

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ НА БАЗЕ ЧЕТЫРЕХЪЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОРОВ INTEL XEON E5472 ПО СИСТЕМЕ ТЕСТОВ TOPCRUNCH¹

К.В. Бородулин, П.С. Костенецкий

ВВЕДЕНИЕ

В 2008 году в Южно-Уральском государственном университете (ЮУрГУ) введен в эксплуатацию новый суперкомпьютер с пиковой производительностью 16 TFlops, получивший название «СКИФ Урал». Суперкомпьютер ориентирован в первую очередь на решение задач суперкомпьютерного моделирования, необходимых промышленности Уральского региона. Внедрение новых технологий с использованием суперкомпьютерного моделирования позволит серьезно сократить сроки разработки новой перспективной продукции. Так же, как и другие суперкомпьютеры СКИФ-Полигона, СКИФ-Урал используется и как платформа для разработок и исследований в рамках суперкомпьютерной программы «СКИФ-ГРИД» Союзного государства, что обеспечит дальнейшее развитие отечественных суперкомпьютерных технологий в области аппаратных средств и программного обеспечения. Компьютер был спроектирован и собран компанией «Т-Платформы», г. Москва.

При проектировании суперкомпьютера были использованы новейшие четырехъядерные процессоры Intel Xeon E5472 (Harpertown). Данные процессоры изготовлены по технологии 45-нм, что позволило снизить напряжение питания CPU и уменьшить тепловыделение по сравнению с 65-нм процессорами. Преимущества нового 45-нм технологического процесса также позволили увеличить объем кэш-памяти второго уровня до 12 Мбайт на процессор, кэш динамически распределяется между ядрами, в зависимости от нагрузки на них, с помощью технологии Intel Advanced Smart Cache. В архитектуру процессоров Intel Xeon E5472 введена поддержка набора SSE4.1. Новые SIMD-команды способствуют увеличению скорости работы процессора с потоковым видео, с трёхмерной графикой, и в целом ряде научных вычислительных задач. Вместе с внедрением дополнительных команд были переработаны и некоторые функциональные блоки процессора, благодаря чему было достигнуто существенное ускорение выполнения операций деления целых и вещественных чисел, а также увеличение темпа обработки SSE-инструкций, связанных с битовой перестановкой.

При разработке суперкомпьютера «СКИФ Урал» использовался целый ряд российских разработок, созданных в рамках суперкомпьютерных программ «СКИФ» и «СКИФ-ГРИД» Союзного государства. Основу суперкомпьютера составляют blade-модули T-Blade производства компании «Т-Платформы», позволяющие разместить 80 вычислительных ядер в форм-факторе 5U – это наибольшая вычислительная плотность среди всех представленных на рынке blade-решений, на базе Intel. Это первые blade-решения в отрасли, интегрирующие поддержку нового чипсета Intel 5400, что обеспечивает выигрыш в производительности реальных приложений до 30% []. Суперкомпьютер «СКИФ Урал» имеет LINPACK-производительность: 12,2 TFlops.

Для проведения вычислительных экспериментов были использованы тесты, представленные на сайте проекта TopCrunch [<http://www.topcrunch.org>]. Проект TopCrunch был основан агентством передовых оборонных разработок США (программа DARPA HPCS []) совместно с институтом информатики южно-калифорнийского университета (ICI USC) США для комплексной оценки производительности HPC-систем, использующих CAE-приложения. Тесты ориентированы на использование известного параллельного пакета, широко используемого на различных суперкомпьютерных платформах – пакета инженерного анализа LSTC LS-Dyna. В отличие от использования синтетических тестов, таких как LINPACK, основанных, как правило, на решении системы линейных уравнений большой размерности, тесты TopCrunch представляют собой входные файлы данных для CAE пакета LSTC LS-Dyna, которые содержат сложные математические модели реальных объектов и конструкций. Тесты разработаны Национальным институтом моделирования аварий (NCAS) США.

Цель данной работы – исследование эффективности суперкомпьютера ЮУрГУ «СКИФ Урал», на базе четырехъядерных процессоров Intel Xeon E5472 и сравнение масштабируемости с вычислительным кластером ЮУрГУ «Infinity» на базе одноядерных процессоров.

ОПИСАНИЕ ТЕСТОВ

Данный раздел содержит описание тестов с применением CAE-пакета LSTC LS-Dyna проекта TopCrunch, использованных при тестировании.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт 2007-4-1.4-20-01-026) и программы СКИФ-ГРИД (контракт СГ-1/07).

