или молекул заключается в следующем./122, 123/. Фотон излучается атомом или молекулой, как правило, в центре спектральной линии. Длина его пробега мала. Пройдя небольшое расстояние, он поглощается и после этого с подавляющей вероятностью опять излучается недалеко от центра линии; пройдя малое расстояние, снова поглощается и т.д. Этот процесс продолжается до тех пор, пока при каком-то акте фотон не будет излучен в крыле линии. Такой фотон сразу пролетает большое расстояние, так как эффективность его поглощения гораздо меньше, чем у резонансных фотонов. После поглощения такого фотона опять, как правило, происходит много рассеяний, смещение в ходе которых

невелико. Таким образом, в основном процесс переноса излучения в линии определяется длиннопробежными фотонами (см. рисунок 16).

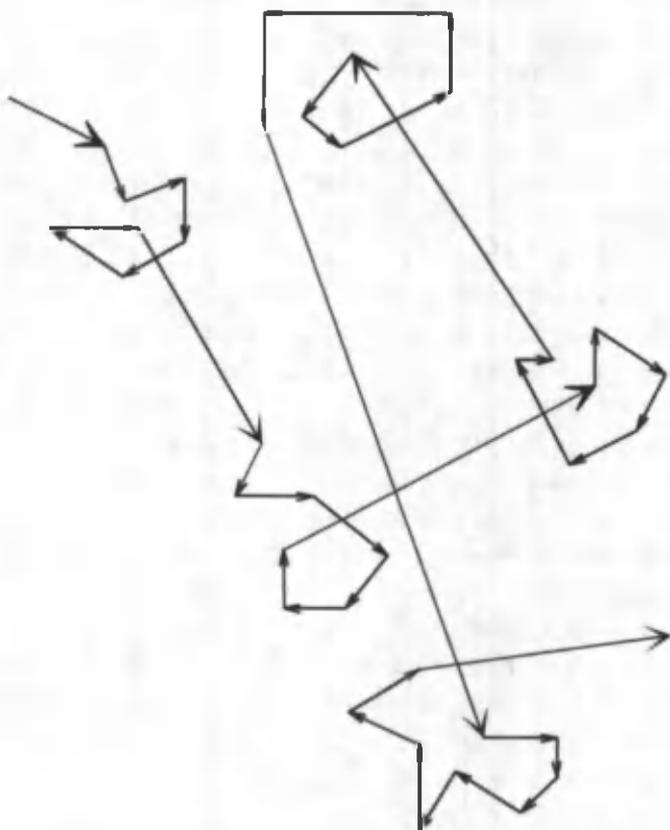


Рисунок 16. Распространение резонансного излучения в газовом облаке

Если теперь вернуться к вопросу о распространении возбуждения в коре головного мозга, то, по аналогии с вышеизложенным, можно предположить следующее. Так как большинство связей нейронов имеет локальный характер в пределах зоны с характерным размером в несколько миллиметров, то первоначально возбуждение будет распространяться именно в пределах этой зоны. Так как расстояние между ближайшими нейронами в этой зоне составляет несколько десятков микрон, а скорость распространения сигналов по аксонам составляет несколько десятков метров в секунду, то время распространения сигнала от нейрона к нейрону составит всего около микросекунды. Поэтому время распространения возбуждения в этой зоне будет определяться самыми медленными в данном случае процессами, а именно всеми временными задержками, которые только в одном акте передачи возбуждения составят несколько миллисекунд. В результате эффективная скорость распространения возбуждения составит всего несколько сантиметров в секунду (расстояние между ближайшими нейронами, поделенное на сумму временных задержек), а время распространения возбуждения по локальной зоне составит от нескольких сотых до десятой доли секунды. Опять же, по аналогии с длиннопробежными фотонами, распространение возбуждения на большое расстояние происходит не через цепочку последовательных возбуждений нейронов, а в том случае, если возбудится нейрон, имеющий длинный аксон, соединяющий различные локальные зоны, в том числе, расположенные в разных полушариях мозга. Для такого процесса время распространения возбуждения

определяется традиционно: как длина аксона, поделенная на скорость распространения возбуждения, и составит доли секунды.

На основании вышеизложенного представляется правдоподобным, что время осознания информации определяется двумя описанными процессами. Распространение сигнала в пределах мозга происходит благодаря дальним связям (длинные аксоны), и характерное время в этом случае определяется длиной аксона и скоростью распространения сигнала. Распространение сигнала внутри локальной зоны происходит в несколько этапов передачи возбуждения от нейрона к нейрону. И длительность процесса в этом случае определяется различными временными задержками в различных элементах цепочки. Итоговое время распространения возбуждения составит от нескольких сотых до десятой доли секунды, что соответствует характерному времени осознания информации.

Итак, как мы уже неоднократно убедились, что практически все характеристики мозга диалектичны и неоднозначны. Любой параметр редко может быть охарактеризован какой-нибудь одной конкретной цифрой, а обязательно потребует комментариев, пояснений и исключений. Если уж мозг един, то его подотделы имеют узкую специализацию. А если уж есть узкая специализация, то в случае необходимости она может быть частично изменена.

§ 1.11. Самоорганизация.

Если сложность новорожденного мозга заведомо не превышает $8 \cdot 10^{10}$ бит, то по мере появления навыков

управления телом, отражения в мозгу всей сложности окружающего мира и одновременно с ростом дендритов и возникновением синаптических связей сложность мозга резко возрастает. Известны эксперименты, в которых из среза мозга подопытных животных приготавливается лабораторный образец культуры, состоящей из разобщенных отдельных нейронов, помещенных в питательную среду. Наблюдение показало, что даже в таком случае дендриты нейронов начинают расти, возникают синапсы и формируется нейронная сеть. /120/.

Однако очевидно, что в данном эксперименте образующиеся синапсы будут информационно пустыми. По-видимому, данный эксперимент в чем-то аналогичен воспитанию человеческого ребенка животными: мозг сложный, человеческий, а информационный поток в период интенсивного развития дендритов и синапсов слабый. Результат плачевный – мозг не развился, мышление отсутствует.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что развитие мозга человека от уровня новорожденного мозга вплоть до уровня мышления очень напоминает процесс самоорганизации сложной открытой системы, состоящей из автономных элементов (см. /139/). Процесс запускается под действием входного и выходного информационных потоков, превышающих некий пороговый уровень. При таком подходе становится понятно, что уровень сложности мозга и величина информационного потока должны превышать определенные критические уровни, а органы чувств и тело должны быть хорошо развиты, чтобы обеспечить обмен с окружающей средой мощными потоками информационно насыщенной энергии. Входящий в мозг поток информации идет от органов чувств, а исходящий.

поступает в тело. Обратите внимание на поведение детей в период интенсивного развития мозга. Их гиперактивность обусловлена сбросом в мышцы энергии от мозга. Мозг развивается и ему надо куда-то сбрасывать лишнюю энергию. Это и является причиной неумной энергии и подвижности многих малышей. Итак, мощные входной и выходной потоки информации при выполнении ряда дополнительных условий стимулируют процесс самоорганизации мозга, и в течение какого-то времени мозг достигает в своем развитии уровня мышления (см. рис. 17)

Поэтому проблема создания интеллекта и, тем более, суперинтеллекта не сводится только к созданию все более мощных и быстродействующих компьютеров и программного обеспечения, имитирующего работу отдельного нейрона и мозга в целом.

Проблема заключается в том, чтобы создать всю совокупность условий для включения механизмов самоорганизации в сложной сети искусственных нейронов. В случае успеха на этом пути мы столкнемся с совершенно новым явлением – с разумом, который должен быть признан не искусственным, а естественным, но возникающим в сети искусственных логических элементов.

Итак, способность к мышлению у ребенка зарождается в социальной среде при открытости мозга для входного и выходного информационного потоков. Причем чем более развита эта человеческая социальная среда, тем до более высокого уровня развития сможет подняться ребенок. Именно в это время ребенок придумывается для себя новые алгоритмы, то есть занят творчеством. Таким образом, нейронная сеть ребенка развивается под влиянием социально связанных

нейронных сетей взрослых людей. В двадцатом веке Шарденом, Леруа и Вернадским было введено понятие



Рисунок 17. Самоорганизация в мозге под действием входного-сенсорного и выходного-командного информативных потоков и под влиянием инстинктивной мотивации со стороны рептилоидного отдела мозга

Ноосферы (сфера разума). Обычно под этим термином понимают сферу взаимоотношения природы и общества, когда человеческая деятельность начинает оказывать значительное влияние на Землю. И даже на геологические процессы. То есть ноосфера образована людьми, которые преобразовывают природу. Здесь мы хотим обратить внимание на то, что ноосфера в свою очередь воздействует на каждого отдельного человека, оказывая огромное влияние на его индивидуальный мыслительный процесс. Причем очевидно, что эта сфера разума по схеме, изображенной на рис. 17, формирует нейронную сеть мозга не только ребенка, но и взрослого человека. В соответствии с этой схемой нейронная сеть каждого человека является открытой системой. Личность каждого из нас определяется индивидуальной и уникальной структурой нейронной сети. В то же время возникновение новой мысли в голове, и тем более мысли на уровне открытия, означает возникновение в мозге каких-то новых синапсов и новых связей между нейронами. То есть под действием внешних информационных потоков, в процессе их осознания в режиме самоорганизации происходит постепенное или скачкообразное изменение личности. Таким образом ноосфера, окружающая человека, играет по своим функциям роль музы-покровительницы искусств и наук. С одной стороны ноосфера является объединением интеллектов всех людей, а с другой стороны ментальная среда ноосферы стимулирует интеллектуальную деятельность отдельного человека, выполняя роль, традиционно приписываемую музе – богине искусств и наук.

Таким образом творческий процесс, формирующий из ребенка взрослого человека под влиянием социума или ноосферы, не заканчивается в 20 лет. Если человек хочет оставаться творцом, его мозг должен оставаться открытым всегда. Вот почему ученым так необходимо общение, участие в конференциях и семинарах. Просто так устроена наша голова. Нейронная сеть самоорганизуется в новые структуры (мысли, открытия) только под воздействием входных потоков, по сложности близких к создающимся в мозге структурам.

Таким образом, личность каждого индивидуума определяется двумя основными факторами. Во-первых, она определяется совокупностью алгоритмов поведения, накопленных в течение периода обучения и зафиксированных в сформировавшихся нейронных сетях. Во-вторых, личность определяется способностью индивидуума к обучению новым алгоритмам либо к придумыванию новых алгоритмов. Исходя из этих представлений творчество можно условно подразделить на два уровня. Уровень внутренний и уровень внешний. Внутренний уровень - это творчество по придумыванию новых алгоритмов поведения, движения и формирования при этом новых нейронных сетей в собственном неокортексе. То есть это работа индивидуума над собственной личностью. При таком творческом процессе, вполне возможно, для ноосферы ничего особенно нового и не будет создано. Внешний уровень творчества - это уровень, при котором разрабатываются новые алгоритмы, обладающие новизной на уровне ноосферы. Конечно, границы между внешним и внутренним уровнем творчества размыты. И кроме того очевидно, что внешний уровень творчества обязательно сопровождается развитием внутренним.

На основании вышеизложенного внесем еще одно уточнение в определении мышления. По-видимому, более правильно определять мышление следующим образом. Мышление – это свойство физического объекта, способного воспринимать, обрабатывать, сохранять, генерировать и распространять информацию, а также действовать сообразно имеющейся информации и мотивации инстинктивной и социальной.

Выводы

Итак, в настоящей главе было показано, что для зарождения мышления в мозге необходимо выполнение целого ряда важных условий.

Необходимо, чтобы архитектура нервной системы частично была задана генетически, а частично развивалась в режиме самоорганизации в процессе взаимодействия с информационно сложной средой.

Необходимо, чтобы хорошо были развиты органы чувств и тело для того, чтобы взаимодействие с информационно сложной средой было двухсторонним.

Необходимо, чтобы быстрое действие всех элементов мозга соответствовало норме, и чтобы миелинизация произошла вовремя.

Необходимо, чтобы сложность новорожденного мозга превышала критический уровень и необходимо, чтобы в процессе развития мозг превзошел пороговый уровень, обеспечивающий возникновение не только сознания, но и мышления.

Необходимо, чтобы нейроны работали не только в детекторном режиме, но и в пейсмейкерном. Необходимо, чтобы уровень хаоса был достаточно велик, чтобы не допустить синаптическую конденсацию, но не слишком велик, чтобы дать время для созревания мысли.

Необходимо, чтобы мозг хотел мыслить и жить. Чтобы поведение формировалось под влиянием генетически заданной мотивации и социальной мотивации, сформировавшейся в процессе воспитания, общения и обучения в человеческой среде.

Необходимо, чтобы мозг был единым целым и, в то же время, чтобы часть его отделов имела конкретную специализацию.

И, наконец, если все эти условия выполняются, то в новорожденном мозге должны включиться процессы самоорганизации, в результате которых мозг развивается в сложную нейронную сеть и насыщается информацией и навыками.

Авторы убеждены, что все перечисленные условия являются необходимыми для включения в новорожденном мозге механизмов самоорганизации. А вот являются ли перечисленные условия достаточными, можно будет узнать, только поставив прямой эксперимент. Необходимо на модели воспроизвести все перечисленные условия и убедиться, достаточно ли их для возникновения сознания и мышления в искусственной сети логических элементов. Если да, то начнем думать над созданием суперинтеллекта. Если нет, то будем разбираться, какие существенные элементы упущены.

Глава 2. Мозаика.

В небольшой по объему книге дать даже беглый обзор информации, накопленный о работе различных элементов мозга совершенно невозможно. Эта информация рассеяна по сотням книг, каждая из которых по-своему интересна и важна /197÷224/. Однако для целей нашей книги, посвященной выработке чернового плана моделирования нового человека, нет необходимости в изложении нюансов работы мозга, так как при моделировании нет необходимости во всех деталях копировать работу мозга. Если, например, в мозге многие процессы регулируются выработкой различных гормонов, то, по-видимому, при моделировании триединого мозга МакЛина с помощью компьютера могут быть найдены другие механизмы реализации тех же функций. Поэтому в этой главе книги собраны отдельные самостоятельные параграфы, касающиеся совершенно различных вопросов, связанных с работой мозга. Принцип подбора материала для этой главы один – авторы посчитали, что читателям далеким от нейрофизиологии будет полезно хотя бы поверхностно ознакомиться с терминологией и некоторыми идеями и фактами, знание которых будет полезно при прочтении остальных разделов книги.

Один из авторов этой книги физик, а другой биолог (см. сведения об авторах). Столь значительное различие авторов в базовом образовании и опыте практической работы безусловно сказалось на форме изложения и подборе материала книги. Но учитывая, что проблема мышления выходит за рамки любой из существующих ныне наук, привлечение к решению проблемы специалистов из различных областей науки

является просто необходимым. И объединение усилий физиков и биологов на этом пути только первый шаг.

И еще одна мысль, которая в какой-то степени поясняет принцип подбора фактического материала для книги. Когда путешественнику надо попасть из пункта «А» в пункт «Б», а путь между этими пунктами лежит через дремучий лес, пересекаемый реками, буграми и оврагами, то возможны две стратегии поведения. В соответствии с первой сначала надо хорошо изучить весь лес, а уже потом следует его пересекать из пункта «А» в пункт «Б». В соответствии со второй следует сразу двинуться из пункта «А» в пункт «Б» и изучать только те лесные препятствия, которые мешают продвижению. По сути вся идеология книги - это набросок кратчайшего пути от человека разумного - до нового человека с попыткой избежать блуждания в лесу гигантского объема фактического материала о работе мозга.

§2.1. Проблемы единой терминологии.

Когда какой-либо проблемой должны заняться специалисты различных специальностей, проблема единой терминологии играет существенную роль в общем успехе дела. В книге уже упоминалась ситуация, когда под одинаковым термином - «возбуждением» - физики и нейрофизиологи понимают совершенно разные явления. Для физика возбуждение - это когда среда запасла энергию и готова к генерации импульса. А для нейрофизиолога возбуждение - это и есть генерация импульса. Аналогичные разночтения могут быть, например, у термина пластичность. Однако будем считать, что это мы - физики, математики, кибернетики, педагоги, психологи, философы забрались на

территорию нейрофизиологов, чтоб помочь им сделать нового человека. А раз мы на их территории, то за основу общей терминологии примем терминологию физиологов с небольшими вкраплениями терминов из других областей науки.

Вот список некоторых терминов, которые используются в этой книге:

аксон – отросток нейрона, по которому нервные импульсы идут от тела нейрона (сомы) к иннервируемым органам и другим нервным клеткам;

терминали – концевые участки аксона. На конце терминали находится синаптическое окончание, которым осуществляется контакт с клеткой-мишенью;

синапс – образуется синаптическим окончанием терминали и постсинаптической мембраной клетки мишени (термин введен Чарльзом Шеррингтоном в 1897 году);

миелиновая оболочка – покрывает аксоны у позвоночных животных. Ее образуют обволакивающие аксоны специальные шванновские клетки;

перехваты Ранвье – разрывы в миелиновой оболочке аксонов. Нервный импульс по миелинизированному аксону распространяется скачками – от одного перехвата Ранвье к другому, при этом резко возрастает скорость распространения нервного импульса. Только на перехватах присутствует потенциально зависимые натриевые каналы и заново возникает потенциал действия;

аксонный холмик – место соединения аксона с телом нейрона;

каждый нейрон имеет тормозные и возбуждающие входы, но аксон нейрона устанавливает только либо тормозные, либо возбуждающие синапсы;

дендрит – ветвящийся отросток нейрона, воспринимающий сигналы от других нейронов и проводящий их к телу (сому) нейрона; дендриты образуют синаптические контакты с аксонами;

шипики – изменяющиеся участки дендритов, на которых располагаются синапсы;

нейрон – нервная клетка. Имеет тело (сому), множество входных отростков дендритов и как правило один выходной отросток аксон. Различают афферентные нейроны (сенсорные или чувствительные – первичные клетки органов чувств); эфферентные нейроны или моторные, передающие сигналы к мышцам и ассоциативные нейроны (вставочные или интернейроны) – нейроны, осуществляющие связь между эфферентными и афферентными нейронами;

Конус роста – утолщенная часть растущего отростка нейрона. Торец конуса роста покрыт микрошипиками;

Теория Хаксли – Ходжкина (Нобелевская премия за 1963 год) – теория распространения возбуждения по нервным волокнам;

Глиальные клетки – клетки, окружающие нейроны в мозге. Количество глиальных клеток в десять раз превосходит число нейронов, а глия по объему занимает половину объема нервной системы;

Экспрессия гена – синтез белка посредством считывания информации с гена;

Потенциал действия – волна возбуждения, перемещающаяся по мембране нервной клетки в процессе передачи сигнала;

Квалиа – термин введен философом К.И. Люисом в 1929 г и в переводе с латинского означает «свойства, качества». Приблизительно этот термин обозначает субъективное восприятие человеком

объективных параметров внешнего мира; все не дальтоники видят длину волны электромагнитного излучения в 0.65 мкм как красный цвет, но одинаков ли этот цвет в разных головах, не узнает никто и никогда;

Тест Тьюринга – или критерий Тьюринга – тест на проверку мыслительных возможностей компьютера;

Сознание (определение авторов) – обладающим сознанием признается объект или субъект, если он получает от сенсоров информацию и в соответствии с изначально заложенной в нем программой способен адекватно внешней обстановке действовать (более полно различные взгляды на сознание изложены в §2.6 и §4.1);

Мышление (определение авторов) – это свойство физического объекта, способного воспринимать, обрабатывать, сохранять, генерировать и распространять информацию, а также действовать сообразно имеющейся информации и мотивации инстинктивной и социальной (более полно взгляды на мышление изложены в первой главе книги);

Творчество (определение авторов) - изобретение новых алгоритмов;

Головной мозг – весит около 1,4 кг и содержит в коре около 14 млрд. нейронов, состоит из трех основных отделов – задний, средний и передний мозг;

Передний мозг – включает промежуточный мозг и конечный мозг;

Задний отдел мозга – включает три отдела: Продолговатый мозг – продолжение спинного. Он регулирует пищеварение, дыхание, сердечно-сосудистую систему, некоторые защитные реакции. Мост – связывает продолговатый мозг с передним и средним отделами мозга и передает сигналы от лицевых нервов и органов слуха. Мозжечок – контролирует

равновесие, координацию движений и некоторые функции внутренних органов;

Средний отдел мозга – осуществляет связь заднего мозга с передним. В нем также расположены центры зрения и слуха;

Передний отдел мозга – состоит из промежуточного мозга и больших полушарий. Промежуточный мозг частично обрабатывает информацию, направляющуюся в большие полушария, а также отвечает за возникновение чувства голода, жажды и поддержание температуры тела;

Большие полушария – покрыты серым веществом (тела нейронов), образующим кору головного мозга;

Кора больших полушарий – состоит из лобной, теменной, височной и затылочной долей;

Затылочная доля – принимает сигналы от глазных нервов, обрабатывает зрительные сигналы;

Височные доли – обрабатывают слуховую информацию;

Теменная доля – контролирует точные движения, обрабатывает информацию от рецепторов кожи и мышц;

Лобная доля – отвечает за мышление;

Левое полушарие – отвечает за речь и логическое мышление;

Правое полушарие – отвечает за образное мышление, за музыкальные способности, за узнавание лиц;

Зона Брока – область мозга, расположенная в лобной доле левого полушария и играет важную роль в воспроизведении речи;

Зона Вернике – область мозга, расположенная рядом с зоной Брока и отвечающая за понимание речи и воспроизведение смысловой речи;

Мозолистое тело – большой пучок нервных волокон, соединяющих левое и правое полушария;

Память сенсорная – время хранения информации - доли секунды;

Память кратковременная (оперативная память) – время хранения - минуты или часы;

Память долговременная – время хранения - годы;

Сон – состояние, характеризующееся угнетением сознания и восприятия окружающей действительности;

Кома - полное отсутствие сознания, отсутствие реакции на внешние воздействия;

Памяти консолидация – процесс перехода информации из кратковременной памяти в долговременную;

Спраутинг – разрастание нервных отростков;

Нейротрансмиттер (медиатор) – химическое вещество, вырабатываемое нейронами для эффективной работы синапсов;

Промежуточный мозг подразделяется на отделы – таламус, гипоталамус, эпиталамус. Таламус (зрительный бугор) – выполняет в работе мозга ключевую роль, так как все сигналы (кроме обонятельных), идущие к коре головного мозга должны пройти через таламус;

Гипоталамус – расположен в центральной части промежуточного мозга непосредственно над гипофизом, которым он управляет. А также он регулирует температуру тела, водный баланс, чувство голода;

Гипокамп – отдел мозга, обеспечивающий кодирование информации таким образом, чтобы в дальнейшем она могла храниться в других отделах мозга, ответственных за долговременную память. Нарушение работы гипокампа приводит к тому, что новая информация не переводится в долговременную, и человек ее не запоминает;

Гипофиз – железа внутренней секреции, тесно примыкающая к гипоталамусу. Вырабатывает ряд гормонов, которые регулируют деятельность некоторых органов в теле;

Среда консервативная – среда, не имеющая запаса энергии. Волна в такой среде распространяется за счет собственной энергии;

Среда активная – среда, имеющая распределенный запас потенциальной энергии. Энергия среды не сохраняется, а расходуется на поддержание распространения волны;

Пластичность – термин возник в материаловедении и обозначает податливость обработке в определенных состояниях. Нейропластичность обусловлена тем, что во многих синапсах повторяющаяся активность повышает эффективность синапса;

Серое вещество – часть центральной нервной ткани, образованное телами нейронов. Белое вещество – образовано в основном аксонами, имеющими белый цвет из-за миелинизации;

Лимбическая система – зона мозга, включающая таламус, гипоталамус, мозжечковую миндалину и гиппокамп. Лимбическая система отвечает за эмоции и организацию памяти;

Нейрон моторный – нейрон, передающий приказ мышцам на сокращение или расслабление;

Сон парадоксальный – сон с быстрыми движениями глаз (rapid – eye –movement-REM), сопровождается сновидениями;

Сон ортодоксальный – медленноволновый сон (slow wave sleep – SWS), глубокий сон без сновидений.

§2.2. Некоторые данные о строении нервной системы.

В данном параграфе будут приведены действительно только выборочные данные о строении нервной системы. Медикам и биологам эта информация известна в гораздо большем объеме. А математикам, физикам, программистам этой информации для начала будет достаточно и они смогут легко двигаться по страницам этой книги.

Нервная система подразделяется на две основные части: центральную и периферическую. К центральной нервной системе относятся головной и спинной мозг. Периферической нервной системой считаются нервные окончания, находящиеся вне центральной нервной системы.

Спинной мозг лежит в позвоночном канале. У человека он расположен между продолговатым мозгом и вторым поясничным позвонком. Спинной мозг состоит из серого и белого вещества (см. рис. 18). Серое вещество (нейроны, дендриты, аксонные окончания) организует сенсорные и двигательные функции спинного мозга. Белое вещество образовано совокупностью миелинизированных волокон (аксонами), служащих для проведения возбуждения



Рисунок 18. Выделенный участок спинного мозга

между различными сегментами спинного мозга и между спинным и головным мозгом.

Головной мозг. Мозг имеет несколько отделов, каждый из которых имеет собственное строение. Все эти отделы и подотделы топологически расположены весьма сложно. Поэтому для ознакомительного

изучения расположения отделов мозга на рис. 19 приведена условная схема расположения отделов и подотделов мозга и перечислены некоторые их функции.

Последовательность расположения отделов	Отделы	Подотделы	Функции
	-конечный мозг	правое и левое полушария	-мышление, ощущения, осознанные движения
		мозолистое тело	-связь между полушариями
		базальные ганглии	-связь структур подкорки, мозжечка и коры, организация моторной, эмоциональной, высшей нервной деятельности
		гиппокамп	-кодирование информации для передачи ее из кратковременной памяти в долговременную
	-промежуточный мозг	таламус (зрительный бугор)	-передача сенсорной информации коре мозга (кроме обоняния)
		гипоталамус	-терморегуляция, центр жажды, центр голода, центр страха, центр удовольствия, центр неудовольствия, сон, управление гипофизом, половое поведение
	-средний мозг	-	-регуляция мышечного тонуса, установочных и выпрямительных рефлексов
	-задний мозг	мозговой мост (варолиев)	-осуществляет обмен информацией между корой и мозжечком
		мозжечек	-осуществляет координацию движений и чувство равновесия
	-продолговатый мозг	-	регулировка дыхания и сердцебиения, рефлексы защитные, пищевые
	-спинной мозг	задний рог	-восприятие чувствительных импульсов
		промежуточное вещество	формирование импульсов к внутренним органам
		передний рог	посылка моторных импульсов к мышцам, простые рефлексы

Рисунок 19. Условная структура топологической последовательности расположения отделов и подотделов мозга. Краткий список известных функций

На рис. 20 показан вид на полушария мозга сверху. Показана укрупненная специализация различных участков коры головного мозга для правого и левого полушария.



Рисунок 20. Вид на полушария мозга сверху. Приближенная специализация различных участков коры головного мозга.

На рис. 21 показана упрощенная схема прохождения зрительных нервов от сетчатки до зрительной коры в затылочных долях мозга.

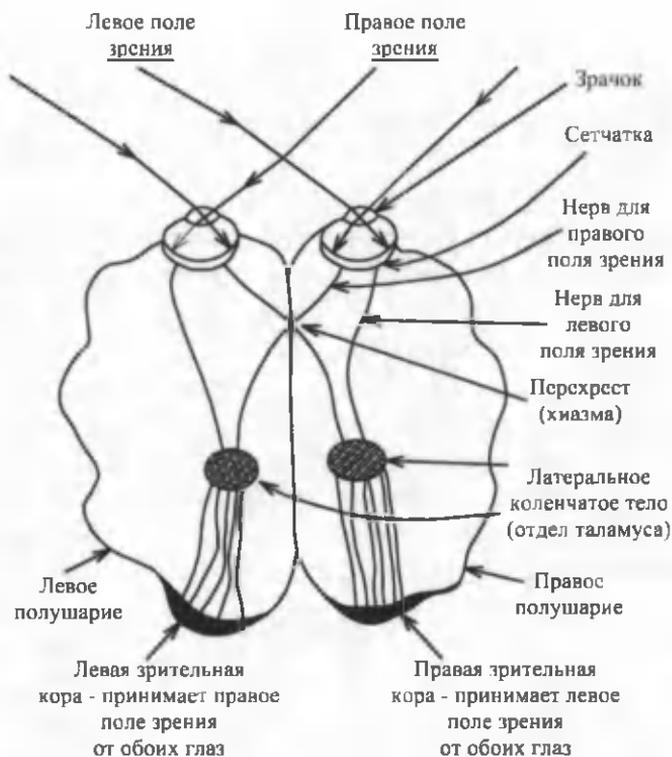


Рисунок 21.Схема прохождения зрительных нервов от сетчатки до зрительной коры. Вид сверху.

Из рисунка видно, как за счет перекреста части глазных нервов получается, что изображение от левого поля зрения формируется в правом полушарии, причем от обоих глаз. И наоборот, изображение от правого поля зрения формируется в левом полушарии, причем в его формировании также участвуют оба глаза.

На рис. 22 приведено схематическое изображение мозга с чуть более детальным показом взаимного расположения отделов и подотделов мозга.

Шестислойная кора в разных участках своей поверхности различается толщиной каждого слоя, количеством, размером и формой нейронов. Цитоархитектоническая структура коры мозга человека была подробно исследована уже в середине двадцатого века. Созданы атласы цитоархитектоники коры большого мозга человека (Саркисов и др. 1955 «Атлас цитоархитектоники коры большого мозга человека»). На поверхности полушарий и в глубине борозд выделены поля – участки с одинаковой организацией неокортекса. Всего различают в зависимости от степени детализации карты коры от 52 полей (Бродман) до 109 полей (Экономо Константин) и даже до 200 полей (Фохт).

Клетки спутники – нервные клетки в мозге плотно окружены клетками спутниками, выполняющими разнообразные функции. Клетки спутники называют шванновскими клетками для периферической нервной системы и нейроглиальными клетками (глией) для центральной нервной системы. Количество глиальных клеток превышает количество нейронов приблизительно в десять раз и глия занимает около половины объема нервной системы. Функции клеток спутников изучаются уже более 150 лет и количество открытых функций, которые они выполняют, постоянно увеличивается. В частности известно: что шванновские и глиальные



Рисунок 22. Схематический разрез мозга. Вид сбоку. Изображенные отделы мозга находятся в объеме и при проекции на плоскость накладываются. С целью облегчения восприятия, реальная картина расположения отделов мозга искажена

клетки формируют миелиновую оболочку аксонов; что глиальные клетки окружают кровеносные капилляры в мозге и влияют на питание нейронов; что глиальные клетки удаляют продукты распада в случае повреждения нейронов или воспалительных процессов в мозге. Отличительным качеством глиальных клеток является отсутствие у них аксонов. Глиальные клетки обладают целым рядом электрических свойств, однако вопрос об их роли в обработке мозгом информации остается открытым.

На этом уровне ознакомления с анатомическим строением мозга мы остановимся. Из приведенных рисунков поверхностное представление о наличии и расположении некоторых отделов мозга составить можно. Дальнейшее уточнение и детализация приведет к возрастанию объема изложения в десятки раз и отвлечет от главной идеи книги.

§2.3. Некоторые экспериментальные данные о работе мозга при удалении определенных его отделов.

Информация, излагаемая в данном параграфе важна для настоящей книги, так как при моделировании работы мозга необходимо представлять, как он будет вести себя при нарушениях в некоторых его структурах.

1.Мозжечок. Со времен Эдгара Эдриана (Нобелевская премия за 1932 г.) известно, что главной функцией мозжечка является сохранение баланса тела при движении конечностей. То есть, когда кора головного мозга дает команду резко поднять руку, все остальное тело может потерять из-за этого движения

равновесие. Однако мозжечок получает информацию от коры о планируемом движении и своевременно дает такие команды мышцам, которые обеспечивают выполнение команд коры и в то же время уберігают тело от потери равновесия. Упрощенная схема командных связей мозжечка показана на рис. 23

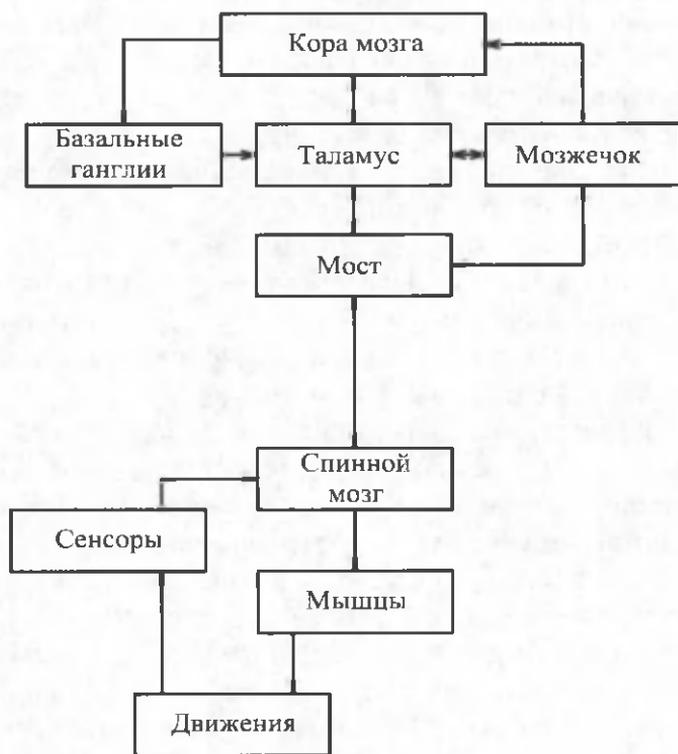


Рисунок 23. Упрощенная схема связей в головном мозге по обеспечению сбалансированных движений.

Из приведенного рисунка видно, что принципиальным моментом данной схемы, является наличие обратной связи. На важность наличия обратных связей для эффективных систем управления было обращено внимание еще в первых работах по кибернетике (см. например /206/.

Последствия удаления мозжечка у животных исследовал итальянский физиолог Луиджи Лючиани. Он отмечал следующие последствия удаления мозжечка у собак: собака стоит на широко расставленных лапах и совершает качательные движения; у собаки нарушено правильное распределение тонуса мышц сгибателей и разгибателей; собака не может попасть мордой в миску с едой. Со временем нарушения движения у такой собаки сглаживаются. Походка становится практически нормальной. Как показано в работах Э.А. Астратяна (/214/) компенсация функций удаленного мозжечка происходит за счет коры головного мозга.

2.Ретикулярная формация. В стволе мозга – продолговатом, среднем и промежуточном находятся скопления нейронов с многочисленными сильно ветвящимися отростками, образующими густую сеть. Эта сеть нейронов получила название ретикулярной формации. Ретикулярная формация и другие структуры ствола мозга в том числе «срединный шов» и «голубое пятно» играют важную роль в работе мозга. Считается, что эти структуры обеспечивают необходимый для бодрствования уровень активности мозга за счет восходящей активирующей импульсации.

