

ОБ АВТОРЕ



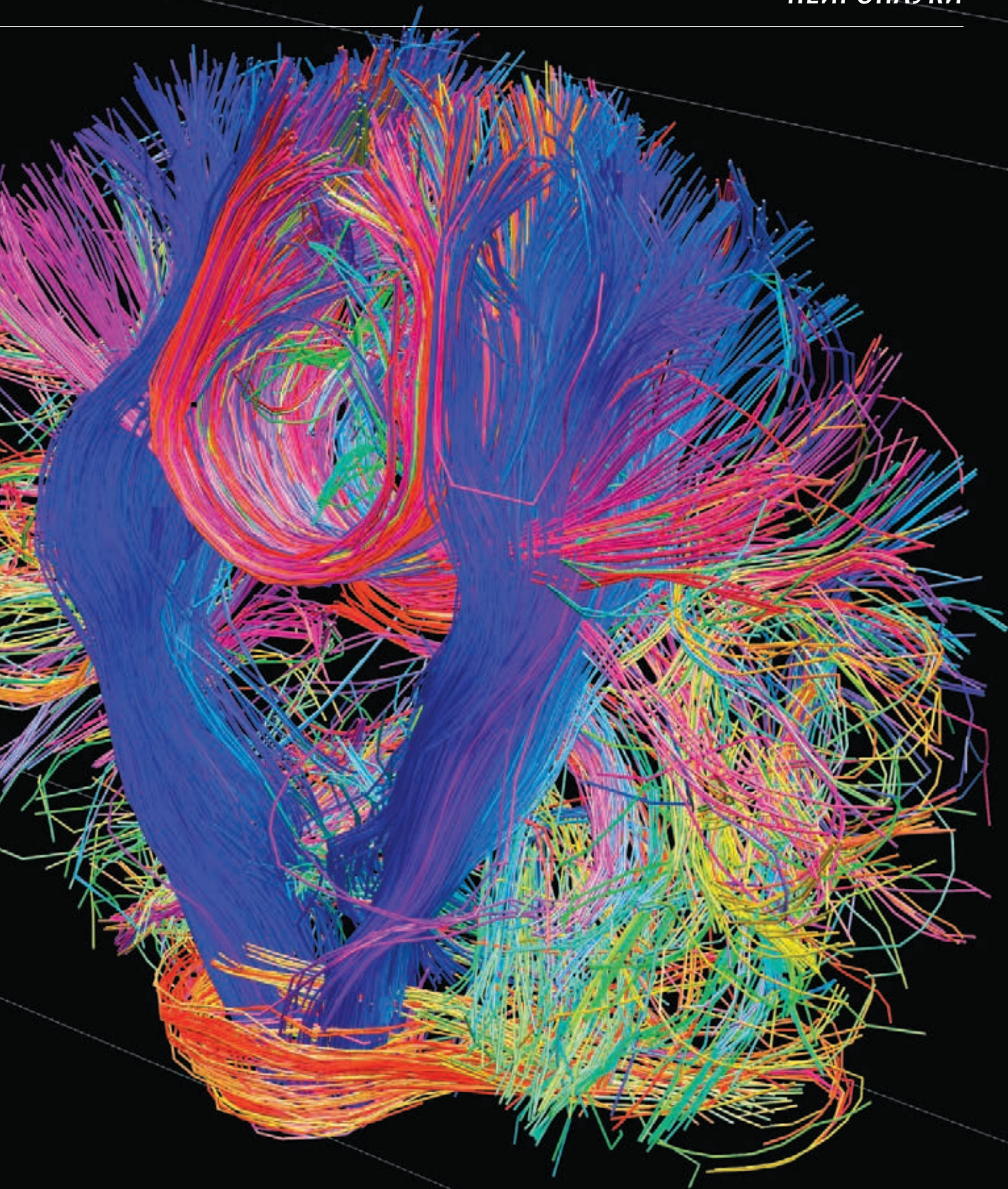
Генри Маркрам (Henry Markram) возглавляет проект *Blue Brain Project*, запущенный в Федеральной политехнической школе Лозанны. Ученый проделал большую работу, посвященную исследованию вопросов о том, как соединяются нейроны, как они общаются между собой и обучаются, а также открыл фундаментальные принципы приспособляемости мозга к внешней среде. Маркрам — один из первооткрывателей перспективной теории, объясняющей аутизм; кроме того, он внес вклад в построение теории, описывающей процесс обработки мозгом информации, при котором мозг действует подобно жидкости, выведенной из устойчивого состояния.

