

Перспективы принципиально новых компьютерных устройств и систем

Текст Олег Граничин, Санкт-Петербургский государственный университет

Новая парадигма вычислений

Взглянем на историю развития средств вычислительной техники. За шесть десятилетий пройден путь от ламп через транзисторы, интегральные микросхемы к сверхбольшим интегральным микросхемам. Для людей старшего поколения знакомство с компьютерами началось с фантастических романов. Еще школьниками, не видя никогда

настоящих компьютеров, многие из них были уверены, что скоро появится «Искусственный Разум», освободив человечество от многих рутинных забот. Наверное, поэтому люди старшего поколения, занятые в развитии информационных технологий (ИТ), острее чувствуют тенденции кардинальных преобразований. Конечно, кто-то возразит, что многие, не дождавшись за 60 лет «искусственного разума», разочаровались в перспективах, тем более

что по мере развития ИТ кроме такой фантастической цели появилось огромное количество конкретных задач. Объективные сегодняшние тенденции – миниатюризация и повышение производительности процессоров, как это и было предсказано законом Мура, – приводят технологии к порогу развития традиционных вычислительных устройств. От приоритетов бесконечного наращивания тактовой частоты и мощности

Интеллект как утешение и компенсация

Текст Игорь Лёвшин Иллюстрация Александр Желонкин

История вычислительной техники только и делает, что идет вспять. Во всяком случае, движение от сложного к простому стало делом куда более представительным, чем обратное, и, как казалось, более для истории естественное – от простого к сложному

Кто лет двадцать назад решился бы помыслить, что крупнейшие суперкомпьютерные центры заполнят почти ширпотребные серверы, а то и без «почти»? Что процессорные ядра для сотовых телефонов всерьез будут угрожать суперкомпьютерному будущему архитектуры x86, в свое время грубо потеснившей изысканных Alpha и ее RISC-собратьев и VLIW-родственников? И что красавцев

одного процессора производители переходят к многоядерности, параллелизму и т. п. Мир неизбежно движется к смене парадигмы высокопроизводительных вычислений. Сейчас несколько ядер в процессоре переносного компьютера – уже норма, в процессорах суперкомпьютеров ядер намного больше. «Джин уже выпущен из бутылки», пройдет совсем немного времени и ядер станет несколько десятков, а потом и тысяч. Появятся совершенно другие архитектуры, ядра будут объединяться в сложные блоки, разным вычислительным блокам можно будет получать параллельный одновременный доступ к данным, «общение» вычислительных блоков между собой будет происходить

через общую память. В действительности изменятся многие аспекты парадигмы: что такое вычислительное устройство и что такое вычислительный процесс. Изменяются традиционные представления о том, как устроен компьютер, что такое вычислительная система. Эти процессы принесут изменения и в стиль программирования, и в то, как будут использоваться вычислительные устройства. Переход к новой парадигме вычислений приведет, наверное, к тому, что архитектура вычислительных устройств «сдвинется» в сторону «набора одновременно работающих асинхронных моделей взаимодействующих динамических систем (функциональных элементов)». Среди новых характерных черт будущей парадиг-

мы все более отчетливо проступают следующие: стохастичность, гибридность, асинхронность, кластерность (отсутствие жесткой централизации и динамическая кластеризация на классы связанных моделей). *Стохастичность.* С одной стороны, хорошо известно, что компьютеры становятся все миниатюрнее и миниатюрнее, размер элементарного вычислительного элемента (вентиля) приближается к размеру молекулы или даже атома. На таком уровне законы классической физики перестают работать и начинают действовать квантовые законы, которые в силу принципа неопределенности Гейзенберга принципиально не дают точных ответов о состоянии. С другой стороны, стохастичность – это известное свойство сложных

«Силиконов» и причудливых SMP-монстров сменяют ряды, ряды и ряды однообразных стоек с невыразительными выдвигающимися ящичками?

