

Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть IV. Итоги года

Сергей Павлов, Dr. Phys.

В четвертой части нашего обзора, как и было обещано, обсуждаются итоги 2013 года.

Нет сомнений в том, что за год, прошедший с предыдущего итогового обзора [4], всем, кто интересуется положением дел в сфере *High-Performance Computing (HPC)* и тенденциями развития инструментов для высокопроизводительных вычислений (**ВПВ**), на глаза попало рыхлое множество информационных материалов, в которых сообщалось о текущих и грядущих достижениях компаний, анонсировались новые изделия, обсуждались перипетии конкурентных баталий за приоритеты, зафиксированные в формулах изобретений.

Как и в прошлом году, мы отметим лишь небольшую часть событий – тех, что “зацепили” и остались в памяти, которая просеивает и отсеивает сообщения в новостной ленте или “фишки”, представленные в формулах многочисленных изобретений. Оставшиеся факты, как нам кажется, иллюстрируют неординарные шаги на пути развития компаний или претендует на место в истории как технологические вехи. По нашему мнению, прорывные технологии (*breakthrough technology*) не могут “выпекаться” с такой же регулярностью, как пирожки, а посему реальных вех в историческом развитии на много порядков меньше, чем единиц информации в новостной ленте.

Планируемая структура комплексного обзора:

Часть I. Серверы, компьютеры, планшеты, смартфоны [1]

Часть II. Процессоры для HPC-систем.

EDA-системы [2]

Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги [3]

Часть IV. Итоги года

Часть V. Прогнозы развития IT-технологий.

Информация о появлении прорывных технологий или рекордных достижений будет включаться в ближайшую по времени часть статьи.

Чтобы провести отбор, будем пользоваться предложенной в прошлогоднем обзоре “системой координат”, в которую входят:

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

Еще раз отметим, что все обзоры свободно доступны на сайте нашего журнала www.cad-cav-cae.ru.

Diversification of types of personal computers (PC), changes in shipment of various types of PC (units in millions) for 2007–2012 as well as forecast (marked with *) for 2013–2015

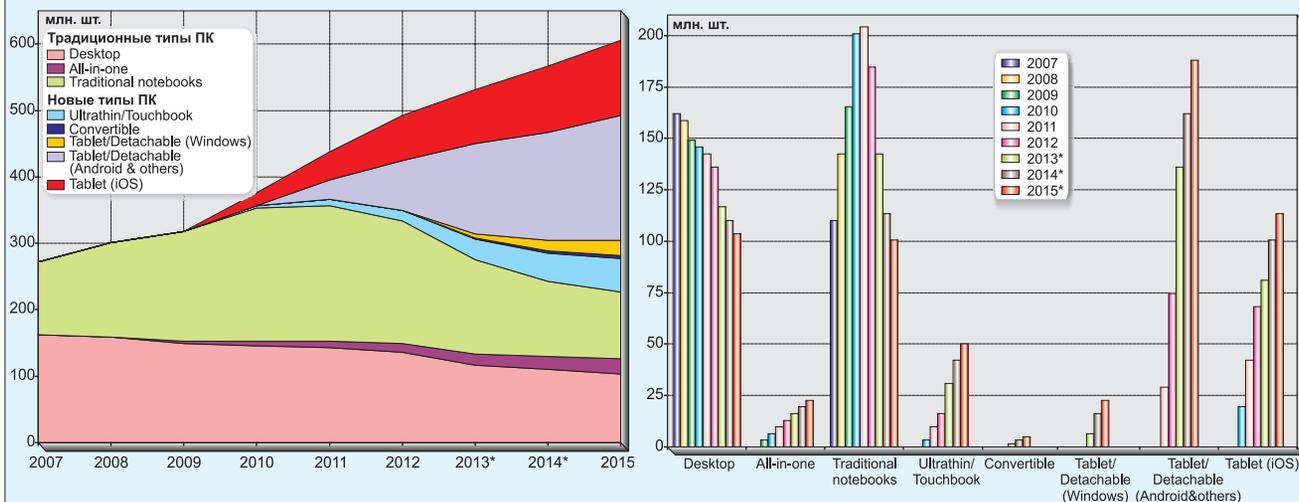


Рис. 1. Расширение номенклатуры ПК, объемы поставок различных типов ПК в 2007–2012 гг. (млн. штук) и прогноз поставок на 2013–2015 гг. (отмечен *)

CAD/CAM/CAE Observer по данным компании IDC (ноябрь 2013 г.)

