

УДК 004.75

СОЗДАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Ю. Н. Корытко, А. А. Бобков

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: juliakorytko@gmail.com, andrey_bobkov_91@bk.ru

Представлены результаты использования кластерной системы для параллельных вычислений математических задач. Приведены данные относительно создания и настройки кластерной системы, необходимой операционной системы и библиотеки для параллельных вычислений OpenMPI. Анализ скорости вычислений в кластерной сети производился с помощью решения трех тестовых задач: задача нахождения числа π -методом Монте-Карло, одномерная задача теплопроводности, решенная по явной схеме конечно-разностного метода, и решение систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса. Рассматривались задачи различной размерности. Представлены результаты исследований быстродействия кластерной системы при решении указанных задач с разным количеством узлов от одного до семи. Получены зависимости времени вычислений от количества задействованных узлов, их суммарной оперативной памяти и суммарной процессорной мощности.

Ключевые слова: кластерная система, параллельные вычисления, библиотека OpenMPI, быстродействие.

СТВОРЕННЯ, УПРАВЛІННЯ ТА АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ КЛАСТЕРНОЇ СИСТЕМИ

Ю. М. Коритко, А. О. Бобков

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: juliakorytko@gmail.com, andrey_bobkov_91@bk.ru

Представлені результати використання кластерної системи для паралельних обчислень математичних задач. Наведено інформацію стосовно створення та налаштування кластерної системи, необхідної операційної системи та бібліотеки для паралельних обчислень OpenMPI. Аналіз швидкості обчислень у кластерній мережі здійснено за допомогою рішення трьох тестових задач: задачі знаходження числа π -методом Монте-Карло, одномірної задачі теплопровідності, яка була розв'язана за явною схемою кінцево-різницевого методу, та рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом Гауса. Розглядалися задачі різної розмірності. Представлені результати досліджень швидкодії рішення задач в кластерній системі з різною кількістю вузлів від одного до семи. Отримані залежності часу обчислень від кількості задіяних вузлів, їх сумарної оперативної пам'яті та сумарної потужності процесора.

Ключові слова: кластерна система, паралельні обчислення, бібліотека OpenMPI, швидкодія.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Проблема зменшення часу розрахунків математичних задач є вкрай актуальною при використанні обчислювальних методів. Проблеми математики, оптимізації, механіки потребують рішення систем великої розмірності, що вимагає використання потужних комп'ютерів і викликає збільшення часу обчислень.

Організація кластерної мережі здійснюється на базі вже існуючих мереж робочих станцій, тоді робочі станції користувачів можуть використовуватися як вузли кластера цілодобово. Далі розглянемо побудову кластерної мережі на комп'ютерах з Unix-подібною операційною системою. Тоді для функціонування кластеру необхідно встановити необхідне програмне забезпечення, а саме: компілятори, бібліотеки та програми OpenMPI, SSH, NFS.

Мета роботи – можливість використання кластерної мережі для оптимізації працездатності програм та зменшення часу їх виконання.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для одержання гарної продуктивності міжпроцесорних обмінів використовують повнодуплексний Fast Ethernet на 100Mbit/sec або Gigabit Ethernet. При цьому для зменшення числа колізій встановлюють декілька "паралельних" сегментів Ethernet, або з'єднують вузли кластера через комутатор. Під "паралельними" сегментами мається на увазі така структура мережі, коли кожен вузол кластера має більше однієї мережевої карти, які за допомогою спеціальних драйверів об'єднуються в один віртуальний мережевий інтерфейс, що має сумарну пропускну спро-

можність. Для того, щоб уникнути проблем з конфігуруванням такого віртуального інтерфейсу, слід використовувати однакові мережеві карти на всіх машинах кластеру. Крім того, кожна паралельна лінія такого інтерфейсу повинна представляти із себе Ethernet-мережу побудовану на окремому (від інших паралельних їй ліній) комутаторі [1].

