

Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка

Часть III

(Окончание. Начало в #5,8/2012)

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Вниманию читателей предлагается завершающая часть обзора рынка *High-Performance Computing (HPC)*.

Первым делом, напомним предысторию. В результате расширения сферы анализа за счет включения рынков мобильных систем, обзор впервые получился трехчастным. Произошло и некоторое перераспределение материала по сравнению с прежними обзорами [1–6]; первые две части [7] получили несколько иной уклон – с акцентами, соответственно, на финансовую и рейтинговую тематику.

Вспомним прошлогодние труды

В первой части (*Observer* #5/2012) была дана характеристика рынка *HPC* как сегмента серверного рынка и рассмотрены доходы “королей” – лидеров рынков поставщиков *HPC*-систем и процессоров для них. Помимо этого, были приведены параметры суперкомпьютеров, входящих в первую десятку рейтинга *Top500* (список №39, июнь 2012 г.).

Впервые в рамках обзора рынка *HPC*-систем обсуждалось положение дел на рынках мобильных устройств, в которых уже нашли широкое применение двух- и четырехъядерные процессоры. Ожидается, что рост производительности мобильных многоядерных процессоров будет способствовать увеличению списка ПО для мобильных систем. Это, в свою очередь, позволит расширить применение мобильных устройств на этапе пре- и постпроцессирования задач, решаемых с помощью *CAE*-технологий в такой сфере, как инженерный анализ при разработке машиностроительных изделий; кроме того, мобильные устройства смогут применяться для удаленного управления высокопроизводительными вычислениями (**ВПВ**), выполняемыми на супервычислителях различной мощности и базирования.

В первой части обзора также сообщалось, что расширенная область нашего интереса отныне охватывает шесть рынков (см. табл. 1):

- серверов;
- *HPC*-систем (сегмент рынка серверов);
- мобильных компьютеров (сегмент рынка персональных компьютеров);
- планшетных компьютеров (сегмент рынка мобильных компьютеров);
- мобильных телефонов;
- смартфонов (сегмент рынка мобильных телефонов).

Во второй части обзора (#8/2012) был дан всесторонний анализ достижений, зафиксированных в

весенних и осенних списках мирового рейтинга суперкомпьютеров *Top500* и российского *Топ50* за 2012 год. При этом были объединены два ранее разделенных фрагмента анализа, в которых акценты делались соответственно на супервычислителях и на “первокирпичиках” для них. Это позволило избежать повторов, которые стали особенно очевидными, когда первая десятка лидирующих систем весеннего и осеннего списков *Top500* оставалась неизменной на протяжении всего 2011 года [6].

В дальнейшем анализ списков, публикуемых дважды в год, будет проводиться один раз – в конце года.

Третья, завершающая, часть обзора посвящается рассмотрению итогов 2012 года.

Общие мысли

В интересующих нас сегментах рынка ИТ и коммуникационных технологий нет недостатка в маркетинговой информации – она многократно публикуется на разных стадиях процесса разработки и производства инновационных изделий при их продвижении к их предполагаемому потребителю. Рекламные и маркетинговые бюджеты компаний достигают астрономических величин и исчисляются миллиардами долларов (рис. 1). Однако и среди фанатов рекламы есть безраздельные лидеры. По оценкам интернет-ресурса www.asymco.com, компания *Samsung* в 2012 году потратила порядка 12 млрд. долларов на маркетинговые цели, включая прямую рекламу (если вспомнить название флагманских смартфонов компании, такой масштаб воистину можно назвать “галактическим”).

Такая политика зачастую достигает своей цели, поскольку под воздействием психологически тонко построенной рекламы в мозгу потребителя возникает ментальная абберрация, и при выборе устройства, вместо того чтобы опираться на результаты сравнения функционала, он принимает решение, находясь в плену наведенных иллюзий. Автор этих строк не раз ловил себя на том, что при многократном просмотре презентационного ролика на второй план отходит простая истина – инновационность изделия характеризуется отнюдь не частотой его появления в рекламных блоках.

Между тем, есть и некоторые количественные показатели, позволяющие судить об инновационной деятельности компаний:

- бюджет, выделяемый на **R&D** (*Research and Development* – исследования и разработки), является необходимым условием появления новых изделий (рис. 2, табл. 2);

• количество зарегистрированных патентов, в которых и отражается результативность проводимых исследований и разработок (рис. 3, табл. 3).

Безраздельным лидером по числу регистрируемых в год патентов уже 20 лет является компания *IBM*. В 2012 году установлен очередной рекорд – 6478 патентов. А всего за период с 1993 по 2012 гг. на счету изобретателей из *IBM* накопилось порядка

67 000 патентов. Не каждое государство может похвастаться таким арсеналом.

Из всего калейдоскопа пресс-релизов о достижениях, анонсов новых изделий и сообщений о судебных патентных спорах мы выделим лишь небольшую часть и остановимся на тех событиях, которые, по нашему мнению, можно рассматривать либо как важные шаги в развитии компаний, либо как

Табл. 1. Ведущие поставщики устройств и процессоров

Компания	Рынки					
	<i>Mobile phones</i>	<i>Smartphones</i>	<i>Tablet PC</i>	<i>PC</i>	<i>Servers</i>	<i>HPC systems</i>
Поставщики устройств						
<i>IBM</i>		1992–1995		1981–2005	+	+
<i>HP</i>	?	?	+	+	+	+
<i>Dell</i>	?	?	+	+	+	+
<i>Oracle (Sun Microsystems)</i>					+	
<i>Fujitsu</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Cray</i>						+
<i>Lenovo</i>	+	+	+	+	+	
<i>Acer Group</i>	+	+	+	+	+	
<i>ASUS</i>			+	+		
<i>Sony</i>	+	+	+	+		
<i>Samsung</i>	+	+	+	+		
<i>Nokia</i>	+	+	2013			
<i>Apple</i>	+	+	+	+	+	
<i>Amazon</i>			+			
<i>HTC</i>	+	+				
<i>Research In Motion</i>	+	+				
<i>ZTE</i>	+	+	+			
<i>LG Electronics</i>	+	+				
<i>Google (Motorola)</i>	+	+	+	+		
<i>Microsoft</i>	?	?	+			
Поставщики процессоров						
<i>Intel</i>		2014	+	+	+	+
<i>AMD</i>		2014	+	+	+	+
<i>NVIDIA</i>	+	+	+	+	+	+
<i>IBM Microelectronics</i>					+	+
<i>Oracle (Sun Microsystems)</i>					+	
<i>Fujitsu Semiconductors</i>					+	+
<i>ARM</i>	+	+	+	+	2014	2014
<i>Samsung</i>	+	+	+		2014	
<i>Texas Instruments</i>	+	+	+			
<i>Qualcomm</i>	+	+	+			
<i>STMicroelectronics</i>	+	+				
<i>Apple</i>	+	+	+			
<i>LG Electronics</i>	2014					

Примечания:

- закрашенные ячейки говорят о попадании компании в пятерку лидеров соответствующего рынка в III кв. 2012 г.;
- степень участия компаний в выполнении различных этапов жизненного цикла разработки и производства устройств может существенно отличаться;
- несмотря на то, что *HP* и *Dell* объявили о прекращении производства смартфонов и мобильных телефонов, а компания *Microsoft* заявила, что не будет заниматься их производством, истинные намерения этих компаний требуют уточнения.

