

УДК 004.051

Д.Б. Жаворонков¹, В.П. Качков¹, Н.Н. Парамонов², А.Г. Рымарчук¹

ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ СКИФ

Дается оценка производительности и вычислительной эффективности кластерных моделей СКИФ на основе анализа характеристик суперкомпьютеров, входящих в список Top500. Отмечается влияние этих характеристик на оптимизацию состава аппаратных средств суперкомпьютерных систем.

Введение

В результате выполнения программы Союзного государства «СКИФ» были разработаны и изготовлены 14 образцов высокопроизводительных суперкомпьютерных систем кластерной конфигурации, пять из которых изготовлены в Минске [1]. В табл. 1 приведены основные параметры этих пяти моделей.

Таблица 1

Основные характеристики высокопроизводительных суперкомпьютерных систем кластерной конфигурации

Модель	Год разработки	Характеристики					
		Пиковая производительность, Гфлопс	Реальная производительность, Гфлопс	Кол-во узлов	Тип процессора	Системная сеть	Вспомогательная сеть
Первенец	2001	20	11	16	Pen III 600 МГц	SCI	FastEthernet
ВМ5100	2001	44,8	30,89	16	Pen III 1,4 ГГц	SCI	FastEthernet
Myrin	2002	78,4	51,88	7	Xeon 2,8 ГГц	Myrinet	GigabitEthernet
СКИФ К-500	2003	716,8	475,3	64	Xeon 2,8 ГГц	SCI	GigabitEthernet
СКИФ К-1000	2004	2534,4	2032	288	Opteron 2,8 ГГц	Infiniband	GigabitEthernet

Все модели СКИФ характеризуются наличием высокоскоростной системной сети, предназначенной для связи между вычислительными узлами кластера при решении сложных задач, фрагменты которых выполняются на разных узлах. Вспомогательная сеть служит для управления и мониторинга запуска вычислительных задач и создания единого пространства для узлов кластера и управляющей машины.

1. Рейтинги моделей СКИФ в списках Top500 и Top50

Для оценки производительности суперкомпьютерных систем формируются списки 500 наиболее производительных моделей в мире (Top500) и 50 наиболее производительных систем, установленных в СНГ (Top50). Суперкомпьютерные системы в этих списках расположены по мере убывания реальной производительности.

Top500 и Top50 имеют высокую общественную значимость, данные доступны для обозрения в сети Интернет [2, 3] и содержат рейтинги компьютеров, которые определяются по результатам теста Linpack (решение системы линейных уравнений с плотной матрицей).

В табл. 2 приведены данные рейтинга некоторых моделей программы «СКИФ», которые попали в списки Top500 и Top50.

Таблица 2

Рейтинг моделей программы «СКИФ» в списках Top500 и Top50

Модель	Место модели в списке						
	Top500, редакция от 11.2003 г.	Top500, редакция от 11.2004 г.	Top500, редакция от 06.2005 г.	Top500, редакция от 11.2005 г.	Top500, редакция от 06.2006 г.	Top50, редакция от 12.2004 г.	Top50, редакции от 04.2006 г., 09.2006 г.
Myrin	–	–	–	–	–	22	–
СКИФ К-500	407	–	–	–	–	6	9
СКИФ К-1000	–	97	174	331	490	1	2

2. Анализ вычислительной эффективности моделей СКИФ на основе характеристик, описывающих суперкомпьютеры списка Top500

В списке Top500 присутствуют суперкомпьютерные системы разных архитектур с различными характеристиками и степенью эффективности. Анализ производится среди компьютерных систем кластерного типа с серверными процессорами фирм Intel и AMD, к которым относятся модели СКИФ. Для оценки эффективности этих моделей целесообразно рассмотреть характеристики суперкомпьютеров, входящих в список Top500. Для каждой системы в списке Top500 приводятся значения пиковой производительности $Rpeak$ и реальной производительности $Rmax$, достигнутой при выполнении теста Linpack. Дополнительно по каждой системе учитывается еще ряд характеристик: число процессоров $Nproc$; размер матрицы (размер задачи) $Nmax$, при котором достигается максимальное значение производительности $Rmax$; размер матрицы (размер задачи) $Nhalf$, при котором достигается половина максимальной производительности $Rmax/2$. Эти характеристики для моделей СКИФ К-500 и СКИФ К-1000 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики СКИФ К-500 и СКИФ К-1000 в списке Top500

