

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В МОБИЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

А.Г. Басыров, А.Н. Шульгин
(ВКА им. А.Ф. Можайского)
А.В. Малинка
(в/ч 07378)

Предложен способ сокращения расхода энергоресурса автономных источников питания в мобильных вычислительных системах. Аналитические соотношения позволяют оценивать энергоёмкость реализации параллельных вычислительных процессов при реализации различных методов энергосбережения.

Ключевые слова: энергосберегающие параллельные вычислительные процессы, диспетчер, мобильная вычислительная система, энергоёмкость.

Применение информационных технологий постоянно увеличивается, поэтому энергетическая эффективность стала приоритетом для компьютерных систем общего и специального назначения и одной из движущих сил совершенствования архитектур и технологий как мобильных и встраиваемых процессоров, так и мощных суперкомпьютеров и серверов. С одной стороны, это связано с необходимостью снижения уровня потребления энергии, поскольку ограничения по величине выделяемого тепла стали препятствовать дальнейшему увеличению производительности процессоров. С другой, это обусловлено мировой тенденцией к экономии энергетических ресурсов [1].

Сегодня основной задачей совершенствования высокопроизводительных вычислений является развитие параллельных вычислительных систем (ПВС) различных классов. Возрастающие требования к производительности, мобильности и автономности ПВС военного назначения трудно удовлетворять, так как всё время приходится сталкиваться с проблемами несовершенства существующих технологий энергосбережения, используемых в современных средствах вычислительной техники (СВТ), и ограниченными возможностями автономных источников питания.

В частности, тот факт, что управление энергопотреблением посредством энергосберегающих S -состояний (реализуемое технологией Advanced Configuration and Power Interface (ACPI) [2]) обусловлено только наличием перерыва между заданиями, а в процессе выполнения самого задания выполняется корректировка частоты процессора (ядра) (с использованием P -состояний) лишь на основе анализа общей загруженности системной шины, говорит о том,

что существующими методами энергосбережения не предусмотрено использование S -состояний при вынужденном простое вычислительного модуля (ВМ) (ядра) во время пауз различной длительности в процессе непосредственного выполнения параллельных вычислений. В то время как перевод ВМ (ядер) в одно из S -состояний на время такого простоя может принести дополнительный энергосберегающий эффект, что особенно актуально для заданий, представляющих собой длительную обработку плотного потока данных (например экспресс-анализ телеметрической информации, обработку потока видеоинформации и т. п.) в режиме параллельных вычислений.

Причиной вынужденных простоев в работе ВМ, вызванных проблемой синхронизации заданий, является наличие отношений частичного порядка между заданиями целевой задачи [3].

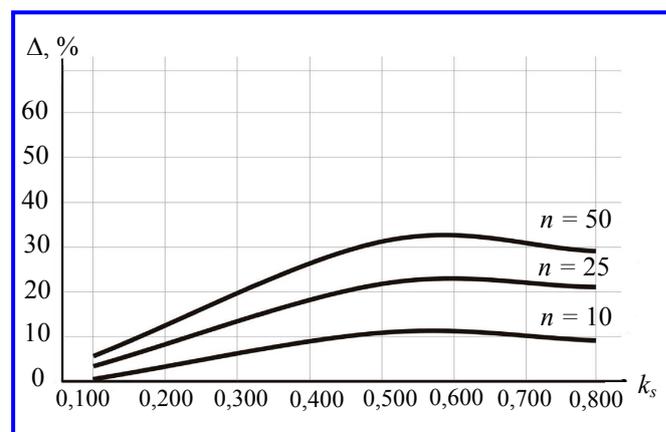


Рис. 1. Зависимость относительной доли времени простоя ВМ Δ от количества заданий n коэффициента связности графа алгоритма целевой задачи k_s

В качестве показателя потерь энергии при функционировании ВМ в период вынужденных простоев была выбрана относительная доля времени простоя ВМ, определяемая из соотношения [3],

$$\Delta = \left(\frac{T_p}{T_3} - 1 \right) 100\%,$$

где T_p – общее время работы всех ВМ вычислительной системы; T_3 – общее время выполнения всех заданий.

Из рис. 1 видно, что с увеличением количества заданий, выполняемых в ПВС, и коэффициента связности графа алгоритма целевой задачи k_s , относительная доля времени простоя ВМ Δ увеличивается.

Один из путей решения этой проблемы – управление энергопотреблением ВМ ПВС в процессе диспетчирования параллельного вычислительного процесса (ПВП) с учётом множественных энерго-временных характеристик при вынужденных простоях в процессе выполнения параллельного алгоритма. На рис. 2 показан фрагмент временной диаграммы работы одного ВМ при выполнении параллельного алгоритма целевой задачи с основными периодами его активной работы.

