

Для цитирования: Ким А. К., Перекатов В. И., Фельдман В. М. На пути к российской экзасистеме: планы разработчиков аппаратно-программной платформы «Эльбрус» по созданию суперкомпьютера экзафлопсной производительности // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 2. С. 6–13. УДК 004.382.7 (75)

А. К. Ким^{1, 2}, В. И. Перекатов^{1, 2, 3}, В. М. Фельдман^{1, 2, 3}

¹ ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», ² АО «МЦСТ», ³ МФТИ (ГУ)

НА ПУТИ К РОССИЙСКОЙ ЭКЗАСИСТЕМЕ: ПЛАНЫ РАЗРАБОТЧИКОВ АППАРАТНО- ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭЛЬБРУС» ПО СОЗДАНИЮ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА ЭКЗАФЛОПСНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Обсуждаются вопросы построения суперкомпьютеров экзафлопсной производительности на аппаратно-программной платформе «Эльбрус». Рассматриваются аспекты выбора микропроцессоров для получения высокого показателя соотношения производительности и потребляемой мощности. Оценивается эффективность использования микропроцессоров с различными архитектурами для получения высокой производительности на реальных задачах. Эти вопросы сегодня являются актуальными в контексте задачи достижения лидерства в высокотехнологичном производстве, на которое опирается цифровая экономика. Рассматриваются аспекты выбора архитектуры микропроцессоров для получения высокого показателя соотношения производительности и потребляемой мощности. Отмечено, что графические и векторные процессоры, обеспечивающие получение высоких значений пиковой производительности на синтетических тестах, проигрывают универсальным микропроцессорам на тесте HPCG, который более разносторонним образом тестирует производительность аппаратуры. Оценивается эффективность использования микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» для получения высокой производительности на реальных задачах. Показано, что микропроцессоры «Эльбрус» имеют большой потенциал для увеличения производительности.

Ключевые слова: архитектура микропроцессора, суперкомпьютер, производительность, надежность, компилятор, потребляемая мощность.

Введение

Эта статья продолжает тему построения высокопроизводительных вычислительных систем на отечественной аппаратно-программной платформе «Эльбрус», рассмотрение которой было начато в [1].

Мир движется к созданию экзафлопсной вычислительной системы. Прогнозируется создание таких систем к 2020 году в США, Китае, Японии и Европе. Цели, реализуемые при создании экзасистем, были обозначены в 2010 году в программе UHPC, заданной агентством DARPA, и с тех пор многократно цитируются, в том числе и в российских изданиях [2]. В первую очередь это:

- энергоэффективность – минимизация удельного расхода энергии, требуемой для выполнения вычислений;
- программируемость – возможность выразить нужные алгоритмы на языках программирования, удобство создания человеком масштабных

программ, способ легко задействовать все доступные вычислительные ресурсы для решения задачи, при этом абстрагируясь от особенностей аппаратуры;

- надежность – способность системы обеспечивать корректное выполнение задачи при появлении программных и аппаратных ошибок, в том числе в условиях информационных атак.

В табл. 1 показаны требуемые характеристики, заданные для экзасистем программой UHPC. Обращает на себя внимание значение коэффициента энергоэффективности – 50 Гфлопс/Вт, в то время как коэффициент, достигнутый в настоящее время суперкомпьютером Sunway TaihuLight System [3], занимающим первое место в списке Top500, имеет значение около 6 при пиковой производительности 124 Пфлопс. Отсюда следует, что за ближайшие три года необходимо на порядок увеличить и производительность суперкомпьютера, и его энергоэффективность.

Таблица 1. Характеристики суперкомпьютера экзафлопсной производительности

| Целевые требования | Целевые значения |
|--|------------------------------|
| Системная энергоэффективность | 50 Гфлопс/Вт |
| Производительность (на узел) | 10 Тфлопс |
| Объем памяти (на узел) | 5 ТБ |
| Пропускная способность памяти (на узел) | 4 ТБ/с |
| Число сообщений в секунду (на узел) | 500 млн (MPI), 2 млрд (PGAS) |
| Среднее время наработки до ошибки приложения | 7 дней |

Пути создания компьютерных систем экзафлопсной производительности были сформулированы в июле 2015 года в госпрограмме США NSCI (Национальная суперкомпьютерная инициатива) [4]. Помимо программы NSCI существуют национальные программы в Японии (K computers), в Китае [5], в Индии (National Supercomputing mission) и в Европе.