Тест 1. Neon_Refined_Revised

Столкновение автомобиля Plymouth Neon с препятствием (абсолютно твердым телом – стеной) с начальной скоростью 53 км/ч. Модель содержит порядка 535 тыс. элементов. Время симуляции: 150 мс. Адекватность модели подтверждена на реальном краш-тесте автомобиля Plymouth Neon 1996 года выпуска.

Тест 2. 3_Vehicle_Collision.

Тест, моделирующий столкновение трех автомобилей, разработка корпорации Livermore Software Technology с использованием моделей автомобилей от FHWA/NHTSA, Национального центра анализа аварий в университете Джорджа Вашингтона. Конечно-элементная модель содержит 794078 элементов, включает элементы разных типов и содержит порядка 1,5 млн. степеней свободы. Время симуляции: 150 мс.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Тестируемого Оборудования

В экспериментах использованы высокопроизводительные вычислительные кластеры ЮУрГУ с характеристиками, представленными в таблицах 1 и 2. На каждом вычислительном кластере было исследовано ускорение, получаемое при решении задач тестов TOP Crunch.

Таблица 1. Технические характеристики нового вычислительного кластера ЮУрГУ «СКИФ Урал»

| | | |
|----------------------------|---------------------------------|--|
| Кол-во узлов | 166 | |
| Кол-во процессоров | 332 | |
| Кол-во вычислительных ядер | 1328 | |
| Конфигурация узла | процессоры | 2×Intel Xeon E5472 (4 ядра по 3,0 ГГц) |
| | КЭШ | 2х6 Мб разделяемый |
| | RAM | 8 Гб |
| | HDD | 120 Гб |
| Тип системной сети | InfiniBand (20 Гбит/сек.) | |
| Тип управляющей сети | Gigabit Ethernet | |
| Операционная система | SUSE Linux Enterprise Server 10 | |
| Реализации MPI | HP MPI v.02.02.05.01 | |

В 2005 году университет ввел в эксплуатацию вычислительный кластер, состоявший из 26 двухпроцессорных узлов, с пиковой производительностью 333 GFlops. Компьютер получил название «Infinity» в знак того, что в нем использовалась новейшая по тем временам сеть передачи данных InfiniBand (10 Гбит/сек). Технические характеристики кластера «Infinity» представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики вычислительного кластера «Infinity»

| | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Кол-во узлов | 26 | |
| Кол-во процессоров | 52 | |
| Кол-во вычислительных ядер | 52 | |
| Конфигурация узла | процессоры | 2×Intel Xeon DP EM64T 3,2 ГГц |
| | КЭШ | 2 Мб |
| | RAM | 2 Гб |
| | HDD | 80 Гб |
| Тип системной сети | InfiniBand (10 Гбит/сек.) | |
| Тип управляющей сети | Gigabit Ethernet | |
| Операционная система | Gentoo Linux 2006.1 | |
| Реализации MPI | HP MPI v.02.02.05.01 | |

СЦЕНАРИЙ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестирование проводилось на двух вычислительных кластерах: «Infinity» и «СКИФ Урал». На каждом кластере запускались два теста – «3_Vehicle_Collision» и «Neon_Refined_Revised». Тестирование проводилось с дискретизацией в 8 ядер, т.к. SMP модули нового вычислительного кластера «СКИФ Урал» содержат по 2 четырехъядерных процессора. Ускорение вычислялось по формуле $T1/Tn$, где $T1$ – время, затраченное на решение теста на 8 процессорных ядрах, Tn – время, затраченное на решение этой же задачи на n процессорах.

При тестировании использовалась HP MPI [], так как она входит в список рекомендованных производителем CAE пакета LS-Dyna – LSTC [] реализаций MPI.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Если сравнивать вычислительные узлы нового кластера ЮУрГУ с вычислительными узлами старого кластера, обнаруживаются не только различия, но и сходства аппаратной архитектуры (см. Таблица 3).