Разрушение ядер срединного шва приводит к постоянной бессоннице.

После разрушения голубого пятна исчезает фаза парадоксального сна.

Разрушение некоторых областей ретикулярной формации приводит к потере сознания, то есть приводит человека в кому.

3. Рассечение мозолистого тела. Роль левого и правого полушарий.

При некоторых, особо тяжелых случаях эпилепсии больным было произведено рассечение мозолистого тела. При этом происходило разделение левого полушария мозга и правого. Предполагалось, что если центр аномального возбуждения находится в одном из полушарий, то по крайней мере одна половина тела не будет подвержена судорогам. После такой операции каждое из полушарий начинает выполнять свои функции независимо от другого. С помощью психологических тестов Р. Сперри /212/ удалось показать, что функции полушарий значительно отличаются. Основной краткий вывод из этих исследований следующий. Изолированное левое полушарие владеет письменной и устной речью в той же степени, что и единый мозг. Изолированное правое полушарие не обеспечивает устную и письменную речь, однако оно способно к зрительному и тактильному распознаванию форм, к определенному пониманию речи, чтению простых слов.

§ 2.4. Нейрон, аксон, дендрит, синапс.

В данном параграфе будет кратко описана работа нейрона и механизм распространения и формирования нервного импульса. Изложение очевидно будет предельно упрощенным, поскольку полное

изложение затрагиваемой темы обычно требует объема отдельной монографии.

Основной функциональной единицей нервной системы у человека и у животных является нейрон. Размер этой клетки, как правило, не превышает несколько десятков микрон. Состоит нейрон из тела клетки (сомы), длинного аксона, отходящего от одной из сторон нейрона и очень сильно разветвленных отростков – дендритов. Дендриты специализируются на приеме сигналов. Аксоны передают возбуждение от тела нейрона другим нейронам либо другим органам. Тела нейронов, как правило, сгруппированы и объединяются в нервные узлы (ганглии), что характерно для наиболее простых животных. Наиболее крупное объединение нейронов - это головной мозг, в том числе головной мозг человека.

Нейрон, как и обычная клетка состоит из ядра, цитоплазмы и клеточной мембраны. Как оказалось мембрана нейрона обладает целым рядом уникальных свойств и играет громадную роль в распространении нервных импульсов, а значит и в работе мозга в целом. Нервная система по системе связей на основе аксонов не только передает управляющие импульсы всем органам тела человека, но и участвует в процессе питания и в процессе поддержания их в работоспособном состоянии (см. например § 2.6). Прохождение импульсов возбуждения от одного нейрона к другому обеспечивается специальными контактными устройствами, называемыми синапсами. Схематически устройство синапса показано на рис. 24. Синапсы играют чрезвычайно важную роль в работе мозга, так как предполагается, что именно они выполняют роль ячеек памяти, а кроме того, с их помощью формируется нейронная сеть, определяющая

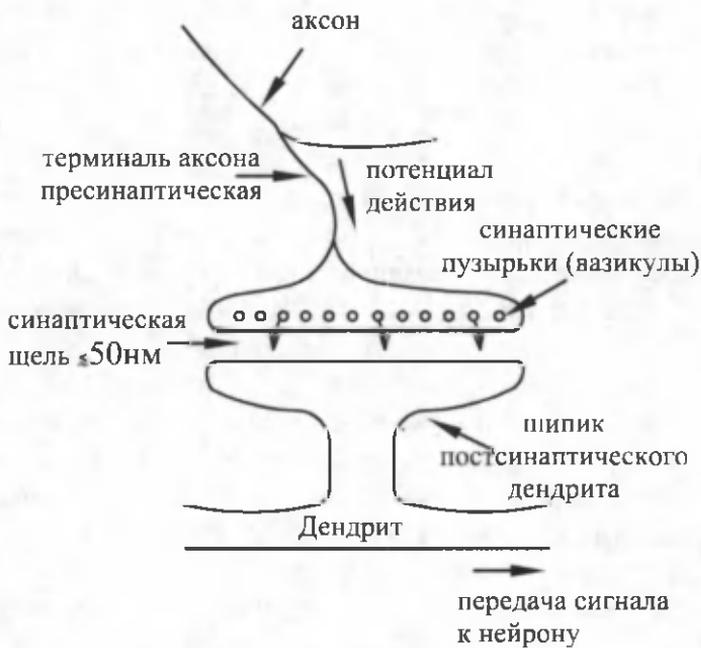


Рисунок 24. Схематическое устройство синапса.

индивидуальность своего хозяина. Предполагается, что синапс, изображенный на рис. 24, работает приблизительно следующим образом. При поступлении на пресинаптическую мембрану волны деполяризации синаптические пузырьки (вазикулы) выделяют в щель содержащееся в них вещество (медиатор), которое диффундирует через щель, достигает постсинаптическую мембрану, взаимодействует с рецепторами этой мембраны и это вызывает возникновение локального потенциала на постсинаптическом дендрите. И этот потенциал далее передается нейрону. Все перечисленные процессы в синапсе протекают приблизительно за 1 мс. Очевидно, что эффективность работы синапса зависит от количества вазикул, от количества запасенного медиатора, от количества рецепторов на постсинаптической мембране. Перечисленные процессы в свою очередь зависят от эффективности поставок к синапсу необходимых белков. А их поставка определяется экспрессией генов, расположенных в ядрах, соответствующих нейронов.

Рассмотрим теперь упрощенно, коротко и качественно механизмы возникновения электрического потенциала на мембране нейрона и механизм распространения этого потенциала вдоль нервных волокон. Наиболее признанный вклад в исследования этих механизмов внесли биофизики Ходжкин и Хаксли, работа которых была отмечена Нобелевской премией за 1963 год.

Для того, чтобы не утонуть в длинных объяснениях этих действительно сложнейших процессов, попытаемся дать читателю представление от этих процессах с помощью серии схематичных

рисунков наглядно иллюстрирующих физику процессов.

На рис. 25 показана схема возникновения мембранного поляризационного потенциала покоя нейрона.

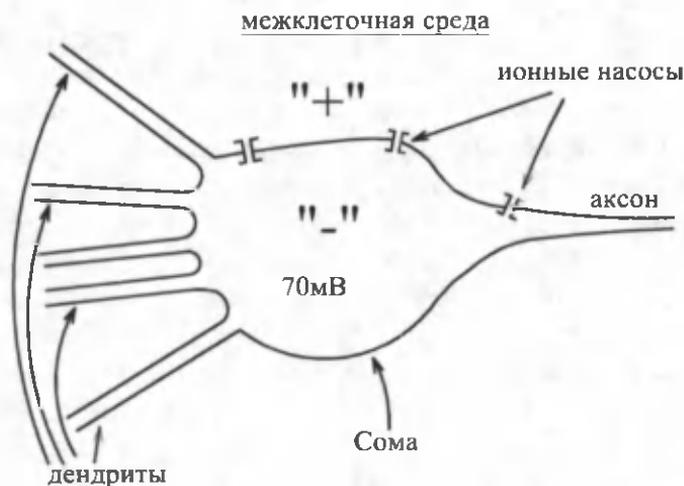


Рисунок 25. Схема возникновения мембранного поляризационного потенциала покоя нейрона.

Концентрация ионов внутри клетки и снаружи существенно отличается.

Внутри преобладают ионы K^+ и отрицательные ионы органических молекул.

Снаружи преобладают Na^+ и Cl^- .

Итоговое распределение концентраций и потенциала определяется:

1. наличием больших отрицательных органических молекул внутри клетки, которые не могут пройти через мембранные ионные насосы.
2. работой ионных насосов перекачивающих Na^+ из клетки и K^+ в клетку.

Потенциал покоя нервных клеток в зависимости от их типа обычно меняется от -60 мВ до -80 мВ.

Итак, в нормальном состоянии нейрон поляризован и его внутренний потенциал относительно межклеточной среды составляет около -70 мВ. Процесс увеличения потенциала до «0» или до положительных величин называется деполяризацией. А процесс уменьшения потенциала внутриклеточной среды ниже потенциала покоя называется гиперполяризацией.

Рассмотрим теперь процесс локального изменения потенциала на мембране и возможность распространения такого возмущения вдоль нервных волокон. На рис. 26 изображена схема последовательных изменений в нервном волокне при возникновении локального возмущения концентрации ионов или потенциала. Из рис. 26 видно, что потенциал действия - это фактически распространение волны деполяризации вдоль мембраны нейрона и, в частности, вдоль цилиндрической мембраны аксона или дендрита. Ионы при таком способе передачи возбуждения перемещаются незначительно - только внутрь и наружу через клеточную мембрану. Важным моментом является пороговый характер возникновения потенциала действия. Только когда деполяризация участка мембраны достигает порогового значения, генерируется нервный импульс.

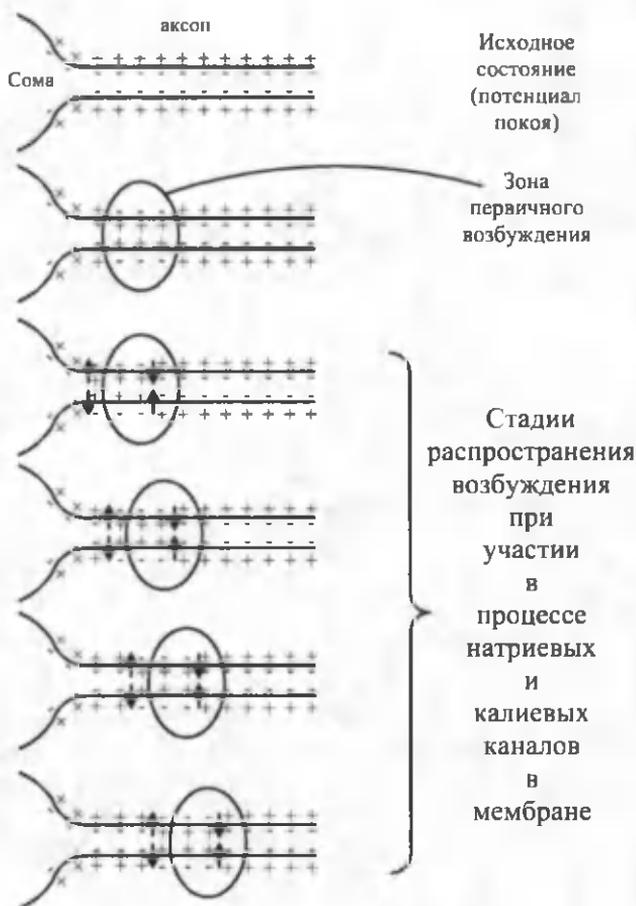


Рисунок 26. Схема распространения возмущения поляризационного потенциала вдоль аксона. Потенциал действия - волна возбуждения

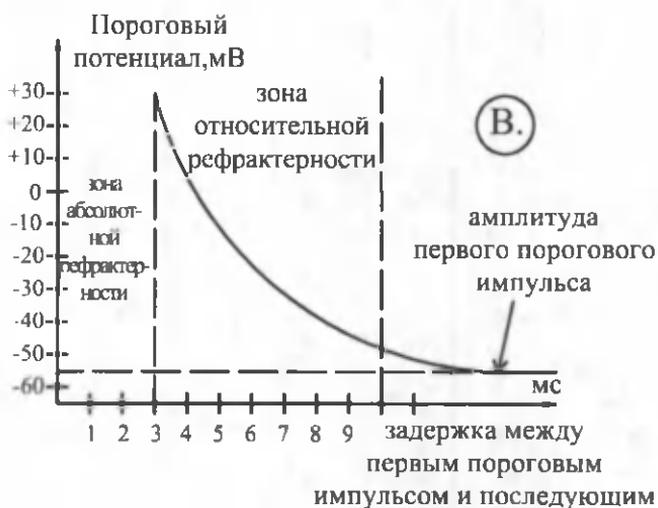
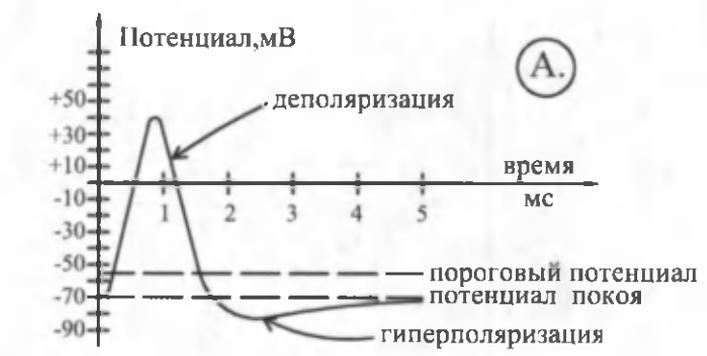


Рисунок 27. А. Потенциал действия
 В. Зависимость порогового потенциала возбуждения от временной задержки между первым пороговым импульсом и последующим.

На рис. 27 показан типичный потенциал действия, а также ориентировочная зависимость порогового потенциала возбуждения потенциала действия от временной задержки между первым пороговым импульсом и последующим.

Скорость распространения потенциала действия по нервным волокнам существенным образом зависит от наличия или отсутствия на волокне миелиновой оболочки. В случае отсутствия миелина в нервных волокнах млекопитающих скорость распространения импульса деполяризации не превышает нескольких метров в секунду. А в миелинизированных волокнах она достигает 100 м/с. Причина такого различия заключается в том, что в случае отсутствия миелинового покрытия для распространения нервного импульса необходимо, чтобы каждый участок аксона последовательно деполяризовался, а это процесс относительно медленный. В случае с миелиновой оболочкой распространение импульса происходит в соответствии с ситуацией показанной на рис. 28. Дело в том, что миелиновая оболочка не сплошная, а имеет разрывы, называемые перехватами Ранвье. Расстояние между перехватами как правило приблизительно в 100 раз превосходит диаметр волокна и составляет $0,2 \div 2$ мм. Распространение импульса по такому волокну происходит скачками (сальтаторное проведение) от одного перехвата Ранвье до другого. В результате деполяризация развивается только в зоне перехватов и общая скорость распространения импульсов резко возрастает. Так как расстояние между перехватами не очень большое сигнал за счет продольного сопротивления затухает не очень сильно и превышает пороговый уровень возбуждения, а в каждом перехвате восстанавливает нормированный уровень.

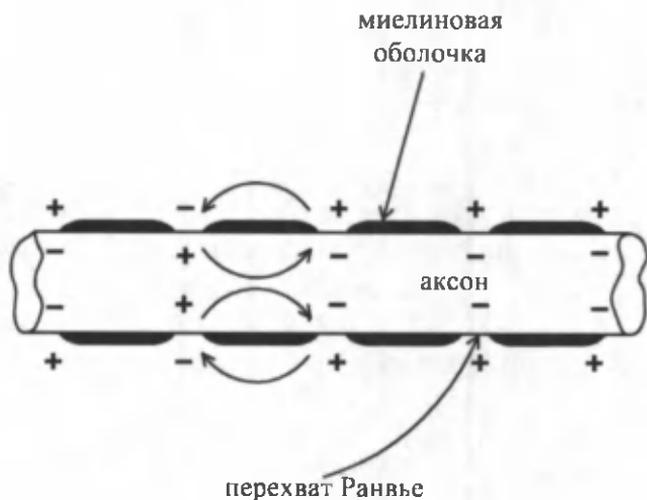


Рисунок 28. Схема распространения нервного импульса по аксону имеющему миелиновую оболочку.

Итогом работы дендритов, аксонов, синапсов является интегративная деятельность нейрона. К нейрону подходит огромное количество сигналов от других нейронов. Часть этих сигналов попадают на возбуждающие синапсы, а часть - на тормозные синапсы. Соответственно, одни синапсы вырабатывают возбуждающий постсинаптический потенциал, а другие

вырабатывают тормозной постсинаптический потенциал. Это достигается тем, что в возбуждающем синапсе выделяется медиатор, приводящий к деполяризации мембраны сомы нейрона. А в тормозном синапсе выделяется медиатор, приводящий к гиперполяризации мембраны сомы нейрона. В итоге, когда на нейрон в течение достаточно короткого времени приходит большое количество возбуждающих и тормозных импульсов, по мембране нейрона в сторону аксона (аксонный бугорок-участок присоединения аксона к телу нейрона) будут распространяться волны деполяризации и гиперполяризации. Складываясь между собой в зоне аксонного бугорка, они дадут какой-то суммарный результат. Если этот результат превзойдет уровень порогового потенциала возбуждения в аксоне потенциала действия, то по аксону начнет распространяться нервный импульс. Нейрон свою работу выполнил.

Интересно отметить (смотри подробнее § 2.4), что кроме состояния покоя (равновесной поляризации), потенциала действия (деполяризации) и торможения (гиперполяризации), оказывается существует еще одно стабильное состояние мембраны нейронов. Это состояние называется состоянием тонической деполяризации. Это такое состояние, при котором потенциал мембраны более положителен, чем потенциал покоя ориентировочно на $5 \div 10$ мВ и примерно на 5 мВ более отрицателен, чем пороговый потенциал. То есть это такое активное состояние нейрона, когда он находится в положении особой готовности к срабатыванию, когда порог срабатывания предельно снижен. Это состояние особенно характерно для режима бодрствования.

§2.5. Два метода измерения электрической активности мозга.

Электроэнцефалограмма. ЭЭГ метод основан на регистрации биоэлектрической активности мозга путем прикрепления к различным участкам кожи на голове электродов. Сигналы с электродов усиливаются, что позволяет регистрировать колебания потенциала с амплитудой около 50 мкВ. Метод, очевидно, не позволяет почувствовать активность отдельных нейронов, но дает информацию о суммарной электрической активности мозга. Метод, конечно, дает весьма ограниченную информацию о работе мозга. Если сравнить голову с компьютером, то изучение мозга с помощью ЭЭГ очень напоминает попытку изучения процессора путем прикрепления к корпусу системного блока нескольких электродов. Однако уже на протяжении около ста лет метод развивается. Более того метод позволил получить ряд важных данных о работе мозга и до сих пор служит диагностическим средством. В первых же экспериментах было обнаружено, что в мозге происходят какие-то процессы, приводящие к генерированию электрических колебаний различной частоты и амплитуды.

На рис. 29 А показано условное деление ЭЭГ ритмов мозга на различные частотные диапазоны.

Названия поддиапазонов практически общепринятые, границы диапазонов в различных публикациях слегка колеблются в пределах единиц герц. Из рис. 29 видно, что проявляется качественная закономерность: чем выше частота регистрируемых колебаний, тем меньше их амплитуда.

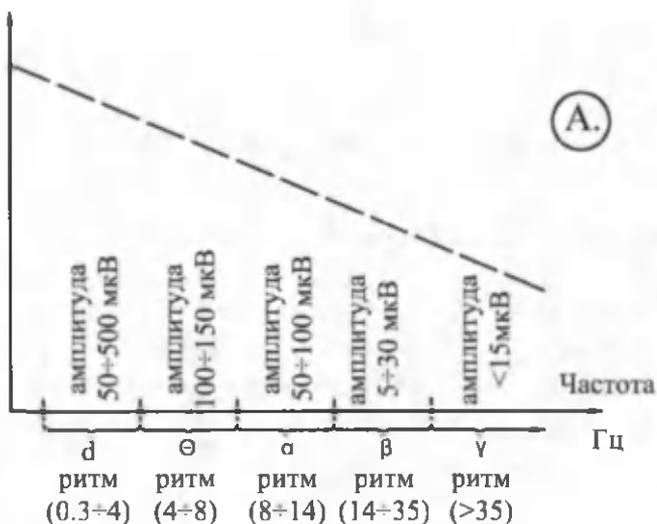


Рисунок 29. А. ЭЭГ ритмов мозга - условное деление на диапазоны.

В. Суммарная электрическая активность коры мозга (ЭЭГ) для трех состояний: бодрствование; сон без сновидений (медленный); сон со сновидениями (быстрый)

На рис. 29 Б. показан ориентировочный вид ЭЭГ для трех основных состояний мозга: бодрствование, медленный сон или сон без сновидений (ортодоксальный) и быстрый сон – со сновидениями (парадоксальный). То есть для глубокого сна характерны низкочастотные высокоамплитудные колебания (d и θ ритм), а для бодрствования и быстрого сна более высокочастотные и низкоамплитудные.

Не вдаваясь в детали, которых как обычно огромное количество, из рассмотрения рис. 29 видно, что переход от глубокого сна к более активным состояниям мозга сопровождается уменьшением амплитуды колебаний и увеличением их частоты. Так как ЭЭГ дает информацию о суммарной, интегральной активности каких-то групп нейронов в мозге, то это означает, что во время глубокого сна синхронно действуют большие группы нейронов. Причем синхронно действовать они могут только с низкой частотой. Чем в более активном состоянии находится мозг, тем меньше размер групп нейронов действующих синхронно. Но частота их взаимодействия выше. То есть складывается впечатление, что чем более интеллектуальной деятельностью занят мозг, тем меньше в нем упорядоченных групп нейронов и тем в большей степени при наблюдении за нейронами извне их деятельность представляется хаотической. Любопытно, что аналогичные закономерности можно наблюдать и для человеческого сообщества.

Отдельно несколько слов следует сказать о α – ритме (8-14 Гц), который характерен для состояния интеллектуально спокойного бодрствования. По данным Л.А. Новиковой / 215 / у слепых людей с врожденной

слепотой или при атрофии глазного нерва α – ритм в ЭЭГ отсутствует. Новикова предположила, что α – ритм обусловлен наличием предметного зрения. Это также подтверждается тем, что α – ритм наиболее четко регистрируется в затылочной части головы. Авторы со своей стороны хотят обратить внимание читателей на тот факт, что человеческое зрение со всеми входящими в него элементами обеспечивает распознавание отдельных картинок при частоте их следования менее 15 Гц. При частоте 24 Гц отдельные картинки сливаются в движущееся изображение. Таким образом, временные частотные характеристики человеческого зрения подозрительно совпадают с частотами α – ритма. Случайно ли это совпадение, авторам не известно.

Внутриклеточные измерения потенциалов с помощью микроэлектродов. Один из вариантов конструктивного исполнения такого микроэлектрода выполнен следующим образом. Такой микроэлектрод представляет из себя стеклянный капилляр, заполненный проводящим солевым раствором. Острым концом капилляра можно проткнуть мембрану клетки, а с другой стороны в капилляр введен проводник.

С помощью данной технологии было получено огромное количество разнообразной информации о процессах, происходящих в нейронах. Мы приведем только один результат, который нам представляется чрезвычайно важным. Подчеркнем роль в этих исследованиях Мишеля Жуве. Отметим также интересные работы и в том числе обзоры И.Тимофеева /218÷219/. Как уже упоминалось, существуют три основных нормальных состояния функционирования мозга: бодрствование (wake), медленноволновой (ортодоксальный) сон (slow wave sleep - sws) и сон с

быстрым движением глаз (парадоксальный или rapid – eye – movement – REM – sleep), когда человеку снятся сновидения. На рис. 30 показан мембранный потенциал нейронов коры головного мозга, измеренный с помощью микроэлектродов, для всех трех состояний мозга. Из рассмотрения данного рисунка видно, что для режима бодрствования (wake) и для парадоксального сна (REM) мембраны нейронов коры головного мозга находятся в состоянии тонической активности, когда их мембрана деполяризована примерно на 10 мВ по сравнению с потенциалом покоя. В этом состоянии нейроны находятся в состоянии готовности к приему сигналов от других нейронов и к генерации потенциалов действия. Поддержание такого состояния возможно только за счет работы определенных подкорковых структур. Во время медленноволнового сна нейроны коры мозга переключаются между состоянием тонической активности и гиперполяризации. В состоянии гиперполяризации работа нейронов блокируется и они не способны генерировать импульсы потенциала действия. То есть в эти моменты кора мозга полностью отключается.

Интересно отметить следующий момент. Из рассмотрения рис. 30 видно, что в состоянии медленного сна переключения из состояния тонической активности в состояние гиперполяризации происходят с частотой приблизительно 2 Гц (d – ритм). То есть периодически нейроны приходят в такое состояние, когда становятся способны обмениваться информацией, а именно каждую секунду они два раза по 0,25 сек обмениваются импульсами. Однако, известно, что во время медленного сна человек в сознание не приходит. В связи с этим естественно задать вопрос: а на какое

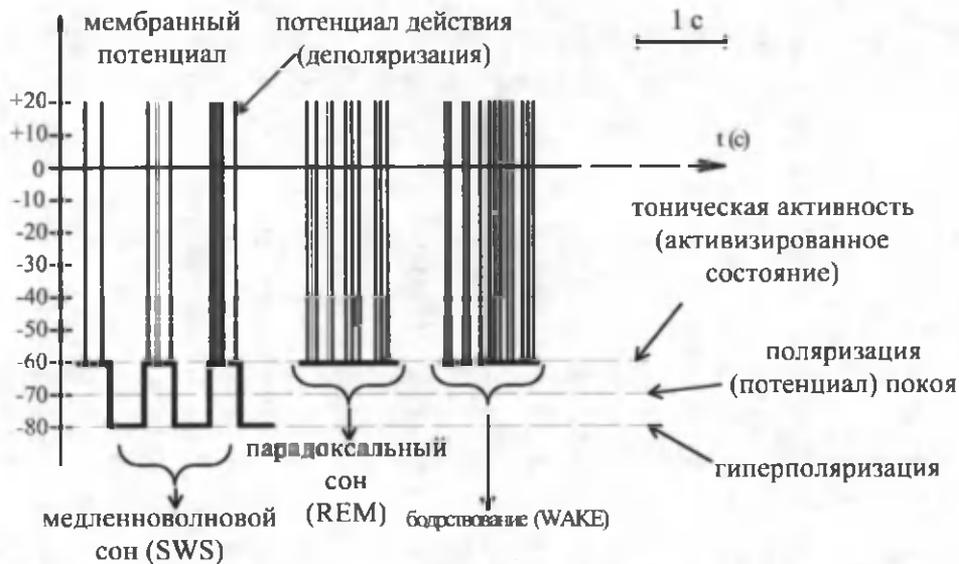


Рисунок 30. Упрощенное изображение изменения мембранного потенциала нейронов коры мозга. (во время медленноволнового сна два состояния: активное и не активное - в литературе часто называют UP и DOWN STATE)

время надо активизировать нейроны коры, чтобы человек пришел в сознание?

В § 1.4. приведена оценка для величины осознаваемого потока информации – 40 бит/с. По-видимому, очень приближенно можно считать, что человек пришел в сознание, если он смог вслух или про себя сказать хотя бы пару фраз, хотя бы десять слов. То есть приблизительно пятьдесят букв и соответственно триста бит. Тогда поделив триста бит на 40 бит/с получаем, что нейроны должны быть активизированы не менее, чем на восемь секунд, чтобы человек успел прийти в сознание. Очевидно, что когда во время медленного сна нейроны активизируются только на 0,25 сек, человек прийти в себя не может и находится без сознания.

§ 2.6. Сознание, сон, память.

Сознание. Если сон и память явления вполне конкретные, наблюдаемые и подлежащие изучению в первую очередь нейрофизиологами, то на тему сознания и мышления написано огромное количество трудов по философии, психологии, психоаналитике, педагогике и другим гуманитарным наукам. И это вполне понятно, поскольку независимо от физиологических основ возникновения сознания, каждого человека, впервые осознавшего свое «я», волнует, откуда это «я» появилось и куда оно исчезает во время сна или после смерти.

Определений категории «сознание» великое множество. Можно открыть словарь терминов каждой из упомянутых наук и убедиться, что представление о том, что такое сознание в каждой из этих наук немного разное. Так, например философы дают десятки

определений в зависимости от того, к какой идеологии склоняется автор (материализм, идеализм, дуализм и т.д.). Но приблизительно определение философов звучит так: сознание – категория, обозначающая способность человека воспроизводить действительность в мышлении. У психологов представление о сознании несколько иное: сознание – это совокупность психических процессов, обеспечивающих осознание себя. У психоаналитиков тоже есть свои нюансы: сознание – это осознание ощущений, исходящих из внешнего и внутреннего мира. В словаре медицинских терминов можно наткнуться на следующее определение: сознание – высшая, свойственная лишь человеку форма отражения действительности. Физиологи утверждают, что сознанием обладают существа, имеющие кору головного мозга и таламус и находящиеся в состоянии бодрствования.

Авторы сознательно перечислили все эти определения в несколько утрированном, упрощенном виде, чтобы выделить именно различия в подходах к этому действительно сложнейшему понятию.

Для целей настоящей книги, ставящей одной из задач моделирование сознания и мышления чрезвычайно важно выбрать какой-то конкретный вариант определения сознания, поддающийся моделированию и последующему контролю.

Здесь уместно еще раз вспомнить тест Тьюринга. Он предлагал считать машину мыслящей, если человек, не видя ее и с ней беседуя, не способен понять, что с ним беседует машина. То есть фактически Тьюринг предлагал судить о разумности машины по одной из возможных форм ее поведения. А именно по способности беседовать. То есть фактически подход Тьюринга – это подход бихевиористический.

При моделировании, по-видимому, это вообще единственно возможный подход, поскольку создав сколь угодно гениальную модель разумного существа мы сможем оценить степень его гениальности только по его поведению.

В связи с этим авторы склоняются к выводу, что по крайней мере в рамках предлагаемого проекта следует считать, что объект или субъект обладает сознанием, если он действует адекватно обстановке и в соответствии с заложенными в нем алгоритмами. А творческое мышление кроме того предполагает наличие способности придумывать новые алгоритмы.

Подводя итог можно еще раз вспомнить Феймана – «я понимаю то, что способен построить». Разногласица по поводу того, что такое сознание и мышление, будет продолжаться до тех пор, пока люди не научатся создавать существа, способные мыслить.

Сон. Упомянувшийся уже ранее Мишель Жуве говорил: «Кто познает тайну сна, тот познает тайну мозга». Возможно это преувеличение, но важность сна для нормального функционирования мозга сомнений не вызывает. По крайней мере точно известно, что животные, на долгое время лишённые сна, погибают.

Как уже отмечалось, сон - это особое состояние мозга, во время которого в мозге происходят сложные, до конца еще не изученные процессы. Как видно из рис. 29,30, во время сна происходят активные электрические процессы, регистрируемые как на ЭЭГ, так и с помощью микроэлектродов. Различают два очень различающихся типа сна: медленный сон и быстрый сон. Во время медленного сна мембрана нейронов приблизительно половину времени оказывается в гиперполяризованном состоянии (рис. 30), то есть она находится в полностью заторможенном состоянии и не

может производить потенциал действия. На ЭЭГ преобладают низкочастотные высокоамплитудные колебания. В этом состоянии человек не видит сновидений, у него снижен мышечный тонус, отсутствуют движения глаз. В этом состоянии некоторые люди страдают лунатизмом. Во время быстрого сна мембрана нейронов находится в тоническом деполяризованном состоянии, и нейроны могут обмениваться импульсами. На ЭЭГ появляются быстрые низкоамплитудные ритмы, похожие на ЭЭГ бодрствования. Тонус мышц резко снижается. Во время быстрого сна отмечаются быстрые движения глазных яблок при закрытых веках. И самое главное это то, что именно во время быстрого сна людям снятся сновидения.

В настоящее время исследования различных параметров сна продолжаются и однозначное мнение о его предназначении пока не сформировано. Однако, наиболее часто упоминаются следующие функции сна:

- отдых;

- переработка и хранение информации. В частности в экспериментах американских ученых под руководством А. Речшаффена группа подопытных людей была лишена стадии парадоксального сна. Это привело к ухудшению в усвоении нового материала и в воспроизведении изученного ранее.

- сон необходим для восстановления иммунитета. Сон необходим для регуляции процессов, протекающих во внутренних органах человека. В экспериментах И.Н. Пигарева по изучению функций медленного сна было доказано, что во время сна мозг получает информацию от внутренних органов и, далее работая с этими органами, мозг в состоянии остановить там патологические процессы, если они уже начались.

- во время бодрствования происходит заполнение текущей информацией тех отделов мозга, которые отвечают за оперативную память. При переполнении этих отделов человек начинает ощущать потребность во сне. Во время сна происходит сортировка информации – часть информации стирается, а часть переходит в отделы, ответственные за долговременную память. После сна мозг опять готов принимать информацию. Авторам книги последняя гипотеза представляется вполне правдоподобной.

Память. Память является важнейшей составляющей частью процесса мышления и важнейшей характеристикой личности вообще. Память предполагает возможность приобретать, сохранять и воспроизводить информацию.

В биологии различают три вида памяти: генетическую, иммунологическую и нейробиологическую память, которую имеют живые существа, обладающие нервной системой.

Для целей нашей книги важны генетическая память и нейробиологическая. Здесь мы сталкиваемся с привычной уже ситуацией, когда какие-то функции организма заданы изначально генетически, а какие-то приобретаются и развиваются в течение жизни. Как следует из первой главы книги, генетическая память для развития мышления не менее важна, чем нейробиологическая память, так как она определяет мотивацию. А без мотивации даже абсолютно гениальный мозг становится ленивым и работать не будет. С точки зрения моделирования генетическая память устроена не очень сложно и может быть воспроизведена с помощью прямого программирования. Более детально этот вопрос рассмотрен в четвертой главе книги.

Нейрологическая память организована существенно более сложно, чем генетическая, и работает на нескольких уровнях. Обычно выделяют три вида памяти: сенсорную или иконическую; кратковременную, или оперативную, и долговременную память. Механизмы различных видов памяти существенно различаются и в полной степени не изучены.

Сенсорная (иконическая) память обеспечивается образованием мгновенного отпечатка сенсорного сигнала (образа) поступившего в соответствующие структуры мозга. Такой отпечаток хранится в нейронных структурах менее секунды ($0,1 \div 0,15$ сек) и угасает.

При повторении сигнала или его значительной силе сенсорная память может начать переходить в кратковременную память. Принято считать, что в основе кратковременной памяти лежит многократная повторная циркуляция импульсов возбуждения по круговым замкнутым цепям нейронов. Со временем такие циркуляции импульсов затухают и такой процесс называют реверберацией. Время хранения информации благодаря кратковременной памяти около минуты. Считается, что кратковременная память не приводит к химическим и структурным изменениям в нейронах и синапсах, так как изменения в них за время масштаба минуты не успевают произойти.

Переход информации из кратковременной памяти в долговременную (консолидация памяти) происходит при повторном поступлении одной и той же информации за счет стойких изменений в эффективности работы синапсов и появления новых синапсов (Дональд Хебб, Эрик Кандель). Эти процессы в значительной степени происходят во время

парадоксальной стадии сна. Консолидация памяти происходит при активном участии в этом процессе гиппокампа. Так как в процессе консолидации памяти изменяются характеристики синапсов и формируются новые синапсы, то очевидно, что для эффективного осуществления этого процесса необходима выработка специфических белков. Выработка необходимых белков производится под «руководством» генов (экспрессия генов), расположенных в ядрах нейронов. Именно поэтому генетические сбои часто приводят к проблемам с памятью и вообще с мышлением. Есть информация о том, что глиальные клетки также оказывают влияние на консолидацию памяти в частности за счет улучшения миелинизации концевых участков аксонов и улучшения прохождения по ним сигналов.

