

Краткая история нейроинформатики

Ф.В. Широков

1. Нейроинформатика - у истоков

*Придут дни последних заустений,
Земные нивы оскудеют вдруг.
Уйдут остатки жалких поколений
К теплу и солнцу, на далёкий юг.*

Валерий Брюсов
Эсхатологические мотивы

Поздней осенью 1943г. я попал на доклад члена Политбюро Емельяна Ярославского. Он выступал перед военной аудиторией с оценкой военного положения. Курская танковая битва была выиграна, и советские войска удар за ударом освобождали нашу страну от вражеских армий. Перелом в войне уже наступил.

"Академик Капица думает, - сказал Е. Ярославский, - что в ближайшее время возможно создать атомную бомбу, каждая из которых сможет уничтожить маленький город". Я хорошо помню с тех пор эту фразу.

Уже тогда Советский Союз полным ходом вел работы по созданию своего атомного оружия.

В 1943 в самый разгар войны был создан учебный институт, который должен был готовить инженеров - разработчиков оружия. Он назывался Московский Механический Институт. Позднее его стали называть МИФИ - Московский Инженерно-Физический Институт.

В том же 1943 г. в Америке вышла статья Уоррена МакКаллока и Уолтера Питтса "Исчисление идей, имманентных нервной активности". Ее написал маститый нейрофизиолог У. МакКаллок и никому не известный студент У. Питтс. Кажется, У. Питтс так и не окончил университета.

Авторы вводили в статье свою математическую модель нейрона и нейросети, от которой берет начало современная нейроинформатика.

Её новейшее направление – нейроморфная инженерия, в рамках которой реализуется сейчас проект SCX – Silicon Cortex – кремниевая мозговая кора.

К концу войны на механико-математическом факультете МГУ были созданы первые группы вычислителей. Работа по созданию советской атомной бомбы требовала и создания своих собственных вычислительных машин. Первые сведения о логических регистрах, ртутных линиях задержки и о другой элементной базе сообщались студентам-вычислителям под охраной часового.

В августе 1945г. атомные бомбы смели японские города Хиросима и Нагасаки. Япония безоговорочно капитулировала. И стало ясно, что мир, в котором теперь предстоит жить человечеству, будет совсем иным.

Это будет мир атомной физики и всех подкрепляющих ее дисциплин: химии, математики, вычислительной техники.

Вскоре после окончания Второй Мировой Войны Джон фон Нейман написал свой замечательный отчет о первой электронной вычислительной машине ЭНИАК. У него, правда, были предтечи – немец К. Цузе, американский болгарин Дж. Атанасов. Отчет был написан в терминах нейронов МакКаллока-Питтса. Фон Нейману нужна была форма, зависящая от конкретной элементной базы, от тех громоздких "элементов", на которых строились тогда первые вычислительные машины. Он избрал элегантные нейроны МакКаллока-Питтса. Этот факт произошёл в нашей стране как-то незамеченно. То ли потому, что первые экземпляры отчета были заслонены штыком часового, то ли попросту из-за нехватки воображения у первых русских читателей.

Началось трудное развитие вычислительной техники. Но в Советском Союзе начались и другие, очень важные перемены. Указом И. Сталина была поднята заработная плата всем научным работникам Стране и военно-промышленному комплексу были нужны физики, математики, химики, металлурги, но зарплата была увеличена всем.

Диктатор создавал питательную среду, из которой выйдут талантливые и гениальные творцы нового. Руководство страны понимало, что собственных "Платонов и быстрых разумом Невтонов" надо культивировать в режиме обеспеченной семьи. Были заложены новые учебные заведения, такие, как физико-технический и, как мы уже говорили, Инженерно-физический институты. Ещё во время войны был открыт и Московский Государственный Институт Международных Отношений (МГИМО). Стране были нужны также новые кадры дипломатов, хорошо подготовленных профессионалов. И хотя с самого начала было ясно, что

ГИМО - институт привилегированный, для поступления в него не надо было быть сыном партийного бонзы. Образование - бесплатное образование - было доступно всем, ВСЕМ. При Диктаторе был основан Всесоюзный Институт Научной и Технической Информации (ВИНИТИ), а его диффузивные журналы охватили все направления науки. По повелению диктатора было основано Издательство Иностранной Литературы с высокой заработной платой. В издательстве были естественно-научные редакции от сельскохозяйственной до математической и гуманитарные от географической до философской. Издательство знакомило советских читателей даже с книгами гитлеровских генералов (Типпелькирх "Вторая Мировая Война") и с новейшими направлениями математической мысли.

Это считалось нужным для культивирования научной среды. Шоковая терапия не применялась, но в целом ИЛ - Издательство Иностранной Литературы, несомненно, играло огромную просветительную роль.

Весь этот мощный задел просуществовал до начала так называемой "перестройки".

Осенью 1955 г. проф. А.Г. Курош пригласил меня работать его заместителем. Он заведовал математической редакцией ИЛ'а. Я работал перед этим два года в ВИНИТИ, набравшись опыта в понимании и редактировании иностранных источников. Английский язык культивировался в нашей семье, и еще перед поступлением в МГУ я за три месяца научил его настолько, что никогда не посещал языковых занятий.

Мой отец - кадровый военный - владел также и китайским языком. В нашем доме хранилась книга стихов китайского поэта Ли Тай-бо. Однажды, катаясь вечером на лодке, Ли Тай-бо увидел в озере луну, и прыгнул за ней ... Отца, носившего два ромба, убили в Хабаровской тюрьме, у ворот которой нес охрану его младший брат, тогда красноармеец.

Итак, профессор А.Г. Курош пригласил меня в ИЛ на должность его заместителя.

Издательство помещалось в комплексе зданий, построенных русским военачальником Бахрушиным, - богадельня и детский приют Бахрушина. В этом комплексе доживает свой век издательство Мир - обрубок, оставшийся от ИЛ'а. Книга - научная книга - в эпоху яростного маркетинга недоступна основной массе научных работников. Питательная среда, призванная выращивать Невтонов, уничтожена.

Остров доктора Моро...

В мои обязанности входил просмотр новейших научных журналов и поиск в них информации о новых книгах по математике, механике

и астрономии, вышедших за рубежом, а также книг по таким дисциплинам, как математическая экономика. Эта наука только зарождалась, редакция экономической литературы не могла её "поднять".

В феврале 1956г. я обнаружил в журнале Символической логики (Journal of Symbolical Logic) сообщение о том, что в Принстоне в знаменитой "оранжевой" серии Американского математического общества вышла книга Automata Studies под редакцией К. Шеннона и Дж. МакКарти.

Имя Клода Шеннона, профессора Массачусетского Технологического Института, мы хорошо знали. Это был создатель теории информации. Имя Джона МакКарти, он был тогда докторантом этого Института было никому не известно. Он выступил позднее как автор языка ЛИС - языка искусственного интеллекта. Кажется сам термин "Искусственный интеллект" (Artificial Intelligence) принадлежит ему. Но тогда, 1956г., с его именем у нас ничто не ассоциировалось.

Мы приняли решение заказать книгу Automata Studies из Америки по телеграфу, и в марте 1956г. она пришла. Это была первая в истории коллективная монография по теории нейронных сетей. Она опиралась на исчисление идей МакКаллока-Питтса.

Я поехал с книгой к дедушке русской кибернетики Алексею Андреевичу Ляпунову. Мы написали письмо директору ИЛ'а с просьбой дать книгу срочно, вне всяких планов и графиков.

Директором Издательства был в то время Павел Андреевич Чувиков, партийный работник, читавший марксистские дисциплины в партийных высших учебных заведениях. Человек резкий и требовательный, но умный. Он никогда не мешал специалистам работать. И он сказал "Добро". Дрожащей рукой я разрезал книгу на статьи, ксерокса тогда не существовало. И разослал статьи переводчикам. Большую часть я послал в Ригу, молодому латышскому логика Вилнису Карловичу Детловсу. Мы радовались тогда тому, что в новых советских республиках возникали научные школы и что теперь в Риге есть кое-что, отличное от буберта (манная запеканка с вареньем). Я не знал В.К. Детлова лично, но отзывы о нем коллег-логиков были высокими. Разумеется, как и всякий переводчик, он должен был выполнить пробный перевод.

К лету 1956 г. полный перевод книги, по-русски мы назвали ее просто "Автоматы", лежал у меня на столе. Это было подлинное интеллектуальное пиршество - статья Стефена Коула Клини о представлении событий в нейронных сетях, статья Джона фон Неймана "Синтез надежных организмов из ненадежных компонент", машины Мура, гомеостазис У. Росса Эшби.

Я пригласил Ю.Т. Медведева, ученика А.Н. Колмогорова, одного из самых "тонких" дискретчиков помочь мне в редактировании рукописи. Мы не делили ее пополам; "в четыре руки" прошли ее всю от корки до корки. И, согласовав друг с другом нашу правку, сдали книгу к началу августа в печать.

Параллельно с "Автоматами" через редакцию прошла "плановая" книга С.К. Клини "Введение в метаматематику" – первая переводная книга по математической логике. Ведь эта дисциплина конфликтовала с диалектической логикой философов-марксистов. Мы хотели поднять престиж книги Клини, опасались, что ее постигнет участь изданной перед войной книги Ф.Хаусдорфа. "Теория множеств" Хаусдорфа, крайне важная многим математикам, стала библиографической редкостью едва ли не повсюду, исчезнув с прилавков книжных магазинов. Поэтому я написал бессостыжную рекламную листовку. Я утверждал, что читать книгу "Автоматы" сможет только тот, кто проштудирует "Метаматематику".

В сентябре заявки на Клини перевалили за 7 тысяч экземпляров, а заявки на "Автоматы" составили 12 тысяч.

Юрий Тихонович привез из отпуска абстрактное определение автомата. До этого автоматы строились только в виде нейронных сетей. В руках у Юрия Тихоновича автоматы обрели свое собственное независимое существование. Мы добавили его статью к русскому переводу "Автоматов".

Позднее Американское Математическое Общество заметило эту статью и в виду ее важности выпустило ее английский перевод. В СССР статья Ю.Т. Медведева сыграла свою роль в судьбе таких институтов как Институт Кибернетики Украинской АН (первый и бессменный директор – Ю.М. Глушков) и Институт Автоматики и Вычислительной техники Латвийской АН (директор Э.А. Якубайтис). Оба эти института выросли во многом на проблематике конечных автоматов.

Мы разыскали в московских библиотеках исходную "зародышевую" статью У. МакКаллока и У. Питтса. Это значит, что во время войны в Россию шли конвои, которые везли не только военное снаряжение, не только Доджи и Аэрокобры, не только сапоги и свиную тушенку. Они везли также научную литературу, журналы и книги, и я могу лично утверждать, что "Кабинет математики" – научная библиотека при мехфаке МГУ – в 1943 исправно снабжался новыми зарубежными книгами и журналами. В 1943 г.!!!

