

Гэри Стикс



**КАК ПОДКЛЮЧИТЬСЯ
К МОЗГУ**

Насколько далеко может продвинуться наука в разработке интерфейсов мозг-машина? Сможем ли мы вводить какую-либо информацию прямо в мозг, как если бы этот орган был гигантским флэш-дискон?

В киберпанковской научной фантастике, появившейся в 1980-х гг., привычно фигурируют «нейроимпланты», позволяющие подключать компьютерные устройства непосредственно к мозгу: «У меня в голове хранились сотни мегабайт», — заявляет главный герой рассказа Уильяма Гибсона «Джонни Мнемоник». Главным в этом тогда еще молодом жанре (а в то время мегабайт казался огромным объемом памяти) было сравнение устаревшей ретрокультуры с технологией, которая, как казалось в 1980-х гг., не слишком далеко выходила за пределы возможностей искусственного биомедицинского инженера. Несмотря на то что изобрести такие импланты до сих пор не удалось никому ни в Массачусеттском, ни в Калифорнийском технологических институтах, лучшие авторы киберпанка создавали иллюзию, что эти изобретения когда-нибудь будут совершены на самом деле и, возможно, даже при жизни самих читателей.

За последние десять лет в реальности появились достаточно убедительные провозвестники технологий, придуманных в киберпанковской литературе. Сегодня человек с электродами, имплантированными в мозг, может с помощью одних лишь нервных импульсов управлять искусственной рукой, что дает надежду парализованным людям. Ученые также исследуют возможность посылать электрические сигналы в обратном направлении, обеспечивая обезьяне возможность ощущать, как управляемая ею рука робота дотрагивается до предметов.

Но насколько далеко мы сможем зайти в создании запасных частей для мозга и остальной нервной системы? Сможет ли когда-нибудь эта технология не только позволить уп-

равлять курсором компьютера или протезом руки, но и превратить 100 млрд нейронов мозга в хранилище шпионских сведений или во что-нибудь еще из арсенала произведений Гибсона?

Превратится ли человек в машину?

Сегодня голливудские сценаристы и футуристы, не столь осведомленные наследники киберпанковской традиции, вновь обращаются к подобным нейротехнологиям. Фильм «Сингулярность рядом» (*The Singularity Is Near*), выход которого на экраны намечен в 2009 г., основан на идеях специалиста по теории вычислительных машин Рэя Курцвайля (Ray Kurzweil), заявившего, что люди в конце концов достигнут бессмертия благодаря переносу цифрового образа их мозга в компьютер или в робота.

Однако идея о вечной жизни в духе виртуального персонажа, обитающего в телевизоре, как в сериале «Макс Хэдрум» (*Max Headroom*), или же о переносе личности в новейшего человекоподобного робота в наши дни остается не намного ближе к реальности, чем в XVII в., когда Рене Декарт размышлял о дуалистическом разделении души и тела. Полноценный перенос личности, равно как и компьютерная имитация, например, восторга от игры красок восхода

солнца, переменчивой эмоциональной палитры человека и всей остальной смеси того, что в совокупности дает совершенно субъективное ощущение мира и составляет сущность нашей сознательной жизни, остаются не более чем выдумкой писателей-фантастов.

Правда, за шумихой вокруг протезов, управляемых силой мысли, скрывается недостаток знаний о функционировании нервной системы, которые необходимы для передачи информации в мозг, позволяющей воссоздать киберпанковскую виртуальную реальность. «Мы знаем слишком мало о нервных сетях, обеспечивающих высшие когнитивные функции», — говорит Ричард Андерсен (Richard A. Andersen), нейробиолог из Калифорнийского технологического института.

А если подходить реалистично, то чего можно достигнуть при взаимодействии мозга и машины? Означают ли первые успехи экспериментов по управлению механическими манипуляторами и курсором компьютера с помощью ЭЭГ, что к нам неизбежно и неотвратимо приближается если не курцвайлевская сингулярность, то хотя бы возможность вводить какую-либо когнитивную информацию высокого уровня прямо в мозг? Сможем ли мы загружать в свою голову «Войну и мир» — или же, как в «Матрице», руководство

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Футуристы и писатели-фантасты рассуждают о том времени, когда мозг сольется с компьютером.
- В настоящее время существует технология, использующая сигналы мозга для управления курсором компьютера или протезом руки. Однако сейчас нельзя предсказать, до какой степени удастся усовершенствовать интерфейс мозг-машина.
- Можно попытаться представить себе, как будет происходить ввод текста и другой сложной информации в мозг. Однако для преодоления технических трудностей, препятствующих выполнению этой задачи, потребуется фундаментальный прогресс в понимании функционирования мозга.

