

Суперкомп'ютери: огляд нових рейтингів та ефективних прискорювачів

Комухаєв Е.Г., Черепинець В.В.

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, просп. Глушкова, 40, Київ, Україна

Анотація. Підвищення показників сучасних суперкомп'ютерів забезпечило збільшення кількості ядер, ефективні прискорювачі, нові технології обміну з пам'яттю, адаптація до пріоритетних задач.

Ключові слова

Гібридизація, прискорювачі, масштабування, потокові технології, реконфігурація, СКІТ-4, ПФлопс, МФлопс/Вт, GTEPS.

1 Оновлені списки рейтингів

Опубліковані в листопаді 2013 року нові рейтингові списки Top500 [1] та Graph500 [3] відображають деякий застій в складі лідерів та їх показниках.

Виділяється новачок в лідируючий десятці (шосте місце) списку Top500 – суперкомп'ютерна система Швейцарського національного центру CSCS, яку вже називають «зеленим лідером світу». Ця система має високий показник енергозбереження в новому списку рейтингу Green500 – 3185,91 МФлопс/Вт при дуже високому рівні загальної потужності (1753,66 кВт).

Новий список рейтингу Green500 [2] кардинально оновився, фіксуючи значний розвиток енергозберігаючих систем. Найвищий показник – 4,5 ГФлопс/Вт тепер має невелика токійська система Tsubame-KFC. В табл. 1 представлено чільну десятку систем, всі вони використовують прискорювачі Nvidia.

Таблиця 1. Перші 10 позицій рейтингу Green500 за листопад 2013 р.

Позиція в Green500	МФлопс / Вт	Організація	Комп'ютер	Потужність, кВт
1	4503.17	Центр GSIC, Токійський технологічний інститут	TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	27.78
2	3631.86	Кембриджський університет	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
3	3517.84	Центр обчислювальних наук, Університет Цукуба	HA-PACS TCA - Cray 3623G4-SM Cluster, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x	78.77
4	3185.91	Швейцарський національний суперкомп'ютерний центр (CSCS)	Piz Daint - Cray XC30, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Aries interconnect, NVIDIA K20x	1753.66
5	3130.95	ROMEO HPC Центр, Шампань, Арденна	Romeo - Bull R421-E3 Cluster, Intel Xeon E5-2650v2 8C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	81.41

Позиція в Green500	МФлопс / Вт	Організація	Комп'ютер	Потужність, кВт
6	3068.71	Центр GSIC, Токійський технологічний інститут	TSUBAME 2.5 - Cluster Platform SL390s G7, Xeon X5670 6C 2.930GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x	922.54
7	2702.16	Університет Аризони	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2650v2 8C 2.600GHz, Infiniband FDR14, NVIDIA K20x	53.62
8	2629.10	Max-Planck-Gesellschaft MPI/IPP	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	269.94
9	2629.10	Фінансова установа	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	55.62
10	2358.69	CSIRO	CSIRO GPU Cluster - Nitro G16 3GPU, Xeon E5-2650 8C 2.000GHz, Infiniband FDR, Nvidia K20m	71.01

Найбільший суперкомп'ютер України СКІТ-4 Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ зараз модернізується, поки що має такі енергопоказники: 720 МФлопс/Вт, рівень енергоспоживання 25 кВт [3].

42-й список основного суперкомп'ютерного рейтингу Top500 у листопаді 2013 року незначно оновився в чільних рядках. В табл. 2 наведено показники чільної десятки систем нової редакції Top500 [1].

Таблиця 2. Перші 10 позицій рейтингу Top500 за листопад 2013 р.