технологические вехи (когда появляется технология, претендующая на звание прорывной – *breakthrough technology*). Существенным моментом является то, что таких вех не может быть много – их на порядки меньше, чем сообщений в новостной ленте или строчек в списке изобретений.

Результаты интуитивного выбора проверялись нами с использованием принципа “крупное видится издалека”. Чтобы реализовать такую проверку был подготовлен следующий справочно-иллюстративный материал (возможности его применения, на наш взгляд, выходят далеко за рамки данного обзора):

- комбинированная “дорожная карта” повышения быстродействия суперкомпьютеров, персональных компьютеров, планшетников, смартфонов и процессоров для этих устройств (рис. 4);
- вехи на пути повышения быстродействия компьютеров (табл. 4);
- вехи развития электронных компьютеров (табл. 5).

На временной шкале параметры устройств-рекордсменов и процессоров к ним укладываются на прямую в логарифмическом масштабе, что является иллюстрацией обобщенного закона Мура (*Gordon Earle Moore* – основатель компании *Intel*). Само по себе это свидетельствует об экспоненциальном (то есть бурном, если не взрывном) росте производительности компьютеров в период с 1940 по 2012 гг., а также быстродействия процессоров – в период с 1971 по 2012 гг. Незатейливый прогноз путем продолжения этих прямых позволяет достаточно точно предсказать появление новых рекордов и вех на пути развития технологий на период вплоть до 2030 года.

Теперь кратко остановимся на некоторых ключевых событиях, которыми запомнился 2012 год, а также наиболее интересных анонсах на 2013 год.

Высокопроизводительные вычисления и суперкомпьютеры

Как свидетельствует 40-й, юбилейный, список рейтинга *Top500* [7], ведущей мировой суперкомпьютерной державой являются Соединенные Штаты Америки, и её достижения являются ориентиром для других регионов.

В этой связи уместно вспомнить об одной юбилейной дате: **25 лет назад в США была сформулирована стратегия развития HPC**. В администрации президента (*Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy*) 20 ноября 1987 года был утвержден документ “*A Research and Development Strategy for High Performance Computing*”. Эта стратегия легла в основу федеральной программы развития HPC (*The Federal High Performance Computing Program*), датированной сентябрем 1989 года.

В этих документах были впервые очерчены фундаментальные научные или инженерные задачи (их иногда называют *Grand Challenges*), для эффективного решения которых необходимы суперкомпьютеры.

Хотя “повестка дня”, на наш взгляд, с тех пор радикально не изменилась, смысловое наполнение списка проблем, естественно, обогащается по мере углубления в проблематику и усложнения постановки задач с учетом доступности всё возрастающих вычислительных ресурсов. Сегодня список включает, как минимум, следующие направления R&D:

- прогнозирование погоды, а также краткосрочных и долгосрочных глобальных атмосферных и климатических изменений;
- задачи материаловедения;
- проектирование полупроводниковых приборов (микросхем);
- создание сверхпроводников;
- задачи структурной биологии;
- задачи фармацевтики, синтез лекарственных препаратов;
- создание новых материалов и химических соединений – например, катализаторов, иммунологических агентов;
- расшифровка генома человека;
- изучение фундаментальных свойств материи, в том числе решение задач

Comparison of advertisement expenses of Samsung, Microsoft, Hewlett-Packard, Apple and Dell companies for 2009–2012

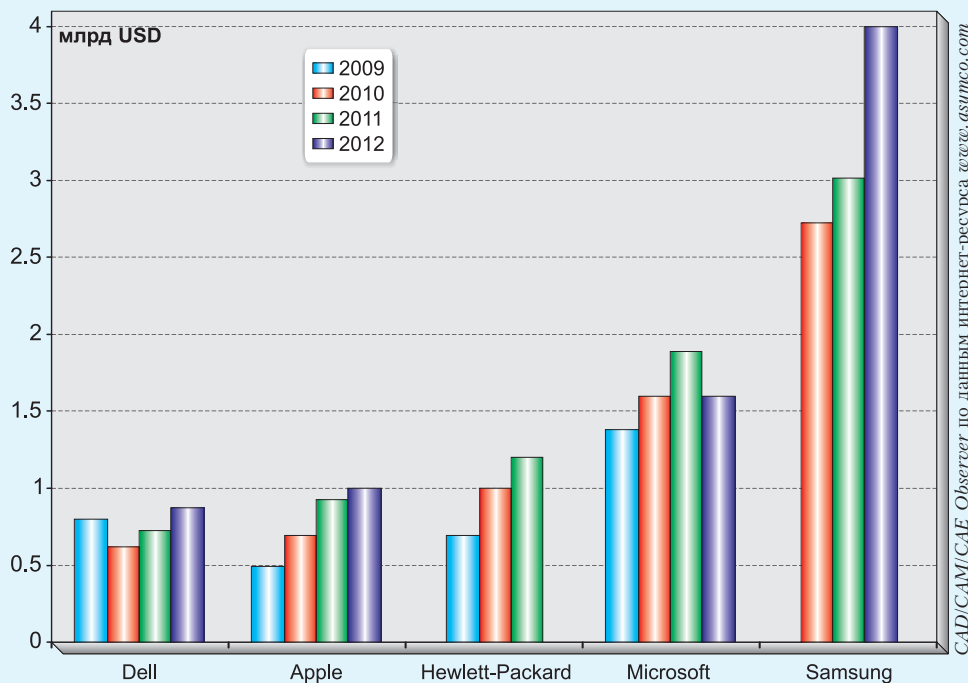


Рис. 1. Сравнение расходов на рекламу компаний Samsung, Microsoft, Hewlett-Packard, Apple и Dell в 2009–2012 гг.

