

ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ И ПОСТБИНАРНЫЙ КОМПЬЮТИНГ

Аноприенко А.Я.

Донецкий национальный технический университет

Введение

Новое десятилетие открывает невиданные ранее возможности как в области развития компьютерных наук и технологий, так и в области использования результатов этого развития. В то же время это будет и десятилетие серьезных вызовов, достойный ответ на которые потребует немалых усилий, напряженного труда и мобилизации талантов самых разных категорий компьютерных специалистов во всем мире. Некоторые из этих вызовов, возможно, самые главные, рассматриваются далее. В качестве своеобразного введения к этому докладу рекомендуются работы [1] и [2].

Суперкомпьютерная гонка и экзамасштаб (Е-масштаб)

В 2010 году произошло 4 довольно знаменательных события, достаточно наглядно характеризующих главные вызовы суперкомпьютерной гонки ближайшего десятилетия:

Во-первых, в октябре 2010 года самый мощный в мире суперкомпьютер производительностью 2,5 петафлопс (10^{15} операций с плавающей запятой в секунду) впервые был введен в эксплуатацию [3] не в США или Европе, а в Китае, который, фактически, только несколькими годами ранее вступил в суперкомпьютерную гонку, запустив петафлопсную систему практически одновременно с Европой и США.

Во-вторых, впервые основой самого мощного суперкомпьютера стали не универсальные процессоры, а графические. Китайская система, названная Тяньхэ-1А (Tianhe-1A), имеет архитектуру GPGPU (general-purpose GPU) и использует 7168 графических процессоров NVIDIA Tesla M2050 вместе с 14336 универсальными процессорами. При реализации системы такой мощности исключительно на универсальных процессорах их потребовалось бы более 50-ти тысяч универсальных процессоров, система занимала бы в два раза больше площади и потребляла бы 3 раза больше энергии (12 мегаватт вместо реально потребляемых 4-х). Сэкономленной мощности достаточно для обеспечения электроэнергией более 5000 домов в год. Данная система была разработана в Национальном университете оборонных технологий (NUDT) Китая и установлена в Национальном суперкомпьютерном центре в Тяньцзине [3].

В-третьих, впервые США, Европа и Россия начали объединять свои усилия в разработке компьютерных систем и программного обеспечения следующего поколения [4]. По-видимому, в ближайшем будущем это может стать единственным вариантом сохранения конкурентоспособности на фоне китайского лидерства. В 2010 году США, Канада, Франция, Германия, Япония, Россия и Великобритания впервые договорились о совместном выделении 10-ти миллионов евро для развития открытого программного обеспечения, ориентированного на использование в нынешних и будущих суперкомпьютерных системах. В числе приоритетных направлений при этом предполагаются трехмерное реалистичное моделирование окружающей среды, климатических изменений и разного рода стихийных бедствий. Ключевой проблемой при этом является эффективное использование массового параллелизма современных и будущих компьютерных систем. Если передовые терафлопсные системы десятилетней давности имели не более 10-ти тысяч вычислительных элементов, то современные петафлопсные системы содержат порядка 100 тысяч ядер. А примерно через 10 лет ожидается появление систем со 100 миллионами ядер [5]. Такой исключительный параллелизм потребует существенных инноваций в архитектуре, программном обеспечении и приложениях для экзафлопсных систем. Это действительно серьезный вызов для всех компьютерных специалистов.

Хотелось бы при этом, чтобы и Украина вообще, и ДонНТУ, в частности, не остались в стороне от этих процессов. Предпосылки для активного включения в суперкомпьютерные исследования у нас есть. Это и опыт многолетнего сотрудничества с суперкомпьютерным центром Штутгартского университета (под руководством профессора Святого В.А., кафедра компьютерной инженерии), и ввод в строй в ДонНТУ с 1 сентября 2010 года первого в Восточной Украине суперкомпьютера (200-ядерного), и участие с конца этого года в масштабном международном проекте по компьютерному моделированию климата (кафедра компьютерных систем мониторинга, профессор Аверин Г.В.), и победа наших студентов и аспирантов (кафедра прикладной математики и информатики, профессор Башков Е.А.) на первом всеукраинском конкурсе по программированию на CUDA, проведенном компаниями NVIDIA и Юстар весной 2010 года.

