

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

Ординський Володимир Вікентійович

УДК 681.324

**СТРУКТУРНА ТА АЛГОРИТМІЧНА ОРГАНІЗАЦІЯ
МУЛЬТИТРАНСП'ЮТЕРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність 05.13.08 - "Обчислювальні машини, системи та
мережі, елементи та пристрої
обчислювальної техніки та систем
керування"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996



AB 33.890

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана у Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" на кафедрі обчислювальної техніки.

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор,
Луцький Георгій Михайлович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Тоценко Віталій Георгійович.

кандидат технічних наук
Жуков Ігор Анатолійович.

Провідна організація Інститут проблем
модельювання в енергетиці
НАН України.

Захист відбудеться 19 жовтня 1996 р. о 14 - й годині
на засіданні спеціалізованої Ради Д 01.02.06 у Національному
технічному університеті України "Київський політехнічний інститут"
(м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 18, ауд. 306).

Відгуки на автореферат у двох екземплярах, завірені печаткою
установи, просимо надсилати за адресою:
252056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, Вченому секретарю КПІ.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат разіслано 17 січня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої Ради,
доктор технічних наук,
професор

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Бузовський
О.В.Бузовський

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є дослідження та розробка методів і засобів підвищення ефективності масштабованих відмовостійких топологій мультипроцесорних систем з індивідуальною пам'яттю на трансп'ютерній елементній базі.

Для досягнення вказаної мети у дисертації розв'язуються наступні задачі :

1. Аналіз тенденцій побудови високопродуктивних паралельних обчислювальних структур з точки зору їх топологічної організації та можливості широкого варіювання кількості елементів системи при збереженні заданих топологічних властивостей.

2. Дослідження методів та засобів швидкого нарощування кількості елементів обчислювальних структур при суттєвих обмеженнях на степінь вершин та діаметр графа топології.

3. Вилучення ефективних базових топологічних організацій обчислювальних структур, визначення способів та засобів масштабування обчислювальних структур на основі базових топологічних організацій.

4. Дослідження питань відмовостійкості топологій обчислювальних структур, що пропонуються.

5. Розробка інструментальних засобів аналізу та синтезу ефективних топологій обчислювальних структур.

Автор захищає наступні положення та результати :

1. Способи побудови масштабованих топологій обчислювальних структур на основі впровадження операцій обмеженого та надлишкового квазідобутку над графовими зображеннями топологій.

2. Спосіб побудови неоднорідних масштабованих топологій обчислювальних структур кластерного типу з використанням операцій квазідобутку над графовими зображеннями топологій та алгоритм його реалізації.

3. Способи розвитку обчислювальних структур з топологією кубічно зв'язаних кілець, що дозволяють мінімізувати втрати пропускну здатності структури при відмовах елементів.

4. Інструментальні засоби аналізу та синтезу топологій обчислювальних структур, у тому числі в умовах ймовірних відмов елементів системи.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

У наш час розв'язання цілого переліку наукових та практичних задач (у галузі фізики, хімії, біології, штучного інтелекту, керування складними об'єктами у режимі реального часу та інших) потребує створення нових засобів обробки інформації, що задовольняють вимогам надвисокої продуктивності, а також мають підвищену надійність та життєздатність.

Сучасні комп'ютерні архітектури мають цілий перелік топологічних недоліків, основним з яких є труднощі розширення існуючих систем та нарощування обчислювальної потужності. Однією з основних тенденцій розвитку обчислювальної техніки у цьому напрямку є створення високопродуктивних масштабованих паралельних комп'ютерів (обчислювальних структур) з практично необмеженою можливістю нарощування їх обчислювальної потужності, що налічують до десятків та сотень тисяч процесорних елементів. У таких обчислювальних структурах можуть бути реалізовані будь-які види паралельної обробки.

Ефективна реалізація таких високопродуктивних мультипроцесорних систем можлива лише за умов використання сучасної елементної бази на основі НВІС з апаратно реалізованою підтримкою паралелізму, серед яких великий інтерес викликають трансп'ютери або трансп'ютероподібні елементи.

У зв'язку з постійним зростанням вимірностей систем особливе значення набувають питання ефективної взаємодії між елементами з врахуванням особливостей реалізації обміну інформацією та конструктивних особливостей НВІС, що використовуються як елементна база. У наш час розвивається напрямок досліджень, пов'язаний з топологічною організацією таких обчислювальних систем. Його завдання полягає в створенні формалізованих методів синтезу, визначенні оптимальних співвідношень та топологічних параметрів з врахуванням обмежень, що накладаються параметрами реально існуючих елементів. Серед найбільш актуальних проблем можна виділити: мінімізацію вартості системи при заданій кількості процесорних елементів, побудова ефективної комунікаційної мережі між елементами, проблема відмовостійкості таких систем. Із збільшенням розмірностей масштабованих топологій обчислювальних систем питання ефективності обміну інформацією між елементами, а також здатність продовжувати обчислення при відмовах окремих вузлів, виходить на перший план.

Цим питанням і присвячена дана дисертаційна робота.

