УДК 004.9

Савінов В. Ю.

ОПТИМАЛЬНЕ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ З ЕНЕРГООБМЕЖЕНИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ МОДУЛЯМИ ПРИ ВИРІШЕННІ ВИПАДКОВИХ ЗАДАЧ

У статті розглянуто задачу оптимізації енергоспоживання розподілених комп'ютерних систем з енергообмеженими вимірювальними модулями при вирішенні випадкових задач за рахунок оптимального масштабування частоти процесора вимірювального модуля. Розроблено математичну модель системи, яка враховує обмежене енергоживлення. Розроблено програмний продукт, в якому реалізовано отримані результати. Проведено експеримент на базі віддалених п'єзоелектричних модулів.

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

В статье рассмотрена задача оптимизации энергопотребления распределенных компьютерных систем с енергоограниченными измерительными модулями при решении случайных задач за счет оптимального масштабирования частоты процессора измерительного модуля. Разработана математическая модель данной системы, которая учитывает ограниченное энергопитания данных систем. Разработан программный продукт, в котором реализованы полученные результаты. Эксперимент на базе удаленных пьезоэлектрических модулей.

Ключевые слова: *распределенные системы, енергообмежений измерительный модуль, энергопотребления, динамическое управление производительностью.*

The article considers the problem of optimizing the energy consumption of distributed computer systems energoobmezhenimy measurement modules for solving random problems through optimal scaling CPU frequency measurement module. A mathematical model of the system, which takes into account the limited power supply of these systems. Developed software that implements the results. The experiment was based on remote piezoelectric modules.

Key words: *distributed system, energoobmezheny measuring module, power, dynamic performance management.*

Вступ. На сьогодні використання мікроконтролерів у розподілених інформаційно-вимірювальних системах, зумовлюють пошук більш ефективних рішень, спрямованих на зниження енергоспоживання, у зв'язку з тим, що віддалені вузли, як правило, живляться від автономних джерел енергії.

Рішення цієї проблеми можливе за рахунок підвищення ефективності алгоритмів обчислювальних елементів, наприклад, процесора при виконанні періодичних та випадкових задач, поліпшення програмного забезпечення, динамічне відключення невикористовуваних блоків тощо.

Останні дослідження показали, що найбільш перспективним напрямом оптимізації енергоспоживання є підвищення ефективності алгоритмів обчислювальних елементів, а саме алгоритми динамічного управління продуктивністю процесора при вирішенні періодичних завдань. Проте досліджень у галузі підвищення алгоритмів динамічного управління продуктивністю процесора при вирішенні випадкових завдань значно менше, ніж при вирішенні їх періодичних задач, що робить їх вельми актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка завдання. У загальному вигляді найчастіше всього розподілена вимірювальна система складається з головного вузлу, який відповідає за розподіл апаратних і енергетичних ресурсів та периферійних вузлів (рис. 1), які

виконують операції вимірювання, обробки даних і передачі оброблених даних на головний вузол [1].

Для зменшення енергоспоживання цього вузла при вирішенні випадкових задач використовують алгоритми динамічного управління продуктивністю процесора. Суть їх полягає в тому, що кожна задача описується такими параметрами: кількістю інструкцій у задачі, терміном завершення. На наступному кроці оцінюється продуктивність відповідно з параметрами завдань, що знаходяться в черзі на виконання, і вибирається відповідний режим роботи процесора [2-5].

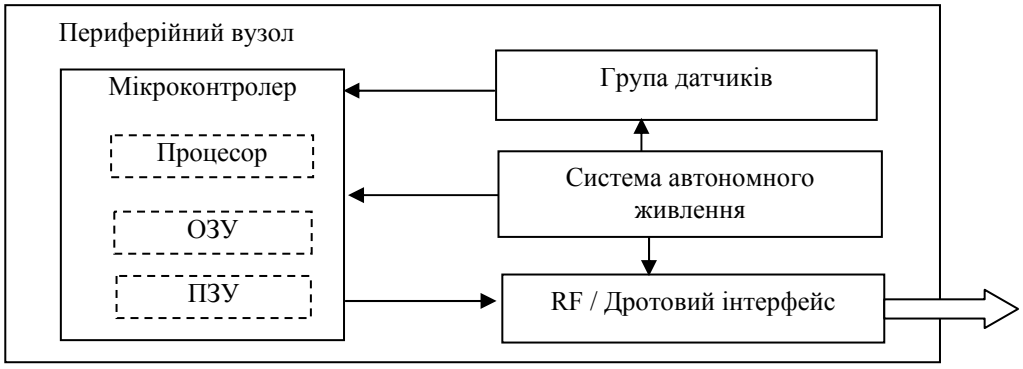

Рис. 1. Схема периферійного вимірювального вузла

Проте основним недоліком цих підходів є те, що вони орієнтовані на системи зі стаціонарним живленням та не враховують обмежене енергоспоживання системи.

