УДК 004.02 : 004.272

О. О. Сігарьов, В. В. Душеба, м. Київ

ДИНАМІКА ПРИСКОРЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПАРАЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМУ В МАСШТАБОВАНИХ СИСТЕМАХ З МАСОВИМ ПАРАЛЕЛІЗМОМ

Abstract. The authors carried out the analysis of a possibility of obtaining the linear growth of acceleration of parallel algorithm implementation in computing systems with mass parallelism with increasing number of processors to them.

Keywords: acceleration, parallel algorithm, mass parallel processing systems.

.

Вступ. На всіх етапах створення і використання суперкомп'ютерних систем проблеми підвищення ефективності є визначальними. При цьому кінцева продуктивність системи на реальних завданнях залежить від підходу до її підвищення за рахунок оптимізації і узгодженості обчислювальних методів, алгоритмів, програм, архітектури системи та її окремих пристроїв, схемотехнічних, конструкторських, технологічних та інших рішень [1-5].

Однією з важливих задач є планування розміщення підпрограм поміж безліччю процесорів, що обробляють, метою якого є мінімізація величин комунікаційних затримок при передачі даних між процесорами, що особливо важливо при вирішенні завдань, що вимагають частих обмінів даними між окремими підзадачами – сильнозв'язані задачі. Існує цілий ряд завдань, в яких інтегральний час виконання цілком і повністю лімітується часом обміну даними (наприклад, рішення систем диференційних рівнянь з використанням сіткових методів та ін.) відповідно до закону Амдала, що робить актуальним задачу пошуку відповідності між підзадачами і процесорами, яке характеризується мінімальним часом обміну даними і дозволяє досягти кращого масштабування високопродуктивних систем (ВС) з ростом числа процесорів. Довгі складові і перекриваючі маршрути транзитної передачі даних призводять до зростання комунікаційних затримок, що істотно знижує реальну продуктивність суперкомп'ютерних систем (до 50% від пікової й більше) і призводить до простою процесорів, які очікують закінчення обміну даними. Для виходу із ситуації використовуються різні підходи планування розміщення підпрограм, що зводять задачу досягнення максимальної продуктивності ВС до задачі мінімізації величини комунікаційної затримки [6-8].

Мета досліджень. Провести аналіз можливості отримання лінійного росту прискорення реалізації паралельного алгоритму з ідеальним паралелізмом в обчислювальних системах з масовим паралелізмом з ростом числа процесорів в них. Оскільки лінійний ріст продуктивності можливий тільки при повній відсутності обміну, поставлена мета може бути досягнута мінімізацією міжпроцесорного обміну (МО).

© О.О.Сігарьов, В.В.Душеба

Міжпроцесорний обмін передбачає наявність програмної процедури і використання протоколів обміну. Він обумовлює істотні втрати системної продуктивності. Передача даних здійснюється, як правило, за допомогою повідомлень. Вже згадана концепція спеціалізованої системи міжпроцесорних обмінів пропонує такий підхід коли: з одного боку – обмін існує, тобто в системі існує зв'язок за даними "кожний з кожним". А, з іншого боку – його в системі немає, що говорить про те, що паралельний алгоритм використовує той же самий набір команд, який використовується і в послідовній його реалізації. Тобто немає ніяких ознак обміну в системі, що займає корисний час, а саме: ні в якому вигляді немає програмних процедур обміну; не використовуються протоколи обміну; відсутні формальні ознаки синхронізації обміну у вигляді відомих синхронізуючих примітивів; немає конфліктів і тупиків. Все це скасовується в ім'я лінійного росту прискорення продуктивності паралельних алгоритмів.

Розрахунки показують, що той набір програмних процедур, який скасовується, гальмує роботу систем і не дає в повній мірі використовувати закладені в них можливості по реалізації конкретних паралельних алгоритмів. З цієї причини є цілі класи алгоритмів, які при сучасному стані просто не можуть бути реалізовані через високу інтенсивність потоків міжпроцесорних передач даних. Апаратні засоби, які підтримують міжпроцесорний обмін, не придатні в принципі для реалізації лінійного росту прискорення і повинні бути замінені іншим механізмом.

