

УДК 004.94

А.А. Чемерис

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье представлен анализ источников энергопотребления серверов, параллельных многопроцессорных вычислительных систем и грид сетей. Показано, что некоторую часть потребляемой электроэнергии можно сэкономить за счет оптимизации программного обеспечения. Работа автора направлена на оптимизацию программного обеспечения с целью уменьшения активности элементов, вследствие чего уменьшается энергопотребление.

Ключевые слова: энергопотребление, вычислительные системы (ВС), многопроцессорные ВС, грид.

Введение

Энергопотребление вычислительных систем и устройств уже давно стало одной из их главных характеристик.

Результаты исследования [1] показывают, что в 2005 г. на долю интернет-серверов приходилось 0,6% от полного потребления электроэнергии в США, с учетом сопутствующего оборудования эта величина составляла 1,2%, с 2000 по 2005 гг. в США затраты энергии на работу интернет-серверов выросли приблизительно в два раза.

В Западной Европе энергопотребление интернет-серверов составило 39,6 ТВт·ч в 2008 г [2]. Ожидается, что оно удвоится к 2013 г. Потребление электроэнергии компанией Telecom Italia составило более 2 ТВт в 2006 г. (приблизительно 1% от общего потребления Италии), что на 7,95% больше, чем в 2005 г., и на 12,08%, чем в 2004 г [3, 4]. Зимой 2007 г. компания British Telecom была наибольшим потребителем электроэнергии в Великобритании (приблизительно 0,7% от общего потребления страны) [5].

Также, около 10% от полного потребления электроэнергии в Великобритании в 2007 г. приходилось на IT индустрию [6].

Согласно данным списка пятисот наиболее производительных суперкомпьютеров мира на ноябрь 2011: 1) потребляемая мощность суперкомпьютера SPARC64 составляла 12,65 МВт; 2) средняя потребляемая мощность десяти самых производительных суперкомпьютеров составила 4,6 МВт; 3) потребляемая мощность более 5% суперкомпьютеров в списке превышает 1 МВ [7].

По данным исследования компании Datacenter Dynamics по состоянию на январь 2012 года: 1) потребляемая мощность центров обработки данных во всем мире составляла 31 ГВт; 2) во Франции потребление электроэнергии центрами обработки данных с 2011 по 2012 гг. выросло на 20% (300 МВт); 3) около 60% стоек в центрах обработки данных потребляют около 5 кВт, 14% - более 10 кВт [7].

Таким образом, тенденции увеличения энергопотребления в мире показывают необходимость срочной разработки и внедрения методов и средств увеличения энергоэффективности вычислительных средств.

Источники потерь электроэнергии в вычислительных системах

Следует отметить, что данная проблема волнует достаточно давно не только ученых, но и особенно промышленные компании. Большой всплеск исследований в данной области произошел в последнее время в связи с быстрым развитием центров обработки данных (ЦОД).

Прежде всего, отметим, что 65-70% энергии, вырабатываемой для работы ВС, теряются ещё до её поступления адресату. Далее 65% доставленной энергии затрачиваются на источники питания, разводку электроэнергии и охлаждение. В итоге, суммарные потери энергии в цепочке поставок энергии могут достигать 97%.

Согласно [8] распределение энергопотребления в ВС производится, как показано на рис. 1.

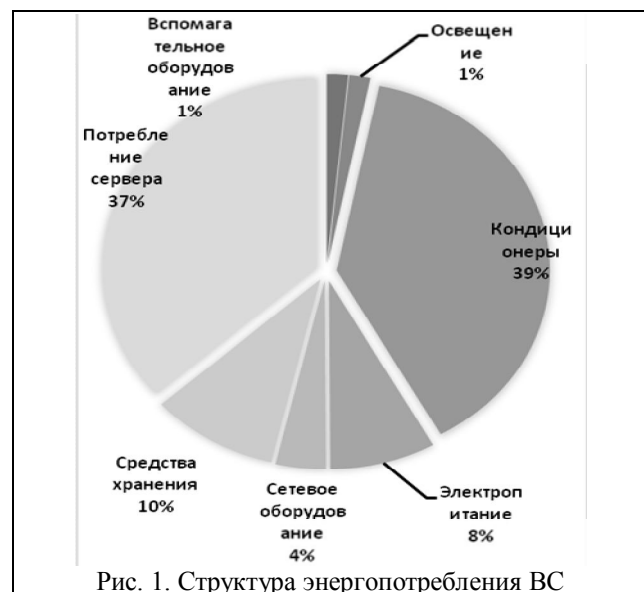


Рис. 1. Структура энергопотребления ВС

Таким образом, наибольшая часть потерь электроэнергии приходится на охлаждение и систему питания ВС. Методы решения этой проблемы достаточно хорошо исследованы, поскольку даже небольшая экономия в этой области приводит к значительным результатам.

Потребление непосредственно самого процессорного блока ВС составляет 37%. Далее рассмотрим источники потерь этой части ВС.

