

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ФОНДІВ

На економіко-інвестиційному полі, яке ми обрали для дослідження, виникають проблеми з розвитком інвестиційних проектів, а саме при розподілі інвестиційних фондів. При вирішенні цих проблем використовують імітаційне моделювання на основі методу Монте-Карло. Проте застосування цього методу на практиці вимагає великої кількості експериментів, що приводить до неможливості отримати рішення в режимі реального часу. Тому виникає необхідність оптимізації обчислювального процесу. У роботі наведено результати досліджень розпаралелення методу Монте-Карло при розв'язуванні задачі оптимізації розподілу інвестиційних фондів на основі порівняльної характеристики застосування двох технологій OpenMP та MPI. Шляхом варіації кількості потоків та експериментів вдалось досягнути прискорення рівному кількості потоків. При цьому слід зауважити, що максимальна кількість потоків не мала перевищувати кількості ядер обчислювальної системи. Отримані результати можуть бути суттєво покращені у зв'язку з перспективами розвитку багатоядерної архітектури комп'ютерів.

Ключові слова: метод Монте-Карло, технологія OpenMP, технологія MPI, прискорення, паралельна ефективність.

L.I. MOCHURAD

Lviv Polytechnic National University

INVESTIGATION OF THE OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION OF INVESTMENT FUNDS

Extensive use of methods of economic and mathematical modeling is an important way to improve economic analysis, which increases the efficiency of management of enterprises in various fields of activity in general. At the same time, modeling based on the Monte Carlo method is becoming increasingly popular.

In the economic and investment field, which we have previously chosen for the application of the Monte Carlo simulation model, there are problems with the development of investment projects, namely the distribution of investment funds. To prevent the risks of losing significant funds and sales of enterprises, we build a simulation model using Monte Carlo, which will be better able to generate developments in a given scenario and thus help predict future investments in progressive enterprises.

In the economic and investment field, there are problems with the development of investment projects, namely the distribution of investment funds. In solving these problems, simulation based on the Monte Carlo method is used. However, the application of this method in practice requires a large number of experiments, which makes it impossible to obtain a solution in real time. Therefore, there is a need to optimize the computational process. The paper presents the results of research on the parallelization of the Monte Carlo method in solving the problem of optimizing the distribution of investment funds based on the comparative characteristics of the two technologies OpenMP and MPI. By varying the number of threads and experiments, it was possible to achieve an acceleration equal to the number of threads. It should be noted that the maximum number of threads should not exceed the number of cores of the computer system. The results can be significantly improved due to the prospects for the development of multi-core computer architecture.

Keywords: Monte Carlo method, OpenMP technology, MPI technology, acceleration, parallel efficiency.

Постановка проблеми

Широке використання методів економіко-математичного моделювання є важливим напрямком удосконалення економічного аналізу, який підвищує ефективність управління підприємствами різних сфер діяльності в цілому. При цьому дедалі більшої популярності набуває моделювання на основі методу Монте-Карло.

На економіко-інвестиційному полі, яке ми обрали попередньо для застосування імітаційної моделі Монте-Карло, виникають проблеми з розвитком інвестиційних проектів, а саме при розподілі інвестиційних фондів. Щоб запобігти ризиків у втраті значних коштів і збуту підприємств ми будемо імітаційну модель із застосуванням Монте-Карло, який як ніяк краще зможе згенерувати розвиток подій при заданому сценарії і таким чином допомогти передбачити майбутні вкладення у прогресуючі підприємства.

У роботі розглядається задача розподілу 10-ти млн. грошових одиниць між десятьма підприємствами, які інвестиційний фонд вважає найуспішнішими. У інвестиційного фонду є інформація про можливий прибуток кожного підприємства в кінці року. Отже, фонд хоче розподілити свої кошти між цими підприємствами, так що він з них отримав максимальний прибуток.

Розв'язання даної задачі на основі методу Монте-Карло передбачає генерацію послідовних випадкових чисел для імітації випадкового вибору величини коштів, виділених кожному такому підприємству, дані дії повторюються багатократно (наприклад 1000 або 1000000 разів). Це в свою чергу, приводить до неможливості отримати рішення в реальному часі. Для вирішення цієї проблеми у роботі запропоновано розпаралелити метод Монте-Карло та порівняти отримані показники прискорення та ефективності на основі технологій OpenMP та MPI.

Аналіз останніх джерел

Серед усіх методів досліджень та оцінки ефективності систем, у яких поведінка залежить від випадкових факторів важливе місце займає імітаційне моделювання [1]. При цьому модель виступає доволі хорошим способом передбачення наступної поведінки об'єктів чи систем, а саме моделювання –

потенційною можливістю контрольованого експерименту зі зумовленим забезпеченням коштів. Останнє набуло досить широко застосування, у свою чергу захопило не лише науковий простір, а й досить популярним було у стратегіях війн та побуту, побудові атомних реакторів і екологічних систем [2].