по управлению вертолетом? А как насчет того, чтобы записать какие-либо слова в память человека так, чтобы он этого не заметил? Или передать туда хотя бы одно слово?

Эти вопросы представляют не только академический интерес. Даже если канал связи с корой мозга навсегда останется выдумкой фантастов, то понимание того, как фотоны, звуковые волны, молекулы

Нейроимпланты — символы научной фантастики и футуристической литературы — уже создаются в лабораториях. Однако более продвинутое применение этой технологии (например, такое как ввод текста прямо в мозг) все еще остается литературной выдумкой



запахов, давление на кожу превращаются в устойчивые воспоминания, — это уже не только развлечение для киберпанков. Нервные протезы, построенные на основе таких знаний, помогут больным после инсульта и пациентам с болезнью Альцгеймера обрести новую жизнь.

Примитивные устройства для прямого подключения к мозгу уже установлены в головы тысяч человек. При тяжелом нарушении слуха вживляют кохлеарные импланты, которые стимулируют слуховой нерв преобразованными звуками, воспринятыми с помощью микрофона. Нейробиолог Майкл Газзанига (Michael S. Gazzaniga) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре охарактеризовал такое устройство как первый реально действующий нейропротез для человека. Матрицы электродов, играющие роль сетчатки, в настоящее время проходят испытание в лабораториях. Если они будут работать, то на их основе можно будет создать устройства, дающие возможность людям видеть в темноте.

Более амбициозные цели, напоподобие подсоединения Интернета прямо к гиппокампу (нервной структуре, участвующей в формировании памяти), требующие еще не изобретенных технологий. Для этого надо понять, как образуются устойчивые связи между нейронами и внешним миром, и найти способы перевода цифровой версии «Войны и мира» на язык взаимодействия нейронов друг с другом. А подсказки следует искать в работах по созданию интерфейсов мозг-машина.

Ваш мозг и текст

Для того чтобы предавать текст прямо в мозг, следует прежде всего решить, нужно ли вводить электроды в мозговую ткань: ведь если это необходимо, то нейроимпланты не будут иметь практической ценности ни для кого, кроме инвалидов. Однако уже на протяжении почти целого столетия известно, что электрическую активность мозга можно выявить, не делая отверстий в черепе. Приспособление, похожее на ку-

пальную шапочку и утыканное электродами, может передавать сигналы от парализованного больного, позволяя ему печатать буквы или путешествовать по Интернету. Нильс Бирбаумер (Niels Birbaumer) из Тюбингенского университета в Германии, ведущий разработчик данной технологии, утверждает, что магнитная стимуляция мозга сквозь кости черепа в сочетании с электродной шапочкой для регистрации возникающей активации позволит выяснить локализацию в мозге отдельных слов. Если иметь такую карту, то можно прицельно стимулировать эти точки и формировать соответствующую память, по крайней мере теоретически.

Некоторые нейротехнологи полагают, что если конкретные слова размещаются в определенных точках мозга (что само по себе спорно), то их обнаружение, вероятно, потребует лучшего пространственного разрешения, чем то, которого можно добиться с помощью энцефалографической шапочки с электродами. Один из проводящихся в настоящее время экспериментов с вживляемыми имплантами, возможно, сможет достичь требуемой точности. Филип Кеннеди (Philip R. Kennedy) из компании *Neural Signals* со своими коллегами разработал устройство, которое регистрирует активность множества нейронов. Оно позволяет больным, перенесшим инсульт, одной лишь силой мысли посылать сигнал, интерпретируемый компьютером как, скажем, гласная, которую затем можно озвучить с помощью синтезатора речи — а это шаг к формированию целых слов. Такой тип интерфейса мозг-машина можно будет также использовать для стимуляции отдельных нейронов.