Позиція	Організація	Комп'ютер	Ядер	Макс. продуктивність, ТФлопс	Пікова продуктивність, ТФлопс	Потужність, кВт
1	Національний суперкомп'ютерний центр в Гуангжоу, Китай	Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	3120000	33862.7	54902.4	17808
2	DOE/SC/ Національна лабораторія Оак Риджу, США	Titan - Cray XK7, Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560640	17590.0	27112.5	8209
3	DOE/NNSA/ LLNL, США	Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	1572864	17173.2	20132.7	7890
4	RIKEN Інститут обчислювальних наук (AICS), Японія	K computer, SPARC64 VIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705024	10510.0	11280.4	12660
5	DOE/SC/ Аргонська національна лабораторія, США	Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	786432	8586.6	10066.3	3945

Позиція	Організація	Комп'ютер	Ядер	Макс. продуктивність, ТФлопс	Пікова продуктивність, ТФлопс	Потужність, кВт
6	Швейцарський національний суперкомп'ютерний центр (CSCS), Швейцарія	Piz Daint - Cray XC30, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Aries interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	115984	6271.0	7788.9	1753.66
7	Техаський обчислювальний центр/ Університет Техасу, США	Stampede - PowerEdge C8220, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi SE10P Dell	462462	5168.1	8520.1	4510
8	Центр Юліх (FZJ), Німеччина	JUQUEEN - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect IBM	458752	5008.9	5872.0	2301
9	DOE/NNSA/LLNL, США	Vulcan - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect IBM	393216	4293.3	5033.2	1972
10	Лейбніц Центр, Німеччина	SuperMUC - iDataPlex DX360M4, Xeon E5-2680 8C 2.70GHz, Infiniband FDR IBM	147456	2897.0	3185.1	3423

Відмітимо появу «новачка» на позиції №6 – систему Piz Daint швейцарського центру з високим показником реальної продуктивності 6271 ТФлопс.

В цій десятці шість систем не використовують прискорювачі (Sequoia, K-Computer, Mira, Juqueen, Vulkan, SuperMUC).

Лідер рейтингу Tianhe-2 (33,86 ПФлопс) та №7 Stampede використовують прискорювачі Intel Xeon Phi. В двох системах використані прискорювачі NVidia K20x: №2 Titan Cray XK7 та №6 Piz Daint Cray XC30.

Російський лідер «Ломоносов» (на позиції №37) з реальною продуктивністю 902 ТФлопс використовує два види прискорювачів: NVidia 2070 GPU та IBM PowerXCell 8i.

Японська система NA8000-tcHT210 (на позиції №36) з реальною продуктивністю 905,4 ТФлопс використовує два види прискорювачів: NVidia K20/K20x та Intel Xeon Phi 5110p.

Китайська система Inspur (№204) з реальною продуктивністю 196 ТФлопс використовує прискорювачі NVidia K20M та Intel Xeon Phi 5110p.

Активно розширюється список рейтингу Graph500 [3], який показує рівень придатності систем для розв'язання задач з високою інтенсивністю обробки даних. Чільну десятку цього рейтингу представляє табл.3.

Таблиця 3. Перші 10 позицій рейтингу Graph500 за листопад 2013 р.

№	Комп'ютер	Організація	Кількість вузлів	Кількість ядер	GTFPS
1	Sequoia (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	Національна лабораторія Лоуренса Лівермора	65536	1048576	15363
2	Mira (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	Аргонська національна лабораторія	49152	786432	14328
3	JUQUEEN (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	Німецький Центр Юліх (FZJ)	16384	262144	5848
4	K computer	RIKEN Інститут обчислювальних наук (AICS)	65536	524288	5524.12
5	Fermi (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	CINECA	8192	131072	2567
6	Tianhe-2 (MilkyWay-2)	Національний університет оборонних технологій Китаю	8192	196608	2061.48
7	Turing (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz)	CNRS/IDRIS-GENCI	4096	65536	1427
8	Blue Joule (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	Рада з питань науки та технологій – Лабораторія Даресбурі	4096	65536	1427
9	DIRAC (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	Університет Единбургу	4096	65536	1427
10	Zumbrota (IBM - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz)	EDF R&D	4096	65536	1427

Системи IBM BlueGene/Q з різною кількістю вузлів посідають три перші позиції у Graph500: Sequoia у Ліверморській лабораторії (65536 вузлів, 1048576 ядер, 15363 GTeps), Mira в Аргонській лабораторії (49152 вузла, 786432 ядра, 14328 GTeps), Juqueen в німецькому центрі Юліх (16384 вузла, 262144 ядра, 5848 GTeps).