Изоляция от научно-технической литературы наступила позднее. Её существенно организовали в начале 90-х годов, обрубив подписку библиотек на зарубежные научные газеты, журналы и книги.

Итак, мы разыскали "исчисление идей" МакКаллока-Питтса и до
вили его перевод к русскому изданию "Автоматов". Нам был никто
указ, только – научная целесообразность. И книга вышла 12 дека
1956 г., в том же году, когда она была опубликована в Америке.

Страна жила в обстановке оттепели, и нам отчаянно хотелось ра
тать ...

Так начиналась история нейронных сетей в СССР, теперь – в Рос
А что происходило дальше, кто такие Д.О. Хебб, Э. Кайянелло, К
вер Мид и Микаэла (Миша) Маховальд, мы расскажем в дальнейш
статьях, подводя читателя к новейшему проекту кремниевой мозго
коры.

2. Колыбель нейрочипов Калтек

*Рука, которая сегодня колышет колыбель
искусственного интеллекта, завтра
будет управлять миром.*

Э.Фейгенбаум. Стэнф

Сто лет назад в Пасадене – спутнике Лос-Анжелеса – был основан
лифорнийский Технологический Институт. В той самой Пасадене,
теперь ежегодно проходят знаменитые парады роз. Пасадена не з
зимы; а Калтек, кажется, не знает каникул. Сегодня это – один из г
ных интеллектуальных центров Америки. Здесь, именно здесь, р
лась нейромикроэлектроника. Здесь Карвер Мид, профессор микроэ
троники по кафедре Гордона и Бетти Мур, создал первые нейром
схемы – кристалл сетчатки (retina chip) и, совместно с сотрудник
учениками, – кристалл (ушной) улитки (cochlea chip). К. Мид при
Калтек в 50-е годы и никогда не покидал. Здесь он написал свою
рую книгу "Аналоговые СБИС и нейросистемы", которая стала с
же знаменитой как и первая – "Введение в СБИС системы" – напи
ная им здесь же в 1977г. совместно с Линной Конвей. Первая с
переведена на японский, но так и не увидела своего издания на русс
Вторая тоже будет, по-видимому, переведена на японский...

К. Мид – вероучитель, а его "Введение" – библия нового учения
несет в себе мир высокой технологии, творит и распространяет это
ние. В конце 60-х годов он предсказал революцию микроэлектрон

¹Подпольный перевод был сделан в бывшем ... Жизненным кредо этой орга
нии была кража объектов интеллектуальной собственности.

изучал физику электронных приборов, – вспоминает К. Мид, – и я хотел узнать сколь малым может быть транзистор, прежде чем он откажет. Я предсказал, что транзистор можно уменьшить до двух десятых микрона. Именно тогда я понял, что микросхемы проникнут всюду. Но все вокруг только смеялись.”

Ежедневно по утрам он приходит в лабораторию работать над своими проектами. ”Миру не нужны теории – говорит он. – Миру нужно, чтобы делались вещи.” В 1965 г. он сделал первый транзистор на арсениде галлия, имевший коммерческий успех. Работа К. Мида проложила путь к новому изобретению, которое усовершенствовал один из его учеников – Дэвид Йоханссен. Это был кремниевый транслятор, породивший волну изобретений в области инструментария для проектирования СБИС. В 1981 г. была основана фирма Silicon Compilers Inc. (ныне – Silicon Compiler Systems). Еще одна фирма, основанная тогда же и связанная с учением Карвера Мида – VTI или, более развернуто, VLSI Technology Inc.

Деньги для создания этой фирмы дали аэрокосмические корпорации. Первоначальной задачей VTI было распространение метода Мида – обучения этому методу неопитов. Аэрокосмическим корпорациям были нужны заказные СБИС. Сейчас VTI – одна из самых известных фирм в области проектирования СБИС.

К. Мид играл ключевую роль в старте дюжины микроэлектронных фирм. Это также ”вещи”, сделанные его руками. ”Я обнаружил, – говорит он, – что компании, способные к долгосрочному росту, вносят какой-то глубокий интеллектуальный вклад. Они стремятся иметь глубокие корни в исследовательской среде. Не всегда они оказываются успешными делателями денег, но они всегда вносят большой вклад.”

Самая честолюбивая работа К. Мида – основанная им новая наука нейромикроэлектроника. ”Нервная система – устрашающий вычислительный инструмент, он на шесть порядков превосходит лучшие суперкомпьютеры. Мы начали заниматься этим в Калтек’е семь лет назад”, писал он в 1989 г. Он видит новый скачок интеграции микросхем – до пяти миллиардов связанных между собой транзисторов.

Нейромикротехнология породила новую коммерческую компанию – Optics Inc.

И вот, наконец, – еще одно ”изделие” Мида – Микаэла (Миша) Маховод. В научной литературе это имя появилось, по-видимому, впервые в 1987 г. А в 1988 г., в первом же выпуске только что основанного тогда журнала ”Нейросети” была опубликована статья Карвера Мида и Миши Маховод ”Кремниевая модель зрительной преобработки” (Mead C.A.

Mahowald M.A. A silicon model of early visual processing, Neural Networks v.1, n.1 pp. 91-97, 1988). А на стыке 1991 и 1992 гг. в журнале "Нейче ("Природа") вышла статья Миши Маховальд и Родни Дж. Дуглас кратким названием "Кремниевый нейрон" (Mahowald M. Douglas R. Silicon Neuron, Nature, V.354, n.6354, pp. 515-518, 19/26 Dec. 1991). Э название редакция "Природы" вынесла на обложку.

Родни Дж. Дуглас – сотрудник подразделения анатомической ней фармакологии (Anatomical Neuropharmacology Unit) Оксфордского у верситета, а Миша Маховальд – еще совсем молодая особа – доктора Калтек'а по лаборатории вычислений и нейросистем (Computation and Neural Systems Laboratory). В "Компьютерном Мире" помещена ее с тография – лицо с характерным взглядом, обращенным внутрь (Wil C. Recreating the Human Brain Cell, Computer-world v.XXVI, n.4, p.22 Jan. 1992).

М. Маховальд начала свои занятия в Калтек'е как студентка биз гии с интересами в области физики нервных систем. К микроэлект нике она пришла под влиянием Карвера Мида; Родни Дж. Дуглас та не микроэлектронщик, он – нейрофизиолог. Карвер Мид, основат нейромикроэлектроники, говорил о необходимости изучения нейроби логии студентами электронных факультетов, однако начался и обр ный процесс: проникновение в электронику студентов биологов. Э обратный поток привел к огромному достижению – к созданию крем евого нейрона как аналоговой СВИС.

Название этого достижения и вынесено на обложку "Природы". как же произошло оно, это очередное чудо конца ХХ-го века. Что ну делать с наукой, чтобы студенты биологии создавали новое знани чуждом, казалось бы, для них мире?

Вернемся назад, далеко назад...

Все началось с садового горошка. Терпеливый австро-чех И Мендель (1822–1884), в монашестве брат Грегор, выращивал его, с щивал и наблюдал, как передаются по наследству внешние призна окраска и форма семян. Тогда это была еще Австро-Венгрия, а г док, где находился монастырь братьев-августинцев, назывался Бр Теперь это – Брно, столица чешской провинции Моравия.

Работа требовала не только аккуратности, но и прозрения. Б Грегор понял, что наследственность дискретна и что за ней стоит ка то удивительный механизм, определяющий эту дискретность. Свою боту он доложил Обществу Естествоиспытателей в Брюнне (1865), а рез год – опубликовал в его трудах. Однако ученые ботаники отве работу монаха, а сам он был вскоре забыт. Его эксперименты с "яс

кой” и пчелами не удались. На грани XX-го века трое независимых исследователей – Гуго Де Фриз, Карл Эрих Корренс и Эрих Чермак из Голландии (Амстердам), Германии и Австро-Венгрии (Вена) – переоткрыли открытия Менделя и началось быстрое развитие генетики.

В 1866 году, в том самом, когда брат Грегор опубликовал свою работу, в городке Лексингтон штата Кентукки родился Томас Хант Морган. Он окончил отделение зоологии Университета Кентукки и к началу XX-го века был уже известным ученым в своей области – в экспериментальной эмбриологии. На 1908 г. приходится начало его исследований в генетике. Он выбрал дешевый материал – плодную мушку *Drosophila*. Природа наследственности едина. Цель состояла в том, чтобы определить, какую роль играют хромосомы в передаче физических признаков поколения к поколению. Мендель писал об “элементах”, термин “ген” был введен только в 1909 г., примерно тогда же, когда начался Моргановский период. Работая в Колумбийском университете, Т.Х. Морган создал там первую школу генетики. Гены идентичны элементам Менделя и каждый занимает определенное место в определенной хромосоме – таков был основной итог работ этой школы.

В 1927 г. создатель хромосомной теории наследственности, получив предложение от Роберта Милликена – президента Калифорнийского биологического Института – основать в Калтек’е департамент биологии (Biology Department). Физик Р. Милликен, измеривший заряд электрона в эксперименте с падением масляных капелек, уже был в то время лауреатом нобелевской премии. В ответ биолог Т.Х. Морган предложил организовать не просто департамент, а Биологические Лаборатории (The Biological Laboratories). “Это обеспечит большую свободу, предоставив каждой группе исследователей независимую опору и придав им большую гибкость на будущее... У меня нет честолюбивого устремления быть боссом этого дела (boss of the job), я хочу лишь собрать воедино людей, усесться за собственную работу и делать все, что я могу, для координации и помощи в конструктивном продвижении дела”, – писал Морган в письме одному из своих коллег (Дж. Э. Хейлу).

Как возникли в Калтек’е Керхоффские лаборатории биологических наук. В начале тридцатых годов их посетил Альберт Эйнштейн. “Какая черта вы что-то делаете в таком месте, как это?” – спросил он Т.Х. Моргана. “Будущее биологии лежит в применении методов физики, химии и математики”, – ответил Генетик. “Думаете ли вы, – настаивал физик, – что вам когда-либо удастся объяснить в терминах химии или физики столь важное биологическое явление, как первая любовь?” ...

В 1933 г. Т.Х. Морган получил нобелевскую премию за создание хромосомной теории наследственности.

Личность Т.Х. Моргана, его стремление "пригласить физиков в биологические лаборатории и биологов - в физические" создали ту атмосферу, в которой на протяжении последующих десятилетий развивалась биология в Калтек'е. Керхоффские биологические лаборатории стали всемирным центром генетики, генератором нобелевских премий по биологии.

