

УДК 004.45:004.272.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.6>

ЕФЕКТИВНІСТЬ І БАГАТОПОТОКОВІСТЬ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У СИСТЕМНОМУ ПРОГРАМУВАННІ

Кундос М. Г. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»
ORCID ID: 0009-0001-0310-357X

Соловей Л. Я. – старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»
ORCID ID: 0009-0001-2832-1741

Грисюк А. В. – викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»
ORCID ID: 0009-0007-2287-5982

Багнюк О. М. – старший викладач кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування
ORCID ID: 0000-0002-7898-2337

У роботі досліджується застосування паралельних обчислень у системному програмуванні, зокрема питання багатопотоковості та ефективності. Паралельні обчислення є важливою складовою для підвищення продуктивності в умовах обробки великих обсягів даних та виконання ресурсоемних обчислень. Зі збільшенням кількості ядер у процесорах багатопотоковість стала важливою технологією для розробки високопродуктивного програмного забезпечення. Проте, ефективно використання багатоядерних систем потребує комплексного підходу до управління потоками, синхронізації ресурсів і балансування навантаження. Однією з найбільших проблем у багатопотоковому середовищі є синхронізація процесів, яка може призвести до блокування ресурсів, що негативно впливає на продуктивність.

Крім того, у статті розглядаються підходи до управління потоками, такі як розподіл завдань між ядрами та динамічне балансування навантаження, які дозволяють підвищити ефективність паралельних обчислень. Особлива увага приділяється методам уникнення конфліктів під час доступу до спільних ресурсів, а також використанню сучасних бібліотек і технологій, що спрощують реалізацію паралельних алгоритмів у системному програмуванні. Окремо проаналізовано ризики, пов'язані з використанням багатопотоковості, зокрема виникнення помилок синхронізації, що можуть впливати на стабільність програмного забезпечення.

Це дослідження є корисним для ІТ-розробників, які прагнуть глибше зрозуміти принципи багатопотоковості та шляхи оптимізації обчислювальних процесів. Стаття надає огляд сучасних технологій і засобів, що використовуються для забезпечення ефективності у паралельних обчисленнях, і висвітлює основні принципи побудови багатопотокових програм. Висновки роботи демонструють необхідність зваженого підходу до реалізації багатопотокових систем, враховуючи апаратні обмеження, специфіку операційних систем і потенційні проблеми синхронізації, щоб уникнути негативного впливу на продуктивність.

Ключові слова: паралельні обчислення, багатопотоковість, системне програмування, продуктивність, управління потоками, синхронізація, оптимізація ресурсів.

Kundos M. G., Solovei L. Ya., Hrysyuk A. V., Bahniuk O. M. Efficiency and multi-threading of parallel calculations in systems programming

The paper examines the application of parallel computing in system programming, in particular the issues of multithreading and efficiency. Parallel computing is an important component for increasing productivity in the conditions of processing large volumes of data and performing resource-intensive calculations. With the increase in the number of cores in processors, multithreading has become an important technology for developing high-performance software. However, effective use of multicore systems requires a comprehensive approach to flow management, resource synchronization, and load balancing. One of the biggest challenges in a multi-threaded environment is process synchronization, which can lead to resource blocking, which negatively affects performance.

In addition, the paper discusses approaches to thread management, such as the distribution of tasks between cores and dynamic load balancing, which allow to improve the efficiency of parallel computing. Special attention is paid to methods of avoiding conflicts during access to shared resources, as well as to the use of modern libraries and technologies that simplify the implementation of parallel algorithms in system programming. The risks associated with the use of multithreading, in particular the occurrence of synchronization errors, which can affect the stability of the software, are analyzed separately.

This study is useful for IT developers who seek a deeper understanding of the principles of multithreading and ways to optimize computing processes. The article provides an overview of modern technologies and tools used to ensure efficiency in parallel computing, and highlights the basic principles of building multithreaded programs. The conclusions of the work demonstrate the need for a balanced approach to the implementation of multi-threaded systems, taking into account hardware limitations, the specifics of operating systems and potential synchronization problems, in order to avoid a negative impact on performance.