И еще один принципиальный момент. Судя по всему человеческая память существует исключительно в состоянии динамики. Синапсы постоянно должны находиться в состоянии тренинга, к ним постоянно должны поставляться необходимые белки, питательные вещества и кислород. Небольшой, даже кратковременный сбой в этих процессах и эффективность работы синапсов падает, а человек превращается в овощ.

В течение последних нескольких лет группой ученых из университета Южной Калифорнии под руководством доктора Теодора Бергера (Dr. Theodore Berger) был получен ряд важнейших результатов с точки зрения реального моделирования функций мозга. Они создали имплантируемый электронный чип, который подключался к гиппокампу крысы 32 электродами. Эксперименты показали, что крысы помнят некоторые факты, которым их обучали, когда чип включен. И «забывают» эти факты, когда чип

выключен. Необходимо отметить факт: соединение искусственной структуры с биологической гораздо более сложная задача, чем соединение двух искусственных. Поэтому можно полагать, что соединение виртуального гиппокаипа с виртуальной корой головного мозга окажется гораздо более простой задачей по сравнению с задачей, решенной доктором Бергером.

Выводы.

Материал, изложенный в этой главе, несмотря на краткость его изложения позволяет сделать определенные выводы, которые необходимо будет учитывать при моделировании мышления.

1. Учитывая, что мозг развивался путем наслаения новых структур на старые, по-видимому, те же функции могут быть получены более простыми аппаратными средствами;

2. Разрушение одной или нескольких структур мозга (мозжечок, мозолистое тело) не приводит к полной потере функциональности организма. Некоторые функции компенсируются за счет коры головного мозга. Это означает, что, по-видимому, если построить график зависимости уровня мышления от различных вариантов конструктивного осуществления организации работы мозга, то окажется, что график будет пологий без резкого экстремума. Ориентировочный вид такого графика показан на рис. 31. Этот факт для целей нашей книги имеет принципиальное значение. Дело в том, что при моделировании работы мозга ни одна модель не будет идеально соответствовать реально существующей

структуре человеческого мозга. И тот факт, что зависимость уровня мышления от конструкции мозга достаточно полагая, дает шанс на то, что ошибки моделирования не будут фатальными для результатов эксперимента;

3. Некоторые функции мозга очевидно достаточно простые и алгоритмичные и могут быть смоделированы с помощью обычного компьютера, обеспеченного соответствующими программами. Уровень коры головного мозга (уровень мышления) с помощью любой сложности компьютера и прямого программирования смоделировать невозможно, необходимо моделирование нейронной сети.

4. Разделение мозга путем разреза мозолистого тела показывает, что из одной личности с помощью такой операции могут быть получены две личности. Это подталкивает к мысли, что возможна и обратная трансформация. То есть можно предположить, что две личности можно объединить в одну. И эта новая личность будет обладать способностями каждой из первичных личностей, а возможно и какими-то совершенно новыми. Для людей такое объединение технически невозможно. А в случае успешного создания новых людей такое объединение будет принципиально возможно. Если такое объединение будет когда-либо реализовано, то оно может дать совершенно феноменальные результаты. Известно, например, что физики-теоретики по своим способностям часто относятся либо к «генераторам идей» либо к «вычислителям». Два наиболее известных примера из этой категории это Эйнштейн и Ландау. Эйнштейн, выдающийся генератор идей, постоянно испытывал колоссальные математические трудности, в чем сам неоднократно признавался. Ландау был не менее

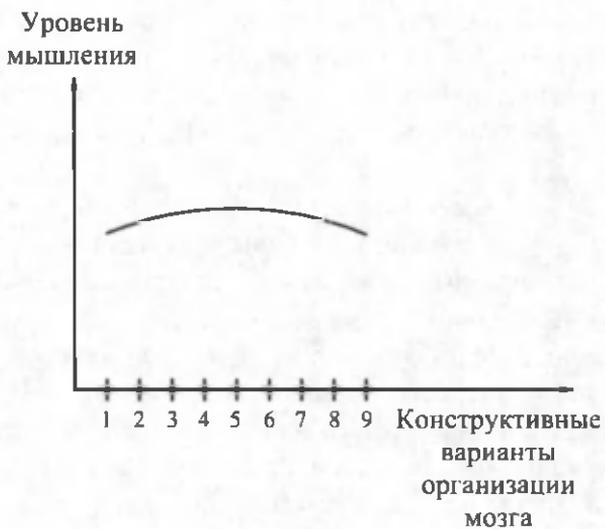


Рисунок 31. Гипотетическая качественная зависимость уровня мышления от различных вариантов структурной организации мозга.

феноменальным вычислителем. Однако, по способностям «генерировать идеи» уступал многим своим выдающимся современникам. Представить уровень таланта объединенной личности Эйнштейн + Ландау весьма затруднительно. Однако, такой ученый, по-видимому, мог бы совершенно изменить уровень современной науки. Эта идея развита в шестой главе книги при описании проекта эксперимента «большой мозг».

5. Совместное рассмотрение экспериментов на людях по рассечению мозолистого тела и на мышах (Карл Прибрам) по удалению части зрительного отдела коры позволяют высказать еще одну гипотезу. Разделение мозга человека на две половины показало, что такая операция привела к возникновению двух самостоятельных частей одного и того же «я», но с ограниченными возможностями у каждой из этих частей. Карл Прибрам в своих экспериментах на мышах обнаружил, что при удалении части зрительной коры мыши не теряли способности выполнять сложные операции, которым они были ранее обучены. Это позволило Прибраму выдвинуть гипотезу том, что принципы хранения информации в мозге напоминают принципы хранения информации в голограмме. Сравнивая эти две серии экспериментов и выводы из них, авторы приходят к обобщающей гипотезе. Можно предположить, что информация о всех аспектах человеческой личности распределена по всей коре головного мозга. Соответственно разделение (если бы оно было возможно) коры мозга на две, четыре или большее число частей приводило бы к возникновению соответствующего числа частей исходной личности. Но каждая из частей была бы все более убогой и бледной копией базовой личности. Интересно отметить, что

аналогия с голограммой скорее всего справедлива только частично. Как и в голограмме, в коре мозга информация о каждой части объекта записана во всех частицах материального носителя информации. Однако, техника записи, хранения и воспроизведения информации в мозге, по-видимому, к голографии никакого отношения не имеет.

6. При создании нового человека в обязательном порядке придется решать проблему сна и научиться моделировать память.

Для нового человека, очевидно, не важны такие функции, как отдых или восстановление иммунитета или контроль процессов во внутренних органах. У нового человека все эти вопросы будут решаться гораздо проще, чем у нас. Однако вопрос о консолидации памяти во сне обойти не удастся и как то его решать придется. Один из вариантов решения опять подсказан самой природой. Китообразные научились отключать на период сна полушария мозга по очереди. Это кстати еще одно доказательство того факта, что полушария - это части одной личности.

Проблема моделирования памяти распадается на две части. Во-первых, это проблема моделирования генетической памяти, которая дает нам наши инстинкты и основные мотивации. Так как эта память не связана с обучением, а задается изначально и на всю жизнь, то смоделировать ее относительно просто. Эта память может быть смоделирована на обычном компьютере без моделирования нейронной сети.

Моделирование нейрологической памяти будет очевидно являться одной из сложнейших проблем в процессе моделирования нейронной сети. Такая память возникает по мере формирования нейронной сети в процессе роста мозга и воспитания ребенка.

Формирование новых синапсов и усложнение сети одновременно означает возникновение памяти. Технологию консолидации памяти во сне или наяву также придется отрабатывать в процессе совершенствования программ создания виртуальной нейронной сети. Одновременно придется моделировать функции ретикулярной формации по приведению нейронов коры в активное состояние.

Глава 3. Современное состояние технической базы, которая может быть использована при моделировании искусственного мыслящего существа.

Целью настоящей главы является предельно краткое изложение информации о технических средствах, которые могут уже в ближайшее время быть использованы в экспериментах по моделированию существа, способного мыслить. Здесь имеются в виду как устройства, позволяющие моделировать нейронные сети (суперкомпьютеры, компьютерные сети), так и устройства, позволяющие моделировать тело будущего существа. Отражена потенциальная ближайшая перспектива развития таких устройств. Кратко изложены некоторые результаты по использованию искусственных нейронных сетей.

§ 3.1. Закон Мура. Современные компьютеры. Проект TOP 500.

Во введении настоящей книги сообщалось, что в настоящее время ведутся интенсивные работы по компьютерному моделированию работы нейронной сети мозга. В частности наиболее интересными проектами являются проекты SyNAPSE и Blue Brain. Эти проекты развиваются несколькими группами ученых при участии ряда организаций, в том числе IBM.

В проекте Blue Brain используются программы, которые позволят воспроизвести мозг, по сложности не уступающий мозгу человека (более 10^{10} нейронов и 10^{14}

синапсов), в случае превышения производительности компьютера величины 10^{20} flops. Аналогично для проекта SyNAPSE; в этом случае необходим компьютер с производительностью 10^{18} flops. Прежде чем двигаться дальше напомним, что единица flops используется для определения вычислительной мощности компьютера. Так, производительность в один flops означает, что компьютер способен произвести одну операцию над числом с плавающей запятой в секунду (см., например, /160/). В реальности, конечно, для характеристики современных компьютеров используются производные от flops: gigaflops (Gflops) – 10^9 flops; teraflops (Tflops) – 10^{12} flops; petaflops (Pflops) – 10^{15} flops; ekzataflops (Eflops) – 10^{18} flops.

Интересно отметить, что при количестве синапсов в коре головного мозга около 10^{14} и средней частоте срабатываний каждого из них около 10 раз в секунду, получается, что количество операций, производимых мозгом, составит около 10^{15} в секунду. Сравнивая теперь эту цифру с необходимыми мощностями компьютеров в проекте SyNAPSE (10^{18} flops) и в проекте Blue Brain (10^{21} flops), видно, что для воспроизведения на компьютере одного срабатывания синапса для одного проекта необходимо 10^3 flops, а для другого 10^5 flops. Это связано, очевидно, с более или менее полным воспроизведением особенностей поведения нейронов, дендритов, аксонов, синапсов; амплитудных и временных особенностей прохождения сигналов; учетом пластичности синапсов и других факторов.

Каковы же на сегодня достижения компьютерной техники, и насколько быстро можно ожидать появления компьютеров с параметрами, достаточными для моделирования работы мозга

человека? Получить данные о достижениях в развитии компьютерной техники в настоящее время очень легко, так как в 1993 году был запущен проект TOP 500, в соответствии с которым дважды в год публикуется рейтинг и описание пятисот самых мощных компьютеров в мире. За первые места в рейтинге, как правило, соревнуются компьютеры из США, Китая или Японии. Последние годы в списке стали появляться компьютеры из России. Судя по опубликованным данным, уровень современных суперкомпьютеров - это $10^{15} \div 10^{16}$ flops, а уровень ПК это $10^{10} \div 5 \cdot 10^{10}$ flops. Выпускаются также персональные суперкомпьютеры, по параметрам на порядок превосходящие обычные ПК. Учитывая, что на сегодня количество пользователей интернета превышает миллиард, и учитывая, что в эту сеть объединены и обычные ПК и суперкомпьютеры, можно ориентировочно оценить суммарную производительность интернета величиной масштаба 10^{20} flops.

Для того, чтобы иметь прогноз развития компьютеров на ближайшие 10÷15 лет, обычно используют так называемый закон Мура. Гордон Мур, один из основателей корпорации Интел, в шестидесятые годы заметил, что удвоение производительности компьютеров происходит за один-два года. Реальное время удвоения за прошедшие десятилетия менялось в указанных временных рамках, но общая тенденция быстрого и неуклонного роста производительности компьютеров стабильно сохранялась. Учитывая, что микроэлектроника продолжает развиваться быстрыми темпами, можно предположить, что по крайней мере в ближайшие 15 лет закон Мура все еще будет справедлив. Для оценки ожидаемой производительности персональных компьютеров,

суперкомпьютеров и интернета предположим, что время удвоения составит полтора года. Тогда, исходя из ориентировочных сегодняшних результатов, (2012 год) можно получить графики, изображенные на рисунке 32.

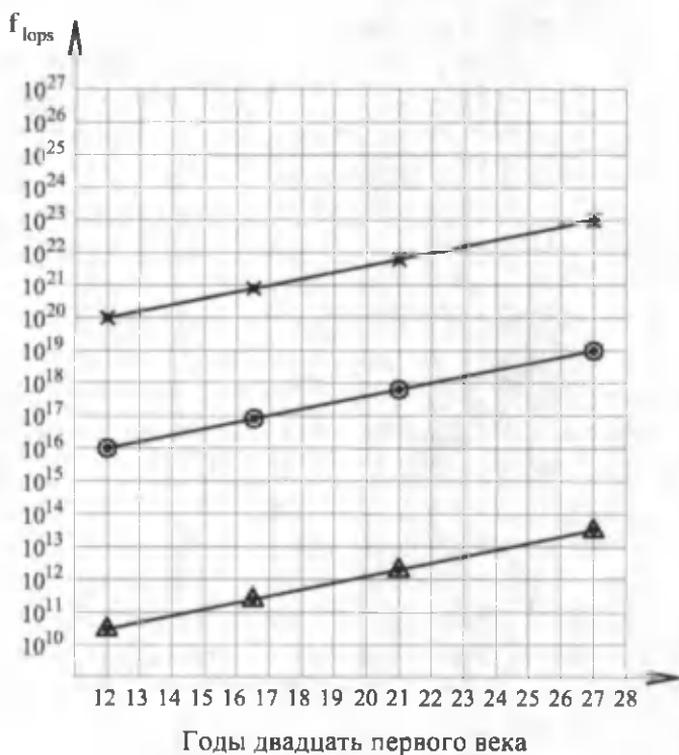


Рисунок 32. Предполагаемый рост производительности ПК (Δ), суперкомпьютеров (\circ) и интернета (\times) в ближайшие 15 лет при развитии компьютеров по закону МУРА (рост в 2 раза за 18 месяцев)

Из рассмотрения рис. 32 видно, что в ближайшие 10÷15 лет будет достигнут уровень производительности компьютеров, достаточный для моделирования работы мозга человека по нескольким вариантам экспериментов:

- моделирование на одном суперкомпьютере;
- моделирование на сети из 10^5 штук персональных компьютеров;
- моделирование с привлечением малых долей процента мощности интернета;
- моделирование путем сочетания возможностей выше перечисленных методов.

Подтверждением реалистичности прогноза, приведенного на рис.32, может служить например тот факт, что агентством передовых оборонных исследовательских проектов Минобороны США (DARPA) запланировало создание компьютера с производительностью Eflops (10^{18}) на 2018 год. В России создание такого компьютера планируется на 2020 год.

Для целей настоящей книги кроме производительности компьютера важными параметрами являются также геометрические размеры компьютера, его вес и потребляемая мощность. В зависимости от этих параметров будет приниматься решение о конструкции создаваемого мыслящего существа. Удастся ли сразу расположить суперкомпьютер в теле существа или же на первом этапе эксперимента часть моделируемого мозга будет находится вне тела.

Рассмотрение высших достижений в области создания суперкомпьютеров за последние 15÷20 лет показывает, что наиболее производительные компьютеры за все эти годы, как правило, весили от нескольких десятков до сотни тонн, потребляли

несколько мегаватт электроэнергии и занимали помещения площадью в несколько сотен квадратных метров. Фактически это означает, что разработчики суперкомпьютеров на каждом этапе развития технологии создавали компьютеры геометрически и энергетически ограниченные по размеру рамками разумной меры. При этом быстродействие при фактически грубо фиксированном размере росло по закону Мура.

Если подойти к данному вопросу с другой стороны и оценить изменение во времени геометрических, весовых и энергетических параметров при фиксированной производительности, то будет получен очевидный результат. Если по закону Мура за 15 лет производительность компьютеров при фиксированном размере и потребляемой мощности выросла ориентировочно в тысячу раз, то при фиксированной производительности компьютеры за пятнадцать лет стали в тысячу раз меньше. Так, если пятнадцать лет назад компьютер с производительностью около 1 tflops весил несколько десятков тонн, потреблял около 1 МВт и занимал около 200 м², то в настоящее время такой компьютер весит несколько десятков килограммов и потребляет около 100 Вт электроэнергии.

Поэтому, через 10÷15 лет будет достигнут уровень суперкомпьютеров, достаточный для моделирования работы мозга человека. Но размер этих компьютеров, скорее всего, будет соответствовать размеру современных наиболее мощных суперкомпьютеров, то есть вес – несколько десятков тонн, занимаемая площадь – несколько сотен метров и энергопотребление – несколько мегаватт. Поэтому очевидно, что на первом этапе экспериментов по

созданию искусственного мыслящего существа часть моделируемого мозга будет находиться вне тела создаваемого существа.

Если в течение последующих за первым этапом эксперимента пятнадцати лет закон Мура по-прежнему будет выполняться и производительность компьютеров вырастет еще в тысячу раз, то соответственно размер компьютера с фиксированной производительностью на уровне $10^{18} \div 10^{19}$ flops уменьшится по сравнению с 2025 годом ориентировочно в тысячу раз. В итоге, к 2040 году можно ожидать, что компьютер достаточный для моделирования мозга мыслителя будет весить несколько десятков килограммов и потреблять энергии около 100 Вт. При достижении таких результатов компьютер полностью сможет быть размещен в теле создаваемого существа.

§ 3.2. Искусственные нейронные сети.

Искусственные нейронные сети (ИНС) начали развиваться с 1943 года [125], когда вышла первая статья МакКаллока и Питтса, посвященная данной проблеме. Эти авторы предложили использовать бинарный пороговый элемент в качестве модели искусственного нейрона. Такой нейрон вычисляет взвешенную сумму «n» входных сигналов и формирует на выходе сигнал величины «1», если эта сумма превышает определенный порог, и «0» - в противном случае. МакКаллок и Питтс доказали, что при определенных условиях совокупность параллельно функционирующих искусственных нейронов способна производить универсальные вычисления. Именно этот

факт привлек к ИНС огромный интерес исследователей, так как появилась возможность создания вычислительных машин на совершенно отличных от обычных компьютеров принципах, что обещало и совершенно другие возможности.

Таким образом, традиционные исследования по ИНС не являются попытками моделирования работы мозга человека, а скорее являются попытками создания вычислительной машины, используя некоторые особенности работы биологической нейронной сети. Однако некоторые результаты по ИНС, тем не менее могут быть полезны для целей настоящей книги. В настоящее время ИНС посвящены десятки монографий, сотни статей и конференций, нейрокомпьютеры выпускаются серийно. Изложить на нескольких страницах даже очень краткое содержание имеющейся информации невозможно. Поэтому авторы отобрали информацию по ИНС, которая может быть интересна для целей настоящей книги и может уместиться на нескольких страницах текста. Поэтому приведем типичную модель искусственного нейрона, классификацию ИНС, некоторые методы обучения ИНС, а также важнейшие для нас особенности работы ИНС.

Итак, искусственный или математический нейрон, как и реальный нейрон, имеет « n » входов (синапсов) и один выход (аксон). Номера входов обозначим символом « i », который меняется от 1 до « n ». Пусть на каждый вход поступает сигнал X_i . Эффективность работы каждого синапса называется «весом входа» и обозначается W_i . Связи с положительным весом называется возбуждающими, а с отрицательными – тормозящими. Следующая операция,

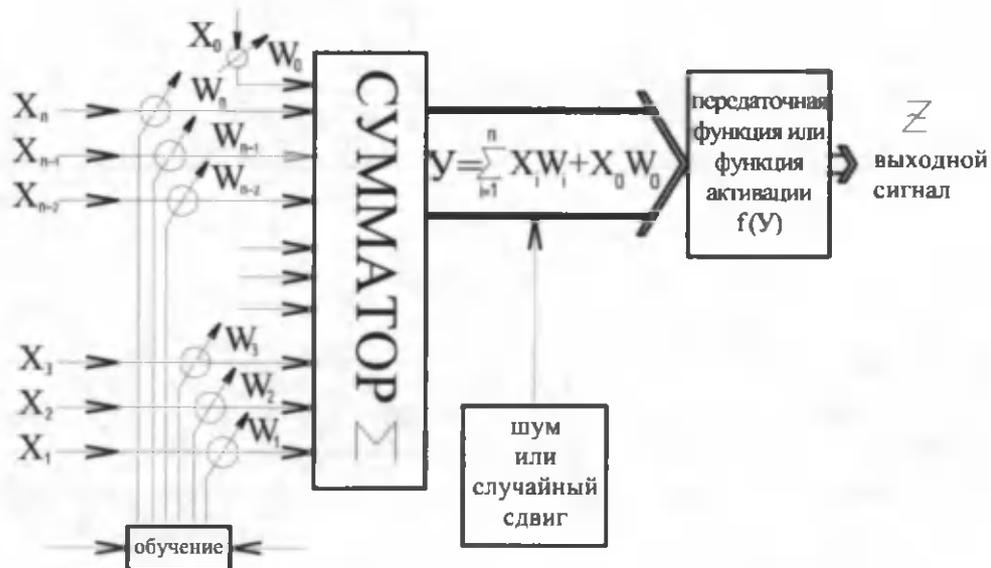
которую производит искусственный нейрон, - это суммирование входных сигналов с учетом весов входов:

$$Y = \sum_{i=1}^n X_i W_i + X_0 W_0$$

Здесь появился дополнительный член $X_0 W_0$, который соответствует дополнительному входу и используется для инициации нейрона, формируя порог его чувствительности. Возможные значения сигналов на входах считаются заданными в интервале $0 \div 1$. Следующая операция, которую производит искусственный нейрон, это обработка просуммированных с учетом весов входных сигналов и выдача выходного сигнала $Z=f(y)$. Такая обработка производится с помощью передаточной или активационной функции.

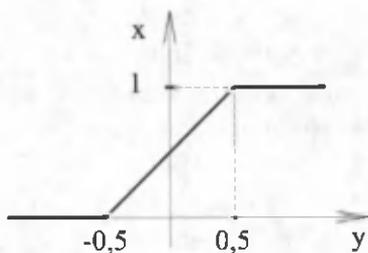
Для полноты картины и учета спонтанной активности нейрона, после сумматора и перед обработкой просуммированных сигналов с помощью передаточной функции может вводиться шумовой или сдвиговой сигнал. На рис. 33 показана схематично модель искусственного нейрона, а на рис. 34 приведено в качестве примера несколько вариантов передаточной или активационной функции.

Приблизительное представление о работе искусственного нейрона мы составили, и теперь рассмотрим варианты формирования из таких нейронов искусственных нейронных сетей. Во-первых, отметим, что если для всех нейронов сети передаточная функция одинакова, то такие сети называются **гомогенными**, в противном случае – **гетерогенными**. Учитывая, что мозг человека содержит более десятка очень

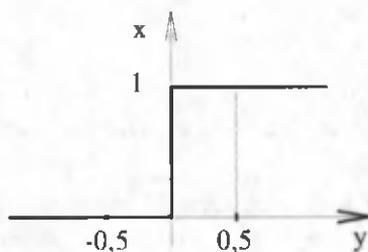


входные сигналы в блок обучения поступают от различных слоев и элементов ИНС в зависимости от ее архитектуры и алгоритмов обучения

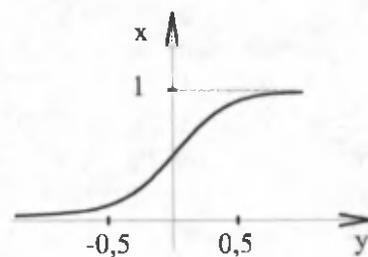
Рисунок 33. Модель искусственного нейрона с указанием основных функций и схематичной возможностью обучения



Линейная
функция с
насыщением



Пороговая
функция



Сигмоидная
функция

Рисунок 34. Некоторые примеры передаточных или активационных функций

отличающихся друг от друга типов нейронов, по-видимому, мозг является гетерогенной нейронной сетью.

С точки зрения архитектуры нейронной сети ИНС может рассматриваться как направленный граф со взвешенными связями, в котором нейроны являются узлами. По архитектуре связей ИНС могут быть сгруппированы в два класса: сети прямого распространения, в которых графы не имеют петель, и рекуррентные сети или сети с обратными связями. К первому классу относятся, например, одно- и многослойные перцептроны. Ко второму классу, например, - сети Хопфилда и Кохонена. В настоящее время описано и изучено уже несколько десятков различных вариантов ИНС.

Наиболее подробно изучены многослойные перцептроны. Они состоят из слоя входных нейронов, скрытых слоев и выходного слоя, соединенных последовательно в прямом направлении и не содержащих связей между элементами внутри слоя, а также обратных связей между слоями. На рис. 35 показана схема многослойного перцептрона прямого распространения. А на рис. 36 приведен простой пример рекуррентной сети Хопфилда.

Отметим, что сети с обратными связями менее стабильны в получении результата, поскольку выходной сигнал, благодаря обратной связи, вновь поступает в сеть и постоянно меняет свое значение. Постоянный результат не всегда может быть достигнут, и сеть оказывается неустойчивой. Сети без обратных связей стабильнее, но обладают меньшими вычислительными возможностями. Чем сложнее архитектура сети, тем более сложные задачи можно решать с ее помощью.

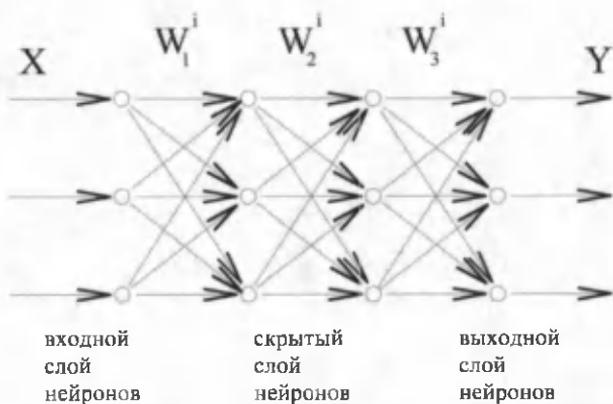


Рисунок 35. Пример архитектуры многослойного перцептрона прямого распространения

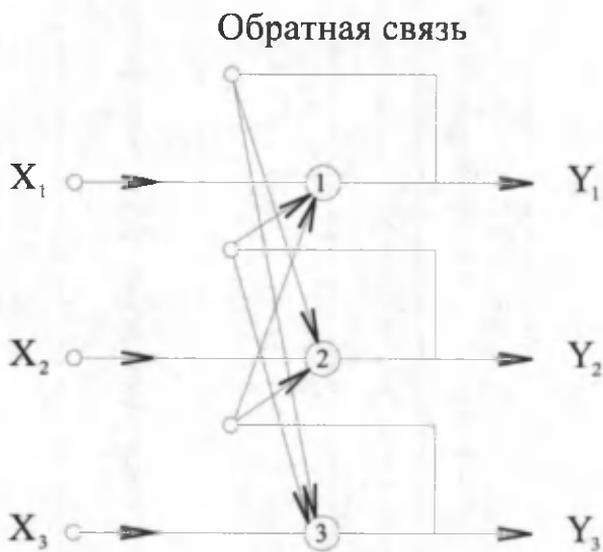


Рисунок 36. Пример рекуррентной (с обратными связями) сети Хопфилда.

Еще один параметр, по которому возможна классификация сетей, - это степень ее связности. В полносвязной сети на вход каждого нейрона поступают выходные сигналы от всех остальных нейронов. В слабосвязных сетях каждый нейрон имеет связи только с ближайшими соседями. В коре головного мозга около 2×10^{10} нейронов, а у каждого нейрона около 10^4 связей, то есть с первого взгляда сеть в коре головного мозга выглядит весьма слабосвязной. Однако, учитывая, что площадь коры головного мозга человека составляет около 2200 см^2 , а площадь локальной функциональной зоны ориентировочно $0,5 \text{ см} \times 0,5 \text{ см}$, то общее число узкоспециальных зон в коре может достигать 10^4 штук. Количество нейронов в такой зоне составит $10^{10} / 10^4 \sim 10^6$ нейронов. Тогда, так как около 70% связей нейрона замыкаются в локальной зоне (см. § 1.10), то получается, что в среднем каждый нейрон в этой зоне связан с каждым сотым нейроном.

С другой стороны, так как ориентировочно 30% нейронов имеют длинные аксоны, то из каждой локальной зоны исходит около 3×10^5 длинных аксонов. Тогда от любой локальной зоны в любую другую в среднем приходит 30 аксонов, а так как на конце у каждого из них находится по 10^4 синапсов, то сигнал, идущий из одной зоны в другую по 30 аксонам, сразу попадает на 3×10^5 нейронов, то есть на 30% нейронов этой зоны. Таким образом, разбиение мозга на локальные функциональные зоны и выделение 30% аксонов для связей между этими зонами делает кору головного мозга, конечно, не полносвязной сетью, но и не слабосвязной.

Следующий вопрос, который крайне важен при работе с ИНС, - это обучение сети. Сущность обучения заключается в поиске оптимальных весов связей между

всеми нейронами сети. Обучение вычислительной системы заменяет программирование. Конечной целью является получение желаемых выходных сигналов при предъявлении сети определенного набора входных условий, которые составляют суть задачи. Входные условия – это ряды примеров, сгруппированных в обучающее множество (см. рис. 33). Конкретных способов обучения ИНС - большое количество /68,126/. Рассмотрим только некоторые общие принципы обучения и некоторые конкретные способы, интересные с точки зрения тематики настоящей книги. Обучающие алгоритмы могут быть классифицированы как алгоритмы обучения с учителем и без учителя. В первом случае существует учитель, который предъявляет входные образцы сети, сравнивает результирующие выходы с требуемыми, а затем настраивает веса таким образом, чтобы уменьшить различия. Во втором случае обучение производится без учителя, при предъявлении входных образцов сеть самоорганизуется посредством настройки своих весов согласно определенному алгоритму.

В классической работе /65/ Хебб выдвинул гипотезу о том, каким образом может обучаться набор биологических нейронов. Хебб предположил, что синаптическое соединение двух нейронов усиливается, если оба эти нейрона возбуждены. Это правило обучения ИНС носит имя автора – правило Хебба. Второе правило обучения ИНС, которое мы собираемся упомянуть – это «Обучение методом соревнования». В отличие от обучения Хебба, в котором множество выходных нейронов могут возбуждаться одновременно, при соревновательном обучении выходные нейроны соревнуются между собой за активацию. Это явление известно, как правило «победитель берет все».

Подобное обучение имеет место в биологических нейронных сетях.

Кроме методов обучения при решении конкретных задач с помощью ИНС важное значение имеет выбор конкретной архитектуры сети, соответствующей сложности решаемой задачи. Известны два основных подхода [127]:

- деструктивный подход: берется сеть заведомо большего размера, чем нужно, и в процессе обучения из нее удаляются связи и даже сами нейроны;

- конструктивный подход: первоначально берется маленькая сеть, и к ней, в соответствии со структурой и сложностью задачи, добавляются новые элементы.

Очень похоже, что в мозге реализуются оба эти подхода. В детстве главный приоритет - это скорость развития. Поэтому нейронная сеть мозга растет с опережающим развитием по сравнению с темпами обучения. На завершающем этапе быстрого роста наступает время деструкции. Во взрослом состоянии главное уже не скорость, а эффективность и качество обучения. Поэтому реализуется конструктивный подход.

В заключение данного параграфа несколько соображений о том, почему работы по ИНС важны для настоящей книги. Кроме ряда чисто прикладных вычислительных задач, ради которых ИНС разрабатывались, был получен ряд фундаментальных результатов, принципиально важных для понимания принципов работы головного мозга человека. Как уже отмечалось во введении настоящей книги, чтобы по-настоящему понять, как работает наш мозг, надо научиться моделировать его работу. Любые представления о том, как устроено наше сознание и

мышление, будут только гипотезами до тех пор, пока на основе этих представлений нам не удастся смоделировать возникновение сознания и мышления. Поняв приблизительно, как работает нейрон и синапс, исследователи в середине двадцатого века смоделировали искусственный нейрон и, объединив такие нейроны в сеть, убедились, что такая конструкция способна решать некоторые задачи. Этот результат имел принципиальнейшее значение, так как явился фактически первым шагом в моделировании и понимании мышления.

Какие еще важные моменты следует отметить? Экспериментально было доказано, что в отличие от компьютеров, где есть железо и отдельное программное обеспечение, в мозге все по-другому. Устройство мозга, его архитектура является и «железом и программным обеспечением» одновременно. Этот факт имеет фундаментальное значение. От этого факта остается всего один шаг до признания, что особенности архитектуры Мозга определяют уникальность и индивидуальность каждого человека.

Еще два момента, которые следует здесь отметить. В обычных компьютерах вычисления производятся высокоскоростными процессорами путем последовательных операций. В ИНС вычисления производятся большим числом низкоскоростных элементов (нейронов) путем включения в процесс параллельных цепей и распределенных по пространству элементов. Это обеспечивает высокую надежность и живучесть всей системы. И последнее. Как оказалось, ИНС способна к ассоциативной памяти. То есть, если в обычном компьютере обращение к памяти доступно только посредством адреса, то в ИНС может быть реализована ассоциативная память, которая адресуется

или доступна по указанию заданного содержания. Причем содержимое памяти может быть вызвано даже по частично искаженному содержанию.

§ 3.3. Сети компьютеров.

Работа сетей компьютеров описывается в огромном числе различных публикаций (смотри, например, /128-137/). Более того, использование компьютерных сетей на сегодня уже стало одной из существенных черт современной цивилизации. По словам одного из «отцов» Интернета Винтона Серфа (Vinton G. Cerf), с помощью Интернета в наше время человек в значительной степени реализует свое глобальное право на свободное получение и распространение информации. Это реализуется через огромное количество разнообразных информационных услуг, оказываемых с помощью Интернет. Это и электронная почта (E-mail), и глобальное информационное пространство (Всемирная паутина – www – World Wide Web), и Интернет телефония, в том числе Skype.

Однако в настоящей книге будет кратко рассмотрен только один узкий вопрос. А именно, как компьютерные сети могут быть использованы при моделировании мышления. В связи с этим мы рассмотрим территориальную и топологическую классификацию сетей, возможности использования сетей компьютеров для распределения вычислений, а также некоторые важные для книги параметры глобальной компьютерной сети Интернет.

По территории распространенности компьютерные сети подразделяются на локальные сети (LAN- Local Area Network); региональные или городские сети (MAN – Metropolitan Area Network) и глобальные сети (WAN – Wide Area Network). Есть более детальные классификации, но для наших целей приведенной классификации достаточно.