В-четвертых, в 2010 году практически одновременно с преодолением петафлопсного рубежа началась масштабная всемирная гонка по достижению экзафлопсных рубежей, главный лозунг которой «**10¹⁸ к 2018 году**» (производительность в 10^{18} операций с плавающей запятой в секунду обозначается как EFlops, Эфлопс или Ефлопс). Впервые столь долгосрочная мировая гонка началась с такого «массового забега», охватившего практически все развитые страны. Сравнима с этим может быть только космическая гонка 60-х, но тогда в ней участвовали, фактически, только 2 супердержавы того времени: Советский Союз и США. Главными участниками нынешней «экзафлопсной гонки» являются уже не только США, но и

практически вся Европа, а также такой новый игрок с беспрецедентной экономической мощью как Китай. Соответственно и последствия нынешнего «экзафлопсного вызова» также могут быть существенно более масштабными, чем космическая экспансия 60-х годов прошлого века. Для сравнения: 10^{18} – это «миллиард миллиардов». Именно таким числом до недавнего времени оценивалось суммарное количество звезд во Вселенной.

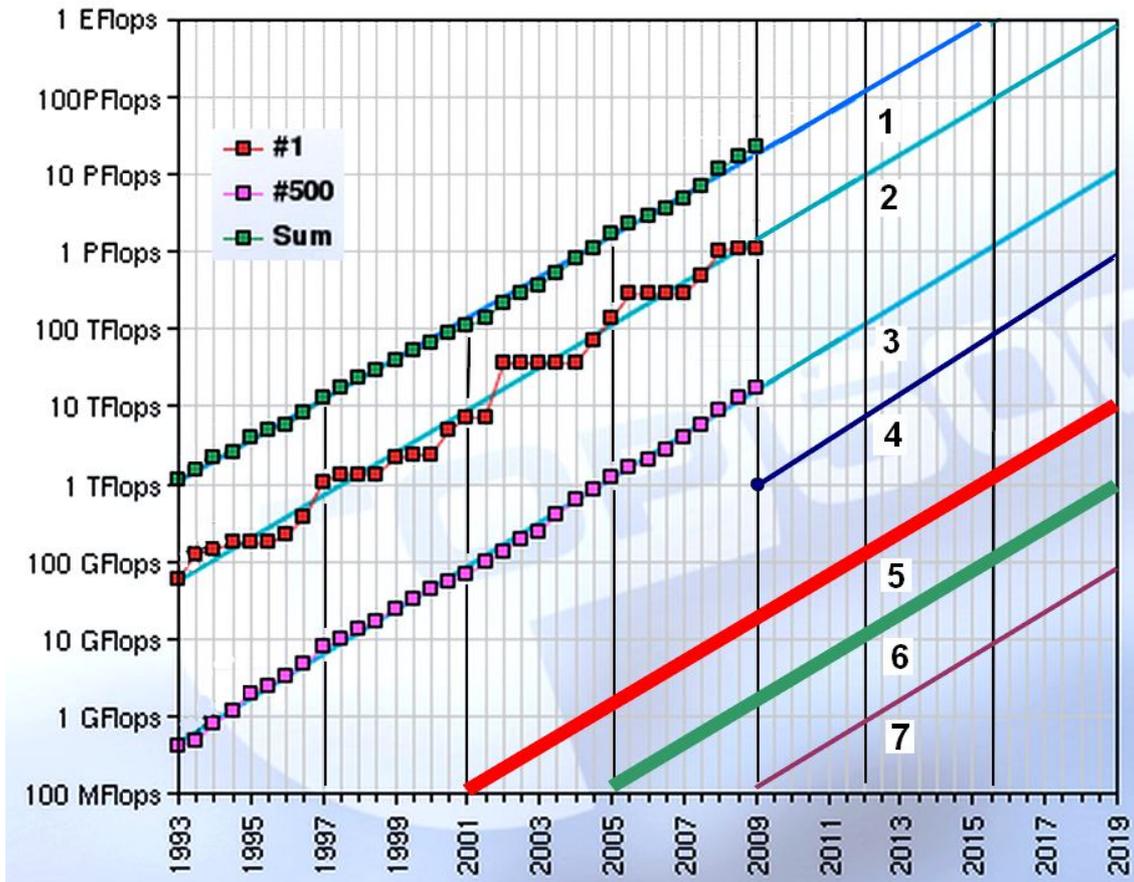


Рис. 1. Реальный и прогнозируемый рост производительности различных типов компьютерных систем:

1. Суммарная производительность всех суперкомпьютерных систем из списка Top500 (1 Ефлопс к 2015 г.).
2. **Производительность рекордных систем из списка Top500 (1 Ефлопс к 2018-2019 г.).**
3. Производительность последней (500-й) системы в списке Top500.
4. Производительность «персональных суперкомпьютеров» на базе графических процессоров (стоимостью порядка 10-20 тыс \$).
5. Производительность «продвинутых» персональных компьютеров стоимостью порядка 1-2 тыс \$ (на 2010 год примерно соответствует производительности микропроцессоров Intel Core 2 Duo).
6. Усредненная производительность персональных компьютеров, находящихся в эксплуатации (на 2010 год примерно соответствует производительности нетбуков на базе Intel Atom).
7. Усредненная производительность процессоров компактных мобильных устройств (на 2010 год примерно соответствует производительности коммуникаторов с операционными системами Android).

В США соответствующие работы координирует International Exascale Software Project, которым руководит знаменитый ученый из Национальной лаборатории в Окридже, профессор Университета Теннесси Джек Донгарра (Jack Dongarra). Согласно его расчетам, система с производительностью в один эксафлопс вполне может стать реальностью уже в 2018 году. Аналогичная инициатива реализуется и в ЕС: 1 июня 2010 года во время международной суперкомпьютерной конференции в Гамбурге координатор аналогичного европейского проекта Жан Ив Бертю (Jean-Yves Berthou) объявил о старте проекта European Exascale Software Initiative.

Целью при этом является E-масштабная архитектура, в тысячу раз более эффективная, чем любая другая современная архитектура с тем же потреблением энергии и той же самой занимаемой площадью. Это означает, что машина с энергопотреблением и габаритами современной петамасштабной машины должна быть способна обеспечить экзамасштабную производительность. Это также означает, что энергопотребление и физические габариты современного сервера, используемого в подразделениях компаний, а также – «персонального суперкомпьютера», должны быть достаточны для обеспечения петамасштабной производительности в 2018 году. Наконец, средний чип из категории товаров массового спроса должен обеспечивать к этому времени терамасштабную производительность [7]. То, что эти цели вполне реальны и практически полностью соответствуют наблюдаемым сегодня закономерностям, наглядно подтверждается графиками на рис. 1.

Энергетические проблемы

В число серьезных вызовов будущего десятилетия входят и энергетические проблемы, актуализирующиеся по мере роста производительности суперкомпьютеров. Современные наиболее экономные петафлопсные системы потребляют от 2 до 3 мегаватт (МВт) на каждый петафлопс. Принято считать, что эксафлопсные системы должны потреблять не более 20 МВт, иначе стоимость их эксплуатации станет неприемлемо большой. Следовательно, тысячекратное увеличение производительности при переходе от П-масштаба к E-масштабу должно быть, получено всего лишь при 10-кратном увеличении потребляемой энергии [8]. Именно такого соотношения удалось добиться при переходе от Т-масштаба на рубеже тысячелетий к П-масштабу в настоящее время. Но повторить это достижение на основе современных технологий будет крайне сложно. Главными проблемами при этом являются проблемы памяти. Имеющиеся в настоящее время средства оперативной (DRAM) и дисковой памяти (HDD), являющиеся основными в компьютеринге последних десятилетий, потребляют слишком много энергии. Необходимы принципиально новые технологии.



Рис. 2. 1980 год: самый мощный советский компьютер ЕС-1060, интенсивно эксплуатировавшийся в ДонНТУ с начала 80-х до начала 90-х годов: производительность 1 Мфлопс, потребляемая мощность 60 КВт, для охлаждения были установлены 2 шахтных вентилятора мощностью по 40 КВт (1 рабочий и 1 резервный), суммарная потребляемая мощность составляла 100 КВт.



Рис. 3. 2010 год: суперкомпьютер NEC Xeon Linux Cluster, введенный в эксплуатацию в ДонНТУ 1 сентября 2010 года: производительность до 3-х Тфлопс, каждая из 3-х вычислительных стоек потребляет до 15 КВт, каждый из 3-х охлаждающих кондиционеров – 15 КВт, суммарное потребление в максимальном режиме 90 КВт. Это означает потребление 0,03 Вт на Мфлопс или производительность примерно 30 Мфлопс на 1 Вт, т.е. энергоэффективность по сравнению с ЕС-1060 увеличилась **в 3 миллиона раз (за 30 лет)**. В лучших современных системах этот показатель еще на порядок выше.