Создание экзафлопсных систем позволит поставившим данную цель странам достичь прорывных достижений во многих направлениях науки, техники, технологии, в создании новых материалов. Это в первую очередь стратегический потенциал для достижения лидерства в высокотехнологичном производстве, на которое опирается их экономика. В ход идут все возможные меры, чтобы не пропустить и опередить конкурентов. Например, США ввели санкции на поставку в Китай универсальных высокопроизводительных микропроцессоров, на что китайские разработчики ответили созданием собственного микропроцессора, заложенного в программе 863, на его базе построили компьютер Sunway TaihuLight System и обещают к 2020 году создать экзасистему. Японцы, имея в наличии супер-ЭВМ, построенную на базе собственного микропроцессора с архитектурой SPARC fx VIII, купили фирму APM с целью создания системы экзафлопсной производительности.

В России до настоящего времени нет программы создания суперкомпьютеров с использованием отечественных аппаратно-программных платформ. Это очевидный стратегический просчет. В то же время планы по развитию аппаратно-программной платформы «Эльбрус» показывают, что у нашей страны есть возможность к 2023 году создать отечественную супер-ЭВМ, которая по реальной производительности будет сравнима с экзасистемами.

Микропроцессоры «Эльбрус» для систем экзафлопсной производительности

В качестве базового элемента этих проектов рассматривается универсальный микропроцессор «Эльбрус 16СВ», планируемый к выпуску

в 2021 году. Реализуемая в нем шестая версия архитектуры «Эльбрус» предполагает следующие технологические нововведения:

- Система на одном кристалле, включающая контроллеры периферийных устройств (т.е. «южный мост» вносится в микропроцессор).
- Аппаратная поддержка виртуализации, в том числе в кодах Intel x86–64.
- Масштабируемая векторизация до 48 флопс за такт.
- Аппаратная поддержка динамической оптимизации (рост производительности ядра).

Характеристики микропроцессора «Эльбрус 16СВ»:

- Производительность – до 1500/750 Гфлопс (sp/dp).
- Количество ядер – 16.
- Тактовая частота – 2 ГГц.
- Объем неинклюзивной кэш-памяти (L2+L3) – 40 ГБ.
- ОЗУ – DDR4, четыре канала (темп – до 102 ГБ/с).
- Система на кристалле включает в себя следующие интерфейсы: PCIe 3.0, 1/10 Gb Ethernet, SATA 3.0, USB3.0 и др.
- Возможность объединения до четырех микропроцессоров на общей памяти.
- Темп межпроцессорного обмена – до 48 ГБ/с.
- Потребляемая мощность – около 100 Вт.
- Технология – 16 нм.
- Количество транзисторов – ~6 млрд.
- Площадь кристалла – ~400 мм².

Сроки завершения: ОКР – 2021 год, средства вычислительной техники – с 2022 года.

В этой версии будут в полной мере использованы важнейшие технологии, созданные и внедренные при разработке архитектуры «Эльбрус» – высокая производительность, аппаратно-программная совместимость с Intel x88, x86–64, возможность защищенного исполнения программ.

Для достижения высокой производительности аппаратура предоставляет компилятору параллельные

ресурсы в виде широкой команды (возможность запуска до 25 скалярных и до 48 вещественных операций за такт на ядро начиная с пятого поколения архитектуры), многоядерность, многопроцессорность, а также специальные средства поддержки оптимизаций. Оптимизирующий компилятор использует их для распараллеливания программ на уровне операций (в том числе упакованных – векторных), потоков управления и параллельных процессов.

Энергоэффективность архитектуры обеспечивается за счет того, что значительная часть работы по распараллеливанию программы переносится в компилятор, что позволяет избавиться от энергетически затратного механизма динамического распараллеливания операций аппаратурой управления, используемого во всех архитектурах с суперскалярной микроархитектурой.

