

**СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ
и экстраполяция
на ближайшее будущее**

10.2010

Суперкомпьютеры:

- наиболее мощные вычислительные установки,
- сложны и нетрадиционны в применениях,
- ограничены по условиям приобретения.

- Диапазон производительности от **0,1-** до **1 Max**
 - это первые 25 установок и 38% суммарной производительности установок списка 500 современных суперкомпьютеров (www.top500.org).

На сегодня:
Max \approx
 \approx 2 Pflops

- 500 суперкомпьютеров списка охватывают 70-кратный диапазон производительности; их суммарная производительность \sim 18 **Max**.
- Темп роста производительности (**Max**) после 1990 г.
 - 23-кратно за 5-летие (т.е. 1000-кратно за 11 лет).

Современные суперкомпьютеры

Концепция:

массово-параллельная структура на прогрессирующей микропроцессорной базе.

Реализация:

массивы процессоров, построенные на базе компонентов крупносерийного промышленного выпуска, объединенные с хост-компьютерами, внешней памятью, серверами и удаленными рабочими станциями пользователей.

Свойства:

масштабируемость, надежность (живучесть), преемственность программного обеспечения.

Суперкомпьютеры в списке Топ 500

Страна, фирма, тип системы, микропроцессор, межпроцессорная сеть	Ввод в дейст. гг.	Колич. процес-сорных ядер	Производит. [Tflops]		Энер-потр. к В т	Топ 500 06.10
			пиков.	тест Linp-k		
<u>Cray XT5 Jaguar</u> ; 6Opteron; 2,6 ГГц	2008-9	224162	2331,0	1759,0	6951	1
КНР, <u>Dawning</u> ; 6Xeon2,6ГГц+гр.п.; Inf-b.	2010	120640	2984,3	1271,0	2550	2
<u>IBM Roadrunner</u> ; Cell 8i; 3,2 ГГц; 2Opteron; 1,8 ГГц; Infiniband	2008-9	122400	1375,8	1042,0	2346	3
Герм. <u>IBM BG/P</u> ; 2Pow.PC 450; 0,85 ГГц	2007-9	294912	1002,7	825,5	2268	5
<u>SGI Altix</u> ; 4Xeon; 3 ГГц; Infiniband	2008-10	81920	973,3	772,7	3096	6
КНР, <u>NUDT</u> ; 4Xeon2,5ГГц+гр.пц; Inf-b.	2009	71680	1206,2	563,1	1485	7
<u>IBM Blue Gene/L</u> ; PowerPC 440; 0,7 ГГц	2005-7	212992	596,4	478,2	2330	8
<u>Sun Red Sky</u> ; 4Xeon; 2,9 ГГц; Inf-band	2009-10	42440	497,4	433,5	4344	10
<u>Sun Runger</u> ; 4Opt-n; 2,3 ГГц; Inf-band	2008	62976	579,4	433,2	2000	11
НИВЦ МГУ. Т-Пл.; 4Xeon; 2,9 ГГц; Inf-d	2009	35360	414,4	350,1	1519	13
Герм. <u>Bull</u> ; 4Xeon; 2,9 ГГц; Inf-band	2009	26304	308,3	274,8	1549	14
Юж. Кор. <u>Sun</u> ; Xeon Neh-m; 2,9 ГГц; Inf-d	2009	26232	307,4	274,8	1276	15
В-бр. <u>Cray XT6m</u> ; 12Opteron; 2,1 ГГц	2010	43660	366,7	274,7	1025	16
Саудов. Аравия, <u>IBM Blue Gene/P</u>	2009	65536	222,8	190,9	504	23
КНР, <u>Dawning</u> ; 4Opteron; 1,9 ГГц; Inf-b-d;	2007-8	30720	233,5	180,6		24
Индия, <u>HP</u> ; 4Xeon; 3 ГГц; Infiniband	2007-8	14384	172,6	132,8	786	33
Яп. <u>NEC</u> ; SX9/E, Earth Simul.; 3,2 ГГц	2009	1280	131,1	122,4		37
В-бр. <u>IBM Pow.575</u> ; Pow.6; 4,7 ГГц; Inf-d	2008	8320	156,4	115,9	1330	39
МСЦ РАН, <u>HP</u> ; 4Xeon; 3 ГГц; Infinib-d	2007-9	11680	140,2	107,5		46
Фр. <u>IBM</u> ; 4Xeon; 2,7 ГГц; GigEth-net	2009	5120	54,6	24,7	238	500

Суперкомпьютеры в списке Top 500 (июнь 2010 г.)