Крупнейшие суперкомпьютерные центры в настоящее время потребляют от 10-ти до 100 миллионов ватт, расходуемых на питание серверов, сетей, систем хранения

данных и различного вспомогательного оборудования (при суммарном энергопотреблении типичного современного университета на уровне 10 МВт). Учитывая, что 1 МВт электроэнергии обходится в настоящее время почти в 1 миллион долларов в год, такие масштабы энергопотребления приводят к тому, что реальная цена высокопроизводительных вычислений оказывается намного большей, чем стоимость собственно обеспечивающей их аппаратуры (средняя цена наиболее производительных суперкомпьютерных систем составляет порядка 10 миллионов долларов). Отсюда понятно, что актуальность проблемы энергосбережения для суперкомпьютеров продолжает расти.

Одной из первых заострила внимание на данной проблеме корпорация IBM, когда около десятка лет назад начала разрабатывать архитектуру BlueGene. Получившиеся в итоге этой работы коммерческие компьютеры BlueGene/L имели рекордный для своего времени показатель энергоэффективности – 210 Мфлопс (миллионов операций) на 1 Вт потребленной энергии, ставший своего рода эталоном для машин подобного класса. Сегодня эту планку преодолели уже многие модели компьютеров, достигнут уровня примерно в 500 Мфлопс на 1 Вт [9]. К 2018 году требуется довести этот показатель до 50-ти Гфлопс на 1 Вт.

Вездесущий компьютеринг

Большинство современных аналитиков соглашается с тем, что за несколько последних десятилетий Интернет и Веб-технологии стали, пожалуй, самыми успешными в мире проектами, которые так или иначе изменили практически все области экономики и общество в целом, послужили катализаторами для новых форм коммуникаций, сотрудничества, инноваций, радикально поменяли способы работы с информацией и знаниями [10].

К концу 2010 года количество пользователей Интернет в мире приблизилось к 2 млрд (еще в 2000 г. их было всего 360 млн), а количество пользователей мобильной связи – к 5 млрд (в 2000 г. – 720 млн), среди которых более 500 млн имеют устройства, поддерживающие доступ к Интернет. За последние четыре года число таких устройств удвоилось, и, как полагают эксперты, к 2012 г. бóльшая часть аудитории будет работать в Сети именно с мобильных устройств посредством беспроводной (а не проводной) связи [10].

Темпы роста числа пользователей некоторых информационных ресурсов существенно обгоняют средние темпы роста Интернет. Так, например, к 2010 г. число постоянных пользователей одной только социальной сети Facebook, впервые ставшей доступной в 2004 году, превысило 500 млн. Главным социальным фактором развития

технологий будущего станет взросление «цифрового» поколения – современных подростков, которые с детства знакомы с Интернетом и примерно к 2018 г. окажутся его основной аудиторией. Их модель взаимодействия будет радикально отличаться от той, что использовали предыдущие и даже нынешнее поколения взрослых людей.



Рис. 4. «Интернет – это молодость мира...» Нынешние студенты – самая активная часть пользователей Интернет. К 2018 году показатели, характерные сегодня для студенчества, станут типичными для всей активной части населения мира. Те, кто были студентами в период становления современных веб-технологий, начавшегося 20 лет назад, сформировали на графике своеобразное «плато» 30-40-летних, среди которых почти 70% активных пользователей поисковых систем.

Компанией Google в первые годы ее существования (к 2000 г.) было проиндексировано порядка 100 млн веб-страниц, а на сегодняшний день число проиндексированных ресурсов достигло 1 трлн, а количество ссылок между ними превышает 50 трлн. Сейчас ежедневно осуществляется более 100 млрд переходов по веб-ссылкам, а электронных писем и мгновенных сообщений ежесекундно отправляется 2 млн и 1 млн соответственно.

Популярные медиаресурсы ежеминутно дополняются более чем 10-ю часами пользовательского видеоконтента. Поисковые системы каждые 4 часа обновляют данные, объем которых превосходит все содержимое хранилищ библиотеки конгресса США [10]. Генеральный директор Google Эрик Шмидт в среднесрочной перспективе видит еще одну основополагающую тенденцию – по его мнению, в течение пяти лет 100 Мб/с станет обычной скоростью доступа к Интернету, что практически сотрет границы между локальными и сетевыми сервисами – видео, радио, телефонией и пр.