квантовой хромодинамики и физики конденсированного состояния;

- астрономические задачи, в том числе моделирование эволюции Вселенной;
- транспортные задачи;
- задачи вычислительной гидромеханики, в том числе моделирование турбулентности;
- моделирование аэрогидродинамических процессов и пр., что необходимо для проектирования автомобилей, гиперзвуковых летательных аппаратов, бесшумных подводных лодок;
- изучение свойств плазмы, решение задачи управляемого термоядерного синтеза;
- расчет эффективности энергетических установок, сжигающих топливо;
- разведка месторождений нефти и газа;
- вычислительные задачи океанологии;
- разработка систем распознавания и синтеза речи;
- разработка систем перевода;
- разработка систем распознавания изображений и устройств технического зрения;
- разработка интеллектуальных систем моделирования логических рассуждений (машинное доказательство теорем).

Ориентировочная оценка быстродействия суперкомпьютеров, необходимого для решения некоторых задач, приведена в табл. 6.

В настоящее время программы развития *HPC*, подкрепленные государственным финансированием, располагают Евросоюз, Япония, Китай и Россия. В качестве рубежа для подведения итогов гонки называется дата построения **суперкомпьютера с**

Табл. 2. Расходы на НИОКР по данным "The 2012 EU Industrial R&D Scoreboard" и места в Top50, занимаемые в 2010–2011 гг. лидерами рассматриваемых рынков

Компания	2010 г.	2011 г.	
	R&D млрд. EUR	Место	R&D млрд. EUR
Microsoft	6.938	2	7.583
Samsung	6.254	5	6.858
Intel	4.711	8	6.453
Nokia	4.939	15	4.910
Sony	4.293	18	4.311
IBM	3.907	23	4.219
Google	2.505	26	3.990
Oracle	3.492	31	3.496
LG Electronics	1.646	36	3.154
Hewlett-Packard	2.263	47	2.515
Fujitsu	2.228	49	2.370
Qualcomm	1.910	50	2.315

экзафлопсной производительностью. Если верить закону Мура, это событие должно произойти не позднее 2019 года (рис. 4).

Кто первым пересечет финишную черту? Удастся ли вмешаться в спор "локомотивам" Евросоюза – Германии, Великобритании или Франции? Сможет ли Россия преодолеть отставание от мировых лидеров? Вопросов больше, чем ответов. Пока, кроме США, возглавить на какое-то время *Top500* удавалось Японии и Китаю.

Если мы посмотрим в ближайшее будущее, то увидим, что в 2013 году возможно появление ряда супервычислителей с рекордным быстродействием:

✓ Cray XC30

В ноябре 2012 года американская компания *Cray* анонсировала гибридную систему *Cray XC30*, производительность которой можно нарастить вплоть до **100 PFLOPS**.

Учитывая долговременное сотрудничество компании *Cray* с Национальным вычислительным центром энергетических исследований (*National Energy Research Scientific Computing Center – NERSC*) Национальной лаборатории

Top10 of companies-leaders in R&D expenses for 2010–2011 according to "The 2012 EU Industrial R&D Scoreboard"

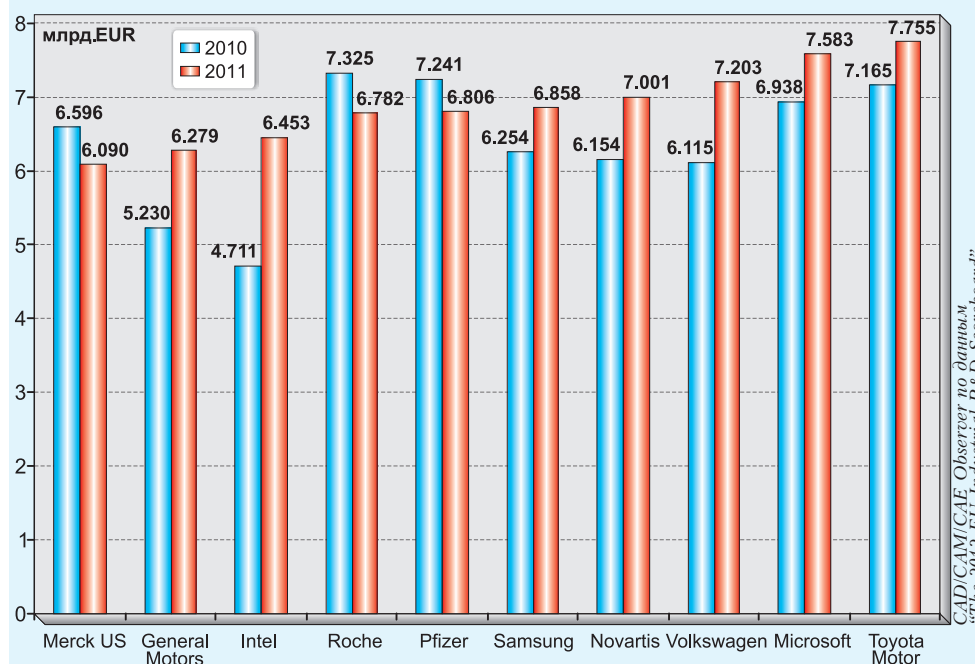


Рис. 2. Первая десятка компаний-лидеров по размерам расходов на НИОКР в 2010–2011 гг. по данным "The 2012 EU Industrial R&D Scoreboard"

им. Лоуренса в Беркли (*Lawrence Berkeley National Laboratory*), можно предположить, что первой системой с таким уровнем быстродействия станет **NERSC-8**. В середине декабря 2012 года был начат конкурсный отбор поставщика суперкомпьютера, который сейчас находится на стадии *RFI* (*Request For Information*).

Отметим, что приоритет в том, чтобы предлагать возможностям потребителям масштабируемый суперкомпьютер (обычно такие устройства проектируются под заказ конкретной организации), по всей вероятности, принадлежит японской компании *Fujitsu*. В конце 2011 года она анонсировала суперкомпьютер *PRIMEHPC FX10*, пиковая производительность которого может варьироваться от 90.8 *TFLOPS* до 23.2 *PFLOPS*.