Таблица 3. Сравнение аппаратных характеристик вычислительных узлов

| Характеристики вычислительных узлов | «Infinity» | «СКИФ Урал» | Разница |
|---|--------------|--------------|---------|
| Кол-во процессоров | 2 | 2 | 0 % |
| Кол-во вычислительных ядер | 2 | 8 | +300% |
| Тактовая частота ядра | 3,2 ГГц | 3,0 ГГц | -6.25% |
| Оперативная память | 2 Гб | 8 Гб | +300% |
| Оперативная память на ядро | 1Гб | 1Гб | 0 % |
| Дисковая память | 80 Гб | 120 Гб | + 50 % |
| Частота системной шины | 800 МГц | 1600 МГц | +100% |
| Пропускная способность системной сети | 10 Гбит/сек. | 20 Гбит/сек. | +100% |
| Пропускная способность управляющей сети | 1 Гбит/сек. | 1 Гбит/сек. | 0 % |

У кластеров есть схожие параметры, в частности, на каждое процессорное ядро по статистике приходится по 1Гб ОЗУ. Частота процессора «СКИФ Урал» и «Infinity» практически не отличаются. Таким образом, вариант сравнения кластеров с дискретизацией в 8 вычислительных ядер может быть интересным.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТА LS-DYNA «NEON_REFINED_REVISIED»

На Рис. 1 приведены результаты теста LS-Dyna «Neon_Refined_Revised» на вычислительных кластерах ЮУрГУ «СКИФ Урал» и «Infinity».

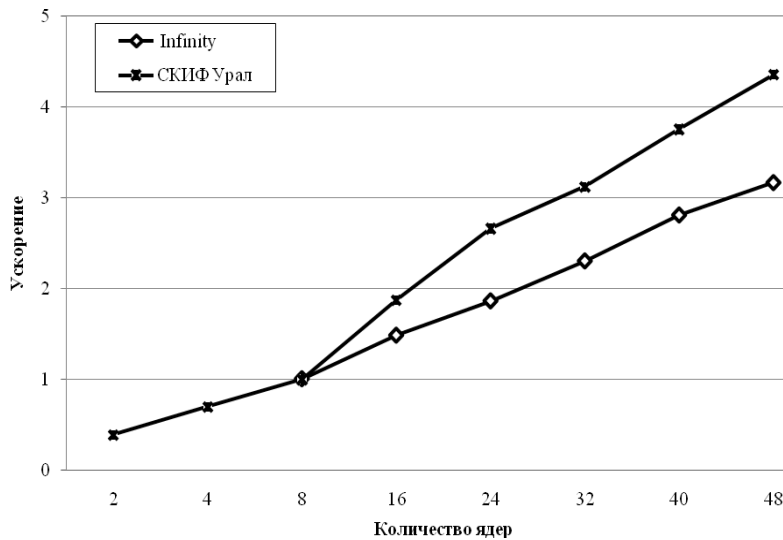


Рис. 1. Ускорение

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТА LS-DYNA «3 VEHICLE COLLISION»

На приведены результаты теста LS-Dyna «3 Vehicle Collision» на вычислительных кластерах ЮУрГУ «СКИФ Урал» и «Infinity».

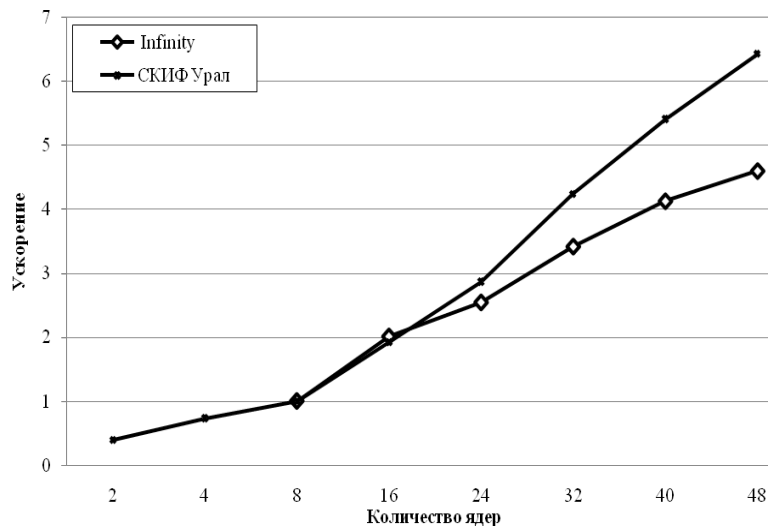


Рис. 2. Ускорение

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВ TOPCRUNCH НА КЛАСТЕРЕ «СКИФ УРАЛ»

На Рис. 3 и в Таблице 4 приведены результаты теста LS-Dyna «Neon_Refined_Revised» и «3 Vehicle Collision», на вычислительном кластере ЮУрГУ «СКИФ Урал».

