

Київський університет імені Тараса Шевченка

На правах рукопису

РАМАДАН Алі Мохамед

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ СТРУКТУР
ПАРАЛЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ**

01.05.01- теоретичні основи інформатики та кібернетики

Автореферат
дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата
фізико-математичних наук

Київ-1997

№ 89. 082

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі Київського університету імені Тараса Шевченка

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук,
професор Анісімов Анатолій Васильович

Офіційні опоненти : доктор фізико-математичних наук,
професор Цейтлін Георгій Овсійович
кандидат фізико-математичних наук,
доцент Шевченко Володимир Петрович

Провідна установа : Інститут програмних систем НАН України

3 липня

Захист відбудеться "30" червня 1997 року о 14.00 на засіданні спеціалізованої ради Д 01.01.23 Київського університету імені Тараса Шевченка, 252127, Київ-127, пр-т акад. Глушкова, 2, корп. 6, ф-т кібернетики, ауд. 40 (Тел.: (044)-266-12-68, факс: 266-12-48, E-mail: ava@mi.cyb.univ.kiev.ua).

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці Київського університету ім. Тараса Шевченка, Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розіслано *26 червня* 1997 року.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00743056 (P)

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради

Є. О. Іванов

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Висока продуктивність засобів обчислювальної техніки на сучасному етапі досягається за рахунок широкомасштабного впровадження паралельних систем обробки інформації того чи іншого вигляду. Широке розповсюдження отримали паралельні ЄОМ різноманітної архітектури та розподілені інформаційні мережі локальної чи глобальної орієнтації. Паралельні архітектури розглядаються як єдина можливість зростання продуктивності обчислювальної техніки з використанням традиційних процесорних елементів фон Неймановської архітектури. Але це приводить до суттєвого зростання складності таких систем. Паралельну систему вже не можливо просто описати як послідовність змін глобальних станів системи, бо сам глобальний стан формується із великої кількості локальних станів елементів системи. Крім того, ще не розроблена формальна семантика, яка враховує комунікаційні аспекти паралельних взаємодій. Велика складність паралельних процесів в багатьох поєднується складністю організації взаємодій через їх комунікаційні структури. Тому вивчення властивостей комунікаційних структур є однією з центральних проблем в теорії паралельних систем, що і визначає актуальність теми дослідження.

Мета роботи. Роботі присвячена дослідженню та створенню ефективних методів організації паралельних обчислень.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Метою дисертації є теоретичне дослідження властивостей комунікаційних структур розподілених паралельних систем, дослідження обчислювальних можливостей архітектур багатопроцесорних комплексів, розробка конкретних паралельних алгоритмів для вирішення комунікаційних задач в розподілених системах, розробка методів опису комунікаційних структур мовами програмування.

Поставлена мета досягається розв'язком таких завдань:

- аналіз існуючих моделей, мов програмування і архітектур паралельних обчислень;
- дослідження властивостей конкретних паралельних архітектур - Булевих гіперкубів, Фібоначієвих гіперкубів, паралельно-рекурсивних структур та інших;
- узагальнення формального опису рекурсивних гіперструктур;
- визначення мовних засобів опису складних рекурсивно-паралельних комунікаційних структур;
- аналіз властивості локальності у розподілених системах;
- створення та теоретичне обґрунтування локальних алгоритмів оптимальної маршрутизації у розподілених паралельних системах.

Загальна методика досліджень базується на досягненнях фундаментальних та прикладних досліджень в області теорії паралельних процесів. Використовуються методи теорії графів, алгебри, алгоритмів та теорії програмування.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у всебічному теоретичному дослідженні властивостей комунікаційних структур багатопроцесорних архітектур та розподілених систем. Отримані нові теоретичні результати по вкладенню дерев у гіперкуб та решіток у Фібоначієв гіперкуб. Запропоновані нові методи опису рекурсивно-паралельних процесів на базі теорії керуючих просторів. Проведено аналіз властивості комунікаційної локальності у розподілених паралельних обчисленнях. Отримані нові локальні алгоритми для вирішення задач пошуку оптимальних маршрутів. Отримані нові локальні синхронні алгоритми пошуку мінімальних відстаней у комунікаційному графі із ваговими відмітками ребер. Підраховані часові оцінки роботи локальних алгоритмів. Як наслідок отримано узагальнення результату Чена про існування синхронного локального алгоритму пошуку мінімальної відстані між усіма парами вершин за час $O(nv^2)$, де n - число вершин графа, v - максимальна ступень графа.