Методи досліджень: базуються на використанні основних положень теорії графів, теорії побудови паралельних обчислювальних систем, теорії

паралельного програмування, теорії алгоритмів, теорії ймовірностей та математичної статистики.

Наукова новизна роботи полягає у розробці способів аналізу та засобів побудови масштабованих топологій обчислювальних структур різних типів при заданих обмеженнях на їх параметри та в умовах ймовірних відмов елементів та зв'язків, а також у розробці моделі для оцінки зміни пропускну здатності обчислювальних структур при відмовах елементів за методом статистичного моделювання.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що використання запропонованих способів, алгоритмів та засобів аналізу і побудови топологій обчислювальних структур дозволяє спростити процес розробки як мультитрансп'ютерних обчислювальних структур із заданими топологічними характеристиками, так і систем паралельної обробки вцілому.

Вірогідність теоретичних результатів підтверджується доведенням основних положень, висновків та рекомендацій, а також результатами моделювання.

Реалізація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи використані при виконанні науково-дослідних робіт кафедри обчислювальної техніки: Державної науково-технічної програми 6.3.1: "Високопродуктивні персональні ЕОМ та проблемно-орієнтовані комплекси широкого призначення", замовник - Державний комітет з науки та техніки; Державної науково-технічної програми 6.4.2: "Інтелектуальні системи автоматизації керування виробничими комплексами та технологіями" у рамках теми № 2709 "Розробка двотрансп'ютерного обчислювального модулю для персональних та паралельних ЕОМ", замовник ДКНТ; Проекту "Захист-41" у рамках теми №3001 "Мультимодульна трансп'ютерна система для швидкісної поточної обробки даних у системах захисту інформації реального часу", замовник - Державна служба України з питань технічного захисту інформації, а також в учбовому процесі на кафедрі з дисципліни "Обчислювальні машини, комплекси, системи та мережі ЕОМ".

Апробація роботи. Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались:

- під час літньої школи "The Actuarial Summer School", Uniwersitet Warszawski, Warsaw, Poland, 1994,

- на міжнародному семінарі Blockseminar Spezialkurs "Systemtechnik", Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung, Ilmenau, Deutschland, 1995,

- на міжнародній науковій конференції молодих фахівців The second Spring University of AEGEE - Maastricht у секції "Computer Technologies", The University of Limburg, Maastricht, Holland, 1995.

Публікації: За темою дисертації опубліковано 9 друкованих праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, заключної частини та додатку. Загальний обсяг роботи складає 110 сторінок друкованого тексту, 47 малюнків та списку літератури з 46 найменувань.

У вступі наведено обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, формулюється мета та задачі дослідження та основні положення, які виснесено на захист.

У першій главі розглядається область дослідження, визначаються основні особливості масштабованих обчислювальних систем з фіксованою структурою зв'язків (у тому числі на трансп'ютерній елементній базі), формулюються головні топологічні характеристики обчислювальних систем та виділяються проблеми, що пов'язані з їх оптимізацією.

У другій главі розглядається спосіб побудови масштабованих ієрархічних топологій на базі операції множення графових зображень топологій, вводяться операції обмеженого та надлишкового квазімноження графів та на їх основі пропонується спосіб та алгоритми побудови масштабованих ієрархічних топологій, що дозволяє покращити показники топологій з точки зору мінімізації степені вершин і діаметра топологій.

У третій главі на основі введених операцій квазімноження пропонується способи побудови однорідних та неоднорідних топологій обчислювальних структур, включаючи структури кластерного типу, розглядаються питання створення неоднорідних ієрархічних топологій, оцінюються їх характеристики.

У четвертій главі розглядається алгоритм побудови топологій з кубічно зв'язаними кільцями, відомі способи побудови топологій з кубічно зв'язаними кільцями, пропонується спосіб їх масштабування, що дозволяє зберегти пропускну здатність системи при відмовах елементів, а також статистична модель оцінки змін пропускну здатності топологій при відмовах елементів.

У заключній частині наводяться основні результати роботи.

У додатку наводяться алгоритми програм, тексти програм та результати моделювання.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Однією з найважливіших характеристик мультипроцесорних систем, що суттєво впливає на їх параметри є топологічна організація. Топологія мультипроцесорних обчислювальних систем зображується неорієнтовним графом, вершини якого відповідають процесорним елементам (ПЕ), а дуги - міжпроцесорним лініям зв'язку (лінкам).

При побудові мультипроцесорних систем використовується цілий перелік топологічних характеристик, що вже на стадії розробки дозволяє оцінити майбутні характеристики системи. До основних із них можна віднести наступні: складність, ієрархічність, надійність, живучість, нарощуваність, вартість, а також степінь вершин та діаметр структури. Степінь вершин визначається кількістю вбудованих каналів обміну інформацією і є відомою.

