

# ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ

Сергій Єнгаличев

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

DOI 10.24917/9788368020861.17

## Abstract

This document discusses the importance of choosing performance metrics for evaluating the operation of complex systems, particularly specialized processors. It emphasizes that the basis of evaluation is a set of metrics that reflect the system's compliance with requirements and tasks. The document explores key performance metrics for specialized processors, including execution time, data update period, equivalent gate complexity, average execution time, time reduction coefficient, and parallelization efficiency coefficient. It also highlights the importance of considering the specific use case and requirements when selecting performance metrics.

**Keywords:** performance metrics, specialized processors, parallel algorithms, execution time, data update period, equivalent gate complexity.

Обчислювальні засоби (спецпроцесори) мають характерні риси складної системи. Якість функціонування складної системи зазвичай оцінюють за допомогою показників ефективності, які служать для визначення ступеня її відповідності висунутим вимогам та поставленим перед нею завданням [1]. Для складної системи важко обґрунтувати єдиний (узагальнений) показник ефективності, тому на практиці застосовується сукупність про приватних показників, вибір яких залежить від цільового призначення, тактико-технічних і техніко-експлуатаційних параметрів системи. Як правило, серед них домінуючими є один або кілька показників, які повинні відповідати таким вимогам [2]:

- чисельно характеризувати ступінь виконання найважливішої цільової функції системи;
- забезпечувати можливість оцінки витрат, необхідних для досягнення різних значень, та ступеня впливу різних зовнішніх факторів;
- бути по можливості простими за змістом, які легко вимірюються і мати малу дисперсію, тобто слабо залежати від безлічі неконтрольованих факторів.

Вважатимемо, що спецпроцесор має модульну структуру, а число типів модулів відповідає числу різних операцій, виконуваних у ньому.

Позначимо через:

$\rho$  – Кількість різних типів модулів, що виконують конкретну операцію над операндами заданої розрядності;

$\Theta = \{\theta_i\}_{i=1}^{\rho}$  – безліч різних типів  $\theta_i$  модулів;

$N = \{n_i\}_{i=1}^r$  ( $r \leq \rho$ ) – вектор (множина) значень  $n_i$  кількості модулів типу  $\theta_i$ ;

$K = \{k_{i\xi}\}_{i=1}^r$  – вектор (множина) значень  $k_{i\xi}$  кількості операторів  $P_j \in P(\xi)$

$\xi$ -ї гілки алгоритму, що виконуються модулем типу  $\theta_i$ ;

$T = \{t_i\}_{i=1}^r$  – вектор (множина) значень  $t_i$  часу виконання відповідного опе-

ратора модулем типу  $\theta_i$ ;

$Q = \{q_i\}_{i=1}^r$  – вектор (множина) значень  $q_i$  еквівалентної вентиляльної складності модулів типу  $\theta_i$ .

Аналіз літератури [1–4] показав, що для оцінки ефективності паралельних часових моделей алгоритму (комплексу алгоритмів), та функціональних структур паралельних перебудованих спецпроцесорів (ППС) їх реалізують, використовується, як правило, одна і та сама сукупність відомих показників. Їх умовно можна поділити на основні та додаткові. До основних показників ефективності паралельної реалізації алгоритму (або комплексу алгоритмів) в ППС можуть бути віднесені такі.

По-перше, час виконання алгоритму

$$t = \max_{\xi} (T_{\xi}), \quad (1)$$

де  $T_{\xi}$  – час реалізації  $\xi$ -ї гілки паралельного алгоритму ( $\xi \in 1, W$ ,  $W$  – число гілок алгоритму), що визначається за формулою

$$T_{\xi} = \max_{P_j \in P(\xi)} (t_j^H + t_j), \quad (2)$$

де  $P(\xi)$  – безліч операторів  $\xi$ -ї гілки;

$t_j^H$  – Момент початку оператора  $P_j \in P(\xi)$ ;

$t_j$  – Відносна “тимчасова глибина” оператора  $P_j \in P(\xi)$ .

По-друге, для обчислювальних засобів (спецпроцесорів) систем управління та обробки інформації реального часу одним із найважливіших є вимога щодо забезпечення введення даних та (або) видачі результатів обробки із заданим періодом  $T$  або темпом (частотою)  $F = 1 / T$  їх оновлення. Значення параметрів  $T$  або  $F$ , зазвичай, визначаються швидкістю протікання реальних фізичних процесів.

Мінімальне значення періоду оновлення вхідних даних  $T_{\text{про min}}$ , що забезпечується застосуванням різних методів паралельної обробки (а) – поєднання незалежних операцій; б) – конвеєрна обробка; в) – декомпозиційна обробка), визначається із співвідношення [28, 87]

$$T \geq T_{o \min} = \begin{cases} t, & \text{а)} \\ \max_i (t_i + 2 \cdot t_{\phi}^0), & \text{б)} \\ \max_i (t_i + 2 \cdot t_{\phi}^0) / \Delta, & \text{в)} \end{cases} \quad (3)$$

де  $t$  – час виконання алгоритму під час використання поєднання незалежних операцій (обмеження на обладнання відсутні);

$t_i$  – Час виконання операції модулем типу  $\theta_i$ ;

$t_{\phi}^0$  – величина циклу зчитування даних з модулів пам'яті, що виконують роль «фіксаторів» проміжних результатів та використовуються в СПП для організації конвеєрної та (або) декомпозиційної обробки;

$\Delta = \left[ \frac{\max_i (t_i)}{T} \right]$  – Коефіцієнт декомпозиції (тут через  $[x]$  позначено най-

ближче більше ціле  $x$ ).