Энергоёмкость ПВП в этом случае складывается из энергоёмкости процесса выполнения всех задач E_z , энергоёмкости переходных процессов при переводах ВМ в пассивные режимы E_ξ и энергоёмкости вынужденных простоев ВМ E_p :

$$E = E_z + E_\xi + E_p. \quad (1)$$

Энергоёмкость выполнения всех задач E_z при неизменной максимальной потребляемой мощности

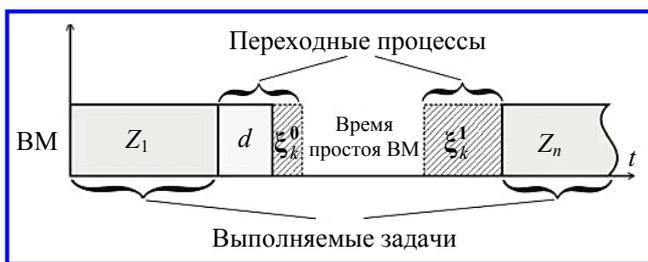


Рис. 2. Периоды активной работы ВМ

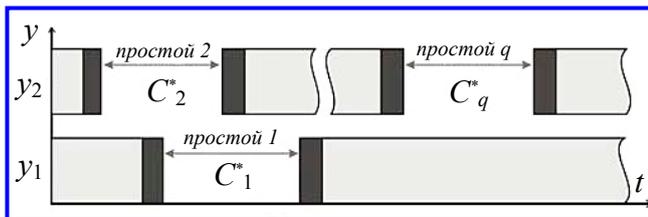


Рис. 3. Соответствие простоев ВМ и C^* -состояний

ВМ зависит от количества задач и их длительности:

$$E_z = P_{C_0} \sum_{i=1}^N T_i,$$

где P_{C_0} – мощность, потребляемая ВМ в C_0 -состоянии; T_i – время выполнения i -й задачи; N – количество задач.

Работа ВМ при переходных процессах между энергосберегающими C -состояниями и активным режимом характеризуется энергоёмкостью E_ξ , определяемой выражением:

$$E_\xi = P_{C_0} \sum_{q=1}^l (d_q + \xi_q^0 + \xi_q^1),$$

где d_q – время работы диспетчера при q -м простое; ξ_q^0 – время перехода из активного режима в одно из C -состояний при q -м простое ВМ; ξ_q^1 – время перехода ВМ из одного из C -состояний при q -м простое в активный режим; l – количество простоев.

Энергоёмкость всех простоев ВМ E_p при реализации ПВП определяется выражением:

$$E_p = \sum_{q=1}^l (t_{i_q} - t_{0_q} - d_q - \xi_q^0 - \xi_q^1) P_q,$$

где t_{i_q} – время завершения q -го простоя ВМ (начало выполнения очередного задания); t_{0_q} – время начала q -го простоя ВМ (завершение выполнения очередного задания); P_q – мощность, потребляемая ВМ в q -м простое.

Очевидно, что минимизируемым показателем является энергоёмкость простоя ВМ, которая зависит от длительности простоя и выбранного энергосберегающего C -состояния и может быть определена через энергоёмкость одного из его C -состояний:

$$E(C_k) = (t_i - t_0 - d - \xi_k^0 - \xi_k^1) P_k, \quad (2)$$

где $C_k \in \{C_1, C_2, \dots, C_g\}$; g – количество C -состояний; каждое k -е состояние определяется: ξ_k^0 – временем перехода ВМ из активного режима в одно