Статические и динамические потери энергии

Подавляющее количество электронных схем, применяемых в современных серверах, выполнены по КМОП (Комплементарный Металл Оксид Полупроводник) технологии. Для КМОП схем существуют четыре основные составляющие потерь энергии: 1) потери энергии, вызванные токами короткого замыкания; 2) потери энергии, вызванные паразитными токами утечки; 3) статическое рассеяние энергии; 4) динамическое рассеяние энергии.

Наибольшая доля потерь принадлежит динамическим потерям, которые описываются следующим выражением

$$P_{\text{dyn}} = C \cdot V_{\text{dd}}^2 \cdot \alpha \cdot f, \quad (1)$$

где C – эквивалентная суммарная емкость в узлах схемы, V_{dd} – величина напряжения питания, f – частота переключений, α – коэффициент активности. P_{dyn} может составлять до 80 % от полных потерь энергии [9].

Существуют различные способы уменьшения энергопотребления вычислительных устройств. Их можно разделить на следующие категории:

- технологические;
- схемотехнические;
- изменение архитектуры вычислительного устройства;
- трансформации исходного текста программ с целью уменьшения обращений к памяти и её объема;
- применение процессоров и схем памяти с различными режимами энергопотребления.

Автор представляет научный коллектив, который занимается вопросами распараллеливания, трансформации и оптимизации программ на языках высокого уровня.

Увеличение локальности программ

Локальность программ – термин, определяющий использование кеш-памяти процессоров вычислительной системы. Увеличивая локальность программ, мы переносим данные в кеш-память процессора, уменьшая тем самым пересылки данных в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), уменьшая тем самым активность элементов и, соответственно, уменьшая энергопотребление.

Принцип уменьшения количества обращений к памяти и ее объема с помощью преобразований исходного текста описания приложения поясняется на следующем примере [10].

Рассмотрим исходный текст приложения, в котором обрабатываются четыре массива: «а», «b», «с» и «d» (рис. 2, А). Первой операцией преобразования является операция перестановки циклов (рис. 2, Б), в результате которой третий цикл стал вторым, что было выполнено с целью приближения вычисления и использования массива «b».

После выполнения операции объединения циклов создается общее пространство итерации, а также приближаются друг к другу вычисление и использование элемента массива «b» (рис. 2, В). Третий цикл объединяется с первыми двумя, так как он использует массив «а», который применяется в первом цикле.

В цикле, полученном в результате операции выравнивания циклов (рис. 2, Г), элемент массива «b» используется сразу же после его создания, что позволяет хранить его значение в регистровой или кэш-памяти, и поэтому не требуется повторного считывания элемента из ОЗУ. Элемент массива «а» читается из ОЗУ только один раз. Таким образом, сокращается количество обращений к ОЗУ. Если же массив «b» нигде более в программе не используется, его можно заменить переменной. Благодаря этому уменьшается объем необходимой приложению памяти.

| | | | |
|--|--|---|--|
| <pre>for i=1,n b[i]=a[i] end for; for i=1,n-1 c[i]=a[i+1] end for; c[n]=...; d[1]=...; for i=2,n d[i]=b[i-1] end for; </pre> | <pre>for i=1,n b[i]=a[i] end for; d[1]=...; for i=2,n d[i]=b[i-1] end for; c[i]=a[i+1] end for; c[n]=...; </pre> | <pre>b[1]=a[1]; d[1]=...; c[1]=a[2]; for i=2,n-1 b[i]=a[i] d[i]=b[i-1] end for; c[i]=a[i+1] end for; b[n]=a[n]; d[n]=b[n-1]; c[n]=...; </pre> | <pre>b[1]=a[1]; d[1]=...; d[2]=b[1]; for i=2,n-1 b[i]=a[i] d[i+1]=b[i] c[i-1]=a[i] end for; b[n]=a[n]; c[n-1]=a[n]; c[n]=...; </pre> |
| А | Б | В | Г |

Рис. 2. Объединение циклов: А – исходный текст программы; Б – в тексте программы изменен порядок выполнения циклов; В – текст объединенного цикла; Г – текст объединенного цикла после операции выравнивания

При выполнении программы в исходном виде (рис. 2, А) происходит $3n$ операций чтения из ОЗУ и столько же операций записи в него. Для программы в конечном виде (рис. 2, Г) количество операций чтения из ОЗУ сокращается на $2n-6$. При условии, что массив «b» нигде далее в вычислениях не участвует, количество операций записи в ОЗУ будет на n меньше. Этот пример наглядно показывает возможность оптимизации программ в плане уменьшения активности элементов.

Выводы

Таким образом, на основе анализа источников энергопотребления вычислительных систем – серверов, кластеров, дата центров, суперкомпьютеров и т.д. – можно сделать вывод, что проблема актуальна и требует комплексного решения. В общем комплексе проблем, связанных с энергопотреблением вычислительных систем, уменьшение энергопотребления за счет программного обеспечения занимает существенное место. Проблема оптимизации программного обеспечения в плане экономии электроэнергии (GREEN SOFTWARE) также носит комплексный характер, в частности, такие подходы, как управление частотой процессора, трансформация программ, распараллеливание программ и другие, известны, но в настоящее время большее внимание ученые уделяют методам охлаждения, потому что там можно получить значительно больший выигрыш по уменьшению энергопотребления ВС. Однако системы оптимизации программного обеспечения дают дополнительный эффект по экономии энергопотребления.