Діаметр структури являє собою метричну характеристику, пов'язану з визначенням на графі найкоротшого шляху між найбільш віддаленими вершинами. Крім поняття діаметра використовується також поняття середнього діаметра - величина, зворотня пропускній здатності. Основний підхід до побудови великомасштабних мультипроцесорних нарощуваних топологічних структур пов'язується з операціями над графовими зображеннями топологій. При цьому основною операцією є операція множення графів, що дозволяє одержати швидке зростання кількості елементів системи при лінійному зростанні степені вершин та діаметра системи. Операція множення графів через дії над матрицями суміжності може бути подана наступним чином.

Добуток двох неорієнтовних графів G_1 і G_2 з матрицями суміжності $\|M_1\|$ і $\|M_2\|$ розмірністю $(n \times n)$ і $(k \times k)$ відповідно є граф G_n з матрицею суміжності $\|M_n\|$ розмірністю $(n \times k) \cdot (n \times k)$ такою, що матриця суміжності $\|M_n\|$ графа має блочну структуру вигляду

$$\|M_n\| = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{n^*k} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \dots & C_{n^*k} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & \dots & C_{n^*k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n^*k} & C_{n^*k} & C_{n^*k} & \dots & C_{(n^*k)(n^*k)} \end{bmatrix}, \text{ де } C_{i,j} = \begin{cases} \|M_1\|, \forall (i = j) \\ \|J\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 1) \\ \|Z\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 0) \end{cases}$$

$$\|Z\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad \|J\| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix};$$

Матриця суміжності графа добутку формується за наступними правилами :

1. Матриця $\|Mn\|$ має розмірність $(n \times k) \times (n \times k)$.
2. Матриця $\|Mn\|$ формується на основі матриць $\|M_1\|$ і $\|M_2\|$.
3. Матриця $\|Mn\|$ має блочну структуру: k блоків, які є матрицями розмірності $(n \times n)$, або n блоків, які є матрицями вимірності $(k \times k)$ по кожному виміру.
4. Кожен блок $(n \times n)$ або $(k \times k)$ являє собою матрицю $\|M_1\|$ (або $\|M_2\|$), або одиничну матрицю $\|J\|$, або нульову матрицю $\|Z\|$.
5. Кожен блок матриці $\|Mn\|$, що знаходиться на головній діагоналі, заповнюється матрицею $\|M_1\|$ ($\|M_2\|$).
6. Якщо блок матриці $\|Mn\|$ не знаходиться на головній діагоналі матриці, то він заповнюється матрицею $\|J\|$ у випадку, якщо в позиції (i,j) матриці $\|M_2\|$ ($\|M_1\|$) стоїть 1.
7. Якщо блок матриці $\|Mn\|$ не знаходиться на головній діагоналі матриці, то він заповнюється матрицею $\|Z\|$ у випадку, якщо в позиції (i,j) матриці $\|M_2\|$ ($\|M_1\|$) стоїть 0.

Розглянута операція множення графів, крім комутативності, наділена наступними властивостями :

1. При ітераційному множенні

$$G_1 \otimes G_2 = G_{n_1}, G_{n_1} \otimes G_2 = G_{n_2}, G_{n_2} \otimes G_2 = G_{n_3} \dots$$
2. Степінь вершин графа добутку зростає лінійно у відповідності з формулою $S_{n_i} = S_{n_{i-1}} + S_2$.
3. Діаметр D_{n_i} графа добутку зростає також лінійно, у відповідності з формулою $D_{n_i} = D_{n_{i-1}} + D_2$.
4. Кількість вершин графа добутку на кожній ітерації, зростає у k разів.

Все це дозволяє зробити висновок, що операція множення графів в її класичному варіанті може використовуватись в якості базової при синтезі великомасштабних топологій МП систем, але з деякими обмеженнями, що обумовлені швидким зростанням степені вершин і діаметра графа добутку. Необхідно обмежити зростання степені вершин графа на кожній ітерації. В цьому зв'язку раціонально розглянути інші операції над графами, які можуть бути розроблені на базі класичної операції множення.

При виконанні операції повного множення двох графів G_1 і G_2 з матрицями суміжності $\|M_1\|$ і $\|M_2\|$ розмірності $(n \times n)$ і $(k \times k)$ відповідно, матриця суміжності $\|Mn\|$ результуючого графа G_n може бути побудована як блочна матриця з k блоків розміром $(n \times n)$ по кожному виміру. Кожен з блоків $(n \times n)$ - це або матриця суміжності $\|M_1\|$ (якщо блок знаходить-

ся на головній діагоналі), або нульова матриця $\|Z\|$, або одинична матриця $\|J\|$. Кількість одиниць в i -тому рядку (стовпчику) матриці $\|Mn\|$ визначається степенню i -тої вершини графа G_n . Кількість одиниць в i -тому рядку, в загальному випадку, складається з двох частин:

- одиниць, що стоять в i -тому рядку $\|Mn\|$ і належить блоку, що знаходиться на головній діагоналі матриці $\|Mn\|$;

- одиниць, що стоять в i -тому рядку $\|Mn\|$ і належать блокам, що не знаходяться на головній діагоналі матриці $\|Mn\|$;

В даному випадку на себе звертають увагу блоки, що не лежать на головній діагоналі матриці $\|Mn\|$. Ці блоки можуть заповнюватись або $\|Z\|$ матрицями, або $\|J\|$ матрицями. $\|Z\|$ матриці не впливають на кількість одиниць в рядку (стовпчику).