Новые технологии, закладываемые в микропроцессоре «Эльбрус-16СВ», включают виртуализацию ОС и двоичной трансляции; поддержка технологий SDN и SDS позволит реализовать все, что сегодня строится на микропроцессорах фирмы Intel, – виртуализованные центры обработки данных (в том числе с гостевыми ОС для Intel), системы хранения

данных, системы программной коммутации данных, супер-ЭВМ.

Приведенные в табл. 2 характеристики позволяют рассчитывать, что микропроцессор «Эльбрус-16СВ» будет по основным показателям сопоставим с высокопроизводительными микропроцессорами фирмы Intel Xeon E7–4850 v4 (Broadwell) и Xeon Platinum 8153 (Skylake), выпущенными во втором и третьем кварталах 2017 года.

В дополнение к этим данным следует указать возможность дополнительного повышения производительности «Эльбрус-16СВ» за счет оптимизирующего компилятора. При измерениях, проведенных на пакете SPEC CPU2006 с использованием текущей версии компилятора, логическая скорость процессора «Эльбрус-8С» (1,3 ГГц, 2015 года выпуска) на 17 и 30% превзошла показатели Intel Sandy Bridge (3,76 ГГц, компилятор GCC, 2014 года выпуска) на целочисленных и вещественных задачах соответственно (табл. 3).

Реальный прирост производительности за счет оптимизаций компилятора начиная с 2007 года составил 1,6 раза для целочисленных и 2,6 раза для вещественных задач (рис. 1).

Таблица 2. Характеристики микропроцессоров Xeon и «Эльбрус-16СВ»

| Параметры | Intel Xeon E7–4850 v4 | Intel Xeon Platinum 8153 | «Эльбрус-16СВ» |
|--|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Микроархитектура | Broadwell | Skylake | «Эльбрус» v6 |
| Тактовая частота (turbo), ГГц | 2,8 | 2,0 (2,8) | 2,0 |
| Пиковая производительность, sp/dp (turbo), Гфлопс | 1075/538 | 1200/600 (1600/800) | 1500/750 |
| Число ядер | 16 | 16(28) | 16 |
| Объем кэша, МБ | 40 | 38 | Более 32 |
| Количество каналов памяти | 4 | 6 | Более 4 |
| Пропускная способность памяти, ГБ/с | 85 | 119 | Более 100 |
| Многопроцессорность | До 4 | До 8 | До 4 |
| Технологический процесс, нм | 14 | 14 | 16 |
| Потребляемая мощность, Вт | 115 | 125 | 100 |
| Соотношение «производительность/мощность», Гфлопс/Вт | 4,7 | 4,8 (6,4) | 7,5 |
| Год выпуска | 2017 | 2017 | 2021 |

Таблица 3. Сравнение микропроцессоров Intel Sandy Bridge и «Эльбрус-8С» на пакетах SPEC CPU2006

| Тактовая частота, пакет | Производительность на ядро | | Пересчет на 1 ГГц | |
|-------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | «Эльбрус-8С» | Intel Sandy Bridge | «Эльбрус-8С» | Intel Sandy Bridge |
| Тактовая частота, ГГц | 1,3 | 3,76 | 1,0 | 1,0 |
| SPEC CPU2006int | 13,03 | 32,18 | 10,02 | 8,56 |
| SPEC CPU2006fp | 17,02 | 37,68 | 13,09 | 10,02 |



Рисунок 1. Зависимость производительности микропроцессоров «Эльбрус» от оптимизаций компилятора

Анализ результатов ведущейся сейчас работы по развитию компилятора показывает, что производительность микропроцессора «Эльбрус-16СВ» на целочисленных задачах вырастет на 20%, а на вещественных – на 35%. Кроме того, оптимизация важнейших библиотек с использованием Ассемблера увеличит их производительность в 3–5 раз, что даст дополнительный прирост производительности прикладных программ на платформе «Эльбрус».

Учитывая, что прогноз разработчиков фирмы Intel оценивает рост однопоточной логической скорости их будущих микропроцессоров единицами процентов, микропроцессоры «Эльбрус-16СВ» будут вполне конкурентны к моменту их выпуска в 2021 году.

В последние годы скорость развития технологии заметно снизилась. Более того, падение удельной стоимости одного транзистора остановилось, а с учетом затрат на подготовку производства сейчас налицо ее прирост начиная с размеров 28 нм (рис. 2).