В 1937 г. в Америку эмигрировал из Германии Макс Дельбрюк (1906-1981). Он родился в Берлине и изучал теоретическую физику в лучших университетах Германии: в Тюбингене, Берлине и Бонне, и в 1930 под руководством Макса Борна он защитил диссертацию на степень доктора философии (PhD) в Геттингенском университете. В 1932 совершая паломничество в Институт Теоретической Физики в Копенгагене, он присутствовал на лекции, прочитанной Нильсом Бором. Н. Боров говорил, что жизнь, быть может, не сводима к атомной физике, а обзывает по отношению к ней "дополнительную структуру", подобно тому как дополнительные друг к другу волновые и корпускулярные свойства света".

Поиск дополнительности стал основой всех работ М. Дельбрюка в биологии. В 1932-1937 гг., работая в Институте Кайзера Вильгельма (ныне Институт Марка Планка), он исследовал влияние ионизирующей радиации на генетический материал. За год до эмиграции М. Дельбрюк опубликовал совместно с Г.В. Тимофеевым-Ресовским работу о влиянии космических лучей на происхождение видов (M. Delbrück, H.W. Timofeef-Ressovsky, Cosmic Rays and the Origin of Species, Nature, v.137, pp.378 ff., 1936), а еще раньше, в 1935 г., совместно с Тимофеевым-Ресовским и Циммером он опубликовал квантово-механическое объяснение мутаций. Эта работа принесла ему известность, поскольку Эрнст Шредингер в своей знаменитой книге "Что такое жизнь?" посвятил целую главу: "Модель Дельбрюка"²

В Америке М. Дельбрюк отправился, разумеется, в цитадель морганизма Калтек. Он "нанялся в подмастерья" к биохимику Э. Эллису, которым они исследовали бактериофаги, представляющие собой "не вроде атомов биологии". Вдвоем они основали генетику фагов. При Дельбрюке сформировалась Фаговая группа. В 1947 г. М. Дельбрюк получил звание профессора биологии в Калтек'е, а в 1969 г. ему, совместно с А. Херши и С. Лурия, была присуждена нобелевская премия.

²Книга эта была переведена на русский язык и вышла под редакцией Тимофеева-Ресовского вскоре после его освобождения из советского концлагеря.

исследования по биологии фагов. Умер М. Дельбрюк в 1981 г., т.е. в том году, когда Япония объявила о своем проекте вычислительных систем пятого поколения и когда К. Мид и Л. Конвей получили премию журнала "Электроникс" за свой метод разработки интегральных схем.

В пригороде Берлина - Berlin-Buch - в сентябре 1991 г. был открыт Институт Молекулярной Медицины имени Макса Дельбрюка (см. R. Stein, Max Delbrueck-Centrum fuer Molekulaere Medizin" in Berlin nimmt seine Arbeit an, Deutsche Tribuene, N 66, 24 Januar 1992, S.13-14; перепечатка одноименной статьи из Der Tagesspiegel Berlin от 11 января 1992 г).

В названии этой новой крупной исследовательской организации употреблен торжественный термин Молекулярная Медицина. Так эмигрант Макс Дельбрюк вернулся к себе на родину.

В том же году, когда М. Дельбрюк перебрался в Калтек, группа бывших студентов этого университета, ибо Калтек - университет в лучшем смысле этого слова, основала журнал "Техника и наука" (Engineering and Science). В юбилейном номере к пятидесятилетию "Техники и науки" Карвер Мид в своей статье "Нейрохардвер для зрения" (C.A. Mead, Digital Hardware for Vision, Engineering and Science, v.L, n.5, June 1987, pp. 2-7) писал:

"За последнее десятилетие или близко к этому знание о том, что происходит в мозгу, росло с потрясающей быстротой. Когда двадцать лет назад Макс Дельбрюк впервые заинтересовал меня биологией, картина была, как мы его тогда себе представляли, была совсем простецкой и далеко менее аналоговой по своей природе. В то время нейробиологи были полностью заняты нервными импульсами и тем, как эти импульсы выносятся нейронами. Сейчас они гораздо глубже рассматривают принципы, на которых основаны нейровычисления. И здесь нас подстерегают неожиданности. Нервные импульсы, которые являются квазицифровыми, играют удивительно малую роль в фактическом вычислительном процессе. Основная часть этих вычислений - аналоговая, и она происходит на самых кончиках дендритного дерева нейрона. По всему мозгу распределена обратная связь, идущая от кончиков дендритов к ядрам, которые управляют этими дендритами. Эти новые открытия заставили нас бросить свежий взгляд на нейровычисления и посмотреть, сможем ли мы синтезировать системы, которые имеют определенные свойства реальных нервных систем." В 1987 г., когда писались эти строки, Миша Маховальд уже работала с Карвером Мидом и, возможно, обсуждали идею кремниевого нейрона.

К. Мид называет себя "пожизненным заключенным" Калтек'а: "I'm a prisoner", - говорит он; он здесь был студентом, потом - докторантом,

а затем получил пост профессора на кафедре, учрежденной супругой Мюр – Гордоном и Бетти. Тем самым Гордоном Муром, кто вместе с Р. Нойсом основал в конце 60-х годов корпорацию Интел и до сих пор стоит у ее руля. История Интел'а – это история микропроцессоров: первого 4-х битника Интел 4004 до сегодняшних суперкристаллов Интел 860 и Пентиум (Pentium).

Подлинную историю XX-го века творят не массы, а личности – так как Гордон Мур, Федерико Фэдджин³, Карвер Мид и Миша Маховал.

В октябре 1981 г. одновременно с выходом в свет японского проекта вычислительных систем пятого поколения (ВС5П) Карверу Миду и Линне Конвей была присуждена премия журнала "Электроникс" следующей формулировкой (см. M. Marshall, L. Waller, Y. Wolff, Formal VLSI design efforts Mead and Conway have fused device fabrication and system level architecture, Electronics, v.54, n.21, Oct. 1981, pp.102-103).

"За работу по методологии структурного проектирования СБИС преобразующую мышление производителей полупроводниковых приборов во всем мире". Итак, премия – за преобразование мышления. Эта методология и была изложена им и Линной Конвей в их совместной книге – первой книге Карвера Мида – "Введение в СБИС-системы". Линна Конвей заняла после этого крупный пост в Пентагоне в агентстве DARPA, а Мид продолжил свои исследования, которые привели к созданию новой науки – нейромикрорелектроники.

К. Мид стал читать в Калтек'е первый курс по нейромикрорелектронике и основал там "Лабораторию вычислений и нейросистем".

Создание аналоговых СБИС – само по себе искусство, создание нейро-СБИС требует к тому же понимания важных принципов биологии. Одним из них является принцип фильтрации. Нужно биологически понимать, какую информацию не надо обрабатывать, как и понимать, какую обрабатывать надо. Этот принцип фильтрации является ключом к кристаллу сетчатки Карвера Мида. На его кристалле фотосенсоры интегрированы со схемами предобработки, которая схожа с выполняемой человеческим глазом. В отличие от обычных сенсоров мидовский кристалл стремится зафиксировать не все видеоданные, а только те, которые увидит и будет обрабатывать человеческий глаз. В статье "Нейрохардвер для зрения" микрофотография кристалла сетчатки соседствует со схемой клеток в сетчатке глаза. Известно, сколько серьезные работы ведутся над поиском алгоритмов сжатия видеоданных. И, наконец, известно, сколь важную роль играет вся

³ Дизайнер первого микропроцессора Интел 4004, ныне – профессор в Калтехе, основал, вместе с Карвером Мидом, корпорацию Sinaptics Inc.

облематика для повсеместного распространения таких средств теле-
форматики как видеотелефония и видеоконференции.

Сжатие видеополос сулит многомиллиардную экономию в телеком-
муникационных сетях. Принципы биологической фильтрации позволяют,
видимому, резко сократить ширину этих полос. "Важную роль в лю-
м телевизионном изображении играет только небольшое число пиксе-
й", - говорит М. Маховальд. Тот же принцип фильтрации применим
к речи. Обычный аудио-сенсор фиксирует все звуковые частоты; си-
стема "ухо-мозг" воспринимает и обрабатывает эту информацию иначе.

"Когда кто-то говорит, частот, как таковых, вы не слышите, - пояс-
ет М. Маховальд, - вы слышите слова и понимаете, что они значат".
Аналогичные принципы были использованы ею и Родни Дугласом в их
кремниевом нейроне.

Биологический нейрон представляет собой достаточно сложную ана-
логовую машину. Исследование этой машины, изучение ее вольт-
перных характеристик и управляющих механизмов началось уже до-
статочно давно. Одной из основополагающих работ было исследование
Л. Ходжкина и А.Ф. Хаксли, опубликованное ими в Физиологическом
журнале (Journal of Physiology) в 1952 г. Они получили нелинейные
дифференциальные уравнения, описывающие электрическое поведение
нейрона, возникающие в нем потенциалы и токи. Они учитывали, ра-
ботает ли, калиевые и натриевые каналы и ионные токи, текущие через
мембрану. Эти уравнения принесли им, позднее, нобелевскую премию.

Нейрон, как аналоговая машина, исследовался как экспериментально,
так и математически, как колебательная система. М. Маховальд и
Дж. Дуглас построили кремниевую модель этой системы на базе ми-
кроэлектронной технологии КМОП. "В схемах кремниевого нейрона кле-
точная мембрана представлена постоянным конденсатором и проводи-
мостью с переменной утечкой", - пишут они в "Природе". Они приводят
в своей статье фактические транзисторные схемы, из которых построен
кремниевый нейрон, и объясняют, какое значение играют в этих схемах
активные блоки, такие как дифференциальная пара и фильтр низких
частот, для формирования напряжения на мембране.

Кремниевый нейрон состоит из суммационного блока и дендрит-
нагрузки, пассивные электрические характеристики которой отве-
чают пирамидальному нейрону неокортекса. "Биологи" М. Маховальд
и Дж. Дуглас встроили также в свой кремниевый нейрон приборные
схемы (instrumental circuits), чтобы вводить в него внешние тестовые
сигналы и отслеживать состояния его тестовых точек. "Мы исполь-
зуем тестовые методы, сходные с теми, которые применяются при

измерениях на реальном нейроне, чтобы облегчить сравнение кремниевых и биологических данных", — пишут они. Они приводят полученные ими экспериментальные кривые, описывающие реакцию нейрона, кремниевую и биологическую, и сопоставляют их. И одного взгляда достаточно, чтобы убедиться в том, что в кремниевом нейроне схвачены особенности биологического.