Генри Маркрам



Полнофункциональная модель человеческого мозга может кардинально изменить нейронауки и медицину, а также стимулировать создание мощных компьютеров





Пора по-новому изучать человеческий мозг

Редукционистская биология — а ее приверженцы полагают, что целое может быть разложено на составляющие элементы, и потому занимаются изучением отдельных составных частей головного мозга, нейронных цепей и молекул — добились значительных результатов. Однако объяснить механизм работы мозга — поистине уникального создания во Вселенной, напоминающего процессор для обработки данных, помещенный внутри черепной коробки, — с помощью одной лишь редукционистской биологии невозможно, поскольку необходимо не только различать разрозненные факты, но и рассматривать их как единое целое. Ведь нужно не только уметь разбирать объект на составные части, но и собирать его. А для этого нам необходима новая система воззрений, сочетающая в себе и анализ, и синтез. Еще отец редукционизма, французский философ Рене Декарт, писал о необходимости сначала исследовать составные части, но затем все же собрать их в единое целое.

Главная цель проекта заключается в том, чтобы из составных элементов воссоздать модель человеческого мозга, наиболее приближенную к оригиналу. Ничего подобного люди до сих пор не предпринимали. Но лед тронулся, процесс создания уже начался. Устройство, моделирующее человеческий мозг, чем-то напоминает пилотажный тренажер, с той лишь разницей, что оно будет имитировать перемещения внутри мозга. Для работы «виртуального мозга» будут задействованы суперкомпьютеры на базе современных достижений нейронауки.

Для научного сообщества виртуальный мозг, подобно самым мощным телескопам, окажет неоцени-

мую услугу: с его помощью ученые сэкономят в процессе экспериментов массу времени. Используя виртуальную модель, можно проверять теории, описывающие работу мозга здоровых и больных людей. Она поможет ученым не только разрабатывать новые диагностические тесты для выявления, скажем, аутизма или шизофрении, но и находить новые методы лечения депрессии и болезни Альцгеймера. «Цифровой мозг», состоящий из десятков триллионов нейронных цепей, станет основой для создания компьютеров, моделирующих мозг, и базой для конструирования роботов, оснащенных искусственным интеллектом, — одним словом, все эти веяния кардинально изменят нейронауку, медицину и инновационные технологии.

Мозг в коробке

Первые компьютерные модели человеческого мозга могут появиться уже к концу этого десятилетия; к тому времени суперкомпьютеры уже будут настолько мощными, что смогут проводить вычисления на огромных скоростях. Правда, сама по себе компьютерная модель еще не дает гарантии, что мы сможем разгадать сразу все тайны человеческого мозга, — вовсе нет; однако, отталкиваясь от известных нам данных, можно будет строить гипотезы, объясняющие неизвестные явления, которые подскажут нам, в какой именно области плодотворнее всего проводить эксперименты. Полученная информация добавится к уже имеющимся данным; тем самым будут постепенно устраняться пробелы в фундаментальных знаниях. И, в конце концов, ученые получат обобщенную рабочую модель, способную точно воспроизвести человеческий мозг.

Именно такая амбициозная задача лежит в основе проекта *Human Brain Project (HBP)* — «Проект человеческого мозга», в котором участвуют около 130 университетов из разных стран мира. *HBP* придется бороться за получение финансирования размером в €1 млрд, конкурируя при этом с пятью другими проектами. В феврале 2013 г. будут объявлены два победителя, каждому из которых Евросоюз выделит указанную сумму на протяжении десяти лет.

Виртуальный мозг человека необходимо создать по крайней мере по двум причинам. Во-первых, в одной только Европе заболеваниями головного мозга страдают 180 млн человек, т.е. примерно каждый третий житель. И по мере старения населения данный показатель будет лишь расти. В то же время фармацевтические компании не инвестируют в создание новых методов лечения больных с серьезными поражениями нервной системы. Вот почему комплексные представления о человеческом мозге позволят нам создать новую классификацию указанных заболеваний, а не смотреть на них лишь как на набор симптомов. Столь глубокий подход позволит нам успешнее продвигаться вперед, развивать терапевтические методы и с их помощью адресно лечить конкретные расстройства.

