

Нейрочипы



# Нервы для компьютера

Неплохие сюжеты для авторов научно-фантастических романов — управляющие компьютером клетки головного мозга или чипы, имплантированные в тело и функционирующие как отдельные органы. Сегодня ученые работают над тем, чтобы, как говорится, сказка стала былью. Насколько они близки к поставленной цели, мы вам сейчас и расскажем.

**О** чем думает лабораторная крыса, когда она видит человека в белом халате? Мы об этом не знаем. Пока. Но вполне возможно, об этом никто не узнает даже после того, как мозг крысы будет интегрирован в компьютер. При этом сам компьютер, подпитанный серым ве-

ществом маленьких грызунов, будет уметь значительно больше, чем современные вычислительные машины. Ведь сегодня, несмотря на все свои способности и скорость работы, компьютеры не умеют думать так же, как живые существа, и в этом безнадежно проигрывают мозгу. »

» Например, компьютер не умеет водить автомобиль. Бортовые компьютеры, устанавливаемые сегодня на автомобилях, даже близко нельзя сравнить с самым никудышным человеком-водителем. Ведь тот может действовать исходя из складывающейся ситуации и устанавливать ассоциации между различными событиями. Как раз этого компьютер, увы, делать не может, он просто не способен думать по-человечески.

Тем более сенсационными представляются намерения ученых реализовать то, что раньше можно было смело считать областью научной фантастики. Например, физики всерьез задумались над тем, как соединить компьютер в единую сеть с нейронами головного мозга животных. Работать эта система должна примерно так: серое вещество мозга животного (скажем, крысы) получает задачу, решает ее, а компьютер представляет полученный результат в «удобочитаемом» виде. Привлекательным моментом во всем этом является возможность овладеть потенциальными способностями головного мозга, даже не зная в точности, как он функционирует. Это как бы «черный ящик» с системой ввода и вывода информации, который будет функционировать совместно с электронными компонентами компьютера.

Предпосылкой успешной работы всей системы является обмен электрическими сигналами между клетками и микросхемами. Коммуникация между электронной и биологической системами должна протекать без всяких проблем. Но проблемы, увы, существуют и заключаются в следующем: передача электрических импульсов в кремнии осуществляется с помощью электронов, а в нейронах же существует ионная проводимость. Таким образом, эти две системы в принципе несовместимы. При непосредственном контакте электроны повреждают клетки, а ионы вызывают коррозию чипа. Поэтому прямой контакт между нейроном и кремнием недопустим. Он предотвращается тонкой пленкой из оксида кремния. Информация передается не прямым обменом зарядами, а через электрическое поле между двумя «устройствами».

Еще одна мечта ученых — это управление протезами и имплантированными искусственными устройствами с помощью сигналов, исходящих непосредственно из головного мозга. Слепые люди надеются обрести способность видеть за счет им-

плантированной сетчатки. Ее контакт со зрительными центрами мог бы осуществляться через специальный чип, который будет принимать оптические сигналы и направлять их в головной мозг по нервным стволам. Однако для того, чтобы пациент видел не просто вспышки света, а мог наблюдать окружающую его действительность, необходимо провести еще немало фундаментальных исследований.

Несравненно более трудным представляется желание научиться управлять искусственными конечностями, передавая им соответствующие сигналы по нервам от головного мозга. Только вот обращение со столь сложными системами, двигающимися в трех плоскостях, — это задача, которую можно будет решить лишь в отдаленном будущем.

«Пока что все это научная фантастика, — с улыбкой замечает профессор Петер Фромхерц — но она-то и приводит нас к необходимости проведения кропотливых исследований». Он руководит отделом мембранной и нейрофизиологии Мюнхенского института биохимии им. Макса Планка и является пионером в области соединения живых клеток с электронными компонентами, занимаясь этой задачей вот уже 17 лет.