Моделювання у Монте-Карло належить до найчастіше використовуваних моделей. Сфери його застосування: промисловість (планування робіт, маршрутизація транспортних засобів, оптимізація), фізичні процеси та структури (моделювання космологічних задач, симуляція руху нейтронів та фотонів), випадкові графи та комбінаторні структури (дослідження теорії перколяції, задача комівояжера), економіка та фінанси, обчислювальна статистика тощо.

У роботі [3] наведено дані про особливості використання імітаційного моделювання методом Монте-Карло для аналізу інвестиційних ризиків, при цьому проаналізовано переваги даного виду моделювання, розглянуто алгоритм застосування імітаційного моделювання для аналізу ризиків інвестиційних проектів в умовах промислового підприємства. Даний метод також використано авторами у роботі [4] при розробці програмного комплексу з метою полегшення прийняття рішення щодо стану промислового об'єкту та умов його експлуатації. Актуальність використання методу Монте-Карло для розподілених обчислень проаналізовано у роботі [5].

Відомо [6], що даний метод має певні недоліки, найбільш суттєвими з яких є: частковий характер розв'язку; зростання обчислювальної складності із збільшенням числа ітерацій.

На сьогодні у зв'язку з перспективами розвитку багатоядерної архітектури обчислювальних систем особливої популярності набуває застосування технологій паралельних обчислень OpenMP та MPI [7, 8]. Статистика використання різних засобів оптимізації методу Монте-Карло шляхом проведення розпаралелення наведена на рис. 1.

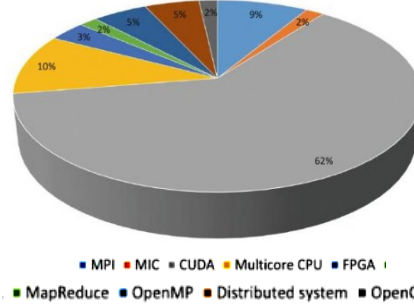


Рис. 1. Розподіл найбільш популярних технологій розпаралелення методу Монте-Карло у сучасних наукових статтях (починаючи з 2009 року)

Метою роботи є: розпаралелити метод Монте-Карло для розв'язування задачі розподілу інвестиційних фондів та порівняти отримані результати на основі застосування двох технологій OpenMP та MPI.

Виклад основного матеріалу

Розв'язання поставленої задачі на основі методу Монте-Карло [9] передбачає генерацію послідовних випадкових чисел для імітації випадкового вибору величини коштів, виділених кожному такому підприємству, дані дії повторюються багатократно (наприклад, 1000 або 1000000 разів).

Поетапний опис розв'язку задачі здійснюється наступним чином:

Для наведення алгоритму було вибрано для прикладу лише три підприємства.

1. Випадково обирається величина коштів, виділених першому підприємству. Для цього розігрується випадкове число R1 і використовується відповідна формула

$$A = 0, \quad B = 5 : S1 = (0 + (5 - 0 + 1) \cdot R1),$$

де B – загальний фонд інвестицій, а S1 – сума коштів, отриманих першим підприємством.

2. Якщо першому підприємству виділяються не всі кошти (S1 < B), то розігрується величина коштів, що виділятиметься другому підприємству. Для цього розігрується випадкове число R2 і використовується наступна формула

$$A = 0, \quad B = 5 - S1 : S2 = (0 + (5 - S1 - 0 + 1) \cdot R2),$$

де S2 – сума коштів для другого підприємства.

3. Кошти, що/якщо залишилися, виділяються третьому підприємству:

$$S3 = 5 - S1 - S2.$$

4. Згідно з сумами виділених коштів (S1, S2, S3) і за відповідним значенням прибутку розраховується сумарний прибуток підприємства.

Кроки 1–4 повторюються багатократно (наприклад, 1000 разів). Обирається варіант розподілу коштів, за якого значення сумарного прибутку максимальне. Кількість кроків збільшується у разі більших сум інвестицій або більшої кількості підприємств.

Перед початком побудови та вивчення конкретної моделі, перш за все економічної, питання вибору найефективнішого та найзручнішого методу розв'язання поставленої проблеми є дуже важливим і пов'язане з урахуванням можливостей наявних програмних засобів та машинних ресурсах.

Нехай усі чисельні експерименти проводитимуться на комп'ютері з наступними характеристиками:

- Intel Core I5-3337U із тактовою частотою 1.8 ГГц,
- 2 ядра та 4 логічних процеси,
- ОС: Microsoft Windows 10 64 bit.

