

УДК 004.3

А.А. ЧЕМЕРИС¹, Д.И. ЛАЗОРЕНКО¹, С.Ю. ПРОНЗЕЛЕВА²¹ *Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, Киев, Украина*² *Институт электродинамики, Киев, Украина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОРА

Исследуется возможность снижения энергопотребления вычислительного устройства на примере персонального компьютера с ОС Ubuntu Linux 10.10 путем использования различных режимов производительности центрального процессора (ЦП). Для обеспечения максимальной загрузки ЦП использовался Dhrystone2 benchmark. В ходе эксперимента проводилось измерение энергопотребления системного блока компьютера при выполнении Dhrystone2 benchmark с применением различных комбинаций двух возможных режимов производительности (DVFS) процессора. Результаты измерений показывают, что выполнить одни и те же вычисления с меньшими энергозатратами не возможно на любом ЦП, обладающем различными режимами энергопотребления.

Ключевые слова: энергопотребление, DVFS, green computing.

Введение

Количество центров обработки данных (ЦОД) постоянно растет. Одной из важных характеристик ЦОД является энергопотребление. Результаты исследования [1] показывают, что в 2005 г. на долю 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 серверов выросли приблизительно в два раза; в 2008 г. в Западной Европе энергопотребление серверов составило 39,6 ТВт·ч [2]. Ожидается, что оно удвоится к 2013 г. Современные процессоры обладают возможностями для уменьшения собственного энергопотребления: состояниями со сниженным энергопотреблением, режимами выключения, «сна», простоя, выборочного выключения отдельных ядер процессора. Для использования данными аппаратными средствами было разработано соответствующее программное обеспечение в составе таких распространенных операционных систем как Windows, UNIX и Linux.

Способы снижения энергопотребления вычислительных устройств не ограничиваются только использованием аппаратных возможностей современных процессоров. Среди этих решений следует отметить следующие подходы, поскольку они применяются на самом высоком системном уровне.

Распараллеливание вычислений позволяет снизить напряжение питания электронных схем и частоту сигнала их синхронизации, сохраняя производительность, таким образом, уменьшая энергопотребление цифрового устройства [3].

Оптимизация передачи и хранения данных дает возможность не только существенно снизить энергопотребление вычислительного устройства, но и увеличить его быстродействие, а также уменьшить объем оперативной памяти, необходимой для выполнения конкретных вычислительных задач [4].

1. DVFS

Под аббревиатурой DVFS понимается динамическое изменение напряжения питания и тактовой частоты центрального процессора (ЦП). Использование режимов ЦП с пониженным напряжением и тактовой частотой позволяет производить необходимые вычисления с меньшими энергозатратами.

Идеи, основанные на использовании аппаратных возможностей современных процессоров с целью уменьшения энергопотребления ЭВМ или мобильных устройств, часто обсуждаются на конференциях, посвященных операционной системе Linux [5]. Эксперименты, проведенные в IBM Linux Technology Center [6] показывают, что энергопотребление некоторых многоядерных процессоров может быть снижено на 10% в состоянии idle и на 5% при 50% загрузке.

2. Эксперимент

Одним из способов уменьшения энергопотребления цифрового вычислительного устройства является подбор расписания использования режимов производительности центрального процессора. Данный метод проиллюстрирован на рис. 1 [7].