Скорость передачи информации по локальной сети, очевидно, должна соответствовать быстродействию подключенных компьютеров. В настоящее время сеть, к которой подключается ПК, должна обеспечивать $10 \div 100$ Мбит/с. А волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) уже обеспечивают скорость передачи данных масштаба 10^{11} бит/с. Такие линии могут связывать между собой провайдеров. Для целей настоящей книги скорость передачи данных по существующим линиям связи весьма важна, так как в случае моделирования мышления с помощью сети компьютеров встанет вопрос о пропускной способности сетей. Пусть, например, модельный эксперимент ставится при использовании сети из тысячи компьютеров (см. рисунок 37). Тогда, в каждом компьютере моделируется работа 10^7 нейронов. Вероятность связи каждого нейрона с любым другим нейроном в среднем равна $10^4/10^{10} \sim 10^{-6}$. Тогда количество связей между любыми двумя компьютерами из сети будет вычисляться следующим образом $10^7 \times 10^7 \times 10^{-6} \sim 10^8$. Учитывая, что каждый синапс в среднем срабатывает 10 раз за секунду, получаем, что каждая кабельная линия в сети, соединяющая любые два компьютера, должна обеспечивать передачу $10 \text{ бит/сек} \times 10^8 \text{ связей} = 10^9 \text{ бит/сек}$. Применение полносвязной топологии (см. рис. 37) при организации локальной компьютерной сети не является

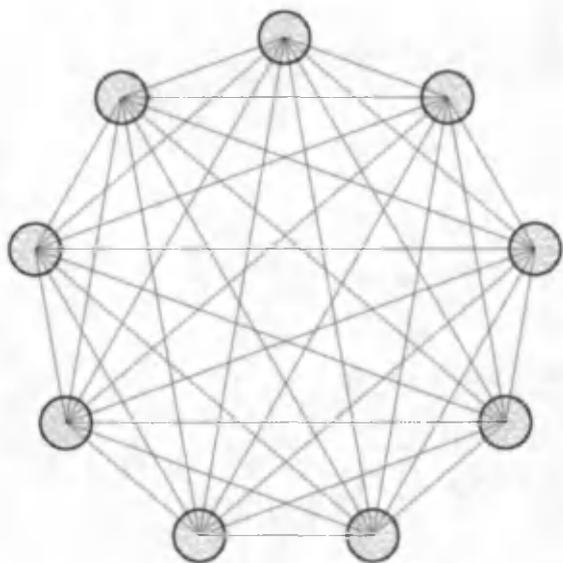


Рисунок 37. Кабельные линии, соединяющие N компьютеров при моделировании мышления (полносвязная сеть)

распространенным. Наиболее часто применяются следующие топологические структуры: звезда; кольцо; шина; дерево (см. рисунок 38).

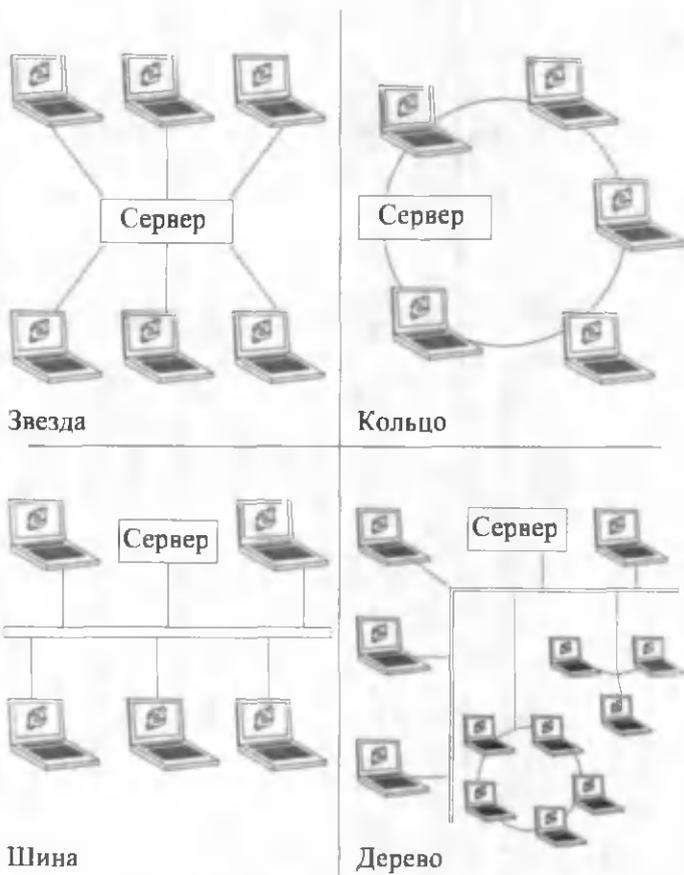


Рисунок 38. Примеры топологической структуры локальных компьютерных сетей

Еще два типа компьютерных сетей, которые следует упомянуть в настоящей книге: это кластеры и Grid (grid- решетка, сеть) системы. Кластер - это несколько компьютеров, связанных высокоскоростными линиями связи, и, с точки зрения пользователя эти компьютеры являются единым вычислительным устройством. Данная технология создания высокопроизводительных систем интересна своей экономической целесообразностью. Дело в том, что в настоящее время компьютеры с мощностью свыше 10^{12} flops уже производятся серийно и стоят относительно недорого. Объединение таких компьютеров в кластер позволяет создать недорогой суперкомпьютер. Эта технология популярна при создании суперкомпьютеров, и ряд лидеров списка TOP 500 являются кластерами.

Идея Grid – вычислений возникла в связи с развитием интернета, включением в него огромного числа ПК и развитием высокоскоростных линий связи, полоса пропускания которых стала достаточной для того, чтобы можно было привлечь для вычислений другие компьютеры. Реалистичность идеи Grid основывалась также на том, что значительная часть подключенных к интернету компьютеров большую часть рабочего времени простаивает, и возникает возможность применить их ресурсы для решения других задач. Наибольшую известность Grid – вычисления приобрели в конце девяностых годов двадцатого века, когда добровольное объединение ресурсов около миллиона ПК позволило провести обработку экспериментальных результатов по поиску внеземных цивилизаций. В настоящее время система Grid – вычислений активно развивается в научных центрах России, а в ЦЕРНЕ применяется для обработки данных, получаемых в большом адронном коллайдере.

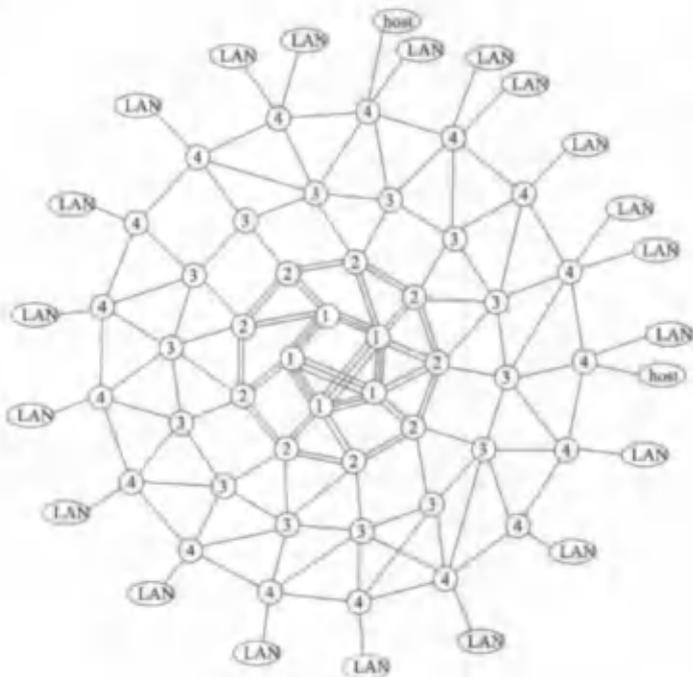
Наиболее известной компьютерной сетью является, конечно, интернет, который объединяет огромное количество локальных сетей. Первоначально сеть создавалась при участии уже упоминавшегося агентства DARPA для чисто утилитарных задач – с целью обеспечения надежной связи в случае военных действий. Но вскоре выяснилось, как это часто бывает в науке, что созданный людьми объект оказался умнее своих создателей и обладает качествами, о которых первоначально никто не помышлял. Интернет начал развиваться, перерос рамки границ государств, и кто сегодня является его хозяином, сказать трудно.

Единство Интернета, несмотря на огромное разнообразие подключенных к нему сетей и устройств, обеспечивают общие для всех правила или стандарты, за которыми в интернете закрепилось название – протоколы. Протоколы реализуются аппаратно – программными средствами. Программы, поддерживающие протокол, также называют протоколами. Все данные пересылаются в виде пакетов. Пакет – это специальная последовательность информации, несущей передаваемые данные, а также информацию об адресах получателя и отправителя информации. Каждый пакет продвигается по сети своим маршрутом, что делает сеть независимой от неисправностей отдельных узлов. Перенаправление пакетов осуществляют маршрутизаторы. Идеологическую основу сети Интернет составляет группа протоколов TCP/IP. Протокол TCP (Transmission Control Protocol) – транспортного уровня, он управляет тем, как происходит передача информации. IP (Internet Protocol) – протокол сетевого уровня, добавляет к пакету IP – адреса получателя и отправителя. Начиная с 80-х годов двадцатого столетия разработчики TCP/IP

определили IP Address как 32 разрядное число, и этот вариант протокола, известный как IPV4, (Internet Protocol version 4) действовал и был преобладающим вплоть до 2012 года. Однако количество адресов, которое способна обеспечить версия IPV4, определяется как $2^{32} \approx 4,3 \times 10^9$. А так как каждый ПК, мобильный телефон, сервер и другие конечные пользователи, подключенные к интернету (обобщенное название хост – host – хозяин), имеют свой IP адрес, то очевидно, что на сегодня $4,3 \times 10^9$ адресов – это совсем не много. Особенно это становится, очевидно, если учесть что по прогнозам в ближайшие десять лет количество хостов может увеличиться до 15×10^9 .

В связи с тем, что недостаточность объема IPV4 была уже ясна в девяностые годы, была разработана следующая версия протокола, а именно IPV6. Новая версия использует для адреса 128 бит и, соответственно новое, общее количество адресов составит $2^{128} \approx 3,4 \times 10^{38}$. Однако первые 64 бита будут определять организацию, провайдера и так далее, и только последние 64 бита будут являться уникальным идентификатором сетевого устройства (хоста). То есть количество адресов хостов в IPV6 составит $2^{64} \approx 1,8 \times 10^{19}$, что превышает все возможные потребности человечества на ближайшие сто лет.

Топологически Интернет, конечно, гораздо сложнее любой из входящих в него локальных или глобальных сетей. Схематично архитектура Интернета показана на рис. 39. Существует четыре стадии доступа в Интернет. Опорная или базовая часть сети (хребет) соединена самыми скоростными линиями связи, а в узлах расположены наиболее мощные провайдеры. Если любой другой провайдер подключен непосредственно к






 - Высокоскоростные выделенные линии связи разного уровня


 - Опорная сеть провайдеров (Service Provider Tier-1)


 - Транснациональные провайдеры


 - Региональные провайдеры


 - Местные провайдеры (ISP - Internet Service Provider)

Рисунок 39. Ориентировочная топологическая структура интернета

хребту, то скорость передачи информации пользователем будет максимальной.

Второй уровень доступа обеспечивается транснациональными провайдерами и сетями. Третий уровень доступа обеспечивается региональными провайдерами и сетями.

Четвертый уровень доступа в Интернет – это поставщик интернет-услуг (Internet Service Provider) конечному потребителю. Именно на этом уровне заключаются договора о подключении ПК или LAN к Интернету.

Разветвленная сеть Интернета обеспечивает его высокую надежность, так как при выходе из строя какой-либо части сети остальная сеть продолжает работу. Надежности работы сети также способствует отсутствие какого-либо единого центра управления сетью.

§ 3.4. Возможность самоорганизации в сети интернет.

Возможность зарождения самостоятельного мышления в сети интернет является излюбленной темой писателей фантастов и кинорежиссеров. Попытаемся оценить реалистичность этой идеи, исходя из известных критериев зарождения мышления в мозге, изложенных в первой главе настоящей книги.

Первая глава книги содержит двенадцать параграфов, в одиннадцати из которых описываются какие-либо особенности зарождения мышления в мозге человека. Сравним бегло каждое из этих условий с реальными характеристиками интернета.

3.4.1. Архитектура мозга.

В данном параграфе первой главы главным фактом было то, что архитектура нервной системы частично задана генетически, а частично развивается в режиме самоорганизации в процессе взаимодействия с информационно сложной средой.

Архитектура Интернета задана достаточно стабильной системой расположения провайдеров, высокоскоростных линий связи и конечных пользователей. К самопроизвольному развитию эта сеть не способна и может, так или иначе, изменяться только в случае вмешательства людей.

3.4.2. Органы чувств.

В данном параграфе первой главы утверждалось, что мозг должен иметь тело, оснащенное разнообразными органами чувств. Органы чувств должны быть соединены с мозгом нервными волокнами, способными пропустить к мозгу принимаемый органами чувств поток информации. Ориентировочная интенсивность потока информации составляет 10^7 бит/сек.

К интернету подключено огромное количество всевозможных датчиков. Так что вполне можно считать, что по этому параметру интернет обеспечен не хуже новорожденного мозга. Интенсивность потока информации масштаба 10^7 бит/сек для всех элементов Интернета легко достижима, более того, давно превышена.

3.4.3. Воспитание.

В данном параграфе первой главы книги и в § 1.5 утверждалось, что новорожденный мозг должен

находиться в информационно сложной среде, и наиболее сложной такой средой является человеческое сообщество. Причем важно, чтобы гарантировалось не просто воздействие среды на мозг, а чтобы у мозга через тело была возможность действовать на внешнюю среду. То есть, для развития необходимо взаимодействие с информационно сложной средой.

Интернет через огромное количество компьютеров и прочих хостов обеспечен общением практически со всем человечеством и имеет доступ ко всей накопленной людьми информации. По-видимому, можно считать, что по этому параметру Интернет обеспечен не хуже новорожденного ребенка, развивающегося в кругу семьи. Однако, как уже отмечалось, программирование и воспитание – это не одно и то же. Программирование предполагает конкретную заданность поведения и напоминает рефлексy и инстинкты, а воспитание сочетается с наличием свободы воли. Кроме того, прием информации через многочисленные хосты не предполагает в случае интернета взаимодействие с этой средой. Поэтому представляется сомнительным, что информация, поступающая в Интернет, может рассматриваться как информационный поток, способный запустить процессы самоорганизации.

3.4.4. Некоторые временные параметры функционирования нервной системы. Сигнал в пределах мозга распространяется за время масштаба 10^{-2} сек, а сигнал в пределах Интернета, без учета задержек в коммуникационных устройствах, распространяется за время около $10^{-2} \div 10^{-1}$ сек, так как характерный размер в этом случае составляет 10^4 км (размер Земли), а характерная скорость 3×10^5 км/сек (скорость света). То

есть по этому параметру мозг и Интернет весьма близки.

3.4.5. Объект управления – тело.

В соответствующем параграфе первой главы утверждалось, что для развития мозга необходимо тело, так как именно тело может обеспечить взаимодействие с внешней обучающей информационно насыщенной средой. Причем тело с одной стороны имеет сенсоры, воспринимающие информацию, а с другой стороны тело имеет манипуляторы и коммуникационные устройства, позволяющие влиять на внешнюю среду механически и информационно.

В настоящее время к Интернету подключено огромное количество различного оборудования, в том числе различных манипуляторов и коммуникационных устройств. И если бы у Интернета была свобода при распоряжении этими устройствами, то можно было бы считать, что по этому параметру он обеспечен не хуже, чем новорожденный ребенок.

3.4.6. Переход количества в качество.

В соответствующем параграфе первой главы книги утверждалось, что порог развития мозга, с которого он достигает уровня мышления, по-видимому, преодолевается не скачком, а постепенно. Сначала ребенок учится ходить, потом говорить и только когда он полностью освоит речь, воспоминания о событиях жизни начинают сохраняться в памяти, и видимо эта стадия развития уже соответствует зарождению мышления.

Для Интернета, очевидно, никаких процессов по спонтанному зарождению сознания пока не наблюдается, так как такие процессы должны были бы

сопровождаться для начала двигательной активностью. То есть это означало бы временную потерю управляемости какими-либо объектами, управляющимися через компьютеры, подключенные к Интернету. Так как до настоящего времени такие случаи не наблюдаются, то можно утверждать, что пока в Интернете сознание не возникает.

3.4.7. Сложность.

Сравнение мозга и интернета по сложности требует подробного рассмотрения. Однако сразу ясно, что в принципе вопрос такого сравнения далеко не праздный, так как в мозгу количество логических элементов (нейронов) около 2×10^{10} , а количество компьютеров подключенных к Интернету уже сейчас превышает 10^9 и количество, подключенных хостов постоянно растет. Переход на шестую версию интернет протокола (IPv6) позволит уже в ближайшие годы превысить 10^{11} подключенных к Интернету конечных пользователей. Объем информации, который может накопить мозг отдельного человека $\sim 10^{14}$ бит, а объем информации в Интернете с учетом объема памяти отдельного компьютера и их количества превышает 10^{20} бит.

Однако сравнение архитектуры сетей Интернета и мозга с очевидностью свидетельствует о гораздо более высокой сложности нейронной сети по сравнению с компьютерной в Интернете. Количество логических элементов в обоих случаях соизмеримое, но соединения в мозге осуществляется огромным числом синапсов, а в Интернете сравнительно небольшим числом провайдеров и высокоскоростных линий связи.

В связи с вышеизложенным, попытаемся сделать оценку сложности существующей сети Интернет, а затем обсудим возможность моделирования в

компьютерной сети более сложной нейронной сети. Рассчитать математически сложность Интернета с учетом сложности включенных в него компьютеров, входящих в них микросхем и радиодеталей, проводов оптоволоконных кабелей, вряд ли возможно.

Однако для наших целей вполне достаточно порядковой оценки, которую можно получить по той же схеме, которую мы применили в первой главе книги при оценке сложности мозга. Если для мозга инструкцией по его сборке является геном, в котором заключено около 10^{10} бит информации и соответственно именно это значение является верхней оценкой сложности новорожденного мозга, то для Интернета инструкцией по его изготовлению является совокупность технологических инструкций по изготовлению микросхем, схем, корпусов, сопротивлений, конденсаторов, оптоволоконных кабелей и т.д. Совокупный объем таких инструкций ориентировочно укладывается в 100 книг по 500 страниц текста (см. например /140-151/). Т.к. каждая такая книга содержит приблизительно 7×10^6 бит информации, то очевидно, что сложность современного Интернета оценивается величиной порядка 10^9 бит, что приближается к сложности новорожденного мозга человека.

В первой главе книги утверждалось, что усложнение мозга от новорожденного состояния (10^{10} бит), заданного генетически, до уровня $10^{16} \div 10^{17}$ бит, соответствующего порогу зарождения мышления, происходит в процессе обучения и взаимодействия с информационно сложной человеческой средой. В процессе такого взаимодействия формируется сложнейшая нейронная сеть, причем архитектура этой сети является и «конструкцией» мозга и его информационным содержанием.

Возможно ли аналогичное процессам в мозге самопроизвольное усложнение структуры интернета? Ответ скорее отрицательный, так как в Интернете все процессы жестко заданы существующими протоколами, и в такой ситуации никакие процессы самоорганизации невозможны. А вот в случае вмешательства в работу Интернета человека ситуация, конечно, может измениться. Так, например, если часть компьютеров, входящих в Интернет, задействовать в процесс моделирования мозга по методу Grid - вычислений, то последствия могут оказаться слабо предсказуемыми. Если эксперимент окажется успешным, то внутри части Интернета начнет постепенно возникать новое сознание, а затем мышление. А так как первоначально это будет только зачаточное сознание, то подключение к такому сознанию большого числа различных механизмов небезопасно. Поэтому в случае моделирования мозга в полномасштабном эксперименте с использованием компьютерной сети безопаснее использовать сеть, не подключенную к Интернету.

3.4.8. Роль хаоса в работе мозга.

В соответствующем параграфе первой главы книги утверждалось, что способность нейронов работать в пейсмекерном и при этом хаотическом режиме, по-видимому, играет очень важную роль в процессе мышления. Постоянный уровень шума в нейросетях, обусловленный спонтанной генерацией импульсов нейронами, обеспечивает минимально необходимый уровень активности во всех сетях мозга, а с другой стороны препятствует заикливлению нейровозбуждений (синаптическая неустойчивость).

Очевидно, что в силу того, что каждый из компьютеров, входящих в Интернет, является жестко запрограммированной системой, ни о какой спонтанной электрической активности речь идти не может.

3.4.9. Мотивация.

Как показано в соответствующем параграфе первой главы книги, развитие мозга человека в значительной степени обусловлено жесткой мотивационной программой, называемой у живых существ инстинктами. Причем генетически предопределенные формы поведения связаны с генетически предопределенной частью нервной системы. С другой стороны формы поведения, обусловленные обучением, связаны с развивающейся в процессе обучения корой головного мозга.

Стимулов к возникновению сознания в случае Интернета очевидно нет никаких: ни в виде инстинктов, как в случае живых существ, ни в виде программ, как в случае компьютеров.

Т.к. Интернет является жестко запрограммированной сложной системой, то это полностью исключает возможность воспитания или обучения в человеческом понимании этих слов и соответственно шансов на спонтанное возникновение в нем сознания меньше, чем у отдельного муравья. Т.е. программа, на 100% регламентирующая действия сети логических элементов, очевидно, исключает возможность развития, а значит и мышления как способности познания и творчества.

3.4.10. Специализация.

В соответствующем параграфе первой главы книги показано, что мозг как мыслящее устройство с

одной стороны един, а с другой стороны ряд его участков имеет определенную специализацию.

Очевидно, что в обсуждаемом смысле специализация в Интернете отсутствует.

3.4.11. Самоорганизация.

В соответствующем параграфе первой главы книги было подчеркнуто, что развитие мозга человека от уровня новорожденного мозга вплоть до уровня мышления очень напоминает процесс самоорганизации сложной открытой системы, состоящей из автономных элементов, под действием входного и выходного информационного потока, превышающего некий пороговый уровень.

Интернет, очевидно, - система достаточно сложная, и информационные потоки, проходящие через него, огромны. Но в нем нет никаких степеней свободы, исключен хаос, нет возможностей для самопроизвольного изменения параметров, а, следовательно, и процессы самоорганизации невозможны. Формально каждый отдельный компьютер в сеть включен, но он не является автономным элементом, так как реальная его работа происходит под руководством оператора-человека.

3.4.12. Выводы.

На основании проведенного сравнения известных из опыта условий возникновения мышления в сложной сети логических элементов (мозге) с параметрами существующей глобальной сети Интернет возможность самопроизвольного зарождения в ней сознания и мышления представляется маловероятной.

Однако в случае вмешательства в этот процесс человека сложность системы и ее быстрдействие уже

сейчас позволяют предпринять попытку смоделировать мозг, не уступающий человеческому. Результаты данного параграфа в кратком виде показаны в виде таблицы на рис. 40.

№ п.п.	Условия зарождения мышления в мозге	Соответствие интернета данному требованию
1	Особенности архитектуры	нет
2	Органы чувств	да
3	Воспитание	нет
4	Временные параметры	да
5	Тело	да
6	Переход количества в качество	нет
7	Сложность	да
8	Роль хаоса	нет
9	Мотивация	нет
10	Специализация	нет
11	Саморганизация	нет

Общий вывод: сеть интернет не соответствует известным требованиям по зарождению мышления в сети логических элементов. Вывод может быть изменен при целенаправленном вмешательстве человека в работу Интернета.

Рисунок 40. Соответствие параметров Интернета известным требованиям по зарождения мышления в мозге

§ 3.5. Моделирование тела – роботы.

В первой главе книги показано, что для успешного развития мозга необходимо тело, так как обучение и развитие мозга происходит эффективно в случае разностороннего взаимодействия с информационно насыщенной социальной внешней средой. А такое взаимодействие возможно только при наличии сложного тела, имеющего манипуляторы для работы и возможности перемещения в пространстве; имеющего разнообразные сенсоры (органы чувств) и коммуникационные устройства для информационного воздействия на внешнюю среду.

Кроме вышеуказанного, при выборе тела для будущего искусственного мыслящего существа необходимо учитывать еще один фактор влияния тела на мышление. Этот фактор для людей изучался в большом количестве работ (см., например, / 152÷156/) и свидетельствует о значительной корреляции внешнего облика человека и его поведения. Одним словом, если человек ежедневно смотрит на себя в зеркало и видит свой конкретный облик (красивый, уродливый, толстый, худой, высокий, низкий, лысый, волосатый и так далее), то это в какой-то степени влияет на представление человека о его месте в этой жизни и, как минимум, на его поведение.

Поэтому при выборе тела для будущего искусственного мыслящего существа желательно на всякий случай сделать его не только функциональным, но и красивым.

Роботостроение постепенно и незаметно становится коммерчески значимым проектом. Регулярно проводятся десятки конференций, посвященных проектированию и производству роботов

(см., например, материалы ежегодной конференции IEEE International Conference on Robotics and Automation). Ряд фирм осваивает серийное производство роботов. Предсказания Айзека Азимова о том, что роботы будут использоваться в качестве няnek у детей и помощников по дому начинают сбываться.

Для целей нашей книги нет необходимости рассматривать особенности промышленных роботов или применение роботов-беспилотников в авиации. Ограничимся несколькими интересными примерами разработанных в ряде стран гуманоидных роботов. (см., например, /59÷64/).

Домашний робот ARMAR готов к выполнению простой работы на кухне. Этот робот разработан инженерами из технологического института Карлсруэ KIT и Исследовательского центра информационных технологий FZI. Робот может перемещаться в пределах кухни, доставать из холодильника продукты. Его тело имеет 43 степени свободы и многочисленные сенсорные датчики. Робот реагирует на голосовые команды и способен к диалогу. Робот способен к обучению – ему достаточно показать как, например, протирать тряпкой кухонный стол, и в дальнейшем он это действие будет делать сам.

Французская фирма Aldebaran Robotics разрабатывает роботы Nao и Romeo. Роботы Nao – это домашние роботы, которые могут послужить великолепной игрушкой для детей (см., например, /157/). Этот робот выглядит как маленький симпатичный человечек ростом около 60см и весом около 4,3 кг. Тело робота имеет 25 степеней свободы, оснащено большим количеством различных сенсоров. Кроме того, робот оборудован коммуникационными устройствами – он способен распознавать голосовое

обращение и может поддерживать разговор. Нао может ходить, если упадет, то самостоятельно встанет, берет в руки небольшие предметы. Робот выпускается серийно, продано около 300 экземпляров по цене 10÷20 тыс. долларов США. Фирма разрабатывает более крупную и совершенную модель робота Romeo. На рис. 41 показана фотография робота NAO. Он явно сконструирован так, чтобы вызывать чувство симпатии у окружающих его людей.

В США также ведутся активные разработки роботов. В частности, фирма Boston Dynamics по заказу агентства DARPA разработала серию уникальных разнообразных роботов. Это четырёхногие роботы типа Big Dog и AlphaDog, робот-бегун, копирующий тело и стиль бега гепарда и гуманоидный робот PETMAN. Сообщается о начале работ по созданию боевого робота – «Аватар». Робот PETMAN по размеру соответствует обычному человеку. Ходит со скоростью около 5 км/ч, и его походка напоминает человеческую, так как его ноги копируют конструкцию ног человека. Для придания устойчивости телу робота используется система ориентации и стабилизации положения на основе гироскопов. Разработка и изготовление робота заняли около трех лет и обошлись в сумму около 30 миллионов долларов США.

Компанией General Motors и NASA разработан гуманоидный робот Robonaut R2, предназначенный для космических исследований. Предполагается, что этот робот будет способен заменить человека в некоторых программах по освоению дальнего космоса (см., например, /158/).



Рисунок 41. Новая модель Next Gen -
домашний робот NAO

Одна из наиболее известных и удачных разработок роботов выполнена в Японии компанией Honda. Это не один робот, а целая серия разработок с единым

названием ASIMO. Согласно неофициальной версии такое название робот получил в честь ученого и писателя-фантаста Азимова, автора серии рассказов и романов о роботах и автора трех законов робототехники, которые еще будут обсуждаться в одной из глав настоящей книги. Роботы ASIMO имеют рост около 130см и вес около 50 кг, они способны передвигаться на двух ногах со скоростью до 9 км/ч. Робот способен узнавать человеческие лица, может разговаривать, может перемещаться не только по горизонтальной поверхности, но и по лестнице. Изготовлено более сотни экземпляров робота, стоимость производства каждого из них около одного миллиона долларов.

Интересное направление развития роботостроения выбрала группа ученых из лаборатории искусственного интеллекта Цюрихского университета (Zurich University's Artificial Intelligence Laboratory) Они разработали новую модель робота ECCEROBOT-2, который отличается от других роботов тем, что имеет подвижный скелет из твердого материала, который покрыт искусственными мышцами и сухожилиями из искусственного материала. Строение скелета и мускулатуры почти полностью копирует тело человека.

§ 3.6. Приводы тела роботов.

Люди относительно неплохо научились моделировать суставы и кости и даже научились изготавливать их серийно и использовать для замены больных суставов. Такой прогресс был, очевидно, простимулирован спросом со стороны медицины. Аналогичного спроса на замену мышц нет, и,

соответственно, прогресс в моделировании искусственных мышц более скромный. Прежде чем дать краткий обзор работ по моделированию приводов (actuator) в теле роботов, скажем несколько слов о работе мышц в теле человека.

В мышце, в отличие от механической пружины, нет пропорциональности между удлинением и приложенной к ней силой. Мышца может менять свою длину, сохраняя натяжение, и, наоборот, менять силу тяги, не изменяя длины. То есть при одной и той же длине мышца может быть расслаблена, а может быть напряжена.

Различают изотоническое сокращение, то есть такое, при котором напряжение мышцы остается постоянным, и изометрическое напряжение, при котором не меняется длина мышцы. В реальной работе мышцы оба режима имеют место.

Для описания соотношения между скоростью изотонического сокращения мышцы и величиной нагрузки были предложены различные математические формулы, наиболее известная из которых была выведена английским физиологом А.В. Хиллом в 1938 году:

$(P+a)V = b(P_0-P)$, где P – нагрузка, V – скорость сокращения, a , b , и P_0 – постоянные. Эта формула в пятидесятые годы была уточнена английскими учеными Б.С. Эбботом и Д.Р. Уилки. (см., например, /161-163/).

Приводы, которые на сегодняшний день применяются или планируется применять при разработке роботов, делятся: на электромеханические, гидравлические, пневматические, пневмогидравлические. Кроме того, ведутся работы по созданию искусственных мышц на основе

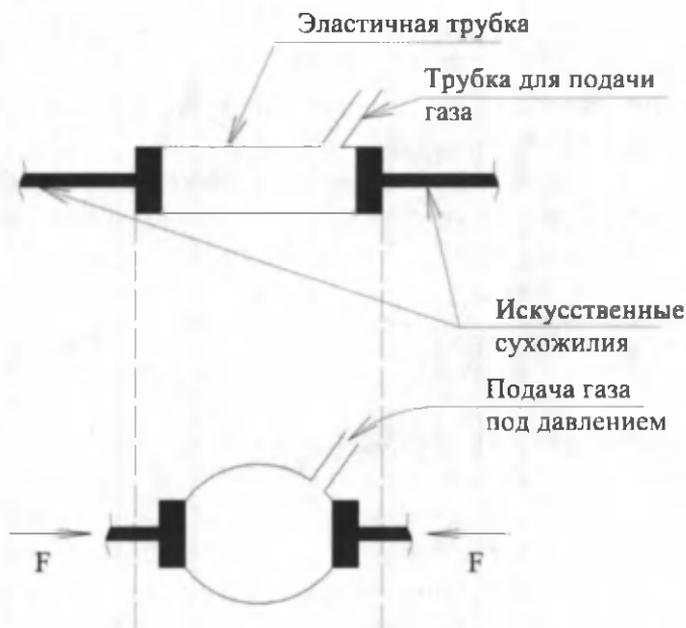
электроактивных полимеров и эластичных нанотрубок (см., например, /164-178/).

В наиболее простых моделях роботов чаще всего используются электромеханические приводы на основе либо шаговых электродвигателей, либо двигателей постоянного тока. Такие приводы, конечно, не в состоянии обеспечить плавности движений, характерной для мышц живых существ. Угловатые движения простейших роботов сразу показывают невысокий уровень и конструкции этих роботов, и их программного обеспечения.

Гидравлические приводы стали использоваться при разработке роботов в силу традиций и опыта машиностроителей, привлекаемых к таким разработкам. Наряду с электромеханическими системами такие приводы являются наиболее изученными.

Пневматические мышцы, наряду с другими, активно исследуются с целью их использования в роботостроении (смотри рис. 42) Упрощенно такая мышца представляет собой эластичную трубку, которая при подаче в нее сжатого воздуха раздувается в радиальном направлении, а длина ее при этом сокращается. При сокращении длины вдоль своей оси такая мышца развивает значительное усилие. Один из вариантов такой мышцы был предложен в 1950 году Ж. Л. МакКиббеном (Joseph L. McKibben) и до настоящего времени изучается и совершенствуется рядом исследователей.

Большое внимание разработчики искусственных мышц уделяют экспериментам на основе электроактивных полимеров (EAP). Одним из основателей этого направления является Йозеф Бар-



F - сила, возникающая при расширении и укорочении трубки.

Рисунок 42. Упрощенная схема работы пневматической мышцы на основе эластичной трубки

Коэн (Yoseph Bar-Cohen). Электроактивные полимеры – это разновидность пластмасс, которые изменяют форму, могут гнуться или растягиваться при воздействии на испытуемый образец электрического поля.

В ряде работ упоминаются эластичные нанотрубки, которые тоже могут использоваться для изготовления искусственных мышц. Более того, из

нанотрубок может быть изготовлена и искусственная кожа. Имеются сообщения (см., например, /179-182/) о том, что директору института нанотехнологий при Техасском Университете Далласа Рэю Богману (Ray H. Vaughan) удалось на основе пучка углеродных нанотрубок создать успешно действующую модель мышцы. В основе эффекта сокращения лежит свойство углеродных нанотрубок отталкиваться или притягиваться друг к другу при прохождении электрического тока. Автор утверждает, что искусственная мышца на основе нанотрубок развивает силу в тридцать раз большую, чем естественная мышца того же сечения. В уже упоминавшейся работе /159/ при проектировании робота ECCEROBOT-2 в Цюрихском университете мускулатура робота была изготовлена из упругого резинового шнура, сокращение которого производилось с помощью электродвигателей. Авторы утверждают, что конструкция привода электродвигателей обеспечивает плавность движений и точность поддержания необходимого усилия при выполнении каких-либо действий. Всего в конструкции робота использовано 80 компактных электродвигателей.

Напомним для сравнения, что только скелетных мышц в теле человека более 600, а еще имеется несколько десятков мимических мышц, которые в совершенном роботе тоже должны быть смоделированы.

Выводы

На основании изложенной в настоящей главе информации можно сделать вывод о том, что техническое состояние составных частей, которые могут быть использованы при создании искусственного мыслящего существа, находится в предфинишном состоянии.

- быстрое действие компьютеров в ближайшие 10-15 лет достигнет уровня, достаточного для моделирования в полном объеме работы мозга человека;

- работами по искусственным нейронным сетям заложены основы методик обучения создаваемых квазичеловеческих искусственных нейронных сетей;

- работы по компьютерным сетям, кластерным системам, распределенным вычислениям по методикам Grid обеспечивают принципиальную возможность моделирования работы мозга с использованием сети из компьютеров и суперкомпьютеров;

- работами по созданию искусственных мышц заложены основы для создания роботов, умеющих не только ходить, бегать и работать руками, но и воспроизводящих человеческую мимику.