Top10 of companies-leaders in number of patents registered by IFI CLAIMS Patent Services (USA) in 2009-2012

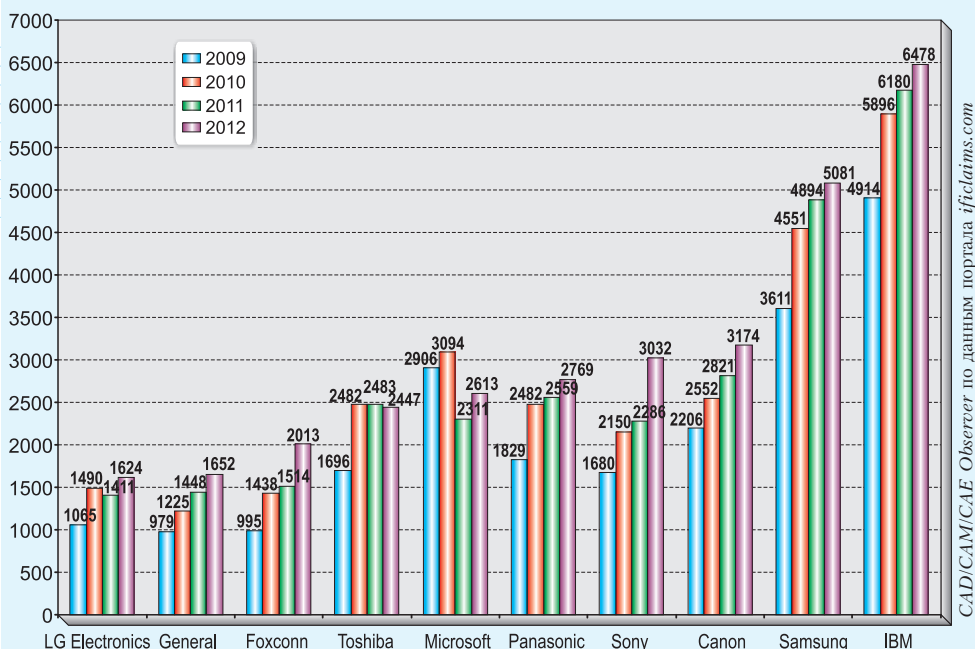


Рис. 3. Первая десятка компаний-лидеров по числу патентов, зарегистрированных службой IFI CLAIMS Patent Services (США) в 2009–2012 гг.

Табл. 3. Количество патентов, зарегистрированных службой IFI CLAIMS Patent Services (США), и места в Top50, занимаемые в 2009–2012 гг. лидерами рассматриваемых рынков

Компания	2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.	
	Место	Кол-во патентов	Место	Кол-во патентов	Место	Кол-во патентов	Место	Кол-во патентов
IBM	1	4914	1	5896	1	6180	1	6478
Samsung	2	3611	2	4551	2	4894	2	5081
Sony	7	1680	7	2150	7	2286	4	3032
Microsoft	3	2906	3	3094	6	2311	6	2613
Foxconn	14	995	13	1438	9	1514	8	2013
LG Electronics	12	1065	9	1490	12	1411	10	1624
Fujitsu	11	1220	14	1296	13	1391	11	1535
Hewlett-Packard	10	1273	10	1480	14	1308	15	1394
Qualcomm	–	–	41	657	26	923	17	1292
Intel	8	1537	8	1653	16	1244	18	1290
Google	–	–	–	–	–	–	21	1151
Apple	–	–	46	563	39	676	22	1136
Research In Motion	–	–	–	–	40	663	29	986
Texas Instruments	26	652	27	829	32	794	37	829
Nokia	27	648	33	760	47	585	–	–
Oracle/Sun Microsystems	32	561	43	646	–	–	–	–
Всего у компаний-участников обозреваемых рынков		21 062		26 503		26 180		30 454
Доля от общего числа патентов в Top50		42.9%		43.0%		41.7%		43.1%
Общее число патентов в Top50		49 090		61 686		62 756		70 578

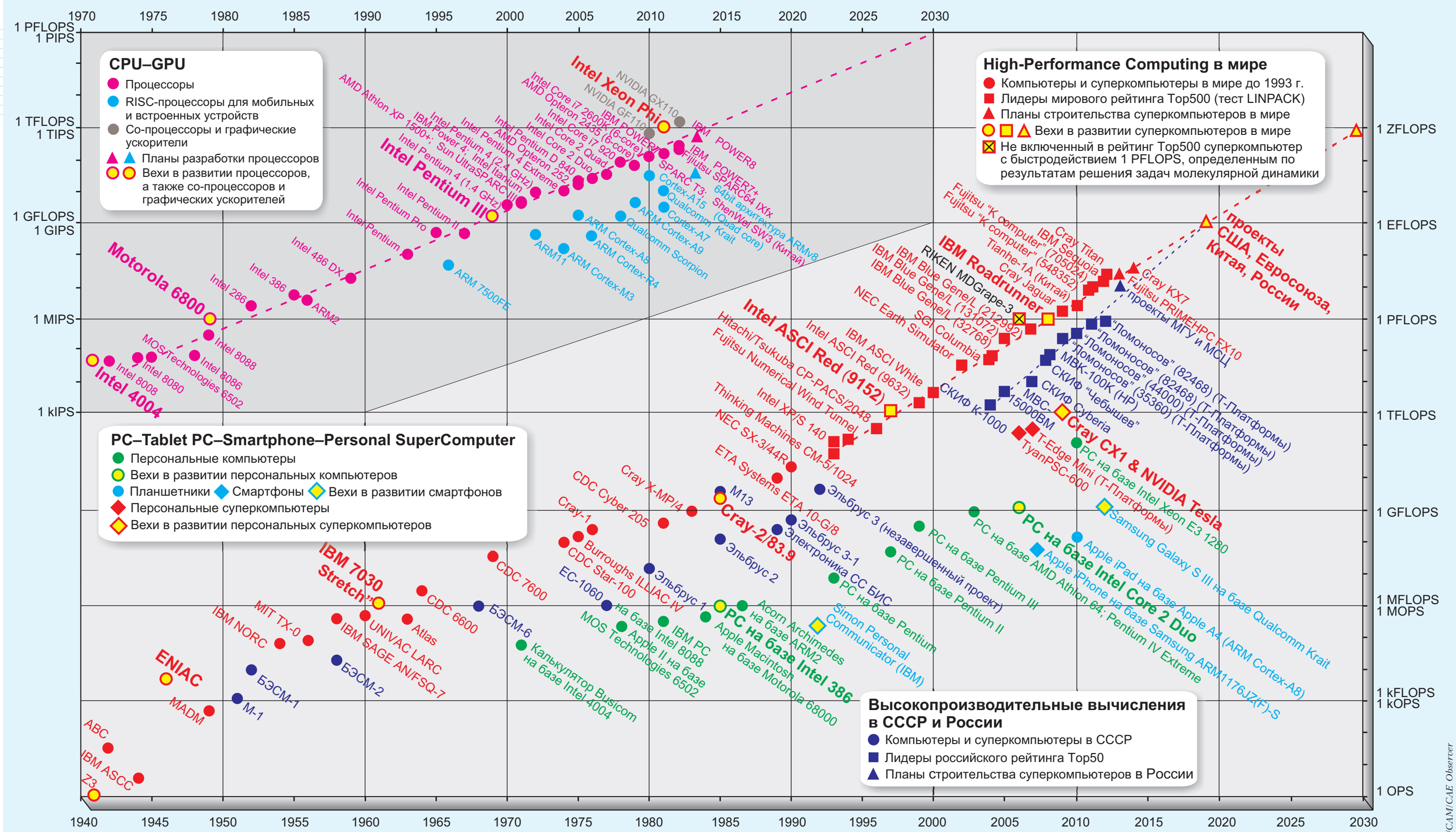


Рис. 4. Рост быстродействия компьютеров и суперкомпьютеров в 1940–2012 гг., процессоров и ПК в 1971–2012 гг., новейших планшетников и смартфонов, а также планы до 2030 г. (для суперкомпьютеров в скобках указано число процессоров (ядер))