По-третє, важливе прикладне значення мають показники, що характеризують апаратну складність цифрових систем реального часу та ефективність використання компонентів (модулів), що входять до їх складу. До таких показників можна віднести еквівалентну вентиляну складність і коефіцієнт використання (завантаження) апаратних засобів при паралельній реалізації алгоритму (комплексу алгоритмів).

Еквівалентна вентиляна складність СПП визначається співвідношенням [4]

$$Q = \sum_{i=1}^p q_i \cdot n_i. \quad (4)$$

Коефіцієнт середнього завантаження модулів типу  $\theta_i$  розраховується за формулою [28, 87]

$$S_i = \frac{\sum_{\xi=1}^W (t_i \cdot k_{i\xi} \cdot P_{\xi})}{n_i \cdot t}, \quad (5)$$

де  $W$  – Число гілок в алгоритмі;

$P_{\xi}$  – Імовірність реалізації  $\xi$ -ї гілки.

До додаткових показників ефективності можна віднести середній час виконання алгоритму, коефіцієнт зниження часових витрат, загальний коефіцієнт завантаження обладнання і коефіцієнт ефективності розпаралелювання.

Середній час виконання алгоритму визначається із співвідношення [5]

$$t_{cp} = \sum_{\xi=1}^W P_{\xi} t_{\xi}, \quad (6)$$

де  $t_{\xi}$  – час реалізації  $\xi$ -ї гілки паралельної тимчасової моделі алгоритму.

Практичний інтерес представляє кількісна оцінка зниження часових витрат виконання алгоритму (комплексу алгоритмів) з допомогою початку його паралельної реалізації. Відповідний коефіцієнт обчислюється за співвідношенням

$$\delta t = \frac{t_{\text{посл}}}{t_{\text{cp}}}, \quad (7)$$

де  $t_{\text{посл}}$  – Середній час послідовної реалізації алгоритму.

Ефективність використання обладнання, наприклад, типових модулів спецпроцесора необхідного переліку та складу, можна оцінити за значенням загального коефіцієнта завантаження обладнання виду [5]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{\rho} S_i}{\sum_{i=1}^{\rho} n_i}. \quad (8)$$

Для КС, що працюють в умовах жорсткого ліміту часу, заданого циклу управління, основними обмеженнями, що накладаються на обчислювальні засоби, є часові. Однак, вирішуючи завдання функціонального синтезу паралельних спецпроцесорів, що перебудовуються, важливо вміти оцінити “питому вартість” підвищення продуктивності або зниження часових витрат на реалізацію комплексу функціональних алгоритмів за рахунок використання можливостей щодо їх розпаралелювання. Узагальненим показником, що характеризує ці оцінки, є коефіцієнт ефективності розпаралелювання виду

$$R = \delta t \cdot S. \quad (9)$$

Вочевидь, що за умов першочергового виконання «часових» вимог «економічно» доцільним виявляється підвищення продуктивності обчислювальних засобів КС реального часу, у якому максимізується значення коефіцієнта  $R$ .

Слід звернути увагу на те, що в залежності від сукупності вимог і особливостей функціональних завдань, що вирішуються в КС, деякі додаткові показники, наприклад, коефіцієнт ефективності розпаралелювання, можуть бути віднесені до основних і навпаки.



## Висновки

Стаття обговорює важливість вибору показників ефективності для оцінки роботи складних систем, зокрема спеціалізованих процесорів. На практиці використовується сукупність показників, які відображають ступінь відповідності системи поставленим вимогам та завданням. Враховуючи модульну структуру спеціалізованих процесорів, стаття розглядає такі основні показники ефективності:

1. Час виконання алгоритму: визначається як сума часу виконання всіх гілок паралельного алгоритму. Важливою є оцінка часу виконання окремих операцій та їх взаємодії.
2. Період оновлення вхідних даних: для систем управління та обробки інформації реального часу важливо забезпечити заданий період оновлення даних. Цей показник визначається швидкістю протікання реальних фізичних процесів.
3. Еквівалентна вентильна складність: це показник, який визначає апаратну складність системи. Він враховується при оцінці ефективності використання обладнання.
4. Середній час виконання алгоритму: використовується для оцінки середнього часу виконання паралельного алгоритму.
5. Коефіцієнт зниження часових витрат: оцінює ефективність паралельної реалізації алгоритму в порівнянні з послідовною реалізацією.
6. Коефіцієнт ефективності розпаралелювання: використовується для оцінки впливу паралелізації на продуктивність системи.

Додатково, в статті згадуються інші показники, такі як загальний коефіцієнт завантаження обладнання та коефіцієнт ефективності розпаралелювання, які також можуть бути важливими залежно від конкретного випадку використання системи.

## Список літератури

1. M. Paprzycki (1997). *Parallel Computers: Theory and Practice [Book Review]*, *Concurrency, IEEE*, vol. 5, pp. 81–82, 10.1109/MCC.1997.580454
2. C. Navarro, N. Hitschfeld, L. Mateu (2013). *A Survey on Parallel Computing and its Applications in Data-Parallel Problems Using GPU Architectures*, *Communications in Computational Physics*, vol. 15, pp. 285–329, 10.4208/cicp.110113.010813a
3. F. Alisherov, S. Iskandarov, S. Khamraeva, B. Nurmetova (2021). *Evaluation of Computational Efficiency by the Method of Parallelization in a Multi-Core CPU's in a Large Data Array* *Evaluation of Computational Efficiency by the Method of Parallelization in a Multi-Core CPU's in a Large Data Array*.

4. C. Basso (2019). *Design of a High-Performance Tensor-Vector Multiplication with BLAS*, 10.1007/978-3-030-22734-0\_3
5. C. Basso (2019). *Design of a High-Performance Tensor-Vector Multiplication with BLAS*, 10.1007/978-3-030-22734-0\_3