Еще более точные устройства должны содержать нановолокна диаметром в 100 нм или менее, которые можно подвести к отдельным нервным клеткам. Цзюнь Ли (Jun Li) из Университета штата Канзас со своими коллегами создали приспособление, напоминающее щетку. Роль щетины выполняют нановолоконные электроды, которые стимулируют

ют нейроны или регистрируют идущие от них сигналы. Ли полагает, что это устройство поможет людям, страдающим от болезни Паркинсона или депрессии, позволит управлять протезом руки или даже вызывать сокращения мышц астронавтов во время длительных космических полетов для недопущения атрофии мышц при нулевой гравитации.

Как изучить язык

Реализация фантазии о загрузке в голову учебника по высшей математике (или даже разговорника по французскому языку перед отпуском) потребует гораздо более глубокого понимания мозговых сигналов, кодирующих язык и другие высшие когнитивные явления.

Раскрытие нервного кода — один из главных вызовов нейронауке, а если перефразировать Фрейда, то это царская дорога к пониманию сознания. Теоретики выдвинули множество различных идей для объяснения того, как миллиарды нейронов передают сообщения через триллионы связывающих их синапсов. Согласно самой старой из них, код состоит из частоты разряда электрических импульсов, генерируемых нейронами.

Несмотря на то что частотный код может годиться для восприятия некоторых стимулов, его недостаточно для загрузки в мозг произведений Марселя Пруста или Ричарда Фейнмана, а также для создания мысленного экрана, на котором бы отображалось печенье «Мадлен» из романа «По направлению к Свану» или концептуальная абстракция из учебника по дифференциальному исчислению. В более современных работах внимание уделяется точному измерению временных интервалов между всеми спайками (временной код) или же непрерывно меняющимся паттернам совместного разряда групп нейронов (популяционный код) (врезка на стр. 38–39).

Попытки создать искусственный гиппокамп для людей с потерей памяти позволят несколько приблизить возможность такой загрузки в мозг. Эта работа должна помочь исследователям понять сам процесс



Парализованный человек, прикованный к креслу, может перемещаться по виртуальной улице с помощью электрических волн мозга, регистрируемых электродной шапочкой

кодирования. Сотрудничество между Университетом Южной Калифорнии и Уэйк-Форестским университетом направлено как раз на создание такой замены для нервной структуры, ответственной за формирование памяти. Гиппокамп, расположенный глубоко внутри височной доли, повреждается при инсульте и при болезни Альцгеймера. Электронное устройство, работающее вместо гиппокампа, могло бы восстановить у человека способность запоминать новую информацию. Данный проект, финансируемый Национальным научным фондом США и Управлением перспективного планирования оборонных научно-исследовательских работ (DARPA), может продвигнуться даже дальше и обеспечить усиление нормальной памяти человека или же помочь разобраться с нервным кодированием когнитивных функций высокого уровня.

Две группы ученых, возглавляемые Теодором Бергером (Theodore W. Berger) в Университете Южной Калифорнии и Самуэлем Дедвайлером (Samuel Deadwyler) в Уэйк-Форестском университете, готовят к печати статью, демонстрирующую способность искусственного гиппокампа вместо настоящего выполнять работу по консолидации памяти крысы, которую обучали нажимать на рычаг ради получения капли воды. В норме

гиппокамп посылает сигналы, которые передаются в кортикальные области, ответственные за хранение долговременной памяти. В данном эксперименте гиппокамп крысы временно отключали с помощью химического вещества. Когда животное нажимало на правильный рычаг, электрический сигнал от сенсорной и других областей коры направлялся на электронную схему, которая, как заявляют исследователи, послала обратно в кору точно такие же сигналы, которые в данном случае генерировал бы и сам гиппокамп. Демонстрация того, что искусственное устройство имитировало гиппокампальный выходной сигнал, означала бы важный шаг к расшифровке нервного кода, который мог бы быть использован для записи памяти в моторную кору; возможно, это позволило бы когда-нибудь разгадать и те коды, которые лежат в основе сложного поведения.

