

## **ДО ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ПІРАМІД ДЛЯ РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ЦИКЛІВ**

**Андрій Кацьма<sup>2</sup>, Михайло Яджак<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, <sup>2</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, andrii.katsma@lnu.edu.ua, mykhailo.yadzhak@lnu.edu.ua

Метод пірамід [1, 2] для розпаралелювання циклів дозволяє будувати паралельні алгоритми з  $n$  (зазвичай це кількість результуючих ітерацій циклу) автономними гілками, тобто такими, що не взаємодіють між собою. Такі алгоритми можуть бути реалізовані на обчислювальних системах з розподіленою пам'яттю, зокрема кластерах або гібридних архітектурах з використанням графічних процесорів [3, 4]. У багатьох випадках метод пірамід дозволяє будувати ефективні паралельні алгоритми обчислень, зокрема для розв'язання задач цифрової фільтрації різної розмірності [5]. Однак, цей метод має суттєвий недолік – дублювання обчислень [1] на ітераціях у паралельних гілках, що робить його неекономним. Тому виникає потреба у зменшенні обсягу таких дублювань або загалом у їх усуненні, якщо це можливо. З цією метою запропоновано низку підходів:

- більш ретельне виділення пірамід в просторі ітерацій циклу, тобто залучення до гілки лише тих ітерацій, які впливають на результуючу;
- застосування спеціальних операторів обміну з використанням каналів типу FIFO [1, 2, 6];
- конвеєрний запуск «обрізаних» пірамід з організацією обмінів через спільну пам'ять паралельної обчислювальної системи.

Крім наведених підходів запропоновано спосіб розпаралелювання циклів, які мають лише одну результуючу ітерацію. Він ґрунтується на конвеєрному запуску зсунутих між собою (по часу) паралельних гілок [1]. У цьому разі на складність одержаного паралельного алгоритму впливають зсуви гілок.

Під час застосування методу пірамід для розпаралелювання циклів важливим є використання концепції обмеженого паралелізму [5, 7, 8], унаслідок чого отримуємо паралельні алгоритми з  $p$  автономними гілками, де  $p < n$ , до того ж для простоти викладу будемо вважати, що  $n$  є кратним до  $p$  і  $r = n / p$ . У нашому випадку  $p$  є кількістю паралельних гілок, які можна реально виконати на заданому комп'ютері, а  $r$  – кількість результуючих ітерацій, для яких

## **Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2026», 27–29 травня 2026 р., Львів**

виконуються обчислення в одній гілці. В одержаному алгоритмі з обмеженим паралелізмом (АОП) обсяг дублювань обчислень зменшується, а за певних умов вони можливі лише у сусідніх гілках.

У цій роботі розглянуто три різних цикли, що задають обчислення на значній кількості ітерацій. Для розпаралелювання кожного з них застосовано метод пірамід та його модифікацію із взаємодією між паралельними гілками через спільну пам'ять комп'ютера. На підставі одержаних паралельних алгоритмів побудовано АОП. Здійснено програмну реалізацію на мові C# в середовищі Visual Studio побудованих АОП та одержано їх реальне прискорення на комп'ютері з багатоядерним процесором (4 та 6 ядер). Обчислення виконувались для багатьох наборів згенерованих вхідних даних. Результати чисельних експериментів підтвердили ефективність застосування модифікації методу пірамід у поєднанні з концепцією обмеженого паралелізму для розпаралелювання циклів.

1. *Вальковський В. О., Яджак М. С.* Проблеми подальшого розвитку та модифікації методу пірамід для розпаралелювання циклів // *Мат. методи і фіз.-мех. поля.* – 2000. – **43**, № 1. – С. 68–75.
2. *Яджак М. С.* Модифікація методу пірамід для розпаралелювання циклів: організація обмінів між гілками // *Мат. методи і фіз.-мех. поля.* – 2000. – **43**, № 4. – С. 68–72.
3. *The list Top500* [Electronic resource]. – Available: <http://www.top500.org>.
4. *Луцків А. М., Лупенко С. А., Пасічник В. В.* Паралельні та розподілені обчислення: навч. посіб. – Львів: ПП «Магнолія 2006». – 565 с.
5. *Yadzhak M. S.* Parallel Algorithms for Data Filtering // *Cybern. and Syst. Anal.* – 2023. – **59**, No. 1. – P. 39–48.
6. *Огороднійчук М. Д., Чайка Ю. Д., Оксіюк О. Г.* Комплекси і засоби військових телекомунікаційних мереж: навч. посіб. – К.: НУОУ, 2010. – 384 с.
7. *Jadzhak M. S.* Algorithms with Limited Parallelism for Solving One Digital Filtering Problem // *J. of Automat. and Inf. Sciences.* – 2001. – **33**, No. 10. – P. 64–73.
8. *Яджак М. С.* Аналіз реалізації алгоритмів з обмеженим паралелізмом для цифрової фільтрації // *Відбір і обробка інформації.* – 2009. – Вип. 30 (106). – С. 162–167.

### **TO THE PROBLEM OF EFFECTIVE IMPLEMENTATION OF THE PYRAMIDS METHOD FOR LOOPS PARALLELIZATION**

*To parallelize the given loops, the pyramids method and its modification with interaction between parallel branches through shared memory are used. Based on the obtained parallel algorithms, algorithms with limited parallelism were constructed. The software implementation of the constructed algorithms was carried out on a computer with a multi-core processor. A real speedup was obtained, confirming the high efficiency of the mentioned parallel algorithms.*

<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2026>