Змінюючи кількість одиниць в $\|J\|$ матриці (назвемо це неповною $\|J\|$ матрицею), можна керувати кількістю одиниць матриці $\|Mn\|$, одержаної з використанням неповних $\|J\|$ матриць, що залишає деяку кількість вершин графа із степенню менше, ніж у вершин, які зв'язані повністю. Це дасть змогу використовувати отримані графи в наступних ітераціях такої модифікованої операції множення з більш повільним зростанням степені вершин графа.

Обмежений квазідобуток двох неорієнтовних графа з матрицями суміжності $\|M_1\|$ і $\|M_2\|$ розмірності $(n \times n)$ і $(k \times k)$ відповідно, є граф з матрицею суміжності $\|M_n\|$ розмірності $(n \times k) \times (n \times k)$ такою, що матриця суміжності графа $\|M_n\|$ має блочну структуру, де кожен блок має вигляд:

$$C_{i,j} = \begin{cases} \|M_1\|, & \forall (i = j) \\ \|J\|, & \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 1) \\ \|Z\|, & \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 0) \end{cases}, \quad \|J\| = \|J_1\| \cup \|J_2\| \cup \|J_3\| \cup \dots \cup \|J_r\|$$

$$\|J_1\| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \|J_2\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \|J_3\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ і т. д.}$$

Операція обмеженого квазімноження графів наділена наступними властивостями:

1. При виконанні обмеженого квазімноження за декілька ітерацій $G_1 \otimes G_2 = G_{n_1}$, $G_{n_1} \otimes G_2 = G_{n_2}$, $G_{n_2} \otimes G_2 = G_{n_3} \dots$

2. $\|J_1 \cup J_2 \cup J_3 \cup \dots \cup J_i\| = \|J\|$, i - кількість ітерацій, $i \leq S_1 - S_2$. Неповна $\|J\|$ матриця, що використовується на першій ітерації для заповнення матриці суміжності графа добутку, і неповна $\|J\|$ матриця, що використовується на наступних ітераціях для формування матриці $\|Mn\|$, при виконанні операції логічного OR повинні давати повну одиничну $\|J\|$ матрицю.

3. Максимально можлива кількість ітерацій операції обмеженого квазімноження графів дорівнює степені вершини першого із співмножників.

4. Степінь вершин графа, отриманого внаслідок операції обмеженого квазімноження на першій ітерації дорівнює $S_1 - S_1 + S_2$ та подальші не зростає.

5. Діаметр графа добутку в цьому випадку зростає трохи швидше, ніж при повному множенні графів, а саме: $Dn_i = Dm_{i-1} + D_2 + \delta$, де $1 < \delta < D_2$. Значення δ залежить від конкретного способу проріджування $\|J\|$ - матриці.

6. Після кожної ітерації обмеженого квазімноження графів кількість вершин графа добутку (розмірність матриці суміжності) зростає в k разів, де k - кількість вершин графа G_2 .

В роботі доведено теорему про необхідні та достатні умови зв'язності графа добутку, якими є зв'язність обох графів, що є множниками, подані графіки зростання степені вершин та діаметра графа при ітераційному використанні операцій повного та обмеженого квазімноження графів. Залежність інтегрального критерію зростання S^*D від кількості ітерацій операції множення графів виявляється переважною для операції обмеженого квазімноження (рис. 1).

Використання операції обмеженого квазімноження графів дозволяє окрім однорідних топологій, також створювати топології кластерного типу (неоднорідні). Підграфи (кластери) в рамках таких топологій можуть з'єднуватися за допомогою підмереж зв'язку різноманітних топологій одночасно. В цьому випадку одна з підмереж може використовуватися, наприклад, для передачі ширококомовних повідомлень, завантаження системи, а інша для маршрутизації локальних інформаційних пакетів. Формально для створення топології мультипроцесорної системи такого типу необхідно виконати обмежене квазімноження графа з топологією кластера на граф з топологією підмережі зв'язку для локальних пакетів. Після цього необхідно виконати обмежене квазімноження графа з топологією кластера на граф з топологією мережі ширококомовних повідомлень (наприклад кільце), але для іншої неповної $\|J\|$ - матриці. Після цього, виконавши операцію логічного "OR" для двох матриць суміжності, отримаємо матрицю суміжності графа, що описує шукану топологію.

