

Література

1. Руководство по управлению инновационными проектами и программами [Текст] / пер. на рус. язык под ред. С. Д. Бушуева. – Т.1, версия 1.2. – К.: Наук. світ, 2009. – 173 с.
2. Большаков, А. А. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами [Текст] / под. ред. А. А. Большакова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 160 с.
3. Стоилова, К. Прогнозирующие неинтерактивные координации в иерархических системах [Текст] / К. Стоилова // Автоматика и телемеханика. – 2006. – №4. – С.137-151.
4. Паршева, Е. А. Адаптивное децентрализованное управление многосвязными объектами [Текст] / Е. А. Паршева // Автоматика и телемеханика. – 2001. – №2. – С.135-148.
5. Ладанюк, А. П. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа [Текст] / А. П. Ладанюк, Д. А. Шумигай, Р. О. Бойко // Проблемы управления и информатики. – 2013. – №4. – С. 117-122.
6. Кузнецов, О. П. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт [Текст] / О. П. Кузнецов, А. А. Кулинич, А. В. Марковский; под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова // Человеческий фактор в управлении. – М.: КомКнига, 2006. – С. 313-344.
7. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика [Текст] / Д. А. Поспелов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
8. Прокопенко, Т. О. Комплексна модель стратегічного управління організаційно-технічними системами в умовах невизначеності [Текст] / Т. О. Прокопенко // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2013. – №7. – С.55-60.
9. Борисов, В. В. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети [Текст] / В. В. Борисов, М. М. Зернов // Искусственный

интеллект и принятие решений. – 2009. – №1. – С. 18-30.

10. Лега, Ю. Г. Інформаційна технологія стратегічного управління організаційно-технічними системами [Текст] / Ю. Г. Лега, Т. О. Прокопенко // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 1. – С. 11-14.

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Представлены методологические основы управления технологическими комплексами (ТК) непрерывного типа на длительных интервалах времени в условиях неопределенности. Автор предлагает комплексное применение методов стратегического и оперативного управления для технологических комплексов в условиях неопределенности. В результате имеем возможность определить сценарий развития ТК, спрогнозировать динамику достижения стратегических целей, динамику потребления ресурсов, динамику изменения показателей эффективности ТК.

Ключевые слова: технологический комплекс, неопределенность, оперативное управление, стратегическое управление.

Прокопенко Тетяна Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління проектами, Черкаський державний технологічний університет, Україна, e-mail: tatianaalexandr@yandex.ru

Прокопенко Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, кафедра управления проектами, Черкасский государственный технологический университет, Украина, e-mail: tatianaalexandr@yandex.ru

Prokopenko Tatiana, Cherkasy State Technological University, Ukraine, e-mail: tatianaalexandr@yandex.ru

УДК 004.9

Савинов В. Ю.

УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ С ЭНЕРГООГРАНИЧЕННЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ МОДУЛЯМИ

В статье рассмотрена задача уменьшения энергопотребления распределённых компьютерных систем с энергоограниченными измерительными модулями за счет оптимального масштабирования частоты процессора измерительного модуля. Разработана математическая модель данной системы, работоспособность которой проверена на основе измерительного модуля, который состоит из пьезоэлемента ЦТС-19, Microstick for dsPIC33F Development Board, Raspberry Pi Model B.

Ключевые слова: распределенные системы, энергоограниченный измерительный модуль, энергопотребление, динамическое управление производительностью.

1. Введение

Развитие и рост объема электроники, использующих микроконтроллеры в различных узлах прикладных систем, например распределенных информационно-измерительных системах, обуславливают поиск более эффективных решений направленных на снижение энергопотребления, так как удаленные узлы, как правило, питаются от автономных источников энергии. Решение данной проблемы возможно за счет повышения эффективности алгоритмов вычислительных элементов, например процессора, улучшение программного обеспечения.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для уменьшения энергопотребления периферийного узла существует множество алгоритмов, среди которых следует отметить, алгоритмы динамического управления производительностью. Суть их заключается в том, что каждая задача описывается тремя параметрами: количеством инструкций в задаче, требуемым временем завершения и периодом повторения. На следующем шаге оценивается производительность в соответствии с параметрами задач, находящихся в очереди на вы-

полнение, и выбирается соответствующий режим работы процессора [1 – 5].

Представителем данных алгоритмов является алгоритм EDF (earliest deadline first), суть которого заключается в минимизации возможных запаздываний за счет выбора оптимальной частоты процессора [6 – 8].

Однако, основным недостатком этих подходов является то, что они ориентированы на системы со стационарным питанием и не учитывают ограниченное энергопотребления системы.