Відмітимо, що Аргонська національна лабораторія для розв'язання графових задач, крім великої системи Mira (позиція №2), використовує спеціалізований пристрій (міні-суперкомп'ютер) Celero на базі реконфігурованих прискорювачів HC-2 компанії Convey, який у рейтингу Graph500 посідає позицію №64, маючи показник 11,448 GTeps. Аналогічні прискорювачі посідають у рейтингу Graph500 позиції №63, 65, 66, 78, 82, обслуговуючи запити клінік, Інституту біоінформатики Вірджинії та інших користувачів.

Включення автономних реконфігурованих прискорювачів в рядки рейтингу Graph500 свідчить про їх перспективність для розв'язання графових задач. Більш детально реконфігуровані прискорювачі розглянемо у наступному розділі, присвяченому актуальним прискорювачам.

В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України продовжується модернізація кластера СКІТ-4, який поки що не має оцінок для рейтингу Graph500. Проте його показник енергозберігання відповідає рівню показників світового рейтингу Green500 приблизно серед другої сотні систем (0,72 ГФлопс/Вт). Досягнута продуктивність є достатньою для включення у рейтинг Top50 країн СНД.

В [4] вказані наступні характеристики кластера СКІТ-4: 28 вузлів, кожен з процесором Intel Xeon E5-2670, 1,792 ТБ оперативної пам'яті, 36 прискорювачів NVidia Tesla M2075. Кожен вузол має реальну продуктивність 1 ТФлопс, загальна реальна продуктивність 18 ТФлопс, пікова продуктивність – 28,3 ТФлопс, рівень енергоспоживання – 25 кВт.

Перспективним і доступним для значного підвищення продуктивності може бути використання в якості прототипу системи «Ломоносов», в якій ефективно застосовані 60 прискорювачів IBM PowerXCell 8i. Ці прискорювачі мають доступну низьку ціну, забезпечені багатьма засобами ПЗ. Більш детально про них нижче при огляді чотирьох різновидів прискорювачів.

2 Ефективні засоби прискорення

У вузлах сучасних гібридних суперкомп'ютерів основні багатоядерні процесори найчастіше взаємодіють з одним чи двома прискорювачами наступних видів:

- Intel Xeon Phi
- графічні сопроцесори компаній NVidia або AMD
- реконфігуровні сопроцесори на FPGA компанії Xilinx або Altera
- синергетичні процесори IBM PowerXCell 8i

В якості ілюстрації ефективності застосувань цих прискорювачів можуть служити такі сучасні гібридні системи: китайська Tianhe-2 (Intel Xeon Phi, 33,86 ПФлопс), американська Titan Cray XK7 (NVidia K20, 17,59 ПФлопс), японська Atacama (FPGA, 120 ТФлопс), російський «Ломоносов» (IBM PowerXCell 8i, NVidia Tesla, 902 ТФлопс).

2.1 Прискорювачі Intel Xeon Phi

Прискорювачі Intel Xeon Phi у поєднанні у вузлах з процесорами Intel Xeon E5 кардинально підвищують швидкість розв'язання багатопрофільних задач. Intel підтримує таку взаємодію розширеними засобами ПЗ. У 2013 році були доступні три сімейства Intel Xeon Phi (табл. 4).

Таблиця 4. Параметри карт Intel Xeon Phi

№	Назва моделі, параметри	Адаптованість до задач	Максимальні енерговитрати	Ціна
1	3120p,a (6 ГБ, 1,1 GHz, 57 ядер)	Монте Карло, Black-Scholes, HP1 тощо	300 Вт	\$1695
2	5100d,p (8 ГБ, 1,053 GHz, 60 ядер)	З підвищеними вимогами до об'єму, пропускної здатності пам'яті	245, 225 Вт	\$2759, \$2649
3	7100x,p (16 ГБ, 1,238 GHz, 61 ядро)	Вимоги максимальної продуктивності, пам'яті	300 Вт	\$4129

Старші моделі Xeon Phi 7120p та 7120x оснащено буферами карти пам'яті GDDR5 ємністю 16 ГБ з пропускною здатністю 352 ГБ/с. Вони забезпечують продуктивність 1,2 ТФлопс з подвійною точністю. Молодші моделі Xeon Phi 3120 оснащуються 6 ГБ GDDR5 з пропускною здатністю 240 ГБ/с, забезпечують продуктивність 1 ТФлопс з подвійною точністю.