Модель	$Rpeak$, Гфлопс	$Rmax$, Гфлопс	$Nmax$, количество элементов матрицы	$Nhalf$, количество элементов матрицы	$Nproc$, количество процессоров
СКИФ К-500	716,8	475,3	123 000	25 000	128
СКИФ К-1000	2534,4	2032	274 000	25 000	576

Пиковая производительность суперкомпьютерной системы вычисляется следующим образом:

$$Rpeak = Rpeak \text{ вычислительного узла} \times N;$$

$$Rpeak \text{ вычислительного узла} = f \times n \times k,$$

где N – количество вычислительных узлов; f – тактовая частота процессора; n – количество операций с плавающей запятой, выполняемых за один такт; k – общее количество процессорных ядер в вычислительном узле.

На рис. 1 показан рост по годам пиковой и реальной производительностей суперкомпьютеров, приведенных в табл. 1 (соответственно линии 1 и 2). Линия 3 показывает рост по годам реальной производительности суперкомпьютеров, занимающих 500-е место в Top500. На основании анализа профиля линии 3 на рис. 1 можно прогнозировать значение реальной производительности суперкомпьютеров, которую необходимо обеспечить, чтобы разрабатываемый суперкомпьютер попал в список Top500 в ближайшие два-три года. Из рисунка видно, что модель К-1000 еще попадает в Top500 редакции от 06.2006 г. (490-е место), но не попадет в Top500 последующих редакций.

По характеристикам $Rpeak$ и $Rmax$ для каждой суперкомпьютерной системы можно определить значение коэффициента полезного действия (КПД), вычислив соотношение

$$КПД = (Rmax/Rpeak) \times 100.$$

КПД показывает, насколько эффективна вычислительная система, т. е. в какой степени разработчикам удалось использовать потенциально возможную максимальную вычислительную производительность при выполнении теста Linpack. КПД в значительной степени определяется (при одинаковых характеристиках вычислительных узлов) также коммуникационной средой и объемом оперативной памяти (ОП) вычислительной системы.

Значения КПД для моделей, разработанных по программе «СКИФ», следующие: Первенец – 55 %, VM5100 – 70 %, Мугин – 66 %, СКИФ К-500 – 66 %, СКИФ К-1000 – 80 %.

Отношение размера матрицы (задачи), при котором достигается половина максимальной возможной реальной производительности суперкомпьютера $R_{max}/2$ (N_{half}), к размеру матрицы (задачи), при котором тот же компьютер показывает максимальную производительность R_{max} (N_{max}), характеризует скорость роста производительности при выполнении теста Linpack.

Для каждой суперкомпьютерной системы можно определить значение коэффициента роста производительности

$$C_{np} = (N_{half}/N_{max}) \times 100.$$

Для суперкомпьютеров значение N_{half} меньше значения N_{max} . N_{max} – наибольший размер задачи, при котором она еще помещается в ОП, так как дальнейшее увеличение значения размера задачи вызывает обращение к диску для подкачки страниц, что сразу снижает производительность. C_{np} для суперкомпьютера СКИФ К-500 составляет 20 %, для СКИФ К-1000 – 9 %. Чем меньше коэффициент C_{np} , тем при меньшем размере задачи вычислительная система достигает производительности $R_{max}/2$. Следовательно, более широкий круг задач больших размеров будет выполняться на такой вычислительной системе с производительностью, превышающей $R_{max}/2$. Для компьютеров, у которых значение C_{np} приближается к 100 %, задачи размером от минимальных до N_{half} выполняются с крайне низкой производительностью. На рис. 2 показаны приближенные кривые $R(N)$ (по две точки) для кластеров СКИФ К-500 и СКИФ К-1000 и приближительная кривая $R(N)C_{np}90$ для суперкомпьютера с коэффициентом $C_{np}=90$, который имеет значения N_{max} , R_{max} , $R_{max}/2$, равные значениям кластера СКИФ К-1000, и значение N_{half} , равное 249 000.

Таким образом, чем меньше C_{np} , тем быстрее компьютер выходит на максимальную производительность. Причем если C_{np} определяет скорость роста производительности при увеличении размера задачи N , то площадь фигуры, ограниченной кривой $R(N)$, показывает общий потенциал суперкомпьютера при решении задач.