Если бы удалось разобраться с тем, как кодируется предложение или целый технический документ, то в теории появилась бы возможность передавать их в гиппокамп (или в кору) по электродам, и сцена из «Матрицы», когда инструкция по управлению вертолетом была загружена в мозг с помощью сотового телефона, стала бы реальностью. «Американское министерство обороны предпочитает

КАК ЗАГРУЗИТЬ ТЕКСТ В НЕЙРОНЫ

Для того чтобы понять механизм загрузки «Войны и мира» или какой-либо другой информации высокого уровня прямо в мозг, нужно обратиться к самым продвинутым исследованиям в нейробиологии. Ученые изучают способы подсоединения компьютеров и протезов непосредственно к мозгу и стремятся понять

нейронный код мозга — как он преобразует входящие сигналы в поведение, например в движение рукой или в речь. Удастся ли преодолеть препятствия на пути к созданию устройств, вводящих информацию прямо в мозг, пока совершенно не известно

ВИДЫ НЕЙРОННОГО КОДА



ЧАСТОТНЫЙ КОД

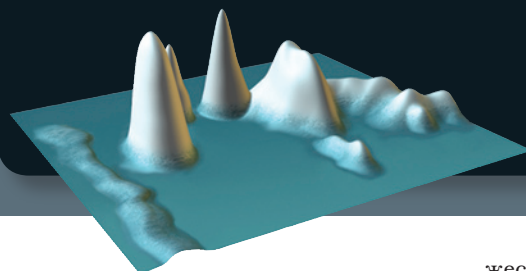
Природа нейронного кода — тема непрекращающихся исследований и споров. Раньше всего появилось представление о частотном коде, в основе которого лежит среднее число спайков в разряде нейрона за некоторый интервал времени, например за 100 мс

ВРЕМЕННОЙ КОД

Недавно нейробиологи обратили внимание на временной код, в котором приобретает значение время между отдельными спайками, что позволяет кодировать больше информации, чем в случае простого частотного кода

ПОПУЛЯЦИОННЫЙ КОД

В наиболее продвинутых исследованиях изучается популяционный код — паттерн активности, меняющийся как в пространстве, так и во времени при разряде группы нейронов. Графическое изображение разряда группы нейронов показано слева



ет более прозаический пример — руководство по управлению истребителем *F-15*, — говорит Бергер.

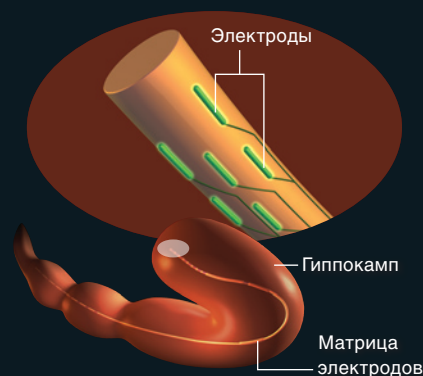
Кажущаяся простота модели передачи сигналов в исследованиях, подобных упомянутому выше созданию искусственного гиппокампа, рождает больше вопросов, чем ответов. Не будет ли такой имплант стирать уже имеющуюся у человека память? Будет ли код для определенного предложения одинаковым для меня, для вас и, скажем, для человека, говорящего на курдском языке? Сможет ли введенный код легко объединиться с другими сетями, обеспечивающими соответствующий контекст, семантическую структуру предложения? Не произойдет ли ошибочная интерпретация этих же слов в каком-то другом значении?

Некоторые нейробиологи полагают, что язык мозга не удастся разгадать до тех пор, пока мы не придумаем что-нибудь совершеннее, чем регистрация нейронных спайков. «Эксперименты с регистрацией мно-

жества сигналов и следующими за ней попытками разобраться, что эти сигналы означают и как они коррелируют с конкретными видами поведения, не решат данной проблемы», — замечает Генри Маркрам (Henry Markram), директор отдела нейронаук и технологий в Швейцарском федеральном технологическом институте в Лозанне. Каждый входной сигнал, поступающий на нейрон или их группу, рождает некоторое определенное следствие, например превращение сенсорных сигналов в долговременную память в гиппокампе, действуя по множеству разных путей. «А раз существуют различные пути, значит, мы еще очень далеки от их понимания», — говорит он.