Слоган “*Post-PC era*” – орудие маркетологов в борьбе с монополией *Wintel*

Для “затравки” обратим внимание на один из возможных вариантов интерпретации популярного в последнее время словосочетания “*Post-PC era*”. Если не пользоваться калькой с английского (“Эра пост-ПК”), то превратившаяся в маркетинговый слоган фраза с восполненными словами прозвучала бы следующим образом: “Эра, которая наступит после исчезновения персонального компьютера”.

Уместно вспомнить, что термин “*Post-PC*” предложил *Dr. David D. Clark*, исследователь в области информатики (*computer science*) из Массачусетского технологического института, еще в 1999 году. На наш взгляд, сегодня смысл, вкладываемый в “*Post-PC era*”, перестал относиться только к области философского осмысления перспектив развития *IT*-технологий. За прошедшие полтора десятилетия словосочетание “*Post-PC*” мигрировало из научной среды в сферу практической экономики и стало орудием в руках маркетологов компаний, конкурирующих в борьбе за долю на рынке интеллектуальных устройств – рынке, на котором еще совсем недавно безраздельно властвовали традиционные ПК с интеловскими процессорами, работающие (и зависающие) в оконной среде от *Microsoft*.

Однако, как нам кажется, пока еще можно утверждать, воспользовавшись марк-твеновской фразой, что слухи об исчезновении ПК сильно преувеличены.

Для подтверждения достаточно взглянуть на рис. 1, где показана динамика объемов поставок различных типов компьютеров в недавнем прошлом – с момента, когда наряду с традиционными ПК появились новые типы (табл. 1). Расширение номенклатуры позволило привлечь новых пользователей, которые ранее по

разным причинам не сильно дружили с вычислительной техникой, в том числе по причине достаточно высокой стоимости владения, а также сложности освоения. Если верить прогнозу, в 2015 году общее количество проданных ПК новых типов будет превышать поставки традиционных ПК.

Если же рассматривать динамику суммарных поставок ПК различных типов, то наблюдается стремительный рост. Таким образом, ПК никуда не исчезает! Скорее просто расширяются наши представления о том, как он должен выглядеть и какой должна быть его начинка. Другими словами, сейчас идет поиск новых форм-факторов ПК и функционала, соответствующего потребностям широкого круга пользователей (как профессионалов, так и непрофессионалов в сфере *IT*) с целым спектром различающихся потребностей в средствах обработки информации, в вычислительных и коммуникационных инструментах.

Создается впечатление, что недавно осуществившееся стремление Майкла Делла “приватизировать” свою компанию, являющуюся одним из ведущих мировых поставщиков ПК, и вернуть ей частный статус крепко не в последнюю очередь из-за волнения держателей акций, которое подпитывалось интуитивным восприятием содержания словосочетания “*Post-PC era*”.

Отметим, что по результатам 2013 года рынок ПК возглавила китайская компания *Lenovo*, опередив многолетнего лидера *Hewlett-Packard*. Это лидерство единодушно подтвердили две аналитические компании – *IDC* и *Gartner*; и это при том, что в прошлом их квартальные данные о *Lenovo* и *Hewlett-Packard* зачастую различались. ПК-бизнес компании *Lenovo* начался с легкой руки *IBM*, продавшей его китайцам в 2005 году.

Что касается именитых создателей среды *Wintel*, то компаниям *Intel* и *Microsoft* придется переживать

Табл. 1. Типы ПК, выделяемые в исследованиях аналитических компаний *IDC* и *John Peddie Research* в 2012–2013 гг.