Это, конечно, пустая риторика. На самом деле сложность никуда не денется: в одном месте убудет, в другом прибудет. Сложность софта, управляющегося (или не управляющегося) с тысячами – а там и миллионами – маленьких ядер станет испытанием для человеческого интеллекта. Похоже, дело идет к тому, что Человеку придется поделиться интеллектом с Программой (надеемся, что от первого не убудет). Программе (операционной системе и тому, что выше)

придется понемногу учиться самой планировать, чинить и программировать. Тут-то, возможно, и станут лихорадочно вспоминать идеи Искусственного Интеллекта, скомпрометированные неоправданными ожиданиями.

Отчасти это будет, наверное, циничное применение знаний о нашем человеческом мозге для решения проблем «софта», а то и «железа». Скажем, изучив поглубже механизмы памяти, ученые придут с этим к схемотехникам, корпеющим над чипами. Ну, или к программистам, ломающим головы над обработкой изображений и прочих объектов, не желающих упорядочиваться. По этому пути

идет IBM, как стало ясно из одной беседы в их лаборатории в Алмадене. IBM, впрочем, идет по привычке всеми путями одновременно: тут и симуляторы мозга в Швейцарии, тут и искусственный интеллект Доктор Уотсон.

Путь немного в сторону: не бионика, не воспроизведение природы, а оживление инструментов ИИ – более экзотичных языков программирования, например. Во времена расцвета ИИ возлагали надежды на функциональные языки программирования. Чего стоил один LISP с «кар»ами и «кудер»ами. Из языка-подающего-надежды (на то, видимо, что будет сам себя программировать, хотя бы немножко) он был

динамических систем, состоящих из огромного числа компонент. Под *гибридностью* будущих процессов вычислений понимается необходимость рассмотрения комбинации непрерывных и дискретных процессов, т. е. учет непрерывной эволюции протекания физических процессов при работе той или иной модели и скачкообразное переключение с одной модели на другую. Увеличение быстродействия вычислительных устройств и уменьшение их размеров с неизбежностью приводит к необходимости операций с «переходными» процессами. Серьезным ограничением классической модели вычислений является разбиение памяти на изолированные биты, потому как сокращение длины такта и расстояний между битами с определенного уровня делает невозможным рассматривать их изолированно в силу законов квантовой механики. Вместо примитивных операций с классическими битами в будущем было бы естественно перейти к операциям, задаваемым теми или иными динамическими моделями

микромира, оперирующими с наборами взаимосвязанных «битов». При этом простейшими «моделями» могут остаться классические операции с битами.

Асинхронность. Отказ от унифицированных простых вычислительных элементов неизбежно приводит к отказу от синхронизации работы различных компонент, имеющих существенно отличающиеся физические характеристики и свои длительности «тактов». В рамках классической теории множеств противоречивый смысл понятия единого «такта» выражается в неразрешимости проблемы континуума в рамках аксиоматики Френкеля-Цермело.

Кластерность. Одним из неожиданных результатов многочисленных попыток в разработках (создании, адекватном описании поведения и управлении) сложных стохастических систем оказалась перспективность модели мультиагентных систем, в которой топология связей агентов между собой меняется со временем. При этом понятию агента может соответствовать как некото-

рая динамическая модель (компонент системы), так и определенный набор моделей. При отсутствии жесткой централизации такие системы способны эффективно решать достаточно сложные задачи, распределяя ресурсы на «нижнем» уровне, эффективность часто повышается за счет самоорганизации агентов и динамической кластеризации на классы связанных моделей. В некотором смысле переход к разработке и созданию моделей сложных вычислений – закономерный этап развития микропрограммирования. Понимание возможных преимуществ работы устройств с эффективным микрокодом отмечалось еще в 50-е годы прошлого века. Во втором ряду серии ЕС ЭВМ в конструкцию была заложена возможность динамического микропрограммирования. Хорошо известен целый ряд ЭВМ – от «Мир-1» до «Эльбрус», использующих языки высокого уровня (HLL) как машинные. В настоящее время *технологии микропрограммирования естественным образом сдвигаются в сторону физиче-*

разжалован в культовые, а позже брошен на растерзание фанатам редактора Emacs. Зато сейчас, кажется, вновь наблюдается здоровый интерес системных программистов из НРС-отрасли к функциональным языкам.