Проект *Blue Brain Project*, возглавляемый Маркрамом, представляет собой стартовавшую в 2005 г. попытку имитировать с помощью суперкомпьютера работу мозга на молекулярном и клеточном уровнях. Для начала предусматривается создание модели более простого мозга крысы, и лишь после этого — человека. К решению второй задачи можно будет

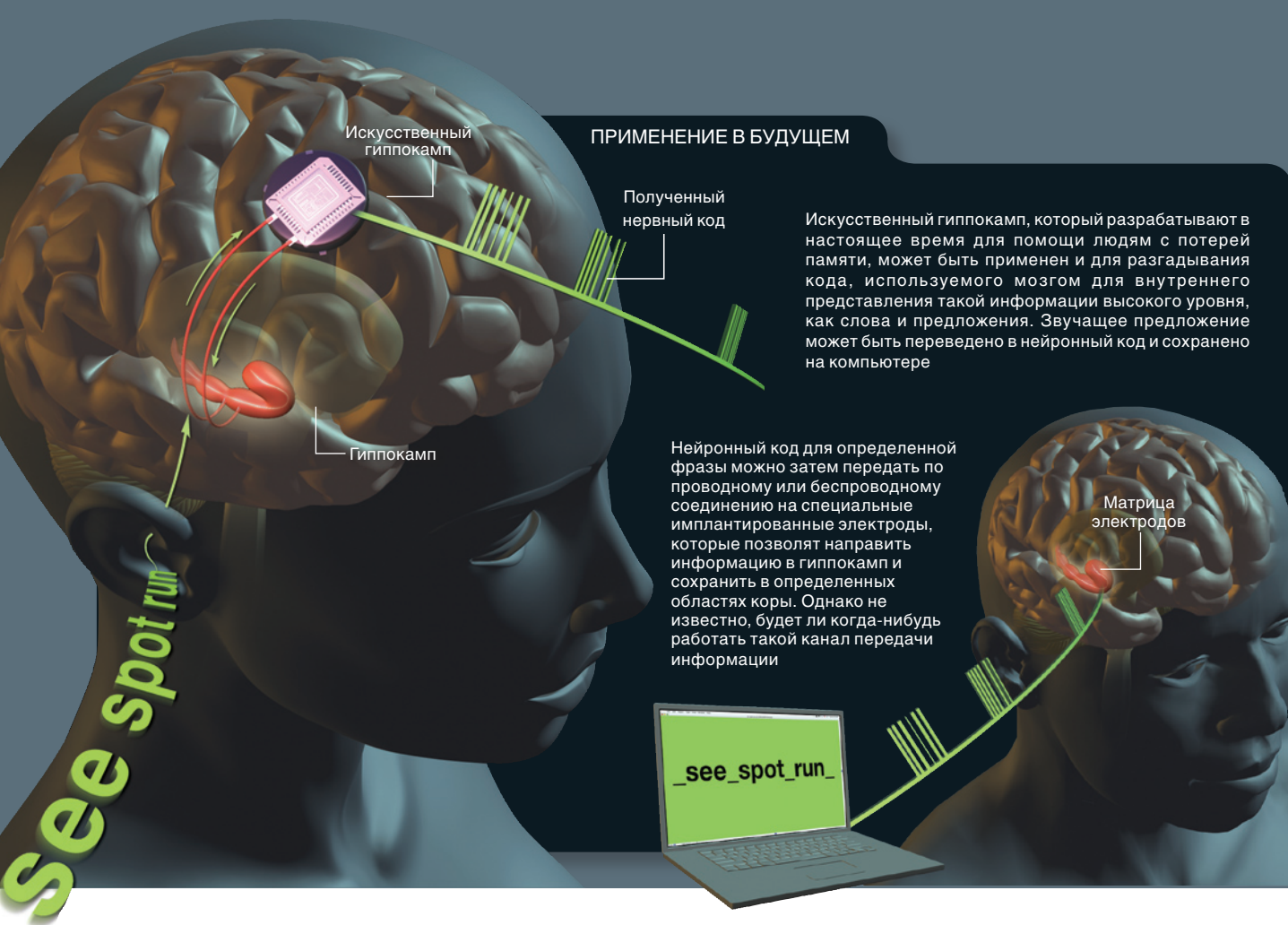
КАК ПОДКЛЮЧИТЬСЯ К НЕЙРОНАМ



Подключиться к нервным клеткам очень не просто: электрические проводники могут легко сдвигаться с нужного места, разрушаться и даже вызывать инфекцию. Для осуществления такой задачи, как ввод информации в гиппокамп — нервную структуру, помогающую формировать память, системы электродов должны обрести более высокую степень пространственного и временного разрешения

приступить лишь после появления вычислительных систем, мощность которых будет в 1 тыс. раз выше, чем у существующих на сегодняшний день суперкомпьютеров. «Я думаю, что произойдет концептуальный прорыв», — говорит Маркрам.