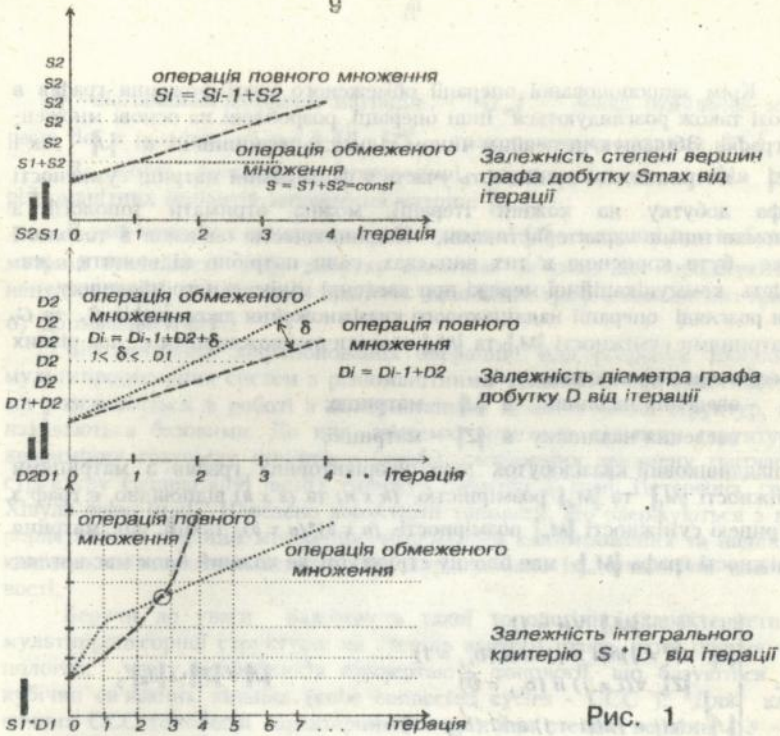


Рис. 1

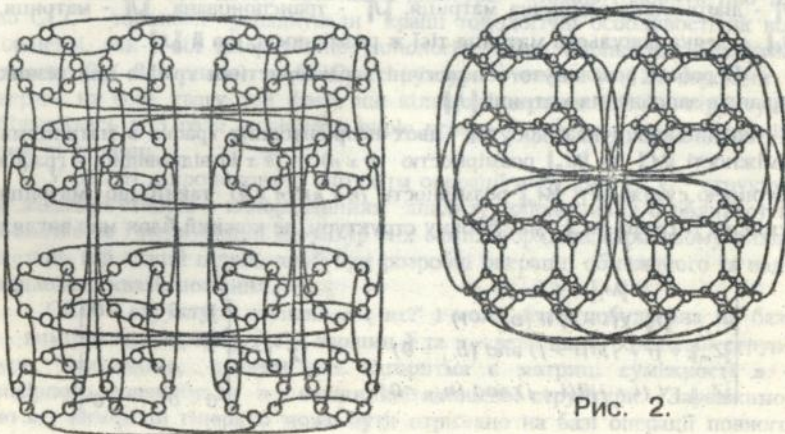


Рис. 2.

Крім запропонованої операції обмеженого квазімноження графів в роботі також розглядаються інші операції, розроблені на основі множення графів. Збільшуючи певним чином кількість одиниць як в $\|J\|$ - так і в $\|Z\|$ - матрицях, що приймають участь у формуванні матриці суміжності графа добутку на кожній ітерації, можна отримати топології з різноманітними характеристиками. Надлишковість зв'язків в топології може бути корисною в тих випадках, коли потрібно підвищити живучість комунікаційної мережі при введенні мінімального надлишку.

При розгляді операції надлишкового квазімноження двох графів G_1 та G_2 з матрицями суміжності $\|M_1\|$ та $\|M_2\|$ теоретично можливими є два різних способи введення надлишку:

- введення надлишку в $\|J\|$ - матрицю;
- введення надлишку в $\|Z\|$ - матрицю;

J - надлишковий квазідобуток двох неорієнтовних графів з матрицями суміжності $\|M_1\|$ та $\|M_2\|$ розмірністю $(n \times n)$ та $(k \times k)$ відповідно, є граф з матрицею суміжності $\|M_n\|$ розмірності $(n \times k)^*(n \times k)$ такий, що матриця суміжності графа $\|M_n\|$ має блочну структуру, де кожний блок має вигляд

$$C_{i,j} = \begin{cases} \|M_1\|, \forall (i = j) \\ \|J\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (i > j) \text{ and } (b_{i,j} = 1) \\ \|Z\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 0) \\ \|J\|^T, \forall (i \neq j) \text{ if } (i < j) \text{ and } (b_{i,j} = 1) \end{cases}, \quad \|J\| = \|J_1\| \cup \|J_2\|;$$

$\|J\|$ - діагональна одинична матриця, $\|J\|^T$ - транспонована $\|J\|$ - матриця, $\|J_k\|$ - деяка ненульова матриця тієї ж розмірності, що й $\|J_1\|$.

В роботі розглянуто топологічні характеристики графів для різних варіантів заповнення матриці $\|J_k\|$.