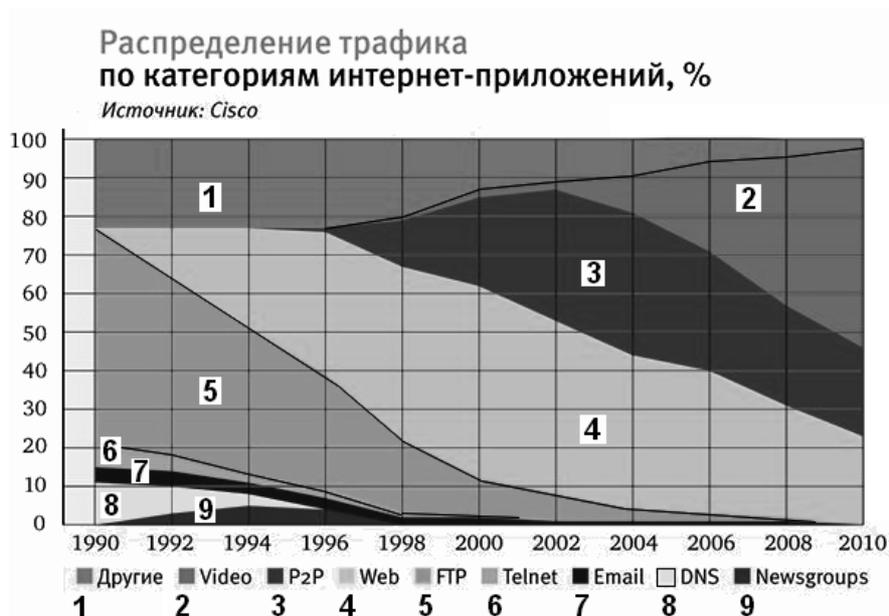


Рис. 5. Распределение трафика по категориям Интернет-приложений. К 2010 году более половины всего трафика стала составлять передача видео (2), примерно четверть – трафик систем типа P2P (торренты и т.п.), и лишь четверть (4) – традиционный веб-трафик.

Согласно исследованиям европейских специалистов новые онлайн-инструменты сотрудничества уже в ближайшее время окажут значительное влияние на эффективность соблюдения прав интеллектуальной собственности: в специфических условиях Интернета обычные монопольные права неоптимальны, и можно ожидать смещения индустрии в сторону таких открытых систем лицензирования как Creative Commons, General Public License (GPL), принудительного лицензирования и пр. [10].

Возможность онлайн-участия в деятельности компаний значительно изменила структуру и суть предпринимательства, а также всю бизнес-среду и, очевидно, со временем будет оказывать все большее влияние на разработку технологий, экономические показатели и пользовательский спрос. В связи с этим по мнению европейских экспертов, в ближайшие годы существенно изменится роль и степень участия в мировой экономике малых предприятий, которые уже получили в Сети практически равные с крупными корпорациями рекламные возможности, но при этом значительно превосходят последние в гибкости и адаптивности бизнес-моделей. Изменится и сама основа конкурентной борьбы: от продаж – к доступу, от прямых транзакций с клиентами – к многосторонним платформам взаимодействия, от конкуренции в ценах, качестве или возможностях – к инновационным продуктам, услугам и средствам коммуникаций, доступным по подписке в специальных сервисных пакетах [10].

Все это потребует в ближайшее десятилетие тотальной перестройки практически всех субъектов экономической деятельности, а также внесет существенные изменения в основы жизнедеятельности всех тех организационных структур и отдельных индивидуумов, которые вынуждены будут сделать это с целью обеспечения своей конкурентоспособности.

Цифровой потоп

К 25-летию компании Cisco главный её главный футуролог (Chief Futurist) Дэйв Эванс (Dave Evans) подготовил 25 прогнозов, охватывающих промежутки до 2050 г. Главной идеей практически всех этих прогнозов является экспоненциальный рост генерируемой и хранимой человечеством информации. Это явление было названо «цифровой лавиной» (Digital Avalanche) [11].

Согласно оценкам Эванса к 2010 году объем ежегодно создаваемой в мире информации стал измеряться эксабайтами (т.е. миллиардами Гбайт). По состоянию **на 2010 год каждый житель Земли хранит в среднем уже порядка 100 Гбайт персональной информации** (это, например, может быть тысяча книг объемом в среднем по 1 Мбайту, плюс тысяча цифровых фотографий объемом по 2 Мбайта, плюс тысяча аудиофайлов объемом по 3 Мбайта, плюс несколько сотен клипов и фильмов объемом по 50-100 Мбайт, плюс несколько десятков любимых полнометражных фильмов по 1-2 Гбайта). **К 2020 году этот объем по прогнозам вырастет примерно в тысячу раз и составит порядка 100 Тбайт на человека.** Речь идет, напомним, только о персональной информации, хранимой каждым из нас.