Паралельні обчислення у кластерній мережі будуть здійснювати за допомогою бібліотеки OpenMPI. При налаштуванні бібліотеки необхідно вказати список всіх вузлів кластера, як обчислювальних вузлів, так і консолі. На рис. 1 наведено загальна схема кластерної мережі, де користувач через головний комп'ютер, або термінал, здійснює запуск обчислювальної задачі у багатопроцесорній системі [2].

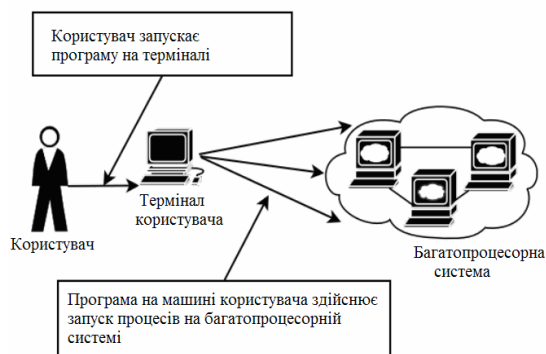


Рисунок 1 – Схема кластерної мережі

Після встановлення та налаштування мережі MPI можемо перейти до програмування алгоритму задачі.

Паралельну роботу з обміном повідомленнями можна організувати таким чином [3]:

– спочатку починає працювати перший потік. Порахувавши значення функції на всьому інтервалі, він передає другому потоку повідомлення зі значенням функції у своїй правій границі.

– Другий потік отримує повідомлення від першого, завдяки чому може порахувати значення в своїй лівій границі; потім він обчислює значення, які залишилися і відправляє два повідомлення: першому потоку – значення функції в лівій границі, а третьому потоку – в правій, і так далі до тих пір, поки не будуть пораховані значення функції на всьому відрізьку;

– повторення перших двох пунктів для наступного моменту часу.

Робота кластерної мережі була проаналізована на тестових задачах обчислення числа π , задачі теплопровідності та знаходження рішення системи рівнянь методом Гауса.

Для обчислення числа π був використаний метод Монте-Карло [4], який полягає у простому переборі точок. За цим методом можливість того, що деяка точка потрапить в коло, дорівнює відношенню площини круга до площі квадрата. При цьому сторона квадрата у два рази більша радіус кола. Таким чином, алгоритм полягає у переборі випадкових точок на площині, визначенні, чи попадає деяка випадкова точка у коло, та обчислення відношення кількості точок, що попали у коло, до загальної кількості перебраних точок.

Рівняння теплопровідності вирішувалося за допомогою кінцево-різницевого методу, явна схема.

У загальному виді рівняння записується наступним чином [5]:

$$\frac{\partial \bar{u}(t, z)}{\partial t} = \left(\bar{k}, \frac{\partial^2 \bar{u}(t, z)}{\partial z^2} \right) - \left(\bar{c}, \frac{\partial^2 \bar{u}(t, z)}{\partial z} \right) + d\bar{u}(t, z) + \bar{F}$$

де k, c, d – коефіцієнти, які можуть в загальному випадку залежати від часу та координат; F – функція джерела (також може залежати від часу та координати).

Для аналізу роботи кластерної мережі розглядався одномірний випадок. Тоді $c=0, k$ і F – константи. На кінцях відрізьку початкові умови є нульовими.

Для вирішення задачі розглядається так звана різницева схема, яка зв'язує значення рішення в чотирьох точках сітки, створюючи таким чином шаблон сітки, представлений на рис. 2.

Крайові умови запишемо наступним чином:

$$\begin{aligned} u(0, x) &= \varphi(x) \\ u(t, z_1) &= \alpha_1(t) \\ u(t, z_2) &= \alpha_2(t) \end{aligned}$$

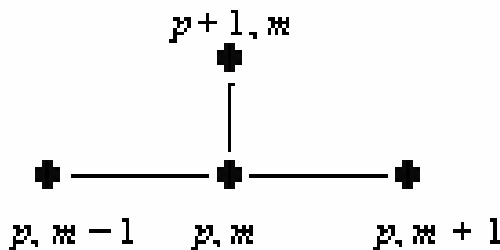


Рисунок 2 – Сітковий шаблон

Метод Гауса – класичний метод рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Це метод послідовного виключення змінних, коли за допомогою елементарних перетворень система рівнянь приводиться до рівносильній системі трикутного виду, з якої послідовно, починаючи з останніх (за номером) змінних, знаходяться всі інші змінні.