Z - надлишковий квазідобуток двох неорієнтовних графів з матрицями суміжності $\|M_1\|$ та $\|M_2\|$ розмірністю $(n \times n)$ та $(k \times k)$ відповідно, є граф з матрицею суміжності $\|M_n\|$ розмірності $(n \times k)^*(n \times k)$ такий, що матриця суміжності графа $\|M_n\|$ має блочну структуру, де кожний блок має вигляд

$$C_{i,j} = \begin{cases} \|M_1\|, \forall (i = j) \\ \|J\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (b_{i,j} = 1) \\ \|Z_m\|, \forall (i \neq j) \text{ if } (i > j) \text{ and } (b_{i,j} = 0) \\ \|Z_m\|^T, \forall (i \neq j) \text{ if } (i < j) \text{ and } (b_{i,j} = 0) \end{cases}, \quad \|Z_m\| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$|J|$ - діагональна одинична матриця, $|Z_m|$ - деяка ненульова матриця тієї ж розмірності, що й $|J|$, $|Z|^T$ - транспонована матриця $|Z_m|$.

В роботі розглянуто топологічні характеристики графів для різноманітних варіантів заповнення матриці $|Z_m|$.

В усіх випадках використання ненульової $|Z|$ - матриці при побудові матриці суміжності графа добутку додаткові зв'язки, що породжуються ненульовою $|Z|$ - матрицею, прагнуть доповнити граф з топологією графа G_2 до повнозв'язного.

Використання запропонованих операцій для розробки топологій мультипроцесорних систем з різноманітними топологічними властивостями розглядається в роботі з використанням деякого числа структур, що називаються базовими. До них, зокрема, віднесено кільцеву структуру, двовимірну ґратчасту структуру (mesh), двовимірну замкнену ґратчасту структуру (wraparound mesh), гіперкуб степеню 3, граф Петерсона, граф Хівуда деякі інші. Наведено характерні топології, що одержуються з використанням операцій множення, обмеженого квазімноження та надлишкового квазімноження базових структур, описано їх топологічні властивості.

Беручи до уваги важливість такої топологічної характеристики мультипроцесорної структури, як степінь вершин графа, який описує топологію, увагу розробників привертають топології, що базуються на кубічно зв'язаних кільцях (cube connected cycles - CCC). Для класичних CCC топологій характерними є постійна степінь вершин $s = 3$, широкі можливості нарощування кількості процесорних елементів системи та незначне при цьому зростання діаметра. Можна говорити про те, що CCC - топології успадкували кращі топологічні особливості як від кільцевої, так і від гіперкубічної топологій. При порівнянні гіперкуба степеню 3 (8 вершин) та CCC - структури степеня 3 (24 вершини) звертає на себе увагу той факт, що кількість вершин CCC - структури збільшилась у 3 рази, а діаметр виріс всього у два рази при незмінній степені вершин.

У роботі запропоновано алгоритм операції побудови CCC - структури заданої степені з використанням аналізу топологічних особливостей кільцевої та гіперкубічної структур тих самих порядків. При цьому використано той самий підхід, що й при розробці операції обмеженого та надлишкового квазімноження.

CCC - структура степеня n ($nx2^n$) може бути побудована на базі n - вимірного гіперкубу (2^n - вершин) та n - вершинної кільцевої структури. Вихідними даними для алгоритма є матриці суміжності n - вимірного гіперкубу та n - вершинної кільцевої структури. Зауважимо, що n - вимірний гіперкуб може бути отримано на базі операції повного

множення графів за запропонованим вище алгоритмом (на найпершій ітерації одержуємо добуток двох відрізків). Таким чином матриця суміжності $\|M_{CCC}\|$ CCC - структури з кільцем порядку n формується на базі матриць суміжності n - вимірного гіперкубу ($2^n \times 2^n$) та n - вершинної кільцевої структури ($n \times n$) і має розмірність ($2^{2n} \times n^2$). Матриця суміжності графічного зображення топології CCC - структури формується за наступними правилами:

1. Матриця $\|M_{CCC}\|$ формується безпосередньо, використовуючи матриці $\|M_{HC}\|$ и $\|M_C\|$.

2. Матриця $\|M_{CCC}\|$ має блочну структуру: 2^{2n} блоків є матрицями ($n \times n$).

3. Головна діагональ матриці $\|M_{CCC}\|$ заповнюється матрицями суміжності кільцевої структури.

4. Якщо блок матриці $\|M_{CCC}\|$ не знаходиться на головній діагоналі матриці, то він заповнюється матрицями $\|Z\|$, якщо у матриці суміжності n - вимірного гіперкубу у відповідній даному блоку позиції (i,j) стоїть 0.

5. Якщо блок матриці $\|M_{CCC}\|$ не знаходиться на головній діагоналі матриці, то він заповнюється матрицями $\|J\|$, якщо у матриці суміжності n - вимірного гіперкубу у відповідній даному блоку позиції (i,j) стоїть 1.

6. $\|J\|$ - матриця містить єдину 1 в одній з позицій головної діагоналі.

7. Положення 1 на головній діагоналі $\|J\|$ - матриці визначається для кожного конкретного блоку у відповідності з тим, до якого виміру гіперкуба (a, b, c, d, \dots) належить ребро (i,j) . Ряди приналежності ребер CCC - структур вимірам гіперкубів наведені в роботі.