Тип компьютера	<i>John Peddie Research</i>	<i>IDC</i>
Традиционные ПК		
<i>Workstation</i> (рабочая станция)	+	
<i>Graphical workstation</i> (графическая рабочая станция)	+	
<i>Mobile workstation</i> (мобильная рабочая станция)	+	
<i>Desktop</i> (настольный компьютер)		+
<i>All-in-one</i> (моноблок “всё-в-одном”)		+
<i>Traditional notebook</i> (обычный ноутбук)		+
Новые ПК		
<i>Mainstream ultrathin</i> (массовый сверхтонкий ноутбук)		+
<i>Ultralim, premium ultrathin</i> (сверхтонкий ноутбук премиум-класса)		+
<i>Small screen touch notebooks</i> (ноутбук с небольшим сенсорным экраном)		+
Ноутбуки с отделяемым экраном, которые могут использоваться как планшетики:		
- <i>Touchbook</i>		+
- <i>Convertible</i>		+
- <i>Hybrid</i>		+
- <i>Detachable</i>		+
<i>Tablet</i> (планшетник)		+

состоявшуюся и объявленную отставку высших руководителей – Пола Оттелини и Стива Балмера соответственно, которые не сумели вовремя отреагировать на ставшие реальностью рыночные тренды.

Теперь еще несколько слов о происхождении диаграмм, представленных на рис. 1. Они получены “методом обратного инжиниринга” данных, полученных в результате исследований сотрудников компании IDC (следует отметить, что точность извлеченных нами цифр не меньше точности оценок IDC). Эти данные содержатся в не слишком афишируемых презентационных материалах с ноябрьского

мероприятия компании AMD в 2013 году. Следует отметить, что в условиях сокращения рынка традиционных ПК компания AMD, являющаяся поставщиком процессоров для них, переживает не лучшие времена и находится в состоянии поиска направления дальнейшего развития.

Рынки и ведущие поставщики

Как и в прошлогоднем обзоре, область нашего интереса охватывает шесть рынков (табл. 2):

- систем ВПВ (*HPC-system*);
- серверов (*server*);

Табл. 2. Ведущие поставщики устройств, процессоров и операционных систем

Компания	Рынки					
	<i>Mobile phones</i>	<i>Smartphones</i>	<i>Tablet PC</i>	<i>PC</i>	<i>Servers</i>	<i>HPC systems</i>
Поставщики¹ устройств						
<i>IBM</i>		1992–1995		1981–2005 (продан <i>Lenovo</i>)	+	+
<i>HP</i>		2014?	+	+	+	+
<i>Dell</i>			+	+	+	+
<i>Fujitsu</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Cray (+Appro)</i>						+
<i>Cisco</i>					+	
<i>Oracle (Sun Microsystems)</i>					+	
<i>Lenovo</i>	+	+	+	+	+	
<i>Acer Group</i>	+	+	+	+	+	
<i>ASUS</i>			+	+		
<i>Samsung</i>	+	+	+	+		
<i>Microsoft (Nokia)</i>	+	+	+			
<i>Apple</i>	+	+	+	+	+	
<i>Huawei</i>	+	+	+	+		
<i>LG Electronics</i>	+	+	+	+		
Поставщики² процессоров для устройств						
<i>Intel</i>		+	+	+	+	+
<i>AMD</i>		2014	+	+	+	+
<i>NVIDIA</i>	+	+	+	+	+	+
<i>IBM Microelectronics</i>					+	+
<i>Oracle (Sun Microsystems)</i>					+	
<i>Fujitsu Semiconductors</i>					+	+
<i>ARM Holding³</i>	+	+	+	+	+	2014
<i>Apple⁴</i>	+	+	+	2014?		
<i>Qualcomm</i>	+	+	+			
<i>Samsung</i>	+	+	+		2014	
<i>Texas Instruments</i>	+	+	+			
<i>STMicroelectronics</i>	+	+	+			
<i>MediaTek</i>	+	+	+			
Операционные системы и их поставщики						
<i>Windows (Microsoft)</i>	+	+	+	+	+	+
ОС на базе ядра <i>Linux</i> , в том числе:				+	+	+
- <i>Chrome (Google)</i>			+	+		
- <i>Android (Google)</i>	+	+	+	+		
<i>MacOS (Apple)</i>				+		
<i>iOS (Apple)</i>	+	+	+	+		
<i>BlackBerry</i> (компания <i>BlackBerry</i> , ранее <i>Research In Motion</i>)	+	+				
Примечания:						
¹ закрашенные ячейки говорят о попадании компании в пятерку лидеров соответствующего рынка в III кв. 2013 г.;						
² степень участия компаний в выполнении различных этапов жизненного цикла разработки и производства процессоров может существенно отличаться;						
³ компания <i>ARM Holding</i> является разработчиком архитектуры, используемой в процессе создания процессоров их поставщиками;						
⁴ компания <i>Apple</i> разработала первый в мире 64-bit процессор для смартфонов, созданный на базе архитектуры <i>ARM</i> .						