Нейронные сети – срединный путь между этими двумя. Они и подражание естественному мозгу, и инструмент. Мне довелось побывать много лет назад на конференции по нейронным сетям. Впечатление было такое, что полстраны плетет нейронные сети. Это не так уж странно: НС очень хороши для распознавания образов, в том числе образов врага и особенно его самолетов и танков. Конечно,


ских процессов.

Переосмыслим ставшие традиционными понятия «такта», «памяти», «ленты», «программы» и «состояния». Если в классическом подходе ячейки памяти используются для хранения дискретной информации и их изменение возможно только в тех случаях, когда указатель ленты показывает на нее, то в новой концепции «ячейка памяти» представляет собой постоянно функционирующую модель какой-то динамической системы (возможно, и достаточно сложной), а «лента» – подмножество в общем пространстве состояний, при достижении которого заканчивается очередной «такт» и происходит включение «программы» – скачкообразное переключение с одних моделей на другие. Естественно, что классическая ячейка памяти для хранения «бита» является частным случаем такого обобщения.

В любых современных вычислительных устройствах хранение информации основано на тех или иных физических принципах, только эволюция состояния ячейки

нейронная сеть не умерла, она зашла на время. Сообщения о НС, решающей задачи распознавания, появляются, хоть и не часто. Но недавно нейронная сеть проникла в святая святых – в геологоразведку, в нефтегазовую отрасль.

Имидж компьютера в народном сознании довольно неприятен. Самая отвратительная его черта – он не ошибается и мыслит четко: да/нет. Новому поколению программ придется, может быть, научиться мыслить нечетко. Один из недавно появившихся инструментов работы с файловой системой GPFS называется GAUL: Gestalt Analysis of Unstructured Logs. Анализатор пытается не просто принять образ

человеческий – от слова «гештальт» попахивает еще и кушеткой психотерапевта, ну или хотя бы гештальт-психолога. Так и есть: психолог еще и работает на нечеткой логике. Программа ищет причины падения системы не по каким-нибудь там кодам ошибки, а используя алгоритмы, позаимствованные у тех, кто занимается текстовым поиском, то есть у тех, кто имеет дело с несовершенными, неполными и «фаззи» данными, произведенными человеком, а не компьютерами – бездушными (как мы думали) педантами. Программа не требует обучения оператора-человека. Она, видите ли, сама обучается. Ох, не к добру это, не к добру... 

во время хранения более простая – сохраняется постоянной какой-то физической характеристикой. Другими словами, традиционную информатику можно сравнить с арифметикой, она оперирует цифрами – значениями ячеек памяти (или, более точно, – арифметикой конечных двоичных дробей). Предлагаемая новая модель вычислений позволит перейти в информатике от «арифметики» к «функциональному анализу», исследующему процессы эволюции информации внутри новых «ячеек» (операции с функциями).

Другим обобщением может быть вероятностное задание отображений эволюции и программ, что позволит реализовывать с помощью новой модели динамические системы, стохастические гибридные системы, вероятностные автоматы, системы со стохастическим управлением и т. п., не описываемые детерминированными законами. Для организации работы такой системы, наверное, целесообразно будет использовать рандомизацию, позволяющую частично устранить влияние

на работу системы систематических погрешностей, которые практически неизбежны при изменяющейся со временем модели динамической системы.

Предложенная новая модель вычислений позволяет описывать если не все, то подавляющее большинство процессов реального мира, а также работу всевозможных существующих и будущих вычислительных устройств, включая аналоговые и биокомпьютеры, нейрокомпьютеры, квантовые компьютеры и т. д. Особенностью предлагаемого подхода является отказ от редукации сложности в процессе вычисления. Сложность вычислимого объекта должна быть эквивалентна сложности вычисляемого.