Теоретична та практична цінність роботи полягає в дослідженні можливостей комп'ютерних архітектур моделювати інші архітектури, розробці конкретних оптимальних алгоритмів пересилки інформаційних пакетів в обчислювальних мережах, створенні методів опису комунікаційних структур мовами програмування.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися та обговорювалися на 3-й міжнародній конференції з паралельних комп'ютерних технологій "РАСТ-95", м.Санкт-Петербург, вересень 1995 р., на семінарах кафедри математичної інформатики Київського національного університету ім.Тараса Шевченка.

Робота виконувалась у рамках програм з держбюджетної та госпдоговірної тематики, що велись на кафедрі Математичної інформатики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка :

- тема ДКНТ Шифр проекту 378 "Створення технології рекурсивно-паралельного програмування";

- тема Міністерства освіти шифр проекту 37 "Розробка алгоритмів ефективного моделювання і функціонування багатопроцесорних комплексів";

- тема Національного Агентства по Інформатики при Президентові України "Розробка алгоритмічних методів та програмно-технічних засобів інтелектуалізації інформаційних технологій на базі мереж та розподілених обчислювальних комплексів" (договір № 29/2-96)

Публікації. Основні результати проведених досліджень опубліковані у трьох роботах, перелік яких наведено у кінці автореферату.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох глав, висновків, та списку літератури .

Загальний обсяг роботи - 115 сторінок, у тому числі 12 малюнків.
Бібліографія - 172 найменувань.

Зміст роботи

У вступі дається загальна характеристика роботи, обґрунтовується її актуальність. Робота присвячена розвитку теорії паралельних процесів. Основна увага концентрується на дослідженні комунікаційних властивостей паралельних систем. Вивчаються задачі відображення паралельних архітектур у інші, засоби завдання комунікаційних структур засобами мов програмування, вплив

властивості комунікаційної локальності у розподілених системах на конструювання ефективних алгоритмів.

Перша глава яка складається із двох розділів присвячена вивченню сучасних тенденцій у розвитку паралельних моделей та мов програмування. У першому параграфі дається загальний опис особливостей паралельних процесів. Другий розділ присвячено огляду мов паралельного програмування та моделей паралельних обчислень. Модель розуміється як деяка абстрактна машина між програмним та операційним рівнем обчислювальної системи. Модель служить розумінню програмування на алгоритмічному рівні. Моделі можуть мати різні рівні абстракції. В основу класифікації закладено ознаки моделей по Д. Скілліхорну. Основний результат класифікації моделей та мов паралельних обчислень наводиться у таблиці 1.

В главі 2, яка складається з чотирьох параграфів розглядаються комунікаційні структури, орієнтовані на побудову архітектур паралельних мікропроцесорних комплексів. Стимулом для розглядання цих питань є необхідність побудови багатопроцесорних супер ЕОМ. В комп'ютерній технології получили широке розповсюдження багато архітектур то,о чи іншого специфічного вигляду. Це решітки, кільця, дерева, архітектура типу "метелик", Булев (або "космічний") гіперкуб. В наш час дуже активно ведеться пошук інших альтернативних архітектурних топологій. Вирішальними тут є слідуочи фактори. Функціонально корисна топологія, яка задає архітектуру багатопроцесорних ЕОМ повинна :

	Структура виконавчих модулів динамічна	Модель статична, комунікації без обмежень	Модель статична, комунікації обмежені
1. Моделі які абстрагуються від опису паралелізму	Функціонали високого рівня - HASKEL, Паралельні перелисуючі правила - OBJ, Maude Логічні мови -PPP, Opera, Palm	Алгоритмічні скелетони-P3L, Cole, Darlington	Мови обробки клітинок -Cellang, Carpet, Ceprol, Crystal
2. Паралелізм задано явно, декомпозиція програми на частини не явна.	Потоки даних -Sisal, Id Точні Логічні мови- Concurrent Prolog, Parlog, DeltaProlog., MultiLisp	Розпаралелювання циклів -Fortran variants, Modula 3 Паралелізм даних на типах-pSETL, Gamma Мережі Петрі	Скелетони, які уточнюють данні -scal, multiprefix
3. Паралелізм і декомпозиція задані явно, розподілення процесів, комунікація і синхронізація не явні.		BSP, LogP	
4. Паралелізм, декомпозиція, розподілення процесів явні, комунікація і синхронізація не явні.	Координаційні мови- Linda, SDL Комунікаційні мови без посилки повідомлень- ALMS, PCN Функціональні мови- Cedar, Concurrent CLU ПАРКС - мови	Графічні мови- Enterprise, Parsec Контекстні координаційні мови- Ease, Opus	Комунікаційні скелетони-
5. Паралелізм, декомпозиція, розподілення процесів, комунікація явні, синхронізація не явна.	Мережі процесів - Actors, Darwin, Concurrent Smalltalk	static dataflow	Систолічні масиви - Alpha
6. Всі параметри задані явно.	Пересилка повідомлень - PVM, MPI загальна пам'ять - FORK, Java Рандеву- Ada, Concurrent C	Occam PRAM	