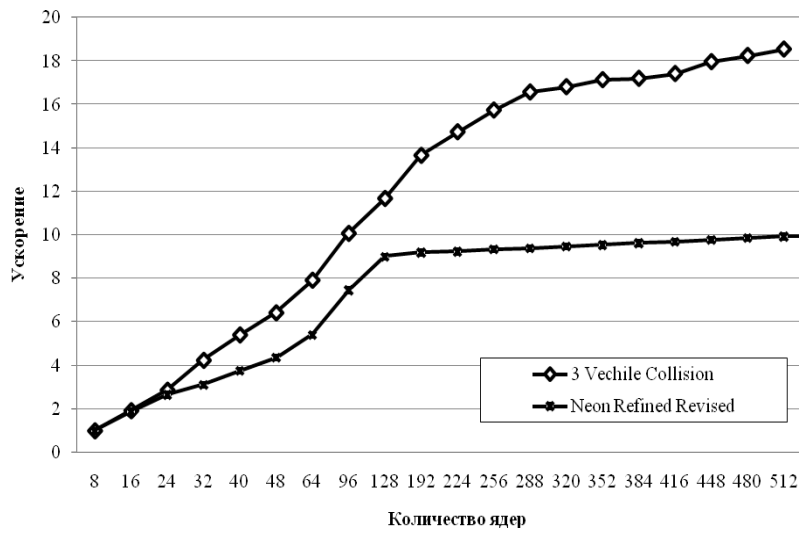


Рис. 3. Сравнение ускорения на кластере «СКИФ Урал»

Таблица 4. Время выполнения тестов на вычислительном кластере «СКИФ Урал»

| № п.п. | Вычислительных ядер | Время выполнения, сек. | |
|--------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | | Neon Refined Revised | 3 Vehicle Collision |
| 1. | 16 | 976 | 12543 |
| 2. | 24 | 687 | 8432 |
| 3. | 32 | 586 | 5700 |
| 4. | 40 | 487 | 4470 |
| 5. | 48 | 420 | 3762 |
| 6. | 64 | 338 | 3050 |
| 7. | 96 | 245 | 2399 |
| 8. | 128 | 203 | 2069 |
| 9. | 192 | 199 | 1769 |
| 10. | 224 | 198 | 1639 |
| 11. | 256 | 196 | 1535 |
| 12. | 512 | 190 | 1303 |

На графике ускорения теста «Neon_Refined_Revised» видно, как резко происходит падение ускорения при распределении теста более чем на 128 процессорных ядрах. Разница между временем выполнения теста на 128 и 512 вычислительных ядрах составляет всего 9,3%.

ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты показали, что во всех случаях на многопроцессорных системах с массовым параллелизмом инженерный пакет LSTC LS-Дуна демонстрировал ускорение, близкое к линейному. Продолжительность линейного ускорения на графике зависит от сложности задачи. Например на тесте «Neon_Refined_Revised» происходит резкое падение ускорения при распределении теста более чем на 128 процессорных ядрах. График ускорения гораздо более сложного теста «3 Vehicle Collision» отличается от графика ускорения теста «Neon_Refined_Revised». Здесь падение ускорения происходит плавно начиная с 256 процессоров.

Таким образом, можно сделать вывод, что вычислительные мощности нового вычислительного кластера ЮУрГУ «СКИФ Урал» содержащего 166 вычислительных узлов будут эффективно использоваться пользователями САЕ-пакета LSTC LS-Дуна.

Использование четырехъядерных процессоров Intel Xeon E5472 обеспечивают существенный прирост производительности вычислительных кластеров, по сравнению с производительностью вычислительных кластеров построенных на одноядерных процессорах.

Результаты тестирования вычислительного кластера ЮУрГУ помещены на сайт проекта TopCrunch и доступны через сеть Интернет.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Blade серверы T-Blade. <http://t-platforms.ru/ru/tblade.php>
2. Научная программа DARPA HPCS. <http://www.scidacreview.org/0602/html/news2.html>.
3. Проект TopCrunch. <http://www.topcrunch.org>.
4. Yih-Yih Lin. The Applicability of the Universal HP-MPI to MPP LSDYNA on Linux Platforms // 5th European LSDYNA Users Conference. <http://h20338.www2.hp.com/enterprise/downloads/MPIpaper.pdf>.
5. Технические характеристики процессоров Intel Xeon E5472. <http://www.intel.com/performance/server/xeon/hpcapp3.htm>.
6. Livermore Software Technology Corporation. <http://www.lstc.com>.
7. Cheng Liao. Solving Large Problems on Large Computer Systems. <http://www.mssoftware.com/events/vpd2007/na/presentations/18.pdf>.