Другими словами, понятие вычислительной сложности правильнее рассматривать относительно выбранной системы базисных эволюционных примитивов, а не относительно традиционно рассматриваемых битовых преобразований {0; 1}. Квантовые и нейрокомпьютеры обещают сильно изменить представления о вычисли-

тельной мощности современных вычислительных устройств. Увеличение вычислительной мощности, возможное за счет использования новых моделей вычислений, основывающихся на физических явлениях, позволяет предположить, что в будущем новые компьютеры смогут решать задачи, невыполнимые для обычных компьютеров.

Искусственный интеллект

Вернемся к началу статьи. За более чем пятидесятилетнюю историю практического использования компьютеров одним из основных разочарований для человечества стала невозможность создания искусственного интеллекта. Несмотря на внушительный прогресс в сфере создания мощных вычислительных устройств, пока еще нельзя говорить о детальном понимании этой задачи или о направлениях исследований, которые могли бы гарантированно дать результат. Большая часть известных работ по искусственному интеллекту посвящена решению конкретных задач или реализациям каких-либо эвристических поведенческих алгоритмов, эффективно справляющихся с тестовыми заданиями и терпящих неудачу на задачах реального мира. Многие исследователи согласны с тем, что пока еще не разработана методология создания алгоритмов и устройств для решения задач искусственного интеллекта.

Разработка подобной методологии, по всей видимости, связана с анализом различных задач искусственного интеллекта, выявлением аналогичных частей и созданием новой формальной логики, адаптированной под эти части. Человечество накопило множество задач, которые компьютеры умеют эффективно решать. Можно послать ракету в определенную точку, можно быстро вычислить преобразование Фурье, можно бы-

Обоснованием целесообразности рассмотрения более широкого класса моделей являются успехи в разработках для традиционных сложных многомерных задач новых алгоритмов, работающих «за такт». Результат получается как итог физического адиабатического процесса. Например, для классической операции с битами – переход физической системы (триггера) из состояния «1» в «0». П. Шор (1997) предложил алгоритм квантового преобразования Фурье, которое может выполняться за время, пропорциональное $(\log N)^2$, а не за $N \log N$, как классическое быстрое преобразование Фурье. В работе Д. Тиена (2003) обсуждается опирающийся на квантовую адиабатическую теорему гипотетически возможный «физический» способ решения за конечное время 10-й проблемы Гильберта, в работе С. Сыроева и др. (2006) предложен эффективный квантовый алгоритм вычисления «за такт» оценки вектора-градиента многомерной функции, задаваемой с большой степенью неопределенностей. Типичные для математических алгоритмов операции типа «свертки» функций вполне могут обнаружиться «в природе». Последние исследования похожих моделей показывают, что их выполнение за счет присущей природе способности к самоорганизации не обязательно «раскладывается» на более простые «кирпичики», т. е. не всегда может быть записано в виде классического алгоритма.

стро найти решение какого-нибудь важного уравнения и много-много других. Но как нам поступить, если мы хотим собрать универсальный вычислитель, который способен один выполнить их все? Предположим, что мы делаем не вычислитель, быстро решающий уравнения, а наша цель – сделать что-то похожее на нас, людей (искусственное мыслящее существо), которое в условиях неопределенностей способно распознать реальную ситуацию, выбрать адекватную ей задачу и решить ее. Например, среди всего реализованного набора задач принимает решение о выборе блока, ответственного за решение определенной задачи, который «говорит»: «Да, эту ситуацию я контролирую, это моя цель, пора стрелять или вижу

угрозу, пора убегать и т. п.» Такие системы плохо «вписываются» в традиционную концепцию архитектуры компьютера, в которой операции обычно выполняются последовательно, данные загружаются последовательно, для выполнения того или иного действия надо последовательно пройти некоторые шаги А, Б, В и т. д., как-то их перебрать. Но пока мы их перебираем, зачастую решаемая задача перестает быть актуальной.