Обновляемость: отсечено 270 позиций за год.

Суммарная производительность установок списка:

32,4 Pflops (год назад было 22,6 Pf/s);

доли фирм США: IBM - 34%, HP - 20%, Cray - 15%, SGI - 7%, Dell - 3%; фирмы КНР - 7%, Японии - 3%.

Поставщики 464 установок списка – фирмы США:

IBM – 198 уст. (в т.ч. 163 – кластеры), HP – 185 кл., Cray – 21, SGI – 17, Dell – 17 класт., Sun – 12 класт.

В 496 уст. использ. микроспроцессоры фирм США:

Intel – 406, AMD – 49, IBM – 42 (в т.ч. Cell – 6, p6 – 18).

425 устан. – на базе 4-ядерных проц.; 25 – ≥ 6 ядер.

Кластеры: 424 установок, 64% суммарной производ.

Межпроцессорные сети: Gigabit Ethernet – 242,
Infiniband – 207, Myrinet – 4 установки.

IBM

2005 г.

Blue Gene/L

**367 Tflops (peak); 32 TB; 230 м²
2 × 65 тыс. процес. ядер; ~2 МВт**



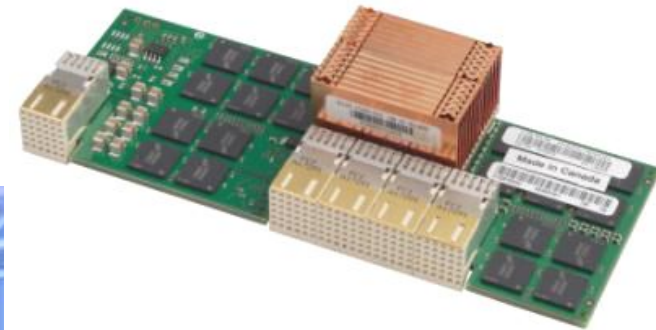
**В 2007 г. основная аппаратура
увеличена с 64- до 104 стоек,
производит. повышена до **0,6 Pf/s**;
в новых стойках удвоена память,
т.е. объем операт. памяти – **72 TB****