✓ Китайский суперкомпьютер

В октябре 2012 года Национальный суперкомпьютерный центр (*National Supercomputing Center*) в Гуанчжоу сообщил о планах разработки системы *Tianhe-2* с быстроедействием порядка **100 PFLOPS**, которая будет построена с использованием порядка 100 000 процессоров *Intel Xeon Ivy Bridge-EP* и 100 000 сопроцессоров *Intel Xeon Phi*. Одна только стоимость компонентов, учитывая сегодняшний уровень цен, оценивается экспертами величиной порядка 100 млн. долларов, а общая стоимость проекта тянет на полмиллиарда.

✓ Суперкомпьютеры в России

Российская наука в скором будущем получит два суперкомпьютера производительностью до **10 PFLOPS**:

- для Московского государственного университета компания “Т-Платформа” с декабря 2011 года создаст как вычислительную систему, так и инженерную инфраструктуру, обеспечивающую бесперебойность её работы;

- для Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН) компания РСК строит систему МВС-10П с жидкостным охлаждением вычислительных модулей, в которых используются сопроцессоры *Intel Xeon Phi*. Прототип системы был представлен на международной выставке *SC’12* в ноябре 2012 года.

Если работы завершатся в 2013 году, эти системы имеют шанс стать одними из самых мощных на европейском континенте на ближайший период.

Процессоры

✓ 16-ядерные процессоры для HPC-систем

В 2012 году ведущие разработчики процессоров для HPC-систем оснастили 16-ядерными процессорами суперкомпьютеры с рекордной производительностью:

- компания *AMD* поставила процессоры *Opteron 6274* с тактовой частотой 2.2 GHz для системы *Titan*, лидера юбилейного 40-го списка рейтинга *Top500*;

- компания *IBM* оснастила процессорами *Power BQC* с тактовой частотой 1.60 GHz свою систему *Sequoia*, возглавившую *Top500* в июне 2012 года (39-й список). Кроме того, *IBM* располагает 16-ядерными серверными процессорами *POWER7+*;

- компания *Fujitsu* разработала процессоры *SPARC64 IXfx* для своих масштабируемых суперкомпьютеров *PRIMEHPC FX10*.

Собственным 16-ядерным процессором располагает и Китай. В архивах *Top500* за ноябрь 2010 года значится, что китайский петафлопсный суперкомпьютер “*Sunway BlueLight*” построен на базе процессоров *ShenWei SW1600*.

А первым коммерческим 16-ядерным серверным процессором (так указано в пресс-релизе, выпущенном в сентябре 2010 года) стал *SPARC T3* от компании *Oracle*, унаследовавшей опыт *Sun Microsystems* – компании, которая стояла у истоков процессорной архитектуры **SPARC** (*Scalable Processor ARChitecture*), отметившей в 2012 году свой **25-летний юбилей**.

✓ Графические вычислители

В 2012 году в распоряжении у суперкомпьютерных вендоров появились новые графические процессоры, ускоряющие высокопроизводительные вычисления:

- *NVIDIA* разработала вычислительный модуль **K20** (модель *GK110*), использованный компанией *Cray* для построения самого мощного в мире вычислителя

Табл. 4. Вехи на пути повышения быстродействия компьютеров в 1940–2012 гг. и планы до 2020 г.

	Процессоры	
1971	<i>Intel 4004</i>	92 kIPS
1979	<i>Motorola 68000</i>	1 MIPS
1999	<i>Intel Pentium III</i>	1.354 GIPS
2011	<i>Intel Xeon Phi</i>	1 TFLOPS
2012	<i>NVIDIA GK110</i>	1.312 TFLOPS
	Компьютеры и суперкомпьютеры	
1941	<i>Z3</i>	1 OPS
1946	<i>ENIAC</i>	5 kOPS
1961	<i>IBM 7030 “Stretch”</i>	1.2 MFLOPS
1985	<i>Cray-2/8</i>	3.9 GFLOPS
1997	<i>Intel ASCI Red (9152)</i>	1.338 TFLOPS
2008	<i>IBM Roadrunner</i>	1.105 PFLOPS
2011	<i>Fujitsu “K computer”</i>	10.51 PFLOPS
	Планы разработки суперкомпьютеров	
2019	проекты США, ЕС, Китая, России	1 EFLOPS
	Персональные суперкомпьютеры (ПСК)	
2006	<i>TyanPSC-600</i>	256 GFLOPS
2008	<i>Cray CX1 & NVIDIA Tesla</i>	0.993÷4 TFLOPS
	Персональные компьютеры (ПК)	
1977	<i>Apple II (MOS Technologies 6502)</i>	220 kIPS
1981	<i>IBM PC (Intel 8088)</i>	330 kIPS
1985	<i>PC (Intel 386)</i>	1 MFLOPS
2006	<i>PC (Intel Core 2 Duo)</i>	1.3 GFLOPS
	Смартфоны	
1992	<i>IBM Simon Personal Communicator (Vadem VG 230 на базе NEC V30HL)</i>	~500 kIPS
2012	<i>Samsung Galaxy S III (Qualcomm Krait)</i>	~9.9 GIPS
Примечание: для ПК и смартфонов в скобках указан процессор		

Titan. При вычислениях с двойной точностью *K20* дает прирост быстродействия порядка 1.3 *TFLOPS*;

- *AMD* выпустила графический процессор **Radeon HD** (модель *Tahiti XT*), который позволяет ускорить вычисления с двойной точностью примерно на 1 *TFLOPS*.

Таким образом, в 2013 году мы станем свидетелями конкуренции двух видов вычислительных устройств: появившихся в 2011 году **сопроцессоров Intel Xeon Phi** с системой команд *x86* (про его прототип *Knights Corner* на базе архитектуры *MIC* мы писали в прошлогоднем обзоре [6]), дающих прирост быстродействия 1 *TFLOPS*, и **графических ускорителей**, уже несколько лет используемых при построении гибридных суперкомпьютерных систем. В процессе конкуренции, помимо возможностей ускорения вычислений, будет учитываться энергоэффективность модулей; её принято характеризовать параметром,

называемым *проектным тепловыделением* (*TDP* – *thermal design power* или *thermal design point*).