Как будет в перспективе? Простое решение собрать все вычислительные блоки вместе в сегодняшних условиях наткнется на проблемы отвода тепла, одновременной доставки информации, выбора ведущего блока и многие другие. Наверное, когда-то мы сможем собрать блоки (микросхемы), решающие выбранные нами задачи (желательно все) в «клубок» закрученной спирали, как в молекулах ДНК у нас в клетках, которые решают огромное количество задач (функций). Как могут решаться важные для универсального вычислителя задачи с доступом к памяти, с параллелизмом, данными? Гипотетически можно представить, что химическое или электромагнитное воздействие (например, луч света) на такой «клубок» может одновременно воздействовать сразу на все блоки, и каждый из них одновременно с другими «примеряет» поступающую информацию «на себя». Традиционная альтернатива параллелизму – перебирать по очереди и смотреть, кому лучше подходит. В том блоке, который распознал адекватность текущей информации его задаче, которому информация подошла лучше остальных, можно представить себе возникновение состояния некоторого информационного резонанса. ■■■

Новости

Новые суперкомпьютерные программы Союзного государства

Подготовлены концепции трех новых Союзных программ по разработке и использованию суперкомпьютерных технологий: «СКИФ-НЕДРА», «СКИФ-СОЮЗ» и «ОРБИСС»

Они предусматривают значительное расширение применения возможностей высокопроизводительных вычислений в реальном секторе экономики. В рамках программы «СКИФ-НЕДРА» планируется создать новую серию суперкомпьютеров «СКИФ-ГЕО», а также программное обеспечение для обработки и моделирования геолого-геофизических данных «ПО СКИФ-НЕДРА». Программа «СКИФ-СОЮЗ» предполагает разработку суперкомпьютеров новейшего поколения «СКИФ» ряда 5 и 6,

развертывание и развитие совместной киберинфраструктуры России и Беларуси. По новой программе «ОРБИСС» Россия и Беларусь планируют создать специализированные центры обработки данных для промышленных предприятий и сформировать объединенную инфраструктуру суперкомпьютерного сервиса для промышленности. Эта программа является продолжением программ Союзного государства «ТРИАДА» и «СКИФ-ГРИД».

Индийская космическая сага



Индийская организация космических исследований (ISRO) сообщила о вводе в эксплуатацию самого мощного суперкомпьютера в стране, пиковая производительность которого составляет 220 ТФлопс. Система, названная SAGA-220, построена на базе более четырехсот четырехъядерных процессоров Intel Xeon и такого же количества GPU NVIDIA Tesla 2070. По данным ISRO, производительность каждого GPU и CPU составляет 500 и 50 ГФлопс соответственно. Суперкомпьютер спроектирован и построен силами инженеров космического центра имени Викрама Сарабхаи, расположенного в городе Тируванантапурам, столице Индийского штата Керала. SAGA-220 будет использоваться для моделирования гидродинамических процессов, что позволит индийским ученым создавать более сложные ракетносители для запуска космических объектов. Общая стоимость системы составляет 140 млн рупий (3 млн долларов США), энергопотребление – 150 kW.

iPad 2 versus Cray 2



Доктор Джек Донгарра, один из главных авторов рейтинга 500 наиболее мощных компьютеров мира, пришел к заключению, что популярный современный Интернет-планшет iPad 2 был бы достойным соперником суперкомпьютера Cray 2, восьмипроцессорная версия которого была признана в 1985 году самым быстрым компьютером в мире.

По результатам системы тестов Linpack, проведенных доктором Донгаррой, iPad 2 получил оценку 1.5-1.65 ГФлопс. Пиковая производительность Cray 2 составляла 1.9 ГФлопс, и только в 1990 году этот рекорд был побит суперкомпьютером ETA-10G. По словам автора рейтинга Top500, такие показатели позволили бы iPad 2 оставаться в списке самых мощных компьютеров мира вплоть до 1994 года.