Среди других прогнозов от главного футуролога Cisco есть, например, и следующие: «Взрывной рост популярности видеоконтента и видеосвязи приведет к тому, что к 2015 г. месячный трафик в сетях, даже беспроводных, будет измеряться эксабайтами. К 2015 г. Google проиндексирует примерно 775 млрд страниц контента, и это еще без учета «темного Веба», скрытого от поисковых систем за корпоративными брандмауэрами, объем которого, по подсчетам Cisco, в 500 раз больше, чем открыто доступной информации. Объем знаний будет расти огромными темпами: так, сегодня мы знаем только 5% того, что нам станет известно в ближайшие 50 лет. Правда, это не означает какого-то повышения расходов на хранение типовых объемов информации: к 2029 г. за \$100 можно будет купить систему хранения данных емкостью 10 петабайт (условно 1 ПБ = 10^{15} байт, или 1 млн ГБ). Разумеется, производительность компьютеров и каналов передачи будет расти пропорционально количеству информации, а их цена – соответственно падать. К 2020 г. ПК стоимостью \$1000 сравнится по вычислительной способности с человеческим мозгом, к 2030 г. – с населением небольшого города, а к 2050 г. – со всем человечеством» [11].

Уже сейчас очевидно, что объем информации, доступный сегодня среднему человеку, и особенно тот, который станет доступен в ближайшие десятилетия, намного

превосходит не только его потребности, но и все мыслимые пределы возможностей его восприятия. Другими словами, больше, чем человек физиологически способен увидеть, понять и запомнить, в него принципиально не может «поместиться», сколько бы дополнительной информации не существовало в природе. В этой ситуации резко начинает расти роль повышения «качества» данных, которые попадают к пользователю, – они должны быть как можно более адекватными его потребностям и запросам. В связи этим необходимо не только и далее сокращать затраты времени и труда на нахождение нужной информации, но и существенно повышать ее когнитивную эффективность.

Значимость этого вызова трудно переоценить, так как достойный ответ на него способен фактически сформировать нового человека, на порядок более информированного, более понимающего и в конечном итоге в разы более эффективного, чем средний современный человек. Есть, правда, и альтернативные сценарии: у многих из тех, кто окажется не готовым к встрече с такой лавиной информации, может просто «поехать крыша» ☺

Контроль вычислений

Лавинообразное нарастание объемов вычислений как никогда ранее актуализирует контроль достоверности и точности вычислительных процессов. Е-масштаб производительности, в частности, означает, что если, например, 1 существенная ошибка может возникать при выполнении в среднем миллиона миллиардов операций, то каждую секунду будет генерироваться порядка тысячи таких ошибок, каждая из которых может оказать роковой. Предполагается, например, что целый ряд техногенных катастроф, причину которых объяснили «человеческими факторами», был вызван в действительности вычислительными ошибками [12].

Одним из путей минимизации ошибок, связанных с округлением и потерей точности ввиду ограничений, связанный с разрядностью компьютеров, является дальнейший рост разрядности вычислений. В августе 2008 года в этом направлении был сделан важный шаг, связанный с публикацией стандарта IEEE 754-2008, который заменил ранее действовавший стандарт вычислений с плавающей запятой IEEE 754-1985. Стандарт 1985 года предусматривал 2 типа чисел с плавающей запятой: одинарной (32-разрядные) и двойной (64-разрядные) точности. Одной из первых его аппаратных реализаций стал арифметический сопроцессор Intel 8087, в котором дополнительно в качестве внутреннего формата использовался «расширенный» 80-разрядный формат с 64-разрядной мантиссой и 16-разрядным порядком. Основным нововведением в стандарте 2008 года стал 128-разрядный формат «квадро», т.е. формат «четверенной» точности, который по идее должен обеспечить соответствующие потребности по части точности вычислений еще лет на 20.

Но один довольно простой пример показывает, насколько эти надежды могут оказаться иллюзорными. Речь идет о так называемом примере Румпа, опубликованном впервые в 1988 году [13] и предполагающем вычисления по следующей формуле:

$$f = 333.75 b^6 + a^2 (11a^2 b^2 - b^6 - 121b^4 - 2) + 5.5b^8 + a/(2b),$$

где $a = 77617$, $b = 33096$.