Таблиця 1. Моделі та мови паралельного програмування

- гарантувати швидку передачу інформації з одного вузла в інший;
- повинна забезпечувати просте збільшення процесорної потужності не вступаючи у протиріччя із попереднім фактором.

Характерним для вирішення задач, пов'язаних із архітектурами багатопроцесорних паралельних систем є наявність управляючих процесорів (одного чи декількох), які мають безпосередній доступ до кожного елемента системи.

Формально комунікаційна структура багатопроцесорних систем задається у вигляді графа (G, μ) , де $G = (V, E)$, V - множина вершин, E - множина ребер, $\mu : V \rightarrow P$. Відображення μ задає розподіл процесів із множини P по вершинам V . Ребра трактуються як комунікаційні канали. В вершинах цього графа розміщуються процесорні елементи. В залежності від моделі обчислень структура графа може бути статичною чи динамічною у часі.

У параграфі 2.1. приводиться збірка результатів щодо властивостей класичної структури відомий як Булев гіперкуб.

У параграфі 2.2. особлива увага приділяється проблемі відображення одної топологічної структури в іншу. Найбільш цікавими з практичної точки зору є відображення, які задають вкладання однієї архітектури в іншу.

Вкладання графа $G = (V_G, E_G)$ у граф $H = (V_H, E_H)$ є відображення $\varphi: G \rightarrow H$ яке складається із двох відображень $\varphi_V: V_G \rightarrow V_H$ і $\varphi_E: E_G \rightarrow P(H)$, де $P(H)$ означає усі шляхи графа G .

Затримкою ребра e зветься довжина шляху $\varphi(e)$.

Затримкою відображення є максимальна довжина $\varphi(e)$.

Завантаженням вкладення φ звать максимальне число $\varphi(v)$, $v \in V$.

Вкладання називаємо *ідеальним* якщо затримка та завантаження не перевищують величину 1. Це означає, що кожна вершина графа-“гість” окупє тільки одну вершину графа - “господаря”, а безпосередні комунікаційні зв'язки задані ребрами, переходять також у ребра гостівий структури. Тобто вкладання є топологічна, зберегаюча локальність.

Популярність архітектури типу Булева гіперкуба в багатьом визначається доведеними ідеальними вкладеннями у гіперкуб інших поширених топологічних структур. Приводяться відомі результати щодо вкладення в гіперкуб таких структур як лінійні структури, кільця, решітки та дерева. Особисто автору належить нове просте узагальнююче доведення щодо вкладання графів спеціального вигляду у гіперкуб. Як наслідок отримуємо результат про ідеальне вкладання бінарних дерев у гіперкуб (теорема 2.2).

Різноманітність комп'ютерних архітектур потребує більш строгого математичного визначення таких структур.

У параграфі 2.3. дається формальне узагальнююче визначення рекурсивної гіперструктури. Рекурсивна гіперструктура є динамічно змінючийся у часі розфарбований граф. Породження такої структури визначається двома часовими функціями розфарбовки. Перша функція визначає які вершини мають у даний момент змогу породжувати свої копії. Друга функція визначає перефарбовку вершин. Такі відомі структури як дерева, решітки, гіперструктури є частковими випадками рекурсивної гіперструктури.

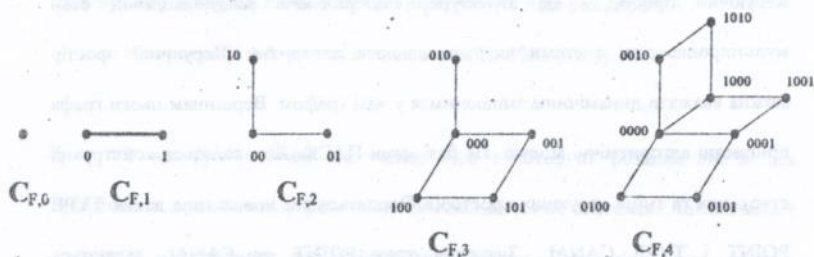
У параграфі 2.4. вивчається спеціальний випадок рекурсивної гіперструктури - Фібоначієв гіперкуб. Ця структура породжується у часі наступним чином.