На рис. 1 представлено блок-схему сопроцесора Intel Xeon Phi [5].

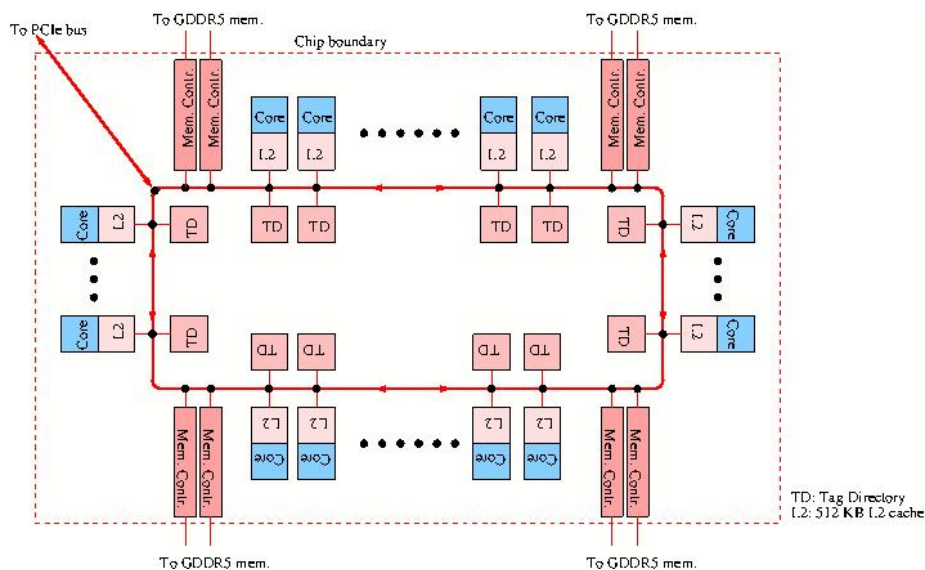


Рис. 1. Блок-схема сопроцесора Intel Xeon Phi

Анонсовано нове покоління Xeon Phi, яке випускатиметься у 2015 році по технології 14 нм з інтеграцією сопроцесора, оперативної пам'яті. Ця інтеграція дозволить значно підвищити пропускну здатність шини, яка поєднує сопроцесор з оперативною пам'яттю.

2.2 Графічні прискорювачі

Основним ринковим конкурентом прискорювачів Intel Xeon Phi стали прискорювачі NVidia K20, а незабаром будуть доступні й NVidia K40.

Багато суперкомп'ютерів нового списку рейтингу найбільш продуктивних систем Top500 використовують прискорювачі NVidia K20.

Серед них система Titan Cray XK7 (США), яка посідає другу сходинку з Linpack-продуктивністю 17590 ТФлопс та енергоспоживанням 8209 кВт.

Особливо широко прискорювачі NVidia K20 представлені у новому списку рейтингу Green500, в якому, зокрема 10 найбільш «зелених» систем використовують NVidia K20 (див. табл. 1).

Переваги NVidia K20 у підвищенні продуктивності та енергозбереженні дещо зменшують дві обставини:

- програмування графічних прискорювачів є одним з найбільш складних;
- по застосуванню нових норм техпроцесу NVidia тріхи відстає, що відповідно збільшує ціну, габарити, вагу, енерговитрати.

Компанія NVidia не має своїх технологічних ліній, як Intel, IBM тощо, та найчастіше домовляється про випуск чипів з тайванською TSMC. Компанії NVidia та AMD тепер переводять випуск своїх чипів на норму 28 нм після норми 40 нм.

На рис. 2 представлено спрощену блок-схему NVidia Tesla K20x.