При различной разрядности вычислений с плавающей запятой на современных компьютерных системах мы получаем примерно одинаковый результат:

$$32\text{-bit: } f = 1.172604;$$

$$64\text{-bit: } f = 1.1726039400531786;$$

$$128\text{-bit: } f = 1.1726039400531786318588349045201838.$$

Но во всех случаях этот результат весьма существенно (даже своим знаком) отличается от правильного:

$$f = -0.827396059946821368141165095479816\dots$$

Самое интересное, что при проверке этого примера практически во всех современных математических пакетах не только результат оказывается неверным, но и **отсутствуют какие-либо признаки того, что при вычислениях возникли проблемы!** А это означает, что такого рода незамечаемых ошибок в современных вычислениях может быть непредсказуемое множество.

И только заведомо зная о существовании этой проблемы можно с помощью такого мощного современного пакета как Mathematica получить правильное значение одним из 3-х способов:

- значительным увеличением разрядности за пределы стандартных значений;
- вычислением отдельно числителя и знаменателя выражения с получением результата их деления только на самом последнем шаге;
- использованием интервальных вычислений.

Интервальные вычисления в общем случае позволяют хотя бы выявить такого рода вычислительные проблемы и правильно определить интервал, в котором находится верное решение [14]. Но трудоемкость интервальных вычислений на современных компьютерах в среднем на порядок выше, чем обычных. Кроме этого, традиционные интервальные вычисления сами по себе способны породить целый ряд новых проблем. Поэтому требуется поиск кардинально новых решений, позволяющих без существенного роста трудоемкости добиться достаточно надежного и эффективного контроля за корректностью вычислений [12].

Постбинарный компьютеринг

К категории постбинарного компьютеринга могут быть отнесены многие направления современных исследований, позволяющие выйти за пределы бинарной логики и бинарного представления численных значений. Например, квантовые вычисления, идея которых была высказана еще в 80-е годы Ю.И. Маниным [15] и Р. Фейнманом [16]. Квантовый компьютер в настоящее время определяется как «вычислительное устройство, которое путём выполнения квантовых алгоритмов существенно использует при работе квантовомеханические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность» [17]. Считается, что в ноябре 2009 года физикам из Национального института стандартов и технологий в США впервые удалось собрать программируемый квантовый компьютер, состоящий из двух кубит. Но даже по самым оптимистичным оценкам первые практические полезные квантовые компьютеры станут доступны не ранее 2020 года. Большинство же исследователей справедливо полагают, что речь пока может идти лишь о неопределенно далеком будущем.

В качестве более реальной альтернативы постбинарного компьютеринга может рассматриваться идея, развиваемая в рамках концепции обобщенного кодо-логического базиса [18]. Суть ее заключается в том, что на основе расширения компьютерной логики за счет введения в дополнение к двум традиционным состояниям также состояний множественности и неопределенности, мы аналогично расширяем и поразрядное представление двоичных чисел. При этом увеличение расходов на кодирование двоичных чисел вдвое позволит получить целый ряд принципиально новых качеств [19-20]:

Во-первых, появляется возможность сохранять и контролировать исходную и меняющуюся в процессе вычислений реальную точность представления численных значений за счет использования в соответствующих младших разрядах значений неопределенности.

Во-вторых, путем использования в соответствующих разрядах значений множественности появляется возможность задавать и учитывать в процессе вычислений своего рода нормированные интервалы, которые, обеспечивая некоторые важные свойства интервальных вычислений, в то же время лишены целого ряда их недостатков.

В-третьих, возможность задания уже на уровне чисел значений множественности позволяет получить естественный параллелизм вычислений уже на уровне численного задания параметров.

Развитие компьютеринга по этому пути потребует, скорее всего, введения в дополнение к нескольким нынешним стандартным форматам представления чисел в компьютере, целого множества новых, а также в конечном итоге внесения существенных изменений в процессорную схемотехнику.

На начальном этапе элементы такого постбинарного компьютеринга могут быть промоделированы на базе современных математических пакетов с открытым кодом. Например, на базе SciLab. На следующем этапе могут быть разработаны специализированные микросхемы и процессоры.

Дальнейшее развитие по этому пути может в относительно короткие сроки дать весьма многообещающие результаты и заметно изменить мир современных и будущих вычислений.

Выводы

Таким образом, даже краткий обзор основных вызовов достаточно наглядно показывает насколько серьезные и интересные задачи в области компьютерных наук и технологий предстоит решать в ближайшее десятилетие и далее. И, возможно, самые захватывающие и впечатляющие открытия и изобретения в этой области еще впереди.