"Мы показали здесь, что реалистическое нейронное поведение, так как потенциалы действия и адаптация, легко может быть встроено в паратные средства, которые работают в реальном времени, а также что полученные рабочие характеристики устойчивы (robust). В отличие от существующих аппаратных средств нейросетей базовые схемы кремниевых нейрона непосредственно эмулируют биологическое поведение, а не интерпретируют биологию посредством традиционных принципов цифровой или аналоговой схемотехники. Стоимость этого "биологического поведения" — низкая, поскольку кремниевый нейрон эмулирует характеристики биологических систем напрямую — "физикой" своих элементов. Это обеспечивает эффективность в построении схем. Например, схемы, которые генерируют потенциал действия, содержат в совокупности меньше элементов, чем обычный операционный усилитель.

Рас рассеяние энергии всей схемой, включая приборные усилители, составляет всего лишь $60 \mu\text{W}$, что существенно меньше, чем 500 mW , потребляемые типичным операционным усилителем", — пишут исследователи в конце своей статьи. Они завершают ее следующими высказываниями:

"Структурные и функциональные детали отдельного кремниевого нейрона могут быть расширены с помощью строительных блоков, описанных выше. Те же самые схемотехнические принципы могут быть применены к любым новым ионным токам, которые могут оказаться необходимыми для выражения дополнительных средств кортикальных нейронов или же для изготовления "нейронов" из других зон мозга."

Речь идет здесь, на самом деле, о непрекращающейся битве за математическую модель нейрона. Поведение нейрона как аналоговой механической машины определяется механизмами открытия и закрытия ионных каналов в мембране. Возможно обнаружение новых особенностей этих каналов, но эти новые механизмы будут с легкостью реализованы в кремнии.

Авторы продолжают: "Аналоговые схемы компактны. В целом кремниевый нейрон, который можно еще сильнее оптимизировать, занимает менее 0.1 мм^2 . По нашей оценке линейная матрица из 100-200 таких

лов может быть изготовлена на чипе размером 1×1 см. Второе изменение этой матрицы будет содержать дендритную структуру и синапсы каждого нейрона. В принципе, кремниевый нейрон может оперировать со скоростью в 1 000 000 раз более быстрой, чем его биологический аналог. Мы считаем, однако, важным, чтобы динамики биологического кремниевого нейронов отвечали друг другу, поскольку кремниевые нейроны будут использоваться для построения машин, которые взаимодействуют с событиями реального мира точно тем же способом, каким делают биологические нервные системы."

Сами М. Маховальд и Р.Дж. Дуглас разработали интегральную схему, содержащую пять кремниевых нейронов. DARPA – Агентство высшего исследовательским проектам Министерства Обороны США приняло решение о производстве чипов с кремниевыми нейронами на одном из заводов, финансируемых этим агентством. Следует подчеркнуть, что сама работа М. Маховальд и Р.Дж. Дугласа не носила оборонного характера и не финансировалась через DARPA. Первоначальные эксперименты они выполнили в Кейптаунском университете, ЮАР, а затем, когда Р.Дж. Дуглас переехал в Великобританию, основную часть этой совместной работы они выполнили, используя электронную почту. Значение работы Миши Маховальд и Родни Дугласа состоит, в первую очередь, в том, что она открывает реальный путь к созданию "нейроконструктора". Инженеры-цифровики всего мира играют с большим энтузиазмом с готовыми блоками – цифровые интегральные схемы – выпускаемые десятками производителей во всем мире. Каждый из этих блоков инженер собирает сложные цифровые системы. Там, где требуется стандартных блоков – микросхем "с полки" (off-the-shelf) – цифровой дизайнер может создать методом Мида-Конвей полузаказную и полностью заказную интегральную схему, решающую задачу. В рамках развитых промышленных инфраструктур такая игра с конструктором стала привычной. Телефонный звонок – и на следующий день вам доставят с диспетчерского склада все необходимые компоненты⁴.

Графическая рабочая станция позволит спроектировать разводку чипа или интегральной схемы в считанные дни, если не часы. Для этой цели сегодня используют такой инструмент, как языки определения аппаратных средств (HDL=Hardware Definition Language) и, разумеется, трансляторы с них. Кремнелитейня (silicon foundry) выполнит за

Великобританию обслуживают шесть дистрибьютерских центров, конкурирующих друг с другом. Один из них – филиал Корпорации STC (с валовым продуктом в 100 млн долл.) – находится в городке Харлоу, километрах в ста от Лондона. Этот центр, как и остальные, обслуживает всю страну.

пару недель "отливку" схемы в кремнии, поскольку заказ будет под
виде магнитной ленты в стандартном формате.

Этот механизм "всеобщей автоматизации" работает в США и в
гих странах с "постоянной времени", измеряемой часами, а не годовы
периодами планирования экономики развитого социализма.

Генетические инженеры всего мира играют с другим конструкто
- с "геноконструктором" новых организмов. В их распоряжении с
дартные средства разрезания и склеивания нуклеиновых кислот, с
ства их репликации и встраивания в геномы. Начались процессы
видового обмена генами. Методами генной инженерии получены
вые синтетические организмы. Во многих странах введены зако
патентовании организмов, и первые такие патенты уже выданы.
ный конструктор" позволит, по-видимому, управлять эволюцией
правлять генетические ошибки природы.

Однако до сих пор отсутствовал "нейро-конструктор" - конст
тор, который позволял бы нейро-инженерам с легкостью созда
новые нервные системы. До сих пор единственным подходом
"софтверное конструирование" - сложная нейронная сеть или био
ческая нервная система создавались как "дух в машине", как прогн
ный комплекс, имитирующий поведение будущего объекта. Наи
крупным синтезом такого рода следует, по-видимому, считать р
Роджера Трауба в исследовательском центре имени Томаса Дж.
из Колумбийского университета построил математическую моде
ального биологического нейрона и разработал программный ком
реализующий эту модель. Затем "биологическая нейросеть" был
дена в машину - в ИБМ'овский суперкомпьютер 3090 с векторным
цессором.

Значительное время понадобилось на ввод связей между нейро
Индивидуальный нейрон мог иметь синапсы на тысячах других н
нов. Обсчет каждого "такта" динамики сети из десяти тысяч ней
занимал долгие часы. Р. Трауб обнаружил волны, сходные с гипс
пальными, наблюдаемыми в реальном мозге. Столь дорогостоящ
следования могла себе позволить корпорация ИБМ. Ее валовой пр
за 1997 г. (несмотря на перенесенные ею потрясения) близок к 80
долл. "Член ИБМ" (IBM Fellow) - это сотрудник, который полу
корпорации право свободного поиска и не несет перед ней никаки
зательств. Положению и науковооруженности труда "членов ИБМ
гут позавидовать многие Академии Наук.

В исследовательском центре им. Томаса Дж. Уотсона старшего работает Лео Эсаки, лауреат нобелевской премии, создатель туннельного диода. В лабораториях ИБМ был создан сканирующий туннельный микроскоп и была открыта высокотемпературная сверхпроводимость. Обе работы увенчались премией Нобеля.

Дешевый и огромный нейро-конструктор необходим, чтобы сделать творчество таким же массовым, каким является сегодня синтезирование цифровых систем. Можно усмотреть три пути создания нейроконструктора:

• имитационный – софтверный;

• биологический – выращивание биологических нейросетей *in vitro*;

• "кремниевый" – подход с позиций аналоговой нейромикроэлектроники.

Эти подходы не исключают друг друга, скорее всего все три будут развиваться параллельно. Биологический путь, видимо, очень сложен. Это – капризная "клеточная инженерия", а на ее пути сделаны лишь первые шаги. С отдельными нейронами уже научились (частично!) оперировать "в стекле", однако задача выращивания систем *in vitro*, по-прежнему, даже не поставлена. Генетический код управляет архитектурой нервной системы лишь "глобально"; ее тонкая структура возникает в результате индивидуального обучения организма. Однако "глобальная" структура должна быть такой, чтобы она допускала развитие локальной структуры. И на дальнейших этапах управления эволюцией методами генной инженерии неизбежно возникнет вопрос о надлежащем управлении нервной системы организма. Точно также на дальнейших этапах технoэволюции возникнет задача синтеза машин с заданными функциональными свойствами управляющей ими нервной системы.

Подход Маховальд-Дугласа позволяет начать создание кремниевого нейроконструктора. М. Маховальд считает, что технология нейрочипов может быстро идти вперед, но биолог М. Маховальд недооценивает сложность нервной системы человека или животного. Она подчеркивает, что ей и Р.Дж. Дугласу удалось сделать лишь "мгновенный снимок" нейрона, тогда как нейрон все время меняется. Эта аналоговая система живет и стареет. М. Маховальд говорит, что сегодня мы по-прежнему не знаем, может ли кремниевый чип действительно приблизиться к реальному нейрону. (И тем самым мы не знаем ограничений кремниевого нейроконструктора.)

Итак, все началось с садового горошка. Но понадобилось около лет терпеливого выращивания науки в Калтек'е, чтобы из его стен шли первые нейробиологи-микрoэлектронщики. Понадобилось появиться таким людям, как Роберт Милликен и Томас Х. Морган. Понадобилось также и то, чтобы им никто не мешал. Понадобилась щедрость Гордона и Бетти Мур, позволившая Карверу Миду занять пост профессора. Понадобилась, если говорить в целом, востребованность науки в США ...

3. The Brave Digital World Цифровые воротнички

Это было совсем недавно . . .

Предметом ненависти луддитов явился не сам ткацкий станок, а роль к нему привод. Именно он изменял их социальное положение.

Ну а теперь, двести лет спустя, какой материальный фактор мешает теперь изменить что-то социальное положение?

Нам твердят, что мир идет к новому, постиндустриальному, информационному обществу. Толкуют даже, будто мы стоим на пороге общества, основанного на знании – knowledge-based society. Но если человек ухитрился, как полагает Дарвин, произойти от обезьяны, то неужели обезьяна не сумеет произойти от человека. Обратный путь оказался всем коротким. Инофирмы немедленно откликнулись на требования рынка при выпуске автомобильных сидений с ложбинкой для хвоста. В Океании зазеленели пальмы и на землю посыпались кокосы, и на радиотолпа обезьян заполнила телевизионные экраны. И всюду шуршание лент. Комментаторы, с усами и без, с трудом прожевывающие сюжет, плетут ТВ-сказки о рейтингах и социальной справедливости...

А за бугром, в сфере фундаментальных исследований, идет процесс социальных последствий которого трудно даже оценить. Он грозит изменить ситуацию. Собственно, вся история промышленности – это история конкуренции между человеком и машиной. До сих пор победителем выступал человек, за ним всегда сохранялась прерогатива принятия решений. Сегодня на социальную арену выходят нейромашины.

Нейрокомпьютер – это машина, построенная на искусственных нейронных сетях (ИНС). Нейросеть создается из электронных приборов, имитирующих биологические нейроны или более сложные нейрообразованные структуры.