IBM

JUGENE

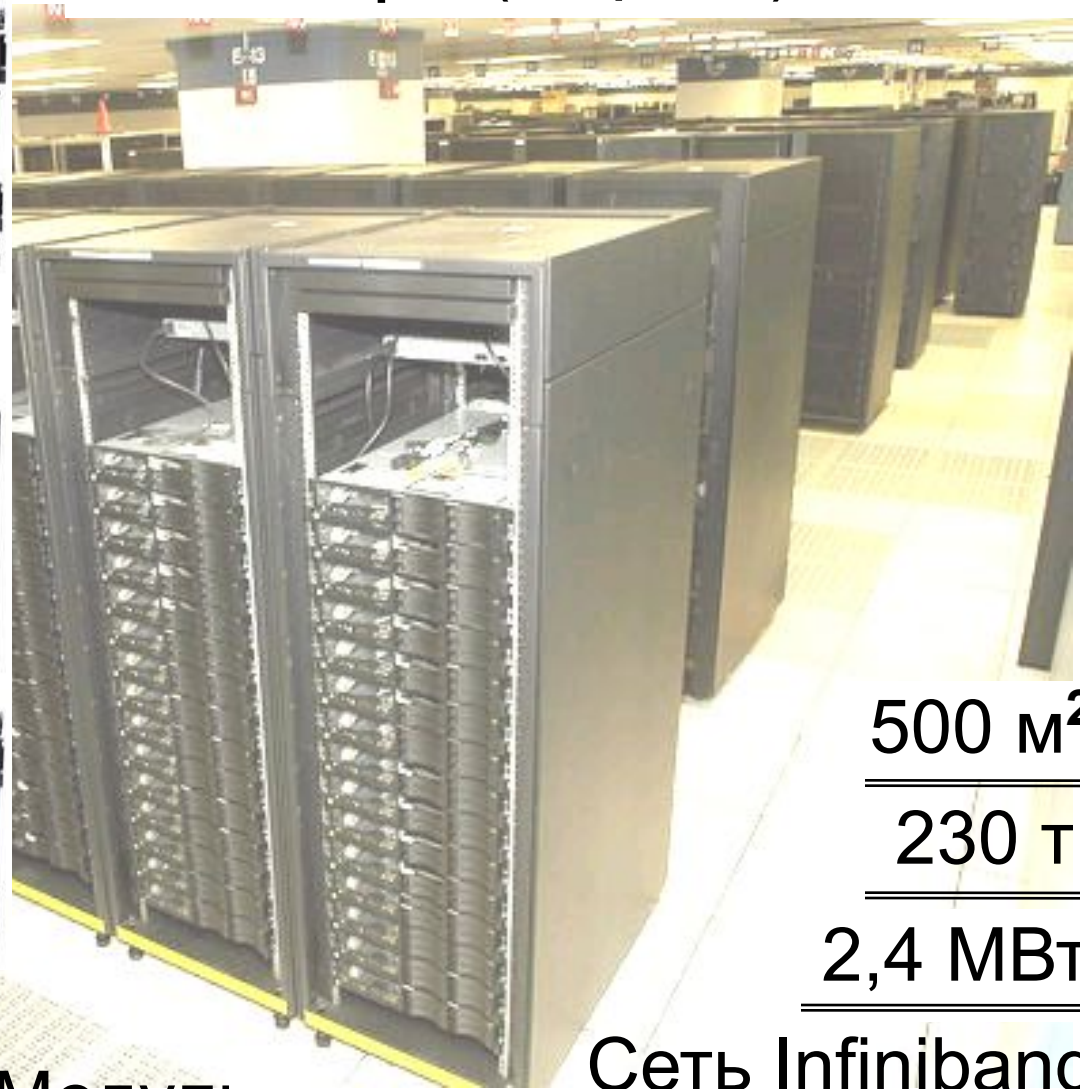
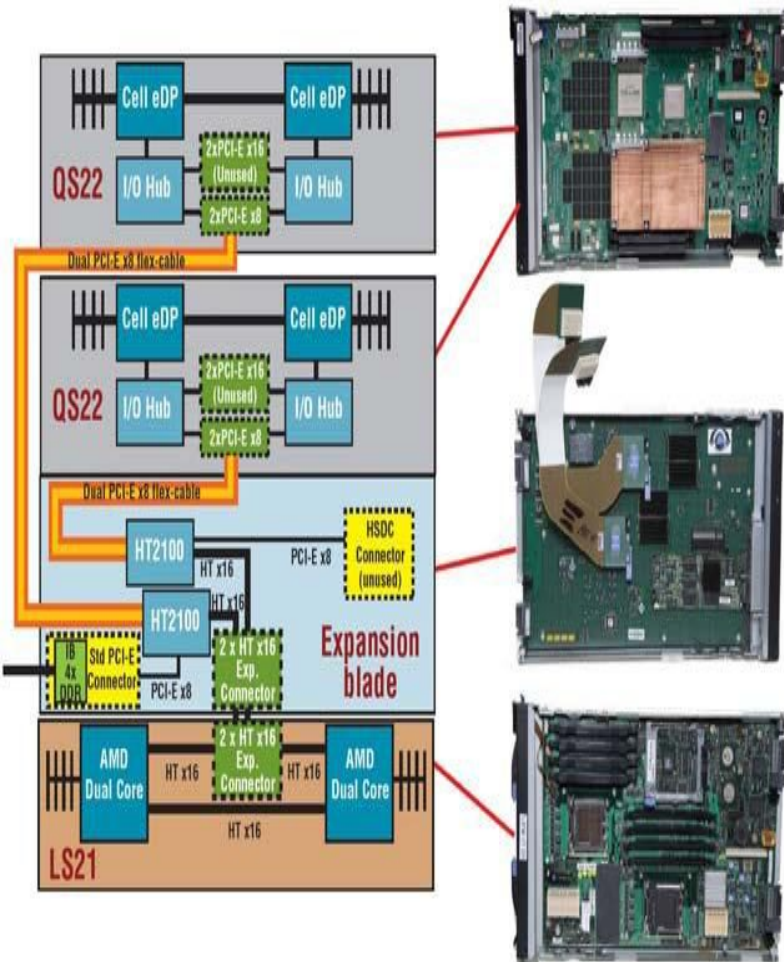
Blue Gene/P 2008-9 гг.