Далі наведемо результати виконання послідовного алгоритму (див. таблиця 1), а саме кількість

експериментів та час виконання в залежності від кількості експериментів.

Результати виконання паралельного алгоритму із застосуванням технології OpenMP наведені у таблиці 2. Тут S_m – прискорення, P_m – паралельна ефективність, m – кількість потоків.

Таблиця 1

Результати виконання послідовного алгоритму

Кількість експериментів	Час виконання, мс
100	1,14
1000	6,92
10000	8,06
100000	82,22
1000000	1217,93

Таблиця 2

Час обчислень та оцінки ефективності запропонованого паралельного алгоритму на основі OpenMP

Кількість експериментів	2 потоки			4 потоки		
	Час, мс	S_m	P_m	Час, мс	S_m	P_m
100	2,75	0,4145	0,20725	2,23	0,5112	0,1278
1000	1,43	4,839	2,4195	2,84	2,4366	0,60095
10000	5,38	1,4981	0,74905	7,14	1,1286	0,2824
100000	51,13	1,60806	0,80403	41,53	1,9798	0,494925
1000000	567,5	2,1461	1,07305	308,34	3,94996	0,98749

Результати виконання паралельного алгоритму при розв'язуванні задачі про оптимальний розподіл інвестиційного фонду із застосуванням технології MPI представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Час обчислень та оцінки ефективності запропонованого паралельного алгоритму на основі MPI

Кількість експериментів	2 потоки			4 потоки		
	Час, мс	S_m	P_m	Час, мс	S_m	P_m
100	0,76	1,4978	0,7489	0,35	3,2437	0,810925
1000	2,86	2,4229	1,21145	2,23	3,098997	0,774743
10000	2,89	2,787	1,3935	,233	3,61933	0,904833
100000	32,64	2,52907	1,264534	21,7	3,7889	0,947225
1000000	337,4	3,6098	1,8049	313,38	3,8864	0,9716

Порівняння паралельної ефективності для двох технологій на двох та чотирьох потоках наведено на рис. 2 і 3.

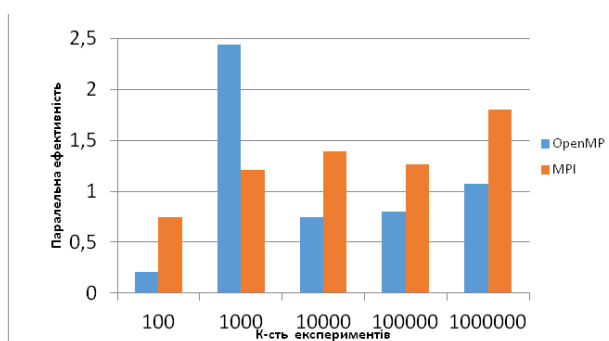


Рис. 2. Паралельна ефективність для двох технологій на двох потоках

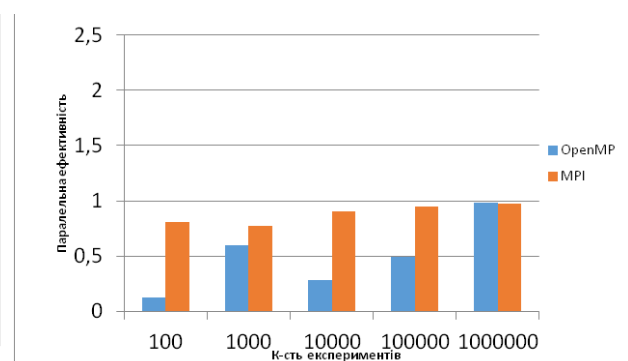


Рис. 3. Паралельна ефективність для двох технологій на чотирьох потоках

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено показники прискорення та ефективності паралельного алгоритму методу Монте-Карло при розв'язуванні модельної задачі оптимального розподілу інвестиційного фонду. При розробці програмного продукту використано дві технології OpenMP та MPI. Здійснено порівняння прискорення та ефективності, яке отримане на основі цих двох технологій при різній кількості ітерацій методу та потоків. Чисельні експерименти проводились на багатоядерній архітектурі комп'ютера,

тобто дане дослідження має місце для систем із спільною пам'ятю. Перспективами розвитку запропонованого підходу є використання технології CUDA.