### Клетки растут на микрочипах

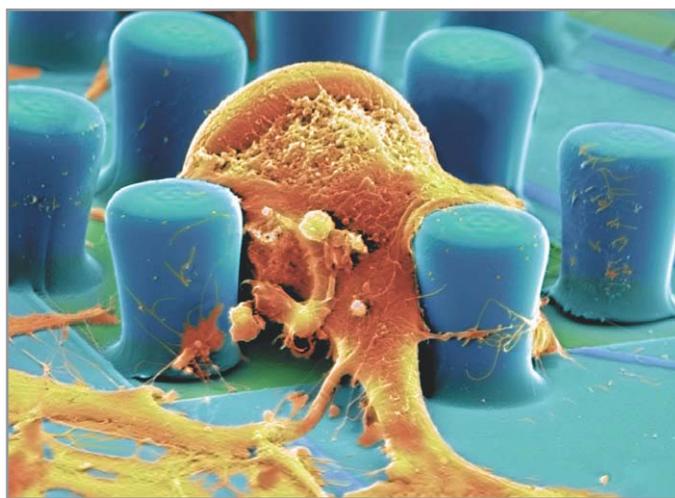
Профессор Фромхерц прекрасно знает, как много сил и средств требуют исследования в данной области, и поэтому оптимизм стал для него непереносимым состоянием души. Вот почему он не устает повторять: «Всегда нужно делать реальные шаги вперед, не желая получить слишком много за один раз».

Тем не менее именно ему с группой ученых совсем недавно удалось достичь сенса-

ционных результатов в данной области, которые означают еще один прорыв в мир неизведанного. Прежде о своих результатах профессор не рисковал говорить много. Но теперь, когда ему удалось добиться передачи нервных импульсов от клетки к клетке по электрическим проводникам через кремниевый чип, он стал более открытым. В 1991 году Фромхерц впервые поместил нейрон пиявки на чип, который стал улавливать импульсы, вырабатываемые нервной клеткой. В 1995 году ему удалось повторить этот фундаментальный эксперимент, но уже в обратном направлении. В ходе опытов клетка возбуждалась с помощью электрических импульсов, передаваемых чипом, и реагировала на эти импульсы своими сигналами, потенциал которых можно было измерить.

Пиявки для опытов были выбраны из-за того, что они имеют несчастье обладать относительно крупными нейронами, с которыми легко обращаться. Кроме того, их электрическая структура не очень сложная, поэтому при изготовлении кремниевой подложки для этих нейронов не требовалось применения сложных технологий. Между тем сегодня немецкие ученые предпочитают работать с улитками, так как их нейроны лучше реагируют на электрические сигналы, чем клетки пиявок. И хотя препарировать улиток сложнее, отказ от пиявок, по словам Фромхерца, сэкономил ученым не меньше двух лет работы.

Улитки, служащие рабочим материалом, выращиваются тут же, рядом с лабораторией. Для того чтобы получить у них нейроны, улиток достают из их домиков, усыпляют, затем извлекают их мозг и помещают его в питательный раствор. В этом растворе



«За частоколом»: мельчайшие пластиковые «подпорки» фиксируют нервные клетки улитки на кремниевом чипе, на котором продолжают расти ганглийные<sup>1</sup> клетки



Увлеченный идеей

## Профессор хочет стать первым киборгом

В то время как одни терпеливо проводят фундаментальные исследования, продвигаясь вперед со скоростью улитки, другие не желают ждать, когда же человек и компьютер научатся тесно контактировать. Профессора Кевина Варвика из британского университета города Ридинг можно считать типичным представителем пессимистичных британцев. Он уверен в возможности того, что со временем машины станут более интеллектуально развитыми, чем люди. «Но как, черт возьми, будет чувствовать себя человечество? Какая роль нам будет отведена?» — задается вопросом британский ученый.

Увлеченный своей идеей стать первым в мире киборгом<sup>2</sup>, он уже во второй раз имплантировал себе микрочип. В ходе двухчасовой операции в одной из клиник Оксфорда Варвик заполучил в кистевой сустав микрочип, от ста контактов которого по предплечью проходят тончайшие проводники. Они выходят наружу в районе локтевого сгиба и подключаются там к приемопередатчику, осуществляющему связь с компьютером. И если в ходе первого опыта компьютер лишь регистрировал сигналы, исходящие от предплечья, то во втором опыте должна функционировать двусторонняя связь. Это значит, что в его руке будут протекать импульсы, вырабатываемые не только головным мозгом, но и компьютером.

К слову сказать, как ученый профессор Варвик находится в изоляции, так как в глазах коллег он считается попросту фантазером.



◀ Первый киборг: профессор Кевин Варвик первым имплантировал себе микрочип



◀ Объекты исследований: биофизики разводят улиток, которые служат «поставщиками» нервных клеток для экспериментов, проводимых учеными

» нервные клетки разрастаются, и после этого они готовы к опытам.