Аналіз швидкості обчислень проведено у системі з семи комп'ютерів, технічні характеристики яких наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики системи

Номер вузла в системі	Опис технічних характеристик
1	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 968,4Mib, процесор AMD Athlon(tm) 7550 Dual-Core Processor × 2, тип ОС 32bit, диск 245,1 Gb.
2	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 1,5Gb, процесор Intel Core 2 Duo CPU E4500 @ 2.20GHz × 2, тип ОС 32bit, диск 156,6Gb
3	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 937,9Mib, процесор AMD Athlon(tm) 64 Processor 3200 +, тип ОС 32bit, диск 156,5Gb.
4	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 621,6Mib, процесор Intel Pentium(R) 4 CPU 2.40GHz, тип ОС 32bit, диск 77,7Gb.
5	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 494,8Mib, процесор Intel Celeron(R) CPU 2.40GHz, тип ОС 32bit, диск 195,9Gb.
6	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 982,3Mib, процесор Intel Core 2 Duo CPU E4500 @ 2.20GHz × 2, тип ОС 32bit, диск 245,1Gb.
7	Ubuntu 12.04 LTS, пам'ять 937,3Mib, процесор AMD Athlon(tm) 7550 Dual-Core Processor × 2, тип ОС 32bit, диск 245,1Gb.

У табл. 2 наведено час розрахунків у секундах у кластерній мережі, де кількість вузлів складала від одного до чотирьох. У таблиці також наведено сумарний обсяг оперативної пам'яті та сумарну потужність процесорів всіх вузлів у кластерній мережі.

У табл. 3 представлена інформація щодо швидкості розрахунків у кластерній мережі, де кількість вузлів складала від п'яти до семи.

Побудуємо графіки залежності швидкості обчислень від кількості вузлів, сумарного обсягу операти-

вної пам'яті та сумарної потужності процесора. Так, на рис. 3 показана залежність часу розрахунку задачі знаходження числа π за методом Монте-Карло в залежності від кількості обчислювальних вузлів. Червоним кольором проілюстровано зміни часу обчислень задачі розмірності 10^{30} , тобто такої, що потребувала найбільшої кількості часу обчислення. Синім кольором – задача розмірності 10^{20} . Зеленим кольором – 10^{10} .

Таблиця 2 – Час обчислень у кластерній мережі при кількості вузлів 1–4, с

	Розмірність задачі	Кількість комп'ютерів			
		1	2	3	4
Σ оперативна пам'ять, МВ		1536	2504	3442	4064
Σ потужність процесора, ГГц		2,2	4,6	6,8	9,2
Знаходження числа π	10^{10}	21,2	10,8	7,4	5,7
	10^{20}	27,6	14,1	9,5	7,3
	10^{30}	32,5	16,5	11,2	8,5
Задача теплопровідності	10×10	8,0	7,4	5,1	4,1
	30×30	15,0	13,2	12,1	10,7
	80×80	21,6	20,6	18,6	15,7
Метода Гауса	10×10	13,0	11,5	10,5	10,3
	50×50	25,0	23,8	20,3	17,4
	100×100	47,0	43,5	37,6	31,6

Таблиця 3 – Час обчислень у кластерній мережі при кількості вузлів 5–7, с

	Розмірність задачі	Кількість комп'ютерів		
		5	6	7
Σ оперативна пам'ять, МВ		4559	5541	6478
Σ потужність процесора, ГГц		11,4	13,8	16
Знаходження числа π	10^{10}	3,9	3,8	7,4
	10^{20}	5,0	4,7	9,5
	10^{30}	5,8	5,4	11,2
Задача теплопровідності	10×10	3,1	3,0	5,1
	30×30	6,0	5,9	12,1
	80×80	11,1	9,9	18,6
Метода Гауса	10×10	6,9	5,0	10,5
	50×50	11,0	9,5	20,3
	100×100	25,6	22,3	37,6

Побудуємо залежність швидкості обчислень задачі знаходження числа π за методом Монте-Карло в залежності від сумарної оперативної пам'яті вузлів, що приймають участь у розрахунках. На рисунку 4 представлено графік такої залежності. Як бачимо, наявна його схожість в залежностями на рисунку 3.