- традиционных ПК (*personal computer – PC*);
- планшетников (*tablet PC*);
- смартфонов (*smartphone*);
- мобильных телефонов (*mobile phone*).

Учитывая, что на наших глазах происходит процесс трансформации сложившихся и становление недавно возникших рынков, мы не будем уточнять, какие из рынков являются сегментами других рынков. Не исключено, что мониторинг приведет к необходимости исследования объединенных рынков. В качестве примера приведем название рынка, предложенное компанией *IDC*, – *smart connected device* или **подключенные к интернету умные устройства**.

Списки ведущих поставщиков устройств, процессоров и операционных систем (табл. 2) в сравнении с прошлогодним обзором [4, табл. 1] обновлены по результатам деятельности компаний в 2013 году. На наш взгляд, наблюдается определенная корреляция достигнутых результатов с теми ресурсами, которые дают возможность реализовать компаниям свои конкурентные преимущества в инновационной деятельности:

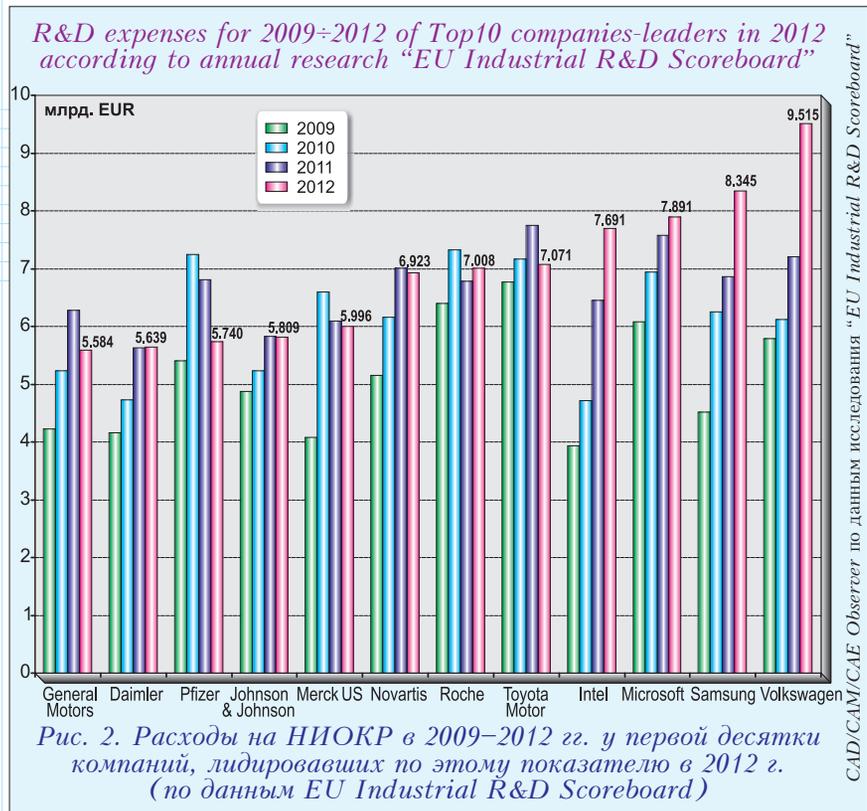
- размер бюджета, выделяемый на исследования и разработки (*Research and Development – R&D*), являющийся необходимым условием создания новых изделий (рис. 2, табл. 3);
- количество зарегистрированных патентов, отражающее результативность проводимых исследований и разработок (рис. 3, табл. 4).