Вторая причина заключается в том, что современные возможности вычислительной техники быстро приближаются к своему пределу. И даже компьютеры, несмотря на неуклонное увеличение вычислительных мощностей, не могут выполнять огромное количество таких задач, с которыми мозг живых существ запросто справляется. Так, например, хотя создатели

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Компьютерное моделирование позволит сделать виртуальные изображения, отражающие работу человеческого мозга, более реальными.
- К 2020 г. виртуальный мозг будет в состоянии моделировать работу клетки головного мозга, а возможно, и мозга целиком.
- Вместо настоящего мозга мы можем обойтись его виртуальной моделью, которая поможет ученым по-новому взглянуть на аутизм и проводить испытания препаратов на компьютере.

компьютерной техники добились существенных результатов в области решения задач визуального распознавания образов, вычислительная техника по-прежнему с трудом может учитывать контекст и неполную информацию.

Кроме того, поскольку с увеличением мощности компьютера растет и его энергопотребление, неизбежно наступит момент, когда электроэнергия попросту не хватит. Производительность современных суперкомпьютеров сегодня измеряется уже в петафлопсах, то есть в квадриллионах операций в секунду! А следующее поколение компьютеров, которое, как ожидают, появится к 2020 г., будет работать в тысячу раз быстрее, причем их производительность будет измеряться уже эксафлопсами — т.е. квинтиллионами операций в секунду: при этом каждый компьютер со столь гигантской вычислительной скоростью будет, вероятно, потреблять около 20 мВт, что приблизительно соответствует энергопотреблению небольшого городка в зимний период. Чтобы создать более мощные компьютеры, которые смогли бы без больших энергозатрат выполнять хотя бы некоторые простые, но необходимые операции, подвластные человеку, нам необходимо найти какую-то принципиально новую стратегию.

Человеческий мозг выступает для нас подлинным вдохновителем и образцом совершенства — ведь выполняя целый ряд мыслительных операций, он потребляет всего лишь 20 Вт электроэнергии, что соответствует энергопотреблению обычной лампочки, — иными словами, энергопотребление мозга в миллион раз меньше, чем у гипотетического компьютера, который бы производил квинтиллионы операций в секунду. Вот почему нам необходимо понять принципы работы многоуровневой структуры мозга, от отдельных генов до поведения. Вся необходимая информация у нас имеется, осталось ее обобщить. И для этой цели как раз необходимо использовать виртуальную модель головного мозга, она и призвана заложить фундамент.

Скептики утверждают, что создание модели человеческого мозга — цель недостижимая. При этом они выдвигают следующий ключевой аргумент: невозможно смоделировать 100 трлн синапсов головного мозга, потому что столь огромное количество мы вряд ли даже можем себе вообразить. Что ж, здесь они правы, ведь нам действительно не по силам установить такое огромное число соединений в сети. Придется найти какой-то другой способ воспроизведения столь большого числа связей между клетками мозга.

Выход заключается в том, чтобы найти принципы, на базе которых осуществлялось развитие мозга в процессе эволюции (кстати, мы можем их наблюдать при развитии эмбриона); иными словами, сначала мы должны создать надежный каркас, на основе которого выстроен мозг. С теоретической точки зрения такие принципы содержат всю информацию, необходимую для создания виртуальной модели головного мозга; но скептики правы, говоря о неуклонно увеличивающейся при этом сложности, — она и впрямь приводит нас в замешательство; и здесь остается уповать лишь на помощь суперкомпьютеров. Однако задача раскрытия принципов гораздо более легкая. И если ее решить, то нет никаких оснований сомневаться в том, что мы сможем использовать данную базовую модель, чтобы потом на ее основе строить виртуальный мозг.

Упомянутые принципы регулируют поведение генов, присутствующих в клетках головного мозга, а также расположение самих клеток и способ, которым они связаны между собой. Мы знаем, что эти принципы существуют, т.к. некоторые из них уже были нами обнаружены на стартовом этапе проекта *HBP*. Работа началась около 20 лет назад, когда мы только принялись изучать характеристики отдельных нейронов. При этом удалось собрать огромное количество данных о пространственных свойствах различных типов нейронов и даже представить сотни из них в виде виртуальной трехмерной модели. Мы использовали трудоемкий метод локальной

фиксации потенциала под названием пэтч-кламп, при котором фрагмент клеточной мембраны изолируется с помощью специальной микропипетки, позволяющей измерять разность потенциалов в отдельных ионных каналах. И в результате мы смогли выявить электрические свойства нейронов.

