

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 (NCAC) 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».

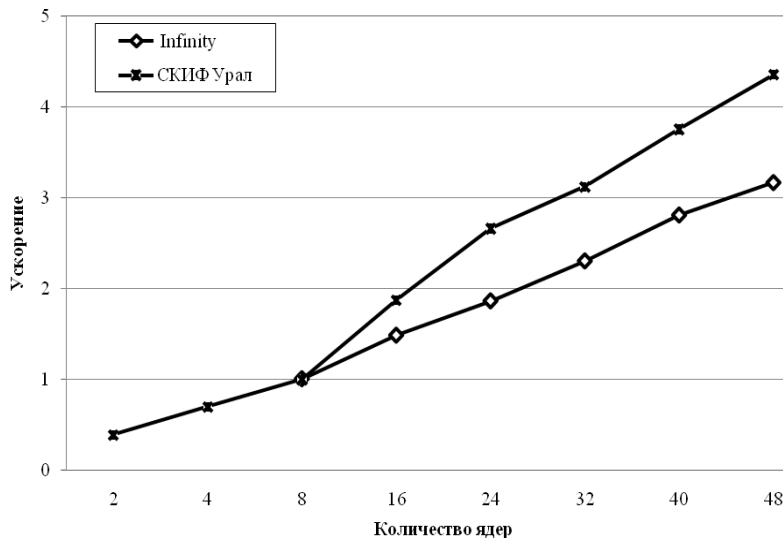


Рис. 1. Ускорение

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТА LS-DYNA «3 VEHICLE COLLISION»

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

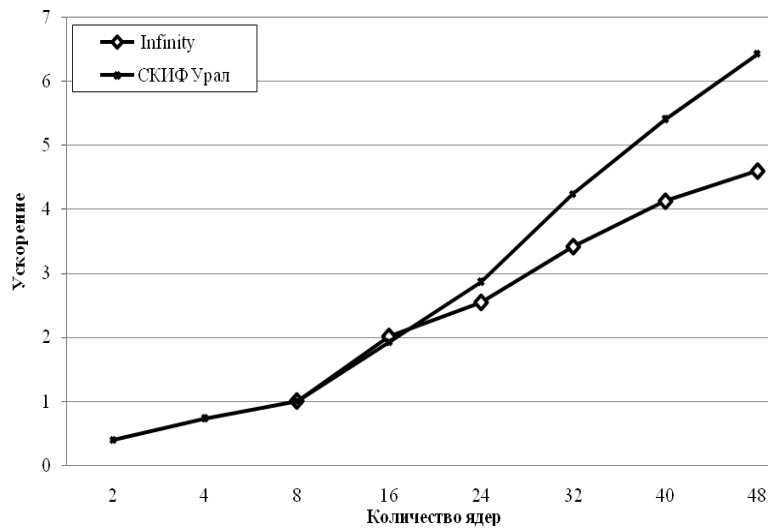


Рис. 2. Ускорение

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».

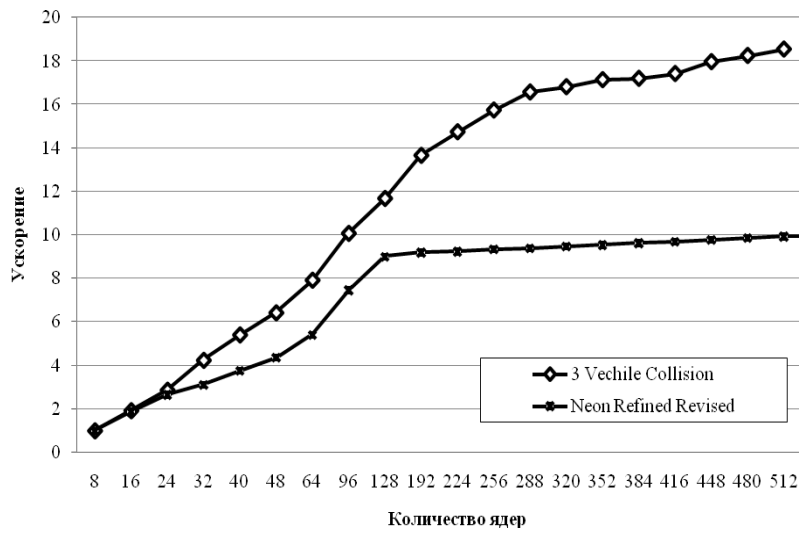


Рис. 3. Сравнение ускорения на кластере «СКИФ Урал»

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>.