Карвером Мидом, профессором Калтек'а, создана новая дисциплина

нейромикроэлектроника. Одна из первых нейромикросхем - "кристалл сетчатки" (retina chip), была доложена им в 1985 г. на конференции Сепел-Хилле в Северной Каролине. Вместе со своими сотрудниками разработал также "кристалл улитки" (cochlea chip). Совместно с Денрико Федджином - создателем первого в истории микропроцессора Intel 4004 - он основал корпорацию "Синаптикс", целиком занятую разработкой нейромикросхем.

Номо sapiens всегда тешил свою спесь тем, что решение принимает сам. Но вот появились первые машины, которые грозят отобрать эту привилегию. Как и всякая сфера деятельности, сфера принятия решений обладает огромной инерционностью; поэтому переход к машинному принятию решений - не одномоментен, он растянут во времени, хотя процесс фундаментальных исследований для создания всё более мощных и изощренных нейромашин идет полным ходом.

Цифровые воротнички - это нейромашин, сопряженные с сопровождающими их системами, например, со сложными сенсорными и исполнительными органами. Благодаря им всё ниже и ниже нависает над нами пророчество Норберта Винера:

Настанет время, когда среднему человеку нечего будет продать, что бы купить на рынке".

Сегодня "средний человек" нашел себе отдушину в профессии киллера, и время, предсказанное Винером, настанет тогда, когда совершится первое заказное убийство нейромашин. Нейротехнология и нейробиология привели сегодня к созданию новой дисциплины - теории сознания. Начались попытки построения первых машин, наделенных собственным сознанием. Но сколько времени понадобится Человеку, чтобы распространить нормы Права на каждый объект, обладающий Сознанием, независимо от того, каким путем возникло это сознание.... И во-первых в том, в какой степени первая жертва киллера уже будет наделена сознанием.

Заметим, что никто не упрекнет эксперта в нематериальности его мнения. Высказываемая точка зрения сама по себе не обладает эксплицируемостью (объяснительностью). Господина профессора приглашают члены большого на консилиум, и никто не бросит ему упрека в том, что он, собственно, не объяснил свои рекомендации. Ему почтительно вручат конверт, независимо от того, будут ли использованы его рекомендации.

А где же тогда находится критерий истины? На консилиуме таким критерием служит совпадение мнений. Но Мнение - это Личина, за которой сокрыто Невежество. Если несколько членов консилиума дадут

одну и ту же рекомендацию, то она приобретает большой вес. А если мнения всех совпадают, то рекомендацию считают заведомо истинной. Независимо от того, были ли даны разъяснения. Но человека-эксперта при формулировании им решений могут все же попросить объяснить ход его мысли.

Решения, принимаемые нейромашинной, также не обладают априорной экспликативностью. И это ставят ей в вину. Обычные, более простые, нейромашинные – деревенщина – не могут "извлечь" из себя объяснение хода "собственных мыслей". Поэтому для создания цифровых воротничков, способных конкурировать с человеком, необходимо предусмотреть в их "конструкции" функцию выдачи объяснений. Это отдельная задача, исследуемая нейротехнологией.

Та или иная нейромашинная, например, машинная для онкологической диагностики, может и не обладать ни специфической сенсорной способностью, ни эффекторной. Но, разумеется, у нее должны быть устройства для ввода и вывода информации, что, как обычно, оформляется с помощью головной машинной, выступающей как посредник между человеком и нейромашинной. Нейромашинная это – "машинная чистого разума", если угодно, это машинная-брамин. Принадлежность к касте брамин запрещает, скажем, физику-экспериментатору прикасаться к его экспериментальной установке. Для этого имеются помощники из низших каст. Они соберут установку и выполнят на ней измерения, а физику-брамин должен только мыслить. В этом есть свой резон.

Эмплякативная функция нейромашинной нуждается в посреднике. Задача эмплякативности полностью не решена, но, тем не менее, мы полагаем методом, позволяющим заменить любую нейросеть "экспертной" ей экспертной системой – логикой "если-то". Нейронная – более сложный объект, чем экспертная система, и речь может идти только о достижении "достаточного уровня" эмплякативности. Метод проф. Галанта (США) так и не был опубликован. Наши методы известны в России независимо.

Другая интересная задача, относящаяся к нейросетям, это взаимодействие "мозг-мозг". Можно ли передавать информацию из одной нейросети в другую, так чтобы обе они "думали одинаково".

Разумеется если обе сети аппаратно идентичны и если состояние каждого нейрона на одной сети тут же передается его гомологу в другой, то идентичности "можно" достичь. Но в человеческом мозге содержится около 10^{11} нейронов, и если состояние каждого из них передается его гомологу, то возникнет поток информации со скоростью 10^{11} байт/сек (если считать, что состояние нейрона описывается 10^3-10^4

ми). Нечто подобное происходит в живом мире. Это – передача информации между левым и правым полушариями, идущая по гигантскому пучку аксонов, называемому мозолистым телом, corpus callosum. Однако, хотя мы и не знаем в точности, что и как передается по corpus callosum, можно утверждать, что это не есть передача "нейрон-нейрон". Мозг несимметричен, левое полушарие "аппаратно" не идентично правому, а ещё большие различия существуют между их нейронными ансамблями. В мозгу действуют какие-то "алгоритмы" сжатия нейронной информации, так сказать нейро-mpreg. Mpreg это сжатие видеoinформации; нейро-mpreg это сжатие информации когнитивной. Его исследование – трудная задача нейробиологии.

Мозг настолько сложен, что "любое" его исследование невозможно. Метод, который применяется для решения трудных задач, состоит в том, что строится некоторая нейронно-сетевая модель. Она "проигрывается", и из нее извлекаются всевозможные "следствия", например, следствия, касающиеся её "внешнего" поведения. Затем эти следствия сравниваются с поведением реального мозга. И если они "совпадают", то делаются выводы о "механизмах" реального мозга.

Такое исследование предпринял в IBM Р. Трауб. Он построил твердую модель нейросети; ввёл (с огромными трудностями) в модель "соединения" десятков тысяч нейронов и проиграл поведение нейронной сети на суперкомпьютере. Он обнаружил в искусственной нейросети локальные волны, которые наблюдаются в реальном мозгу. Это – некоторый ключ к происхождению гиппокампальных волн в реальном мозгу и к их назначению.

Передача нейроинформации класса "мозг-мозг" необходима для реализации так называемого даунлоудинга – downloading. Под этим понятием подразумевается сброс человеческой психики в машину. Эта идея обсуждается уже на протяжении десяти лет в кругах нейрокибернетической элиты США. Думают, что даунлоудинг будет первым шагом на пути к достижению человеком биологического бессмертия... Дэниел У. Хиллис, создатель коннекционистской машины – "машины связности" (Connection Machine) – сказал, что если удастся суждено умереть, то он предпочтет продолжить свое существование в виде "духа", сброшенного (downloaded) в машину.

Биологическое бессмертие может быть достигнуто, по оценкам таких специалистов как Гарольд Дж. Зюсман (МТИ), на протяжении ближайших 1000 лет. Для этого надо разработать психосканирование даунлоудинг в биологические структуры.

Вернемся к нашим баранам.

Число белых воротничков давно превысило в Штатах число синих.

Синим грозит участь, описанная Куртом Воннегутом. Основная социальная конкуренция разгорается между белыми и золотыми.

Золотые воротнички (golden collars) – это люди, занятые поиском новых методов, технологий, парадигм и т.п.; вообще это – творческая, продуктивная часть научной элиты. Термин "воротнички" указывает на их причастность к производству, подобно синим и белым воротничкам. Это – промышленно упорядоченная часть инновационного потенциала страны.

Занятость белых воротничков утрачивает свою стабильность. Все чаще приходится доучиваться или полностью менять профессию в середине жизненного пути. Конкурентоспособность изделий определяется теперь качеством золотых воротничков, участвующих в их разработке и производстве.

В постиндустриальном информационном обществе золотые воротнички будут "господствовать" именно потому, что оно – постиндустриальное. Процесс "золочения" должен, казалось бы, встречать наибольшее сопротивление в таких традиционных трудоёмких отраслях как рона и здравоохранение. На самом деле он идёт быстрее всего именно здесь.

Мы уже говорили, что история индустриального общества – история конкуренции между человеком и машиной.

Однако до последнего времени в функции машины не входило принятие решений, тогда как само назначение нейромашин состоит именно в выработке решений. Из обычного компьютера можно удалить систему поддержки принятия решений (DSS); в нем сохранится все остальное, по-существу, все его функции как информационной системы. Но компьютер без его систем оценки ситуаций и выработки решений для чего использован быть не может, он – пуст.

Номо sapiens утешает себя мыслью, что это – машины для поддержки принятия решений, для их подготовки. Но совершенно верно, что при массовом применении нейромашин никто не сможет контролировать принятие решений.

Ещё раз повторим, что на сцену выходят цифровые воротнички. Профессиональная армия с кибернетическим управлением бою действиями и прецизионным оружием продемонстрировала своё превосходство во время войны в Персидском заливе – Gulf War. Данные аэрокосмической и наземной разведок поступали по глобальным сетям в США, где обрабатывались и интегрировались на борту вычислительных машин. Каждый пилот получал по тем же сетям индивидуальное полетное задание с указанием времени вылета и

ей.

Отношение потерь в живой силе руководимой Штатами коалиции к
ерям противника составило 1:1000.

Мы не стремимся изложить здесь технические основы военной ре-
омы, — единственно возможные технические ее основы. Заметим
ь, что знаменитое агентство DARPA — Агентство Высших Ис-
довательских Проектов в области Обороны — занималось и зани-
тся (!) финансированием фундаментальных, повторяем ФУНДА-
ИТАЛЬНЫХ, исследований в этой области. Наша ВПК (Военно-
омышленная Комиссия) выше прикладных никогда не поднималась.

Мы рассмотрим подробно противоположную трудоёмкую отрасль —
авоохранение. Основной фигурой является здесь фигура врача в бе-
или золотом воротничке. И мы наблюдаем, как в университетах Со-
енных Штатов идет процесс создания синтетического врача. Это
андроид в белом халате, это нейромашина, анализирующая состо-
е больного и принимающая медицинское решение. Точнее, сегодня
только подготавливает оценку клинической ситуации и медицин-
о рекомендацию.

Чтобы объяснить "синтезацию", понять её темпы и почувствовать
ективы, мы рассмотрим сначала процесс-предтечу, который уже
шел в США, в сфере машиностроения. Этот процесс охватил также
роительство, гражданское и промышленное. Он дал Соединен-
Штатам около 40 миллионов (!) новых рабочих рук инженеров-
структоров и проектировщиков.

ридцать с небольшим лет тому назад в 1964 г. машинная графика
изобретена докторантом Массачусетского Технологического Ин-
ута Иваном Сазерлендом. Почти сразу же на рынок были выбро-
ы первые графические рабочие станции. Процесс их развития шел
ь быстро. Одну из ранних станций демонстрировал на первой вы-
ке по программе ЕС ЭВМ (1972 г.) в Москве институт SZTAKI
ерской Академии Наук.