0 - Фібоначієв гіперкуб це точка.

1 - Фібоначієв гіперкуб це дві з'єднані точки, які позначені символами 0 та 1.

n - Фібоначієв гіперкуб (породжується наступним чином).

Усі вершини які мають у відмітці префіксний символ 0, породжують копію підграфа вершини. Копії об'єднуються із своїми оригіналами. Вершини - копії отримують нову відмітку шляхом допису префіксного символу 1. Старі вершини отримують нову розмітку шляхом допису до їх відміток префіксного символу 0. (Мал.1).



Мал. 1 . Фібоначієви гіперкуби $C_{F,0}$, $C_{F,1}$, $C_{F,2}$, $C_{F,3}$, $C_{F,4}$.

Наведено огляд властивостей Фібоначієвого гіперкуба, які дають змогу стверджувати, що Фібоначієв гіперкуб є альтернативною структурою до Булєва гіперкуба. Особисто автором отримано наступний результат. Решітка визначається як структура $S = (k_i, m_j)$, $0 \leq i \leq s$, $0 \leq j \leq r$. Пара (k_i, m_j) безпосередньо з'єднується з парами (k_{i-1}, m_j) та (k_i, m_{j-1}) . Це визначення узагальнюється на довільну розмірність.

Теорема 2.7. Решітка ідеально вкладається у Фібоначієв гіперкуб.

У третій главі, яка складається з трьох розділів розглядаються питання опису комунікаційних структур паралельних процесів мовами програмування.

Параграф 3.1. присвячен розвитку концепції керуючих просторів. Керуючий простір - це структура, відображаюча комунікаційний стан мультипроцесорної системи чи паралельного алгоритму. Керуючий простір можна вважати динамічним змінюючись у часі графом. Вершинам цього графа приписані алгоритмічні модулі. На базі мови ПАСКАЛЬ вводяться конструкції створення та зміни керуючих просторів. Вводяться два нових типа даних TYPE POINT і TYPE CANAL. Значення типу POINT чи CANAL задаються конструкціями

TYPE POINT = (< список ідентифікаторів >)

TYPE CANAL = (< список ідентифікаторів >)

Додатково на змінних типу CANAL визначені дві функції *first* і *second*, які приймають значення типу POINT. Семантично *first(C)* означає перший кінець каналу *C* і *second(C)* другий. Конструкція, маюча вигляд VAR P : POINT, вводить змінну величину P типу POINT. Додатково визначаються дві функції NEWPOINT та NEWCANAL. Оператор P := NEWPOINT означає що змінна P приймає значення нової точки команди DELEAT POINT () та DELEATCANAL () знищують точку чи канал. Наводяться приклади побудови керуючих просторів за допомогою таких команд.

У параграфі 3.2, дається огляд технології програмування ПАРКС (Паралельні Асинхронні Рекурсивні Керуючі Системи). Модель ПАРКС-програми це є керуючий простір, нагружений алгоритмічними модулями у точках. Алгоритмічний модуль - це програма у вибраній базовій мові програмування, розширеної командами побудови керуючих просторів. Вибираючи ту чи іншу базову мову програмування можна отримати ті чи інші розширення.

У параграфі 3.3, розглядається версія ПАРКС (Модуля).

В четвертій главі, яка складається з чотирьох розділів вивчається властивість локальності у розподілених комп'ютерних системах. Локальність є одною із найважливіших рис розподілених систем. В комп'ютерних мережах кожний процесор зв'язаний тільки із своїми сусідами і, взагалі кажучи, може не мати безпосереднього доступу до інформації, яка зберігається у віддалених обчислювальних елементах. Локальність у розподілених комп'ютерних системах означає можливість для кожного елемента системи передавати та отримувати інформацію тільки через сусідні елементи. Локальність визначається лініями

прямого зв'язку кожного процесорного елемента системи. Тобто локальність належить до властивостей комунікаційних структур паралельних систем і тому є об'єктом вивчення дисертації.