Определим для кластерных суперкомпьютерных систем отношение максимального размера задачи к общему числу процессоров в кластере, т. е. N_{max}/N_{proc} , показывающее, какая часть задачи приходится на каждый процессор кластера. Это сложная характеристика. На нее оказывают влияние много факторов: объем памяти для каждого процессора, сбалансированность работы процессора и памяти, быстродействие процессора, качество коммуникационной сети. Чем выше значение данной характеристики, тем более масштабную задачу способен решить процессор кластерной системы и тем лучше свойства системы в целом. При равных значениях производительности вычислительная система с меньшим количеством процессоров (а значит, и вычислительных узлов) будет проще в эксплуатации и удобнее для разработки программного обеспечения. Для суперкомпьютерной системы СКИФ К-500 эта характеристика равна 961, для СКИФ К-1000 – 576.

В табл. 4 и 5 представлены вышеперечисленные характеристики для суперкомпьютеров, стоящих рядом по рейтингу с суперкомпьютерами СКИФ К-500, СКИФ К-1000 из списка Top500 редакций от 11.2003 г. и 11.2004 г. соответственно.

Таблица 4

Пример характеристик суперкомпьютеров списка Top500 редакции от 11.2003 г.

Место в Top500	Тип процессора, ГГц	Количество процессоров	Системная сеть	КПД, %	C_{np} , %	N_{max}/N_{proc}
357	AMD 1,66	240	SCI 3D	60	21	484
407 (СКИФ К-500)	Xeon 2,8	128	SCI 3D	60	20	961
408	Xeon 2,8	160	Gigabit-Ethernet	47	33	574

Таблица 5

Пример характеристик суперкомпьютеров списка Top500 редакции от 11.2004 г.

Место в Top500	Тип процессора, ГГц	Количество процессоров	Системная сеть	КПД, %	C_{np} , %	N_{max}/N_{proc}
82	Xeon 1,8	1024	Myrinet	60	20	273
95	Xeon 3,06	550	Gigabit-Ethernet	61	–	–
97	Xeon 2,8	702	Myrinet	52	–	–
98 СКИФ К-1000	Opteron 2,8	576	Infiniband	80	9	576
99	Xeon 2,8	2256	Gigabit-Ethernet	16	–	–

Примечание: прочерки в графах C_{np} , N_{max} означают отсутствие в Top500 данных (N_{max} , N_{half}) для соответствующих кластерных суперкомпьютерных систем.

Заключение

Таким образом, выбор суперкомпьютерных систем производится с учетом необходимой производительности, но нельзя при этом пренебрегать значениями характеристик, описывающих вычислительную систему в списке Top500. Определение этих характеристик при разработке и приобретении суперкомпьютерных систем позволит оптимизировать состав аппаратных средств, по крайней мере, для задач класса тестов Linpack. Это может привести к значительному уменьшению общего числа вычислительных узлов, что, в свою очередь, уменьшит эксплуатационные затраты, например, на электроэнергию, кондиционирование помещения и упростит разработку и эксплуатацию прикладного программного обеспечения.

Кроме того, результаты анализа могут быть использованы при разработке технических требований на новые суперкомпьютеры для включения в Top500 (Top50) или при модернизации их впоследствии для сохранения места в Top500 (Top50).

Список литературы

1. Суперкомпьютерные конфигурации СКИФ / С.В. Абламейко [и др.]. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 170 с.
2. TOP500 Supercomputer Sites [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.top500.org>.
3. Top50. Суперкомпьютеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.supercomputers.ru>.
4. Абрамов С.М. Отечественные суперкомпьютеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nkj.ru/interview/1589/>.

Поступила 20.08.06

¹Унитарное предприятие «НИИЭВМ»,
Минск, М. Богдановича, 155
e-mail: Rymarchuk@niievmt.by

²Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: nick@newman.bas-net.by

D.B. Zhavoronkov, V.P. Kachkov, N.N. Paramonov, A.G. Rymarchuk

**ESTIMATION OF COMPUTATIONAL EFFECTIVENESS
OF THE SKIF FAMILY SUPERCOMPUTERS**

The article presents parameters of the SKIF family supercomputers. The performance and computational effectiveness of the SKIF supercomputers are discussed on the basis of characteristics analysis of supercomputers included in Top500. The influence of these characteristics on optimization of the structure of supercomputer system hardware is discussed.