✓ 64-битная ARM-архитектура

Британская компания *ARM Holding* сделала еще один шаг на пути реализации своих амбиций по вхождению в рынок серверов и *HPC*-систем. В ноябре 2012 года она анонсировала дизайн новых процессоров *Cortex-A53* и *Cortex-A57*, которые построены на базе 64-битной архитектуры *ARMv8* (в истории компании 64-битная архитектура применяется впервые). Ожидается, что эти процессоры будут работать в три раза быстрее своих предшественников на базе 32-битной архитектуры *ARMv7*.

Появление прототипов новых 64-битных процессоров и устройств на их базе ожидается и в период 2013–2014 гг. Из лицензиатов, входящих в экосистему *ARM Holding*, отметим следующие компании:

Табл. 5. Эра электронных компьютеров – вехи развития

1946 г.	<i>ENIAC</i> – первый электронный компьютер
1947 г.	<i>William Shockley, John Bardeen</i> и <i>Walter Brattain</i> , сотрудники <i>Bell Labs</i> , продемонстрировали работу первого биполярного транзистора
1958 г.	<i>Jack Kilby</i> , сотрудник <i>Texas Instruments</i> , продемонстрировал работу первой микросхемы
начало 1960-х гг.	вычислители, которые иногда считаются первыми суперкомпьютерами: • 1961 г. – <i>IBM 7030 Stretch</i>” • 1962 г. – <i>Atlas</i> запущен в эксплуатацию в Манчестерском университете (Великобритания) • 1964 г. – <i>CDC 6600</i> создан в <i>Control Data Corporation</i> под руководством <i>Seymour Cray</i>
1971 г.	<i>Intel 4004</i> – первый 4-битный микропроцессор
1972 г.	<i>Intel 8008</i> – первый 8-битный микропроцессор
1976 г.	<i>Cray</i> – первый суперкомпьютер
1978 г.	<i>Intel 8086</i> – первый 16-битный микропроцессор
1977 г.	<i>Apple II</i> – один из первых персональных компьютеров
1981 г.	<i>IBM PC</i> – один из первых персональных компьютеров
1985 г.	<i>Intel 386</i> – первый 32-битный микропроцессор
1985 г.	первый процессор на базе архитектуры <i>ARM (Acorn RISC Machine)</i> с сокращенным набором команд (<i>Reduced Instruction Set Computing – RISC</i>)
1987 г.	первый процессор на базе архитектуры <i>SPARC (Scalable Processor ARChitecture)</i> от компании <i>Sun Microsystems</i>
1992 г.	первый процессор на базе архитектуры <i>POWER (Performance Optimization With Enhanced RISC)</i> от компании <i>IBM</i>
1999 г.	первый графический процессор для рабочих станций от компании <i>NVIDIA</i>
2001 г.	• <i>Intel Itanium</i> – первый 64-битный микропроцессор • <i>IBM Power4</i> – первый двухъядерный <i>RISC</i>-микропроцессор
2005 г.	<i>AMD Opteron 252</i> и <i>Intel Pentium D</i> – первые двухъядерные микропроцессоры с полным набором команд <i>x86</i>
2006 г.	<i>TyanPSC-600</i> – первый персональный (настольный) суперкомпьютер
2007 г.	<i>Intel Core 2 Quad Q6700</i> – первый четырехъядерный микропроцессор
2008 г.	<i>Intel X7460</i> – первый 6-ядерный микропроцессор
2010 г.	• <i>AMD Opteron (Magny-Cours)</i>, <i>IBM Power7</i>, <i>Fijiutsu SPARC64 VIIIfx</i> – первые 8-ядерные микропроцессоры • <i>Oracle SPARC T3</i>, <i>ShenWei SW3</i> (Китай) – первые 16-ядерные микропроцессоры
2011 г.	процессоры с микроархитектурой <i>Ivy Bridge</i> базируются на первых 3D-транзисторах <i>Tri-Gate</i> , разработанных компанией <i>Intel</i>
2011–2012 гг.	<i>Intel Xeon Phi</i> – первый чип, объединяющий 60 ядер, поддерживающих полный набор команд <i>x86</i> , создан на базе технологии <i>MIC (Many Integrated Cores)</i>
2012 г.	первый прототип готового к массовому производству нанофотонного процессора, созданного компанией <i>IBM</i> на базе технологии <i>CMOS Silicon Integrated Nanophotonics</i>

• **AMD** намерена создавать процессоры, в которых сочетаются ядра с системой команд *x86* и ядра с *ARM*-архитектурой;

• **Samsung**, разжившись специалистами, которые покинули **AMD**, собирается разрабатывать 64-битные серверные *ARM*-чипы.

Продвижению недавно анонсированной 64-битной *ARM*-архитектуры будет способствовать солидная программная поддержка:

• компания **Microsoft**, выпустившая в 2012 году операционную систему *Windows RT*, поддерживающую 32-битную *ARM*-архитектуру, в следующей своей ОС с кодовым названием *Windows Blue*, скорее всего, обеспечит поддержку 64-битной системе команд *ARM*;

• новейший релиз ядра *Linux 3.7*, появившийся в декабре 2012 года, уже рассчитан на поддержку архитектуры *AArch64 (ARM64)*;

• представляет интерес разработка российской компании “Эльбрус Технологии”, которая позволит эмулировать систему команд процессоров *Intel* для *ARM*-серверов, что, в свою очередь, обеспечит возможность переноса программного обеспечения, написанного для платформы *x86*, на серверы с процессорами *ARM*.

✓ Многоядерные процессоры для мобильных устройств

В 2013 году 4-ядерным процессорам еще только предстоит стать мейнстримовской компонентой мобильных устройств, однако уже появились новые ориентиры:

• сразу после новогодних праздников компания **Samsung** представила на выставке *CES'2013* созданный на основе технологии *ARM big.LITTLE* 8-ядерный процессор **Exynos**, который сочетает четыре ядра *Cortex-A15* и четыре *Cortex-A7*. Каждая “квадрига” ядер будет работать отдельно друг от друга. Для решения простых задач будут использоваться менее производительные и энергозатратные ядра *Cortex-A7* (тактовая частота 1.2 GHz). Для операций, требующих вычислений с высокой производительностью, будут подключаться ядра *Cortex-A15* (1.8 GHz);

• ведутся разработки следующего поколения процессоров. Компания **Intel** работает над созданием 48-ядерного процессора. Аналитики компании считают, что у перспективных смартфонов и планшетов

часть функций, требующих интенсивных вычислений (к примеру, распознавание речи или изображений), должна выполняться на самом устройстве без отсылки на облачный сервер. Однако открытым остается вопрос об энергоэффективности такого процессора, поскольку интеловские процессоры пока еще уступают армовским по этому важному параметру.