оздание новых графических систем — это сложный научно-
ический процесс, в котором участвовали университеты (Массачу-
ский технологический институт с его Media Laboratory и др.), иссле-
ельские центры корпораций-производителей (такие как Palo Alto
arch Center корпорации Хегох) и сотни независимых вентурных ком-
ь. Этот процесс интенсивно шел в США и, менее бурно, в Западной
е. В СССР он едва теплился. Подчеркнем, что это был процесс
аментальных исследований в области новой науки — Науки об ис-
твенном.

К началу 80-х годов можно было утверждать, что графическая рабочая станция класса Аппликон AGS900 повышает производительность труда инженера-конструктора в 5-10 раз. Имеется точная мера повышения производительности этого труда – число выдаваемых листов тежей. Никто не пытается измерить эффект от перехода инженерное мышление – скажем, холистическое мышление в терминах frame моделей.

Несколько Аппликонов было куплено в СССР; две станции были уполучены в КБ Автоматических Линий и Агрегатных Станков на заим. Орджоникидзе в Москве (1982 г.). Автор генерировал аппликаскую систему машинной графики в этом КБ и сам учился на ней новому инженерному мышлению.

Производство графических рабочих станций становилось массовыми графические процессоры – все более изощренными, а сами станции шевели. Новые растровые станции позволяли интегрировать каркас (wire-frame) моделирование с объемным (solid modeling). Появилось стемы аппаратного генерирования затенения (shading) поверхностей Гуро и Фенгу.

К середине 80-х годов стоимость такой станции, как IBM 5080, дывалась в полугодовую зарплату инженера-конструктора. Стан окупала себя за первый же год её эксплуатации, даже если на это приходилось обучение новичка работе на этой станции.

Автор написал техническое задание на "воспроизведение" станции IBM 5080, принятое Минрадиопромом (НИИ СчетМаш).

Выпуск миллиона подобных станций и установка их в конструкторских и проектных бюро США – а именно такой была массовость пуска станций этого класса в США во второй половине 80-х годов был эквивалентен подготовке дополнительно 4 миллионов инженеров и проектировщиков. Экономический эффект от введения был двояким – прямым и косвенным. Прямой – от повышения производительности труда в том КБ, где станция установлена. Косвенный – от того, что обучение одного конструктора длится четыре-пять лет (в США) не менее 50 тысяч долл., а подготовка 4-х - 200 тысяч долл.

Этот процесс насыщения промышленности конструкторами и инженерами более 10 лет. Он-то и дал Штатам 40 миллионов рабочих рук, не требующих жилья и продовольствия, рук не сжигающих бензин на дорогах Америки.

Ясно, что никакая система профессиональной университетской подготовки не могла бы дать такого эффекта. Более того, такой набор

росту не выдержала бы экономика Америки. Вообще, цифра 4 миллиона превышает ежегодное пополнение рабочей силы Америки. И тем по мощи своей конструкторской когорты Америка превосходит остальной мир.

Русский "аналог" ИБМ 5080 был спроектирован к началу 1989 г.; автор подписал акт о его успешном испытании где-то на улице; в это время уже начался разгром нашей промышленности.

Производство и установка новых графических рабочих станций идет в США не ослабевая все 90-е годы. Наступило определенное насыщение по это – насыщение по числу станций, но не по их мощности. Рабочая станция отлична от автомобиля, потребителю не нужен автомобиль мощностью в несколько тысяч лошадиных сил. Мощность рабочей станции не ограничена сверху. Мощность продолжает расти, и старые станции заменяются на новые. Безусловный лидер в этом процессе – корпорация Силикон Графикс (SGI). И сегодня уже просто нельзя сравнить мощь инженера-конструктора за экраном SGI-станции с силами века за кульманом. Ведь нельзя сравнивать "оперативную мощь" программного менеджера-управленца, окруженного телефонами и другими средствами телекоммуникации и обработки информации, с силами управленца, пользующегося услугами одних курьеров. Сорок тысяч одних курьеров канули в небытие. В США уже прошли два процесса создания невидимой рабочей силы – информатизация промышленности управленческой сферы.

Однако графическая рабочая станция не является машиной для принятия решений. Их выпуск – это усиление когорты белых воротничков, создание – функция золотых. Это еще не цифровые воротнички.

Сегодня полным ходом идет принципиально иной, чрезвычайно важный процесс – процесс информатизации медицины. Здесь на сцену выдвигается вычислительная парадигма – парадигма нейрокомпьютеров. Новый социальный процесс – процесс создания цифровых воротничков идет не только в медицине. Но начнем с примера.

Массачусетский Университет, Центр Исследований в области Здравоохранения, Департамент Медицины, Отделение онкологии, Сан-Антонио,

журнале "Исследование и лечение рака молочной железы"⁵ появились статьи профессоров П.М. Равдина и Г.М. Кларка и их соавторов с названием "Демонстрация того, что рецидивы рака молочной железы могут быть полностью предсказаны с помощью нейросетевого ана-

Авторы обучили нейросеть, используя прогностическую информацию о 1068 пациентках. На вход подавались "диагностические переменные" такие, как статус опухолевого гормонального рецептора (tumor hormone receptor status), ДНК-индекс, S-фаза, определяемые потоковой цитометрией (flow cytometry), и ряд других. Нейросеть обучалась познанию клинической ситуации.

Подчеркиваем это – не распознавание образов, а распознавание нических ситуаций.

Способность обученной нейросети определить вероятность возникновения рецидива тестировалась на независимом множестве из 960 больных.

После этого П.М. Равдин и Г.М. Кларк опубликовали следующую статью "О практическом применении нейросетового анализа для предсказания результатов лечения рака молочной железы у индивидуальных больных"⁶.

В её названии как бы содержится ответ на один из важных этических вопросов медицины. Эффективность новых методов лечения и препаратов часто подтверждается статистическими высказываниями, но больного всегда интересует его личная судьба. Усилия исследований должны быть направлены не только на стрельбу по площадям, но на спасение конкретного больного.

Речь идет о более сложном исследовании, чем простое применение нейросетей к диагностике. Речь идет о фундаментальном поиске новых биомаркеров, новых методов диагностики и прогнозирования болезни. Нейросети используются для того, чтобы выделить, установить значимые факторы. Если угодно – это дэйтмайнинг в биологии.

Профессор Г.М. Кларк накопил уникальный в своем роде ресурс более 100 000 (ста тысяч!) "образцов" опухолей. В своей "характеристике", доступной любому по сети Интернет, он пишет также об уникальных технических возможностях его лаборатории:

биостатистический анализ, реляционные базы данных, компьютерные сети, Сервер и рабочие станции фирмы Сан Майкросистемз, данные по раку молочной железы, потоковая цитометрия ДНК.

Профессор П.М. Равдин располагает: быстродействующими компьютерами и оборудованием для иммуногистохимии.

Однако стоп! Стоп!

⁶ Там же, т. 22, N 3, стр. 285-293, 1992 г.

О чем же здесь все-таки идет речь? Что такое нейросетевой анализ? Бывает же такое! Целая страна, назовем ее Хазария, не имеет представления о терапии! Хирургия, частично, известна. На сломанную руку накладывается лубок, и рука срывается. А вот про терапию тут самые темные слухи. При чем здесь Хазария?! В России тут самые темные слухи про нейросети и нейросетевой анализ! Таков наш удел...

В начале 70-х ходили темные слухи про базы данных, но никто толком не знал, что есть система управления базой данных. А сегодня все же думают, что РС – это венец информационного творения!

Назовем несколько слов об основных этапах развития нейротехнологии. Она зародилась в статье Уоррена МакКаллока и Уолтера Питтса "Изучение идей, имманентных нервной активности" (1943 г.). Это был разгар Второй Мировой Войны. Караваны союзников везли в СССР боевое снаряжение и припасы: Аэрокобры, Доджи, свиную тушенку и... другую литературу. Снабжение научных библиотек России не прекратилось даже в дни Сталинградской битвы. Оно было остановлено только Горбачевым "со товарищи" в 1991 г.

МакКаллок и Питтс построили первую математическую модель нейронной сети. Это была простая "алгебраическая" модель с фиксированными (необучаемыми) синапсами. Синапсы станут пластичными в более поздней модели Эдоардо Кайяньелло (1961 г.).

Самыми ранними исследованиями по нейротехнологии относятся работы Уолтера Розенблатта по перцептронам и Бернарда Уидроу по его "адаптивному нейрону" Адалине...

В декабре 1956 г. мы выпустили русский перевод только что вышедшей в Принстоне книги "Исследования по автоматам" под ред. К. Эдвардсона и Дж. МакКарти. (В переводе она называлась просто "Автоматы"). Это была первая в истории науки коллективная монография по теории нейронных сетей. Первая советская работа по теории автоматов Ю.Т. Медведева, дающая абстрактное определение конечного автомата, была опубликована нами в этом издании. На конечных автоматах "выросли" два академических института. Позднее на русский язык была переведена также и монография Ф. Розенблатта "Принципы динамики".

Нейротехнология развивалась в тесном контакте с нейробиологией, насыщаясь идеями последней. По ряду причин на 60-е и 70-е годы пришелся более чем двадцатилетний период подспудного развития нейротехнологии. После Конференции по Теории Мозга, состоявшейся в Институте Теоретической Физики в Триесте в 1984 г., начался всемир-

ный нейробум. В России слышны лишь слабые его отголоски. Искусственные нейросети (ИНС), как и естественные (ЕНС), не программируются, а обучаются. Если же и говорят о нейросетевых ритмах, то имеют в виду, в первую очередь, алгоритмы обучения искусственных нейросетей обучаются распознаванию ситуаций, учету личных факторов, выработке абстрактных понятий и, наконец, мнению в этих новых абстрактных категориях.

Речь идет именно о распознавании ситуаций, а не просто изобретений.

Ребенок, в процессе развития его мозга, обучается тысячам навыкам от умения держать в руках ложку и вилку, до постижения абстрактных сущностей математики и философских категорий. Мышлению в этих категориях человек продолжает учиться на протяжении жизни.

Обычные компьютеры накапливают текстовую и графическую информацию, нейрокомпьютеры позволяют накапливать навыки вычки и распознавать ситуации. В университетах Америки накопление на нейромашинах клинических ситуаций и диагностических навыков, приемов мониторинга и пилотирования лечебных процедур (терапии и т.п.), прогнозирования хода болезни. Это есть то самое накопление опыта, накопление памяти в пальцах, через которое молодой клиницист во время своей стажировки.

В системах компьютерной графики подчиненность "естественного" человека - хозяина, система - слуга. Человек задумывает геометрию, а машина, подчиняясь его командам, быстро выполняет рутинную часть конструкторской работы. Во всяком случае, так было до появления систем искусственного интеллекта в конструировании.