Целью данной работы является уменьшение энергопотребления в распределённых компьютерных систем с энергоограниченными измерительными модулями.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить такие задачи, как:

1. разработать математическую модель распределённых компьютерных систем с энергоограниченными измерительными модулями;
2. адаптация алгоритма EDF для полученной модели.

3. Результаты исследований

Общая энергия распределённых компьютерных систем с энергоограниченными измерительными модулями находится по формуле:

$$E = E_{\text{зап}} + E_{\text{преобр}} - E_{\text{системы}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{зап}}$ – запасенная энергия; $E_{\text{поступ}}$ – энергия поступления от сторонних источников (например, регенерируемых источников энергии); $E_{\text{ЭК}}$ – энергия потребления электронными компонентами (АЦП, датчики, усилители и др.); $E_{\text{проц}}$ – энергия потребления микропроцессором. $E_{\text{системы}}$ находится как:

$$E_{\text{системы}} = E_{\text{ЭК}} + E_{\text{проц}}. \quad (2)$$

Причем для непрерывной работы измерительного модуля необходимо выполнение условия:

$$E_{\text{зап}} + E_{\text{поступ}} - E_{\text{ЭК}} - E_{\text{проц}} > 0. \quad (3)$$

Главным потребителем энергии в микроконтроллере, входящего в состав измерительного модуля, является процессор.

Для уменьшения энергопотребления используется алгоритм EDF, который является приоритетным правилом выборки заданий из очереди.

Коэффициент использования процессора $u_{k,i}$ находится следующим:

$$u_{k,i} = \frac{\sum_{j=1}^i e_{k,j}}{d_{k,i}}, \quad (4)$$

где $e_{k,j}$ – оставшееся время выполнения j -го задания, $i=1..n_k$, k – номер набора работ, n – число работ в наборе k .

Режим работы \bar{s}_k процессора для i -ой работы с наивысшим приоритетом, находится следующим образом:

$$\bar{s}_k = \max_{i=1}^{n_k} \{u_{k,i}\}. \quad (5)$$

Обозначим множество режимов работ как $R = \{r_1, \dots, r_2\}$.

Частота процессора f_i при выполнении i -ой работы будет определяться из выражения:

$$f_i = \min_{z=1}^y \{r_z \mid r_z \geq \bar{s}_k\} \times f_{\text{max}}, \quad (6)$$

где y – количество режимов, f_{max} – максимальная частота процессора.

Таким образом, энергопотребление процессора при выполнении i -ой работы будет равным

$$E_i = CU_i^2 f_i, \quad (7)$$

где C – динамическая емкость; U_i – напряжение на процессоре при выполнении i -ой работы. Энергопотребление для выполнения всех задач не должно превышать накопленную энергию:

$$\sum_{i=1}^{n_k} E_{\text{проц}} \leq E_{\text{зап}} + E_{\text{поступ}}. \quad (8)$$

Таким образом, математическая модель для решения задачи снижения энергопотребления в распределённых компьютерных системах с энергоограниченными измерительными модулями имеет вид:

$$\begin{cases} E_{\text{зап}} + E_{\text{поступ}} - E_{\text{ЭК}} - E_{\text{проц}} > 0, \\ C \sum_{i=1}^k U_i^2 f_i \rightarrow \min, \text{ при } f_i = \min_{z=1}^y \{r_z \mid r_z \geq \bar{s}_k\} \times f_{\text{max}}, \\ \sum_{i=1}^{n_k} E_{\text{проц}} \leq E_{\text{зап}} + E_{\text{поступ}}. \end{cases} \quad (9)$$

Полученные результаты исследования были протестированы на измерительном модуле, основанном на пьезоэлементе из пьезокерамики ЦТС-19 в виде бруска размером 24 x 10 x 6 мм, который через аналоговые выходы подключены к Microstick for dsPIC33F Development Board [9]. Полученные данные от контролера dsPIC33F передаются на обработку на одноплатный компьютер Raspberry Pi Model B, с характеристиками: процессор Broadcom BCM2835 700 МГц ARM11; ОЗУ – 512 МБ; SD / MMC / SDIO слот для карт памяти [10].

На рис. 1 показаны расчеты зависимости использования процессора от количества работ для стандартного алгоритма динамического управления производительностью и реализованного на основе подхода EDF.

Из приведенной гистограммы следует, что коэффициент использования процессора ниже в среднем примерно на 3-5 %. При этом энергопотребление системы снижается на 2-3 %.