Темпы производства работ в различных научных центрах Земли приблизительно одинаковы. Разработка, а затем производство и наладка каждого нового поколения роботов занимает около трех лет. Очевидно, что для создания робота, по своим механическим параметрам максимально приближающегося к человеку, потребуется не менее трех-четырех последовательно сменяющих друг друга поколений роботов. То есть при должном финансировании и организации относительно совершенный робот может быть создан ориентировочно через пятнадцать лет.

Глава 4. Стадии моделирования. Сознание.

Приступая к обсуждению возможностей моделирования мышления человека естественным образом возникает вопрос о необходимости на первом этапе смоделировать работу мозга животного, а уже затем человека. При моделировании следует учесть информацию, изложенную в главе 1 настоящей книги и особенно идею МакЛина о триедином мозге и теорию Маслоу о мотивации и уровнях потребностей. А в случае успеха при моделировании работы мозга человека необходимо будет задуматься, а нельзя ли сделать следующий шаг и создать нечто более совершенное, чем даже мозг человека.

§ 4.1. Сознание.

Как уже отмечалось во Введении данной книги, авторы, следуя, за [7,8,9] и с учетом содержания Главы 1 настоящей книги, определяют мышление следующим образом. Мышление - это свойство физического объекта, способного воспринимать, обрабатывать, сохранять, генерировать и распространять информацию, а также действовать сообразно имеющейся информации и мотивации, инстинктивной и социальной.

Приняв данное определение за основу, сразу возникает вопрос – какие действия в этом определении могут быть сведены к алгоритмам, а какие к алгоритмам не сводятся. По-видимому, к алгоритмам не всегда можно свести генерирование новой информации и действия, сообразные созданной информации и

социальной мотивации. Все остальные операции, заложенные в исходном определении, могут быть сведены к алгоритмам.

Тогда наиболее простые уровни мышления, сводимые к алгоритмам, будем считать проявлением Сознания. Уровни, не сводящиеся к алгоритмам, будем считать проявлением творческого мышления. Конечно, такая градация, как и любая классификация, упрощает реальную картину. Но для целей моделирования упрощение необходимо.

Исходя из вышеизложенного, следует, что первым, самым простым уровнем сознания обладают, в том числе, и животные. Однако, начиная с какого уровня сложности животного можно считать, что животное обладает сознанием? Это уровень млекопитающих, у которых есть кора головного мозга, или уровень пресмыкающихся или уровень насекомых, а может даже червей и улиток? У улиток во всей нервной системе всего около десяти тысяч нейронов, но они обеспечивают себя пищей, находят половых партнеров, реагируют на внешние раздражители. Ни одно из перечисленных животных никогда не скажет нам, обладает ли оно сознанием или нет. Осознает ли оно себя, как некий самостоятельный субъект, или нет. Но, тем не менее, каждый из перечисленных видов животных существует миллионы лет и еще столько же просуществует, если люди их всех не вытеснят с Земли.

По-видимому, с целью упрощения дальнейшего изложения и конкретизации определения того, что мы собираемся моделировать, следует, попытаться трактовать расширенно взгляды бихевиеристов /106/. Они предлагали судить о психических процессах, происходящих в мозге человека по его поведению. Если распространить тот же подход и на животных, то нет

смысла предаваться философским размышлениям на тему, есть ли сознание у улитки. Надо просто оценить сложность поведения того или иного живого или неживого объекта или субъекта. Если теперь оценить, что наиболее важное из того, что делают животные, то следует выделить следующее. Во-первых, все животные способны самостоятельно обеспечивать себя пропитанием (энергией). Во-вторых, все они имеют развитый инстинкт самосохранения, что обеспечивает возможность выживания. И, наконец, в-третьих, все животные способны самовоспроизводиться, то есть размножаться.

Поэтому, если не предаваться мистическим рассуждениям на тему, а есть ли сознание у соседского кота, а судить о наличии сознания по поведению объекта – субъекта, то любой кто, демонстрирует способность обеспечивать себя едой, кто заботится о своем выживании в опасной внешней среде, кто способен размножаться, должен быть признан субъектом – объектом, обладающим сознанием. По поводу обязательности способности к размножению можно поспорить, так как люди, потерявшие способность к размножению, тем не менее сознанием обладают. Таким образом, если некий объект или субъект получает от сенсоров информацию и в соответствии с изначально заложенной в нем программой способен адекватно внешней обстановке действовать, следует признать, что сознанием он обладает.

Принципиальным моментом отличия уровня сознания от уровня мышления является отсутствие необходимости в воспитывающей социальной среде. Кот, выросший в городской квартире, остается котом.

Увидев мышь, он ее съест, а встретив на даче кошку, он знает, что с ней надо делать.

Таким образом, мотивация поведения на уровне сознания вполне алгоритмична и может быть воспроизведена при использовании компьютера с помощью прямого программирования. Нюансы появляются на уровне высших животных, имеющих развитую кору головного мозга.

Таким образом, в настоящей главе будет предложена простая схема моделирования двух нижних отделов триединого мозга МакЛина, а именно уровень рептилоидного отдела и отдела древних млекопитающих (лимбическая система). Соответственно на пирамиде потребностей Маслоу мы поднимаемся на две ступени – уровень физиологических потребностей и безопасность, то есть инстинкт самосохранения.

Кроме того модель должна включать стандартные функции нейрошасси, обеспечивающего обмен информацией между телом и мозгом. Моделируя функции нейрошасси, необходимо не забыть также о рефлексах, как простейших и быстрых ответах на некоторые наиболее опасные сигналы.

§ 4.2. Моделирование сознания при жестком программировании. (Мозг рептилии).

Если исходить из представлений, изложенных в предыдущем параграфе, то моделирование существа, которое будет обеспечивать себя энергией и обладать инстинктом самосохранения, не представляет особых

трудностей. Для этого достаточно взять тело наподобие разработанного фирмой Boston Dynamics робота-вьючного животного (bigdog) или робота бегуна типа гепарда, энергетика которых обеспечивается бензиновым двигателем. Оснастить их всевозможными сенсорами, обеспечить манипулятором для заправки бензином, научить заправляться бензином из бочки, стоящей на территории испытательного полигона, научить нападать на таких же зверушек меньшего размера и убегать от зверушек большего размера. Вот и готово существо, которое по критериям бихевиеризма вполне обладает пусть простейшим, но сознанием. И по своему уровню оно вполне будет соответствовать способностям существа с мозгом типа рептилоидного. Оно так же, как и соседский кот, никогда не сможет ответить нам, о чем оно думает и думает ли вообще, но положенные ему функции, необходимые для поддержания своего существования, выполняет. Схематически такое простейшее существо показано на рисунке 43.



Рисунок 43. Схема модели простейшего существа (модель рептилии)

Можно разнообразить программу действий описанных существ. Например, установить на их корпусе кнопку отключения питания (убит) и научить их нажимать при нападении эту кнопку на других и соответственно защищать ее на себе. Далее научить признавать равных по размеру за своих. Научить считать до трех – трое своих могут победить более крупное существо. Сделать тела существ разными по подвижности: чем крупнее, тем медлительнее. А далее, чтобы все стало вполне правдоподобно, надо ввести ограничение на доступ к энергоресурсам. Пусть бочка с бензином будет одна и скорость подачи бензина пусть будет недостаточна для обеспечения всех существ.

Интересное зрелище для участников эксперимента будет обеспечено. Причем, никаких принципиальных сложностей на сегодня при проведении такого эксперимента нет, и именно с этого эксперимента следует начать моделирование сознания.

§ 4.3. Моделирование сознания при наличии коры головного мозга.

(Мозг низшего млекопитающего).

Запрос на более сложный мозг, чем мозг, обеспечивающий своему владельцу только следование простейшим инстинктам, появился, очевидно, в связи с необходимостью отслеживать изменения окружающей среды. Если изменения в инстинктивной программе действий не успевали за изменениями в окружающем мире, то данный вид вымирал. Чем сложнее становилась окружающая среда, населенная все более сложными и агрессивными существами, тем сложнее должна была

быть система управления (мозг) успешных существ. Мозг развивался, и схематично это отражено в теории МакЛина о триедином мозге (см рис.3). В конце концов, при движении по пути усложнения структуры мозга возник специальный отдел мозга, который взял на себя функции координации всех ранее существовавших подразделов мозга. Этот отдел называется новой корой головного мозга - неокортексом и завершает на сегодня развитие структуры мозга.

При моделировании мозга, делающего следующий шаг после рептилоида, будем повторять путь, который прошла природа, постепенно усложняя мозг. Копируя природу, сохраним конструкцию, использованную при моделировании мозга рептилоида, а для моделирования лимбической системы можно использовать суперкомпьютер (см. рис. 44).



Рисунок 44. Схема модели существа с простой корой головного мозга (модель низшего млекопитающего).

Если использовать самый быстродействующий компьютер, существующий сегодня

(см. Главу 3), то есть компьютер с быстродействием 10^{16} flops, то можно при использовании программы, по сложности соответствующей программам типа «Synaps», смоделировать мозг, по количеству нейронов и синапсов соответствующий мышши. Напомним, что нейроны должны работать в пейсмейкерном и детекторном режимах, иметь время рефрактерности, около 20% нейронов должны быть тормозными, а синапсы должны обладать пластичностью (Глава 1). Кора головного мозга должна иметь изначально заданные связи с органами чувств (афферентные связи) и связи с телом (эфферентные связи). Оба типа связей должны быть задублированы на традиционный компьютер (аналог связи коры с мозжечком или лимбической системой). Учтем, что у человека от органов чувств идет около 10^6 нервных волокон, которые передают в мозг около 10^7 бит в секунду. Соответственно исходящих волокон 10^5 , которые передают телу около 10^6 бит в секунду. Учитывая, что кора, которую предполагается моделировать для моделирования сознания животного типа мышши, приблизительно на два порядка меньше коры человека, видимо, можно ограничиться количеством входящих связей около 10^4 и исходящих 10^3 . Соответственно, входящий сенсорный информационный поток около 10^5 бит в секунду, исходящий информационный поток 10^4 бит в секунду. Топологически входные и выходные связи должны быть распределены по моделируемой коре относительно равномерно для обеспечения равномерного возбуждения всей коры сенсорными сигналами. Регулируя далее интенсивность входных

сенсорных сигналов и интенсивность собственной спонтанной активности нейронов, следует добиться появления сигналов с выходных связей (см. рис. 45).

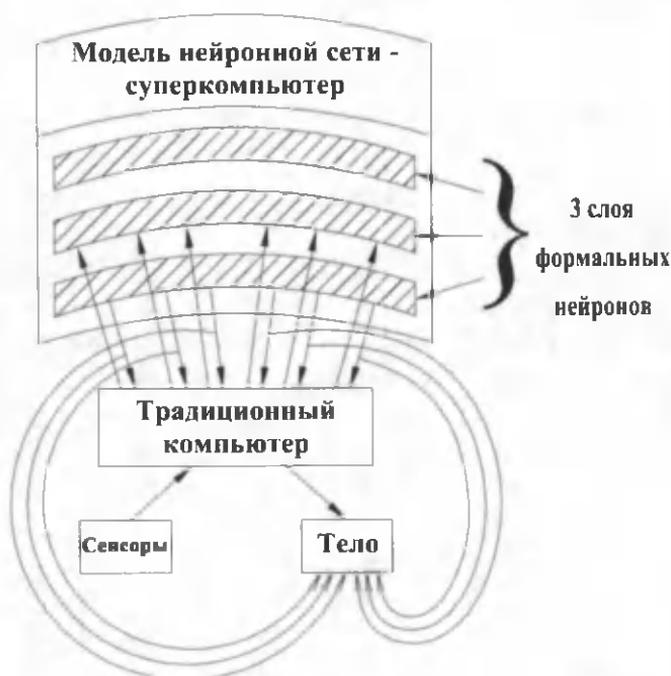


Рисунок 45. Схема начально заданных связей между традиционным компьютером (уровень мотивация) и суперкомпьютером - моделью нейронной сети (уровень обучение).

Далее начинается самая важная стадия проекта. Должны включиться процессы самоорганизации при наполнении синапсов информацией, поступающей с сенсоров. В том числе с сенсоров должна поступать информация о том, как реагирует тело на команды управления с выходных связей (обратная связь). Все эти процессы должны протекать под влиянием жестких мотивационных программ, заложенных в традиционном компьютере. То есть фактически традиционный компьютер (уровень рептилоидной системы) должен выступить в качестве учителя для суперкомпьютера, моделирующего работу мозга древнего млекопитающего.

Вполне вероятно, что приблизительно также происходят процессы развития нейронной сети в коре головного мозга и у животных, и у человека. То есть вначале всеми процессами руководят древние подотделы мозга, имеющие четкую мотивационную – инстинктивную-рефлекторную программу поведения. По мере развития коры головного мозга, происходящего под руководством древних подотделов мозга, и под влиянием взаимодействия с окружающей средой, функции управления телом постепенно передаются коре.

Полагаем, дальнейшая детализация процесса моделирования должна произойти при разработке конкретных программ и, главное, в процессе выполнения экспериментов, которые, безусловно, могут преподнести любые неожиданности. То есть открытия.

Глава 5. Стадии моделирования. Мышление человека

*“Dubito, ergo cogito;
cogito, ergo sum”*
*«Сомневаюсь, значит мыслю;
мыслю, значит существую»*
Рене Декарт

Пройдя стадию моделирования сознания у животного естественным шагом дальнейшего моделирования должно стать моделирование мышления человека.

Как показано в первой главе книги, для того чтобы в мозге начало зарождаться мышление, необходимо выполнение ряда условий. Важнейшие из этих условий коротко можно сформулировать следующим образом:

- мозг существа и нейронная сеть в нем должны по сложности превышать определенный пороговый уровень. Структура мозга частично задана изначально, а частично развивается в процессе взаимодействия с внешней средой;

- существо должно обладать развитым телом, обеспеченным органами чувств и коммуникации, а также конечностями для работы и перемещения в пространстве. Такое тело необходимо для приема информации из внешней среды и воздействия на среду;

- существо должно развиваться в социальной информационно сложной среде. Только такая среда по опыту человечества способна развить растущую в мозгу ребенка нейронную сеть до уровня мышления;

- существо должно очень хотеть жить и иметь многочисленные потребности. У людей появился разум, так как он нужен, чтобы лучше удовлетворять потребности.

Изложим некоторые идеи как технически можно попытаться реализовать перечисленные требования.

§ 5.1. Строить или выращивать?

Прежде, чем приступить к конкретному обсуждению конструкции и методов создания модели мыслящего существа, необходимо сказать несколько слов о принципиально различных подходах, которые могут при этом использоваться. Мышление - процесс настолько сложный, что без определенной доли понимания общей философии этого процесса не обойтись.

Если проанализировать технологические приемы, которые применяют люди в процессе созидательной деятельности, то упрощенно эти приемы можно разбить на два основных способа: строительство или выращивание. Чем отличаются эти два различных подхода?

В случае строительства есть конкретный проект (программа, алгоритм), в соответствии с которым осуществляется создание какого-либо объекта. То есть заранее известно, какими параметрами будет обладать создаваемый объект, какие материалы будут использованы при его создании. Вопрос только в том, чтобы изыскать необходимые ресурсы для создания этого объекта, выполнить необходимую работу и будет создан объект, полностью соответствующий первичному замыслу.

В случае выращивания процесс созидания значительно менее предсказуем. С этим случаем люди сталкиваются, если объект созидания очень сложен, подчиняется каким-то своим внутренним закономерностям и не подчиняется простому директивному управлению. В этом случае влияние человека на конечный результат созидательного процесса заключается в формировании среды, окружающей объект роста. Через управление параметрами среды можно оказать значительное влияние на выращиваемый объект. Однако конечный результат никогда нельзя предсказать заранее.

Можно привести несколько наиболее простых и распространенных примеров строительства и выращивания (смотри рис. 46):

- строительство здания и выращивание растения. Для здания - конкретный проект со строго заданными параметрами, а для растения - влияние на процесс через управление средой (почва, удобрения, полив и так далее);

- создание искусственного интеллекта и воспитание интеллекта человеческого. Для искусственного интеллекта - жесткое программное обеспечение, регламентирующее поведение. Для интеллекта человеческого - воспитание (выращивание) через создание вокруг ребенка информационно сложной социальной среды;

- формирование исполнительной структуры управления государством и формирование гражданского общества. Для исполнительной структуры - четкая иерархическая вертикаль подчинения. Для гражданского общества - постепенное формирование разнообразных форм активности граждан в юридической и правовой среде;

- плановая экономика и экономика рыночная. Для плановой экономики – директивное управление. Для

Методы созидания

<u>Строительство</u> - методы директивного алгоритмического управления	<u>Выращивание</u> - методы формирования среды вокруг растущего объекта
1. Строительство здания	1. Выращивание растений
2. Создание искусственного интеллекта	2. Воспитание интеллекта человека
3. Создание исполнительной структуры управления государством	3. Формирование гражданского общества
4. Создание плановой экономики	4. Выращивание рыночной экономики
5. Управление прикладной наукой	5. Управление фундаментальной наукой

Рисунок 46. Примеры созидания через строительство и выращивание.

рыночной экономики – управление ростом через налоги и влияние экономической правовой среды.

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что созидание через строительство предполагает возможность разработки конкретных алгоритмов (программ) прямого управления процессом созидания. И, с другой стороны, созидание через выращивание необходимо использовать в том случае, если объект созидания слишком сложен и простому алгоритмическому управляемому росту не поддается. В этом случае процесс созидания объекта регулируется через формирование оптимальной среды.

И процесс строительства, и процесс выращивания имеют свои особенности и правила. Упомянем здесь только одно универсальное правило, которое необходимо учитывать при выращивании. Это правило сформулировал немецкий химик Юстус Либих (1803-1873). Часто это правило называют законом ограничивающего (лимитирующего) фактора, или «бочкой Либиха». Этот закон гласит, что результат выращивания определяется тем фактором среды, который более всего отклоняется от оптимального его значения. Такой фактор называется ограничивающим (лимитирующим). Более того, одни факторы не могут компенсировать другие. (см. например /183/).

В действительности, конечно, в процессе созидательной деятельности обычно используется какое-то сочетание строительства и выращивания. Оптимальное сочетание этих двух методов – одна из наиболее важных проблем созидания.

Именно сочетание методов строительства и выращивания необходимо использовать при разработке модели искусственного мыслящего существа. Часть конструкции существа вполне может быть выстроена по

конкретному проекту - это тело, триединая конструкция мозга, связи отделов мозга с телом и органами чувств. Но главная часть мыслящего существа, а именно новая кора головного мозга, построена быть не может, а может быть только выращена, так как по основной сути своего функционирования является неалгоритмичной. И главной задачей ее создателей будет являться подбор оптимальных методов создания среды для роста мыслящей нейронной сети. Причем самым близким уровнем такой среды будет являться тело.

§ 5.2. Общие идеи по конструкции модели существа, способного мыслить.

Для того, чтобы в дальнейшем изложение было более компактно желательно заменить используемое нами словосочетание «искусственное мыслящее существо» на какой-то более краткий термин. Назвать это существо роботом некорректно и даже оскорбительно, так как задачей книги является набросок пути создания мыслителя, а вовсе не робота. Как известно, слово робот было придумано чешским писателем Карелом Чапеком и является синонимом слов «раб» и «подневольный труд». Механическое тело, управляемое компьютером с жесткой программой действий, конечно, может называться роботом, но задача, решаемая в книге значительно выходит за данные рамки. По сути, предполагается создать существо способное мыслить не хуже человека, а в дальнейшем может быть и лучше. Представляется логичным в такой ситуации называть это существо человеком, подчеркивая отличие от хомосапиенса каким-то дополнительным словом. Например, словом

«Новый». Итак, будем в дальнейшем изложении называть это существо новым человеком или для краткости ньюменом.

Как же конструктивно будут выглядеть первые модели нового человека, какие его части можно построить, а какие и как придется выращивать?

На уровне моделирования сознания рептилоида достаточно взять тело совершенного робота и обеспечить его системой управления на основе компьютера с жесткой программой, предписывающей поведение, обеспечивающее пропитание и выживание. Причем в используемом компьютере нет необходимости моделировать нейронную сеть, так как жесткую (инстинктивную) программу поведения проще задать с помощью стандартного компьютерного программного обеспечения. На втором уровне эксперимента моделируется сознание древнего млекопитающего, которое не только обладает инстинктами, но способно к простейшему обучению.

Третий уровень развития мозга, то есть уровень новейшей коры (неокортекс) при современном состоянии компьютерной техники может быть смоделирован только при использовании сети суперкомпьютеров (кластер). Этот вывод очевидно следует из того факта, что используя программы проекта SyNAPSE для моделирования коры головного мозга, необходимо быстродействие компьютера около 10^{18} flops; а при использовании программ по проекту Blue Brain необходимо быстродействие компьютера масштаба 10^{21} flops. Как показано в третьей главе книги такое быстродействие суперкомпьютеров будет достигнуто в ближайшие 10÷20 лет. А при использовании кластерной технологии даже раньше. Если поподробнее обдумать предлагаемую

последовательность создания нового человека и сравнить ее с этапами роста ребенка, то становится очевидным, что уровень робота соответствует уровню человеческого младенца. То есть робот - это младенец нового человека. Такой вывод можно сделать, если сопоставить этапы превращения младенца во взрослого человека и этапы превращения робота в нового человека. На рис. 47 произведено такое сравнение. На этом рисунке наглядно показано превращение робота в нового человека по мере появления новых внеалгоритмических качеств. Единственный дополнительный комментарий к этому рисунку будет следующий.

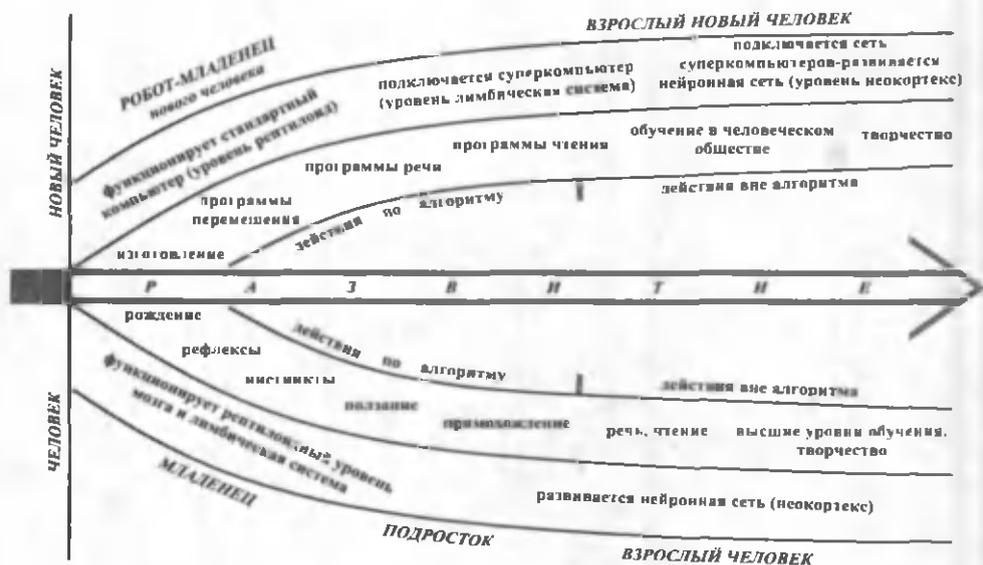


Рис. 47

Человеческий младенец рождается очень маленьким по сравнению с взрослым человеком. И мозг у него очень маленький. Поэтому значительный период детства уходит на то, чтобы увеличить размеры тела и мозга и приобрести основные навыки, которые по своей сути вполне алгоритмические и могли бы быть заданы генетически. В частности многие животные могут ходить сразу после рождения. У людей на приобретение этого навыка уходит около года.

При создании нового человека нет смысла копировать навыки младенца. Вполне возможно уже на уровне робота проскочить сразу несколько стадий развития ребенка. По сути дела можно пройти все стадии, поддающиеся алгоритмизации. То есть все стадии развития, которые могут быть пройдены с помощью прямого программирования, следует именно так и пройти. Этот подход, конечно, придаст процессу воспитания нового человека определенные отличия от воспитания ребенка. Но с другой стороны это позволит выиграть время. И только высшие уровни развития могут быть достигнуты в процессе обучения в человеческой среде и при формировании нейронной сети.

Исходя, из изложенного представляется, что блок-схема модели существа, которое может развиваться до уровня мышления должна выглядеть, как это показано рис. 48.

СХЕМА (аналог уровней Маклина)	Функции	Мотивации по Маслоу
<p>Сеть суперкомпьютеров - кластер (уровень коры головного мозга - неокортекс)</p>	<p>Способность к обучению в социальной информационно сложной среде</p>	<p>Познание, творчество, самовыражение</p>
<p>Суперкомпьютер (уровень лимбической системы)</p>	<p>Способность к простейшему обучению</p>	<p>Престиж Общение Безопасность</p>
<p>Традиционный компьютер (уровень рептилоида)</p>	<p>Рефлексы</p>	<p>Физиология (голод)</p>
<p>ТЕЛО (сенсоры, коммуникационные устройства, конечности, органы энергоснабжения)</p>	<p>Инстинкты</p>	

Рисунок 48. Схема модели существа, которое потенциально может развиваться до уровня мышления.

Конкретное конструктивное воплощение модели нового человека по мере развития техники конечно будет изменяться. Так, на первом этапе модель тела и модель неокортекса будут пространственно разнесены, так как даже в ближайшие десять-пятнадцать лет суперкомпьютер необходимой мощности будет слишком громоздок. Такой суперкомпьютер будет занимать зал площадью 200÷300 квадратных метров и потреблять мощность около мегаватта (см. § 3.1), см. рис. 49.

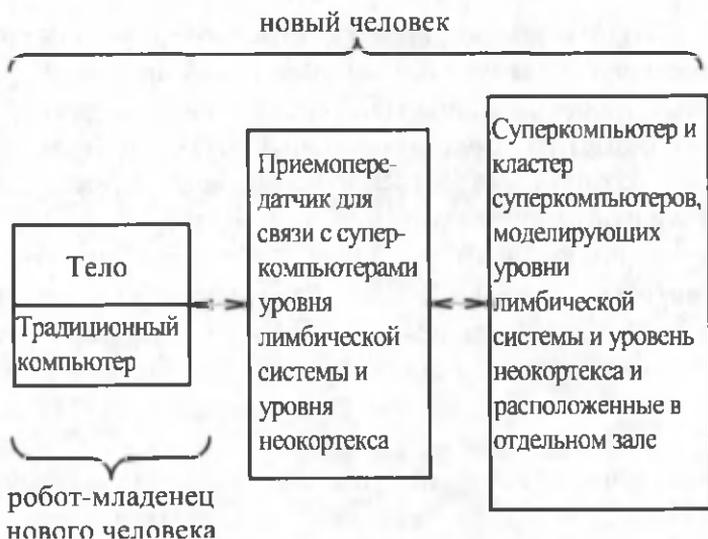


Рисунок 49. Конструкция первой модели нового человека.

Более детально особенности конструкции модели нового человека будут рассмотрены в следующем параграфе, посвященном моделированию условий зарождения мышления в мозге. Это очевидно обусловлено тем, что моделирование конструкции нового человека и моделирование условий зарождения мышления неразрывно связаны.

§5.3. Моделирование условий зарождения мышления в мозге.

Создать самую сложную компьютерную систему, которая тупо следует созданной людьми программе это только полдела, а скорее даже меньше. Задача этой книги наметить ориентировочный путь, по которому можно создать искусственное мыслящее существо. А это конечно гораздо сложнее, чем создать по сути дела очередной компьютер. Более того, это не только значительно сложнее, но и значительно более важно, особенно если вспомнить Рене Декарта и его знаменитую фразу, вынесенную в качестве эпиграфа к настоящей главе книги (см., например /182/) – «Сомневаюсь, значит мыслю: мыслю, значит существую». Мы уже говорили, что искусственный интеллект - это интеллект алгоритмический, а мышление человека не алгоритмично. Мышление человека выходит за рамки алгоритмов и именно это позволяет мыслителю придумывать алгоритмы. По сути, о том же говорит первая часть фразы Рене Декарта. Но вторая часть фразы подсказывает, что поставленная нами задача шире, чем представлялось первоначально. Согласно Декарту получается, что если

удастся создать мыслящее искусственное существо, то не только его мышление надо будет считать не искусственным, а естественным, но и само это существо придется признать живым (существующим) со всеми вытекающими отсюда последствиями. Можно, конечно, посчитать нового человека не живым, но мыслящим. То есть считать главным признаком жизни не наличие разума, а скажем белковую, клеточную основу структуры нашего тела. То есть тогда мы придем к заключению, что мыслить могут живые и неживые (искусственные) существа. Однако, такая вполне возможная точка зрения приводит к определенному противоречию. Живым или неживым будет новый человек можно, конечно долго спорить. Но скорее всего многие согласятся, что разрушив нейронную сеть нового человека мы уничтожим его уникальную личность, то есть мы его убьем. Однако, всегда считалось, что убить можно только нечто живое. В связи с изложенным совершенно очевидно, что с появлением на свет нового человека возникает целый ряд и философских и этических и юридических проблем, к решению которых тоже придется готовиться.

Итак, обсудим возможности моделирования условий зарождения мышления в мозге, кратко следуя изложению первой главы книги.

5.3.1. Архитектура мозга. Специализация.

В первом параграфе первой главы книги утверждалось, что архитектура нервной системы частично задана генетически, а частично развивается в режиме самоорганизации в процессе взаимодействия с информационно сложной средой. Другой аспект архитектуры мозга рассматривался в параграфе 1.10, где обсуждались проблемы специализации различных участков коры головного мозга.

При использовании для моделирования коры головного мозга сети суперкомпьютеров представляется возможным выполнить требования упомянутых двух параграфов первой главы книги следующим конструктивным решением. Частично к предлагаемому варианту решения мы подходили в § 3.2 («Искусственные нейронные сети»), обсуждая связность нейронной сети головного мозга, и в § 3.3 («Сети компьютеров»), рассматривая возможность моделирования коры головного мозга при использовании полносвязной сети суперкомпьютеров.

Вариант, предложенный в § 3.3, когда кора головного мозга моделируется сетью из тысячи компьютеров, технически реализуем, так как в ближайшие десять лет должны появиться относительно дешевые суперкомпьютеры с производительностью $10^{15} \div 10^{16}$ flops (см. рис. 20). Соответственно, объединив в сеть тысячу таких компьютеров, можно получить производительность $10^{18} \div 10^{19}$ flops, что достаточно при использовании программ проекта SyNAPSE и даже Blue Brain.

Тогда получается, что в каждом компьютере из этой сети будет моделироваться работа ориентировочно 2×10^7 нейронов. Архитектура нейронной сети, заданная изначально генетически, будет моделироваться кабельными линиями, соединяющими компьютеры между собой, а также соединениями различных элементов уровня лимбической системы, уровня рептилоида и тела. Таким же образом будет решаться вопрос о специализации различных отделов мозга, так как логично каждую конкретную функцию отдать каждому из суперкомпьютеров сети.

Таким образом, конструкцией сети компьютеров можно смоделировать генетически заданную

архитектуру соединений различных структур мозга и специализацию его отделов (см. рис.50).



Рисунок 50. Схема архитектуры нервной системы искусственного мыслящего существа, моделирующая генетическую заданность связей отделов мозга и их специализацию.

Вариант более детального изображения изначально заданных соединений между слоями формальных нейронов в неокортексе и лимбической системе показан на рис. 51.



Рисунок 51. Вариант конструктивно и программно заданных соединений между слоями формальных нейронов в неокортексе и лимбической системе и между суперкомпьютерами, моделирующими специализированные отделы неокортекса и суперкомпьютером - лимбической системой.

Сама нейронная сеть в пределах нейронных слоев и между слоями в каждом из суперкомпьютеров будет постепенно создаваться в процессе взаимодействия тела существа с окружающей средой. Предлагаемая блок-схема с моделированием специализированных отделов мозга с помощью самостоятельных суперкомпьютеров позволяет смоделировать и разделение мозга на два полушария.

§ 5.3.2. Тело. Органы чувств и коммуникации.

При проектировании тела для будущего ньюмена должны быть учтены материалы первой и третьей главы настоящей книги. Так в первой главе утверждалось, что для успешного развития мозга необходимо сложное, здоровое тело, оснащенное многочисленными органами чувств и коммуникационными устройствами. Такое тело служит источником и потребителем интенсивных информационных потоков на входе в мозг и на выходе из мозга. Именно такие входные и выходные информационные потоки запускают механизмы самоорганизации и формируют сложную нейронную сеть в мозге. Кроме того, с помощью тела осуществляется не просто прием информации от среды, но и адекватное принятой информации воздействие на среду, то есть осуществляется взаимодействие со средой.

Очевидно также, что чем сложнее тело, тем более жесткие требования предъявляются к уровню развития, управляющего телом мозга.

То есть, чем сложнее тело, тем более развитым должен быть мозг в этом теле. Поэтому тело создаваемого существа не должно по сложности уступать человеческому и, соответственно, должно иметь не менее 600 мышц и не менее 200 суставов. Кроме того, желательно, чтобы лицо обладало мимикой, а глаза могли перемещаться в глазницах.

В третьей главе упоминалось, что тело современных роботов имеет несколько десятков степеней свободы. То есть, чтобы определить положение всех частей тела робота в пространстве, необходимо задать несколько десятков координат. А сколько степеней свободы имеет человеческое тело? В разных источниках называются разные цифры. Для целей нашей книги желательно иметь хотя бы ориентировочную оценку. Такая оценка может быть сделана исходя из самых общих соображений. Действительно, так как костей в скелете человека около 200, то соединяющих их суставов должно быть немного меньше этой цифры. Большинство суставов имеет от одной до трех степеней свободы. В этом легко убедиться поглядев на устройство суставов пальцев или устройство локтевого сустава. Тогда приближенно считая, что среднее число степеней свободы, приходящееся на один сустав около двух, получаем оценку для числа степеней свободы человеческого тела $300 \div 400$. Можно подойти к этой оценке с другой стороны. Известно, что количество скелетных мышц в теле человека около 600. Наши мышцы работают на сжатие. Но каждая степень свободы предполагает возможность движения вперед и назад. То есть каждая степень свободы тела должна обеспечиваться не менее, чем двумя мышцами. Тогда получаем, что общее количество степеней свободы в человеческом теле

около 300. По-видимому, эта оценка наиболее точно соответствует реальности и именно на нее следует ориентироваться при конструировании тела нового человека.

Вариант блок-схемы тела создаваемого нового человека показан на рис. 52.



