

# Модель управления энергосберегающими вычислительными процессами в бортовых вычислительных системах

## Management model energy-efficient computing processes in onboard computing systems

**Ключевые слова:** бортовая вычислительная система – onboard computer system; энергосберегающие вычисления – energy-efficient computing; конфигурирование вычислительной системы – configuring the computer system; планирование параллельных вычислений – scheduling parallel computations.

Предложена модель управления энергосберегающими вычислительными процессами, характеризующая зависимость объема потребляемого бортовой вычислительной системой энергоресурса от управляющих воздействий, формируемых на основе системы энергосберегающих параллельных вычислений. Модель позволяет определить оптимальную по энергопотреблению структуру бортового вычислителя и соответствующий план реализации вычислительного процесса.

The model allows to determine the optimal energy consumption structure of board of the calculator and plan the implementation of the computational process. A model of managing energy-saving computing processes, characterizing the dependence of the volume consumed on-board computer system energy, from the control actions that are generated on the basis of energy-efficient parallel computing.

### ВВЕДЕНИЕ

Основным путем повышения производительности и надежности функционирования бортовых вычислительных систем (БВС) является применение технологий параллельной обработки информации [1] и резервирование аппаратных средств, что приводит к наращиванию числа вычислительных модулей в составе БВС и, как следствие, к росту потребляемой мощности. Таким образом, возникает противоречие между увеличением энергопотребления БВС для

### БАСЫРОВ / BASYROV A.

#### Александр Геннадьевич

(alexanderbas@mail.ru)  
кандидат технических наук, доцент,  
преподаватель кафедры электронной  
вычислительной техники  
Военно-космической академии  
им. А.Ф. Можайского,  
Санкт-Петербург

обеспечения повышенных требований по производительности и надежности их функционирования и ограниченными возможностями системы энергоснабжения КА.

Данное противоречие может быть решено путем применения технологий энергосберегающих вычислений – комплекса научных методов и организационных мер, операций и приемов, направленных на реализацию вычислительного процесса с номинальным качеством и минимальными затратами энергоресурса на функционирование вычислительной системы. Ниже рассмотрены известные и перспективные технологии энергосбережения в вычислительных системах, а также предложен подход к управлению вычислительным процессом в БВС на основе этих технологий.

### ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время происходит смена приоритетов при разработке процессоров, вычислительных систем на их основе и, соответственно, программного обеспечения. Стоимость аппаратного обеспечения постепенно снижается на фоне постоянного удорожания энергоресурсов.

Из-за удорожания электроэнергии и ужесточения экологических стандартов на энергетическое и радиационное загрязнение среды на самых емких рынках развитых стран сегодня все производители переходят на технологии уменьшения потребления электроэнергии средствами вычислительной техники, особенно – в моменты простоя и ожидания. Уровень энергопотребления стано-

вится важным фактором, определяющим выбор аппаратно-программной платформы вычислительных систем. Энергосбережение неотделимо сегодня от прогресса в разработке новых технологий аппаратных средств, программного обеспечения, организации информационно-вычислительного процесса и т.д.

Перечислим основные современные технологии энергосбережения в вычислительных системах [2]:

- уменьшение технологических норм проектирования процессоров;
- управление тактовой частотой процессоров и рабочими напряжениями питания аппаратных средств;
- применение контроллеров электропитания системных плат;
- использование многоядерных энергосберегающих процессоров;
- профилирование режимов энергопотребления аппаратных средств;
- виртуализация серверов и Blade-системы;
- системы кондиционирования и охлаждения с оптимизацией теплообмена.

В качестве перспективных технологий, призванных обеспечить снижение энергопотребления вычислительных систем, необходимо отметить:

- новые магнитооптические технологии хранения данных;
- технологию беспроводного электропитания;
- наноструктуры на основе углерода;
- энергосберегающие оптические технологии.

#### МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Существующие технологии энергосбережения в вычислительных системах открывают большие возможности по снижению энергоемкости функционирования БВС. Вместе с тем, встает проблема их эффективного применения для построения БВС и управления вычислительными процессами.

Основным фактором, непосредственно влияющим на энергоемкость решения целевых задач в БВС, которым можно динамически управлять, является общее время активного функционирования вычислительных модулей (ВМ) БВС. В качестве ВМ можно рассматривать бортовые микро-ЭВМ, процессоры или процессорные ядра.