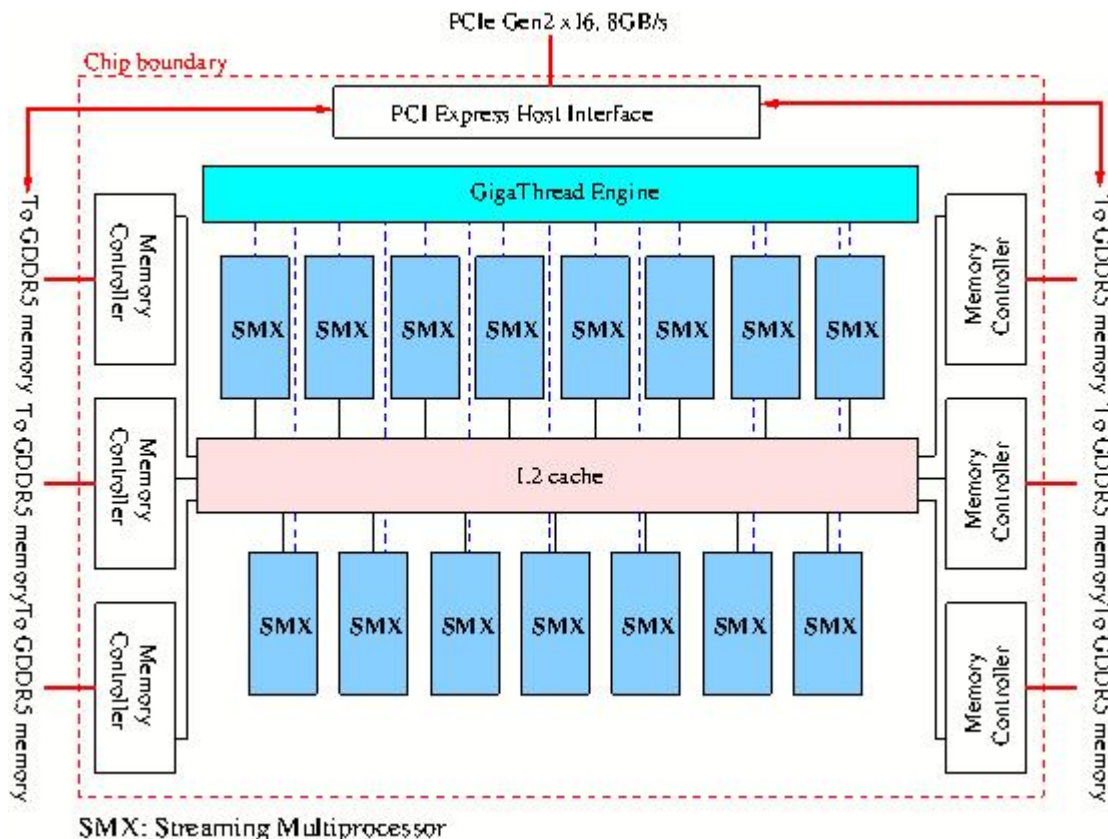


Рис. 2. Спрощена блок-схема NVidia Tesla K20x

Нещодавно анонсовано співробітництво компаній IBM та NVidia з випуску вузлів з об'єднанням нових процесорів IBM Power 8 та нових прискорювачів NVidia K40. Такі вузли планують застосувати у 2014-2015 рр. при створенні нового покоління багатопетафлопсних суперкомп'ютерів.

Новий 12-ядерний чип Power 8 у 2-3 рази швидший за чип Power 7 за рахунок переходу на техпроцес 22 нм, збільшення розміру кеша 12x95 МБ другого рівня та 96 МБ роздільного кеша третього рівня, тактової частоти до 4 ГГц, підвищення вдвоє швидкості схем вводу-виводу.

Новий NVidia K40 містить 2880 ядер CUDA, інтегровану оперативну пам'ять обсягом 8-16 ГБ з пропускною здатністю до 500 ГБ/с. Швидкодія Tesla K40 на 40% вища, ніж у Tesla K20, досягає продуктивності 4,29 ТФлопс для обчислень з одинарною точністю та 1,43 ТФлопс для обчислень з подвійною точністю. Використано інтерфейс PCIe третього покоління, який двічі продуктивніший за PCIe 2.