Література

1. Філіпова К.В. Методи прогнозування інноваційного розвитку підприємства / К.В. Філіпова // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 579 : Проблеми економіки та управління. – С. 609–613.
2. Венгріна І.Є. Досвід застосування імітаційного моделювання у дослідженнях соціальних явищ та процесів / І.Є. Венгріна // Наукові записки НаУКМА. – Том 122, 2011. – Р. 14-18.
3. Латишева О.В., Титаренко О.Д. Особливості використання імітаційного моделювання для оцінки ризиків інвестиційних проектів промислового підприємства / О.В. Латишева, О.Д. Титаренко // Вісник економічної науки України. — 2017. — № 2 (33). — С. 77–82.
4. Бойко Т.В., Абрамова А.О., Вавулін П.А., Бондаренко С.Г. Програмне забезпечення процесу оцінювання техногенного ризику промислового об'єкту / Т.В. Бойко, А.О. Абрамова, П.А. Вавулін, С.Г. // Комп'ютерне моделювання природоохоронних процесів. – 2020. – С. 329-335.
5. Пішта, Я.В. Метод Монте-Карло в паралельних обчисленнях / Я.В. Пішта // Сучасні інформаційні системи і технології : матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 15-18 травня 2012 р. / Ред.кол.: А.С. Довбиш, О.А. Борисенко, І.В. Баранова. — Суми : СумДУ, 2012. — С. 102-104.
6. Dirk P. Kroese, Tim Brereton, Thomas Taimre, Zdravko I. Botev. Why the Monte Carlo method is so important today. *Wires Computational Statistics*. Vol. 6, Issue 6, 2014, P. 379-475.
7. Lesia Mochurad, Glib Shchur. Parallelization of Cryptographic Algorithm Based on Different Parallel Computing Technologies. *Proceedings of the Symposium on Information Technologies & Applied Sciences (IT&AS 2021)*. Bratislava, Slovak Republic, March 5, 2021, Vol-2824, ISSN 1613-0073, 20-29 p.
8. Mochurad L.I. Technologies of distributed systems and parallel computation: monograph / L.I. Mochurad, N.I. Boyko. – Lviv: Publishing House "Bona", 2020. – 261 p. ISBN 978-617-7815-25-8.
9. Erik Alerstam, Tomas Svensson, and Stefan Andersson-Engels. Parallel computing with graphics processing units for high-speed Monte Carlo simulation of photon migration. *Journal of Biomedical Optics*, Vol. 13(6), 2008, 3 p.

References

1. Filipova K.V. Methods of forecasting of enterprise innovation development / K.V. Filipova // *Visnyk of the National University "Lviv Polytechnic"*. - 2007. - №. 579: Problems of Economics and Management. - P. 609-613.
2. Gengrin I.E. Experience of using simulation modeling in social phenomena studies and processes / I.E. Gengrin // *Scientific notes of NaUKMA*. - Tom 122, 2011. - P. 14-18.
3. Latisheva O.V., Titarenko O.D. Features of the use of simulation modeling to assess the risks of investment projects of an industrial enterprise / O.V. Latisheva, O.D. Titarenko // *Visnyk of Ukraine's economic science*. – 2017. - №. 2 (33). – P. 77-82.
4. Boyko T.V., Abramova A.O., Vapulin P.A., Bondarenko S.G. Software for evaluating the industrial risk assessment of an industrial facility / T.V. Boyko, A.O. Abramova, P.A. Vapulin, S.G. // *Computer modeling of environmental processes*. – 2020. – P. 329-335.
5. Pista, Ya.V. Monte Carlo method in parallel calculations / Ya.V. Pista // *Modern Information Systems and Technologies: Materials of the First International Scientific and Practical Conference, Sumy, May 15-18, 2012* / Editorial Board: A.S. Dovobysh, O.A. Borisenko, IV Baranov. – Sumy: SSU, 2012. – P. 102-104.
6. Dirk P. Kroese, Tim Brereton, Thomas Taimre, Zdravko I. Botev. Why the Monte Carlo method is so important today. *Wires Computational Statistics*. Vol. 6, Issue 6, 2014, P. 379-475.
7. Lesia Mochurad, Glib Shchur. Parallelization of Cryptographic Algorithm Based on Different Parallel Computing Technologies. *Proceedings of the Symposium on Information Technologies & Applied Sciences (IT&AS 2021)*. Bratislava, Slovak Republic, March 5, 2021, Vol-2824, ISSN 1613-0073, 20-29 p.
8. Mochurad L.I. Technologies of distributed systems and parallel computation: monograph / L.I. Mochurad, N.I. Boyko. – Lviv: Publishing House "Bona", 2020. – 261 p. ISBN 978-617-7815-25-8.
9. Erik Alerstam, Tomas Svensson, and Stefan Andersson-Engels. Parallel computing with graphics processing units for high-speed Monte Carlo simulation of photon migration. *Journal of Biomedical Optics*, Vol. 13(6), 2008, 3 p.

Рецензія/Peer review : 11.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.