Key words: parallel computing, multi-threading, system programming, performance, thread management, synchronization, resource optimization.

Вступ. У сучасному світі обробка великих обсягів даних і виконання складних обчислювальних завдань стали невід'ємною частиною різних галузей – від наукових досліджень до бізнесу та розробки програмного забезпечення. Паралельні обчислення, які дозволяють розподіляти завдання між кількома потоками або процесами, є одним із найефективніших способів підвищення продуктивності та скорочення часу виконання завдань. Завдяки розвитку багатоядерних процесорів та можливостям сучасних операційних систем, багатопотоковість є ключовою технологією у системному програмуванні.

Однак використання паралельних обчислень у системному програмуванні вимагає обережного підходу, оскільки управління потоками, забезпечення синхронізації та балансування навантаження між ядрами процесора є складними завданнями, що вимагають оптимізації та розуміння особливостей апаратного забезпечення. Неправильне застосування багатопотоковості може призвести до виникнення «вузьких місць» у програмі, проблем із блокуванням ресурсів або навіть зниження продуктивності.

Постановка проблеми. Дослідження основних принципів та викликів паралельних обчислень у системному програмуванні, аналіз сучасних підходів до багатопотоковості та методів підвищення ефективності в багатоядерних середовищах є важливим питанням для розробників системного програмного забезпечення, оскільки правильне використання багатопотокових рішень здатне суттєво вплинути на продуктивність програмного забезпечення і забезпечити швидке та ефективне виконання обчислювальних завдань.

Мета дослідження. Метою цієї статті є дослідження принципів багатопотоковості паралельних обчислень в системному програмуванні, а також аналіз ефективності використання багатоядерних процесорів для оптимізації продуктивності програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання ефективності багатопотоковості та паралельних обчислень у системному програмуванні досліджувалися

у багатьох наукових працях, зокрема в галузях комп'ютерних наук, розподілених систем, операційних систем та оптимізації паралельних алгоритмів. Дослідження підкреслюють, що важливим є аналіз швидкості (speedup) та ефективності (efficiency) паралельних обчислень, які впливають на масштабованість програм при збільшенні кількості ядер або процесорів. Сучасні методи включають використання оптимізованих паралельних алгоритмів, що знижують час обробки завдань без зниження їх точності. У статті [1] описується паралельна схема обчислень, що розподіляє завдання між кількома потоками або процесорами для підвищення продуктивності. Автори [2] досліджують технологію продуктивності складних розподілених програм, що обробляють великі обсяги даних у режимі реального часу, і сприяє оптимізації та ефективності паралельних обчислень у реальних додатках, зокрема в умовах високих вимог до швидкості обробки даних. В роботі [3] основну увагу зосереджено на розробці і теоретичних складових організації паралельних обчислювальних систем, що базуються на рекурсивній архітектурі.

Завдання системного програмування полягає у розробці інструментів, що сприяють підвищенню якості інформаційних систем, зокрема шляхом пошуку нових рішень для забезпечення надійності та безпеки інформації [4].

Робота [5] присвячена використанню багатопотокового програмування в контексті паралельних обчислень для досягнення оптимальних результатів продуктивності та яким чином багатопотоковість допомагає ефективно використовувати сучасні багатоядерні процесори, забезпечуючи кращу продуктивність і масштабованість.

Дослідження авторів С. І. Гоменюк, С. В. Чопоров, А. О. Лісняк, О. В. Кудін, С. М. Гребенюк спрямоване на глибоке вивчення концепцій багатопоточності та їх застосування у системному програмуванні. Воно містить як теоретичні аспекти, так і практичні рекомендації для студентів, що спеціалізуються на інформаційних системах та технологіях [6].

Виклад основного матеріалу. Проблемність питання полягає у застосуванні стратегій та алгоритмів в системному програмуванні для ефективного використання багатопоточності паралельних обчислень з мінімізацією витрат на синхронізацію, комунікацію та управління потоками. Для підвищення ефективності багатопоточності в паралельних обчисленнях потрібен підхід, який враховуватиме баланс між паралельним розподілом задач, синхронізацією та оптимальним використанням ресурсів, орієнтуючись на характеристики конкретної апаратної платформи.