2.3 Реконфігуровні прискорювачі на FPGA

Більшість чипів FPGA з різними режимами реконфігурації випускають розробники Xilinx, Altera (США). Ці fabless-компанії, як і NVidia, не мають власних технологічних ліній та замовляють випуск розроблених чипів, наприклад, в тайванській компанії TSMC, Intel.

При розв'язанні спеціалізованих задач плати на FPGA дозволяють підвищувати продуктивність на 1-2 порядки у порівнянні з використанням засобів загального призначення.

Так, у 2013 році в Чилі запрацювала суперкомп'ютерна система Atacama Compact Array Correlator, створена компанією Fujitsu та Національною астрономічною лабораторією Японії, яка включає 35 серверів Fujitsu Primeguy та спеціалізований обчислювач з масивом блоків на 4096 FPGA, об'єднаних 1024 оптоволоконними зв'язками. Ця система обробляє 512 млрд. відліків радіосигналів за секунду, одержаних з 16 радіоантен, що відповідає продуктивності 120 ТФлопс.

Ефективні блоки HC-1, HC-2 на FPGA для розв'язання складних задач обробки даних біоінформатики виготовляє компанія Convey Computer. Її міні-суперкомп'ютер HC-2 включає ряд Xilinx Virtex 6 FPGA, ряд процесорів Intel Xeon E5 із загальним енергоспоживанням 1670 Вт. Зокрема, в новому списку рейтингу Graph500 система Convey HC-1 посіла 82-гу позицію з показником 6 GTers. Вона успішно розв'язує задачі в Інституті біоінформатики Вірджинії. Структуру HC-1 представлено на рис. 3.

В поточний список Graph500 включено ще 5 міні-суперкомп'ютерів Convey на позиціях 63-66 та 78. Система Celero на позиції №64 з показником 11,4 GTers належить Аргонській національній лабораторії, в якій працює IBM BlueGene/Q з показником 14328 GTers (позиція №2 нового списку Graph500).

