**Компьютеры будущего**

Будущее может быть разным, и путей к нему тоже много, но ни то, ни другое предсказать невозможно. И все же кое-какие широкие штрихи набросать можно, причем в большинстве сценариев прогресс приводит к изменению способа нашего общения, объема информации, с которой нам придется иметь дело, и, возможно, даже наших природных способностей.

Технология микропроцессоров уже приближается к фундаментальным ограничениям. Следуя закону Мура, к 2010 - 2020 годам размеры транзистора должны уменьшиться до четырех-пяти атомов. Рассматриваются многие альтернативы, но, если они не будут реализованы в массовом производстве, закон Мура перестанет работать. Этот закон (вернее, прогноз соучредителя Intel Гордона Мура) гласит, что плотность транзисторов в микросхеме удваивается каждые полтора года, и все последние 20 лет он выполнялся. Если в начале нового столетия рост производительности микропроцессоров прекратится, в вычислительной технике наступит стагнация. Но возможно, что вместо этого произойдет технологический скачок с тысячекратным увеличением мощности компьютеров.

Последний сценарий очень привлекателен. Мало того, что целый ряд технологий получит необходимое развитие, разработки в одних областях помогут продвижению других. Инженер Рэй Курцвейл (Ray Kurzweil) называет это "законом взаимного усиления выгод". Когда в развитии какой-то области происходит скачок, время между открытиями сокращается и предыдущие достижения накладываются на следующие, что еще больше ускоряет прогресс.

К технологиям, способным экспоненциально увеличивать обрабатывающую мощность компьютеров, следует отнести молекулярные или атомные технологии; ДНК и другие биологические материалы; трехмерные технологии; технологии, основанные на фотонах вместо электронов; и наконец, квантовые технологии, в которых используются элементарные частицы. Если на каком-нибудь из этих направлений удастся добиться успеха, то компьютеры могут стать вездесущими. А если таких успешных направлений будет несколько, то они распределятся по разным нишам. Например, квантовые компьютеры будут специализироваться на шифровании и поиске в крупных массивах данных, молекулярные - на управлении производственными процессами и микромашинах, а оптические - на средствах связи.

Возможности современного производства пока не позволяют наладить недорогое массовое изготовление подобных устройств. Однако многие ученые уверены в том что решение будет найдено. Уже есть свидетельства определенного взаимного усиления выгод по Курцвейлу. Например, эффективность "генетических чипов" удалось повысить (а стоимость - понизить) благодаря использованию других чипов, содержащих полмиллиона маленьких зеркал, - первоначально они предназначались для оптических систем связи. Цифровая микрозеркальная система (Digital Micromirror Device, DMD) от Texas Instruments применялась даже для демонстрации последней серии фильма "Звездные войны". Точно так же микромашины (micro-electro-mechanical systems, MEMS) изготавливаются с применением технологии травления, разработанной для производства электронных микросхем. В этих устройствах датчики сочетаются с микроприводами, что позволяет им выполнять физические действия. Возможно даже, что MEMS помогут в создании компьютеров атомных размеров, необходимых для квантовых вычислений.

В наступающем веке вычислительная техника сольется не только со средствами связи и машиностроения, но и с биологическими процессами, что откроет такие возможности, как создание искусственных имплантантов, интеллектуальных тканей, разумных машин, "живых" компьютеров и человеко-машинных гибридов. Если закон Мура проработает еще 20 лет, уже в 2020 году компьютеры достигнут мощности человеческого мозга - 20000000 миллиардов операций в секунду (это 100 млрд. нейронов умножить на 1000 связей одного нейрона и на 200 возбуждений в секунду). А к 2060 году компьютер сравняется по силе разума со всем человечеством. Одной вероятности подобной перспективы достаточно, чтобы отбросить любые опасения по поводу применения био- и генной инженерии для расширения способностей человека.

"Я не верю в научную фантастику типа "Звездного пути", где через 400 лет люди остаются прежними, - сказал астрофизик Стивен Хокинг (Stephen Hawking), выступая в прошлом году в Белом доме. - По-моему, человеческая раса и сложность ее ДНК очень скоро начнут меняться".

Однако для этого вычислительная техника будущего столетия должна вобрать в себя некоторые новейшие технологии. Ниже приводится обзор нескольких новых технологий и процессов, способных не только обеспечить продолжение действия закона Мура, но и превратить его из линейного в прогрессирующий.