Основне питання яке постає в розподілених системах є слідуєчи. Формулюється деяке глобальне питання щодо пошуку деяких властивостей чи інформації відносно всієї мережі. Як спроектувати локальний алгоритм, тобто задати локальну поведінку кожного елемента мережі, таким чином, щоб цей алгоритм давав відповідь на поставлене питання? Наприклад, в комп'ютерних мережах важливим є питання знаходження оптимальних маршрутів пересилки пакетів інформації від одного елемента мережі до іншого. Мінімальна відстань від одного елемента до іншого віддаленого - це глобальна інформація щодо властивостей мережі в цілому. Але знаходження оптимального маршруту та пересилка пакету інформації повинні бути виконаними локальним чином.

Подібним чином, в розподілених комп'ютерних системах треба розв'язувати широкий клас задач: розподіл ресурсів, усунення тупиків (dead - lock), алгоритми конкретних задач. Можна стверджувати, що властивість локальності створює парадигму програмування у розподілених системах із своїми методами та особливостями.

У параграфі 4.1. дається загальний огляд парадигми локальності у розподілених системах.

Вперше у явному вигляді важливість локальних алгоритмів була підкреслена у піонерській роботі Е.Дейкстри¹ по самостабілізації у контексті

¹ Dijkstra E.W. Self-Stabilizing systems in Spite of distributed Control, Commun. ACM, v.17, pp.643-644.

розподілених обчислень. Дейкстра визначав систему самостабілізуемой якщо вона незалежно від її початкового стану гарантовано досягає через скінчену послідовність переходів стану із заданого класу заключних станів. Поняття самостабілізації Дейкстри було орієнтовано на створення формального апарату щодо доведення стійкості до відмови у моделі транзитивних відмови у розподілених системах. Праця Дейкстри поставила питання ширше ніж тільки самостабілізація відносно відмови. Він писав:

“Складність є у тому, що на поведінку вершини може впливати тільки частина всього стану системи доступна у даній вершині: локальні дії, які виконуються враховуючи тільки локальну інформацію, повинні забезпечити глобальну ціль”.

В подальшому робота Дейкстри отримала великий відгук і стала основою цілого напрямку у розподілених обчисленнях. Дивись огляд М.Шнейдера у *SAM Computing Surveys*².

У параграфі 4.2. з точки зору локальності у дистрибутивних системах розглядається задача знаходження оптимальних маршрутів. Розподілена обчислювальна система задається як пара (G, μ) , де $G = (V, E)$ - орієнтований граф, V - вершини, E - ребра, μ - відображення $\mu: V \rightarrow P$, де P - множення процесів, приписаних вершинам графа. Ребра графа трактуються як комунікаційні канали. Кожному ребру приписана деяка позитивна величина - вага.

Задача знаходження мінімальних шляхів має довгу історію. Відомі послідовні алгоритми Дейкстри, Флойда, Спиря, Пана, Мура та інші.

Знаходження швидкого паралельного алгоритма відома відкрита проблема. Труднощі вирішення цієї задачі отримали у літературі назву "Вузька горловина транзитивного замикання".

Використовується дуже проста модель локальних обчислень: *асинхронна локальна формульно-базована тільки читаюча модель розподілених обчислень*. Така модель означає, що процес, який займає вершину, може у будь-який час читати дані (значення базових змінних величин) у сусідів і змінювати значення своєї базової змінної x по формулі $x = f(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$, де x_{i_j} - базові змінні процесів-сусідів, f - деяка формула (алгоритм) не змінювана з часом.

Спираючись на результати А.В.Анісімова дається локальний алгоритм вирішення задачі знаходження шляху мінімальної загальної ваги із одного джерела. Дається огляд результатів у цьому напрямку інших авторів.

У параграфі 4.3. розглядається синхронна паралельна модель розподілених обчислень.

Доведені наступні теореми.

Теорема 4.2. В синхронній моделі читаючих тільки розподілених обчислень вирішення задачі мінімальної відстані від одного джерела потребує не більш ніж d шагів, де d - діаметр граф.

Теорема 4.3. У синхронній розподіленій моделі із послідовними процесами вирішення задачі знаходження шляху мінімальної вартості потребує не більш ніж $O(d * v)$ часу, де d - діаметр комунікаційного графу, V - максимальна ступень (валентність) комунікаційного графу.

² Shneider M., Self-Stabilization, ACM Comput Surveys, v.25, No.1, 1993, pp.45-67.