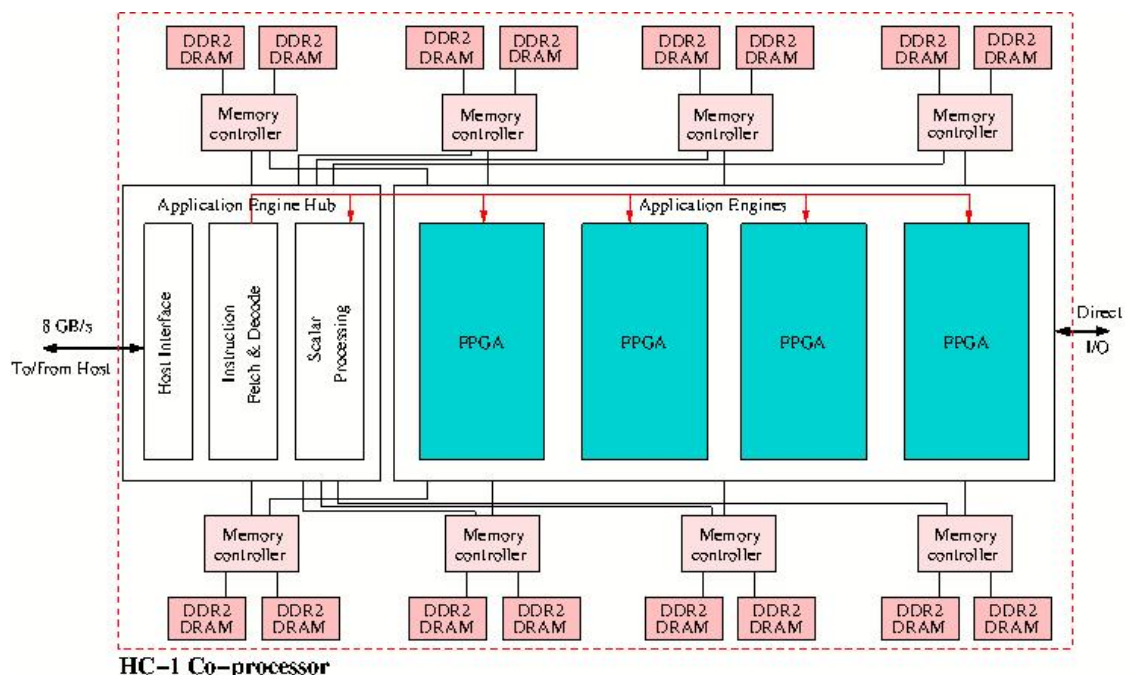


Рис. 3. Структура HC-1

2.4 Синергетичний процесор IBM PowerXCell 8i

У червні 2008 року IBM вперше у світі пододала петафлопсний бар'єр продуктивності суперкомп'ютерів (система IBM RoadRunner, 1,026 ПФлопс), застосувавши об'єднання 6562 двоядерних чипів AMD Opteron з 12240 дев'ятиядерними чипами IBM PowerXCell 8i (згідно списку №31 рейтингу Top500).

У 2014 році IBM перейшла на петафлопсні системи нового покоління на базі нового процесора IBM Power 8, поєднаного з новими графічними прискорювачами NVidia K40, відмовившись від застосування раніше анонсованого переходу на нові технорми процесора IBM PowerXCell 8i.

Навіть одна проведена IBM модернізація архітектури з переходом від норм 90 нм на норми 65 нм підвищила у п'ять разів продуктивність IBM PowerXCell 8i, знизила енерговитрати, значно прискорила обмін з системною пам'яттю.

Архітектура PowerXCell 8i представлена на рис. 4.

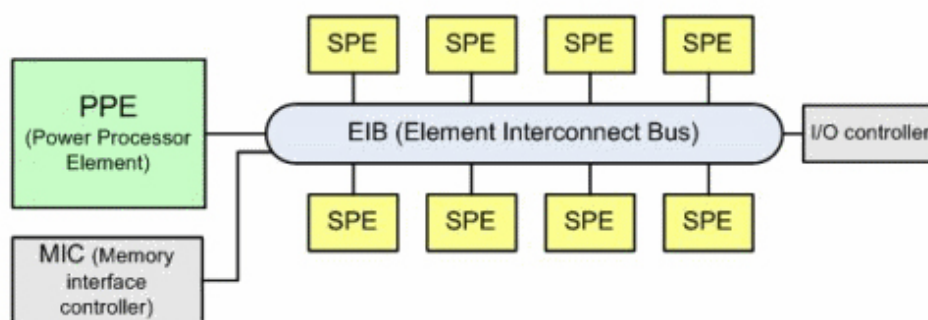


Рис. 4. 9-ти ядерний Cell

Дев'ятиядерний Cell-прискорювач є мікросхемою з 64-бітовим процесорним елементом PPE, восьми спеціалізованими сопроцесорами SPE на базі SIMD архітектури, зі спеціалізованою швидкісною шиною EIB, контролерами пам'яті та вводу-виводу. PPE розподіляє задачі на SPE, контролює системні операції вводу-виводу, при цьому SPE виконують математичні операції.

У PowerXCell 8i значно прискорено обмін з системною пам'яттю за рахунок введення в кожний SPE до 256 кб локальної пам'яті зі швидкісним доступом. З неї дані можуть переміщуватись в основну пам'ять та назад, навіть з випередженням, без зупинки обчислювального процесу в SPE. Всі SPE та PPE мають прискорений доступ до основної пам'яті через контролер сумісної пам'яті та внутрішню магістраль.

Основним інструментом програмування XCell є IBM SDK for Multicore Acceleration, у складі якого компілятори, відладчики, бібліотеки BLAS, FFT, засоби генерації випадкових чисел тощо. IBM XCell має чимало спільних рис з процесором IBM Power BQC, який застосовувався у складі суперкомп'ютера Sequoia.

IBM розробила блейд сервер QS22 на двох процесорах IBM PowerXCell 8i, який забезпечує, зокрема, високу ефективність розв'язання задач для нафтогазової індустрії, фінансової галузі тощо. У кожному процесорі PowerXCell 8i знаходиться елемент ядра Power (PPE) та вісім синергетичних процесорів (SPE), оптимізованих для виконання операцій з плаваючою точкою (див. рис. 4). Доступні посібники програмістів для використання PowerXCell (PXC 8i HIG v1.2).