В связи с этим активизировался поиск новых архитектурных подходов, которые могли бы без улучшения технологии дать лучшую производительность, прежде всего однопоточную. Примеры таких проектов: NVIDIA Denver, Soft Machines, The Mill. Можно отметить, что во всех этих работах прослеживаются связи с проектом «Эльбрус».

В последние годы оживленно обсуждается возможность использования микропроцессоров с архитектурой ARM, хорошо себя проявляющих с точки зрения энергоэффективности в мобильных применениях, для построения серверов и суперкомпьютеров. Однако оказалось, что на реальных серверных нагрузках показатели ARM в части энергоэффективности значительно уступают Intel Xeon [6].

Суперкомпьютер на микропроцессорах «Эльбрус-16СВ» с производительностью до 100 Пфлопс

Естественен вопрос – на каких микропроцессорах будут строиться суперкомпьютеры

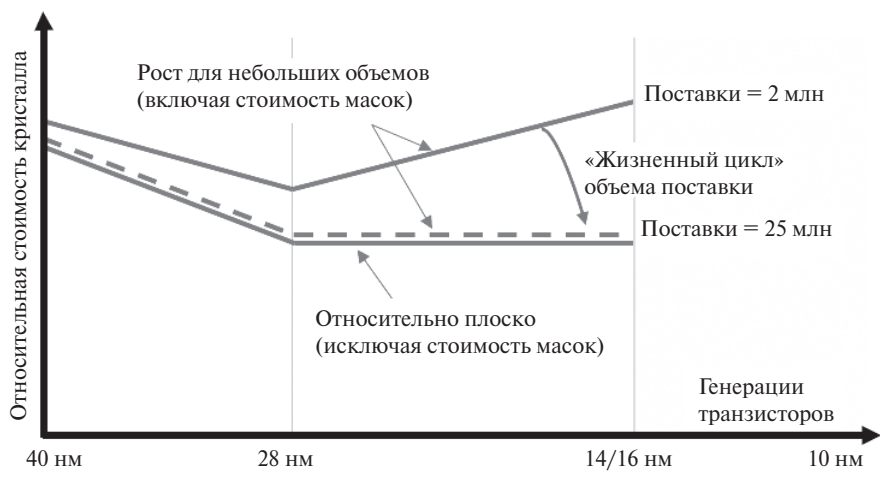


Рисунок 2. Удельная стоимость транзистора в зависимости от технологии

эксафлопсной производительности? Практика создания современных суперкомпьютеров не дает однозначного ответа. Если посмотреть на лидирующие позиции в списке Top500, то можно отметить, что во всех этих компьютерах наряду с универсальными микропроцессорами, в частности Intel Xeon, используются ускорители, например Intel Phi или NVIDIA Tesla, которые имеют заметно большую производительность на вычислениях с плавающей точкой.

Существуют экспертные мнения, что в ближайшее десятилетие будет наблюдаться миграция архитектуры микропроцессоров в сторону гетерогенных структур, в которых универсальные займут лишь небольшой процент площади кристалла, а все остальное будет отдано ускорителям [7].

В то же время разрабатываются микропроцессоры, в той или иной степени поддерживающие подход, который называется MIC (Many Integrated

Core Architecture). Они содержат матрицу процессорных «плиток» (tile), каждая из которых представляет собой универсальный, дополненный возможностью векторной обработки процессор с малым потреблением энергии. В частности, таким образом построен микропроцессор Intel Xeon Phi серии 7290 с ядрами Atom [8] и китайский Phytium FT-2000/64 с ядрами ARMv8 [9]. Не совсем идентичный, но похожий подход был реализован в микропроцессоре SW26010, на котором построен мировой суперкомпьютерный лидер Sunway TaihuLight. Там ядра имеют систему команд, напоминающую DEC Alpha [10]. В [8] и [10] приведены технические характеристики упомянутых микропроцессоров в сравнении друг с другом и с графическими микропроцессорами фирмы NVIDIA (табл. 4, 5).