Дослідження динаміки ефективності паралельних алгоритмів з механізмом обміну повідомленнями. Виключно серйозний зріз, що істотно визначає ефективність роботи суперкомп'ютера, але який сьогодні майже завжди ігнорується – аналіз ефективності алгоритму, закладеного в програму.

Механізми міжпроцесорного обміну багато в чому визначають продуктивність ВС. Найбільш поширеним на сьогодні механізмом здійснення МО є передача повідомлень (МПП), аналіз якого може виявити закономірності, які в тій чи іншій мірі властиві й іншим механізмам МО.

Відомий закон Амдала, про можливе прискорення при паралельних обчисленнях, враховує вплив нерозпаралеленої частини алгоритму, однак він не враховує час передачі повідомлень.

В цілому недоліком робіт, присвячених оцінкам комунікаційної трудомісткості паралельних алгоритмів, є відірваність обсягів даних, які передаються від алгоритму, який їх породив. При такому підході стає вельми проблематично пов'язувати витрати часу на передачу даних і їх вплив на прискорення реалізації конкретного паралельного алгоритму.

Проведемо оцінку гранично можливого прискорення реалізації ідеальних паралельних алгоритмів при використанні програмно-апаратного механізму МПП, який є основним і поки єдиним засобом інформаційного обміну в розподілених обчислювальних системах. Сам механізм МПП наділимо властивостями необхідними для отримання граничних значень

прискорень. Будемо виходити з того, що в системі здійснено зв'язок "кожного з кожним".

Щоб уникнути неоднозначності в тлумаченні прискорень реалізації алгоритмів будемо орієнтуватися на чисельні методи рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Важливо щоб структура СЛАР задовольняла критерію ідеальності паралелізму. Алгоритм розглядається як механізм генерації даних для механізму МПП. При цьому функціональні властивості алгоритмів не мають істотного значення. При такому підході досить просто досліджується в чистому вигляді вплив механізму МПП на продуктивність алгоритму.

У пропонованому підході будемо враховувати той факт, що загальний обсяг даних, що передаються, обчислюється системою відповідно до алгоритму задачі. Цей же обсяг даних обчислюється і в чисто послідовній реалізації даного алгоритму. При розпаралелюванні обчислення цих даних розподіляється між усіма процесорами системи, з ростом числа яких блок даних, який обчислюється кожним процесором, зменшується. Після обчислення свого блоку даних процесор формує повідомлення і відправляє їх іншим процесорам системи.

Алгоритми з ідеальним паралелізмом повинні в будь-якому випадку ефективно вирішуватися на суперкомп'ютерах, однак, спостерігається зворотна картина. Якщо інтенсивність потоків міжпроцесорних обмінів перевищує певний поріг, прискорення вирішення таких алгоритмів може ставати менше одиниці. В даному випадку причина знаходиться не в алгоритмах, а в самих системах, на яких вони реалізуються. Коефіцієнт прискорення обчислень k при ідеальному паралелізмі в разі використання передачі за допомогою повідомлень визначається за формулою:

$$k = \frac{T_{посл}}{\frac{T_{посл}}{n} + 2\left(\frac{\alpha \cdot m}{n} + \tau\right)(n-1)} \qquad (1)$$

Формула (1) не враховує багато негативних факторів, що впливають на коефіцієнт *k*, тобто реальні значення будуть гірше отриманих за цією формулою.

Розглянемо рішення СЛАР, структура якого може наближатися до ідеального паралелізму. Умовно приймемо порядок системи рівнянь $m = 256$.

$$T_{посл} = 10^2 \cdot 256, \alpha = 5, \tau = 15.$$

Так як враховується тільки час передачі повідомлень, проведемо попередні дослідження динаміки ефективності рішення паралельних задач, варіюючи основними вихідними параметрами та умовами наступним чином:

1. Система рівнянь розпаралелюється між усіма процесорами. При $n = 256$, де n – число процесорів в системі, кожен процесор буде вирішувати тільки одне рівняння СЛАР. Нижня крива.
2. Великоблочне розпаралелювання на 16 слабозв'язаних вузлів ($m = 4$).
3. Великоблочне розпаралелювання на 16 слабозв'язаних вузлів ($m = 1$).
4. Рішення на ортогональній багатопроцесорній системі (ОБС) [9, 10], кожен процесор вирішує 16 рівнянь. Система вирішується на одній базовій ОБС з 16 процесорів.
5. Великоблочне розпаралелювання між базовими ОБС з міжбазовим обміном за допомогою повідомлень ($m = 4$).
6. Великоблочне розпаралелювання між базовими ОБС з міжбазовим обміном за допомогою повідомлень ($m = 1$).

Розрахунки проведених експериментів зведені в таблицю 1 і представлені у вигляді графічних залежностей на рисунку 1.

Таблиця 1

№ п.п	К-ть вузлів	Варіанти реалізації алгоритмів					
	n	*№1*	*№2*	*№3*	*№4*	*№5*	*№6*
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1,814316	1,923366	1,982959	2	28,13187	22,26087
3	3	2,485437	2,772563	2,942529	3	36,57143	25,09804
4	4	3,043995	3,550624	3,87292	4	41,96721	26,39175
5	5	3,512623	4,260985	4,769001	5	45,07042	26,89076
6	6	3,908397	4,907348	5,626374	6	46,54545	26,94737
7	7	4,244434	5,493562	6,441409	7	46,91099	26,74627
8	8	4,530973	6,023529	7,211268	8	46,54545	26,39175
9	9	4,776119	6,501129	7,933884	9	45,71429	25,94595
10	10	4,986365	6,930157	8,607935	10	44,5993	25,44732
11	11	5,166972	7,314286	9,232787	11	43,32308	24,92035
12	12	5,322245	7,657029	9,808429	12	41,96721	24,38095
13	13	5,455738	7,961722	10,3354	13	40,58537	23,83954
14	14	5,570407	8,231511	10,81473	14	39,21225	23,30299
15	15	5,668733	8,469343	11,2478	15	37,86982	22,7758
16	16	5,752809	8,677966	11,63636	16	36,57143	22,26087
17	32	6,08076					
18	64	5,322245					
19	128	3,908397					
20	256	2,485437					

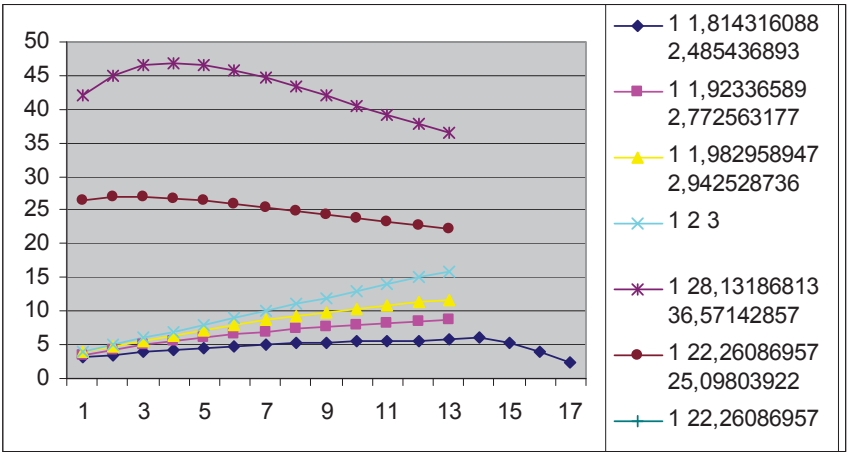

Рис.1. Динаміка ефективності реалізації паралельних алгоритмів

Модель оцінки граничного прискорення продуктивності паралельних алгоритмів. Побудуємо найпростішу математичну модель для отримання оцінки граничного прискорення продуктивності паралельних алгоритмів при ідеальному паралелізмі з урахуванням тільки часу передачі тіла повідомлень.