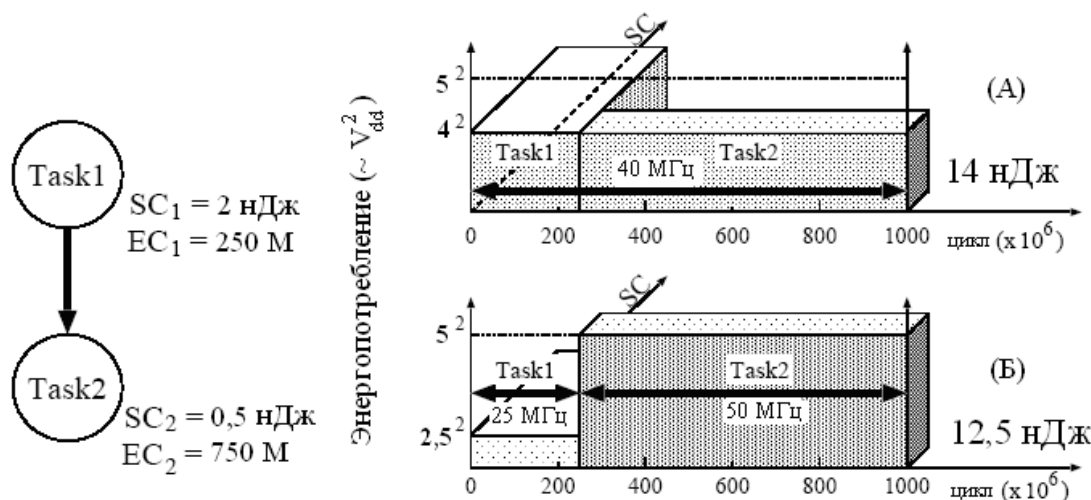


Рис. 1. Пример выполнения двух задач с применением разных режимов энергопотребления

При выполнении задач $task_1$ и $task_2$ с применением двух напряжений питания 2,5 и 5 В энергопотребление меньше потерь энергии в случае использования только одного напряжения питания 4 В. Полная переключаемая емкость для обоих вариантов будет одинаковой. В обоих случаях требуется 10^9 циклов ЦП, чтобы завершить вычисления.

Целью проведенного эксперимента было проверка возможности уменьшения энергопотребления персонального компьютера в соответствии со способом, представленным в работе [5] и нахождение такого расписания использования режимов ЦП, при котором одни и те же вычисления выполняются с более низким энергопотреблением.

Измерение энергопотребления проводилось с помощью однофазного счетчика электрической энергии ЕТО 6GV.

Эксперимент проводился на персональном компьютере Intel Core 2 CPU T6600@2.4GHz, 2Gb RAM под управлением Ubuntu Linux 10.10. Процессор в данном ПК имеет два ядра с двумя режимами энергопотребления с частотой сигнала синхронизации $f_{min} = 1596$ kHz и $f_{max} = 2394$ kHz.

В качестве вычислительной задачи был выбран Dhrystone2 benchmark, поскольку он позволяет загрузить ЦП на 100% в ходе своего выполнения. Данный benchmark выполнялся 1000 раз.

При этом использовался или один из двух существующих режимов производительности центрального процессора либо их комбинация (N раз при максимальной тактовой частоте ЦП и M при минимальной, где $N + M = 1000$). Выполнение необходимого количества итераций Dhrystone2 benchmark и переключение режимов ЦП производилось с помощью bash-скрипта. Во время всех пяти вычислений ЦП был занят на 100%, что было проведено с помощью программы System Monitor.

Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1
Энергопотребление ПК в зависимости от использования режимов производительности ЦП

Измерение	1	2	3	4	5
Количество итераций при f_{max} , %	100	75	50	25	0
Количество итераций при f_{min} , %	0	25	50	75	100
Энергопотребление, kWh	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21

В данной таблице в четвертой строке представлены результаты пяти измерений энергопотребления ПК.

При каждом измерении Dhrystone2 benchmark выполнялся $X\%$ раз при f_{max} (режим наибольшей производительности) и $I\%$ раз при f_{min} (режим наименьшей производительности), где $X + I = 100$.

Вопреки ожиданиям полученные результаты показывают, что наименьшее энергопотребление данного ПК было в случае, когда все вычисления были выполнены в режиме наибольшей производительности. Причиной такого результата является увеличение времени проведения вычислений при использовании режима работы ЦП с пониженным энергопотреблением.

Эксперимент показал, что для данного центрального процессора невозможно уменьшить общее энергопотребление компьютера при выполнении одних и тех же вычислений путем применения комбинации режимов ЦП с различной производительностью/энергопотреблением.

Заключение

Проведенные измерения, свидетельствуют, что выполнение программы в режиме с наименьшей производительностью процессора, а так же комбинаций режимов наибольшей и наименьшей произво-

дительности, не гарантирует ожидаемого снижения затрат энергии. Можно сделать предположение о том, что данный подход позволит добиться нужного результата в том случае, если энергопотребление ПК при одном и том же вычислении больше в режиме с повышенной производительностью, поэтому требуются исследования в области планирования выполнения программ, средств предсказания длительности их выполнения и оценки энергопотребления, что может быть применено для организации вычислений в центрах обработки данных (ЦОД) для снижения их энергопотребления.