Отметим, что компании, выведенные за пределы табл. 2, по возможности включены в табл. 3, 4 – чтобы сохранялась возможность наблюдать за размерами инвестиций, которые в перспективе могут привести к изменению ранжирования игроков различных рынков.

По размеру инвестиций в создание новых изделий лидером является южно-корейский гигант *Samsung*, которому удалось существенно улучшить свои позиции в конкурентной борьбе с *Apple*, самой дорогой среди ИТ-компаний.

Наиболее эффективно использует свой бюджет для инновационной деятельности компания *IBM*, которая уже 21 год возглавляет *Top50* по числу регистрируемых в год патентов. Рекорд 2013 года – 6809 патентов – на 331 единиц превышает достижение 2012 года (6478 патентов).

Патенты продолжают оставаться инструментами в конкурентной борьбе между компаниями-лидерами в различных регионах по всему миру. По этой причине пакеты патентов являются едва ли не определяющими активами в оформлении сделок по приобретению компаний.



Опыт судебных разбирательств по патентным делам, результаты которых не позволяют однозначно предсказать особенности национального законодательства и судопроизводства, побуждает противоборствующие стороны к досудебным соглашениям. Это имеет место и в случае *Apple* и *Samsung* – заклятых друзей-соперников на рынке планшетников и смартфонов – которые недавно вернулись за стол переговоров.

Регулирующие органы разных стран используют малейшие возможности для облегчения бремени национальных компаний в конкурентной борьбе с международными корпорациями. В качестве примера можно упомянуть Китай, который стремится задействовать такой рычаг, как утверждение поглощения *Nokia* софтверным гигантом *Microsoft* (который, впрочем, теперь стал также и поставщиком хาร์ดвера) для смягчения условий лицензионных платежей, которые китайские компании должны перечислять за использование микрософтовских патентов.

Теперь кратко остановимся на некоторых ключевых событиях, которыми запомнился 2013 год, а также наиболее интересных анонсах на 2014-й и последующие года.

Высокопроизводительные вычисления и суперкомпьютеры

✓ Китайский суперкомпьютер

Мы уже писали [1,3] про “большой скачок”, который позволил Китаю возглавить 41-й

Табл. 3. Расходы (млрд. EUR) на НИОКР (R&D) в 2009–2012 гг. и места, занимаемые лидерами рассматриваемых рынков (по данным EU Industrial R&D Scoreboard)