Ефективність багатопотоковості в паралельних обчисленнях у системному програмуванні можна проілюструвати на прикладі обробки великих даних. При обробці великих баз даних паралельні обчислення допомагають розподілити пошук по декількох потоках (Рис. 1). Наприклад, у великому журналі подій (log file) на кілька гігабайтів можна шукати певні ключові слова або помилки. В результаті паралельний пошук значно прискорює роботу з великим файлом. Якщо на пошук у послідовному режимі знадобиться 10 хвилин, то використання 4 потоків може скоротити час до 2.5 хвилин.

Паралельні обчислення і системне програмування тісно пов'язані, оскільки системне програмування забезпечує низькорівневу інфраструктуру, необхідну для ефективної реалізації паралельних обчислень.

Паралельність обчислень полягає у можливості різних частин програми виконуватися незалежно або частково незалежно, без впливу на кінцевий результат, що є важливим при створенні ефективних програм, здатних виконувати кілька

операцій одночасно. Багатопотоковість, як форма паралелізму, передбачає наявність декількох потоків виконання, які працюють одночасно в межах однієї програми.

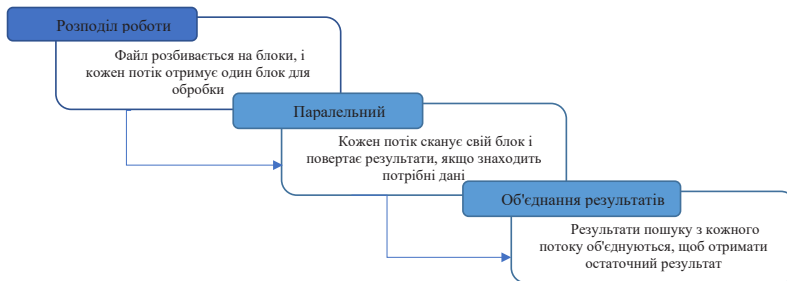


Рис.1. Процес розподілу пошуку по декількох потоках

Багатопотоковість є потужним інструментом у системному програмуванні, але її ефективність залежить від правильного розподілу потоків, архітектури апаратного забезпечення та обраної мови програмування. Врахування цих факторів дозволяє досягти суттєвого прискорення обчислень і ефективного використання ресурсів системи.

Основними перевагами використання потоків, як засобу організації паралелізму, є низькі накладні витрати на запуск і обслуговування потоків, а також – швидка й проста комунікація між ними. В якості недоліків можна зазначити необхідність узгодження даних між потоками та можливу конкуренцію між ними за ресурси [6].

Системне програмування вимагає високої продуктивності та ефективного використання апаратних ресурсів, зокрема в умовах паралельних обчислень. Мови програмування, що підтримують багатопоточність та забезпечують ефективність паралельних обчислень C/C++ є основними для системного програмування завдяки своєму близькому до апаратного рівню доступу та підтримці багатопотоковості через бібліотеки, такі як POSIX Threads (pthread) та стандартну бібліотеку потоків у C++. Ці мови дають програмістам можливість максимально використовувати ресурси системи, забезпечуючи високу швидкість виконання і мінімальні витрати.

Серед сучасних мов програмування, в яких можна реалізувати багатопотоковість та паралельність обчислень можна виділити такі мови, як Rust та Go.

Кожна з цих мов має свої особливості та застосування, проте всі вони забезпечують високий рівень паралельності та багатопотоковості, що дозволяє значно підвищити ефективність виконання складних обчислювальних задач. Вибір мови програмування залежить від конкретних вимог до продуктивності, безпеки та типу обчислень, що виконуються в системі.

Таким чином, для ефективної реалізації паралельних обчислень у системному програмуванні необхідно правильно обирати мову, орієнтуючись на специфічні характеристики задачі, тип апаратного забезпечення та вимоги до масштабованості та безпеки.