Кроме того, целесообразно использовать комплексные подходы к уменьшению энергопотребления компьютерных систем, комбинируя, например, уменьшение частоты системы с оптимизацией программ в части увеличения использования кэш-памяти процессора

Литература

1. Koomey J. *Estimating total power consumption by servers in the U.S. and the world [Electronic resource]* / J. Koomey. – Access to: <http://enterprise.amd.com/Downloads/svrpwrusecompletefinal.pdf>. – Feb. 2007 y.

2. Борн, Д. 4,7 млн серверов в мире работают "вхолостую" [Электронный ресурс] / Д. Борн. – Режим доступа к статье: http://www.3dnews.ru/news/4_7 mln_serverov_y_mire_rabotaut_vholostuu.

3. Veendrick, H. *Deep-Submicron CMOS ICs. From Basics to ASICs [Text]* / H. Veendrick. - Kluwer academic publishers, 2000. – 576 p.

4. Catthoor, F. *Data Access and Storage Management for Embedded Programmable Processors. [Text]* / F. Catthoor, K. Danckaert, K.K. Kulkarni, E. Brockmeyer, P.G. Kjeldsberg, T. van Achteren, T. Omnes. - Springer, 2002. – 324 p.

5. *Linux Foundation Events and Conferences [Electronic resource]*. – Access to: <http://www.linux-foundation.org/events>.

6. Srinivasan, V. *Tweaking Linux for a Green Datacenter [Text]* / V. Srinivasan, J. Hopper // *Linux Foundation Collaboration Summit*. - San Francisco (USA). - 2009. – 23 p.

7. Ishihara T. *Voltage scheduling problem for dynamically variable voltage processors [Text]* / T. Ishihara, H. Yasuura // *Proceedings of the 1998 International Symposium on Low Power Electronics and Design*. - Monterey (USA). - 1998. - P. 197– 202.

Поступила в редакцію 27.02.2013, рассмотрена на редколлегии 20.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, доцент, проф. каф. компьютерных систем и сетей А.В. Горбенко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ПРИБОРУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ РЕЖИМІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСОРА

О.А. Чемерис, Д.І. Лазоренко, С.Ю. Пронзельва

Досліджується можливість зниження енергоспоживання обчислювального пристрою на прикладі персонального комп'ютера з ОС Ubuntu Linux 10.10 шляхом використання різних режимів продуктивності центрального процесора (ЦП). Для забезпечення максимального завантаження ЦП використовувався Dhrystone2 benchmark. В ході експерименту проводився вимір енергоспоживання системного блоку ПК при виконанні Dhrystone2 benchmark із застосуванням комбінацій двох можливих режимів продуктивності (DVFS) процесора. Результати вимірювань показують, що виконати одні й ті ж обчислення з меншими енерговитратами неможливо на будь-якому ЦП, що має різні режими енергоспоживання.

Ключові слова: енергоспоживання, DVFS, green computing.

EXPLORATION OF POWER CONSUMPTION REDUCTION OF A COMPUTING DEVICE BY MEANS OF DVFS

A.A. Chemeris, D.I. Lazorenko, S.Yu. Pronzeleva

Reduction of power consumption of a computing device by means of DVFS is explored. An experiment was conducted to measure power consumption of a personal computer under Ubuntu Linux 10.10 running Dhrystone2 benchmark under different combinations of CPU DVFS states. Dhrystone2 benchmark was utilized to obtain maximum CPU load. Results of the experiment show that the same computations can not be performed with less power on any DVFS enabled CPU.

Key words: low-power, DVFS, green computing.

Чемерис Александр Анатольевич – канд. техн. наук, ст. научн. сотр., Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, Киев, Украина, e-mail: a.a.chemeris@gmail.com.

Лазоренко Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, Киев, Украина, e-mail: d.lazorenko@gmail.com.

Пронзельва Станислава Юрьевна – инж., Институт электродинамики, Киев, Украина.