Продовжує використовувати чипи IBM PowerXCell 8i і компанія «Т-Платформи», розробник найшвидшого суперкомп'ютера Росії «Ломоносов». У списку №42 Top500 «Ломоносов» посідає 37-ме місце, використовуючи 6 різновидів чипів, серед них 60 чипів IBM PowerXCell 8i.

Компанія «Т-Платформи» розробила лінійку продуктів PeakCell на базі чипів IBM PowerXCell 8i, які впроваджує в ряді країн. «Т-Платформи» створила новий дистрибутив «Т-Linux» для «революційної» синергетичної архітектури PowerXCell 8i [8].

Для робочих місць програмістів «Т-Платформи» розробила міні-кластер PeakCell GPS з піковою продуктивністю 8,19 ТФлопс на чотирьох процесорах IBM PowerXCell 8i з підключенням оперативної пам'яті

до 64 ГБ, до чотирьох жорстких дисків. Також пропонується малогабаритний сервер, робоча станція на двох PowerXCell 8i [8].

3 Висновки

1. Список №42 рейтингу Top500 знову очолює китайська система Tianhe-2 [9] з незмінним поки показником продуктивності 33,86 ПФлопс, збільшилась кількість петафлопсних систем. У провідній десятці шість систем використовують тільки вузли на багатоядерних процесорах, у двох гібридних системах використані додаткові прискорювачі Intel Xeon Phi, в двох інших гібридних системах – графічні прискорювачі NVidia K20.

2. В новому списку «зеленого» рейтингу Green500 перша десятка систем використовує прискорювачі NVidia, найвищий показник енергозбереження має японська система Tsubame KFC (4,5 ГФлопс/Вт).

3. Зростає кількість систем, номінованих у список рейтингу Graph500, який оцінює рівень придатності систем для розв'язання задач з високою інтенсивністю обробки даних. Системи IBM BlueGene/Q з різною кількістю вузлів посідають три перших позиції, перша з них Sequoia забезпечує показник 15363 GTeps. В новий список на позиціях 63-66, 78, 82 включені невеликі системи на базі реконфігурованих прискорювачів компанії Convey Computer. Наприклад, Аргонська національна лабораторія використовує для графових задач великий суперкомп'ютер Mira на 49152 вузла з показником 14328 GTeps та автономний прискорювач Celero на одному вузлі з 8 ядрами з показником 11,448 GTeps.

4. Модернізований кластер СКІТ-4 Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України включає 28 вузлів, кожен з процесором Intel Xeon E5-2670 та 36 прискорювачів NVidia Tesla M2075, забезпечує реальну продуктивність 18 ТФлопс при рівні енергоспоживання 25 кВт. Ці показники достатні для включення у рейтинг Top50 країн СНД та у першу половину списку «зеленого» рейтингу Green500 з рівнем 0,72 ГФлопс/Вт. Поки оцінки СКІТ-4 на придатність для розв'язання графових задач не зроблені.

5. СКІТ-4 модернізується головним чином для розв'язування багатопрофільних задач на базі Intel E5 та NVidia Tesla. Значним резервом модернізації для розв'язування ряду пріоритетних задач залишається введення вузлів на IBM PowerXCell 8i, використовуючи багаторічний досвід російської системи «Ломоносов». Гнучку адаптацію прискорення розв'язування окремих пріоритетних задач, крім прискорювачів PowerXCell 8i, можуть забезпечити одновузлові реконфігуровні прискорювачі Convey Computer HC-2.

Література

- [1] Рейтинг Top500 <http://www.top500.org/>
- [2] Рейтинг Green500 <http://www.green500.org/>
- [3] Рейтинг Graph500 <http://www.graph500.org/>
- [4] <http://www.supercomputer.com.ua/>
- [5] <http://www.euroben.nl/reports/web12/xeon-phi.php>
- [6] <http://www.euroben.nl/reports/web12/nvidia.php>
- [7] <http://www.euroben.nl/reports/web12/convey.php>
- [8] <http://www.t-platforms.ru/>
- [9] Андрюшин Д., Горбунов В., Эйсымонт Л. Перспективные особенности Tianhe-2 // Открытые системы, 08/2013.