0,8 Pf/s (Linpack); 144 TB;
4 × 74 тыс. процес. ядер
72 стойки; 2,3 МВт



IBM Roadrunner

1,1 Pflops (Linpack); 2008 г.



500 м²

230 т

2,4 МВт

Сеть Infiniband

Память 28+52 ТВ

Процессоры:
~7 тыс. × 2 Opteron,
~13 тыс. Cell, eDP

Модуль
0,4 Tf/s

Nebulae; Dawning Informatio Industry, KHP; 2010 г.



3 Pf/s peak

1,3 Pf/s

Linpack

2,6 MBT

4640 узлов по 2 чипа 6-ядерн. Intel Xeon 5650 2,6 ГГц
+ по 2 графических процессора nVidia Tesla C2050.

Cray Jaguar

2005-9 гг.

2,6 Plops
peak

1 место
Top 500

45 тыс. чипов,
6- и 4-яд. AMD Opteron;
память 8 Гбайт / чип;
8,5 МВт; 600 м²

Infiniband

XT5; 2,3 Pf/s;
224 тыс. ядер;
200 стоек

XT4; 0,26 Pf/s;
31 тыс. ядер;
84 стойки

20 место Top 500



Сопоставление суперкомпьютеров

06.
10

Фирма, система, процессор	Тест Linpack: T f l o p s / ...				Места в Top 500
	/ядро	/кВт	/стойка	/млн долл.	
IBM p6	0,015	0,09	6,5	5	55, 69
4-яд. Xeon	0,009	≤ 0,27	6,5	7	110, 172
6-яд. Opteron	0,008	≤ 0,25	8	4	1
IBM BG/P	0,0028	0,36	11	7	5, 9
IBM BG/L	0,0022	0,2	5	5	8, 60
SiCortex 5832	0,001	0,3	6		≤ 6 Tf/s
Cell+Opteron	0,009	0,45	10	9	3, 35
Гибрид. сист.	~0,009	0,4-0,5			2, 7
MDGRAPE-3	0,01	5	50	70	1 Pf/s