Теорема 4.4. У синхронній розподіленій системі із послідовними процесами знаходження мінімальної відстані між усіма парами процесів потребує час, не перевищуючий $O(d^*v*n)$, де d - діаметр, v - валентність, n - кількість вершин комунікаційного графу.

Як очевидний наслідок із теореми 4.4 отримуємо результат Чена³.

Наслідок 4.2. У синхронній розподіленій системі із послідовними процесами час знаходження мінімальної відстані між усіма парами процесів не перевершує часу $O(v*n^2)$.

У параграфі 4.4. розглядаються локальні алгоритми розфарбування графів. Дається огляд результатів та приведено паралельний алгоритм правильного розфарбування графів з використанням механізму семафорів з метою виключення тупиків.

У висновку наводяться основні результати виконаної роботи.

³ C.C.Chen. A Distributed Algorithm for Shortest Paths, IEEE Transactions on Computers, v.C-31, No.9, 1982, pp.898-899.

Підсумки

Основні результати роботи.

Головний результат дисертаційної роботи полягає в розробці математичного апарату для дослідження властивостей комунікаційних структур паралельних процесів.

У ході роботи особисто автором одержані такі основні наукові результати.

1. Проведен детальний порівняльний огляд існуючих моделей та мов програмування паралельних обчислень.
2. Вивчена задача вкладання комунікаційних архітектур у Булев гіперкуб. Запропоновано нове доведення вкладання бінарних дерев у Булев гіперкуб.
3. Досліджена нова асиметрична структура - Фібоначієв гіперкуб, яка є альтернативною до Булева гіперкуба. Доведена можливість вкладання решітки у Фібоначієв гіперкуб.
4. На базі теорії керуючих просторів запропоновані нові мовні засоби опису комунікаційних структур паралельних процесів
5. Вивчена асинхронна та синхронна моделі розподілених обчислень з можливістю локального зчитування інформації. Запропоновані нові локальні алгоритми вирішення задач пошуку оптимальних маршрутів та розфарбування у розподілених системах.
6. Підраховані оцінки локальних алгоритмів пошуку мінімальних маршрутів у синхронній розподіленій системи. Дано узагальнення результату С.Чена, щодо часу знаходження мінімальних відстаней між усьома парами вершин у локальній синхронній розподіленій моделі обчислень.

Список публікацій.

Основні положення дисертації опубліковані в наукових працях.

1. Алі Мохамед Рамадан. Порівнена характеристика ПАРКС-технології програмування. //Вісник Київського університету, №1,1996, с.380-387.
2. Алі Мохамед Рамадан. Моделювання стратегії виробництва за допомогою мереж Петри. //Вісник Київського університету, №2, 1996, с. 176-182.
3. Алі Мохамед Рамадан. Вкладання решітки у Фібоначів гіперкуб // Вісник Київського університету, №. 1, 1997, с.378-380.

Ромадан Али Мохамед. Исследование коммуникационных структур параллельных процессов. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.01.05 - теоретические основы информатики и кибернетики. Киевский национальный университет им.Тараса Шевченко. Киев, 1997.

Защищается диссертация, в которой содержатся теоретические исследования в области распределенных параллельных систем. Изучаются задачи вложения топологических коммуникационных структур в архитектуры Булева и Фибоначчиева гиперкубов. Детально исследуется свойство локальности распределенных параллельных систем. Приведены и математически обоснованы локальные алгоритмы для задач поиска минимальных путей и раскраски в распределенных системах.

Romadan Ali Mochamed. Study of Communication Structures of Parallel Processes. The dissertation is presented for academic degree of candidate of physical and mathematical sciences in specialty 01.05.01 - theoretical foundations of Informatics. Kiev University by Taras Shevchenko, Ukraine, Kiev, 1997.

The thesis contains theoretical research in the field of distributed parallel systems. The embeddings of topological communication structures into architectures of Boolean Hypercube and Fibonacci hypercube are studied. The property of locality in distributed parallel systems is studied in detail. Local algorithms for shortest paths problems and coloring in distributed systems are presented and mathematically justified.

Ключові слова: паралельні обчислення, розподілені паралельні системи, архітектура EOM, Булев гіперкуб, локальні обчислення, мови програмування, мінімальна відстань.

Підл. до друку 16.05 р. Формат 60x84/16. Друк офс.
Папір офс. Друк. арк. 1,5 . Тираж 100 екз. Зам. 999.
Друкарня Південно-Західної залізниці, м.Київ, вул. Лисенка, 6.

AB 38.082