У класичних CCC - структурах ($3 \times 3^3, 4 \times 4^4, 5 \times 5^5, 6 \times 6^6, 8 \times 8^8$ і т.д.) кожна пара кілець безпосередньо зв'язані між собою тільки за допомогою одного ребра. У цьому полягає "вузьке місце" CCC - структур, так як вихід з ладу одного з процесорних елементів призводить до того, що необхідно маршрутизувати інформаційні пакети через інші вершини (інші кільця), що безумовно знижує пропускну здатність системи вцілому (збільшує середній діаметр).

Таким чином, необхідно або ввести додаткові ребра, що зв'язують кільця CCC - структур (але це збільшить степінь вершин), або ввести додаткові вершини, які будуть "дублювати" вже існуючі. Спосіб, що дозволяє обмежити зростання середнього діаметра системи при відмовах вершин за рахунок введення додаткових ребер відомий як спосіб побудови ХССС - структур. Основним його недоліком можна вважати швидке зростання степені вершин (для 32 вершин степінь дорівнює 5).

Однак значно більший інтерес викликає спосіб, що дозволяє зберегти середній діаметр системи при відмовах вершин за рахунок введення

додаткові резервних вершин. Причому введення додаткових вершин можна вдало поєднати з масштабним нарощуванням самої топології. Можна виділити два базових способи введення додаткових вершин з метою збереження пропускної здатності ССС - структур при відмовах елементів:

- введення додаткових вершин в кільце (в цьому випадку кожне кільце має $2n$ вершин, степінь 3);
- введення другого кільця, що дублює перше (в цьому випадку кожне кільце має n вершин, степінь 4).

В роботі досліджено властивості різних класичних ССС - структур, ССС - структур с введенням додаткових вершин, а також ХССС - структури с введенням однієї надлишкової вершини і додаткових наближкових ребер. Для топологій з однаковою кількістю вершин розглянуті такі показники як степінь вершин S , діаметр системи D_{max} , середній діаметр системи D_{middle} , а також зміна цих показників при появі в системі процесорних елементів, що відмовили.

Обидва способи введення додаткових вершин з метою збереження пропускної здатності ССС - структур при відмовах описані в роботі на прикладі введення таких вершин для ССС - графа $4x2^l$ (рис. 2). Отриманим у результаті ССС - графам $8x2^l$ і $2x4x2^l$ притаманні різні топологічні характеристики. З практичної точки зору цікавими є дві основні залежності - зміна границь діаметра D_{max} графа ССС - структури та зміна середнього діаметра D_{middle} графа ССС - структури при зростанні кількості вершин, що відмовили.

Наведені в дисертації залежності наочно ілюструють переваги другого з запропонованих базових способів суміщення нарощування розмірності топології та збереження її пропускної здатності при відмовах елементів. На прикладі ХССС - структури $(3+1)x2^3$ наведено порівняння ефективності способу введення надлишкових ребер, а також порівняння основних показників цієї структури з показниками аналогічного класичного ССС - графа.

Необхідно зазначити що граф ССС - структури є симетричним, і тому визначити його основні характеристики для 0 або 1 вершин що відмовили неважко. Однак, при відмові вже однієї вершини граф ССС - структури перестає бути симетричним, і подальше визначення границь, у яких змінюється D_{max} та D_{middle} , являє собою непросту задачу. Так, наприклад, в разі відмови двох вершин можливі $C_{nx2^n}^2$ різноманітні графи неповних ССС - структур. При збільшенні кількості елементів структури завдання ускладнюється, так як час моделювання пропорційний квадрату кількості вершин графа топології. Виходячи з цього в роботі була вибрана статистична модель визначення параметрів неповних ССС - структур при заданій кількості вершин, що відмовили.

Можна вважати, що граф, який відображає топологію мультипроцесорної системи, стає стохастичним. За допомогою стандартної процедури, рівноймовірно, з графа видаляється фіксована кількість вершин, і відповідно зв'язані з ними дуги. Після цього граф досліджується на зв'язність, і якщо він є зв'язним, обчислюються характеристики, що нас цікавлять. Результатом повторних незалежних випробувань є послідовність незалежних значень однієї з характеристик графа - у нашому випадку - D_{middle} . За даною послідовністю будується гістограма, що описує ймовірність потрапляння D_{middle} до визначених інтервалів. Таким чином можна оцінити з заданою точністю ймовірність потрапляння випадкової величини D_{middle} у визначений інтервал. Необхідна кількість дослідів може визначатись як за спеціальними таблицями так і за допомогою адаптивної схеми, алгоритм якої реалізовано у роботі.

У роботі подані залежності - зміна діаметра D_{max} графа CCC-структури та зміна середнього діаметра D_{middle} графа CCC-структури для різної кількості вершин, що відмовили (від 1 до 8) для основних досліджених топологій - CCC $4x2^t$, $2v4x2^t$, $8x2^t$, $3x2^3$, ХССС $(3+1) 4x2^3$. Зроблено висновки щодо переваг окремих топологій.