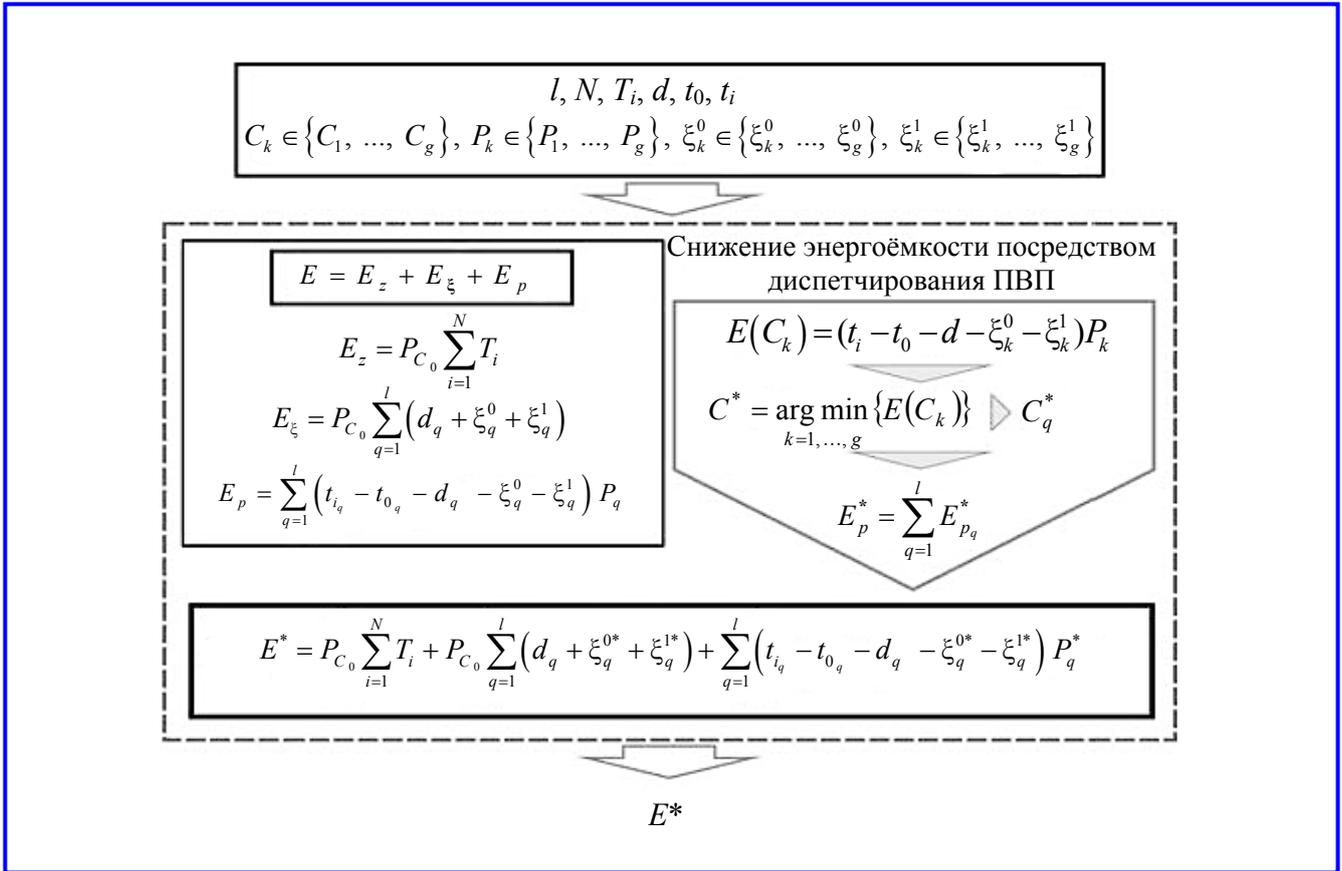


Рис. 4. Модель диспетчирования энергосберегающего ПВП

из C_k -состояний; ξ_k^1 – временем перехода ВМ из C_k -состояния в активный режим; P_k – мощностью, потребляемой ВМ в C_k -состоянии.

Так как множеству энергосберегающих состояний $\{C_1, C_2, \dots, C_g\}$ соответствует множество значений энергоёмкости $\{E(C_k)\}$, то C -состояние с минимальным энергопотреблением может быть найдено из выражения:

$$C^* = \arg \min_{k=1, \dots, g} \{E(C_k)\}.$$

Из рис. 3 видно, что каждому q -му простоя ВМ соответствует свое C^* -состояние.

Выразив через C_q^* -состояние с минимальным энергопотреблением ВМ в q -м простое и используя выражение (2), можно найти минимальную энергоёмкость за всё время простоев ВМ:

$$E_p^* = \sum_{q=1}^l E_{p_q}^* = \sum_{q=1}^l (t_{i_q} - t_{0_q} - d_q - \xi_q^{0*} - \xi_q^{1*}) P_q^*. \quad (3)$$

Таким образом, минимизировав энергоёмкость функционирования ВМ за период его вынужден-

ных простоев можно снизить общее энергопотребление реализации параллельного алгоритма целевой задачи.

Энергоёмкость ПВП (1) с учётом её минимизации (3) будет выглядеть следующим образом:

$$E^* = E_z + E_\xi + E_p^*.$$

Модель диспетчирования энергосберегающего ПВП представлена на рис. 4.

Предложенный подход может быть применён при организации энергосберегающих вычислительных процессов как в многопроцессорных системах, так и при использовании многоядерных процессоров. Кроме того, идея управления энергопотреблением ВМ в процессе диспетчирования ПВП может быть с успехом использована и в многомашинных комплексах, где энергосберегающие состояния можно рассматривать на более высоком уровне.

Литература

1. Энергоэффективность компьютерной техники [Электронный ресурс]// Технологии и проекты. – Электронные данные. – Режим доступа : <http://www.ineum.ru/pages/energo.html>, свободный. – М. : ОАО «Институт электронных управ-

ляющих машин им. И. С. Брука», 2011. – Заглавие с экрана. – Дата обращения 06.12.2011.

2. Advanced Configuration and Power Interface Specification / Hewlett-Packard; Intel; Microsoft; Phoenix; Toshiba. – 2006. – P. 531.

3. Басыров А. Г. Диспетчер энергосберегающего параллель-

ного вычислительного процесса / А. Г. Басыров, А. В. Данеев, А. Б. Мاستин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2010. – № 3 (27). – С. 157 – 162.

Поступила в редакцию 11.01.2012

Александр Геннадьевич Басыров, д-р техн. наук, доцент, полковник, начальник кафедры вычислительных средств и сетей ВКА им. А.Ф. Можайского, e-mail: alexanderbas@mail.ru.

Альберт Николаевич Шульгин, подполковник, адъюнкт заочной формы обучения ВКА им. А.Ф. Можайского, научный сотрудник войсковой части 85487, e-mail: shulgin_albert@mail.ru.

Анатолий Владимирович Малинка, подполковник, канд. военных наук, начальник лаборатории войсковой части 07378, т. (818) 345-44-93, e-mail: crimson-friend@rambler.ru.