Компания	2009		2010		2011		2012	
	Место	R&D	Место	R&D	Место	R&D	Место	R&D
Samsung	7	4.510	6	6.254	5	6.858	2	8.345
Microsoft	3	6.073	3	6.938	2	7.583	3	7.891
Intel	11	3.940	10	4.711	8	6.453	4	7.691
Google	32	1.981	25	2.505	26	3.990	13	4.997
Cisco	14	3.630	14	4.068	22	4.241	18	4.504
IBM	15	3.446	15	3.907	23	4.219	21	4.194
Nokia	2	4.997	2	4.939	15	4.910	22	4.169
Sony	13	3.723	13	4.293	18	4.311	24	4.147
Oracle	27	2.268	20	3.492	31	3.496	29	3.676
Huawei	45	1.334	39	1.497	41	2.907	32	3.536
Qualcomm	36	1.701	36	1.910	50	2.315	38	2.967
Hewlett-Packard	33	1.965	32	2.263	47	2.515	45	2.576
Apple	59	0.979	52	1.196	59	1.877	46	2.563
Fujitsu	35	1.871	35	2.228	49	2.370	55	2.023
LG	42	1.366	34	1.646	36	3.154	56	1.960
STMicroelectronics	20	1.548	22	1.626	65	1.693	65	1.763
Texas Instruments	52	1.029	59	1.204	84	1.326	76	1.423
ZTE	90	0.625	74	0.947	99	1.130	94	1.171
BlackBerry (Research in motion)	80	0.672	67	1.019	92	1.205	98	1.120
TSMC	118	0.471	86	0.744	122	0.864	106	1.055
AMD	46	1.199	65	1.085	100	1.123	109	1.026
NVIDIA	87	0.633	102	0.636	142	0.770	124	0.870
Dell	129	0.435	123	0.466	154	0.662	133	0.812
MediaTek	107	0.527	107	0.590	181	0.541	175	0.585
Lenovo	287	0.149	246	0.180	258	0.348	211	0.468
HTC	257	0.182	180	0.312	228	0.407	242	0.405
ASUS	162	0.324	254	0.213	393	0.196	385	0.223
ARM Holdings	–	–	–	–	413	0.184	432	0.191
Acer	–	–	–	–	–	–	898	0.075
Cray	753	0.045	–	0.033	1415	0.038	1192	0.049

и 42-й списки мирового суперкомпьютерного рейтинга *Top500*: суперкомпьютер **Tianhe-2** (или **Milky Way-2**) продемонстрировал рекордный уровень реальной производительности – **33.8627 PFLOPS**. При вычислительной эффективности 61.68% пиковая (расчетная) производительность составляет 54.9024 PFLOPS. Система собрана из 32-х тысяч 12-ядерных процессоров Intel Xeon E5-2692 и 48-ми тысяч сопроцессоров Intel Xeon Phi; общее число процессорных ядер равно 3 120 000. Суперкомпьютер разработан и построен в Национальном университете оборонных технологий (*National University of Defense*

Technology – NUDT), расположенном в Чанша (Китай).

Если китайцы не отказались от своих планов (см. анонс в прошлогоднем обзоре [4]), то в ближайшее время можно ожидать апгрейда *Tianhe-2*. Таким образом, существует вероятность, что Китай первым преодолет рубеж быстродействия в **100 PFLOPS**.

✓ Японские планы строительства экзафлопсного суперкомпьютера

В соответствии с планами Министерства науки и технологии Японии (*Ministry of Science and Technology*) на базе Института физико-химических

исследований (RIKEN) в городе Кобе к 2020 году будет построен экзафлопсный суперкомпьютер. Это означает, что на два порядка будет повышен достигнутый в 2011 году уровень быстродействия, когда компанией Fujitsu на площадке RIKEN был построен суперкомпьютер “K computer”.

✓ Суперкомпьютеры в России

К сожалению, прошлогодние анонсы [4] о строительстве двух российских суперкомпьютеров производительностью до 10 PFLOPS оказались неосуществленными.

Трудно сказать, что именно помешало компании РСК, уже более года располагающей прототипом с жидкостным охлаждением вычислительных модулей, в которых используются сопроцессоры Intel Xeon Phi, довести дело до успешного пуска системы МВС-10П.

Что касается компании “Т-Платформа”, то ей “посчастливилось” столкнуться с “запретом на профессию”, который ей и её зарубежным филиалам, зарегистрированным в Германии и на Тайване, устроило Министерство торговли США. Десять месяцев борьбы после решения, принятого 8 марта 2013 года, увенчались успехом и отменой ограничений в деятельности – об этом компания “Т-Платформа” сообщила в специальном пресс-релизе, распространенном в преддверии Старого Нового года, 13.01.2014 г. Это означает, что компания может возобновить договоры с поставщиками компонентов, применяющими при производстве своей продукции американские технологии, – в первую очередь, с компаниями Intel и NVIDIA, на процессорах которых построены решения компании “Т-Платформы”.