Основні результати роботи формулюються наступним чином:

1. На основі дослідження типових топологій обчислювальних структур, їх характеристик та притаманних їм обмежень запропоновано спосіб побудови масштабованих обчислювальних структур з використанням операцій квазімноження графічних зображень топологій.
2. Запропоновано спосіб і алгоритми побудови масштабованих топологій обчислювальних структур кластерного типу на основі описаної операції обмеженого квазімноження графічних зображень топологій.
3. На основі описаної операції надлишкового квазімноження графічних зображень топологій, запропоновано спосіб і алгоритми побудови нарощуваних топологій обчислювальних структур, наділених підвищеною відмовостійкістю при введенні оптимальної надлишковості за зв'язками.
4. Досліджені топології кубічно зв'язаних кілець, запропоновано алгоритм їх побудови на базі кільцевої та гіперкубічної структур.
5. Запропоновано спосіб масштабування топологій кубічно зв'язаних кілець, який дозволяє мінімізувати втрати пропускної здатності структури при відмовах елементів.
6. Розроблено інструментальні засоби аналізу та синтезу топологій обчислювальних структур, в тому числі в умовах ймовірних відмов елементів системи.

Основні результати дисертації опубліковано в наступних роботах :

1. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Особливості топологічної та структурної організації реконфігурованих мультитрансп'ютерних систем. - 13 с. Деп. в ДНТБ України. 14.12.94, №2465-Ук94.

2. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Особливості структурної організації великомасштабних мультитрансп'ютерних мережових топологій. - 14 с. Деп. в ДНТБ України. 14.12.94, №2464-Ук94.

3. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Структурні особливості великомасштабних трансп'ютерних мереж на основі симетричних графів. - 6 с. Деп. в ДНТБ України. 14.11.94, №2117-Ук94.

4. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Структурні та алгоритмічні особливості організації перетворень Фур'є у трансп'ютерній системі з ієрархічною гіперкубічною топологією. - 8 с. Деп. в ДНТБ України. 14.12.94, №2467-Ук94.

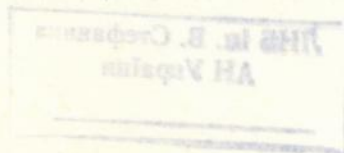
5. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Структурні та алгоритмічні особливості організації перемноження матриць у трансп'ютерній системі з ієрархічною гіперкубічною топологією. - 13 с. Деп. в ДНТБ України. 14.12.94, №2466-Ук94.

6. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Організація сістолічних обчислень у мультитрансп'ютерних системах. - 16 с. Деп. в ДНТБ України. 14.11.94, №2118-Ук94.

7. Луцький Г.М., Ординський В.В., Аль-Шалабі Хасан, Аль-Нсур Айман. Організація поліноміальних та матричних обчислень у трансп'ютерних системах. - 13 с. Деп. в ДНТБ України 14.11.94, №2116-Ук94.

8. Луцький Г.М., Кулаков Ю.О., Ординський В.В., Ватфа Хайсам: Розподілений метод визначення моменту закінчення обчислень у БПОС з топологічною організацією типу D-вимірних замкнених сітчастих структур. - 13 с. Деп. в ДНТБ України. № 2210 Ук. 95.

9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Системне програмне забезпечення" для студентів усіх форм навчання спеціальності 2201 "Обчислювальні машини, системи, комплекси та мережі"/Укл. В.П.Симоненко, О.В.Корочкін, В.В.Ординський, О.В.Русанова. - 44 с. - К:/КІП, 1993.



Ордынский Владимир Викентьевич

Структурная и алгоритмическая организация мультитранспьютерных вычислительных систем.

Работой является рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Защита состоится 19 февраля 1996 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 01.02.06 в Национальном техническом университете Украины "Киевский политехнический институт" г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 18, ауд. 306.

г. Киев, 1996 г.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка методов и средств создания эффективных масштабируемых отказоустойчивых топологий мультипроцессорных систем с индивидуальной памятью на транспьютерной элементной базе.

Volodymyr V. Ordynsky

Structural and algorithmic organization of multitransputer computing systems.

This scientific work is a manuscript to submit one's thesis for candidate's sciences in specialty 05.13.08 - Computers, systems and networks, elements and unites of computer technique and control systems.

The aim of this thesis is to research methods and to develop means of topological constructing of the large scale expandable transputer based multiprocessor systems include processor's fault tolerance. Two new original operations - restricted and expanded graph multiplication in the aim of quick scaleable topologies construction were proposed. Method of the large scale multiprocessor topology synthesis proposed here. A lot of attention was devoted to the cube connected cycle (CCC) topologies. The methods of such topologies synthesis and their expansion in the case of strong fault tolerance was developed.



Ключові слова : мультитрансп'ютерні системи, паралельні обчислення, топологія, граф, ступінь вершин, діаметр графа, середній діаметр графа; кубічно зв'язані цикли.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підп. до друку 10.01.96. Формат 60×84¹/₁₆. Папір
друк. № 2. Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 0,93.
Умовн. фарбо-відб. 1,04 Облік.-вид. арк. 1,0
Тираж 100 Зам. № 6-196.

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

453912

AB 33.890

AB 33.890