Анализируя приведенные в таблицах данные, можно еще раз констатировать два факта:

Таблица 4. Сравнение технических характеристик микропроцессоров NVIDIA и Xeon Phi 7290

| Параметры | NVIDIA Pascal P100 | Intel Xeon Phi Knights Corner 7120P | Intel Xeon Phi Knights Landing 7290 |
|--|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Число ядер | SM:56 | 61 | 72 |
| Число потоковых ядер | CUDA FP64–1792 | Нитей – 244 | Нитей – 288 |
| Базовая частота, ГГц | 1,33 | 1,24 | 1,5 |
| Память, ГБ | 16 HBM2 | 16 GDDR5 | 16 MCDRAM/384 DDR4 |
| Пропускная способность памяти, ГБ/с | 720 | 352 | 437/115 |
| Пиковая производительность (sp/dp), Тфлопс | 4,7/9,3 | 1,2/2,4 | 3,0/6+* |
| Энергопотребление, Вт | 300 | 300 | 245 |

* Пиковая производительность достигается при работе с AVX, при этом базовая частота понижается на 200 МГц, что связано с повышением силы тока при выполнении векторных команд.

Таблица 5. Сравнение технических характеристик микропроцессоров Xeon Phi 7290 и SW26010

| Параметры | Xeon Phi 7290 (KNL) | ShenWei SW26010 |
|--|---|---|
| Число ядер | 72 | 260 |
| Тактовая частота, ГГц | 1,5 | 1,45 |
| DP-результатов за такт | 32 | 16 в MPE, 8 в CPE |
| Пиковая производительность, Гфлопс | 2995 | 3062 |
| Производительность на тесте Linpack, Гфлопс/Вт | 5,0 ¹ | 6,1 ² |
| Высокоскоростная память | MCDRAM 16 ГБ, 490 ГБ/с ³ | Нет (но есть свехоперативная) |
| Главная память | DDR4/2400, до 384 ГБ, 90 ГБ/с ³ | DDR3/2133, 32 ГБ ⁴ , 136 ГБ/с |
| Арифметическая интенсивность, флопс/байт | 6,1 | 22,4 |

¹ На суперкомпьютере Oakforest-PACS с серверами Fujitsu PRIMERGY. CX1640 M1 с Xeon Phi 7250. ² На суперкомпьютере Sunway TaihuLight. ³ Пропускная способность в тесте stream/triad. ⁴ Емкость в узле Sunway TaihuLight, пиковая пропускная способность.

1. Производительность этих микропроцессоров в 3–4 раза выше, чем у самых «топовых» универсальных процессоров.
2. Они имеют более высокую энергоэффективность. Однако это не дает основания утверждать, что все так однозначно в выборе микропроцессоров для будущих экзасистем.

Основной аргумент критиков использования графических и векторных микропроцессоров – это трудность программирования для реальных задач. Применительно к микропроцессорам с архитектурой MIC этот показатель несколько лучше, но все же несравним с универсальными микропроцессорами.

С 1993 года общепризнанным методом оценки производительности суперкомпьютеров является программа «Высокопроизводительный Linpack» (High Performance Linpack – HPL). Однако производительность суперкомпьютеров на реальных приложениях сильно отличается от их производительности на задаче HPL. Если на задаче HPL удается достичь от 50 до 95% пиковой производительности суперкомпьютера, то на реальных приложениях – от 3 до 5% (иногда и еще меньше). Поэтому в 2013 году Джек Донгарра предложил другую задачу для оценки производительности суперкомпьютеров – HPCG (High Performance Conjugate Gradient) [11], которая гораздо ближе к реальным задачам, требующим сбалансированности вычислительных возможностей с пропускной способностью памяти и скоростью работы коммуникационной среды. Тест HPCG использует разреженные матрицы и более разносторонним образом тестирует производительность аппаратуры.

Из сравнения на задачах HPL и HPCG первых 10 суперкомпьютеров (табл. 6), обозначенных в списке Top500, следует, что японский суперкомпьютер K computer, реализованный на универсальных микропроцессорах, а также другие построенные на них системы показывают наилучшие результаты относительно своих пиковых возможностей.

Микропроцессоры линии «Эльбрус», в частности восьмиядерный «Эльбрус-8С», показывают на задаче HPL 85% пиковой производительности, а на задаче HPCG – более 6%. На процессоре «Эльбрус-16СВ» эти характеристики будут значительно улучшены.