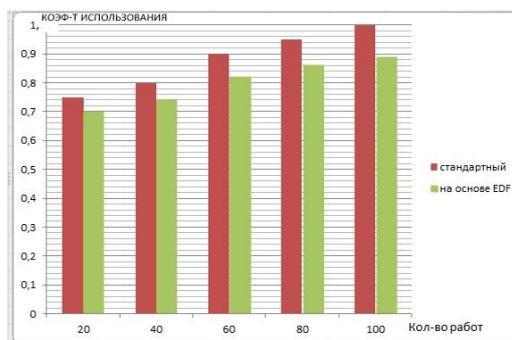


Рис. 1. Зависимость коэффициента использования процессора от количества работ

4. Выводы

1. Таким образом, в ходе исследования разработана модель распределенной системы с энергоограниченными измерительными модулями, корректность которой была проверена экспериментально.
2. В ходе исследования был усовершенствован алгоритм EDF за счет ввода дополнительных ограничений, что позволило адаптировать его подданную систему.

Литература

1. Мусиенко, М. П. Теоретические основы, методы и средства структурно-энергосилового преобразования на основе полиэлектродных пьезокерамических элементов для систем управления [Текст]: дис. ... доктора тех. наук: 05.13.05 / Мусиенко Максим Павлович. – Черкассы, 2006. – 455 с.
2. Kim, J.-K. Dynamic resource management in energy constrained heterogeneous computing systems using voltage scaling [Text] / J.-K. Kim, H. J. Siegel, A. A. Maciejewski, R. Eigenmann // IEEE Trans. on Parallel and Distrib. Syst. – 2008. – Vol. 19 (11). – P. 1445-1457.
3. Бумагин, А. методы снижения энергопотребления в строго самосинхронных микропроцессорных схемах [Электронный ресурс] / А. Бумагин, Е. Гладкова, А. Гондарь, М. Куляс, А. Руткевич, В. Стещенко, М. Тайлеб, Г. Шишкин // Электронный журнал компоненты и технологии. – Режим доступа: \www/ URL: http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2009_09_109.pdf. – 02.04.2012 г. – Название с экрана.
4. Kim, K. H. Power Aware Scheduling of Bag-of-Tasks Applications with Deadline Constraints on DVS-enabled Clusters [Text] / K. H. Kim, R. Buyya, J. Kim // Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid. – 2007. – P. 541-548.
5. Белоус, А. И. Методы минимизации энергопотребления при проектировании КМОП БИС [Текст] / А. И. Белоус, И. А. Мурашко, В. С. Сякерский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 2. – С. 39-44.
6. Манухин, С. В. Алгоритмы оптимизации энергопотребления и повышения эффективности процессоров с масштабированием частоты и напряжения гетерогенного кластера [Текст] / С. В. Манухин, М. И. Сухонос // Труды Международной конференции «Параллельные и распределенные вычислительные системы» PDCS 2013. – 2013. – С. 209-217.
7. Pering, T. The simulation and evaluation of dynamic voltage

scaling algorithms [Text] / T. Pering, T. Bird, R. Brodersen // ISLPED. – 1998. – P. 76-81.

8. Huang, S. Energy-Efficient Cluster Computing via Accurate Workload Characterization [Text] / S. Huang, W. Feng // Proc. CCGRID'09 Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. – 2009. – P. 68-75.
9. Дидук, В. А. Разработка полисенсорных гетерогенных беспроводных пожарно-охранных систем [Текст] / В. А. Дидук, А. М. Коваленко, П. В. Петлёваный, А. А. Дядюшенко, В. И. Томенко, М. П. Мусиенко // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – № 8. – С. 28-32.
10. Описание Raspberry Pi [Электронный ресурс] / Raspberry Pi в России – Режим доступа: \www/ URL: http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2009_09_109.pdf. – 02.04.2012 г. – Название с экрана.

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ З ЕНЕРГООБМЕЖЕНИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ МОДУЛЯМИ

У статті розглянута задача зменшення енергоспоживання розподілених комп'ютерних систем з енергообмеженими вимірювальними модулями за рахунок оптимального масштабування частоти процесора вимірювального модуля. Розроблено математичну модель даної системи, яка враховує обмежене енергоживлення даних систем, працездатність якої перевірена на основі вимірювального модуля, який складається з п'єзоелементу ЦТС-19, Microstick for dsPIC33F Development Board контролер, Raspberry Pi Model B.

Ключові слова: розподілені системи, енергообмежений вимірювальний модуль, енергоспоживання, динамічне управління продуктивністю.

Савинов Владимир Юрьевич, аспирант, кафедра інтелектуальних технологій та програмних систем, Черноморський державний університет ім. П. Могили, Україна, e-mail: vortex3004@rambler.ru

Савинов Володимир Юрійович, аспірант, кафедра інтелектуальних технологій та програмних систем, Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Україна, e-mail: vortex3004@rambler.ru

Savinov Vladymyr, Petro Mohyla Black Sea State University, Ukraine, e-mail: vortex3004@rambler.ru