Метою роботи є оптимізація енергоспоживання в розподілених комп'ютерних системах з енергообмеженими вимірювальними модулями при вирішенні випадкових задач.

Для досягнення поставленої мети необхідно було розробити математичну модель розподілених комп'ютерних систем з енергообмеженими вимірювальними модулями при вирішенні випадкових задач.

Результати досліджень. Загальна енергія розподілених комп'ютерних систем з енергообмеженими вимірювальними модулями знаходиться за формулою:

$$W = W_{нак} + W_{надх} - W_{системи}, \quad (1)$$

де $W_{нак}$ – накопичена енергія; $W_{надх}$ – енергія надходження від сторонніх джерел (наприклад, джерел енергії, що відновлюються);

$$W_{системы} = W_{ек} + W_{проц},$$

де $W_{ек}$ – енергія споживання електронними компонентами (АЦП, датчики, підсилювачі тощо); $W_{проц}$ – енергія споживання мікропроцесором.

Для зменшення енергоспоживання процесора при вирішенні випадкових задач використовується алгоритм динамічного масштабування частоти. Для цього знаходиться коефіцієнт використання процесора u_i:

$$u_i = \sum_{j=1}^{i} \frac{\overline{N_j}}{td_j - t}, \quad (2)$$

де $\overline{N_j}$ – середня кількість інструкцій, необхідних для виконання *j*-го завдання; td_j – час закінчення завдання; t – поточний час; $i=1..n_k$, n – число робіт.

Режим роботи процесора $\overline{s_i}$ для і-ой роботи з найвищим пріоритетом та частота процесора f_i при виконанні *i*-ой роботи визначатиметься з виразів наведених у роботі [6].

Отже, енергоспоживання процесора W_i при виконанні і-ой роботи знаходиться таким чином:

$$W_i = CU_i^2 f_i, \quad (3)$$

де C – динамічна ємність; U_i^2 – напруга на кристалі процесора при виконанні *i*-ой роботи. Енергоспоживання для виконання всіх завдань не повинно перевищувати накопичену енергію:

$$\sum_{i=1}^{n_k} W_{проц} \le W_{нак} + W_{надх}. \quad (4)$$

Умова безперервної роботи системи знаходитиметься за такою формулою:

$$W_{нак} + W_{надх} - W_{ек} - W_{проц} > 0. \quad (5)$$

Таким чином, математична модель для вирішення завдання оптимального енергоспоживання в розподілених комп'ютерних системах з енергообмеженими вимірювальними модулями при вирішенні випадкових завдань має вигляд:

$$\begin{cases} C\sum_{i=1}^{k} U_i^{\,2} f_i \to \min,\ при\ f_i = \min_{z=1}^{y}\{r_z \mid r_z \geq \max_{i=1}^{n_k}\{u_i\}\} \times f_{\max} \\ W_{нак} + W_{надх} - W_{ек} - W_{проц} > 0, \\ \sum_{i=1}^{n_k} W_{проц} \leq W_{нак} + W_{надх}. \end{cases} \quad (6)$$

У роботі було розроблено програмне забезпечення на мові C++, за допомогою якого промодульовано роботу процесора при виконанні випадкових задач при використовуванні стандартного алгоритму та на основі алгоритму динамічного управління продуктивністю процесора. Через інтерфейс користувача розробленого програмного забезпечення було введено такі значення: кількість робіт – 25, кількість режимів роботи процесора – 5 (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1).

У ролі віддалених модулів були обрані п'єзодатчики з п'єзокерамічного елемента ЦТС-19 та пристроїв попередньої обробки інформації на базі Microstick for dsPIC33F Development Board. У ролі мікроконтролера застосовані обчислювальні ресурси Raspberry Pi (model B). Результати проведених вимірювань були попередньо занесені до бази даних програмного забезпечення.

На рис. 2 показано розрахунки залежності коефіцієнта використання процесора від кількості робіт.