**Молекулярные компьютеры**

Недавно компания Hewlett-Packard объявила о первых успехах в изготовлении компонентов, из которых могут быть построены мощные молекулярные компьютеры. Ученые из HP и Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA) объявили о том, что им удалось заставить молекулы ротаксана переходить из одного состояния в другое - по существу, это означает создание молекулярного элемента памяти.

Следующим шагом должно стать изготовление логических ключей, способных выполнять функции И, ИЛИ и НЕ. Весь такой компьютер может состоять из слоя проводников, проложенных в одном направлении, слоя молекул ротаксана и слоя проводников, направленных в обратную сторону. Конфигурация компонентов, состоящих из необходимого числа ячеек памяти и логических ключей, создается электронным способом. По оценкам ученых HP, подобный компьютер будет в 100 млрд. раз экономичнее современных микропроцессоров, занимая во много раз меньше места.

Сама идея этих логических элементов не является революционной: кремниевые микросхемы содержат миллиарды таких же. Но преимущества в потребляемой энергии и размерах способны сделать компьютеры вездесущими. Молекулярный компьютер размером с песчинку может содержать миллиарды молекул. А если научиться делать компьютеры не трехслойными, а трехмерными, преодолев ограничения процесса плоской литографии, применяемого для изготовления микропроцессоров сегодня, преимущества станут еще больше.

Кроме того, молекулярные технологии сулят появление микромашин, способных перемещаться и прилагать усилие. Причем для создания таких устройств можно применять даже традиционные технологии травления. Когда-нибудь эти микромашины будут самостоятельно заниматься сборкой компонентов молекулярного или атомного размера.

Первые опыты с молекулярными устройствами еще не гарантируют появления таких компьютеров, однако это именно тот путь, который предначертан всей историей предыдущих достижений. Массовое производство действующего молекулярного компьютера вполне может начаться где-нибудь между 2005 и 2015 годами.

**Биокомпьютеры**

Применение в вычислительной технике биологических материалов позволит со временем уменьшить компьютеры до размеров живой клетки. Пока эта чашка Петри, наполненная спиралями ДНК, или нейроны, взятые у пиявки и подсоединенные к электрическим проводам. По существу, наши собственные клетки - это не что иное, как биомашины молекулярного размера, а примером биокомпьютера, конечно, служит наш мозг.

Ихуд Шапиро (Ehud Shapiro) из Вейцманоского института естественных наук соорудил пластмассовую модель биологического компьютера высотой 30 см. Если бы это устройство состояло из настоящих биологических молекул, его размер был бы равен размеру одного из компонентов клетки - 0,000025 мм. По мнению Шапиро, современные достижения в области сборки молекул позволяют создавать устройства клеточного размера, которое можно применять для биомониторинга.

Более традиционные ДНК-компьютеры в настоящее время используются для расшифровки генома живых существ. Пробы ДНК применяются для определения характеристик другого генетического материала: благодаря правилам спаривания спиралей ДНК, можно определить возможное расположение четырех базовых аминокислот (A, C, T и G).

Чтобы давать полезную информацию, цепочки ДНК должны содержать по одному базовому элементу. Это достигается при помощи луча света и маски. Для получения ответа на тот или иной вопрос, относящийся к геному, может потребоваться до 80 масок, при помощи которых создается специальный чип стоимостью более 12 тыс. дол. Здесь-то и пригодилась микросхема DMD от Texas Instruments: ее микрозеркала, направляя свет, исключают потребность в масках.

Билл Дитто (Bill Ditto) из Технологического института штата Джорджия провел интересный эксперимент, подсоединив микродатчики к нескольким нейронам пиявки. Он обнаружил, что в зависимости от входного сигнала нейроны образуют новые взаимосвязи. Вероятно, биологические компьютеры, состоящие из нейроподобных элементов, в отличие от кремниевых устройств, смогут искать нужные решения посредством самопрограммирования. Дитто намерен использовать результаты своей работы для создания мозга роботов будущего.

**Оптические компьютеры**

По сравнению с тем, что обещают молекулярные или биологические компьютеры, оптические ПК могут показаться не очень впечатляющими. Однако ввиду того, что оптоволокно стало предпочтительным материалом для широкополосной связи, всем традиционным кремниевым устройствам, чтобы передать информацию на расстояние нескольких миль, приходится каждый раз преобразовывать электрические сигналы в световые и обратно.