Таким чином, можна говорити про те, що у розрахунках у кластерній системі технічні характерис-

тики вузлів, а саме, наприклад, оперативна пам'ять, значно впливають на швидкість обчислень.

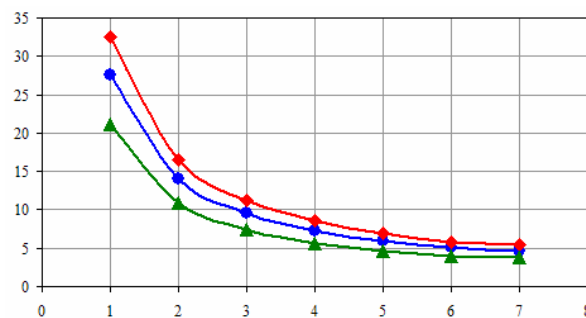


Рисунок 3 – Залежність часу обчислень від кількості вузлів у кластерній мережі при розв'язанні задачі знаходження числа π

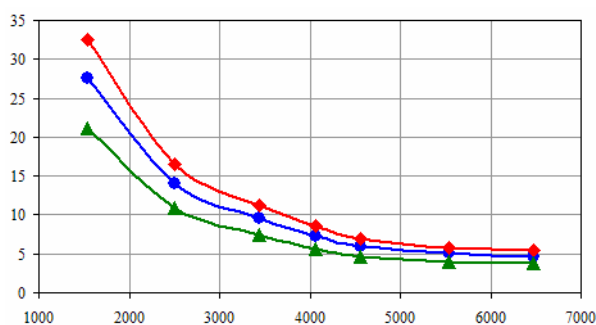


Рисунок 4 – Залежність часу обчислень від сумарної оперативної пам'яті вузлів у кластерній мережі при розв'язанні задачі знаходження числа π

Розглянемо залежність швидкості обчислень задачі теплопровідності, яка розв'язувалася за явною схемою кінцево-різницевого методу, від сумарної потужності процесорів комп'ютерів, що входили до складу кластерної системи. Отримана залежність наведена на рис. 5.

На рис. 5 червоним кольором представлений графік залежності часу обчислень одновимірної задачі теплопровідності розмірності 80×80 , тобто такої, що потребувала найбільше часу для розрахунку. Синім кольором – задачі розмірності 30×30 . Зеленим – 10×10 .

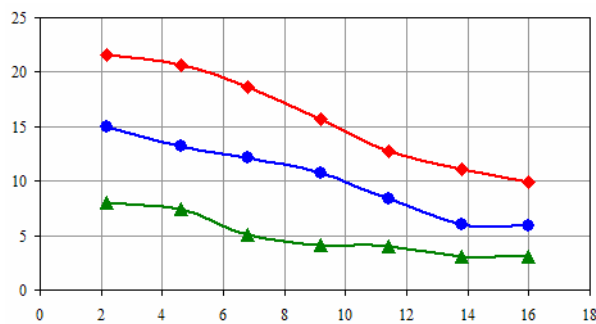


Рисунок 5 – Залежність часу обчислень від сумарної потужності процесорів (ГГц) вузлів у кластерній мережі при розв'язанні задачі теплопровідності

Як видно з рис. 5, при збільшенні сумарної потужності процесорів (ГГц) вузлів кластерної мережі, що приймають участь у розрахунках, час обчислень суттєво зменшується.

Побудуємо залежність часу рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь за методом Гаусса від кількості обчислювальних вузлів у кластерній мережі.

На рис. 6 на графіках червоним кольором показана залежність часу обчислень для задачі розмірності 100×100 , синім – 50×50 , зеленим – матриці розмірності 10×10 .