З наведеної гістограми випливає, що коефіцієнт використання процесора при використанні алгоритму динамічного управління продуктивністю процесора нижче в середньому приблизно на 8-9 %. На рис. 3 показано енергоспоживання системою (у мВт) при вирішенні потоку з 25 випадкових задач на 3-х модулях. При цьому енергоживлення знижується приблизно на 6,1 %.

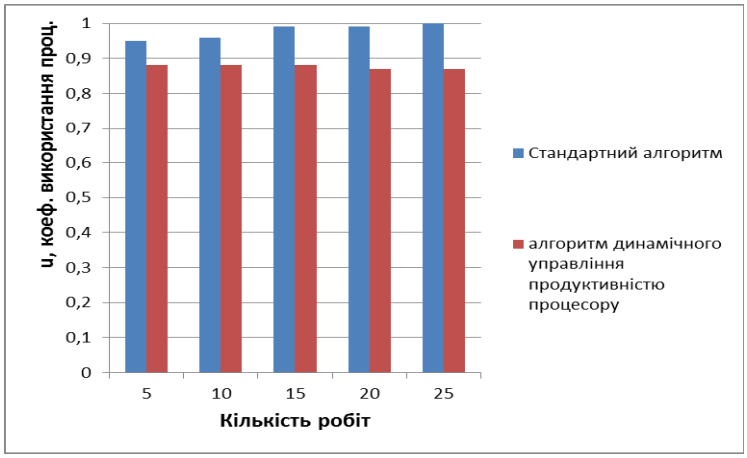

Рис. 2. Залежність коефіцієнта використання процесора від кількості робіт при виконанні випадкових задач

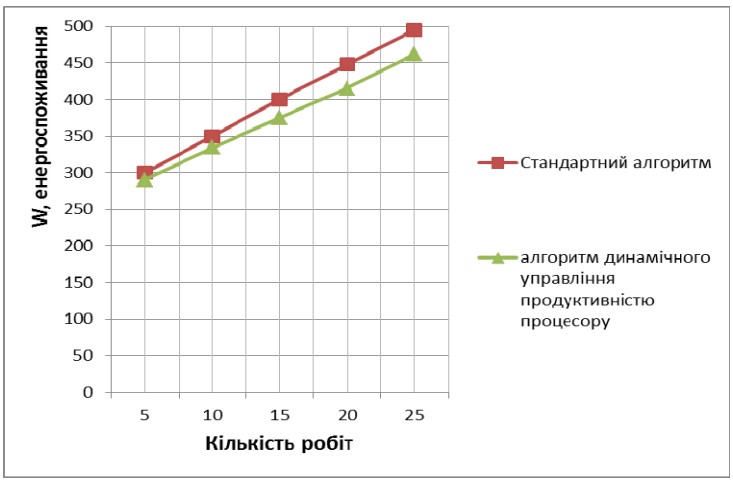

Рис. 3. Залежність енергоспоживання (у мВт) від кількості робіт при виконанні випадкових задач

Висновки. Таким чином, у роботі розроблено модель розподіленої системи з енергообмеженими вимірювальними модулями. Розроблено програмний продукт, в якому реалізовані отримані результати. Проведено експеримент на базі віддалених п'єзоелектричних модулів, що показав переваги запропонованої в роботі оптимізації енерго-споживання розподілених комп'ютерних систем з енергообмеженими вимірювальними модулями при вирішенні випадкових задач.

ЛІТЕРАТУРА

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 / Максим Павлович Мусиенко. – Черкассы, 2006. – 455 с.
2. Бумагин А. методы снижения энергопотребления в строго самосинхронных микропроцессорных схемах [Электронный ресурс] / А. Бумагин, Е. Гладкова, А. Гондарь, М. Куляс, А. Руткевич, В. Стешенко, М. Тайлеб, Г. Шишкин // Электронный журнал компоненты и технологии. – Режим доступа : http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2009_09_109.pdf.
3. 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.
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] / И. А. Белоус, В. С. Сякерский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 2. – С. 39–44.
6. Савинов В. Ю. Уменьшение энергопотребления распределённых компьютерных систем с энергоограниченными измерительными модулями / В. Ю. Савинов // «Технологічний аудит та резерви виробництва». – 2013. – № 6. – С. 56–61.

© Савінов В. Ю., 2013

Дата надходження статті до редколегії 07.10.2013 р.

САВІНОВ Володимир Юрійович – аспірант кафедри інформаційних технологій і програмних систем Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: інформаційні системи, бази даних.