Трудность, заключающаяся в незнании механизмов передачи информации в мозг, накладывает ограничение на то, насколько далеко сможет продвинуться нейротехнология. Задача формирования множества связей, составляющих память, разительно отличается от намагничивания группы битов на жестком диске. «Сложная информация такого типа, как содержание книги, потребует взаимодействия большого количества клеток мозга в масштабных областях нервной системы», — замечает нейробиолог Джон Донахью (John P. Donoghue) из Университета Брауна. — Следовательно, вы не сможете адресоваться к каждой из них, заставляя хранить необходимую информацию. В пределах современных знаний это совершенно невозможно».



ПРИМЕНЕНИЕ В БУДУЩЕМ

Искусственный гиппокамп, который разрабатывают в настоящее время для помощи людям с потерей памяти, может быть применен и для разгадывания кода, используемого мозгом для внутреннего представления такой информации высокого уровня, как слова и предложения. Звучащее предложение может быть переведено в нейронный код и сохранено на компьютере

Нейронный код для определенной фразы можно затем передать по проводному или беспроводному соединению на специальные имплантированные электроды, которые позволят направить информацию в гиппокамп и сохранить в определенных областях коры. Однако не известно, будет ли когда-нибудь работать такой канал передачи информации

Так что запись информации прямо в мозг может остаться лишь мечтой, затерявшейся где-то в киберпространстве. Однако это не лишает Донахью оптимизма в отношении других способов передачи информации и создания управляемых протезов. Он — лидер в исследованиях по имплантации матриц из множества электродов в мозг, что позволяет осуществлять прямое управление протезом руки и даже инвалидным креслом.

Донахью предсказывает, что через пять лет интерфейсы мозг-машина позволят парализованному больному поднять чашку и попить из нее, а в более удаленном будущем такие системы, возможно, улучшатся настолько, что человек с поражением верхней части спинного мозга сможет совершать немислимое, например играть в баскетбол, воплощая в реальность события из телесериала 1970-х гг. «Человек на шесть миллионов долларов» (The Six Million Dollar Man). Даже без канала передачи информации в мозг инвалиды и исследователи пожнут богатые

плоды этого более простого подхода. Герт Пфуртшеллер (Gert Pfurtscheller) из Технологического университета Граца в Австрии сообщил в прошлом году о том, что пациент с травмой спинного мозга мог с помощью одной лишь силы мысли путешествовать по виртуальной улице. Мигель Николелис (Miguel A. L. Nicolelis) из Университета Дьюка, еще один первопроходец в области интерфейса мозг-машина, начал изучать то, как у обезьян, соединенных с искусственным устройством, которым управляет мозг, развивается кинестетическое самоосознание, чувство движения и прикосновения, полностью отделенное от сенсорного входа их биологического тела. «Есть некоторые физиологические свидетельства того, что во время эксперимента они ощущают себя более тесно связанными с роботом, чем со своим собственным телом», — говорит ученый.

Самое важное следствие таких исследований может состоять отнюдь не в создании нейроимплантов или механических рук. Понимание про-

цессов, происходящих в центральной нервной системе, возможно, позволит усовершенствовать методики обучения детей и лучше определять, в какой момент применять ту или иную педагогическую технику. Если это так, то исследования нейроимплантов и компьютерных моделей мозга дадут более важные практические результаты, чем мечты об использовании мозга в качестве флэш-диска, позаимствованные из научно-фантастической литературы XX в. ■

Перевод: Б.В. Чернышев

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Toward Replacement Parts for the Brain: Implantable Biomimetic Electronics as Neural Prostheses. Edited by Theodore W. Berger and Dennis L. Glanzman. MIT Press, 2005.
- The Forgotten Era of Brain Chips. John Horgan in Scientific American, Vol. 293, No. 4, pages 66–73; October 2005.
- The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology. Ray Kurzweil. Penguin Books, 2007.