Эти операции можно упростить, если заменить электронные компоненты чисто оптическими. Первыми станут оптические повторители и усилители оптоволоконных линий дальней связи, которые позволят сохранять сигнал в световой форме при передаче через все океаны и континенты. Со временем и сами компьютеры перейдут на оптическую основу, хотя первые модели, по-видимому, будут представлять собой гибриды с применением света и электричества. Оптический компьютер может быть меньше электрического, так как оптоволокно значительно тоньше (и быстрее) по сравнению с сопоставимыми по ширине полосы пропускания электрическими проводниками. По существу, применение электронных коммутаторов ограничивает быстродействие сетей примерно 50 Гбит/с. Чтобы достичь терабитных скоростей потребуются оптические коммутаторы (уже есть опытные образцы). Это объясняет, почему в телекоммуникациях побеждает оптоволокно: оно дает тысячекратное увеличение пропускной способности, причем мультиплексирование позволяет повысить ее еще больше. Инженеры пропускают по оптоволокну все больше и больше коротковолновых световых лучей. В последнее время для управления ими применяются чипы типа TI DMD с сотнями тысяч микрозеркал. Если первые трансатлантические медные кабели позволяли передавать всего 2500 Кбит/с, то первое поколение оптоволоконных кабелей - уже 280 Мбит/с. Кабель, проложенный сейчас, имеет теоретический предел пропускной способности в 10 Гбит/с на один световой луч определенной длины волны в одном оптическом волокне.

Недавно компания Quest Communications проложила оптический кабель с 96 волокнами (48 из них она зарезервировала для собственных нужд), причем по каждому волокну может пропускаться до восьми световых лучей с разной длиной волны. Возможно, что при дальнейшем развитии технологии мультиплексирования число лучей увеличится еще больше, что позволит расширять полосу пропускания без замены кабеля.

Целиком оптические компьютеры появятся через десятилетия, но работа в этом направлении идет сразу на нескольких фронтах. Например, ученые из университета Торонто создали молекулы жидких кристаллов, управляющие светом в фотонном кристалле на базе кремния. Они считают возможным создание оптических ключей и проводников, способных выполнять все функции электронных компьютеров.

Однако прежде чем оптические компьютеры станут массовым продуктом, на оптические компоненты, вероятно, перейдет вся система связи - вплоть до "последней мили" на участке до дома или офиса. В ближайшие 15 лет оптические коммутаторы, повторители, усилители и кабели заменят электрические компоненты.

**Квантовые компьютеры**

Квантовый компьютер будет состоять из компонентов субатомного размера и работать по принципам квантовой механики. Квантовый мир - очень странное место, в котором объекты могут занимать два разных положения одновременно. Но именно эта странность и открывает новые возможности.

Например, один квантовый бит может принимать несколько значений одновременно, то есть находиться сразу в состояниях "включено", "выключено" и в переходном состоянии. 32 таких бита, называемых q-битами, могут образовать свыше 4 млрд комбинаций - вот истинный пример массово-параллельного компьютера. Однако, чтобы q-биты работали в квантовом устройстве, они должны взаимодействовать между собой. Пока ученым удалось связать друг с другом только три электрона.

Уже есть несколько действующих квантовых компонентов - как запоминающих, так и логических. Теоретически квантовые компьютеры могут состоять из атомов, молекул, атомных частиц или "псевдоатомов". Последний представляет собой четыре квантовых ячейки на кремниевой подложке, образующих квадрат, причем в каждой такой ячейке может находиться по электрону. Когда присутствуют два электрона, силы отталкивания заставляют их размещаться по диагонали. Одна диагональ соответствует логической "1", а вторая - "0". Ряд таких ячеек может служить проводником электронов, так как новые электроны будут выталкивать предыдущие в соседние ячейки. Компьютеру, построенному из таких элементов, не потребуется непрерывная подача энергии. Однажды занесенные в него электроны больше не покинут систему.

Теоретики утверждают, что компьютер, построенный на принципах квантовой механики, будет давать точные ответы, исключая возможность ошибки. Так как в основе квантовых вычислений лежат вероятностные законы, каждый q-бит на самом деле представляет собой и "1", и "0" с разной степенью вероятности. В результате действия этих законов менее вероятные (неправильные) значения практически исключаются.

Насколько близко мы подошли к действующему квантовому компьютеру? Прежде всего необходимо создать элементы проводников, памяти и логики. Кроме того, эти простые элементы нужно заставить взаимодействовать друг с другом. Наконец, нужно встроить узлы в полноценные функциональные чипы и научиться тиражировать их. По оценкам ученных, прототипы таких компьютеров могут появиться уже в 2005 году, а в 2010-2020 годах должно начаться их массовое производство.