В 2005 г. для моделирования одного нейрона нужно было использовать мощный компьютер в рамках трехлетнего научного проекта. Однако затем стало ясно, что в скором времени мы сможем достичь более амбициозных целей, и нам окажется по силам моделировать и более крупные части головного мозга, невзирая на то, что наши знания об этих элементах недостаточны. В Институте мозга и мышления, одном из подразделений Федеральной политехнической школы Лозанны, ранее был запущен *The Blue Brain Project* (один из предшественников *HBP*). Мы хотели построить то, что назвали «объединенной компьютерной моделью», которая бы смогла свести воедино все имеющиеся у нас данные и гипотезы о некоторых структурах мозга, устранить противоречивость информации, а также акцентировать внимание на областях, в которых мы испытываем недостаток знаний.

Синтетическая биология

В качестве отправной точки мы выберем одно из образований мозга — так называемую нейронную колонку (в головном мозге она играет ту же роль, что и процессор в компьютере) — и начнем строить ее комплексную модель. Очень упрощенно эту структуру можно представить себе следующим образом: возьмем миниатюрное устройство для извлечения из яблок сердцевин, введем его в этот фрукт, а затем вытащим образец яблочной кожуры, представляющий собой цилиндр размером около 0,5 мм в диаметре на 1,5 мм в высоту, — именно так и будет выглядеть колонка неокортекса (новой коры головного мозга). Она представляет собой очень плотную, до нескольких десятков тысяч, сеть клеток. В ходе эволюции колонки оказались настолько эффективными в качестве

элементов, предназначенных для обработки информации, что их число в головном мозге стало неуклонно расти до тех пор, пока внутри черепа уже не осталось свободного места, поэтому кора головного мозга приобрела складчатую форму с множеством извилин.

Нейронные колонки проходят через шесть вертикальных слоев неокортекса, наружного слоя коры головного мозга, при этом нейронные связи между ними и остальной частью мозга организованы в каждом слое по-разному и чем-то напоминают способ, с помощью которого каждому телефонному вызову сначала присваивается цифровой адрес, а затем начинается обмен вызовами. В колонке неокортекса можно выделить несколько сотен видов нейронов. С помощью суперкомпьютера *Blue Gene*, созданного *IBM*, мы обобщили всю имеющуюся информацию о том, каким образом разные виды нейронов смешиваются в каждом слое, а затем получили некую «схему», характеризующую колонку неокортекса новорожденных крыс. С помощью компьютера мы смогли смоделировать все возможные виды соединений между виртуальными нейронами — т.е. так же, как это происходит в реальности с настоящими нейронами. Нам потребовалось три года, чтобы создать программное обеспечение, которое позволило бы построить первую полную модель колонки неокортекса. Мы убедились в том, что так называемая концепция «синтеза в биологии» — моделирование мозга с опорой на весь имеющийся у нас запас биологических знаний — себя оправдывает; мы видим, что это вполне плодотворный способ проведения научных исследований.

На данном этапе мы пока лишь создали статическую модель — нечто такое, что можно было бы наблюдать в мозге человека, находящегося в коме. Нам хотелось узнать, будет ли виртуальная модель вести себя так же, как и настоящая колонка, пусть даже будучи изолированной от остального мозга в кусочке его живой ткани, поэтому мы решили придать импульс извне. В 2008 г. мы оказали воздействие электрическим

импульсом на нашу виртуальную колонку и увидели, что нейроны начали друг с другом «переговариваться». Стали возникать спайки, или потенциалы действия — язык мозга, — распространяющиеся по колонке, которая при этом начала вести себя как целостная сеть. Между слоями стали появляться пиковые потенциалы; они вели себя так же, как и в живых срезах мозга. Данное поведение мы заранее в нашу модель не закладывали; оно стало возникать самопроизвольно, благодаря устройству самой нейронной сети, которая продолжала работать даже после того, как стимуляция извне прекратилась, и на короткое время сеть сама, так сказать, «разогналась», нашла какой-то свой способ представления информации.

С тех пор нам приходится обобщать все большее количество данных, получаемых из лабораторий разных стран мира, и включать эту информацию в комплексную модель колонки неокортекса. Разработанное нами программное обеспечение тоже непрерывно модернизируется: каждую неделю мы тщательно совершенствуем модель на основе все большего числа данных и базовых принципов работы. На следующем этапе мы планируем расширить охват исследований и объединить информацию, относящуюся уже, например, к некоторому отдельному участку мозга, а затем пойти еще дальше и охватить весь мозг целиком — но начать планируем с мозга грызунов.