Суперкомпьютеры в России

Изготовитель, тип системы, микропроцессора и межпроцессорной сети; месторасположение	Ввод в дейст. гг.	Колич. проц. ядер	Производ. [Tflops]		Энер-потр. кВт	06-9.10 Top	
			пик.	тест Linp-k		50	500
T-Платф.: 4Xeon; 2,9 ГГц; Inf-d; МГУ	2009	35360	414,4	350,1	1519	1	13
НР: 4Xeon; 3 ГГц; Infiniband; РНЦ Курчатовский институт	2010	10304	123,7	101,2	1010	2	54
МСЦ РАН, НР; 4Xeon; 3 ГГц; Infinib-d	2007-9	10224	122,7	94,1		3	
ИПС РАН, Т-Платформы; 4Xeon; 3 ГГц; Infiniband; НИВЦ МГУ	2008	5000	60,0	47,3	265	4	121
IBM; 4Xeon; 2,5 ГГц; банк Gig. Ethernet; гос. учр.	2009	6500	66,8	38,1	209	5	183
		5656	57,2	32,6	248	6	257
IBM: Blue Gene/P 2PowerPC450; 0,85 ГГц; ВМК МГУ	2008	8192	27,9	23,9	63	12	
ИПС РАН; 4Xeon; 2,9 ГГц; Inf-band; Юж.-Урал. университет, Челябинск	2009	2048	24,0	21,9		13	
IBM; 4Xeon; 2,33 ГГц; Infiniband; Авиационный тех. университет, Уфа	2007	2128	19,9	15,3	86	14	
НР; 4Xeon; 3 ГГц; Inf-d; ИММ УрО РАН	2009	1664	19,5	14,6		15	
НР/Крок; Opteron; 2,3 ГГц; Inf-b-d; Юж. фед. университет, Таганрог	2008	2072	18,8	14,5		16	
НР; 4Xeon; 2,33 ГГц; Infiniband; Вятский гос. университет	2007-08	1920	17,9	14,0		17	
SGI Altix; 4Xeon; 2,8 ГГц; Росгидромет	2008	1416	16,0	13,7		18	
IBM; 4Xeon; 2,33 ГГц; Infiniband; Сиб. фед. университет, Красноярск	2007	1808	16,9	13,1	73	19	
IBM/Крок; 4Xeon; 2,7 ГГц; Infinib-d; НПО «Сатурн», Рыбинск	2008	1344	14,3	10,6		21	
ИПС РАН, Т-Платф.; 2Xeon; 2,7 ГГц InfiniPath; Томский гос. университет	2007	1128	12,0	9,0		25	
IBM; 4Xeon; 3 ГГц; Infinib-d; промышл.	2007	672	8,1	6,3		28	
ИСП РАН, НР; 4Xeon; 3 ГГц; Myr-t; МФТИ	2007	544	6,5	4,5		33	
Intel; 2Xeon; 2,8 ГГц; Inf-d; Н.Новг. унив.	2010	256	2,9	2,4		50	

«Ломоносов», НИВЦ МГУ, 2009 г. 414 Tf/s пик.



250 м²

1,5 МВт

4420 узлов по два 4-ядерных Xeон; 2,93 ГГц;
суммарн. оперативная память **57 GB**; сеть Infiniband

Распределение супер-компьютеров, их суммарной производит. и верхних уровней производит. по странам – список Top 500 от 06.2010, 1,8 Pf/s – 25 Tf/s	Дислокация	Колич.	Σ [Tf/s]	Верх. места	В 1-й сотне
	1. США	282	17969	1, 3, 4	46
	2. Великобрит.	38	1785	16	5
	3. Франция	29	1756	18	10
	4. Китай	24	2993	2, 7	5
	5. Германия	24	2248	5	8
	6. Япония	18	1253	22	9
	7. Россия	11	815	13	3
	8. Швеция	8	416	50	3
	9. Канада	7	404	28	2
	10. Италия	7	282	61	1
	11. Н. Зеландия	7	211	279	–
	12. Швейцария	5	347	27	1
	13. Индия	5	283	33	2
	14. Польша	5	169	161	–
15. Сауд. Аравия	4	311	23	1	
Прочие 16 стран	26	1188	15	4*	
В с е г о	500	32429		100	

* По 1 установке:
 Корея (15 место),
 Финляндия (74),
 Бразилия (86),
 Испания (87)

Суперкомпьютер IBM Blue Waters – 2011 г.

10 Pflops, 311 тыс. процессорных ядер, 100 стоек, площадь 500 м², 10 МВт, жидкостное охлаждение; микропроцессоры **Power7**: 8-ядер, 4 ГГц; 0,25 Tflops; в процессоре 1,2 млрд. транзисторов, технология 45 нм, чип 567 мм²; в процессорном модуле 4 чипа по 4, 6, или 8 ядер.

Основная память 0,6 PB (2 GB на ядро).

Дисковая память 26 PB.