Литература

1. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии в прошлом, настоящем и будущем // Материалы V международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. С.15-26.
2. Аноприенко А.Я. Исследования и разработки на факультете компьютерных наук и технологий // Материалы I всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2010)» – 19-21 мая 2010 г., Донецк, ДонНТУ, 2010. Т.1. С. 7-22.
3. NVIDIA Tesla GPUs Power World's Fastest Supercomputer // HPCwire, October 28, 2010, <http://www.hpcwire.com/offthewire/NVIDIA-Tesla-GPUs-Power-Worlds-Fastest-Supercomputer-105983244.html>.

4. Thibodeau P. U.S., EU, Russia set aside \$13.6M for exascale software work. Look to upgrade open source model that can't produce next generation on its own // Computerworld, February 12, 2010, http://www.computerworld.com/s/article/9156478/U.S._EU_Russia_set_aside_13.6M_for_exascale_software_work
5. Thibodeau P. Supercomputers with 100 million cores coming by 2018// Computerworld, November 16, 2009, <http://www.computerworld.com/s/article/9140928/>
6. Supercomputers_with_100_million_cores_coming_by_2018.
7. Кузнецов С. На пути к экзафлопам. Обзор ноябрьского 2009 г. номера журнала Computer (IEEE Computer Society, V. 42, No 11, ноябрь, 2009) // CITForum, 2010, <http://citforum.ru>.
8. Проблемы экзафлопсового компьютеринга // http://gridclub.ru/news/news_item.2010-06-15.0498870924.
9. Берд К. Пета, экза, зетта, йотта... // Журнал «Компьютерра», 16 июля 2008 года, <http://www.computerra.ru/363008>.
10. Дериева Е. Интернет будущего: что год 2025-й нам готовит // «Компьютерное обозрение», №32 (742) от 14 сентября 2010 г.
11. Хархалис Р. Что такое «цифровая лавина» и как из-под нее выбраться? // «Компьютерное обозрение», №9 (720) от 16 марта 2010 г.
12. Юровицкий В.М. О компьютерной «вычислительной катастрофе» // <http://www.yur.ru/science/computer/Comcat.htm>.
13. Rump, S. M. Algorithms for Verified Inclusions: Theory and Practice, in: Moore, R. E. (ed.), Reliability in Computing: The Role of Interval Methods in Scientific Computing, chapter 1, Computer Arithmetic and Mathematical Software, Academic Press, Boston, 1988, pp. 109–126.
14. Loh, E., Walster, G. W.: Rump's Example Revisited, Reliable Computing, Vol 8, No 3, 2002, pp. 245-248.
15. Манин Ю. И. Вычислимое и невычислимое. М.: Советское радио, 1980. 128 с.
16. Feynman R.P. Simulating physics with computers // International Journal of Theoretical Physics. — 1982. — V. 21. — Number 6. — P. 467-488.
17. Квантовый компьютер. Материал из Википедии — свободной энциклопедии.
18. Аноприенко А.Я. Постбинарный компьютеринг и моделирование сложных систем в контексте кодо-логической эволюции // Доклад на международной научной конференции «Моделирование-2010» (13-14 мая 2010 года). – Киев, НАН Украины, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, 2010.
19. Аноприенко А.Я., Иваница С.В. Особенности постбинарного кодирования на примере интервального представления результатов вычислений по формуле Бэйли-Боруэйна-Плаффа // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2010). Выпуск 11 (164). – Донецк: ДонНТУ, 2010. С. 19-23.
20. Аноприенко А.Я., Иваница С.В. Интервальные вычисления и перспективы их развития в контексте кодо-логической эволюции // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2010). Выпуск 8 (168): Донецк: ДонНТУ, 2010. С. 150-160.

Информация об авторе:



Аноприенко Александр Яковлевич, к.т.н., доцент, декан факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), профессор кафедры компьютерной инженерии ДонНТУ, академик Инженерной Академии Украины. Направления научной деятельности: компьютерное моделирование и компьютерная графика, интернет-технологии и постбинарный компьютеринг.

Как правильно ссылаться на этот доклад:

Аноприенко А.Я. Вызовы времени и постбинарный компьютеринг // Информатика и компьютерные технологии / Материалы VI международной научно-технической конференции – 23-25 ноября 2010 г. Т. 1. Донецк, ДонНТУ. – 2010. С. 13-31.