Таким образом, уже в ближайшее время есть все основания ожидать коренных изменений в российском суперкомпьютерном Top50 после годичной стагнации, а также укрепления позиции российских суперкомпьютеров в мировом рейтинге Top500.

Процессоры

✓ Процессоры для HPC-систем

Еще раз обратим внимание на появившиеся в конце лета 2013 года анонсы [2] новейших неймстримовских процессоров с архитектурой POWER и SPARC для высокопроизводительных серверов и суперкомпьютеров:

- Компания IBM разработала 12-ядерный процессор POWER8 с тактовой частотой 4 GHz и скоростью выполнения однопоточных операций примерно в 1.6 выше по сравнению с предшественником – POWER7+. Процессор POWER8 с числом транзисторов в кристалле порядка 3.5 млрд. изготавливается по технологической норме 22 nm.

- Новый 16-ядерный процессор SPARC64 X+ компании Fujitsu имеет тактовую частоту 3.5 GHz и демонстрирует производительность 448 GFLOPS для операций с двойной точностью, то есть на 17.3% выше показателя 382 GFLOPS у его предшественника – SPARC64 X. Процессор SPARC64 X+ с числом транзисторов в кристалле 2.99 млрд. изготавливается по технологической норме 28 nm.

Судя по активности компании Oracle на рынке HPC-систем (см. успехи компании в новейшем списке рейтинга Top500 [3]), её новый 12-ядерный процессор SPARC M6 вряд ли появится в суперкомпьютерных системах. Тем не менее, напомним его основные характеристики: тактовая частота – 3.6 GHz; число транзисторов порядка – 3.9 млрд.; технологическая норма – 28 nm.

✓ Многоядерные процессоры для мобильных устройств

Компания MediaTek приступила к производству первого 8-ядерного процессора MT6592 для смартфонов. В отличие от 8-ядерного процессора Exynos от компании Samsung, в котором могут работать одновременно только каждая из двух “квадрил” ядер (см. анонс в [4]), процессор MT6592 называют истинно (true) 8-ядерным, поскольку все восемь ядер могут работать одновременно.

✓ Первый 64-битный процессор на базе ARM-архитектуры

Компания Apple выпустила первый серийный ARM-совместимый 64-битный процессор Apple A7 для мобильных устройств [2]. По мнению аналитиков, процессор Apple A7 состоит из ядер, которые являются результатом глубокой переработки ядер Swift на базе 64-разрядной архитектуры