Представленная ниже модель управления энергосберегающими параллельными вычислительными процессами связывает значение потребляемого вычислительной системой энергоресурса с управляющими воздействиями, формируемыми на основе системы энергосберегающих параллельных вычислений с учетом требований к показателям качества функционирования БВС. Система

энергосберегающих вычислений – совокупность взаимосвязанных моделей и методов, организующих энергосберегающие вычисления, которая включает в себя:

- модели алгоритмов целевых задач и бортовой вычислительной системы;
- модели и методы, обеспечивающие выбор энергосберегающей конфигурации БВС, планирование и диспетчирование энергосберегающих вычислительных процессов.

Если предположить, что для выполнения некоторой программы из состава БВС, включающей  $M$  вычислительных модулей, выделяется  $\nu$  ВМ для параллельной обработки задач и  $\pi$  ВМ для нагруженного резервирования, которые активно потребляют энергоресурс, модель представления процессов управления энергосберегающими параллельными вычислениями можно формализовать в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} E(\nu) = s \cdot \left( \sum_{i=1}^N \tau_i + \pi(\nu) \cdot w(\Psi(G, \nu)) \right) \\ w(\Psi(G, \nu)) \leq T_D \\ \chi(\pi, \nu + \pi) \geq P_D \\ \nu + \pi \leq M \end{array} \right. ,$$

где  $\chi(\pi, \nu + \pi)$  – вероятность безотказной работы структуры БВС, состоящей из  $\nu + \pi$  ВМ,  $\pi$  из которых являются резервными. При скользящем резервировании количество требуемых резервных ВМ нелинейно связано с количеством основных ВМ следующим соотношением:

$$\chi(\pi, \nu + \pi) = \sum_{i=0}^{\pi} \frac{(\nu + \pi)!}{i!(\nu + \pi - i)!} (1 - p)^i p^{\nu + \pi - i},$$

где  $M$  – общее количество ВМ в БВС;

$N$  – количество задач;

$S$  – потребляемая мощность одного ВМ;

$\tau_i$  – время, требуемое на обработку  $i$ -го ( $i = 1, N$ ) задачи;

$p$  – вероятность безотказной работы каждого ВМ на заданном интервале функционирования БВС;

$P_D$  – требуемая (директивная) вероятность безотказной работы БВС;

$T_D$  – директивное время завершения обработки всех задач;

$\Psi(G, \nu)$  – отображение параллельной программы  $G$  на структуру БВС, содержащую  $\nu$  ВМ (план, расписание ПВП);

$w(\Psi)$  — время, требуемое на реализацию вычислений по расписанию  $\Psi(G, \nu)$  (длина расписания).

Возможность применения представленной модели связана с результатами решения частных задач, а именно:

- выбором энергосберегающей вычислительной структуры БВС посредством ее конфигурирования с целью определения рациональной пары значений основных и резервных  $VM(\nu, \pi)$ ;
- планированием параллельных вычислительных процессов с целью нахождения минимального по времени плана  $\Psi(G, \nu)$  их реализации;
- формированием схемы управления вычислительными модулями на основе диспетчирования энергосберегающих параллельных вычислительных процессов в соответствии с планом вычислений, направленным на перевод в режимы пониженного энергопотребления  $VM$  в моменты времени их вынужденного простоя.

Как показали исследования, системное решение этих задач, каждая из которых вносит вклад в общее энергосбережение БВС, выраженное предложенной моделью, позволяет во многих случаях повысить энергетическую эффективность функционирования БВС.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного моделирования процессов энергосберегающего функционирования БВС показали, что предлагаемый подход к управлению вычислительными процессами позволяет сократить потребление энергоресурсов на 40–90%, в зависимости от алгоритма решаемой задачи, структуры вычислительной системы и требований к показателям качества функционирования БВС. Разработанная модель может быть применена как при проектировании БВС, что позволит сформулировать требования к алгоритмам решаемых задач, аппаратно-программным средствам БВС, системе ее энергоснабжения, так и при эксплуатации БВС для организации энергосберегающей обработки информации.

#### Литература

1. Воеводин В.В., Воеводин В.В. Параллельные вычисления. – СПб.: «БХВ – Петербург», 2004.
2. Пахомов С. Технологии энергосбережения в мобильных ПК // КомпьютерПресс. – 2003. – № 7.

Готовитесь к защите – наш журнал и диссертационный совет при Институте телекоммуникаций предлагают свои услуги.

## ИНФОРМАЦИЯ

КОСМОС



Обращайтесь по адресу:  
olga-infocosmo@yandex.ru