Висновки. Паралельні обчислення дозволяють підвищити ефективність програм шляхом використання багатопотоковості для одночасного виконання задач, особливо в задачах обробки великих обсягів даних. Системне програмування надає необхідні інструменти для управління потоками, синхронізації і оптимізації використання пам'яті, що робить паралельну обробку ефективнішою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дивак М., Кіндзерський О. "Дослідження ефективності паралельної обчислювальної схеми ідентифікації інтервальних дискретних моделей на основі ройового інтелекту". *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 2024, 331(1), pp. 29-37. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-3>
2. Васильченко І. П., Сачанюк-Кавецька Н. В., Бараненко Р. В. Технології розподільних систем та паралельних обчислень. *Measuring and computing devices in technological processes*, 2021, no 1, p. 16-25. [https:// DOI: 10.31891/2219-9365-2020-67-1-3](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2020-67-1-3)
3. Яровий А. А. Методи та засоби організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою. Монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. – 363 с. ISBN 978-966-641-681-3
4. Pieter Koopman, Steffen Michels, and Rinus Plasmeijer Dynamic Editors for Well-Typed Expressions. *Trends in Functional programming/ 22nd international Symposium, TFP 2021, February 17-19, 2021/ Springer, LNCS 12834*, pp. 44-66.
5. Abhishek Shukla Introducing Multi-Threaded Programming in Parallel Programming Process for Optimal Performance Results. *Journal of Mathematical & Computer Applications. SRC/JMCA-161. 2023. DOI: doi.org/10.47363/JMCA/2023(2)132*
6. Гоменюк С. І., Чопоров С. В., Лісняк А. О., Кудін О. В., Гребенюк С. М. Системне програмування: розробка багатопотокових програм в операційній системі Linux: навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності "Інформаційні системи та технології" освітньо-професійної програми "Інформаційні системи та технології". Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2021. 120 с.

REFERENCES:

1. Dyvak M., Kindzers'kyi O. (2024) "Doslidzhennya efektyvnosti paralel'noyi obchyslyval'noyi skhemy identyfikatsiyi interval'nykh dyskretnykh modeley na osnovi royovoho intelektu". *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 331(1), pp. 29-37. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-3>
2. Vasyl'chenko I. P., Sachanyuk-Kavets'ka N. V., Baranenko R. V. (2021) *Tekhnolohiyi rozpodil'nykh system ta paralel'nykh obchyslen'*. Measuring and computing devices in technological processes, no 1, p. 16-25. [https:// DOI: 10.31891/2219-9365-2020-67-1-3](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2020-67-1-3)
3. Yarovyy A. A. (2016) *Metody ta zasoby orhanizatsiyi vysokoproduktyvnykh paralel'no-iyerarhichnykh obchyslyval'nykh system iz rekursyvnoyu arkhitekturoyu*. Monohrafiya. Vinnytsya : VNTU. 363 s. ISBN 978-966-641-681-3
4. Pieter Koopman, Steffen Michels, and Rinus Plasmeijer (2021) Dynamic Editors for Well-Typed Expressions. *Trends in Functional programming/ 22nd international Symposium, TFP 2021, February 17-19, 2021/ Springer, LNCS 12834*, pp. 44-66.
5. Abhishek Shukla (2023) Introducing Multi-Threaded Programming in Parallel Programming Process for Optimal Performance Results. *Journal of Mathematical & Computer Applications. SRC/JMCA-161. DOI: doi.org/10.47363/JMCA/2023(2)132*
6. Homenyuk S. I., Choporov S. V., Lisnyak A. O., Kudin O. V., Hrebenyuk S. M. (2021) *Systemne prohramuvannya: rozrobka bahatopotokovykh prohram v operatsiynyi systemi Linux: navchal'nyy posibnyk dlya zdobuvachiv stupenya vyshchoyi osvity bakalavra spetsial'nosti "Informatsiyni systemy ta tekhnolohiyi" osvith'oprofesiynoyi prohramy "Informatsiyni systemy ta tekhnolohiyi"*. [System programming: development of multi-threaded programs in the Linux operating system: a study guide for applicants of a higher education bachelor's degree in the specialty "Information systems and technologies" of the educational and professional program "Information systems and technologies"]. Zaporizhzhya: Zaporiz'kyi natsional'nyy universytet [in Ukrainian].