**Что дальше?**

Термин "квантовый скачок" означает, что в квантовом мире изменения происходят скачками. Похоже, что где-то около 2020 года, если не раньше, подобный скачок произойдет и в вычислительной технике: к тому времени мы перейдем от традиционных кремниевых полупроводников к более совершенным технологиям.

Результатом станут намного более компактные, быстродействующие и дешевые компьютеры. Появится возможность наделять любые промышленные продукты определенными интеллектуальными и коммуникационными способностями. Банка кока-колы помещенная в холодильник, на самом деле будет саморегистрироваться в его сети; предметы - автоматически упорядочиваться. Каждый человек ежесекундно будет пользоваться Сетью, хотя за большинством обращений к нему будут следить специальные устройства, автоматически отвечая на вызовы или переадресовывая их в службу передачи сообщений.

К 2030 году может начаться распространение вживленных устройств с прямым доступом к нейронам. Ближе к середине столетия в мире киберпространства будут царить микро- и наноустройства (интеллектуальная пыль). К тому времени Интернет будет представлять собой отображение всего реального мира. Представьте себе мир, окутанный беспроводной сетью данных, по которой путешествуют огромные объемы информации. Тогда такие фантастические и мистические явления, как телепатия и телекинез, станут самым простым проявлением Всемирной сети. Грубо говоря, телепатия будет выглядеть как сгенерированная вашими нейронами информация, путешествуя в пакетах к другим нейронам для расшифровки. Почти как протокол TCP/IP сегодня. А телекинез (передвижение мыслью физических объектов) будут производить наноустройства, активированные вашей мысленной командой. Простейшие устройства, реагирующие на мысленные команды, существуют уже и сегодня. Хотя к тому времени вам вряд ли захочется передвигать реальные объекты, если возможно будет просто переместить их цифровые копии. Без шлемов виртуальной реальности можно будет совершить полноценный круиз в любой уголок земного шара, не покидая своей квартиры. Мысленно можно будет вызвать цифровую проекцию любого места, причем события в нем будут отображаться в реальном времени. Или наоборот, спроецировать себя, в любую точку нашей планеты. Таким образом, грань между кибер- и реальным пространством исчезнет.

На биологическом фронте исследования в области клетки приближают возможность замены тканей или органов, включая нейроны, которые раньше считались незаменимыми. Более того, клетки и ткани можно будет наделять способностями обработки и передачи данных. Подобный контроль над живыми процессами дает надежду на увеличение продолжительности жизни: ученые не видят принципиальных препятствий к тому, чтобы люди жили по несколько сотен лет.

К концу 21-го века, благодаря достижениям генной инженерии в сочетании с биоинженерными тканями и имплантантами, люди станут совсем не похожими на современных. Пока не ясно, какой процент населения пожелает принять участие в подобных усовершенствованиях, но отказавшиеся рискуют остаться сторонними наблюдателями, следя с обочины за тем, как люди, развитые биоинженерными методами, гигантскими шагами устремляются вперед рука об руку с разумными машинами. Могу себе представить, как в какой-то момент человечество разделится на два лагеря, будут социальные волнения, но прогресс не остановить. Если все это будет происходить, как прогнозируется, годах в 2050-х, то, как вы думаете, кто будет самой консервативной частью общества? Правильно - нынешняя молодежь, правда, к тому времени немного постаревшая. Примерно, как сейчас бабушки и дедушки недоверчиво косятся на коробчатые компьютеры, так же будущее старшее поколение будет недоверчиво смотреть на своих детей, получающих биологические имплантанты при рождении и общающихся не открывая рта.

Конечно, заглянуть вперед более чем на несколько лет можно лишь чисто умозрительно, хотя в том что ко второй половине этого века обрабатывающая мощность компьютеров превысит интеллектуальные способности человека, можно не сомневаться. Вполне вероятно, что к тому времени начнется и колонизация Солнечной системы. А к 22-му веку и люди, и компьютеры широко распространятся по ее планетам и начнут готовиться к освоению ближайших звездных систем.

Пока здравый смысл не приспособился к переменчивому миру квантовой механики, это будущее кажется чуждым такому знакомому современному миру. Путешествие во времени может завести и в рай, и в ад, но во всяком случае скучным его не назовешь.