

ТЕМА

**СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ
ОБРОБКИ**

ПЛАН:

- 1 Класифікація систем паралельної обробки
- 2 Матричні системи
- 3 Асоціативні системи
- 4 Однорідні системи та середовища

1 КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Класифікація Фліна систем паралельної обробки.

Процес рішення довільної задачі можна представити як дію певної послідовності команд програми (поток команд) на відповідну послідовність даних (потік даних), що викликаються цією послідовністю команд. Різні способи організації паралельної обробки інформації можна представити як способи організації одночасної дії одного або декількох потоків команд на один або декілька потоків даних.

Для такої класифікації корисно ввести поняття множинності потоків команд і даних

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966):

1) Системи з одиночним потоком команд і одиночним потоком даних (ОКОД, рис.12.1) - звичайні однопроцесорні ЕОМ, які включають один процесор, запам'ятовуючий пристрій для команд і даних та пристрій керування. У даних системах широко використовується перший спосіб організації паралельних обчислень, що поєднує в часі різні етапи вирішення завдань: введення, вивід і обробка інформації.

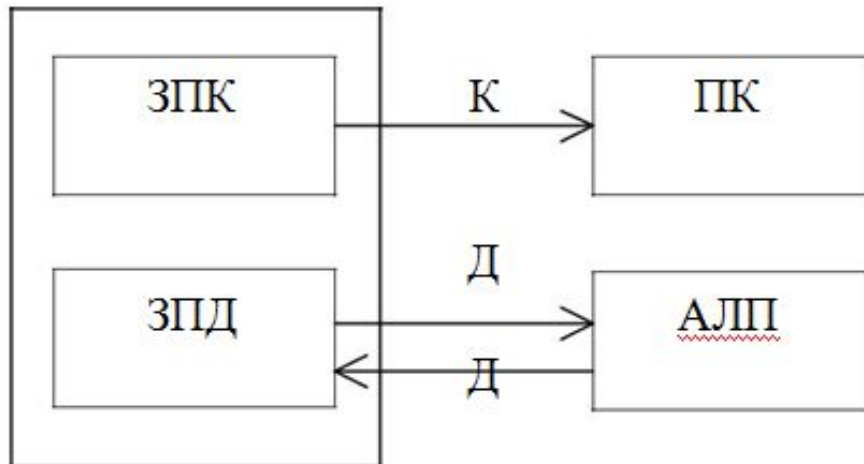


Рисунок 1 - Системи ОКОД.

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966):

2) Системи з множинним потоком команд і одиночним потоком даних (МКОД, рис. 2). Проте не існує класу завдань, в якому одна і та ж послідовність даних оброблялася декількома різними програмами. Через це в чистому вигляді така схема до цих пір не реалізована. Потік даних проходить послідовно через всі спеціалізовані АЛП. Системи такого класу називаються конвеєрними (рис. 2б).

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966)

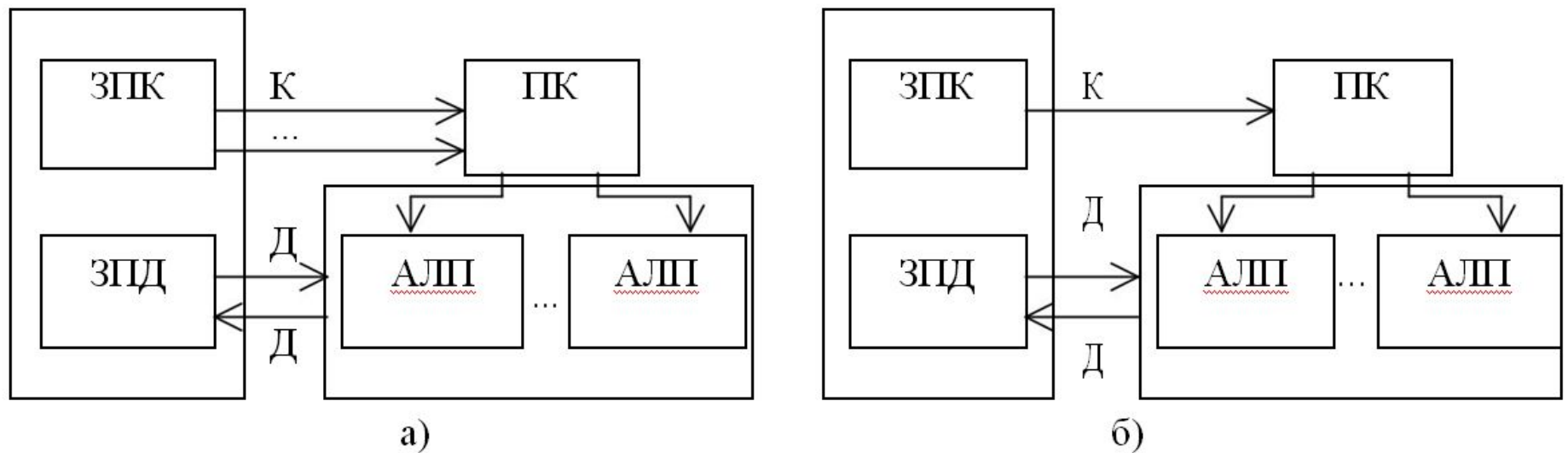


Рисунок 2 - Системи МКОД

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966):