В случае нейромашин положение оказывается иным. Нейромашина "предлагает" человеку определенные, принятые ею "решения", а функция человека - сказать ей "да" или "нет". Нейромашинные отыскиваемые факторы диагноза, которые представляются ей значимыми, представить себе ситуацию, когда машина будет требовать дополнительных анализов. Естественная процедура - совершенствование нейромашин на основе все новых и новых клинических случаев само-дообучение машины.

Врач - человек и сегодня он смертен. С его смертью уходят все приобретенные им навыки и знания. Информация, накопленная нейромашинами, может храниться в цифровом виде, и нейромашин бессмертна. Это позволяет до бесконечности накапливать и совершенствовать ее навыки. До бесконечности или до "технологического"

...? До предела, установленного самим подходом с позиций нейробиологии.

Мы никоим образом не утверждаем, что не может быть знания, не ставимого в сегодняшних нейромашинах. Вместе с тем мы не знаем, ми они будут завтра.

Психика" этих машин, так называемые матрицы сил синаптических связей, уже более десяти лет являются отдельным предметом авторского

Развитие нейротехнологии приняло взрывной характер. Сегодня ее основной продукт превосходит уже 2 млрд. долларов в год с ежегодным ростом в 40%. Хотя с самого начала было ясно, что за этой техникой будущее, только в начале 90-х годов появились коммерческие механизмы ее финансирования.

Было обнаружено, что анализ и прогноз фондового и денежного рынков может быть выполнен нейросетевыми методами. И вскоре на Уолл-стрит по свидетельству журнала "Экономист" не осталось ни одной компании, которая не использовала бы нейросетевые методы анализа и прогнозирования рынков. Возникли фирмы, которые не производят ни аппаратных средств, ни программного обеспечения. Единственная их продукция — это нейропрогноз движения фондового и денежного рынков. Знаменитой среди них является корпорация "Предсказание" (Prediction Corp.) во главе с двумя золотыми воротничками, докторами наук Робертом Фармером и Норманом Паккардом. Вся ее продукция покупается по контракту с Швейцарской банковской ассоциацией, которая использует прогнозы для игры на фондовых и денежных рынках.

В последние годы появляются также широкие приложения в медицине. На Уолл-стрите в этом деле они сразу же охватили всю онкологию (рак легких, печени, желудка, яичника, шейки матки и др.) и, шире, — всю медицину, все лечение заболеваний и ситуаций в медицине. И медицина станет в будущем еще одним, чрезвычайно мощным, источником финансирования нейротехнологии.

В университетах Америки и многих других стран (включая все страны СНГ, кроме России) началась "стажировка" медицинских нейро-

Этот процесс является естественным продолжением тех процессов, которые уже имели место в США в сфере машиностроения, строительства и менеджмента.

И Россия встанет на путь золотых воротничков?

Электроника России располагает значительной информацией в различных сферах информационной технологии и готов сотрудничать с лю-

быми финансовыми, медицинскими и другими институтами, заинтересованными в разработке приложений и базовой теории нейросетей.

Автор приносит свою глубокую благодарность А.А. Ежову – и в первую очередь, благодаря которому появилась эта статья. Многие мысли были навеяны беседами с ним.

Автор благодарит также эксперта фирмы TANA Ltd. Л.В. Бушуеву за ее огромную работу по подготовке данной статьи к выпуску в журнал.

4. Нейросети на шине VME

Разгадать полет птицы было, в сущности, так же трудно, как догадаться, состоит секрет фокусника.

Когда вы уже знаете его трюк, знаете, что надо обратить внимание, вы видите многое такое, чего не видели раньше.

Орвил
"The Flying Magazine"
Декабрь 1981

Калифорнийский Технологический Институт (Калтек) имеет несколько основных академических отделений. Это не факультеты в нашем смысле, а более крупные подразделения:

- Биология
- Химия и химические технологии
- Инженерия и прикладные науки
- Геологические и планетарные науки
- Гуманитарные и социальные науки
- Физика, математика и астрономия

Имеется также отделение

- Кросс-дисциплинарных исследований, и
- Аналитические группы.

том делении видно сильное стремление к интеграции наук и к интеграции теории и приложений. Американская система юнитов (units) и единиц обучения – позволяет составлять индивидуальные планы для студентов; каждый студент имеет своего наставника (adviser). В России нет ни одного учебного заведения, где был бы институт наставников. Такая система подготовки золотых воротничков дает иногда совсем удивительные результаты. Вспомним, что Блез Паскаль не изучал математику, но знал её от рождения. Он принес её с собой в этот мир царства нерожденных душ, также как Моцарт принес музыку. В опере Метерлинка "Синяя Птица" есть это царство нерожденных душ, мистика и философия человеческого бытия. Но Художественный академический Театр превратил "Синюю Птицу" в детский спектакль, выкинув из нее "всё лишнее" ...

Система Станиславского?

Микаэла (Миша) Маховальд родилась в 1963 г. в городе Миннеаполисе, столице штата Миннесота. В 1985 г. она окончила Калтек по специальности Биологии. Её наставником был Карвер Мид, специалист по микроэлектронике.

М. Маховальд, будущий нейробиолог, слушала его лекции по нейроморфной инженерии, лекции, сильно окрашенные биологическим знанием, восходящим ещё к его общению с Максом Дельбрюком.

В разделе "Колыбель нейрочипов Калтек" мы рассказали, с чего началось в двадцатые годы Отделение Биологии в Калтеке, и какую роль сыграл Макс Дельбрюк в формировании нейробиологического мышления Карвера Мида.

Карвер Мид называет себя пожизненным заключенным (lifer) в Калтеке. Он был здесь студентом, докторантом и около двадцати лет назад занял должность профессора по кафедре, учрежденной супругами Мур, Гордоном и Робинсоном. Да, тем самым Гордоном Муром, одним из основателей корпорации Интел, который является автором знаменитого закона Мура.

Карвер Мид совместно с Линн Конвей создал интерактивный метод проектирования интегральных схем. (Монография "Введение в СБИС и нейронные системы", Эддисон-Уэсли, 1980 г., переведена на японский); затем он создал новую науку нейромикроэлектронику (Монография "Аналоги СБИС и нейронные системы", Эддисон-Уэсли, 1989 г.).

Мид выдвинул и создал свою программу обучения инженеров-информатиков и стал читать по этой дисциплине курс, первый в Калтеке (и в мире?). Он создал также лабораторию "Computation and Neural Systems Laboratory". М. Маховальд еще студенткой получила докторскую степень за свои работы по кремниевой сетчатке (silicon retina).

Он доложил эту работу на конференции в Чепел Хилл в 1985 том же году, когда М. Маховальд окончила Отделение Биологии.

Мы рассказываем здесь историю научной жизни М. Маховальд. – самый яркий, по-видимому, представитель блестящей группы молодых исследователей в области нейроморфных систем, собранной Карв Мидом. Их много, и один из них – М. Сивилотти.

В 1987 г. вместе с ним и с К. Мидом Миша Маховальд доклады на конференции по сверхбольшим интегральным схемам в Стэнфордском университете их совместную работу "Видео-вычисления в реальном времени с использованием обрабатывающих решеток аналогов КМОП-схем".

В 1988 г. начал выходить специальный журнал "Нейросети" (Neural Networks), выпущенный издательством Пергамон Пресс (Великобритания). В первом выпуске первого тома этого журнала М. Маховальд вместе с К. Мидом опубликовала статью "Кремниевая модель зрительной преобработки".

Что ни говори, а Роберт Максвелл – владелец Пергамон Пресс – держать руку на пульсе науки.

На стыке 1991 и 1992 гг. в "Нейчер" вышла ее статья "Кремниевый нейрон", написанная совместно с Родни Дж. Дугласом. Они готовили статью, переписываясь по сети Интернет между Калифорнией и Южной Африканской Республикой, где в это время находился Р. Дж. Дуглас.

Сама публикация в "Нейчер" – это высокий уровень признания, но Джон Мэддокс – тогда главный редактор этого журнала, – приказал вынести название статьи на обложку. Это была особая честь.

"Нейроны" из кремния делали и до них; еще в конце 80-х годов работчики из корпорации AT&T создали СБИС, на которой было реализовано 256 нейронов. Каждый имел свой синапс на каждом синапсе был лишь двубитовым, цифровым, а сами нейроны – бинарными. Это была, пусть и трудная, но чисто инженерная поделка.

Во исполнение программы Карвера Мида, нейрон Маховальд и Дугласа был аналоговой СБИС, эмулировавшей поведение реального биологического нейрона.

Биологический нейрон "выстреливает" очереди "спайков" – то же делает и нейрон Маховальд-Дугласа (нейрон МД). В "Нейросетях" помещены два графика спайков – от биологического и от кремниевых нейрона. Графики "совпадают", только на реальном виде некая дополнительная зашумленность.

Нейрон МД – это "блочок" нейросистемного конструктора. Иначе говоря, эта работа решает в принципе проблему сборки больших систем.

тем с заранее заданной архитектурой. Инженер-нейроинформатик
степерь мыслить в категориях макроконструирования.

Не в категориях сборки транзисторов, а в макрокатегориях сборки
темных функций.

Нейрон МД не отвечает классической математической модели
Каллока-Питтса, и значит все накопленные коллекции методов обу-
ки нейросетей – коллекция нейропарадигм – летит в пропасть.

Только парадигма Стефена Гроссберга выдерживает этот шквал.
Но синтез пока не реализован.

2 мая 1992 г. Миша Маховальд защитила в Калтеке диссертацию
степень доктора философии:

СБИС Аналоги Нейронной Визуальной Обработки: Синтез Формы
Функции”. Вот её оглавление:

Введение

Кремниевая сетчатка

Кремниевый зрительный нерв

Стереозрение

Заключение

Приложение: Компиляция арбитра.

Диссертацию М. Маховальд была присуждена премия Клаузера
(Klausner Prize), которая присуждается за работы ”прокладывающие но-
воты человеческой мысли и изобретательности”.

Эта специальность называется ”Вычислительная нейронаука.” (Com-
putational Neuro science).

Позднее, в 1994 г., диссертация была опубликована издательством
Academic Publisher.

”Кремниевый нейрон” вероятно, хватило бы для защиты, но диссер-
тация выходит далеко за его пределы. Здесь речь идет уже о мозговых
структурах.

Электрические свойства кремниевый нейрона очень похожи на свой-
ства биологического. Как мы уже говорили, кремниевый нейрон может
использован для построения больших биологически реалистичных
нейронных сетей. И он действительно используется для этой цели.