Ход всей работы будет зависеть от нейроинформатики. Огромный массив данных о головном мозге, поступающих к нам из разных стран мира, нужно обобщить, а затем уже на этой основе строить модели и разрабатывать принципы, описывающие организацию мозга. Нужно понять биологические процессы, которые описываются этими правилами, составить математические уравнения, а затем перейти к разработке программного обеспечения, которое бы позволило решать уравнения на суперкомпьютерах. Необходимо написать программы, которые помогли бы нам построить мозг с учетом присущих ему принципов

биологической организации; будем называть такое программное обеспечение «строителем мозга».

Гипотезы о функционировании мозга, предложенные специалистами по нейроинформатике и неоднократно ими уточняемые, позволят углубить наше представление о принципах его работы, сильно не вдаваясь при этом во все аспекты его функционирования. Прогнозы можно делать на основе открытых нами принципов, а затем сопоставлять их с реальностью. И здесь одна из актуальных задач — использование знаний о генах, кодирующих белки для некоторых типов нейронов, а уже затем можно попытаться предсказывать структуру и поведение этих клеток. Связь между генами и реально существующими нейронами представляет собой, так сказать, «информационный мост» — наиболее эффективный метод, который нам предлагает биологический синтез.

Другой вид информационного моста, который ученые используют уже на протяжении многих лет, имеет отношение к генетическим мутациям и к их взаимосвязям с болезнями — в частности к тому, например, как мутация влияет на белки, вырабатываемые клетками, что в свою очередь сказывается на изменении формы и электрических характеристик нейронов, а также на способе, с помощью которого мутация влияет на формируемые ими синапсы и локально возникающую электрическую активность в микросетях перед тем, как электрическая активность распространится по всем остальным участкам мозга.

Мы могли бы сначала учесть в модели некоторую мутацию, а затем в ходе наблюдений выяснить, как именно она будет влиять на нашу модель на каждом этапе биологической цепи. Если полученный симптом или совокупность симптомов согласуются с тем, что мы наблюдаем в реальности, то виртуальную цепь событий можно рассматривать в качестве вероятного механизма болезни, и уже после этого начинать поиск потенциальных мишеней для лечения болезней.

Данный процесс повторяется многократно: мы объединяем все данные, какие только способны найти, и начинаем составлять модель таким образом, чтобы она учитывала определенные биологические принципы, после чего запускаем модель, сравнивая «выходные» параметры (фиксируемое на выходе поведение белков, клеток и нейронных сетей) с данными эксперимента. Если они не совпадают, то мы возвращаемся к предыдущей стадии, проверяем точность полученных данных и уточняем биологические принципы. А если выходные параметры совпадают с данными эксперимента, то мы агрегируем полученную информацию, распространяя действие нашей модели на большую часть головного мозга. По мере совершенствования программного обеспечения скорость обобщения и автоматической обработки данных увеличивается, и модель начинает вести себя подобно реальному биологическому объекту. Таким образом, построение целостной модели мозга уже не кажется такой уж несбыточной мечтой, даже несмотря на тот факт, что мы еще не обладаем достаточными знаниями о клетках и синапсах.

Для поддержки этого проекта нам необходимо очень большое количество исходных данных. Понятно, что по этическим соображениям эксперименты нейрофизиологов нельзя проводить на человеческом мозге. К счастью, мозг всех млекопитающих построен на единых принципах, несмотря на некоторую вариативность у разных видов животных. Большую часть наших знаний о генетических особенностях мозга млекопитающих мы получили в экспериментах с мышами, а весьма ценную информацию о его когнитивных способностях — при изучении обезьян. Таким образом, можно начать с построения единой модели мозга грызунов, а на ее основе строить модель человеческого мозга, постепенно объединяя разрозненные элементы. Таким образом, модели мозга мыши, крысы и человека будут разрабатываться одновременно.

Информация, полученная нейробиологами, поможет определить принципы, на которых построена структура мозга, и экспериментально проверить, действительно ли наши предположения (т.е. предсказанные нами причинно-следственные связи) соответствуют реальности. Скажем, если говорить о познавательных способностях человека, то известен следующий факт: младенцам доступно понимание чисел 1, 2 и 3, но не более. Поэтому если нам наконец удастся смоделировать мозг новорожденного, то эта модель должна учитывать в том числе и возможности ребенка — что он сделать может и чего сделать не в состоянии.