Коефіцієнт прискорення k визначаємо традиційно:

$$k = \frac{T_{посл}}{T_{парр}},$$

$T_{посл}$ – час виконання алгоритму на одному комп'ютері (послідовний варіант), $T_{парр}$ – час виконання паралельного алгоритму на n-процесорній системі. Час виражається у відносних одиницях, за одиницю якого приймаємо тривалість періоду тактових синхроімпульсів процесора.

Обчислимо T_c – час виконання паралельного алгоритму на n-процесорній системі з урахуванням тільки часу передачі тіла повідомлення, опускаючи вплив інших факторів:

$$T_c = \frac{T_{посл}}{n} + \frac{2\alpha W}{n}(n-1)\ , \qquad (2)$$

де W – загальний обсяг переданих даних в машинних словах, і в нашому випадку порядок системи рівнянь,

α – відношення частоти процесора і шини передачі даних,

n – число обчислювальних вузлів (ОВ) в системі.

Коефіцієнт "2" вказує на передачу в обох напрямках.

$\frac{W}{n}$ – обсяг тексту повідомлення,

$f_{ПД} = \frac{1}{\alpha}$ – відносна частота передачі даних,

$$k_c = \frac{T_{посл}}{\frac{T_{посл}}{n} + \frac{2\alpha W(n-1)}{n}}, \qquad (3)$$

k_c – коефіцієнт прискорення з урахуванням тільки часу передачі повідомлень.

Відповідно до формули (3) блок даних довжиною $\frac{W}{n}$ після закінчення чергової ітерації без будь-яких затримок і очікувань передається послідовно всім ОВ системи і, відповідно, кожен ОВ отримує ідентичні блоки даних від інших ОВ. Під час передачі даних виконання основної програми в системі припиняється, і всі процесори чекають закінчення обміну, до цього змушує ідеальність паралелізму алгоритму. Наступна ітерація може відновлюватися тільки після отримання всіх даних кожним процесором. В даному випадку визначається в чистому вигляді вплив тільки часу передачі даних на прискорення.

Введемо позначення $\beta = \frac{T_{посл}}{W}$ і перепишемо вираз (3) в наступному вигляді:

$$k_c = \frac{\beta}{\frac{\beta - 2\alpha}{n} + 2\alpha},$$

тоді

$$k_{спр} = \lim_{n\to\infty} k_c = \frac{\beta}{2\alpha} \quad . \qquad (4)$$

Вираз (4) показує, що зростання прискорення реалізації паралельного алгоритму при зростанні числа процесорів має своїм межею величину $k_{спр}$.

Вплив часу передачі даних аналогічно впливу нерозпаралелюваної частини алгоритму в законі Амдала.

Якщо β можна розглядати, як відносний період генерації даних алгоритму, тоді $f_{ГД} = \frac{1}{\beta}$ – відносна частота генерації даних.

$f_{ГД}$ – чисельне вираження відомого терміна "інтенсивність потоку міжпроцесорних передач даних".

Після відповідних замін вираз (4) набирає вигляду:

$$k_{спр} = \frac{f_{ПД}}{2 f_{ГД}} \qquad (5)$$

Зростання прискорення реалізації алгоритмів при МПП має своєю

межею $k_{спр}$, який повністю визначається властивостями алгоритму і частотою $f_{ПД}$. Легко показати, що абсолютне значення $k_{спр}$ із зростанням частоти процесорів (f) при незмінній частоті $f_{ПД}$ залишається постійним.

Збільшення частоти процесора (f) в k раз при незмінній частоті передачі даних ($f_{ПД}$) в k раз збільшує частоту генерації даних ($f_{ГД}$) і зменшує, відповідно до виразу (5), відносне значення $k_{спр}$, не змінюючи його абсолютного значення.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що граничне прискорення алгоритму неможливо збільшити ні збільшенням числа процесорів в системі, ні зростанням їх частот.

Висновки. Проведені дослідження і зроблено аналіз можливості отримання прискорення при реалізації паралельних алгоритмів у разі використання механізму передачі повідомлень.