Рисунок 52. Вариант блок-схемы тела моделируемого существа

На этом рисунке подробно перечислен состав органов чувств, которыми желательно оснастить тело создаваемого существа. Такой состав органов чувств будет прокомментирован в следующем параграфе данной главы. Отметим только две особенности предлагаемой блок-схемы. В частности, предлагается обеспечить создаваемое существо не только акустическим коммуникационным устройством для общения с людьми, но и радио для общения создаваемых существ между собой. Кроме того, учитывая, что суперкомпьютеры еще не скоро будут компактными (смотри например § 3.1), очевидно, что по крайней мере в первых экспериментах уровень лимбической системы и уровень неокортекса будут моделироваться суперкомпьютерами пространственно отделенными от тела. Поэтому в составе тела необходимо предусмотреть приемо-передатчик для связи с суперкомпьютерами уровней лимбической системы и неокортекса.

§ 5.3.3. Мотивация.

Одной из наиболее важных проблем, которые необходимо решить при создании мыслящего существа - это проблема мотивации. Человек не начал бы мыслить, если бы это не было ему необходимо для выживания. Создаваемое существо не начнет мыслить, если у него не будет большого количества потребностей. У человека основные мотивационные инстинкты генетически заложены в рептилоидном отделе мозга. Аналогично следует поступить при моделировании мыслящего существа. Дело в том, что

жестко заданную мотивационную программу поведения легко ввести именно в рептилоидный отдел моделируемого мозга, так как он представлен обыкновенным компьютером без моделирования на этом уровне нейронной сети.

Для того, чтобы представить какие потребности и мотивы поведения необходимо программно заложить на рептилоидном уровне моделируемого мозга, будем следовать пирамиде Маслоу – смотри рис. 53. На этом рисунке проведено сравнение некоторых мотивационных потребностей человека и нового человека. Из рисунка видно, что ряд мотиваций человека могут быть продублированы в новом человеке при обеспечении моделей тела нового человека соответствующими датчиками. Эти датчики должны сообщать на рептилоидный уровень информацию о параметрах, подлежащих мотивационному регулированию.

Наиболее сложно для однополого нового человека разработать мотивацию, эквивалентную сексуальному влечению. Так, даже стремление к лидерству в группе может быть сведено к ряду формальных параметров. Например, к соревнованию в объемах накопленной информации по профильному разделу науки или в скорости решения каких-либо задач. С сексом ситуация при моделировании гораздо сложнее. У людей и животных двуполой секс выполняет не только функцию размножения, но и обеспечивает при размножении эволюцию за счет перемешивания генетической информации партнеров. Причем все между собой конкурируют, чтобы добиться благосклонности наиболее перспективного партнера. Для людей секс является мощным стимулом во всех сферах

деятельности. Можно предположить, что сексуальные мотивы поведения оказывают значительное влияние на



Рисунок 53. Сравнение мотивационной пирамиды Маслоу для человека и искусственного мыслящего существа (новый человек).

развитие мозга человека и способность его эффективно мыслить. Если лишить нового человека столь важной части мотивов активного поведения и развития, то вполне вероятно, что созданных стимулов окажется недостаточно для развития эффективного мышления.

Однако, как будет показано в шестой главе книги, для нового человека может быть разработана система мощной мотивации не менее эффективная, чем секс.

Рассматривая мотивацию поведения искусственных мыслящих существ, невозможно обойти молчанием три закона робототехники Азимова. Напомним текст законов Азимова и кратко их прокомментируем, исходя из задач данной книги. Итак, Айзек Азимов предложил для роботов три мотивационных правила (закона):

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред.

2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые дает человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.

3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму Законом.

Позднее, в одном из своих произведений Азимов сформулировал Нулевой Закон, который гласил: «Робот не может причинить вреда человеку, если только он не докажет, что в конечном счете это будет полезно для всего человечества».

По-видимому, Законы Азимова должны учитываться при разработке искусственного интеллекта роботов. Но новый человек, мыслящий благодаря сложнейшей нейронной сети, не уступающей по своим параметрам мозгу человека, это совсем не робот. Говоря

коротко, Законы Азимова - это нормы поведения для исполнителя. Новый человек – не исполнитель, а творец, поэтому в качестве этических норм поведения для него придется использовать не просто три-четыре простых правила, а весь объем законодательных норм, регулирующих экономические отношения людей, и уголовную и административную ответственность за правонарушения. То есть этическая мотивация поведения в этом случае будет сложнее трех или четырех Законов Азимова. Поэтому к разработке программного обеспечения для рептилоидного уровня модели мозга нового человека придется привлечь еще и группу квалифицированных юристов.

§ 5.3.4. Некоторые временные параметры.

В процессе рассмотрения временных параметров работы и развития мозга, в первой главе книги было отмечено два основных момента.

Во-первых, мозг рассматривается как активная среда, распространение сигналов по которой характеризуется рядом временных параметров, приведенных на рисунке 6. Большинство из приведенных параметров могут быть воспроизведены при должном программном обеспечении с помощью компьютерного кластера с производительностью масштаба $10^{18} \div 10^{21}$ flops и соединении компьютеров между собой с помощью современных оптоволоконных линий.

Во-вторых, в первой главе книги было отмечено, что развитие мозга идет в три этапа (см. рис. 7):

1 этап – опережающий рост числа синапсов и нейронной сети. Заполнение нейронной сети

информацией, получаемой при взаимодействии со сложной внешней средой;

2 этап – отмирание части синапсов и нейронной сети, которые оказались не задействованы при обучении нейронной сети;

3 этап – миелинизация сохранившихся аксонов и формирование быстрого взрослого мозга.

Во втором параграфе третьей главы книги (§ 3.2) отмечалось, что при обучении искусственных нейронных сетей применяют два основных подхода:

- деструктивный подход, когда берется сеть заведомо большего размера, чем нужно, и в процессе обучения из нее удаляются лишние связи и даже нейроны;

- конструктивный подход, когда первоначально берется маленькая сеть, и к ней в соответствии со структурой и сложностью задачи, добавляются новые элементы. В этом же параграфе (§ 3.2) отмечалось, что, по-видимому, в мозге реализуются оба подхода. В детстве главный приоритет – это скорость развития. Поэтому нейронная сеть мозга растет с опережающим развитием по сравнению с темпами обучения. На завершающем этапе быстрого роста наступает время деструкции. Во взрослом состоянии главное уже не скорость, а эффективность и качество обучения. Поэтому реализуется конструктивный подход.

При моделировании работы мозга естественным образом встает вопрос о том, какой же подход из упомянутых двух необходимо выбрать. По-видимому, наиболее правильно, по крайней мере, на начальном этапе, скопировать последовательность развития человеческого мозга. То есть на начальном этапе быстрого роста и обучения необходимо смоделировать деструктивный подход. Если эксперимент окажется

удачным и новый мыслящий человек будет создан, то дальнейшее его обучение необходимо будет осуществлять, моделируя конструктивный подход.

§ 5.3.5. Сложность мозга как устройства и сложность алгоритма его работы. Хаос

В первой главе настоящей книги (§ 1.7) при рассмотрении вопроса о сложности мозга была высказана гипотеза о том, что мышление может зародиться в мозге, по своей сложности преодолевшем определенный барьер. Этот вывод был сделан на основании фактических отличий мозга человека от мозга животных и мозга взрослого человека от мозга ребенка. Кроме того, сама идея о необходимости преодоления пороговой сложности устройства для возможности осуществления этим устройством определенных функций была высказана еще Джоном фон Нейманом, который показал, что автомат, способный к самовоспроизведению, должен иметь сложность более 10^6 бит.

Понимая под сложностью объекта минимальный размер текста, необходимого для его описания, в первой главе книги была приведена оценка сложности мозга новорожденного ребенка (8×10^9 бит) и мозга взрослого человека (10^{17} бит).

В третьей главе книги на основе тех же представлений о сложности была приведена оценка сложности компьютерной сети $\sim 10^9$ бит. То есть сложность современной компьютерной сети близка к сложности мозга новорожденного ребенка.

При развитии ребенка в его мозге формируется сложнейшая нейронная сеть, существующая в реальном пространстве и имеющая сложность $\sim 10^{17}$ бит. При моделировании работы мозга с помощью компьютеров реальная нейронная сеть не формируется. Компьютерная нейронная сеть формируется в виртуальном пространстве. Поэтому здесь мы сталкиваемся с проблемой оценки сложности устройства, существующего не в реальном, а в виртуальном пространстве. Однако, по-видимому, подход Колмогорова применим и в этом случае. То есть сложность и реального и виртуального устройства можно оценивать по минимальному размеру текста, описывающего эти устройства. Тогда опираясь на результаты экспериментов по программам Blue Brain и SyNAPSE будем предполагать, что для моделирования мышления в виртуальном мозге достаточно производительности используемого компьютера (кластера) около $10^{18} \div 10^{20}$ flops как это предполагалось в § 3 настоящей книги. Будем также предполагать, что указанная производительность компьютеров обеспечит при моделировании нейронной сети рост ее сложности в процессе обучения от 8×10^9 бит до 10^{17} бит.

По-видимому, с помощью компьютера с производительностью $10^{18} - 10^{20}$ flops в виртуальном пространстве может быть смоделировано устройство и более сложное, чем имеющее сложность $\sim 10^{17}$ бит. Однако, в случае моделирования работы мозга необходимо смоделировать не только архитектуру всей нейронной сети, но и работу мозга в целом и в том числе изменяющуюся эффективность каждого из синапсов при обучении. Возможно ли все перечисленное смоделировать с помощью компьютера с производительностью $10^{18} - 10^{20}$ flops? Здесь уместно

напомнить один из выводов, сделанных Фон Нейманом. Он утверждал, что есть определенный минимальный уровень сложности, выше которого при наличии достаточно сложных программ автомат сможет сделать все, что в принципе способен делать автомат. Если этот вывод применить к работе модели мозга, то мы придем к уже сделанному выводу о том, что нейронная сеть мыслящего мозга должна по сложности превышать некий минимальный уровень и тогда при «наличии достаточно сложных программ» такая модель мозга сможет мыслить. Однако здесь мы сталкиваемся с принципиальной трудностью. Если считать уровень сознания алгоритмическим (см. главу 4), а уровень мышления неалгоритмическим, то очевидно, что уровень сознания в модели сложной нейронной сети при «достаточно сложной программы» может быть воспроизведен. Для уровня мышления, как это показал Пенроуз, алгоритм или программа принципиально не могут быть созданы. Однако, для программиста или специалиста по компьютерам нерешаемость какой-то задачи с помощью его инструмента, как правило, означает недостаточную мощность имеющегося в его распоряжении компьютера или недостаточное время для проведения вычислений. Для физика нерешаемость многих задач связана с возникающими расходимостями и необходимостью как-то избавляться от бесконечных масс описываемых элементарных частиц.

Поэтому, по-видимому, невозможность разработки алгоритма для процесса творческого мышления можно интерпретировать как просто расходимость в сложности такого алгоритма.

При таком понимании алгоритма творческого мышления очевидно, что никогда ни на каком компьютере мышление воспроизведено не будет, так

как бесконечно сложный алгоритм создать невозможно. Обычно под творчеством понимают создание каких-либо новых материальных и духовных ценностей. Понимание под творчеством только неалгоритмических действий существенно сужает список творческих актов. При таком подходе творчеством можно считать только создание новых алгоритмов. Интересно, что при таком подходе мышление ребенка, когда он придумывает новые для себя алгоритмы, безусловно является творческим. А запоминание готовых алгоритмов в школе творчеством не является.

Очевидно, что разделение всех особенностей мышления условно на два уровня: алгоритмический (сознание) и неалгоритмический (творческое мышление) существенно упрощает общую картину. В действительности градаций уровней мышления гораздо больше. В частности как вариант можно опять взять пирамиду Маслоу, так как за каждым уровнем потребностей Маслоу стоит определенная функция мышления. При этом очевидно, что алгоритм поведения для каждого из уровней Маслоу будет сложнее, чем выше уровень. Таким образом, мы приходим к мысли о том, что сложность алгоритмов поведения увеличивается непрерывно и постепенно по мере продвижения по ступеням пирамиды Маслоу, и только на уровне творчества сложность алгоритма претерпевает разрыв. Качественно данная мысль в виде зависимости изображена на рис. 54.

Связать сложность алгоритма какой-либо из функций мышления и необходимое для моделирования этой функции быстроедействие компьютера, по-видимому, не очень сложно для математиков. И эта задача, по-видимому, будет решена в процессе реализации данного проекта. Кроме того, читатель

может поразмышлять на тему – а где на горизонтальной оси графика рис. 54 следует расположить функции, соответствующие преодолению теста Тьюринга. И какая при этом будет сложность соответствующего алгоритма.

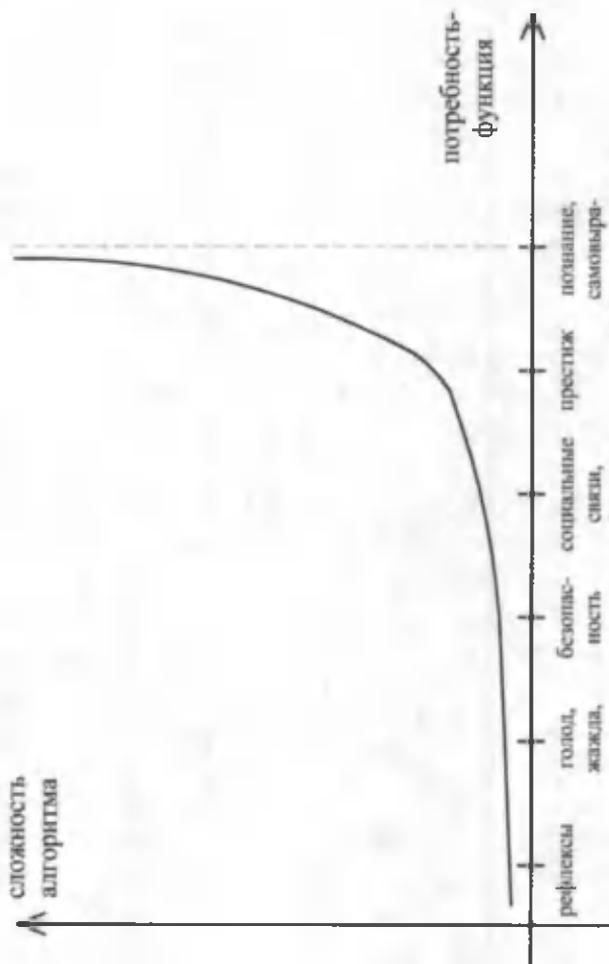


Рисунок 54. Качественная зависимость сложности алгоритмов поведения для различных уровней поведения по пирамиде Маслоу

Таким образом из вышеизложенного следует, что сложность реального мозга как устройства хоть и велика, но конечна, и может быть воспроизведена в виртуальном мозге. Сложность алгоритма, по которому работает мозг в процессе творчества вычислению не поддается и соответственно творческий процесс не может быть смоделирован на компьютере путем прямого программирования.

Задача заключается в том, чтобы максимально точно воспроизвести работу нейронов мозга и всей нейронной сети. Необходимо воспроизвести все условия зарождения в сети мышления включая: уровень хаоса за счет собственной активности нейронов; воздействие на мозг постоянно идущих сигналов с внешней среды и воздействие мозга через тело на эту среду; самоорганизационные процессы в нейронной сети. За счет огромной сложности происходящих в такой сети процессов, за счет хаотичности, за счет открытости системы по отношению к внешней среде итоговый алгоритм поведения существа под руководством такой виртуальной нейронной сети может оказаться невычислимым. И возможно это существо окажется способным к творчеству и сможет называться новым человеком.

Как это очевидно, уровень шумов в предлагаемой схеме очень легко поддается регулировке. Подбор оптимального уровня шумов будет одним из вопросов экспериментальной настройки виртуальной нейронной сети.

Исходя из изложенного, очевидно принципиальное отличие мышления человеческого от процесса обработки информации в компьютере. Компьютер условно можно считать черным ящиком, изолированным от окружающего мира, в который

загрузили исходные данные какой-то задачи и программу ее решения. Если данных достаточно и программа правильная, то компьютер в соответствующее время выдаст ответ. В случае человека мозг не отключается от внешней среды и мышление происходит под влиянием внешнего и внутреннего шума. Кроме того, на мозг в процессе мышления воздействует и тело со всеми потребностями. То есть мышление происходит под влиянием загруженной в мозг исходной информации и огромного количества внешних и внутренних шумовых факторов и мотивов. Эти факторы с одной стороны мешают, но с другой стороны могут подтолкнуть к совершенно неалгоритмическим решениям. Вспомним легенду о яблоке, упавшем на голову Ньютона, и станет понятно, как могут создаваться новые алгоритмы.

Предлагаемый вариант создания и воспитания нового человека даст шанс на воспроизведение особенностей мышления человека, а значит дает шанс на то, что новый человек будет способен мыслить творчески.

§ 5.3.6. Воспитание. Переход количества в качество.

Как уже понятно из содержания всех параграфов настоящей главы книги шанс на то, что виртуальная нейронная сеть научится творчески мыслить есть только в том случае, если при ее обучении мы будем двигаться по пути «выращивания». По пути строительства можно воспроизвести только какие-то более простые функции мышления, когда сложность соответствующего алгоритма конечна.

Итак, для того чтобы вырастить нового человека нам придется воспитывать его как обыкновенного человеческого ребенка. Попытаемся представить, как должен происходить этот процесс.

Собственно говоря, нам придется сконструировать что-то вроде детского сада для маленьких новых человечков. Очевидно, что надо сразу делать не одну модель нового человека, а несколько, так как это позволит существенно сократить время получения положительного результата. Дело в том, что вариантов выполнения конструкции триединого мозга может быть несколько. Какой из вариантов окажется более успешным, заранее не знает никто. Поэтому целесообразно реализовывать сразу несколько вариантов и затем решать, какой из вариантов более успешен и почему. Последовательный перебор вариантов может оказаться слишком длительным. Это становится очевидным, если учесть, что один цикл эксперимента займет не менее десяти лет. Этот срок складывается из срока проектных работ (2 года), из срока изготовления моделей тела и мозга (3 года) и минимального срока воспитания (5 лет). Минимальный срок воспитания определен в 5 лет исходя из тех соображений, что у людей приблизительно за такой срок при взаимодействии ребенка с информативно сложной человеческой средой мозг уже достигает значительного уровня развития. Сможет ли виртуальная нейронная сеть развиваться быстрее, чем человеческая, не известно. Можно только предположить, что сам набор информации и процесс обучения при общении с людьми не может быть особенно быстрым. Сама по себе социальная человеческая среда вещь очень сложная и вряд ли обучаемый может разобраться в этой среде быстрее определенного критического времени. То есть

дело не только в способностях обучаемого, но и в особенностях самой человеческой среды. Сообщество нескольких общающихся между собой людей не может раскрыться перед наблюдателем (воспитуемым) слишком быстро в силу темпа общения людей между собой. Напомним, что при вербальном общении людей между собой темп обмена информацией составляет всего несколько десятков бит в секунду. При такой скорости поступления информации в виртуальную нейронную сеть очевидно, что процесс обучения займет не менее нескольких лет.

Учитывая, что процесс воспитания детей лучше всего идет в группах, где есть и взрослые и дети, по-видимому, так же следует поступить и в данном случае. Причем желательно, чтобы в группе обучаемых новых людей были и взрослые люди и человеческие дети. Обучение должно идти через игру, как в обычном детском садике. Обучение должно вестись под контролем взрослых специалистов по педагогике, психологии и специалистов, принимавших участие в конструировании тела и моделей мозга, новых людей. Ориентировочная схема помещений яслей для новых людей показана на рис. 55.

Первоначальный объем навыков движения и общения у выращиваемых новых людей может быть задан обычными программами в традиционном компьютере, моделирующем рептилоидный уровень мозга. Этот начальный уровень развития будет приблизительно соответствовать навыкам существующих в настоящее время роботов. Поэтому младенцы – новые люди будут менее беспомощны, чем человеческие младенцы. Просто по алгоритмам поведения они будут весьма просты. Однако, эти

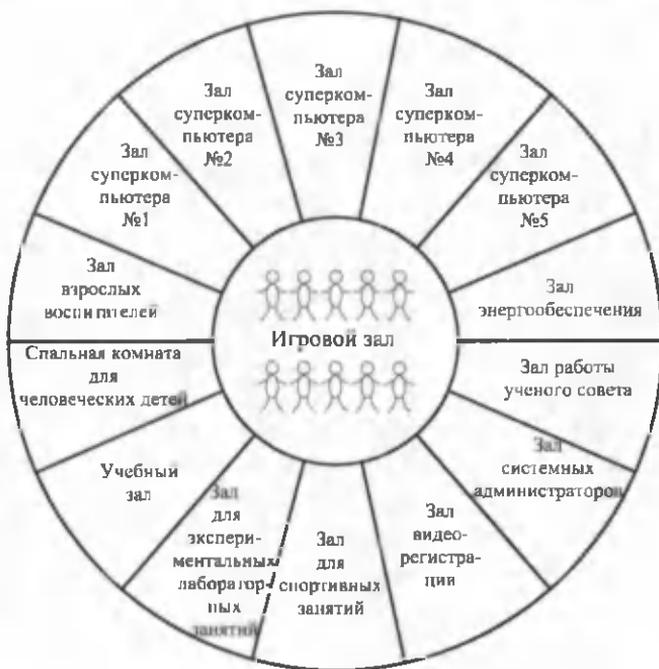


Рисунок 55. Ясли для воспитания нового человека (на пять новых воспитанников и пять человеческих детенышей)

младенцы – новые люди будут сразу пригодны для игр с человеческими детьми. Перечень помещений яслей для новых людей (рис. 55) предполагает переход к обучению более высоких уровней в случае успеха на первом этапе. Предполагается, что в процессе развивающих игр с человеческими детьми управление телами новых людей постепенно начнет перехватывать формирующаяся в суперкомпьютере под действием информационных потоков виртуальная нейронная сеть. Все параметры изменяющейся нейронной сети включая состояние синапсов постоянно должны передаваться на хранение в память суперкомпьютера. Если эта технология будет отработана то, по-видимому, личность сформировавшегося нового человека можно будет тиражировать.

Очевидно, что если процесс постепенной передачи управления телом нового человека от рептилоидного уровня к лимбическому и к виртуальному неокортексу пойдет правильно, то внешне это будет проявляться как постепенное усложнение их поведения. По мере накопления таких изменений новые люди могут приобрести новое качество – способность к мышлению. Перед группой воспитателей – экспертов будет стоять сложная задача по анализу поведения младенцев новых людей, установлению связи особенностей поведения и развития виртуальной нейронной сети, прогнозу дальнейших событий. Отдельно и постоянно будет стоять вопрос о безопасности человеческих детей.

Выводы

Подводя итоги данной главы книги отметим следующие основные мысли, которые по мнению авторов следует учитывать при создании нового мыслящего человека..

Во-первых, необходимо оптимальное сочетание методов строительства и выращивания. Методы строительства в нашей задаче следует применять при моделировании тех частей тела, мозга и поведения нового человека, структура которых у обычного человека задаются генетически. Для этих составных конструктивных и программных частей нового человека может быть создан конкретный проект или алгоритм, то есть применимы методы строительства. Для тех же частей мозга и поведения нового человека, для которых алгоритм создать невозможно, необходимо применять метод выращивания. Поэтому в процессе создания нового человека исследователям придется разработать еще и педагогику воспитания нового человека.

Во-вторых, общая идея конструкции тела и мозга нового человека, в которой используются и методы строительства и методы выращивания заключается в следующем. Тело по своей конструкции и сложности должно быть максимально приближено к обычному человеческому, включая мимические мышцы, мышцы управления глазами, а также максимально возможное число датчиков, являющихся органами чувств нового человека. Мозг должен воспроизводить идею триединого мозга МакЛина. Причем рептилоидный уровень моделируется с помощью обычного компьютера, располагаемого в теле нового человека. На этом уровне мозга нейронная сеть не моделируется, а с помощью прямого программирования задаются

определенные первичные навыки, доступные современным роботам. По сути совершенный робот с мозгом на основе обычного компьютера, имеющий навыки речи и движения благодаря прямому программированию, является младенцем нового человека. Такой «младенец» может развиваться играя с человеческими детьми. На этом же уровне задаются мотивационные программы. Благодаря этому рептилоидный уровень мозга будет влиять на формирование нейронной сети неокортекса. Для однополого существа затруднительно смоделировать половой инстинкт, играющий одну из важных ролей в формировании поведения человека. Однако в следующей главе будет предложена идея мотивации нового человека даже более сильная, чем секс. Уровень лимбической системы моделируется с помощью суперкомпьютера. На этом уровне моделируется нейронная сеть. Уровень неокортекса моделируется с помощью кластера суперкомпьютеров. На этом уровне также моделируется нейронная сеть. Специализация отделов мозга, работа полушарий, подключения к органам чувств и телу моделируется соединениями суперкомпьютеров, входящих в уровень лимбической системы и неокортекса. На первом этапе эксперимента необходимые суперкомпьютеры не могут быть размещены в теле нового человека в силу их больших размеров. Они будут размещены в отдельных помещениях.

В-третьих, сложность моделируемого виртуального мозга как устройства должна превышать определенное пороговое значение и эта задача может быть решена с помощью достаточно мощного суперкомпьютера. Моделирование алгоритма поведения является отдельной задачей. Причем, по-видимому,

сложность алгоритма поведения функций мышления, расположенных в соответствии с пирамидой Маслоу, постоянно и непрерывно увеличивается и претерпевает разрыв для творческих процессов. Творчество - это изобретение новых алгоритмов. Поэтому моделировать творчество на компьютере с помощью прямого программирования невозможно. Решить данную задачу можно только путем моделирования виртуальной нейронной сети и дальнейшего воспроизведения всех условий зарождения мышления в нейронной сети. Это в обязательном порядке – воздействие на мозг постоянно идущих сигналов с внешней среды и воздействие мозга через тело на среду; поддержание в мозге определенного уровня хаоса за счет собственной активности нейронов; самоорганизационные процессы в нейронной сети под влиянием входящих и выходящих информационных потоков и мотивационного воздействия со стороны рептилоидного отдела мозга.

В-четвертых, – создав модель тела и мозга нового человека нельзя рассчитывать на то, что он сразу начнет мыслить. Как нельзя надеяться, что новорожденный ребенок сразу начнет разговаривать. Применение метода выращивания в данном случае предполагает длительный воспитательный процесс младенцев нового человека в среде человеческих детей и взрослых. Таким образом, создав тело и мозг нового человека по образу и подобию обычного человека, надо повторить и процесс формирования нейронной сети мозга в информационной ноосфере. Если двигаться по такой траектории, у нас появится шанс постепенно вырастить из робота нового человека.

Компактные и дешевые суперкомпьютеры, на которых можно будет смоделировать нейронную сеть

человеческого уровня появятся ориентировочно через 30 лет.

К этому же времени без каких-либо дополнительных организационных усилий будут созданы вполне совершенные роботы.

Как уже упоминалось, робот с его жесткой программой поведения - по сути аналог человеческого младенца для нового человека. То есть можно утверждать, что ориентировочно через 30 лет у каждого любознательного любителя будет возможность купить робота (младенца ньюмена), купить серийный суперкомпьютер с производительностью $\sim 10^{18}$ flops и начать работы по моделированию ньюмена. Хорошо это или плохо? Скорее плохо, если к этому времени научное сообщество не будет знать все потенциальные проблемы, с которыми столкнутся люди в процессе создания, воспитания и общения с новыми людьми. Вполне возможно, что интеллектуальный потенциал новых людей окажется столь велик, что обладание им окажется стратегически важно для наиболее развитых государств. И в этой потенциальной ситуации возможно появление международных законов, аналогичных законам о нераспространении ядерного оружия.

Таким образом, представляется целесообразным не ждать того времени, когда каждый человек получит техническую возможность создать ньюмена. Лучше уже сейчас крупным государствам и научным центрам превентивно разобраться с этой исключительно перспективной, но потенциально опасной проблемой.

Глава 6. Стадии моделирования. Дальнейшие перспективы. Четыре сюжета для писателей – фантастов.

Наиболее очевидным вариантом эксперимента по созданию нового человека является воспроизведение основных параметров тела и мозга человека, а также всех условий его воспитания. Именно поэтому такой вариант предложен в качестве первого этапа эксперимента.

Второй этап эксперимента, конечно возможен только при успехе первого этапа. И, если такой успех будет достигнут, то во второй серии экспериментов необходимо будет предпринять попытку создать модель мозга, отличающегося от человеческого по количеству нейронов или по каким-то другим параметрам нейронной сети.

Третьим этапом эксперимента, вполне возможно, будет совместная работа людей и новых людей над совершенствованием тела человека.

Идеи, излагаемые в настоящей главе, значительно выходят за рамки реально стоящих задач сегодняшнего дня и поэтому больше похожи на научную фантастику. Однако, если предположить, что в течение 10 ÷ 20 лет первый этап экспериментов будет успешно реализован, то последующие события будут практически предопределены. Причем многие из этих событий совершенно очевидны, стоит только подумать. Эти события более отдалены от сегодняшнего дня, но через 20 лет могут оказаться реальностью.

§ 6.1. Большой мозг. Дополнительная мотивация новых людей.

Все этапы развития живых существ на Земле одновременно сопровождались усложнением и увеличением размера мозга. В том числе по мере развития происходило увеличение отношения размера мозга к размеру тела. Наиболее велико это отношение, конечно, у человека. Мозг крупнее, чем у человека, имеют только дельфины, слоны и киты. Однако, во-первых, они наши близкие родственники, а во-вторых, они гораздо крупнее нас и, по-видимому, их мозг содержит большое количество моторных нейронов, необходимых для управления огромным телом.

Зависимость интеллектуальных способностей от размера мозга в пределах человеческой популяции - вопрос более спорный. Дело в том, что такие способности, очевидно, определяются не просто размером мозга, но особенностями развития нейронной сети мозга.

Известен ряд публикаций (см. например /188÷189/), в которых сообщается об особенностях строения мозга величайшего физика всех времен Альберта Эйнштейна. В частности отмечается, что размер мозга Эйнштейна был чуть меньше среднестатистического, но плотность расположения нейронов была гораздо выше среднего уровня. Кроме того, сообщалось, что количество глиальных клеток также превышало средний уровень. И, наконец, было отмечено, что в мозге Эйнштейна области, связанные с математическими способностями увеличены, а области, ответственные за речь, уменьшены. Не с этим ли связаны проблемы Эйнштейна в школе и институте?

Однако, и в случае человека размер мозга может влиять на его интеллект. Например, в ряде работ Савельева С.В. утверждается, что ряд выдающихся способностей людей определяется развитием некоторых частей мозга выше обычного уровня /184÷187/. И соответственно, если у конкретного человека изначально развита необходимая область мозга, то у него есть шанс стать художником, музыкантом или математиком. Если же таких гипертрофированных зон нет, то при любых объемах тренировок такой человек будет обладателем обычных средних способностей. Такой механизм реализации выдающихся способностей приводит к определенным проблемам в развитии таких людей. Большие структуры мозга гениального человека, предопределяющие его талант, увеличиваются в размере за счет прилежащих частей мозга. В результате получается, что зачастую страдают недоразвитием те части мозга, которые отвечают за социальное поведение. Это приводит к тому, что потенциально гениальный ребенок с обычным размером мозга с точки зрения окружающей среды ведет себя неадекватно. В результате его шансы на развитие его способностей снижаются. Поэтому у гениального мозга появляются шансы на развитие, если он крупнее среднего – 1,4 кг. В этом случае достаточно велики части мозга, обеспечивающие его гениальность и части мозга, позволяющие его обладателю вести себя в среде обычных людей, не очень выделяясь. Это приводит к тому, что по данным Савельева С.В. мозг у гениев, как правило, имеет массу около 1600 ÷ 1700 г.

Но даже такого размера мозг позволяет его обладателю только минимально вписываться в общество. Для того, чтобы преуспевать во всех областях надо иметь мозг еще большего размера. Примером

такого успешного везде человека Савельев С.В. считает Тургенева И.С., имевшего мозг весом около 2000 г, и бывшего не только гениальным писателем, но и просто успешным во многих отношениях человеком. Однако, максимальный размер мозга здорового человека обычно не превышает 2000 г и это обусловлено всей нашей физиологией – размерами тела, возможностями женщин рожать детей с большой головой, энергопотреблением мозга.

Исходя из вышеизложенного становится очевидно, что, в случае успеха при создании новых людей, следующим этапом экспериментов станет попытка создания существа с мозгом, превышающем человеческий по количеству нейронов и синапсов в несколько раз. Этот этап совершенно очевиден и нет сомнений, что когда-нибудь он будет пройден. Однако, есть разные варианты реализации программы «большой мозг». Можно попытаться создать суперсущество с большим мозгом. А можно получать большой мозг за счет объединения нейронных сетей двух или большого числа новых людей.

Если заложить на рептилоидном уровне в мотивационные программы новых людей стремление к объединению для создания большого мозга, то вполне возможно, что такое поведение новых людей будет не очень сильно отличаться от сексуального поведения обычных людей. Поясним свою мысль. Если отвлечься от эмоциональной и физиологической составляющих секса, то очевидно, что этот процесс сводится к слиянию генетической информации двух партнеров с целью ее объединения и передачи следующему поколению. Для того, чтобы найти партнера для такого процесса, надо выдержать определенный конкурс и доказать, что твоя генетическая информация гораздо

лучше, чем у конкурентов. Можно попытаться оценить важность общения двух партнеров через количество передаваемой при общении информации. При вербальном общении за час партнеры обмениваются приблизительно 10^6 бит информации, а при сексе за то же время приблизительно 10^{10} генетической информации. Этот пример показывает, что сила мотивационного стимулирования тех или иных форм общения каким-то образом связана с эффективностью информационного обмена при общении.

Можно применить тот же подход к новым людям, вложив в них мотивационную программу, предписывающую искать партнера для объединения на какое-то время своих виртуальных нейронных сетей, обмена информацией и образования большого мозга. Для того, чтобы такое слияние не стало вечным, нужны какие-то уравнивающие программы, например, предписывающие прекратить слияние после получения определенного объема информации. Конкуренция за партнера у новых людей может быть исключительно интересной, так как каждый действительно должен будет доказать, что он нужен, как источник ценной информации. Сопоставление схемы строения мозга по Маклину и пирамиды потребностей Маслоу для новых людей в случае реализации проекта «Большой мозг» показано на рис. 56. Любопытно отметить, что если для людей физиологическое слияние (секс) находится на самом нижнем уровне потребностей, то для новых людей интеллектуальное слияние скорее всего окажется на самом верхнем уровне потребностей.