Технология производства чипов

✓ Нанотехнологические чипы готовы к коммерческому производству

В прошлогоднем обзоре [6] мы уже писали, что в декабре 2010 года компания **IBM** представила новую технологию создания микросхем, позволяющую объединять на одной подложке электронные и оптические компоненты в рамках единого производственного процесса *CMOS Integrated Silicon Nanophotonics*.

За два прошедших года компания **IBM** сделала еще один шаг на пути развития технологии – в декабре 2012 года она объявила о возможности наладить коммерческое производство нанотехнологических чипов (рис. 5, 6), для чего может быть использован широко распространенный технологический процесс с нормой 90 nm.

Таким образом, уже в ближайшее время, благодаря технологическому прорыву компании **IBM**, будет кардинально увеличена скорость обмена данными между компонентами, образующими *CMOS*-чип – это достигается заменой электрических импульсов на световые. В первую очередь нанотехнологические чипы **IBM** будут востребованы при разработке серверов и оборудования дата-центров.

✓ Технологический процесс 14 nm

В конце декабря 2012 года компания **Samsung** сообщила о достижении стадии *tape-out* (этапа, предшествующего изготовлению фотомаски для печати чипов) в освоении технологического процесса по норме 14 nm для производства микросхем, в которых применяются транзисторы *FinFET* с трехмерной структурой затвора. **Samsung** работает в тесном сотрудничестве со своими партнерами – **ARM**, **Cadence**, **Mentor** и **Synopsys**.

Напомним, что первые в мире “трехмерные” транзисторы изготовила в середине 2011 года компания **Intel** с помощью своей

прорывной технологии **Tri-Gate** (см. прошлогодний обзор [6]). Эта технология уже применяется в производстве процессоров нового поколения *Ivy Bridge* по технологической норме 22 nm.

Отметим также, что технологический процесс 22 nm освоен в Институте микроэлектроники Китайской академии наук (*Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences – IMECAS*), о чём также стало известно под занавес 2012 года.

Табл. 6. Ориентировочное быстродействие, необходимое для решения некоторых сложных задач

Задачи моделирования	Быстродействие	
Автомобилестроение	10 ¹⁴ FLOPS	100 TFLOPS
Дозвуковые летательные аппараты	10 ¹⁵ FLOPS	1 PFLOPS
Лазерные системы	10 ¹⁶ FLOPS	10 PFLOPS
Динамика молекул в задачах биологии	10 ¹⁷ FLOPS	100 PFLOPS
Сверх- и гиперзвуковые летательные аппараты	10 ¹⁸ FLOPS	1 EFLOPS
Астрофизика и космология	10 ¹⁹ FLOPS	10 EFLOPS
Турбулентность	10 ²⁰ FLOPS	100 EFLOPS
Квантовая химия	10 ²¹ FLOPS	1 ZFLOPS

Устройства

✓ IBM PureSystems с аккумулярованными экспертными знаниями

В апреле 2012 года компания IBM представила разработку, которая позволит изменить традиционные подходы к построению корпоративной IT-инфраструктуры: интегрированные программно-аппаратные комплексы *PureSystems*, в которых аккумулярованы экспертные знания по установке и обслуживанию приложений. Четыре года система создавалась специалистами 37-ми лабораторий IBM в 17 странах, общий объем инвестиций составил 2 млрд. долларов.

Семейство IBM *PureSystems* в настоящее время представлено двумя системами:

- *PureFlex System* – экспертные знания, аккумулярованные в этой системе, позволяют находить ресурсы, необходимые для обработки информации, и прогнозировать потребность в них;
- *PureApplication System* – позволяет оптимизировать развертывание и загруженность бизнес-приложений сторонних производителей.

Cross-sectional view of an IBM Silicon Nanophotonics chip combining optical and electrical circuits

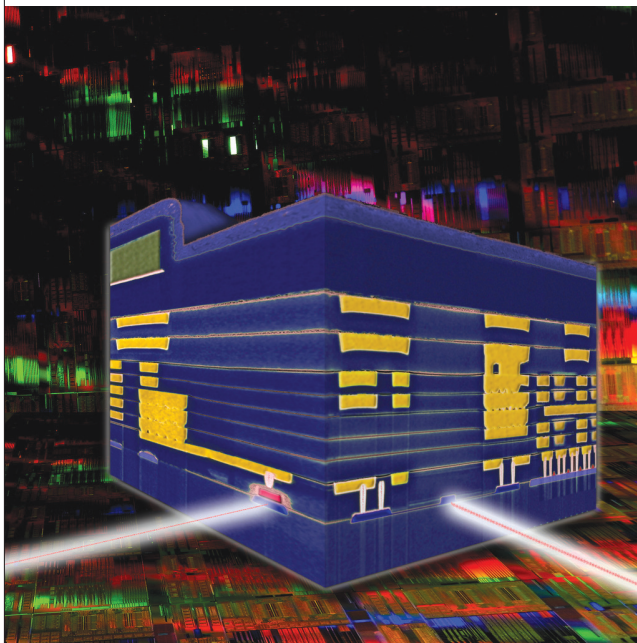


Рис. 5. Чип Silicon Nanophotonics с интегрированными каналами передачи оптических и электрических сигналов.

Технология CMOS Integrated Silicon Nanophotonics, предусматривающая использование нормы 90 нм, позволяет объединять фотодетектор (прямоугольник красного цвета на левой половине куба) и модулятор (синий прямоугольник на правой половине куба), которые при изготовлении микросхемы оказываются рядом с кремниевыми транзисторами (красные вкрапления справа от куба). Нанофотонные цепи и транзисторы соединяются металлическими проводниками (желтый цвет) на девяти слоях

Источник: IBM

Information super highways inside an IBM Silicon Nanophotonics chip

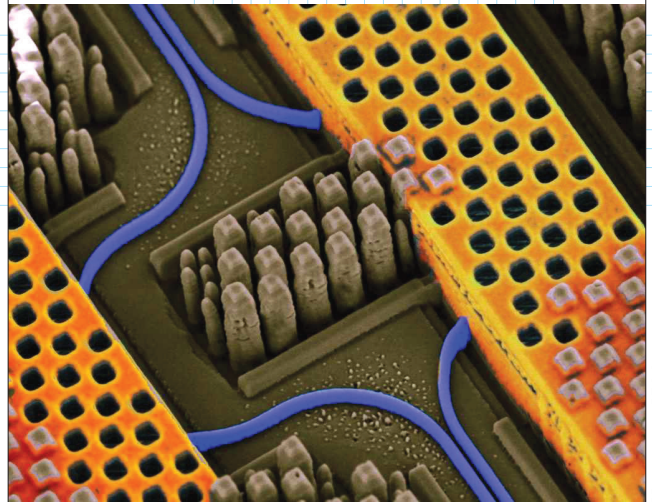


Рис. 6. Интеграция высокоскоростных магистралей передачи информации в чипе IBM Silicon Nanophotonics. Синим цветом отмечены волноводы для передачи оптических сигналов, желтым – медные провода для электрических сигналов