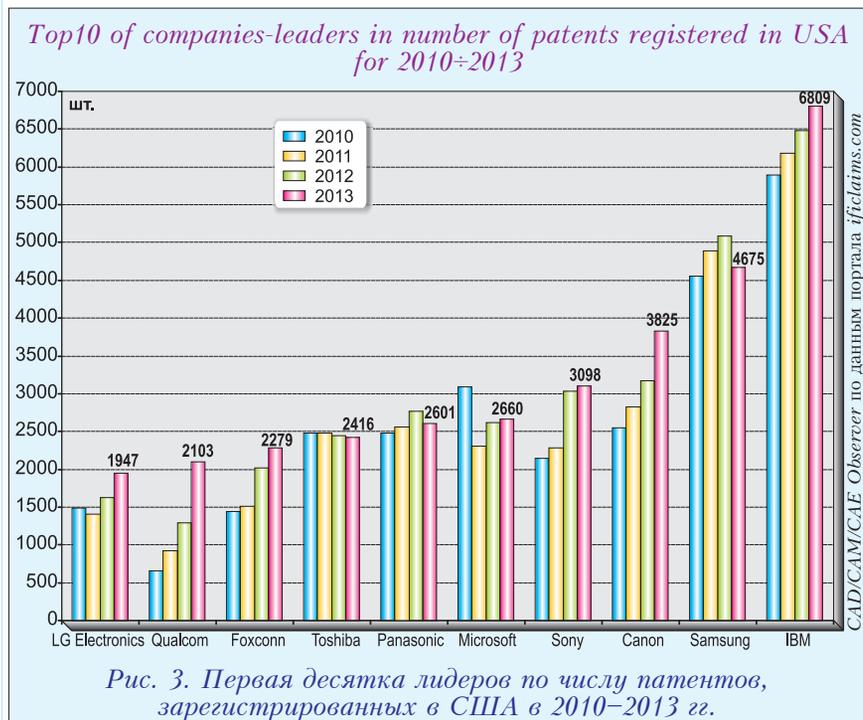


Табл. 4. Количество патентов, зарегистрированных в США лидерами рассматриваемых рынков, и их места в *Top50* по этому показателю в 2010–2013 гг.

Компания	2010		2011		2012		2013	
	Место	Кол-во патентов						
<i>IBM</i>	1	5896	1	6180	1	6478	1	6809
<i>Samsung</i>	2	4551	2	4894	2	5081	2	4675
<i>Sony</i>	7	2150	7	2286	4	3032	4	3098
<i>Microsoft</i>	3	3094	6	2311	6	2613	5	2660
<i>Foxconn</i>	13	1438	9	1514	8	2013	8	2279
<i>Qualcomm</i>	41	657	26	923	17	1292	9	2103
<i>LG Electronics</i>	9	1490	12	1411	10	1624	10	1947
<i>Google</i>	–	–	–	–	21	1151	11	1851
<i>Fujitsu</i>	14	1296	13	1391	11	1535	12	1806
<i>Apple</i>	46	563	39	676	22	1136	13	1775
<i>Intel</i>	8	1653	16	1244	18	1290	18	1455
<i>Hewlett-Packard</i>	10	1480	14	1308	15	1394	19	1360
<i>BlackBerry (Research In Motion)</i>	–	–	40	663	29	986	20	1334
<i>TSMC</i>	–	–	–	–	48	650	35	941
<i>Cisco</i>	17	1115	22	980	31	951	40	885
<i>Texas Instruments</i>	27	829	32	794	37	829	47	741
<i>Nokia</i>	33	760	47	585	–	–	–	–
<i>Oracle/Sun Microsystems</i>	43	646	–	–	–	–	–	–
Всего у компаний – участников обзора рынков		27618		27160		32055		35719
Доля от общего числа патентов в Top50		44.8%		43.3%		45.4%		46.5%
Общее число патентов в Top50		61686		62756		70578		76850

набора команд *ARMv8*. Напомним, что лицензионный договор *Apple* с британской компанией *ARM* допускает создание собственных ядер с использованием *ARM*-архитектуры набора команд (*Instruction Set Architecture – ISA*). Двухъядерный процессор *Apple A7* имеет тактовую частоту 1.3 GHz, содержит более 1 млрд. транзисторов, производится по технологической норме 28 nm.

Не исключено, что закрытость компании *Apple*, которая в своих пресс-релизах не упоминала применение *ARM*-архитектуры в своих процессорах *Apple A7*, может стать причиной того, что первым *ARM*-совместимым 64-битным процессором в истории может остаться *Tegra K1*.

Этот процессор разработан на базе архитектуры *ARM* в рамках проекта *Denver* компании *NVIDIA*, причем, в начале января 2014 года анонсировано два варианта процессора: и 32-, и 64-битный.

Устройства

✓ Первый смартфон с 64-битным процессором

Компания *Apple*, уступившая южно-корейскому гиганту *Samsung* лидерство на рынке смартфонов, но остающаяся тем не менее законодателем инноваций, создала первый в мире смартфон *Apple iPhone 5s* с 64-битным процессором *Apple A7*. Приложения работают под управлением операционной системы *iOS 7.0.1* собственной разработки. ☺

Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, компьютеры, планшетики, смартфоны // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №5, с. 69–79; №6, с. 90–92.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры для HPC-систем. EDA-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №6, с. 77–88; №7, с. 85–92.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №8, с. 77–89.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть III // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №1, с. 75–86.

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.Pavlovs@lu.lv)