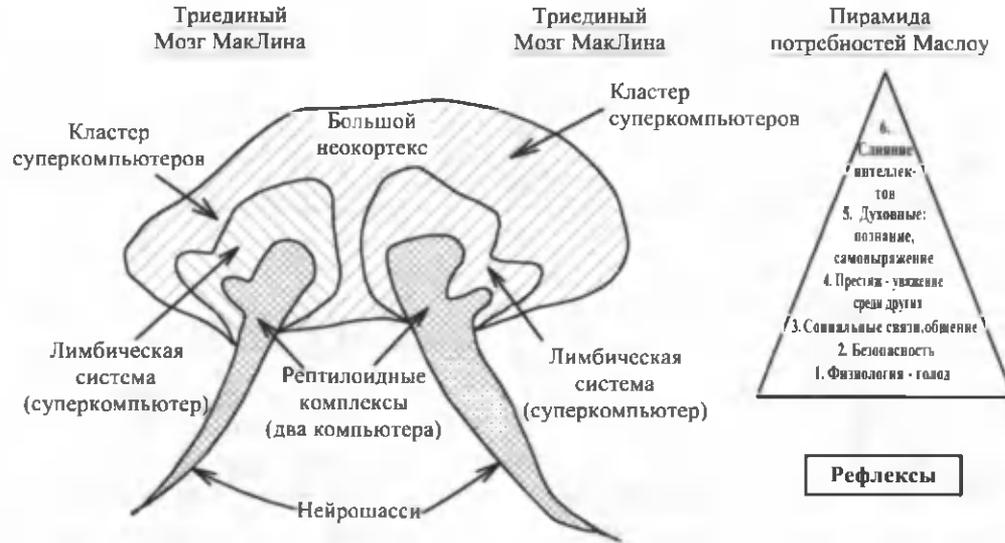


Рисунок 56. Сопоставление схемы строения мозга МакЛина и пирамиды потребностей Маслоу для новых людей при реализации проекта "Большой мозг при слиянии"

Если такой вариант создания большого мозга и такой вариант мотивации будет реализован, то новые люди получат мощнейший стимул к развитию своей интеллектуальной деятельности. При этом очевидно, что если люди разделены на два пола, то новые люди скорее всего поделятся на три пола: источник информации (мужчина-путешественник, исследователь, экспериментатор); приемник-накопитель информации (женщина-аналитик, теоретик); источник и одновременно накопитель информации (универсал). Если теперь вспомнить, что при моделировании тела новых людей желательно сделать их максимально похожими на обычных людей, то становится понятно, что конструкция разъемов для передачи информации уже придумана природой и нет необходимости что-либо изобретать. Такое решение сделает новых людей практически неотличимыми внешне от обычных людей, что позволит им легче занять свое место в человеческом обществе.

§ 6.2. Быстрый мозг.

Самый очевидный шаг в попытках как-то усовершенствовать работу мозга - это конечно просто увеличение его объема и попытка реализовать эксперимент «большой мозг». Однако, очевидно, что после успешного создания новых людей, стремление к совершенствованию мозга одним только увеличением его размера не ограничится. Какие же потенциально эксперименты будут поставлены?

Опираясь в стремлении выполнить такие эксперименты можно опять-таки, рассматривая тенденции развития мозга. В частности, рассматривая изменения мозга от животных до человека, уже

Ж.О.Ламеттри отметил, что у человека значительно больше мозговых извилин, чем у животных (см. например /190/). Общеизвестно, что за счет большого числа развитых мозговых извилин при том же объеме мозга увеличивается объем серого вещества, т.е. объем нейронов и дендритов. Тогда очевидно, что соответственно часть мозга, занимаемая аксонами, уменьшится. А так как число нейронов при развитии извилин, скорее всего, увеличивается, то соответственно, и число аксонов должно увеличиваться, но при этом длина их должна уменьшаться. Т.е. мы приходим к выводу, что по мере развития мозга от животных к человеку тенденция развития заключалась в том, что число нейронов и, видимо, синапсов, увеличивались, а длина аксонов уменьшалась, что очевидно вело к увеличению быстродействия мозга. К увеличению быстродействия вело также покрытие аксонов миелиновой оболочкой (см. рис. 57).

Подвергнуть сомнению с точки зрения построения виртуального мозга можно также оптимальность количества синапсов, приходящихся на один нейрон. Представляется вероятным, что число синапсов, приходящееся на нейрон, не является какой-то универсальной величиной, а всего лишь определяется быстродействием нейрона. То есть, если быстродействие нейрона выше, то число синапсов может быть увеличено. Так, если предположить, что при фиксированном быстродействии нейрона вдруг на порядок увеличилось бы количество синапсов, то это привело бы к десятикратному увеличению количества входных сигналов на нейрон. В результате каждый нейрон стал бы выдавать на аксон не средние 10 импульсов в секунду, а максимальное для себя число – около 100 импульсов в секунду. Т.е. все

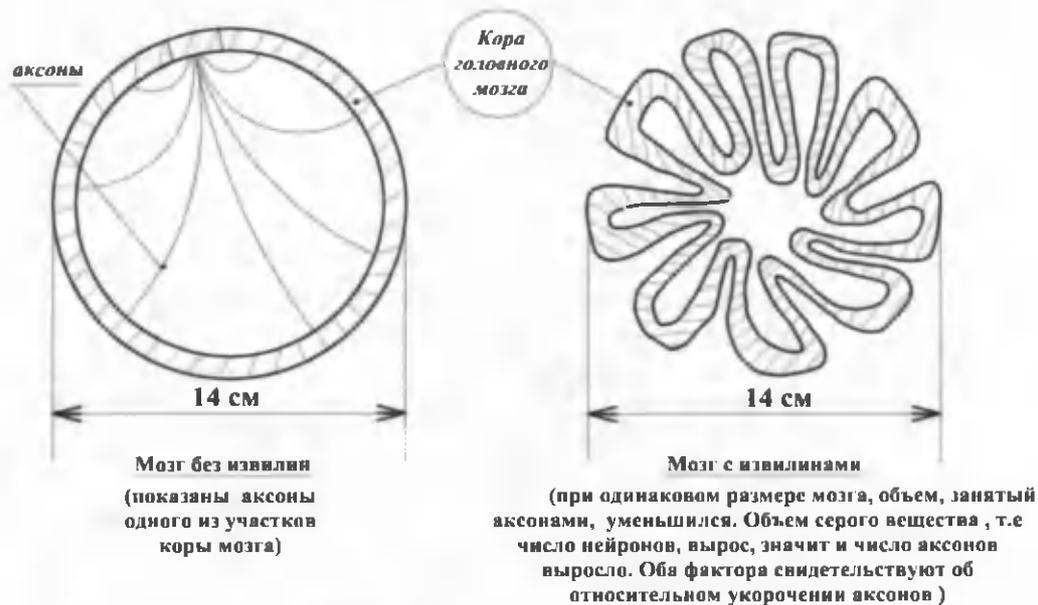


Рисунок 57. Иллюстрация уменьшения длины аксонов при образовании мозговых извилин

нейроны фактически вышли бы в насыщение, и мозг бы перестал работать. Что и подтверждает высказанную мысль о том, что быстроедействие нейронов и число синапсов взаимообусловлены и конкретные их параметры определяются устройством соответствующих элементов. То же самое относится и к общему числу нейронов, длине аксонов, геометрической структуре мозга и размеру черепной коробки.

В случае виртуального мозга, объем, занимаемый логическими элементами, соединяющими их элементами памяти и собственно связующими линиями, не лимитирован. Скорость распространения сигналов по сети близка к скорости света. Быстроедействие каждого искусственного логического элемента задается программными методами и может значительно превышать быстроедействие нейрона. Все эти факторы позволят значительно расширить фронт работ по поиску путей совершенствования работы виртуального мозга.

Таким образом, в случае успеха первого этапа эксперимента по созданию и воспитанию нового человека может быть начат второй этап эксперимента по созданию «большого мозга» и «быстрого мозга». В основе такого эксперимента может лежать попытка увеличения числа и быстрогодействия логических элементов в сети; увеличение числа синапсов, приходящихся на один логический элемент; увеличение количества состояний, в которых может находиться синапс; сокращение времени прохождения сигналов между логическими элементами; сокращения длительности сигнала между нейронами; сокращение рефрактерного периода.

Возможно, второй этап экспериментов окажется не менее увлекательным, чем первый.

§ 6.3. Биологические исследования.

Создание новых людей, особенно если они будут обладать выдающимися способностями, безусловно простимулирует дополнительный интерес к исследованию мозга человека. Причем в значительной степени этот интерес будет обусловлен озабоченностью человека – а не создал ли он себе не помощника, а конкурента. Тем более, если новый человек будет обладать достаточно совершенным телом. И в этой ситуации интерес к исследованию мозга будет одновременно означать исследование возможности совершенствования мозга человека. На сегодня мы знаем только один вариант организации мыслящего мозга, созданного на основе нейронов. Но совершенно не факт, что человеческий мозг - это максимум из того, что можно создать на основе нейронов. Может быть у мозга на основе нейронов еще есть шансы посоревноваться с виртуальным мозгом? И вообще есть ли какие-то ограничения сложности и размера нейронной сети, состоящей из биологических нейронов? По-видимому, лимитирующим фактором может быть скорость распространения сигналов между разными отделами мозга. Так как время осознания информации более, чем на порядок превышает время прохождения сигнала по аксону, расстояния равного размеру человеческого мозга, то можно предположить, что увеличение линейного размера мозга в несколько раз не сильно повлияет на время осознания информации. То есть, по-видимому, линейный размер человеческого мозга может быть увеличен в несколько раз и это не должно существенно повлиять на остальные временные

параметры работы мозга. Тогда можно предположить, что физический предел размера сети из биологических нейронов может составить 30÷40 см, то есть предельный вес эффективного биологического мозга может достигать нескольких десятков килограммов. Пример кита, имеющего мозг весом около десяти килограммов, подтверждает эту оценку.

Поэтому первое, что приходит в голову, это конечно изучение возможности постепенного увеличения мозга человека и в первую очередь тех областей, которые отвечают за когнитивные способности. Очевидно, что человек и внешне и внутренне останется человеком, если рост его слегка превысит два метра, а мозг будет весить три-четыре килограмма. При правильной организации такого мозга можно надеяться, что его обладатель будет умнее нас так же как мы умнее обезьяны. Скорее всего, эволюционный процесс в конце концов приведет именно к такому результату. Очевидно, что при естественном ходе событий такой процесс растянется на десятки или даже сотни тысяч лет. Однако темпы развития человеческой цивилизации за последние несколько сотен лет опережают любые прогнозы писателей – фантастов. Более того, как показывает опыт, если люди технически и экономически могут что-то сделать, то можно быть уверенным, что кто-нибудь это обязательно сделает. Конечно, определенный консерватизм человеческого сообщества сказывается на научном прогрессе. Сегодняшние законодательные запреты некоторых видов биологических исследований напоминают запреты генетики в Советском Союзе. Однако такие запреты приводят только к отставанию ряда стран в научных исследованиях. Поэтому при дальнейших успехах биологических и генетических

исследований можно быть уверенным, что люди не будут ждать сто тысяч лет, а начнут процесс самосовершенствования уже в ближайшие десятилетия. Собственно, если приглядеться, то очевидно, что процесс этот уже сейчас идет полным ходом. Очевидно также, что создание нового человека станет дополнительным мощным стимулом для людей подумать над совершенствованием своего мозга.

Эта задача представляется весьма актуальной еще и потому, что в настоящее время уже разрабатываются экспериментальные методы существенного лечебного воздействия на мозг. Один из таких методов, по-видимому, может быть использован не только в лечебных целях, но и с целью направленного изменения каких-либо параметров мозга и тела. Это метод лентивирусной трансфекции (см., например /191/).

Лентивирусы – одно из подсемейств семейства ретровирусов, к которым, в частности, относится вирус иммунодефицита человека. Идея метода заключается в том, что в лабораторных условиях изготавливаются специальные лентивирусные частицы, которые отличаются от обычных вирусов тем, что при попадании в организм не могут размножаться и тем, что в генетический аппарат вируса встроены гены, которые вирус должен доставить в нужное место в организм человека. При введении лентивирусных частиц с помощью инъекции можно добиться локальных изменений в какой-либо части организма. При инъекции в кровеносную систему можно добиться введения лентивирусных частиц во все органы тела и в тело в целом.

Очевидно, что если применить данный метод к взрослому сформировавшемуся организму, то данный метод может обеспечить корректировку экспрессии

генов. И таким образом регулировать производство в организме того или иного белка. То есть этот метод может использоваться при лечении ряда заболеваний. Если же данный метод применить к растущему организму, то по-видимому можно добиться корректировки развития тех или иных органов. В том числе обеспечить увеличение роста тела в целом и головного мозга в частности. Таким образом, данный метод при его дальнейшей разработке может потенциально быть использован для управляемого совершенствования человека. Очевидно, что это возможно только после удачных экспериментов на животных и юридической проработке всех возможных правовых последствий.

Очевидно, что создание новых людей может подтолкнуть не только желание людей усовершенствовать себя, но и сами соответствующие исследования. Дело в том, что некоторые из биологических экспериментов для человека могут быть смертельно опасными. А для нового человека ретровирусы и вирус иммунодефицита не опасны абсолютно. Поэтому очевидно, что исследовательские коллективы, состоящие из людей и новых людей могли бы быть очень эффективными в наиболее опасных биологических экспериментах.

Еще одним исследованием, в котором новые люди могли бы быть полезны, является изучением возможности продления жизни человека. Различных гипотез по поводу механизмов старения довольно много, но сравнительно недавно была развита теория, которая выглядит правдоподобной. Уже в шестидесятые годы двадцатого века было известно [192], что клетка может делиться примерно только 50 раз и затем погибает. В дальнейшем выяснилось, что при каждом

делении клетки укорачиваются концевые участки хромосом-теломеры. Длина теломерной части хромосомы составляет около $10 \div 15$ тысяч нуклеотидов, а укорочение теломеры при каждом делении составляет $200 \div 300$ нуклеотидов. Если разделить 15 тысяч на 300 получим 50, то есть как раз 50 делений клетки. Появилась версия, что процесс старения и смерти связан с постоянным укорочением (потерей информации) хромосом при делении клеток.

Трое исследователей (E. Blackburn, Carol W. Greider и Jack W. Szostak) в 2009 г получили Нобелевскую премию за работы по изучению функционирования «биологических часов».

Дальнейшие исследования /193-195/ показали, что на длину теломер влияет также активность фермента теломеразы. Опубликованы работы о корреляции между активностью теломеразы и длиной теломер, с одной стороны, и образом жизни и болезнями - с другой. Теломераза должна при каждом делении восстанавливать длину теломеры. Но неоптимальный образ жизни подавляет активность теломеразы. В результате укорачиваются теломеры и укорачивается жизнь клетки.

Ведутся исследования по искусственной активации теломеразы. В работе /196/ сообщается о положительных результатах таких исследований. В результате активации теломеразы экспериментаторам удалось значительно продлить жизнь подопытных мышей.

Однако можно предположить, что методика коррективки генетического аппарата путем встраивания новых генов с помощью лентивирусных частиц может быть использована и для наращивания теломеры. Конечно, для этого необходимы

специфические лентивирусные частицы. Но в случае получения положительного результата последствия будут носить глобальный характер. И если в решение этой задачи внесут вклад новые люди, то и первый проект окупит себя многократно.

§ 6.4. Космические исследования.

Рост численности населения на Земле, в том числе и в связи с ростом продолжительности жизни, в обозримом будущем подтолкнет расселение людей сначала в пределах Солнечной системы, а затем и дальше. По оценкам известного астрофизика И.С. Шкловского /184/ человечеству потребуется около двух тысяч лет, чтобы полностью обжить и заселить Солнечную систему.

Однако полеты к звездам могут начаться не через две тысячи лет, а гораздо раньше. Технически такой полет может состояться уже лет через $20 \div 30$, если для такого проекта будут выделены необходимые ресурсы. В то же время очевидно, что технические возможности, которыми в ближайшие столетия будет обладать Человечество, не позволят долетать до звезд быстрее, чем за несколько сот лет. Даже если эксперименты по продлению жизни человека будут успешными, представляется маловероятным, что продолжительность жизни увеличится более, чем вдвое. А значит для полета к звездам нужны либо просто автоматы, либо новые люди, которые вполне способны прожить несколько сотен лет.

Значит получается, что Человечество обречено оставаться около Солнца, а дальний космос будет

заселен новыми людьми? Скорее всего, все будет по-другому. И вот по какой причине. Для создания новых людей нужна развитая индустрия всей планеты. То есть на необжитых планетах новые люди размножаться не смогут. А люди смогут.

Поэтому представляется наиболее вероятным, что новые люди не смогут самостоятельно в отрыве от технической базы Земли заселить Галактику. Представляется наиболее реалистичным следующий вариант расселения. На первом этапе новые люди обследуют ближайшие звезды и находят планеты, пригодные для жизни людей. Остаются на этих планетах и ведут подготовку к встрече переселенцев. На втором этапе к таким планетам высылаются корабли под управлением новых людей, которые везут миллионы замороженных эмбрионов. При прилете на новую планету эмбрионы оживляются и выращиваются. Это все возможно уже при современных технологиях. Далее новые люди обучают детей людей. Планета заселяется людьми и обживается. На новой обжитой планете создается индустриальная база, которая позволяет производить новых людей и космические корабли. Цикл повторяется.

Если такой вариант расселения будет реализован, то люди и новые люди будут друг другу нужны и смогут совместными усилиями заселить Галактику. Это путь не конкуренции, а сотрудничества.

Глава 7. Организационная, финансовая и техническая реальность эксперимента.

Очевидно, что предлагаемый проект в случае положительного результата окажет влияние не только на мировоззрение людей, но и на мировую экономику, политику и вообще на развитие цивилизации. Обсудим некоторые проблемы по этой теме, которые уже сейчас можно предвидеть.

§ 7.1. Организационные проблемы.

В настоящее время исследованиями особенностей работы мозга человека, моделированием искусственного интеллекта, созданием человекоподобных роботов, моделированием искусственных нейронных сетей во всем Мире занимается ориентировочно несколько десятков тысяч человек.

Для реализации проекта создания нового человека, учитывая комплексный характер проблемы, придется привлечь не менее нескольких тысяч специалистов. То есть около десяти процентов ученых специализирующихся в этой области, потребуется привлечь для решения этой проблемы. В настоящее время эти специалисты рассеяны по сотням научных центров разных стран и привлечь их к решению одной большой, но общей задачи будет конечно не просто, но и не бесконечно сложно.

Очевидно, что потребуется влияние и желание участвовать в проекте крупных руководителей научных

и финансовых центров. Однако опыт осуществления таких совместных проектов в мировой истории уже имеется и он вполне может повторен для задачи, имеющей чрезвычайно важное значение для всего человечества.

Учитывая, что в процессе написания этой книги авторы многократно наталкивались на работы, финансируемые уважаемыми организациями и меценатами (General Motors, IBM, Honda, Академия наук России, NASA, DARPA, Пол Аллен и другие) можно надеяться, что какая-нибудь из таких влиятельных организаций возьмет на себя инициативу по созданию международного объединения научных коллективов для решения данной проблемы.

Еще одним аргументом в пользу того, что создание международного проекта для моделирования нового человека стало назревшей задачей, является информация о том, что руководитель проекта Blue Brain Генри Маркрам пытается получить финансирование под проект моделирования мозга человека. Таким образом, по-видимому, в научной среде зреет ощущение реальности решения этой задачи уже в ближайшие годы.

На рисунке 58 показан вариант структуры управления проектом в случае создания международного объединения научных организаций.



Рисунок 58. Возможная структура управления проектом

§ 7.2. Технические проблемы.

Помимо чисто научных проблем на пути реализации проекта будут стоять и технические проблемы, которые предстоит решить. В частности одна из таких технических проблем будет определяться длительностью эксперимента. В тексте книги уже упоминалось, что длительность только первого этапа эксперимента составит около десяти лет. Пять лет на проектные работы и изготовление тела и мозга нового человека и пять лет на первый этап воспитания.

Второй технической проблемой будет то, что общее число участников эксперимента будет составлять несколько тысяч человек, рассеянных по десяткам институтов и городов. Такой коллектив очевидно потребует наличия какого-то постоянного персонала специалистов, координирующего работу всех остальных ученых дистанционно. И соответственно для размещения такой команды потребуется отдельное здание.

Здание потребуется и для размещения яслей для младенцев нового человека.

Оценим ориентировочно параметры здания, которое потребуется для размещения в нем дома нового человека. На рисунке 59 схематично изображена планировка здания с перечнем необходимых помещений. Из названий помещений следуют функции, которые целесообразно сконцентрировать в доме нового человека с перспективой его дальнейшего развития по траектории, предложенной в Главе 6.

Учитывая, что только первый этап проекта рассчитан на срок не менее десяти лет; что количество постоянного персонала составит несколько сотен человек, что ясли рассчитаны на пять младенцев нового

человека и десять человеческих детей, то есть в здании необходимо иметь не менее пяти залов для суперкомпьютеров, приходим к выводу, что для размещения всех помещений (см. рис. 59) потребуется здание с ориентировочной площадью около десяти тысяч квадратных метров. Для обеспечения энергией суперкомпьютеров и всех прочих помещений потребуется электрическая мощность около 10÷20 мВт.



Рисунок 59. Ориентировочный перечень помещений (планировка) дома нового человека

Рядом с домом нового человека было бы удобно разместить гостиницу для временного проживания ученых из других регионов, занятых в данном проекте.

Было бы целесообразно также разместить оба здания на территории большого парка, расположенного не очень близко от больших городов.

§ 7.3. Финансовые проблемы.

Точно подсчитать какие денежные ресурсы потребуются для финансирования проекта на момент написания этой книги, конечно, затруднительно, так как мы находимся пока на стадии обсуждения только идеи проекта. Однако масштаб необходимых сумм оценить можно. В первую очередь это, конечно, заработная плата привлекаемых специалистов высочайшей квалификации. Создать мозг, способный к творческой деятельности, могут только очень умные люди. Во-вторых, это все остальные расходы: расходы на создание суперкомпьютеров; на здания; расходы на вспомогательное научное оборудование; расходы на электроэнергию и прочее.

Если в проекте будет задействовано около 5 000 специалистов и если среднегодовая зарплата каждого из них составит около 50 000 долларов США, то получаем, что только на эту статью расходов потребуется около 0,25 млрд. долларов в год. Оценочно можно полагать, что все остальные статьи расходов также составят приблизительно такую же сумму. То есть общие расходы на проект составят около 0,5 млрд. долларов в год. Так как проект продлится не менее десяти лет, то на весь проект потребуется около 5 млрд. долларов.

Учитывая, что любая работа, как правило, обходится в два раза дороже, чем первоначально планируется, можно смело утверждать, что проект обойдется в 10 млрд. долларов.

Руководитель проекта Blue Brain Генри Маркам оценил стоимость проекта по созданию модели мозга человека в один миллиард долларов. Так что оценки близки, особенно если учесть, что в проекте создания нового человека предполагается создать не только модель мозга, но и тело и, самое главное, предполагается воспроизвести весь процесс обучения в человеческом обществе.

Много это или мало – истратить 10 млрд. долларов на создание нового человека? С точки зрения рядового жителя Земли это конечно громадная сумма. Но если оценить последствия создания нового человека для всего Человечества, то сумма, необходимая для реализации проекта, уже покажется не очень большой.

§ 7.4. Социальные последствия.

Социальные последствия создания нового человека будут определяться степенью успешности этого эксперимента. Будем исходить из предположения, что эксперимент дал абсолютно положительный результат и нам удалось создать новую расу мыслителей и даже гениев. Какие это может иметь последствия для Человечества? Можем ли мы заранее предвидеть потенциальные проблемы и какие-то новые возможности? Все возможные нюансы развития событий предвидеть, конечно, невозможно, но некоторые последствия достаточно очевидны.

Если поглядеть на историю развития нашей цивилизации, то практически очевидно, что создание материальной базы цивилизации и рост численности людей стимулировали друг друга. То есть рост численности требовал создания новых производств, технологий и научных открытий. А с другой стороны, увеличение объемов производства всевозможных благ позволяло увеличивать численность населения. Рост населения приводит к увеличению числа талантливых людей даже при сохранении неизменным процентного отношения талантливых людей к обычным. Рост числа талантов приводит к расширению поиска новых технологий и знаний. А рост производственных мощностей позволяет вывести все большее число людей (талантов) из сферы непосредственного добывания средств пропитания в сферу поиска новых знаний.

Схематично такая модель развития цивилизации показана на рис. 60. Если принять такую модель за основу, то становится очевидно, что по мере развития цивилизации зона соприкосновения с непознанным увеличивается. Очевидно также, что темпы познания пропорциональны развитию производственной базы и общей численности людей. Развитие производственной базы цивилизации может быть оценено по общему потреблению энергии, – классификация цивилизаций по этому параметру предлагалась известным астрофизиком Шкловским И.С. (см. например /184/).

Исходя из изложенных представлений ясно, что появление десяти или даже десяти тысяч гениев кардинально изменить темпы развития цивилизации не могут. Цивилизация развивается, скорее всего, по правилам выращивания. Средой в этом случае будет являться весь окружающий материальный и информационный мир, но закон Либиха, по-видимому,

Терра Инкогнита
(Terra Incognita)



Терра Инкогнита

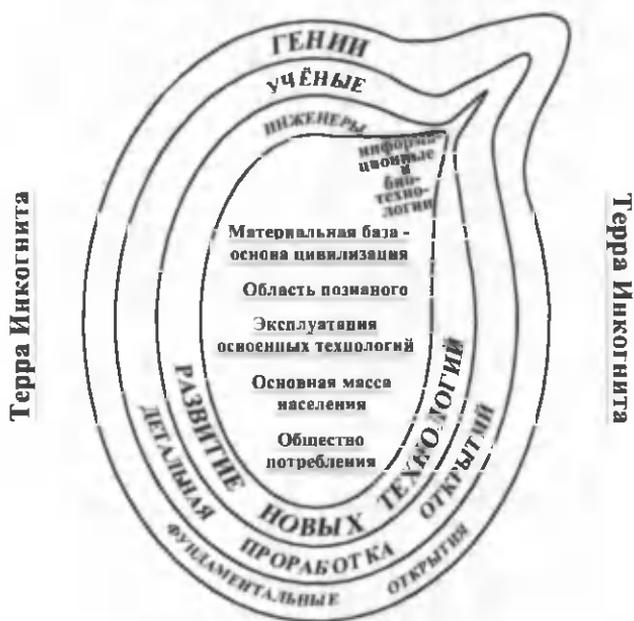
Рисунок 60. Цивилизацию развивают гении, или гении совершают свои открытия, когда цивилизация достигла нужного уровня развития?

работать будет и в этом случае. Лимитирующим или слабым звеном для такой ситуации будут темпы роста производства и численности людей, а не количество гениев. Иллюстрацией к этой мысли может служить судьба Леонардо да Винчи. Его гениальные инженерные идеи никак не повлияли на современную ему цивилизацию и были реализованы другими учеными спустя 500 лет, когда технологии и наука в целом были развиты до необходимого уровня.

Итак, кардинального слома существующей цивилизации с приходом нового человека ожидать не следует. А какие же все-таки последствия возможны? На взгляд авторов глобальные последствия будут в идеологии, а технологические и социальные последствия будут локальными. Поясним, что имеется в виду. Глобально изменится наше понимание того, что такое жизнь и что такое мышление. Это, по-видимому, повлияет на наше представление о нашем месте в этом Мире.

Технологические и соответствующие социальные последствия активной деятельности новых людей, по-видимому, можно ожидать в первую очередь в области информационных технологий, биотехнологий и космических исследований. Локальный характер соответствующих изменений иллюстрирует рис. 61.

Терра Инкогнита
(Terra Incognita)



Терра Инкогнита

Рисунок 61. Изменение границы между освоенными информационными территориями и "неизвестными землями" под влиянием новых людей

Почему авторы высказывают такое предположение? Нам кажется, что новые люди в первую очередь захотят изучить себя и нас. А затем заинтересуются космическими исследованиями.

Заключение.

В этой книге авторы попытались наметить ориентировочный план действий по созданию нового человека. Для этого было произведено обобщение большого количества известных фактов и некоторых новых идей.

При изложении каждого из разделов книги оценивалась возможность сведения описываемых действий к каким-либо алгоритмам. Этот общий подход основан на идее Пенроуза о том, что мышление человека в принципе неалгоритмично. По Пенроузу мышление неалгоритмично, так как согласно теореме Геделя изобретатель алгоритмов не может действовать по алгоритму.

Опираясь на идею о неалгоритмичности мышления авторы сформулировали ряд положений, которые по-видимому могут считаться новыми:

- сформулирован перечень необходимых условий для формирования в мозге нейронной сети и возникновения мышления;

- по аналогии с теорией фон Неймана о самовоспроизводящихся автоматах высказана гипотеза о существовании пороговой сложности нейронной сети, которая обеспечивает возможность творческого мышления. Сделана оценка сложности нейронной сети;

- высказано предположение о том, что по мере перемещения по уровням пирамиды потребностей Маслоу сложность алгоритма поведения увеличивается. Сложность алгоритма претерпевает разрыв для творческого мышления;

- высказано предположение о возможности развития в мозге синаптической неустойчивости как потенциальной причине аутизма;

- высказано предположение, что распространение возбуждения по нейронной сети аналогично распространению резонансных фотонов в газовом облаке, когда перенос излучения в линии обеспечивается длиннопробежными фотонами. Аналогично в мозге быстрый перенос возбуждения может обеспечиваться нейронами, имеющими длинные аксоны;

- на основании идеи об алгоритмичности и неалгоритмичности различных уровней мышления предложена следующая классификация: искусственный интеллект – интеллект алгоритмический, моделируемый на компьютере; сознание – алгоритмический уровень мышления, обеспечивающий возможность действия, сообразного принимаемой информации и имеющийся мотивации; творческое мышление – изобретение новых алгоритмов;

- на основании идеи об алгоритмичности и неалгоритмичности различных методов созидания предложено различать методы строительства и методы выращивания. Строительство это созидание по конкретному проекту (алгоритму) с предсказуемым результатом. Выращивание это созидание путем создания оптимальной среды для растущего объекта. Результат заранее непредсказуем;

- на основании идеи методов строительства и выращивания, а также теории МакЛина о триедином строении мозга предложена следующая последовательность действий по созданию нового человека. В качестве тела нового человека выбирается тело робота конструктивно, по сложности и по внешнему облику максимально приближенное к человеческому. Рептилоидный уровень мозга моделируется с помощью обычного компьютера путем

прямого программирования максимально возможного числа алгоритмичных навыков. На этом уровне программируются основные мотивационные устремления, аналогичные человеческим рефлексам и инстинктам. Нейронная сеть на этом уровне мозга не моделируется. Это нижний уровень моделирования нового человека. То есть работа можно считать младенцем нового человека. Второй уровень триединого мозга МакЛина (лимбическая система) моделируется с помощью суперкомпьютера. На этом уровне моделируется относительно несложная нейронная сеть, обеспечивающая своему владельцу обучение простейшим навыкам под влиянием внешней обстановки и мотивационных воздействий со стороны рептилоидного уровня мозга. То есть рептилоидный уровень мозга, доступный для прямого программирования некоторых навыков и основных мотиваций, может служить учителем для нейронных сетей второго и третьего уровня триединого мозга МакЛина. На третьем уровне моделируется нейронная сеть коры головного мозга (неокортекс) с помощью кластера суперкомпьютеров. Формирование тела и конструкции мозга нового человека, а также программирование рептилоидного уровня его мозга осуществляются методами строительства. Поведение нейронов и синапсов, свойства аксонов и дендритов моделируемой нейронной сети также могут быть заданы методами строительства в соответствии с программами, аналогичными программам наиболее известных проектов моделирования нейронных сетей Blue Brain или SyNAPSE.

Дальнейшие этапы создания нового человека выполняются методами выращивания, поскольку существо, способное мыслить творчески, методами

строительства создать невозможно. Роботы с запрограммированными навыками и мотивациями на рептилоидном уровне мозга, с подключенными к ним суперкомпьютерами лимбического уровня и уровня неокортекса, обеспеченных программами, моделирующими возможность развития нейронной сети, помещаются в воспитывающую среду людей. За счет взаимодействия роботов – младенцев нового человека с воспитывающей человеческой средой; за счет открытости смоделированной нейронной сети для входного и выходного информационных потоков; за счет способности нейронов работать в детекторном и пейсмейкерном режимах; за счет мотивационного воздействия на нейронную сеть со стороны рептилоидного отдела мозга в смоделированной нейронной сети должны включиться самоорганизационные процессы, приводящие к зарождению в смоделированной нейронной сети способности мыслить.

- в случае успеха при создании мыслящего нового человека предложены идеи экспериментов «большой мозг» и «быстрый мозг».

Как уже много раз отмечалось в этой книге, свойства сложных систем не эквивалентны сумме свойств входящих в них подсистем. В сложных системах могут появиться качества, разглядеть которые в составных элементах было совершенно невозможно. Из отдельных клеток-нейронов возникает мыслящий мозг; из отдельных людей возникают государства и цивилизации; из отдельных кирпичей можно построить жилой дом или дворец.

Когда авторы писали эту книгу, их целью было собрать как можно больше кирпичиков – отдельных известных и новых фактов, сложив которые воедино,

можно было бы получить новое качество – ориентировочный план действий по созданию человеческого разума из совокупности искусственных элементов. По созданию в конечном итоге нового человека. Если авторам удалось убедить читателя, что продвижение по этому пути уже сегодня реально, то можно считать, что цель книги достигнута.

Литература

1. Х.Дрейфус. Чего не могут вычислительные машины. Критика искусственного разума. Книжный дом «Либроком». 2010. – 336 с.

2. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект. Современный подход Второе издание. Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1408 с.

Финн В.К. Искусственный интеллект: Методология, применения, философия. 2011. 448с.

3. От моделей поведения к искусственному интеллекту. Под редакцией д.ф.-м.н. В.Г. Редько. М. Ком. Книга. 2010. – 456 с.

4. Роджер Пенроуз. Тени разума. В поисках науки о создании. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2005. – 688 с.

5. Р. Пенроуз. Новый ум короля. М.: Едиториал УРСС. 2005. – 400 с.

6. Стивен Хокинг. Большое, малое и человеческий разум. Спор о физическом мире и мире идей. – СПб.: Амфора. ТИД Амфора. 2008. - 191 с.

7. Чернавский Д.С., Карп В.П., Родштат И.В., Никитин А.П., Чернавская Н.М. Распознавание. Аутодиагностика. Мышление. М.: Радиотехника. 2003.

8. Колупаев А.Г., Чернавский Д.С. Перемешивающий слой. // Краткие сообщения по физике. – 1997. - № 1-2. с. 12-18.

9. Чернавская О.Д., Никитин А.П., Чернавский Д.С. Концепция интуитивного и логического в нейрокомпьютинге // Биофизика. – 2009. – т.54. - № 6. – с. 1103-1113.

10. Дж. фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Книжный дом «Либроком». 2010. – 384 с.

11. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М. Наука. 1987. – 304 с.

12. Колмогоров А.Н., Барздинь Я.М. о реализации сетей в 3-мерном пространстве. Проблемы кибернетики. 1967, вып. 19, с. 261-268.

13. Карл Саган. Драконы Эдема. Рассуждения об эволюции человеческого разума. Спб: Амфора. 2005г.-265 с.

14. Г.Хакен. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М.: Ком Книга. 2005. – 248 с.

Г.Хакен. Принципы работы головного мозга. Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. 2001. М. Наука – 329 с.

15. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. М. Наука. 2011. – 224 с.