Методи передачі повідомлень є ефективними для інформаційного обміну між незалежними процесами, але їх використання для здійснення МО при реалізації паралельних алгоритмів вельми сумнівно за названих вище причин. З цих же причин багато алгоритмів з практично ідеальним паралелізмом взагалі не можуть бути реалізовані через високі інтенсивності потоків міжпроцесорних передач даних. Передача масивами обмежує прискорення будь-якого паралельного алгоритму, а використання програмної синхронізації унеможливлює обмін окремими словами.

Результати проведеного аналізу будуть використані у подальших дослідженнях та розробці ефективної організації передачі даних в обчислювальних системах з масовим паралелізмом.

1. *Лацис А.О.* Параллельная обработка данных. – М.: Академия, 2010. –336 с.
2. *Трахтенгерц Э.А.* Программное обеспечение параллельных процессов. М.: Наука, 1987 г. - 272 с.
3. Генезис и альтернативы развития высокопроизводительной вычислительной техники // Электронный журнал Труды МАИ, 2011, выпуск 49, С. 1-8.
4. *Lazou, Christopher* Cray's Adaptive Supercomputing - A Paradigm Shift. March 24, 2006. http://www.hpcwire.com/features.
5. *Cray Introduces* Next-Generation Supercomputers. Seattle, Wa, Nov 06, 2007. http://investors.cray.com/
6. *Kahle J. A., Day M. N., Hofstee H. P., Johns C. R., Maeurer T. R., Shippy D.* Introduction to the Cell multiprocessor // IBM Journal of Research and Development. VOL. 49, NO. 4/5. July/September 2005. P. 589 - 603.
7. *Booth, Nick*. NEC claims 10-Petaflop supercomputing breakthrough. March, 2008. http://www.theinquirer.net/gb/inquirer/news
8. *Хуан К.* Перспективные методы параллельной обработки и архитектуры суперЭВМ // ТИИЭР. – 1987. – 75, № 10. – С. 4–41.
9. *Сигарев А.А., Душеба В.В.,* Методы организации ортогональных

многопроцессорных систем. I / А.А. Сигарев, В.В. Душеба // Электронное моделирование. – 1999. – 21, № 6. – С. 57 – 65.
10. *Hwang K., Tseng P.S., Kim D.* An Orthogonal Multiprocessor for Parallel Scientific Computation / Hwang K., Tseng P.S., Kim D. // IEEE Transaction on Computers, January 1989. - 38, № 1. – P. 120-124.

Поступила 13.03.2017р.

УДК 681

А.А.Владимирский, В.В.Мохор, Б.Н.Плескач, Киев
А.Л.Киндрась, Запорожье

ПРОЕКТ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АЭС УКРАИНЫ

A draft concept for the construction of a multi-level monitoring, diagnostic and forecasting system for the technical condition of Ukrainian NPPs has been developed. Extension of the service life is possible only with a significant increase in the level of prediction of the state of equipment and structures. There is a possibility of multiple horizontal scaling of the structure of the system and increasing its functionality during the development and implementation of new diagnostic and forecasting algorithms.

Важнейшая роль атомной энергетики для Украины не вызывает сомнений. Проблема заключается в том, что завершаются регламентные сроки эксплуатации большинства энергоблоков. Продление сроков эксплуатации возможно только при существенном повышении уровня прогнозирования состояния оборудования и конструкций, находящихся в особо сложных условиях эксплуатации.

По заданию ГП “НАЭК ”Энергоатом” в ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины совместно с ГП “КБ “Атомприбор” разработан проект концепции построения многоуровневой отраслевой системы мониторинга, диагностирования и прогнозирования технического состояния АЭС Украины (СМТС). Предложено при внедрении СМТС применять подход «Планируй - Выполняй - Проверяй - Действуй» («plen-du-chek-act»). При этом объектом управления является надежность основного энергетического оборудования энергоблока АЭС, субъектом управления является технический, инженерный, управляющий персонал. Циклический и поэтапный подход к внедрению СМТС позволит ускорить ее внедрение в практику и повысить достоверность мониторинга. Рассмотрены основные предпосылки и цели создания СМТС. Определена стратегия технического обслуживания оборудования.

 © А.А.Владимирский, В.В.Мохор, Б.Н.Плескач, А.Л.Киндрась