Значительный объем необходимой нам информации у нас уже имеется, правда, ее не так-то просто собрать воедино. Одна из главных задач проекта *НВР* — объединение данных и их упорядочение. Возьмем сферу медицины: полученные сведения окажутся очень для нас полезными не только по той причине, что дисфункция свидетельствует о нормальной работе модели, но и потому, что любая созданная нами модель сначала должна вести себя как мозг здорового человека, а затем «заболеть» — именно так происходит в реальности с больным мозгом. И здесь

одним из самых ценных источников информации может стать томограмма головного мозга пациентов.

В настоящее время результаты любого обследования мозга оседают в базе данных, и к настоящему моменту в виртуальных архивах медицинских учреждений многих стран мира накопились терабайты информации; ее изучают, но все это происходит как-то бессистемно, причём сами архивы, судя по всему, не сильно востребованы. Однако если бы можно было как-то свести воедино все данные томографии, разместив их на доступных «облачных» сервисах Интернета, и добавить туда еще истории болезней пациентов, а также данные биохимических и генетических исследований, то медики смогли бы, изучив огромный массив информации, построить модели болезней. Преимущество данной стратегии заключается в том, что сходства и различия между заболеваниями можно определять математическими методами. Именно эта задача стоит перед амбициозным проектом под названием «Инициатива по нейровизуализации болезней Альцгеймера», в котором участвуют множество университетов. В рамках данного проекта осуществляется сбор данных нейровизуализации и образцов спинномозговой

Сила эксафлопсов

МОЩНЕЕ КОМПЬЮТЕР — МОЩНЕЕ МОЗГ

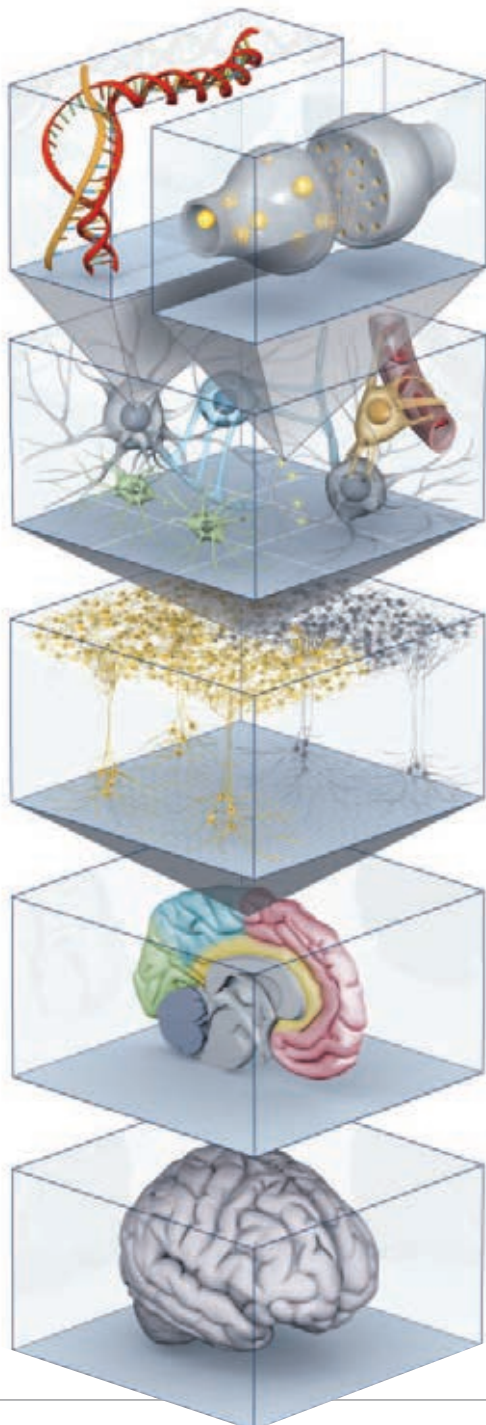
С ростом мощности компьютеров будет появляться все больше возможностей для создания более четкой модели человеческого мозга, позволяющей проводить важные научные исследования. В 2008 г., т.е. в то время, когда скорость работы компьютеров увеличилась и стала измеряться терафлопсами, была создана виртуальная модель цилиндрической колонки неокортекса головного мозга крысы. А поскольку в настоящее время скорость уже подбирается к пета- и даже эксафлопсам, то проект *НВР* устремился к еще более амбициозной цели — построению модели мозга мыши и даже человека.