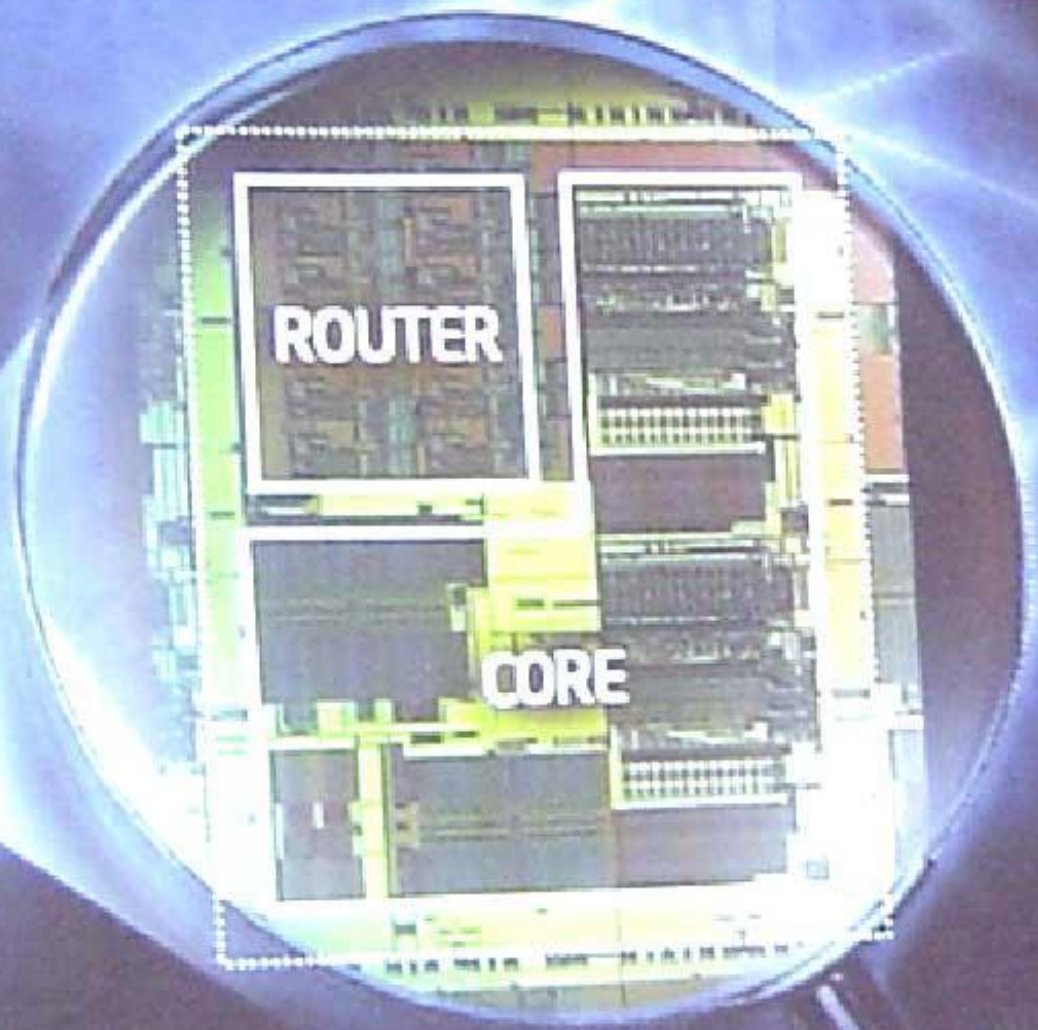
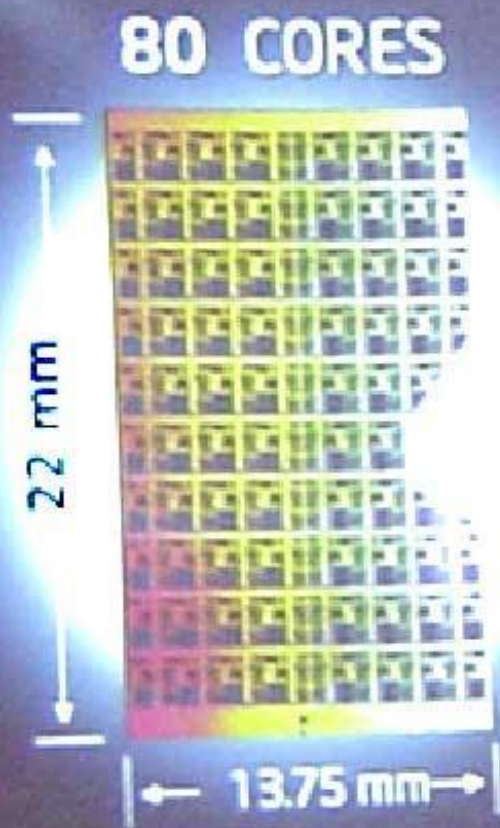
Архивная память 500 PB.