В отличие от других разрабатываемых проблем, над этой Фромхерц с коллегами трудятся в одиночестве. Это затрудняет и замедляет работу, так как не с кем посоветоваться и никто не подскажет выхода из затруднительной ситуации. Дело в том, что Институт им. Макса Планка способствует исследованиям в самых различных областях, в том числе и в таких, которые расчитаны на весьма и весьма отдаленную перспективу. «В тех же Соединенных Штатах, — говорит профессор, — никто не поддержит подобные исследования».

Долгое время никого не интересовала утомительная возня ученых с пиявками, улитками и их нейронами, приносящая скудные результаты, из которых невозможно сразу же извлечь практическую пользу. «Возможно, — полагает профессор Фромхерц, — мы лет на десять раньше, чем это необходимо, начали свои исследования. Ведь общественный интерес к этой работе зависит еще и от духа времени».

Положение изменилось, когда команда немецких ученых из Института им. Макса Планка продемонстрировала, что можно сделать с нейроном и чипом. Наряду с успешными опытами по объединению нейрона с электронной схемой удалось заставить растущие на кремниевом чипе клетки соединиться и образовать синапсы<sup>3</sup>.

Фундаментальным можно считать опыт с двумя нейронами, сросшимися на чипе. Одна из клеток искусственно возбуждалась,

получая от чипа электрический импульс, а затем передавала через синапс этот импульс другой клетке. Возбуждение второго нейрона регистрировалось опять с помощью чипа. Этот опыт демонстрирует возможность создания нейронных сетей с использованием нервных клеток и микросхем.

Следующий шаг в направлении создания нейронных систем — это «обучающиеся синапсы». Суть их заключается в следующем: когда два контактирующих друг с другом нейрона обмениваются импульсами, то активность этих клеток увеличивается, что в биологических сетях равнозначно процессу обучения.

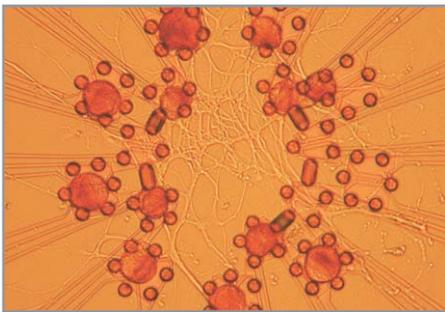
Срок жизни нейрочипа определяется в большинстве случаев работоспособностью его электронной системы. Нейроны, в свою очередь, могут оставаться работоспособными сколь угодно долго, но они в процессе своего роста попросту могут разрушить чип. Примерно так корни растущего дерева взламывают асфальтовое покрытие.

Лишь зная в точности, как выглядит пограничная зона между чипом и живой клеткой, можно улучшить их контактирование. Поэтому сейчас ведется интенсивная работа над улучшением методов измерения расстояний между чипом и нейроном, а также определением электрического сопротивления. «Чем лучше мы овладеем побочными эффектами, тем лучше мы научимся передавать сигналы между клетками и транзисторами», — разъясняет ситуацию Раймунд Глейкснер, физик из Мюнхена.

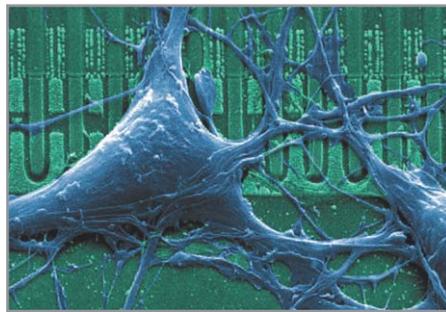
<sup>1</sup> Ганглий (от греч. ganglion — узел) — нервный узел, анатомически обособленное скопление нервных клеток (нейронов), волокон и сопровождающей их ткани, в котором перерабатываются и интегрируются нервные сигналы. У беспозвоночных ганглии выполняют функцию центральной нервной системы.

<sup>2</sup> Киборг (от англ. cybernetic organism — искусственное существо) — наполовину человек, наполовину машина.

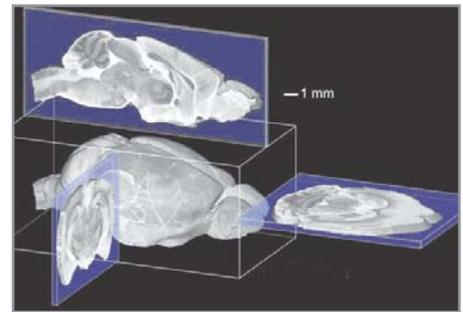
<sup>3</sup> Синапс (от греч. synapsis — соединение) — область контакта (связи) нервных клеток (нейронов) друг с другом и с клетками исполнительных органов.