Рассмотрим теперь перспективу архитектур RISC и CISC в целом с точки зрения роста однопоточной производительности.

Если оценивать микропроцессоры фирмы Intel, то видно, что однопоточная производительность в последние годы растет очень слабо. Архитектура RISC господствует на рынке почти 25 лет, но ее развитие свелось к движению в сторону суперскалярности и внеочередного исполнения (out-of-order execution). И хотя за 25 лет общая производительность за счет роста логической скорости увеличилась практически десятикратно, в течение последних 10 лет логическая скорость процессоров Intel выросла всего в 1,5 раза.

Дальнейший вклад в рост производительности вносит многоядерность. Последующее повышение производительности на ядре за счет технологии даже не прогнозируется. Ожидается, что к 2020 году ядро микропроцессора Intel будет производительнее на единицы процентов, а интегральная производительность будет расти за счет многоядерности и гетерогенности, в частности, от добавления программируемой логики.

Таблица 6. Производительность суперкомпьютеров на задачах HPL и HPCG

| Top10 HPL (июнь 2017 г.) | | | | | | | Top10 HPCG | | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------|---------|------|-------|----------|------------|---------|-------|
| № HPL | Суперкомпьютер | Ядра, млн | Пффлопс | Пик | % пик | Гфлпс/Вт | № HPCG | Тффлопс | % пик |
| 1 | SW TaihuLight, China | 10,5 | 93,0 | 125 | 74 | 6,0 | 3 | 480 | 0,4 |
| 2 | Tianhe-2, China, Xeon Phi | 3,1 | 33,8 | 54,9 | 61 | 1,9 | 2 | 580 | 1,1 |
| 3 | PizDaint, Swiss, Xeon+NVIDIA | 0,21 | 19,6 | 25,3 | 77 | 10,4 | 4 | 470 | 1,8 |
| 4 | Titan, USA, Opteron+NVIDIA | 0,56 | 17,6 | 27,1 | 65 | 2,1 | 8 | 322 | 1,2 |
| 5 | Sequoia, USA, BlueGene/Q | 1,57 | 17,2 | 20,1 | 85 | 2,2 | 7 | 330 | 1,6 |
| 6 | Cori, USA, Xeon Phi | 0,62 | 14,0 | 27,9 | 50 | 3,6 | 6 | 355 | 1,3 |
| 7 | Oakforest-PACT, Japan, Xeon Phi | 0,56 | 13,5 | 24,9 | 54 | 5,0 | 5 | 385 | 1,5 |
| 8 | K computer, Japan, SPARC64 viii-fx | 0,70 | 10,5 | 11,3 | 93 | 0,8 | 1 | 603 | 5,3 |
| 9 | Mira, USA, BlueGene/Q | 0,79 | 8,6 | 10,0 | 86 | 2,2 | 11 | 167 | 1,7 |
| 10 | Trinity, USA, Xeon E5 | 0,30 | 8,1 | 11,0 | 74 | 1,9 | 9 | 183 | 1,6 |

Таблица 7. Ряд супер-ЭВМ на микропроцессорах «Эльбрус»

| Суперкомпьютер | Год выпуска | МП, год выпуска | Производительность МП, (Гфлопс, dp)/ кол-во ядер/МП/серверов/шкафов | Коммуникационная сеть* |
|----------------------------|-------------|----------------------|---|------------------------|
| Супер-ЭВМ-1П, 1 Пфлопс | 2019 | «Эльбрус-8СВ», 2018 | 280/32000/4000/1000/25 | СМПО-10С |
| Супер-ЭВМ-10П, 10 Пфлопс | 2022 | «Эльбрус-16СВ», 2021 | 750/220000/14000/3500/24 | СМПО-100П |
| Супер-ЭВМ-100П, 100 Пфлопс | 2023 | «Эльбрус-16СВ», 2021 | 750/2200000/140000/35000/240 | СМПО-100П |

* Коммуникационная сеть, разработанная во ВНИИЭФ (г. Арзамас).