✓ Программная среда для мобильных устройств различных типов

Разработчиками двух наиболее популярных операционных систем в 2012 году сделаны важные шаги, которые позволят в будущем устанавливать на мобильных устройствах разных типов операционные системы, построенные на базе единого ядра:

- в новейшем релизе ядра *Linux 3.7* поддерживается возможность формирования многоплатформенных ARM-сборок. Благодаря применению единого ядра, теперь можно обеспечить совместимость мобильных устройств, работающих на ARM-процессорах различных лицензиатов под управлением различных ОС на базе *Linux*;

- компания *Microsoft* выпустила две новейшие ОС для мобильных компьютеров на базе процессоров с системами команд x86 (*Windows 8*) и ARM (*Windows RT*), а также ОС *Windows Phone 8* для смартфонов и мобильных телефонов. По оценке Билла Гейтса, в ближайшем будущем появится единая ОС (возможно, это будет *Windows Blue*), в которой будут сочетаться достижения всех трех систем. Появление единой ОС будет символизировать сближение функциональности мобильных устройств разных типов – ПК, планшетников и смартфонов.

Известно, что *Windows* является наиболее популярной операционной системой для персональных компьютеров и серверов (а в 2012 году вышла версия *Windows Server 2012*, поддерживающая облачную обработку информации). На суперкомпьютерах и мобильных устройствах обычно устанавливается система *Linux*. Кстати говоря, в 2012 году системе

Android (созданной на базе *Linux*) для мобильных устройств исполнилось пять лет.

Создание единого ядра для каждой ОС позволит в ближайшем будущем сблизить функциональность всего спектра устройств для высокопроизводительных вычислений – от суперкомпьютеров до смартфонов – для каждой из линеек, работающих соответственно, под *Windows* или *Linux*. Это, безусловно, расширит возможности пользователей по выбору необходимого им инструмента.

Позиционирование компаний на рынке

Вследствие острой конкуренции за место под солнцем на новых сегментах рынков мобильных устройств (табл. 1) даже ведущие компании вынуждены пересматривать направления бизнеса и свое позиционирование на рынке. Зачастую обозреватели объясняют это желанием воспользоваться опытом компании *Apple*, которая продемонстрировала в 2012 году великолепные результаты, достигнув пика капитализации и побив свой рекорд по заработанной прибыли.

На самом деле, в эру, которую теперь принято называть “*Post PC*”, бизнес успешных ИТ-компаний, если его рассматривать, не вдаваясь в нюансы, складывается из трех составляющих (весовые коэффициенты которых могут быть разными):

- 1 поставка собственного аппаратного обеспечения;
- 2 поставка собственного программного обеспечения;
- 3 облачный сервис по доставке пользователю контента и приложений (собственной или сторонней разработки) для изделий компании.

Из компаний, которые работают на рынках ИТ-изделий массового спроса, лидером в реализации такого подхода является *Apple*. Заслуживают упоминания и другие компании, которые идут в этом направлении:

- софтверная компания *Oracle* приобрела в 2009 году аппаратную *Sun Microsystems*;
- софтверная компания *Google* в мае 2012 года приобрела за 12.5 млрд. долларов компанию *Motorola Mobility* и стала, таким образом, не только проектировщиком *хромбуков*, но и поставщиком мобильных устройств;
- софтверная компания *Microsoft* в 2012 году выпустила устройство *Surface* (как на *Intel*-, так и на *ARM*-процессорах) и стала участником рынка планшетных компьютеров;
- аппаратная компания *Dell* в конце 2012 года объявила о том, что становится поставщиком решений, что, по существу, означает движение в направлении поставки аппаратно-программных комплексов.

Следует отметить, что признанный инноватор – компания *IBM*, являющаяся лидером на серверном рынке (который рассчитан не на массового, а на корпоративного потребителя, и потому значительно реже освещается в новостной ленте) – аналогичный подход к построению бизнеса исповедует не один год. Любопытно, что *IBM* нередко создает продукты, впоследствии формирующие новые рынки, с которых компания затем уходит, увлекшись другими

инновациями (табл. 1). Здесь можно вспомнить персональный компьютер (один из первых ПК был собран в *IBM* в 1981 году, см. табл. 5) и смартфон (один из первых в мире смартфонов сделан в *IBM* в 1992 году, см. табл. 4; то есть, в 2012 году он отметил свое 20-летие),

Таким образом, компания *Apple* вряд ли смогла бы запатентовать свой бизнес-подход и обеспечить себе монопольное положение в судебном порядке. ☺

О прогнозах

Обзоры обычно завершаются прогнозами. Такой материал пока еще пребывает на стадии созревания, поэтому написание прогнозной части к обзору по *HPC* автор оставил себе в качестве домашнего задания на конец только наступившего 2013 года. ☺

Любознательным читателям можно порекомендовать недавние публикации аналитических компаний *IDC* и *Gartner* с прогнозами на 2013 год, а также ежегодный прогноз айбизмовских аналитиков на пять лет – “*Next 5 in 5*”. ☺

Литература

1. Павлов С. Назад к мейнфреймам? // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2005, № 6, с. 86–90.
2. Павлов С. Инженерный анализ на персональном суперкомпьютере? Достижения на рынке систем высокопроизводительных вычислений // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2007, № 5, с. 87–96.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений: достижения 2007–2008 годов. Часть I. Рекорды и лидеры *HPC*-рынка и рейтинга *Top500*. Часть II. Региональный срез рейтинга *Top500*. Российский рейтинг *Top50*. Перспективные программы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2008, № 7, с. 81–89; № 8, с. 84–89.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений: достижения 2008–2009 годов. Части I, II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2009, № 5, с. 81–92; №8, с. 78–87.
5. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2009–2010 годах: обзор достижений и анализ рынка. Части I, II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2010, №5, с. 84–92; №8, с. 73–84.
6. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынка. Части I, II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2011, №5, с. 74–80; №6, с. 78–84; 2012, № 1, с. 79–90.
7. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка. Части I, II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2012, №5, с. 76–87; №8, с. 8–20.

Об авторе:

Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, редактор аналитического *PLM*-журнала *CAD/CAM/CAE Observer* (sergey@cadcamcae.lv), научный сотрудник Лаборатории математического моделирования окружающей среды и технологических процессов Латвийского университета (Sergejs.Pavlov@lu.lv)