С кремниевой сетчаткой и кремниевой улиткой К. Мида и за крем-
ниевым нейроном Маховальд-Дугласа последовал поток нейроморфных

схем, созданных различными авторами и доложенных на многих конференциях. Специализированная конференция была проведена в мае 1997 г. в Аделаиде (Южная Австралия). Здесь появляется много новых имен.

Первый "кремниевый нейрон" интегрировал 5 нейронов на чипе. Авторы писали, что они могут обеспечить 200 таких нейронов на чипе. Дорога к созданию "нейроконструктора" была открыта: развитие элементной базы, а дальше – сборка больших нейросетей. Но требовалось решить еще один исключительно важный и трудный вопрос.

Как взаимодействуют реальные биологические нейроны, т.е. какова модель взаимодействия кремниевых нейронов надо избрать.

Нейроны МакКаллока-Питтса взаимодействуют по правилам булевой логики, а "мозговой код" (т.е. представление информации в мозге) неизвестен.

Выдвигая в середине 80-х годов свою программу обучения инженеров-нейроинформатиков, Карвер Мид требовал, чтобы специалисты по микроэлектронике изучали нейробиологию.

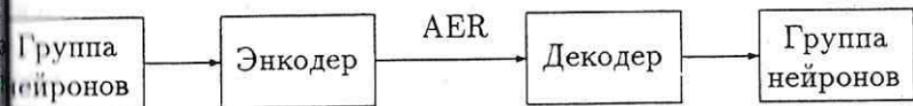
М. Маховальд пошла к той же цели противоположным путем – от нейробиологии к микроэлектронике. Этого трудно было ожидать, ведь в мире проектирование микросхем – узкокастовая и достаточно трудная профессия, требующая совсем других навыков, чем биология. Однако за этим стоял здесь Карвер Мид, который создал диалоговый, интерактивный метод проектирования микросхем.

Освоив эту профессию и выполнив виртуозную работу по созданию аналогового кремниевого нейрона, М. Маховальд не стала заниматься "тривиальной" задачей наращивания степени интеграции чипов, а занялась отысканием принципов, по которым эти кубики должны встраиваться в большую нейросистему. В реальном мозгу 10^{11} нейронов.

Одна из главных трудностей состоит в том, что "сходимость" или "достижимость" в биологических нейросетях значительно выше того, что можно достичь в технических, кремниевых. Биологический нейрон способен нести на себе синапсы от 10 тысяч других нейронов и, в свою очередь, подавать свои синапсы на 10 тысяч других нейронов. На одном чипе можно обеспечить полный граф связности между нейронами. Каждый нейрон будет иметь свои синапсы на каждом. Но как обеспечить подобную связность между различными чипами? Соединить такие чипы, несущие на себе сотни нейронов, шинами с соответствующим (гигантским) количеством проводников невозможно, и М. Маховальд предлагает свою идею – Address-Event Representation – Адресно-событийного представления

своеобразное мультиплексирование импульсов от многих нейронов, в котором каждый импульс на шине несет в себе информацию об источнике его нейроне (его адрес).

Это не есть разгадка мозгового кода, но это есть способ обеспечения довольно высокой связности между нейрочипами – одночиповыми чипами. Для двух таких чипов картина имеет вид.



Е-протокол, описанный в диссертации М. Маховальд и в книге, упомянутой в диссертации, пригоден для одного отправителя и одного получателя. Для шины LAEB (Local Address-Event Bus), используемой в лаборатории кремниевой мозговой коры SCX-1, понадобился другой протокол, который позволял бы работать с многими отправителями и многими получателями на той же шине. Обсуждение с рядом участников проекта SCX и с фирмой "Прикладная Нейродинамика" позволило такой протокол выработать. Он носит название Address-Event Asynchronous Least Protocol.

Как мы объясняли, Миша Маховальд, еще в своей диссертации решал проблему коммуникации между вычислительными элементами, называемыми на различных нейроморфных СБИС чипах. Еще до защиты получила четыре патента на свои изобретения. После защиты она переехала в Оксфорд, чтобы работать с Невинном Мартином и Родни Дугласом над аналоговыми СБИС моделями нейроморфных схем мозговой коры.

В 1995 г. М. Маховальд и Р. Дуглас переехали в Цюрих (Швейцария), где основали Институт Нейроинформатики (Institut fuer Neuroinformatik). Их цель – идентифицировать те "вычислительные принципы", которые дают мозгу его огромную гибкость и мощь, и попытаться воплотить их в новой "компьютерной архитектуре". В этом – сущность проекта SCX, но в этом проекте имеется также и маркетинговый трюк. Данные кремниевой коры, сенсорных и эффекторных устройств и применяются в проекте SCX стандарту шины VME!

Это – принципиальный выбор.

Как известно, корпорация ИБМ сделала архитектуру своего РС открытой. Это породило целую отрасль промышленности – производителей расширяющих плат. Скромный персональный компьютер сразу превратился в универсальный прибор, годный для "любых" применений. Это обеспечило ревуший рынок РС и невиданную массовость

средств вычислительной техники. Вызвало к жизни творчество миллионов. Можно утверждать, что и промышленность ISV (Independent Software Vendor – Независимый Поставщик ПО) была порождена дальнобойным маркетинговым приемом.

Следует ожидать такого же эффекта с появлением коры SCX системы промышленной автоматизации, построенные на VME, образ нейроморфный мозг, способность видеть и слышать, ощущать электрические и магнитные поля, воспринимать ультразвуки и радиацию. Смогут анализировать обстановку и принимать решения. Это будет вивкой разума системам промышленной автоматизации.

Как только нейроинтеллект SCX начнет "просыпаться", к этим ромашинам рванутся сотни производителей "расширяющих плат" для VME.

Трудно переоценить то знание, которое "принесла" с собой Маховальд из царства нерожденных душ...

Отличие проекта SCX от "проекта IBM PC" состоит в том, что в последнем сначала был создан "корневой" компьютер PC, а затем появилась промышленность плат и ISV. В проекте SCX эта расширяющаяся промышленность уже существует с самого начала, и идет изготовление "корневой" нейромашины.

Аналоговые нейроны М. Маховальд это не простые "синаптические сумматоры", которыми до сих пор пользуются во всех приложениях ротехнологии.

Сегодня уже готова первая плата SCX-1 и первая дочерняя плата. Плата SCX-1 использует АЕ-протокол как "рамку" для построения искусственных нейронных систем, включающих в себя много нейронов. Разработчики проекта SCX считают, что эти системы наряду с центральной нервной системой должны содержать в себе такие сенсоры как сетчатки и улитки, а также – моторные эффекторы.

Это, в частности, значит, что если человеческий мозг способен интегрировать видеоинформацию, поступающую от двух глаз (бинокулярность), то искусственная центральная нервная система должна быть способна интегрировать видеоинформацию от многих сетчаток (мультикулярность). Это – полизрение. Сенсорные и моторные платы могут пользоваться сетчатками разных конструкций. Они могут разрабатываться "Сообществом VME" с полной свободой от каких-либо ограничений кроме стандартов. (Стандартов VME и стандартов АЕ-протокола).

Мультикулярное зрение не обязательно предполагает простое разнесение воспринимающих "окуляров". Было бы очень интересно, если бы человеческий глаз мог одновременно видеть пред

ными степенями увеличения. Могут быть и разнесенные "окуляры" системы телевидения, которые, руководствуясь "собственным интеллектом", выбирают ракурсы съемки.

"Рамка" была спроектирована так, чтобы сразу разрешить много фундаментальных проблем, встречающихся при построении систем аналоговых чипов, которые используют АЕ-протокол:

- координирование активности многих чипов отправителей/получателей на одной и той же шине;

- обеспечение метода построения распределенных сетей локальных шин, достаточных для построения сколь угодно больших нейросистем;

- создание средств ПО для трансляции адресов-событий, конфигурирования произвольных связей между нейронами;

- обеспечение практически неограниченной возможности цифрового интерфейсирования на шине VME;

- обеспечение пожизненной поддержки для заказных аналоговых чипов путем поддерживания легко изменяемых аналоговых параметров на чипах или путем программирования аналоговых неизменяемых запоминающих емкостей (плавающие вентили).

В итоге, "рамка" SCX-1 спроектирована так, чтобы она служила основой системой прототипирования, способной принять в себя чипы, которые могут быть спроектированы для специализированных систем, которые в свою очередь могут и не базироваться на программируемых соединениях этой печатной платы.

Схема SCX перегрузила бы данную статью и потребовала бы объемных пояснений. Отметим лишь, что на ней имеются два 84-штырьковых разъема (pin-аггау), для помещения в них заказных нейронных чипов, а также разъем для подключения дочерней платы.

Дочерние платы могут проектироваться и производиться пользователями. Дочерняя плата может содержать до четырех элементов, которые должны "переговариваться" по LAEB (иначе говоря - четыре дополнительных заказных нейронных чипа).

Дочерние платы или разъемы дочерних плат могут использоваться для интерфейсирования периферийных сенсорных устройств, таких как датчики или моторные драйверы, которые используют АЕ-протоколы.

Кроме того, дочерняя плата может быть использована, чтобы смонтировать на ней чипы-приемники, которые транслируют паттерны адресов событий в образы для вывода на видеомонитор.

Коммуникация между всеми чипами в такой системе производится по трем АЕ-шинам (три шины АЕВ). Управление шинами АЕВ выполняется с помощью схем синхронизации на платах шины, хотя задания на передачу управления могут поступать в любой момент времени любого из заказных нейронных чипов. Решение использовать стандартный арбитраж с помощью синхронной шины мотивировалось тем, что имеются хорошо понимаемые, отлаженные методы для его реализации. Мы надеемся, что этого описания достаточно, чтобы составить представление о большой сложности управления платами.

Подведем итоги.

В десятках университетов Америки и других стран идет подготовка к созданию в широких пределах искусственной рабочей силы. Многие сегодняшние профессии станут ненужными. Помимо миллионов "исчезающих" врачей, которые не будут лишать "живых" врачей их рабочих мест, появятся миллионы "крановщиков", "водителей", "операторов" т.д., которые произведут отчуждение "живого" человека от производства.

Выброс новой рабочей силы на рынок станет вопросом скоростной боты конвейеров, производящих нейроморфный мозг.

Социальную напряженность можно будет демпфировать только новой технологией экспорта безработицы. Подчеркиваем, "экспорт безработицы" как социального явления.

Уже сейчас США экспортируют свою безработицу в Западную Европу и Юго-Восточную Азию. Западная Европа передает ее дальше, в первую очередь - в Россию.

Надо было остановить всю русскую промышленность, чтобы безработица Франции держалась на уровне 11%. Иначе она перевалила бы за 25% и улицы французских городов снова услышали бы пение голубов...

Европейский Союз. Свободное перемещение капиталов, товаров, услуг и рабочей силы.

Какой? Нейроморфной?