Если говорить о потенциале микропроцессоров линии «Эльбрус», то он значительно выше. Рост однопоточной производительности планируется за счет увеличения числа выполняемых за такт операций, в т.ч. и векторных, за счет оптимизирующего компилятора и библиотек, повышения тактовой частоты и увеличения числа ядер.

На базе разрабатываемых микропроцессоров «Эльбрус» планируется создание ряда супер-ЭВМ петафлопсной производительности (табл. 7).

Стопетафлопсный суперкомпьютер на микропроцессорах «Эльбрус-16СВ» сможет на реальных задачах показывать производительность, которая сравнима с супер-ЭВМ экзафлопсного диапазона, построенными с использованием графических и векторных микропроцессоров. При этом показатели энергоэффективности, программируемости и надежности будут обеспечиваться на высоком уровне в силу тех качеств, которые присущи архитектуре «Эльбрус». Дальнейшие планы по освоению пиковой экзафлопсной производительности

связаны с появлением в 2025 году 32-ядерного микропроцессора «Эльбрус».

Заключение

Оценки, сделанные разработчиками аппаратно-программной платформы «Эльбрус» и отраженные в данной статье, доказывают возможность использования универсальных микропроцессоров с архитектурой широкого командного слова для построения в будущем суперкомпьютеров экзафлопсной производительности. При этом не требуется использование дополнительных ускорителей в виде графических или векторных процессоров, которые показывают хорошие результаты для тестов, оценивающих пиковую производительность, но проигрывают на тестах, приближенных к реальным задачам.

Микропроцессоры «Эльбрус» имеют большой потенциал для наращивания производительности путем совершенствования оптимизирующего компилятора и математических библиотек, а также за счет повышения тактовой частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким А. К., Перекатов В. И., Фельдман В. М. Центры обработки данных на базе серверов «Эльбрус» // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 3. С. 6–12.
2. Эйсымонт Л. К. DARPA HPC – дорога к экзафлопсам // Открытые системы. СУБД. 2010. № 9. С. 5–6.
3. Dongarra J. Report on the Sunway TaihuLight System. University of Tennessee Department of Electrical Engineering and Computer Science Tech. Report UT-EECS-16-742. June 20, 2016.
4. Блохина М. Стратегическая компьютерная инициатива [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://polit.ru/article/2015/08/02/supercomputer/> (дата обращения: 06.11.2017)
5. Волков Д. Стратегические ИТ: китайский сюрприз 863 // Открытые системы. СУБД. 2010. № 3. С. 32–37.
6. Valsan L. A look beyond x86: OpenPOWER & AArch64. HEPiX Spring 2015 Work-shop, 25 Mar, 2015. Available at: http://lvalsan.web.cern.ch/lvalsan/processor_benchmarking/presentation/#/title (accessed 06.11.2017)
7. Gwennap L. Microprocessor report turn 30. Technology advances rapidly over the decades. Microprocessor report. 28.11.2017.
8. Кузьминский М. Китайский процессорно-суперкомпьютерный путь // Открытые системы. СУБД. 2017. № 1. С. 30–32.
9. Phytium from China Unveils 64-core ARM HPC Processor. 2016. Available at: <https://insidehpc.com/2016/08/phytium-china-unveils-64-core-arm-hpc-processor/> (accessed 06.11.2017)
10. Кузьминский М. Из ускорителей в процессоры // Открытые системы. СУБД. 2016. № 3. С. 26–28.
11. Dongarra J., Heroux M., Luszczek P. High-performance conjugate-gradient benchmark: A new metric for ranking high-performance computing systems. The International Journal of High Performance Computing Applications, 2016, vol. 30 (1), pp. 3–10.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ким Александр Киирович, к.т.н., генеральный директор, ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», АО «МЦСТ», 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 24, тел.: 8 (499) 135-33-21, e-mail: kim_a@ineum.ru.

Перекатов Валерий Иванович, д.т.н., профессор, зам. генерального директора, ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», АО «МЦСТ», профессор МФТИ (ГУ), 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 24, тел.: 8 (499) 135-05-28, e-mail: perekatov_v@ineum.ru.

Фельдман Владимир Марткович, д.т.н., старший научный сотрудник, зам. генерального директора, ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», АО «МЦСТ», профессор МФТИ (ГУ), 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 24, тел.: 8 (499) 135-61-56, e-mail: feldman_v@ineum.ru.