SOURCE: "BRAIN IN A BOX" BY M. MITCHELL WALDRUP, IN NATURE, VOL. 482, FEBRUARY 23, 2012

РАЗБИРАЕМ МОЗГ

В рамках проекта *HBP* предполагается создание виртуальной модели мозга, которая насчитывает 89 млрд нейронов, помещенных в черепную коробку, и 100 трлн виртуальных соединений, которые связывают эти клетки между собой. Появление более адекватной виртуальной модели человеческого мозга позволит проводить фундаментальные исследования на клетках и нейронных контурах мозга, а также испытывать в виртуальном пространстве лекарственные препараты. Проект будет моделировать все уровни функционирования мозга, начиная с передачи химических и электрических сигналов и кончая познавательными способностями, которые лежат в основе разумного поведения. На финансирование данного проекта Европейский союз должен выделить €1 млрд.



Молекулярный уровень

За столетие исследований ученые прошли путь от первых попыток изучить клетки головного мозга под микроскопом до создания компьютерной модели, которая объединяет молекулярные составные части, предназначенные для сборки клетки, обладающей основными свойствами нейрона — т.е. способностью передачи электрических и химических сигналов.

Клеточный уровень

При моделировании «мозга в коробке» придется учитывать каждую из деталей нейронов и ненейронных глияльных клеток, в том числе точные геометрические формы дендритов и аксонов, получающих и отправляющих информацию.

Сети

Модель нейронных связей, соединяющих различные области мозга и соседние клетки, может дать ключ к пониманию происхождения тяжелых заболеваний мозга, таких как аутизм и шизофрения.

Области

Основные нейронные подструктуры — миндалина (эмоции), гиппокамп (память), лобные доли (осуществление управляющих функций) — могут быть проверены поодиночке или при взаимодействии друг с другом.

Весь мозг целиком

С помощью виртуальной модели головного мозга можно, например, проверять в виртуальном пространстве влияние мутации, «выключая» тот или иной ген у подопытных мышей. Как только мы получим компьютерную модель мозга, отпадет необходимость в разведении подопытных животных; у нас появится возможность моделировать различные условия эксперимента.

жидкости, проводится анализ крови огромного числа пациентов, страдающих слабоумием, а затем производится сравнение с данными, полученными от здоровых пациентов, входящих в контрольную группу.

Будущее вычислительных технологий

Не в последнюю очередь возникает вопрос о перспективах вычислительной техники. Так, суперкомпьютер *Blue Gene* последнего поколения знаменует собой переход к величинам, измеряемым уже в петафлопсах; он состоит приблизительно из 300 тыс. процессоров, помещенных в 72 холодильные установки. Его вычислительной мощности, измеряемой петафлопсами, вполне достаточно для моделирования на клеточном уровне мозга крысы, содержащего 200 млн нейронов. Но для моделирования человеческого мозга, состоящего из 89 млрд нейронов, ее явно недостаточно; для решения этой задачи суперкомпьютеры должны достичь производительности, измеряемой в эксафлопсах. Однако для моделирования человеческого мозга на молекулярном уровне и такой мощности не хватит.

Именно создание супермощных компьютеров стало главной задачей для разработчиков по всему миру. И когда такие вычислительные мощности все же появятся, то их, как и предыдущие поколения суперкомпьютеров, можно будет использовать для моделирования физических процессов, изучаемых в ядерной физике. К построению биологических моделей предъявляются разные требования; наш консорциум, куда вошли эксперты, занимающиеся высокоскоростными вычислениями, крупные производители вычислительной техники и прочие компании, намерен создать одну такую установку для решения задачи моделирования мозга. Кроме того, наши эксперты разработают программное обеспечение, которое позволит построить общую многоуровневую модель головного мозга с тем, чтобы при помощи виртуального имитатора исследовать молекулы, клетки и весь мозг на его разных уровнях.

После того как виртуальный мозг будет построен, ученые смогут ставить на нем эксперименты в виртуальной среде, имитируя реальные биологические условия (правда, здесь будут присутствовать некоторые важные отличия). Чтобы понять, в чем польза от такого виртуального имитатора, вспомним, как сейчас специалисты ищут причины болезней — они используют подопытных мышей, у которых «выключают» определенный ген: таких грызунов специально разводят, что занимает немало времени, к тому же недешево и не всегда практически реализуемо (например, если «выключение» гена приводит к смерти зародыша); к тому же эксперименты над животными сомнительны с моральной точки зрения.