Авторы считают, что необходимость разработки специализированных программных средств, направленных на снижение энергопотребления ВС, есть актуальной задачей.

Для оптимизации и распараллеливания программного обеспечения нашей группой разработаны методы модификации циклов в программах на языке высокого уровня на основе аффинных преобразований [11 – 14]. Преобразование направлено на уменьшение активности элементов компьютеров и перенос операций к процессорам системы, уменьшил тем самым пересылки данных из кэша процессора к памяти и наоборот. Методы разработаны, практически применены в пакете MFDn для оптимизации циклов [11].

Список литературы

1. Koomey J. Estimating total power consumption by servers in the U.S. and the world. – [Электронный ресурс] / J. Koomey. – Режим доступа : <http://enterprise.amd.com/Downloads/svrprvrusecompletefinal.pdf> - Feb. 2007.
2. Борн Д. 4,7 млн серверов в мире работают "вхолостую". – [Электронный ресурс] / Д. Борн. – Режим доступа к ресурсу: http://www.3dnews.ru/news/4_7 mln_serverov_v_mire_rabotaut_vholostuu/.
3. Bianco C. Energy consumption trends in the next generation access network – a telco perspective / C. Bianco,

F. Cucchiatti, G. Griffa // Proc. of the 29th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2007). – Rome, 2007. – P. 737-742.

4. Telecom Italia, The Environment. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.telecomitalia.it/sostenibilita2006/English/B05.html>.
5. BT announces major wind power plans. – [Электронный ресурс] // BT Press. – 2007. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.btplc.com/News/Articles/Showarticle.cfm?ArticleID=dd615e9c-71ad-4daa-951a-55651baae5bb>.
6. Green evangelist to call for big changes in computer use to aid environment at ITWales conference. – [Электронный ресурс] // ITWales. – 2007. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.itwales.com/997539.htm>.
7. Pecero J. Energy conscious scheduling / J. Pecero // Green Days @ Lyon. Lyon, 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье: <http://perso.ens-lyon.fr/laurent.lefevre/greendayslyon/scheduling.pdf.gz>.
8. Rasmussen N. Allocating Data Center Energy Costs and Carbon to IT Users. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье: <http://www.schneider-electric.co.il/documents/support/white-papers/wp-data-centre-161-english.pdf>.
9. Veendrick H. Deep-Submicron CMOS ICs. From Basics to ASICs / H. Veendrick. – Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2000. – 539 p.
10. Fraboulet A. Loop alignment for memory accesses optimization / A. Fraboulet, G. Huard, A. Mignotte // Proceedings of 12th International Symposium on System Synthesis (San Jose, 10-12 November 1999). – San Jose, 1999. – P. 71-77.
11. Горунова Ю. Метод распараллеливания циклов на основе аффинных преобразований / Ю. Горунова, А. Чемерис // Моделирование-2010. Материалы міжн. НТК, м. Київ, 12-14 травня 2010 р. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України, 2010.
12. Чемерис А.А. Влияние оптимизации программного обеспечения на энергопотребление вычислительных систем / А.А. Чемерис, Д.В. Стась // Збірник тез VII Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (CSNT-2014). м. Київ. 17-19 квітня 2014 р НАУ. – К.: НАУ, 2014. – С. 153.
13. Лазоренко Д.И. Влияние объединения циклов в исходном тексте программ на энергопотребление вычислительной системы / Д.И. Лазоренко, А.А. Чемерис // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці, 2012. – Вип. 63. – С. 67-69.
14. Chemeris A.A. Investigation of CPU's DVFS states utilization for low-power computations / A.A. Chemeris, D.I. Lazorenko // Proc. of the 6th international conference "Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application" (ACSN-2013), Sept. 16-18, Lviv, 2013. – P. 13-14.

Поступила в редколлегию 18.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. А.А. Можаяв, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ВПЛИВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

О.А. Чемерис

У статті представлений аналіз джерел енергоспоживання серверів, паралельних багатопроцесорних обчислювальних систем і грид мереж. Показано, що деяку частину споживаної електроенергії можна зекономити за рахунок оптимізації програмного забезпечення. Робота автора спрямована на оптимізацію програмного забезпечення з метою зменшення активності елементів, в наслідок чого зменшується енергоспоживання.

Ключові слова: енергоспоживання, обчислювальні системи (ОС), багатопроцесорні ОС, грид.

THE INFLUENCE OF THE SOFTWARE TO THE POWER CONSUMPTION OF PARALLEL COMPUTING SYSTEMS

A.A. Chemeris

The paper presents an analysis of power consumption sources for servers, parallel multiprocessor computing systems and grid networks. It is shown that some of the electricity consumed can be saved by software optimizing. Author's work is aimed at optimizing the software to reduce the activity of the elements resulting in reduced power consumption.

Keywords: power consumption, computing systems, multiprocessor computers, grid.