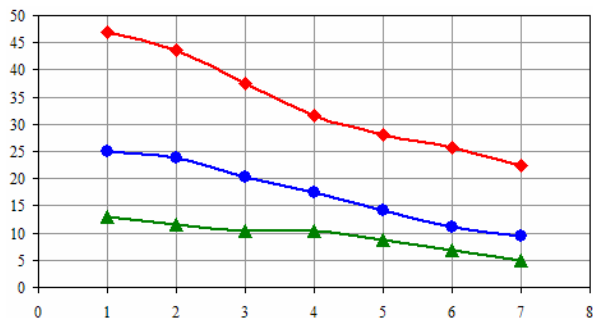


Рисунок 6 – Залежність часу обчислень від кількості вузлів у кластерній мережі при рішенні СЛАУ методом Гаусса

ВИСНОВКИ. На основі отриманих залежностей часу обчислень від кількості вузлів кластерної мережі, сумарної оперативної пам'яті, сумарної потужності процесора можна зробити висновок щодо виправданості використання кластерної системи у інженерних, математично складних, розрахунках.

Використання кластерної системи значно, у декілька разів, зменшує час розрахунків, що підтверджено рішення різних задач з різною розмірністю. Важливим фактором прискорення обчислень також є технічні характеристики вузлів, тому що насамперед технічні характеристики робочих станцій впливають на швидкість обчислювального процесу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сбитнев Ю. Практическое руководство по параллельным вычислениям [Электронный ресурс]/ Linux. Кластер: сайт. – URL: <http://cluster.linux-ekb.info/>.
2. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем / В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. – 84 с.
3. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMPI: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с.
4. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 310 с.
5. Зализняк В.Е. Основы вычислительной физики Часть 1. Введение в конечно-разностные методы. – М: Техносфера, 2008. – 224 с.

CREATION AND CONTROL OF A CLUSTER SYSTEM AND TIME ANALYSIS OF A CALCULATION CLUSTER SYSTEM

Y. Korytko, A. Bobkov

National Technical University "Kharkiv Politechnic Institute"

vul. Frunze, 21, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: juliakorytko@gmail.com, andrey_bobkov_91@bk.ru

The paper presents the implementation results of a cluster system for parallel calculations of mathematical problems. The authors have considered the issue of a cluster system creation, setting, its operation system needed and library for parallel OpenMPI calculations. Analysis of a computing rate in a cluster net was performed using calculations of the following test computing problems: calculation of the π value via the Monte-Carlo method, the one dimensional heat conducting problem solved with an explicit scheme of the finite-difference method, and solving of system of linear algebraic equations by Gaussian elimination. Also, the authors have considered mathematical problems of different dimensions. The research results of the performance of the computing problems solved by a cluster system with node amount from one to seven are described. The correspondences between the computing time and amount of the nodes used, their total random access memory and total processing power were obtained experimentally.

Key words: cluster system, parallel computing, OpenMPI library, computing speed.

REFERENCES

1. Sbitnev, Yu. "Practical guide in the parallel computing / Linux. Cluster site", available at: <http://cluster.linux-ekb.info/>.
2. Gergel, V.P., Strongin, R.G. (2003), *Osnovy parallelnykh vychislenii dlia mnogoprotsessornykh vychislitelnykh sistem* [Base of the parallel computing for multi processors computing systems], N.I. Lobachevskii NNGU, Nizhnii Novgorod, Russia.
3. Antonov, A.S. (2009), *Parallelnoe programmirovaniye s ispolzovaniem tekhnologii OpenMPI* [Parallel computing with using OpenMPI technology], MGU, Moscow, Russia.
4. Sobol, I.M. (1973), *Chislennyye metody Monte-Karlo* [Numerical methods Monte-Carlo], Science, Moscow, Russia.
5. Zalizniak, V.E. (2008), *Osnovy vychislitelnoi fiziki. Chast 1. Vvedenie v konechno-raznostnyye metody* [Base of the computational physics. Part 1. Introduction into finite difference methods], Technosphere, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 27.08.2013.