Внешние связи (Internet)
– свыше 400 Gbit/s.



TERAFLOP OF PERFORMANCE

Intel, анонс 2007 г.
технология 32 нм



Верхний уровень производительности суперкомпьютеров – экстраполяция данных списков Top 500

Годы	2008	2012	2015–16	2018–20
Прогноз [Petaflops]	1	10	100	1000

Факторы повышения производительности:

- физическое быстроедействие компонентов;
- структурный параллелизм
– внутрипроцессорный и многопроцессорный;
- проблемная ориентация – специализация.

**2011 г. Intel
Knight Corner:**
>50-процессорный
чип,
22 нм, 1 Tflops

СК 2015 г. - 100 Pflops,
50–100 тыс. чипов,
~100 стоек, ~10 МВт,
4–8 млн. процессоров

В 2010 году DARPA стартует программу развития серийного суперкомпьютинга – UHPC & OHPC




НРС – *высокопродуктивные*
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
Ubiquitous & Omnipresent

- Продуктивность – эффективность применений за счет совершенствования аппаратных средств, методов программирования и энергосбережения.
- Системный модуль – **стойка** (процессорный массив, внешняя память, электропитание и охлаждение):
 - производительность **1 Pflops**;
 - габариты **$2 \times 0,6 \times 1 \text{ м}^3$** ;
 - энергопотребление **60 кВт**.

Виртуальная общая оперативная память

- Конкретизация потребностей применений.
- Интерпретация программными средствами.
- Совершенствование организации кэш-памяти.
- Нарращивание количества процессорных ядер в SMP-модуле.
- Повышение быстродействия интерфейсов и внешних шин в процессорах.
- Ускорение межпроцессорного обмена; 2–3 -уровневая структура и специализация сетей.
- Многопоточковая обработка (multithreading).
- Новые компоненты системного ПО.

Вопросы и трудности дальнейшего развития – эволюция или революция ?

- Усложнения в связи с развитием многоуровневых параллельн., многопоточковых и гибридных структур.
- Масштабирование программного обеспечения при распараллеливании на десятки млн. ветвей.
- Необходимость расширения и ускорения доступа к памяти, развитие подходов к ее обобществлению.
- Адаптивная маршрутизация и гибкая синхронизац. при интенсификации межпроцессорных обменов.
- Разнообразии отказов и сбоев аппаратуры, их влияние на алгоритмы обработки (контр. точки...).
- Возрастание стоимости и энергопотребления систем по мере повышения производительности. 

Гибридная вычислительная система

- параллельная вычислительная система, где сочетаются универсальные процессоры и различные типы ускорителей или сопроцессоров (векторных, мультитредовых, реконфигурируемых и др.);
- такая система должна иметь увеличенную оперативную память и улучшенные средства межузловых коммуникаций.

Petaflops MDGRAPE-3 system

июнь 2006 г.



Развитие суперкомпьютинга

- Микроэлектроника :
 - быстродействие и уровень интеграции;
 - надежность;
 - стоимость;
 - энергопотребление, теплоотвод.
- Системная интеграция – разнообразие кластеров; программное обеспечение; общая память; сферы и методы применений.
- Проблемно-ориентированные системы.
- Grid-технологии :
 - взаимодействие крупных ВЦ;
 - сети массовых компьютеров.
- Защита информации: модели угроз, нормы, средства защиты, организация эксплуатации.
- Инфраструктура, координация и обмен опытом.
- Поисковые исследования, «нетрадиционные» напр.

|| *м а с с о в о с т ь*
п р о и з в о д с т в а

Облачные
вычисления