For citation: Kim A.K., Perekatov V.I., Feldman V.M. On the way to russian exasistemes: plans of the Elbrus hardware-software platform developers on creation of an exaflops performance supercomputer. Voprosy radioelektroniki, 2018, no. 2, pp. 6–13.

A.K. Kim, V.I. Perekatov, V.M. Feldman

ON THE WAY TO RUSSIAN EXASISTEMES: PLANS OF THE ELBRUS HARDWARE-SOFTWARE PLATFORM DEVELOPERS ON CREATION OF AN EXAFLOPS PERFORMANCE SUPERCOMPUTER

This article analyzes problems and possibilities concerning exaflops supercomputers building on the Elbrus hardware-software platform. These issues are relevant in the context of the task of achieving leadership in high-tech production, on which the digital economy based. Discusses aspects of choice architecture microprocessors for getting a high ratio of performance and power consumption. Noted that the graphics and vector processors that produce high peak performance on synthetic tests lose universal microprocessors on HPCG test, which is more versatile way tests the performance of equipment. Evaluates the effectiveness of using microprocessor Elbrus architecture to generate high performance on real tasks. It is shown that Elbrus microprocessors have great potential to improve performance.

Keywords: microprocessor architecture, supercomputer, compiler, performance, reliability, power consumption.

REFERENCES

1. Kim A.K., Perekatov V.I., Feldman V.M. Data centers based on Elbrus servers. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 3, pp. 6–12 (In Russian).
2. Eisymont L. K. DARPA UHPC – road to ekzaflops. *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2010, no. 9, pp. 5–6 (In Russian).
3. Dongarra J. Report on the Sunway TaihuLight System. *University of Tennessee Department of Electrical Engineering and Computer Science Tech. Report UT-EECS-16-742*, June 20, 2016.
4. Blokhina M. [Strategic computer initiative. 2015] (In Russian). Available at: <http://polit.ru/article/2015/08/02/supercomputer/> (accessed 06.11.2017)
5. Volkov D. Strategic it: Chinese surprise 863. *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2010, no. 3, pp. 32–37 (In Russian).
6. Valsan L. [A look beyond x86: OpenPOWER & AArch64]. HEPiX Spring 2015 Work-shop, 25 Mar, 2015. Available at: http://lvalsan.web.cern.ch/lvalsan/processor_benchmarking/presentation/#/title (accessed 06.11.2017)
7. Gwennap L. Microprocessor report turn 30. Technology advances rapidly over the decades. *Microprocessor report*. 28.11.2017.
8. Kuzminskiy M. Chinese processor-supercomputer way. *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2017, no. 1, pp. 30–32 (In Russian).
9. [Phytium from China Unveils 64-core ARM HPC Processor]. 2016. Available at: <https://insidehpc.com/2016/08/phytium-china-unveils-64-core-arm-hpc-processor/> (accessed 06.11.2017)
10. Kuzminskiy M. From accelerators to processors. *Otkrytye sistemy. SUBD*, 2016, no. 3, pp. 26–28 (In Russian).
11. Dongarra J., Heroux M., Luszczek P. High-performance conjugate-gradient benchmark: A new metric for ranking high-performance computing systems. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 2016, vol. 30 (1), pp. 3–10.

AUTHORS

Kim Aleksandr, PhD, general director, PJSC Brook INEUM, JSC MCST, 24, ulitsa Vavilova, Moscow, 119334, Russian Federation, tel.: +7 (499) 135-33-21, e-mail: kim_a@ineum.ru.

Perekatov Valeriy, Dr., professor, deputy general director, PJSC Brook INEUM, JSC MCST; professor, MIPT, 24, ulitsa Vavilova, Moscow, 119334, Russian Federation, tel.: +7 (499) 135-05-28, e-mail: perekatov_v@ineum.ru.

Feldman Vladimir, Dr., senior researcher, deputy general director, PJSC Brook INEUM, JSC MCST; professor, MIPT, 24, ulitsa Vavilova, Moscow, 119334, Russian Federation, tel.: +7 (499) 135-61-56, e-mail: feldman_v@ineum.ru.