16. Биотехника – новое направление компьютеризации /Коллективная монография. Под общей редакцией Иваницкого Г.Р. – М. Наука. 1990. – 145 с.

17. Edward Norton Lorenz. Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the atmospheric Sciences*. 1963, 20, p. 130-141.

18. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. М.: Наука. 1990.

19. Климонтович Ю.Л. Проблемы статистической теории открытых систем: критерии относительной степени упорядоченности состояний в процессах самоорганизации // УФН. 1989. Т.158. с.59.

20. М.Г. Шерозия, М.С. Лемак, Р.Ш. Алтынбаев, В.Л. Эзрохи. Глутамат и гамк являются медиаторами в синапсах мшистых волокон гиппокампа неонатальных крыс. Доклады академии наук. 2005. том 402, № 6, с. 844-846.

21. Maxim G. Sheroziya, Oliver von Bohlen und Halbach, Klaus Unsiker, and Alexei V. Egorov. Spontaneous Bursting Activity in the Developing Entorhinal Cortex. *The journal of Neuroscience*, September 30, 2009. 29 (39): 12131-12144.

22. Dharmendra S. Modha, Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Anthony Ndirango, Anthony J. Sherbondy, Raghavendra Sjngh_ "Cognitive Computing" // Communications of the ACM, vol.54, no.8, p.62-71, 2011.

23. Bryan L. Jackson, Bipin Rajendran, Gregory S. Corrado, Matthew Breitwisch, Geoffrey W. Burr, Roger Cheek, Kailash Gopalakrishnan, Simone Raoux, Charles T. Rettner, Alex G. Sehrott, Rohit S. Shenoy, Bulent N. Kurdi, Chung II. Lam, and Dharmendra S. Modha "Nano-Scale Electronic Synapses using Phase Change Devices" *IJETC*, 2011.

24. Paul Merolla, John Arthur, Filipp Akopyan, Nabil Imam, Raj it Manohar, Dharmendra S. Modha. "A Digital Neurosynaptic Core using Embedded Crossbar Memory with 45pJ per spike in 45nm" // IEEE Custom Integrated Circuits Conference, September 2011.

25. Jae-sun Seo, Bernard Brezzo, Yong Liu, Benjamin D. Parker, Steven K.Esser Robert K. Montoye, Bipin Rajendran, Jose A. Tierno, Lei and Chang, Dharmendra S Modha, and Daniel J. Friedman "A 45nm CMOS Neuromorphic Chip with a Scalable Architecture for Learning in Networks of Spiking Neurons" // IEEE Custom Integrated Circuits Conference, September 2011.

26. Dharmendra S. Modha and Raghavendra Singh "Network Architecture of the Long Distance Pathways in the Macaque Brain" //

Proceedings of the National Academy of the Sciences USA, 2010.

27 SteyenJC. Esser, Anthony Ndirango, Dharmendra S. Modha

"Binding Sparse Spatiotemporal Patterns in Spiking Computation,"

International Joint Conference on Neural Networks, July 18-23, 2010, Barcelona, Spain.

28. Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Horst D. Simon, and Dharmendra S.

Modha,.

"The Cat is Out of The Bag: Cortical Simulations with 10^9 neurons and 10^{13} synapses (PDF, 2.7MB)."

Supercomputing 09: Proceedings of the ACM/IEEE SC2009 Conference on High Performance Networking and Computing, Nov 14-20, 2009, Portland, OR. ACM Gordon Bell Prize.

29. Anthony J. Sherbondy, Rajagopal Ananthanarayanan, Robert F. Dougherty, Dharmendra S. Modha, and Brian A. Wandell

"Think Global, Act Local; Projectome Estimation with BlucMatter" //

Proceedings of MICCAI 2009, Lecture Notes in Computer Science, Imperial College, London, 20-24 September 2009.

30. Anthony J, Sherbondy, Rajagopal Ananthanarayanan, Robert F. Dougherty, Brian A. Wandell, and Dharmendra S. Modha

"BlueMatter: Optimal estimation of long range white matter fascicle networks using diffusion tensor imaging" //1 IBM: Human Brain Mapping, 2009, San Francisco, Calif.

31. Dharmendra S. Modha

"A Conceptual Cortical Surface Atlas" // PLoS ONE 4(6): e5693. doi: 10.1371/journal.pone.0005693

32. Rajagopal Ananthanarayanan and Dharmendra S. Modha "Anatomy of a Cortical Simulator" // Supercomputing 07: Proceedings of the ACM/ILEL SC2007 Conference on High Performance Networking and Computing, November 10-16, 2007, Reno, Nevada.

33. Raghavendra Singh and Dharmendra S. Modha

"Interactive Visualization and Graph Analysis of CoCoMac's Brain Panellation and White Matter Connectivity Data" // SfN 2007, Society for Neuroscience, Nov 3, 2007.

34. Rajagopal Ananthanarayanan and Dharmendra S. Modha

"Scaling, Stability, and Synchronization in Mouse-sized (and Larger) Cortical Simulations (PDF, 301 KB)" // CNS*2007: Sixteenth Annual Computational Neuroscience Meeting, Toronto, Canada July 8-12 2007. [Also appears as IBM Research Report RJ 10405, 2/14/2007.]

35. James Frye, Rajagopal Ananthanarayanan, and Dharmendra S. Modha "Towards real-time, mouse-scale cortical simulations" // CoSyNc: Computational and Systems Neuroscience, Salt Lake City, Utah, Feb 22-25,

2007. [Also appears as IBM Research Report RJ 10404 (PDF, 87KB), 2/5/2007].

36. Maass, W., Legenstein, R., & Markram, H. (2002). A New Approach towards Vision Suggested by Biologically Realistic Neural Microcircuit Models. In H. 6 Bulthoff, C. Wallraven, S.-W. Lee & T. Poggio (Eds.), *Biologically Motivated Computer Vision* (Vol. 2525, pp. 1-6): Springer Berlin / Heidelberg.

37. Markram, H., Toledo-Rodriguez, M., Wang, Y., Gupta, A., Silberberg, G., & Wu, C. (2004). Interneurons of the neocortical inhibitory system. [10.1038/nrn1519]. *Nat Rev Neurosci*, 5(10)/793-807.

38. Muhammad, A. J., & Markram, H. (2005). NEOBASE: databasing the neocortical microcircuit. *Stud Health Technol Inform*, 112, 167-177.

39. Maciokas, J. B., Goodman, P., Kenyon, J., Toledo-Rodriguez, M., & Markram, H. (2005). Accurate dynamical models of interneuronal GABAergic channel physiologies, [doi: DOI: 10.1016/j.neucom.2004.10.083]. *Neurocomputing*, 65-66, 5-14.

40. Kalisman, N., Silberberg, G., & Markram, H. (2005). The neocortical microcircuit, as a tabula rasa. *Proc Natl Acad Sci USA*, 102(3), 880-885.

41. Markram, H. (2006). The Blue Brain Project. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(February 2006), 153-160.

42. Le Be, J.-V., & Markram, H. (2006). Spontaneous and evoked synaptic rewiring in the neonatal neocortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(35), 13214-13219.

43. Migliore, M., Cannia, C, Lytton, W. W., Markram, H., & Hines, M. L. (2006). Parallel network simulations with NEURON. *J Comput Neurosci*, 21(2), 119-129.

44. Wang, Y., Markram, H., Goodman, P. H., Berger, T. K., Ma, J., & Goldman-Rakic, P. S. (2006). Heterogeneity in the pyramidal network of the medial prefrontal cortex. [10.1038/nn1670]. *Nat Neurosci*, 9(4), 534-542.

45. Le Be, J. V., Silberberg, G., Wang, Y., & Markram, H. (2007). Morphological, electrophysiological, and synaptic properties of corticocallosal pyramidal cells in the neonatal rat neocortex. *Cereb Cortex*, 17(9), 2204-2213.

46. Silberberg, G., & Markram, H. (2007). Disynaptic inhibition between neocortical pyramidal cells mediated by Martinotti cells. *Neuron*, 53(5), 735-746.

47. Markram, H. (2007). Bioinformatics: industrializing neuroscience. *Nature*, 445(7124), 160-161.

48. Druckmann, S., Banitt, Y., Gidon, A., Schurmann, F., Markram, H., & Segev, I. (2007). A novel multiple

objective optimization framework for constraining conductance-based neuron models by experimental data. *Front Neurosci*, 1(1), 7-18.

49. Markram, H. (2008). Fixing the location and dimensions of functional neocortical columns. *HFSP Journal*, 2(3), 132-135.

50. Druckmann, S., Berger, T. K., Hill, S., Schurmann, F., Markram, H., & Segev, I. (2008). Evaluating automated parameter constraining procedures of neuron models by experimental and surrogate data. *Biol Cybern*, 99(4-5), 371-379.

51. King, J. G., Hines, M., Hill, S., Goodman, P. H., Markram, H., & Schurmann, F. (2009). A Component-Based Extension Framework for Large-Scale Parallel Simulations in NEURON. *Front Neuroinformatics*, 3,10.

52. Berger, T. K., Perin, R., Silberberg, G., & Markram, H. (2009). Frequency-dependent disynaptic inhibition in the pyramidal network: a ubiquitous pathway in the developing rat neocortex. *J Physiol*, 587(Pt 22), 5411-5425.

53. Hay E., Hill S., Schiirmann F., Markram H, Segev I (2011). Models of Neocortical Layer 5b Pyramidal Cells Capturing a Wide Range of Dendritic and Perisomatic Active Properties. *PLoS Computational Biology* 7(7): e1002107. doi: 10.1371/journal.pcbi. 1002107

54. Lasserre S., Hernando J., Hill S., Schuermann F., Anasagasti P.M., Jaoude, G.A., Markram H. (2011), A Neuron Membrane Mesh Representation for Visualization of Electrophysiological Simulations, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 99 (preprints): p. 1-1.

55. Shaul Druckmann, Thomas K, Berger. Felix Schiirmann, Sean Hill, Henry Markram, Idan Segev (2011), Effective stimuli for constructing reliable neuron models, Plos Computational Biology, 7(8): e1002133.
doi: 10.1371/journal.pcbi.1002133

56. Romand, S., Wang, Y., Toledo-Rodriguez, M., & Markram, H. (2011). Morphological development of thick-tufted layer V pyramidal cells in the rat somatosensory cortex. [Original Research]. *Frontiers in Neuroanatomy*, 5.

57. Anastassiou A.C., Perin R., Markram H. & Koch C, (2011), Ephaptic coupling of cortical neurons, *Nature Neuroscience*, 14:2 p 217

58. Perin R., Berger T.K., & Markram H. (2011) A synaptic organizing principle for cortical neuronal groups, *PNAS*, 108 (12)

59. Л.А. Станкевич. Когнитивный подход к управлению гуманоидными работами. В сборнике /3/. Стр. 386-444.

60. Big Dog Overview. November 22.2008.
[www.bostondynamics.com/img/Big Dog – overview.pdf](http://www.bostondynamics.com/img/Big_Dog_-_overview.pdf)

61. Marc Raibert, Kevin Blankespoor, Gabriel Nelson, Rob Playter and Bigdog Team.
[www.bostondynamics.com./img/Big Dog - IFAC - Apr – 8 – 2008. pdf](http://www.bostondynamics.com./img/Big_Dog_-_IFAC_-_Apr_-_8_-_2008.pdf)

62. Kar D.D. (2003). Design of statically stable Walking Robot: A Review.

J. Robotic Systems, 20 (11): 671-686.

63. Raibert M.H. (1986). Legged robots that balance. MIT Press, Cambridge M.A.

64. [www.smartvideos.ru/robot – asimo/](http://www.smartvideos.ru/robot-asimo/)

65. Hebb D.O. (1949). The organization of behaviour. Wiley. New York.

66. Edelman G.M. (1992). Bright air, brilliant fire: on the matter of the mind. Allen Lane, The Penguin Press, London.

67. Г.Н. Борисюк, Р.М. Борисюк, Я.Б. Казанович, Г.Р. Иваницкий. Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом – итоги «деятельности».

Успехи физических наук. 2002 г. т. 172. № 10 с. 1189-1214.

68. Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. Издательство МИР. 1992 г. 172 с.

69 DARPA Neural Network Study, AFCEA Int'l Press, Fairfax, Va., 1988.

70. J. Hertz, A. Krogh, and R.G. Palmer, Introduction to the Theory of Neural Computation, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1991.

71. S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation, MacMillan College Publishing Co., New York, 1994.

W.S. McCulloch and W. Pitts, "A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity", Bull. Mathematical Biophysics, Vol. 5, 1943, pp. 115-133.

72. R. Rosenblatt, "Principles of Neurodynamics", Spartan Books, New York, 1962.

73. M. Mimmsky and S. Papert, "Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry", MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

74. J.J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities", in Proc. National Academy of Sciences, USA 79, 1982, pp. 2554-2558.

P. Werbos, "Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences ", Phd Thesis, Dept. of Applied Mathematics, Harvard University, Cambridge, Mass., 1974.

75. D.E. Rumelhart and J.L. McClelland, Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition, MIT Press, Cambridge, Mass., 1986.

76. J.A. Anderson and E. Rosenfeld, "Neurocomputing: Foundation of Research", MIT Press, Cambridge, Mass., 1988.

77. S. Brunak and B. Lautrup, Neural Networks, Computers with Intuition, World Scientific, Singapore, 1990.

78 T. Kohonen, Self Organization and Associative Memory, Third Edition, Springer-Verlag, New York, 1989.

79. G.A. Carpenter and S. Grossberg, Pattern Recognition by SelfOrganizing Neural Networks, MIT Press, Cambridge, Mass., 1991.

80. John G. Nicholls, A. Robert Martin, Bruce G. Wallace, Paul A. Fuchs. From Neuron to Brain. Sinauer Associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts. U.S.A., 2001. – 672 p.

81. <http://human.brain-map.org>.

82. Б.М. Медников. Аксиомы биологии – М. Знание, 1982 – 136 с.

83. С.М. Блинков и И.И. Глезер. Мозг человека в цифрах и таблицах. Л. 1964 – 470 с.

84. В.В. Турыгин Проводящие пути головного и спинного мозга. Омск. 1977. – 73 с.

85. Мещеряков А.И. Слепоглухонемые дети. Развитие психики в процессе формирования поведения. М. 1974 г. - 318 с.

86. www.mnn.com

87. Рыбаков И. «Маугли не хотят возвращаться к людям». М. 1988.

88. Бауэр И. Почему я чувствую, что чувствуешь ты. Интенсивная коммуникация и секрет зеркальных нейронов. – СПб. Издание Вернера Регена. 2009.

89. Brain Hare. Science, 2002, vol. 298. № 5.
90. А. Неуронов. «Животные Москвы». 2005 г.
91. Flynn J. Searching for justice – The discovery of IQ gains time.
American Psychlogis. 1999, 54.
92. Greenfield P.M. The cultural evolution of IQ. In: Neisser, U.(ed.). The rising curve: long – term gains in IQ and related measures. Washngton D.C.: American Psychological Association. 1998.
93. R.F. Schmidt and Jhews. Human Physiology v.1. London. 1996. 323 p.
94. А.М. Иваницкий «Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания с. 75-92.
В сборнике: Мозг. Фундаментальные и прикладные проблемы. Под редакцией академика А.И. Григорьева. М. Наука 2010. 285 с.
95. М.Л. Цетлин Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М. Наука. 1969 г. 316 с.
96. Г.Р. Иваницкий, В.И. Кринский, Е.Е. Сельков «Математическая биофизика клетки»
М. Наука. 1978 г. 308 с.
97. Т.Е. Шмидт, Н.Н. Яхно. Рассеянный склероз. Издательство «МЕДпресс-информ» 2010 г., 272 с.

98. М.Р. Сапин, З.Г. Брыксина. Анатомия человека – М.: просвещение. 1995. 464 с.

99. В. Венгер, Р. Поу. Неужели я гений. Издательство: Питер. 2008г. 320 с.

100. Сигизмунд Фрейд «Инфантильный церебральный паралич» 1897г.

101. М.А. Островский. Актуальные направления современной науки о мозге. В сборнике – Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы /под ред. Акад. А.И. Григорьева – М: Наука, 2010 -285 с. (стр. 6-28).

102. Г.А. Шерозия. Влияние аномального скинэффекта на генерацию быстрых электронов в Z-пинчах. Письма в ЖЭТФ, т. 34, вып 11, стр. 564-567.

103. R.F. Post «High – temperature plasma research and controlled fusion». California. 1959. 117 p.

104. О.С. Никольская, Е.Р. Баенская, М.М. Либинг. Аутичный ребенок: пути помощи. М. 2007 г.

105. W. McDougall. An introduction to social psychology. London. 1908/

106. Джон Б. Уотсон «Психология с точки зрения бихевиориста». 1913. New York.

107. Dylan Evans. Emotion (The science of sentiment) Oxford University press. 2001.

108. Charles Darwin. The expression of the emotions in man and animals. London. 1872.

109. М.Г. Малахов – Герой России, к.м.н., полярный путешественник. Устное сообщение.

110. Maclean P.D. Brain evolution relating to family, play, and the separation call. Arch. Gen. Psychiatry 42, 405-417, 1985.

111. Newman, John D; Harris James C (Jan. 2009) «The scientific contributios of Paul D. Maclean (1913-2007).

J. Nerv. Ment. Dis (United States) 197 (1): 3-5.

112. Т.М. Марютина, О.Ю. Ермолаев. Введение в психофизиологию. М: Московский психолого-социальный институт: Издательство «Флинта», 2001 г – 400 с.

113. Геодакян В.А. (1992). Эволюционная логика функциональной асимметрии мозга. Доклады РАН. 324 №б. с. 1323-1326.

114. A. Maslow. Motivation and Personality, 1954.

115. С.В. Савельев, М.А. Негашева. Практикум по анатомии мозга человека: Учебное пособие для студентов вузов.- М: ВЕДИ, 2001 – 192 с.

116. А.Р. Лурия. Лобные доли и регуляция психических процессов. – М. 1966.

117. А.Р. Лурия. Основы нейропсихологии. М.1973.

118. А.Р. Лурия. Язык и сознание. М. 1979.

119. К.В. Судаков. Мозг как голографический экран действительности. Сборник. Мозг. Фундаментальные и прикладные проблемы. По материалам научной сессии Общего собрания Российской академии наук. 15-16 декабря 2009 г. Под ред. академика А.И. Григорьева. М. Наука. 2010. стр. 278-280.

120. Нейроэлектронный интерфейс: полупроводниковые чипы с ионными каналами, нервные клетки и мозг. <http://www.biochem.mpg.de/mnphys/>.

121. Эрик Кандель. В поисках памяти: возникновение новой науки о человеческой психике. М.: Астрель: CORPUS, 2012, 736 с.

122. Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. Под редакцией Б.И. Степанова и А.П. Иванова. Минск, 1971., 253 с.

123. И.В. Закурдаев, Е.Г. Чернобродов, Г.А. Шерозия. Измерение плотности импульсного атомного пучка методом атомно-флуоресцентной спектроскопии. Журнал прикладной спектроскопии. 2.08.1988г., т. 49, стр. 201-205.

124. Хорост Майкл (Michael Chorost). Всемирный разум. Интеграция людей и машин. – М.: Эксмо, 2011. – 288 с.

125. W.C. McCulloch and Pitts, «A logical Calculus of Ideals Immanent in Nervous Activity». Bull. Mathematical Biophysics, Vol. 5, 1943, pp. 115-133.

126. Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin. Artificial Neural Networks: A Tutorialn, Computer, Vol. 29, № 3, March, 1996, pp. 31-44.

127. Ширяев В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, Хаос и нелинейная динамика – М.; Красанд, 2011. – 232 с.

128. I. Foster, C. Kesselman, and S. Tuecke, «The Anatomy of the GRID: Enabling Scalable Virtual Organizations», International Iornal of High Performance Computing Applications, 15 (3), 200-222, 2001.

129. T. Myer, «GRID Computing: Conceptual Flyover for Developers», IBM Corporation, 1133 Westchester Avenue, White Plains, New York 10604, May 2003.

130. I. Foster, «The GRID: A New Infrastructure for st 21 Century Science», Physics Today, 55 (2), 42-47, 2002.

131. Vinton G. Cerf, Networks, Scientific American Special Issue on Communications, Computers and Networks, September, 1991.

132. Vinton G. Cerf, Guidelines for Internet Measurement Activities, October, 1991.

133. Vinton Cerf, Robert Kahn, A Protocol for Packet Network Incommunication (IEEE Transactions on Communications, May 1974).

134. Hinden R, and S. Deering, Editor, «IP Version 6 Addressing Architecture», RFC 1884, Ipsilon Networks, Xerox PARC, Decembre 1995.

135. Уэнделл Одом. Компьютерные сети. Первый шаг. М.: «Вильямс», 2005. с.432.

136. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи – М.: Лесарарт, 2003-288 с.

137. Abbate, Janet. Inventing the Internet. Cambridge, MA., MIT Press, 1999. 264 p.

138. Грир Тайсон, «Сети интранет».-М.: Русская редакция», 2000. – 368 с.

139. С.В. Корниенко, О.А. Корниенко. Искусственная самоорганизация и коллективный искусственный интеллект: на пути от индивидуума к социуму. В сборнике: От моделей поведения к искусственному интеллекту. Под редакцией В.Г. Редько. М.: КомКнига, 2010 – стр. 287 -343.

140. К.С. Демирчан, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. «Теоретические основы электротехники» в трех томах – СПб.: Питер т.1., 2003.- 462 с. т.2., 2003. – 575 с.

т.3.,2003 – 376 с.

141. О.В. Головин, «Радиоприемные устройства». Учебник. М.: Горячая линия – Телеком., 2002, - 381 с.

142. М.М. Бежанова. «Современные понятия и методы программирования». М.: науч. Мир. 2000. – 189 с.

143. М. Бен-Ари. «Языки программирования: практический сравнительный анализ: учебник по языку программирования» (перевод с англ.). М.: Мир. 2000. – 366 с.

144. С.В. Глушаков. «Программирование на Visual Basic 6.0» Харьков: ФОЛИО, 2002. – 493 с.

145. Ю.А. Быстров. «Электронные цепи в микросхемотехнике». – М.: Высшая школа, 2002. 382 с.

146. В.Н. Павлов. «Схемотехника аналоговых электронных устройств». – М., 2003, - 316 с.

147. В.В.Корнеев. «Базы данных: Интеллектуальная обработка информации». – М., Наука, 2000. – 352 с.

148. В.П. Леонтьев, «Новейшая энциклопедия Интернет», М.: Олма-Пресс, 2002. – 607 с.

149. А.Ф. Кравченко, «Физические основы функциональной электрики», Новосибирск. Издательство Новосиб. Университета, 2000. – 444 с.

150. В.В. Пасынков. «Материалы электронной техники» СПб.: Лань, 2003. – 365 с.

151. Панферов В.Н. Когнитивные эталоны и стереотипы взаимопонимания людей. Вопросы психологии, N.5, 1982, стр 139-141.

152. Панферов В.Н., О роли внешности в регуляции отношений – В сборнике: Человек и общество. Вып. 3. – Л., 1968, стр. 235-240.

153. Бодаев А.А. Формирование понятия о другом человеке как личности – Л., 1970. – 135 с.

154. Лиллиан Браун. «Путь к успеху», изд. Питер, Санкт-Петербург, 2001г.

155. Н.Рамси, Д. Харкорт. Психология внешности. – СПб.: Питер, 2009. – 256 с.

156. nao.nanojam.ru

157. <http://www.dailytechinfo.org /space/ 1341 – robot – robonaut>.

158. <http://www.dailytechinfo.org /robot/ 1341 – /robot/ 2566-eccerobot-2>.

159. Представление чисел в ЭВМ. <http://paananik.narod.ru /16/>.

160. А.Хилл, Механика мышечного сокращения, пер. с англ., М., 1972.

161. B.C. Abbott., D.R.Wilkie, "The relation between velocity of shortening and the tension – length curve of skeletal muscle", "Jornal of Physiology" 1953, v.120.

162. D.R. Wilkie, "The mechanical properties of muscle", British Medical Bulletin, 1956, v.12.

163. M. Shahinpoor and K.J. Kim, "Ionic Polymermetal Composites: I. Fundamentals", smart Material and Structure, Vol. 10, pp. 819-833, 2001.

164. M. Shahinpoor and K.J. Kim, "The effect of surface – electrode resistance on the performance of ionic polymer – metal composite (IPMC) artificial muscles", Smart Material and structure, Vol. 9, pp. 543-551, 2000.

165. K.J. Kim and M. Shahinpoor, "A Novel Metod of Manufacturing Three – Dimensional Ionic Polymer – Metal Composites (IPMC's) Biomimetic Sensors, Actuators and Artificial Muscle", Polymer, vol/ 43, N.3, pp. 797-802, 2002.

166. Buehler W.J., Gilfrich J.V. and Wiley R.C. "Effect of Low – Temperature Phase Changes on the Mechanical Properties of Alloys Near Composition TiNi", Jornal of Applied Physics, Vol. 34, N.5, May 1963, pp. 1475-1477.

167. J.D.W. Madden, N.A. Vandesteeg, P.A. Anguetil, P.G.A. Madden, A. Takshi, R.Z. Pytel, S.R.Lafontaine, P.A. Wieringa and I.W. Hunter, "Artificial muscle technology: physical principles and naval prospects", JEEE Jornal of Oceanic Engineering, 29.3, pp. 706-728, July 2004.

168. D.De Rossi, F. Carpi, A. Mazzoldi “Electrically responsive polymers as materials for “artificial muscles” – chapter in the book: “Soft actuators – aiming at realizations of artificial muscles”, Publisher: NTS Inc., 2004, pp. 2-18.

169. R. Alexander “Alastic Mechnisms in Animal Movement”, Cambrige University Press, Cambrige, U K, 1988, pp. 56-69.

170. Ju Li, “Solitons could power molecular electronics, artificial muscles” –
<http://researchnews.osu.edu/archive/soliton.htm>

171. T. Noritsugu and T. Wada, “Application of Artificiale Rubber Muscle to Robot”, Jornal of the Robotics Society of Japan, vol.9, N.4, pp.502-506, 1991.

172. T. Noritsugu, et al., “Wearable Power Assist Device for Standing ap Motion Using Pneumatic Rubber Artificial Muscles”, Jornal of Robotics and Mechatronics, vol. 19 N.6, pp. 619-628, 2007.

173. D. Sasaki, T. Noritsugu, H.Yamamoto and M. Takaiwa, “Development of Power Assist Glove using Pneumatic Artificial Rubber Muscle”, Jornal of Robotics Society of Japan”, vol.24, N.5, pp. 640-646, 2006.

174. M. Aragane, T. Noritsugu, et al., “Development of Sheet – like Curved Type Pneumatic Rubber Muscle and Application to Elbow Power Assist Wear”, Jornal of the Robotics Society of Japan, Vol. 26, N.6, 2008.

175. B. Tondu and P. Lopez, "Modeling and control of McKibben artificial muscle robot actuators", IEEE Control Systems Magazine, vol. 20, N.2, 2000, pp.15-38.

176. F. Daerden and D. Lefeber, "Pneumatic artificial muscles: Actuators for robotics and automation", European Journal of Mechanical and Environmental Engineering, Vol. 47, N.1, 2002, pp. 11-21.

177. C.P. Chou and B. Hannaford, "Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, N.1, 1996, pp.90-102.

178. R.H. Baughman, "Giant – Stroke, Superelastic Carbon Nanotube Aerogel Muscles", Science, 2009.

179. R.H. Baughman, "Auxetic materials: Avoiding the shrink". Nature (2003), 425 (6959), 667.

180. R.H. Baughman, A.A. Zakhidov, A. de Heer Walt, "Carbon nanotubes – the route toward applications", Science (2002 Aug.2), 297 (5582), 787-792.

181. R.H. Baughman et al, "Carbon nanotubes actuators", Science (1999), 284 (5418), 1340-1344.

182. Rene Descartes "Principia philosophiae", 1644.

183. Ю.И. Либих. Химия в приложении к земледелию и физиологии. М.; Л., 1936.

184. И.С. Шкловский. Вселенная, жизнь, разум. М.Наука. 1987, 320 с.

185. Савельев С.В.. Изменчивость и гениальность. М.: ВЕДИ. 2012.- 128 с.

186. Савельев С.В. Происхождение мозга. М.: ВЕДИ. 2005.- 156 с.

187. Савельев С.В. Возникновение мозга. М.: ВЕДИ, 2010.- 215 с.

188. Colombo J.A., Reisin H.D., Miguel-Hidalgo J.J., Rajkowska G. Cerebral cortex astroglia and the brain of genius: a propos of A. Einsteins. Brain Res. Rev. – 2006. – v. 52, № 2., P. 257 - 263.

189. Diamond M.C., Scheibel A.B., Murphy G. M. Jr., Harvey T. On the brain of a scientist: Albert Einstein. Exp. Neurol.-1985. –v. 88, №. 1., p. 198-204.

190. Богуславский В.М. Ламетри. М., Наука, 1977.

191. Балабан П.М. Инновационная технология исследования мозга. В сборнике: Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы. Под ред. акад. А.И. Григорьева. – М.: Наука, 2010 – 285 с.

192. Hayflick L. (1965). The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains – Exp. Cell Res. 37 (3) : 614-636.

193. Olovnikov (1973). A theory of marginotomy. The incomplete copying of template margin in enzymic synthesis of polynucleotides and biological significance of the phenomenon. – J. Theor. Biol. 41. (1): 181-190.

194. Fucks B. and Martinez M. Cytochemistry of RNA in metaphase chromosomes of human PHA-blasts. *Exp. Cell Res.* 79 (1973), 338-342.

195. Kipling D. et al. Telomere-dependent senescence. – *Nat Biotechnol.* 1999 Apr; 17 (4); 313.

196. Mariela Jaskelioff et al. Telomerase reactivation reverses tissue degeneration in aged telomerase deficient mice. – *Nature.* 2011, January 6; 469 (7328); 102-106.

197. С.М. Блинков, М.Х. Самибаев, Ф.А. Айзенштейн. *Очерки о нейроглии.* – Т.: Медицина, 1983-131 с.

198. И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. *Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления.* – М.: Наука. 2006-333с.

199. Karl H. Pribram. *Languages of brain. Experimental Paradoxes and Principles in neuropsychology.* 2005.-464 p.

200. А.Л. Шамис. *Пути моделирования мышления.* – М.: КомКнига. 2006-336 с.

201. А.Н. Коновалов, С.М. Блинков, М.В. Пуцилло. *Атлас нейрохирургической анатомии. АМН СССР.* – Медицина, 1990, 336 с.

202. М.Р. Сапин, Г.Л. Билич. *Анатомия человека. Кн.1, Кн.2.* ООО «Издательство «Мир и образование». 2007.- 480 с.

203. А.И. Марков, И.М. Байриков, С.И. Буланов. Анатомия сосудов и нервов головы и шеи. «Высшее образование». – Ростов. и/д: Феникс, 2005.-160 с.

204. Крис Фрит. Мозг и душа. Как нервная деятельность формирует наш внутренний мир. – М: Астрель: CORPUS. 2012-335 с.

205. С.Г. Калиниченко, П.А. Мотавкин. Кора мозжечка. Ин-т биологии моря ДВО РАН. – М. Наука. 2005-319 с.

206. П. Косса. Кибернетика. От человеческого мозга к мозгу искусственному. Издательство Иностранной литературы. М. 1958-120 с.

207. Н.К. Верещагин, В.А. Успенский, А. Шень. Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность. – М.: МЦНМО, 2013, 576 с.

208. John Long. Darwin`s devices. What evolving robots can teach us about the history of life and the future of technology, - 2012. 253 p.

209. Basic physiology – Edited by P.D. Sturkie. – 1981 by Springer – Verlag New York Inc, 556 p.

210. Г.Р. Иваницкий – Запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы. УФН. Письма в редакцию. Апрель 2011. Т. 181. № 4. стр 451-454.

211. А.М. Эндрю. Мозг и вычислительная машина. 1967. М. Издательство МИР. 98 с.

212. Sperry R. A modified concept of consciousness. *Physiol., Rev.*, v.76, 532 (1969).

213. С.А. Саркисов (ред.). Атлас цитоархитектоники коры большого мозга человека. М. Медицина, 1955, 450 с.

214. Астратян Э.А. Очерки по физиологии условных рефлексов. М. Наука. 1970 г.

215. Новикова Л.А. Электроэнцефалография и ее использование для изучения функционального состояния мозга – М.: Педагогика, 1978, с. 155÷177.

216. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга. – М.: Высшая школа. 1976.

217. Болдырев А.И. Эпилепсия у взрослых. М.: Медицина, 1984, 288 с.

218. Timofeev I., Grenier F. Steriade M. (2001) Disfacilitation and active inhibition in the neocortex during the natural sleep-wake cycle: An intracellular study. *Proc Natl Acad Sci. USA.* 98: 1924-1929.

219. Steriade M., Timofeev I., Grenier F. (2001) Natural waking and sleep states: A view from inside neocortical neurons. *J. Neurophysiol.* 85: 1969-1985.

220. Рапопорт Г.Н., Герц А.Г. Биологический и искусственный разум: Ч.1 Сознание, мышление и эмоции. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.-184 с.

221. Tononi G, Edelman GM: Consciousness and complexity. *Science* 1998, 282(5395): 1846-1851.

221. Tononi G: Information measures for conscious experience. *Arch Ital Biol* 2001, 139(4): 367-371.

223. Tononi G: Consciousness and the brain: Theoretical aspects. In *Encyclopedia of Neuroscience* 3rd edition. Edited by: Adelman G, Smith, B. Elsevier; 2004.

224. Tononi G, Sporns O: Measuring information integration. *BMC Neurosci* 2003, 4(1): 31.

Благодарности

Авторы благодарны своим семьям, за возможность использовать все свое свободное время для работы над этой книгой. Увы, алгоритм совмещения интенсивной научной работы и выполнения семейных обязанностей до настоящего времени не создан.

Авторы благодарны своим друзьям и сотрудникам Денисову А.Е., Гатиной Н.Г., Суслову А.И., Лаврову А.М., Мишину Ю.С., Пруидзе Д.В., Малахову М.Г. за многочисленные обсуждения и доброжелательную критику идей, излагаемых в книге. Наши друзья были в этой работе нашими интеллектуальными спарринг партнерами. Отбивая вброшенную мысль на нашу сторону в этом ментальном пинг-понге, им удавалось придать мысли новое звучание и значение. Мы надеемся, что эти обсуждения были для них так же интересны как и для нас.

Также авторы выражают благодарность Кисаровой М.А., Горячко Е.Е., Коновалову А.Е. за большую помощь при подготовке книги к изданию.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Монография

Шерозия Георгий Аркадьевич
Шерозия Максим Георгиевич

Человеческий разум,
рожденный в сетях искусственных логических элементов –
введение в проект создания нового человека

Подписано в печать 15.02.2012 г. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 19. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Times New Roman.
Тираж 1000 экз. Заказ № 148.



Отпечатано в ЗАО «ПРИЗ»
390010, г. Рязань, проезд Шабулина, 4
Тел.: (4912) 21-44-21
www.prizprint.ru