▲ Нейронная сеть: на контактах кремниевого чипа располагаются нервные клетки, образующие синапсы



▲ Прототип будущего устройства, объединяющего в себе живые клетки и электронные компоненты



▲ Мозг крысы: возможно, благодаря органическому составляющему компьютер будет думать как человек

» Но намного увлекательнее другое направление исследований: контакт более сложного микрочипа с большим количеством нейронов.

Срез головного мозга крысы являлся основным звеном экспериментальной системы. Дело в том, что у млекопитающих один нейрон не играет столь большой роли, как у улиток. Поэтому в данном эксперименте измерялся потенциал не одного, а множества нейронов.

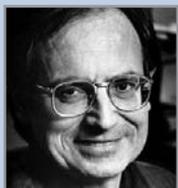
Вместо того чтобы укладывать на отдельный транзистор одну клетку, исследователи соединили сравнительно большое количество мозгового вещества с микропроцессорами, состоящими из плотной решетки транзисторов. В точках контактирования производились измерения. О впечатляющих результатах профессор Фромхерц говорит так: «Все получилось с первого раза и на удивление хорошо. В принципе, мы должны были бы догадаться сделать все это еще раньше».

Отдел мембранной и нейрофизики располагает собственным помещением, где специалисты изготавливают для своих нужд большую часть используемых в экспериментах чипов. Более сложные устройства с 15 тыс. контактов по CMOS-технологии будет делать Infineon. Пока остается открытым вопрос, как будут обрабатываться гигантские массивы данных, ведь современные компьютеры для этого не годятся, как не годятся они и для автономного управления автомобилем. **СНИР**



Интервью с биофизиком Петером Фромхерцем

## «Компьютеры будут думать так, как сегодня это умеет делать только мозг...»



**Господин Фромхерц, неужели в один прекрасный день нам смогут имплантировать в головной мозг микросхему?**

Пока что это чистой воды фантастика. Я полагаю, так далеко мы никогда не зайдем. Честно говоря, я не люблю рассуждений на эту тему. Каждый раз, чтобы сделать малюсенький шаг вперед, требуются длительные фундаментальные исследования. Ведь зачастую сегодня ученые просто вынуждены потакать общественному мнению и обещать скорые результаты, чтобы получить средства для проведения своих исследований.

**Какие цели вы преследуете в своей работе?**

Прежде всего, мы разрабатываем новые методы измерений для нейробиологии. Невозможно, используя один, два или десять электродов, понять, как работает мозг, состоящий из десяти миллиардов нейронов.

Один микрочип мог бы создать несколько миллионов контактов и приблизить нас к пониманию этой проблемы. Пока же мы близки к созданию биологических сенсоров. В сочетании с клеточной генетикой можно было бы осуществлять фармакологический отсев препаратов, проверяя их действие на живом существе прямо в пробирке.

**Что же принесет нам отдаленное будущее?**

Мы не будем пытаться выяснить, как функционирует головной мозг, но все же попытаемся использовать «сетевые особенности» нейронов в вычислительной технике. Это будет шагом к созданию нейрокомпьютера. Первые результаты можно ожидать лет через пять-десять. Разумеется, это будет не симбиоз компьютера и мозга, а всего лишь опыты в пробирке.

Другое направление — соединение нервных окончаний с протезами — сегодня рассматривается чересчур оптимистично. Эта задача намного сложнее, чем полагают не-

которые эксперты. В настоящий момент для ее осуществления отсутствует слишком много предпосылок. Что касается долгосрочной перспективы, то здесь я оптимист. Как минимум лет через двадцать данную проблему, может быть, удастся решить.

**Каких результатов хотите достичь лично вы?**

Мы слишком рано, примерно лет на десять раньше, начали свои исследования. Поначалу наша работа ни у кого не вызывала интереса. Теперь, по прошествии времени, я могу себе представить, что нас ждет при работе с имплантатами сетчатки. Посмотрим, что получится, если удастся наложить ее на чип.

**В какой области вы видите наилучшие перспективы?**

В долгосрочной перспективе очень интересными представляются биокомпьютеры. Если удастся соединить нейроны и микропроцессоры в единое целое, то однажды компьютеры научатся думать как человек.