Но с помощью виртуального мозга, специалисты смогут «выключать» любые гены и наблюдать, что произойдет в головном мозге виртуальных пациентов разного возраста, у которых мозг при этом будет работать в разных режимах. На одной и той же модели эксперименты можно повторять много раз, создавая различные экспериментальные условия, и получать более точные данные, чего не скажешь об опытах над животными. В результате фармацевты смогут гораздо быстрее создавать перспективные лекарственные препараты, да и сам способ проведения клинических испытаний лекарств тоже изменится. Все это позволит намного облегчить выбор целевой группы; к тому же можно будет быстрее отсеивать препараты неэффективные или же оказывающие нежелательное побочное действие; в результате проведение научно-исследовательских разработок ускорится и станет эффективным.

Информация, полученная учеными с помощью виртуальной модели мозга, неизбежно окажет влияние на конструктивные особенности. Мы узнаем, как же эволюции удалось создать мозг, способный с высокой скоростью выполнять огромное число задач, обладающий гигантским объемом памяти и потребляющий столько же энергии, сколько самая обычная лампочка.

Микрочипы, моделирующие различные элементы головного мозга, будут использоваться для создания так называемых нейроморфных компьютеров. Опираясь на технологии *BrainScaleS* и *SpiNNaker*, разработанные при поддержке Европейского союза, проект *HBP* позволит конструировать микросхемы, имитирующие внутреннее строение человеческого мозга.

У первых виртуальных моделей мозга, которые мы планируем, будет пока что отсутствовать одна из фундаментальных особенностей, присущая реальному человеческому мозгу: они не будут развиваться, как это происходит, скажем, с мозгом детей. Дело в том, что начиная с самого рождения и в последующие периоды жизни кора головного мозга ребенка формируется в результате быстрого роста, миграции и сокращения числа нейронов, а также вследствие так называемой пластичности — способности изменяться и адаптироваться в результате полученного опыта. Наши модели начинают работать с произвольного возраста, потом скачкообразно проходят через несколько лет развития и только с того момента накапливают опыт. Нам необходимо создавать вычислительные устройства, которые бы позволяли модели меняться с учетом информации, поступающей к ней из окружающей среды.

Главная проверка виртуального мозга начнется, когда его подключат к виртуальной модели тела, поместят в виртуальную среду, и он будет действовать на основании получаемой извне информации. Только после этого мы сможем сформировать у виртуального мозга навыки и понять, действительно ли он обладает интеллектом. Поскольку мы знаем, что человеческий мозг располагает большими компенсаторными возможностями (т.е. функции пораженных клеток могут брать на себя другие нейроны), то можем начать поиск тех аспектов функционирования мозга, которые характерны для разумного поведения.

Помимо всего прочего проект *HBP* поднимает важные этические вопросы. Даже если до создания работаю-

щей модели человеческого мозга еще очень далеко, все равно у нас есть все основания спросить себя: насколько вообще приемлемо создавать виртуальный мозг, в котором количество колонок неокортекса превосходило бы число таких же колонок, содержащихся в обычном человеческом мозге? Насколько вообще приемлемо создавать мозг, который сочетал бы в себе чело-векopodobный интеллект с высокой скоростью обработки операций, скажем, в миллион раз превосходящей скорость шахматного суперкомпьютера *Deep Blue*, созданного *IBM*?

Мы не единственные, кто стремится проводить систематические исследования человеческого мозга. В мае 2010 г. в Алленовском институте исследований мозга, расположенном в Сиэтле, был запущен проект *Allen Human Brain Atlas*; его цель — составить генетическую карту всех генов мозга человека.

Главным препятствием в работе любой группы ученых, занимающейся подобным рода исследованиями, становится вопрос о финансировании. Понятно, что цель проекта будет достигнута только в том случае, если ему окажут всю необходимую поддержку, ведь суперкомпьютеры — дорогое удовольствие. Заметим, что окончательная стоимость проекта *HBP* может сравниться с бюджетом проекта «Геном человека» или даже превзойти его. Будет ли нам оказано необходимое содействие, мы узнаем только в феврале 2013 г. Так или иначе, мы полагаем, что проводимые нами исследования позволят открыть нечто совсем новое о человеке — существо, способном наслаждаться игрой светотени на картинах Караваджо или же восторгаться парадоксами квантовой физики. ■

Перевод: И.В. Ногаев

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Ознакомиться с Human Brain Project можно на сайтах: www.humanbrainproject.eu; <http://brainscales.kip.uni-heidelberg.de>; <http://apt.cs.man.ac.uk/projects/>
- Видеозапись работы нейронной сети головного мозга см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2012/brain-project