3) Системи з
одиначним потоком
команд і множинним
потокком даних (ОКМД,
рис. 3).

У даних системах за
однією і тією ж
програмою
обробляється декілька
потоків даних, кожен з
яких обробляється
своїм АЛП, які
працюють під
загальним
управлінням.

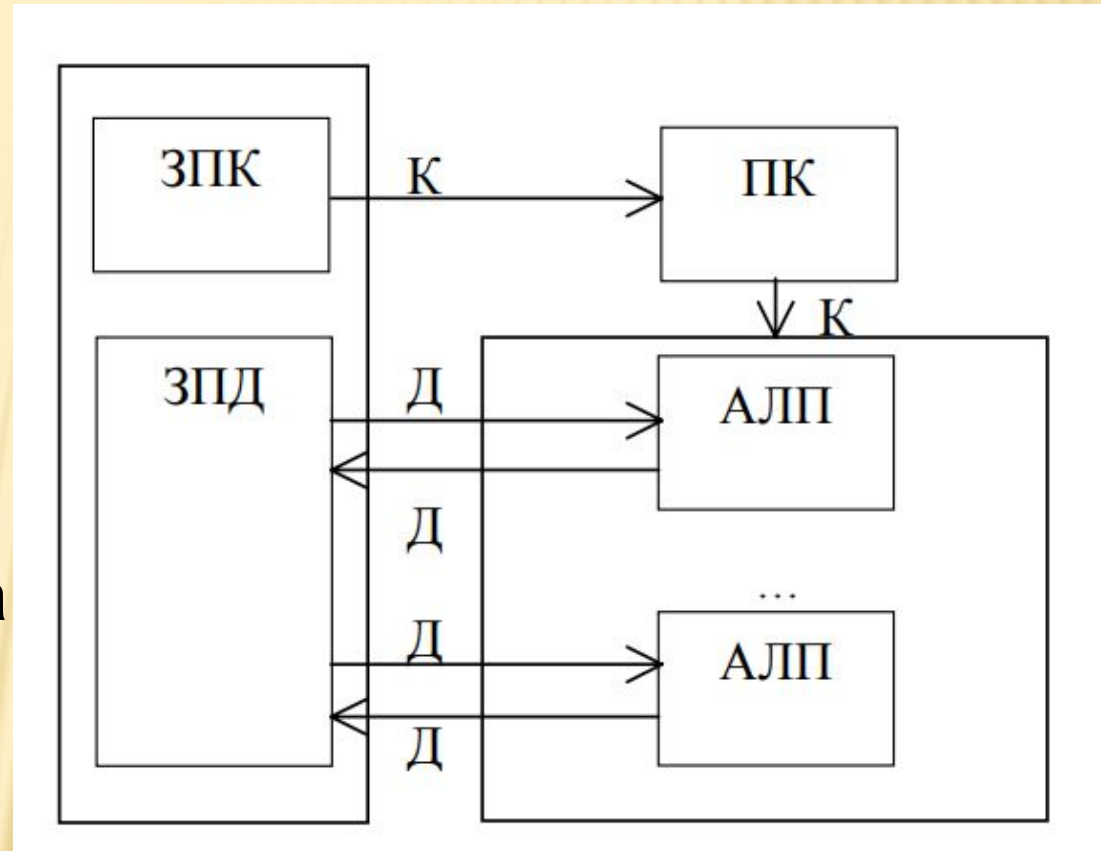


Рисунок 3 - Системи ОКМД.

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966):

3) Системи з множинним потоком команд і множинним потоком даних (МКМД). Можливі два способи побудови такого типу систем: у вигляді сукупності систем ОКОД або за схемою рис. 4. У першому випадку для кожної послідовності команд і даних є власний ЗП, тоді як в другому випадку всі команди і дані розташовуються в загальних ЗП. Перший варіант (багатомашинний комплекс) пристосований для вирішення потоку незалежних завдань і при цьому досягається істотне підвищення продуктивності.

Усі системи можуть бути розбиті на чотири класи (Флінна 1966)

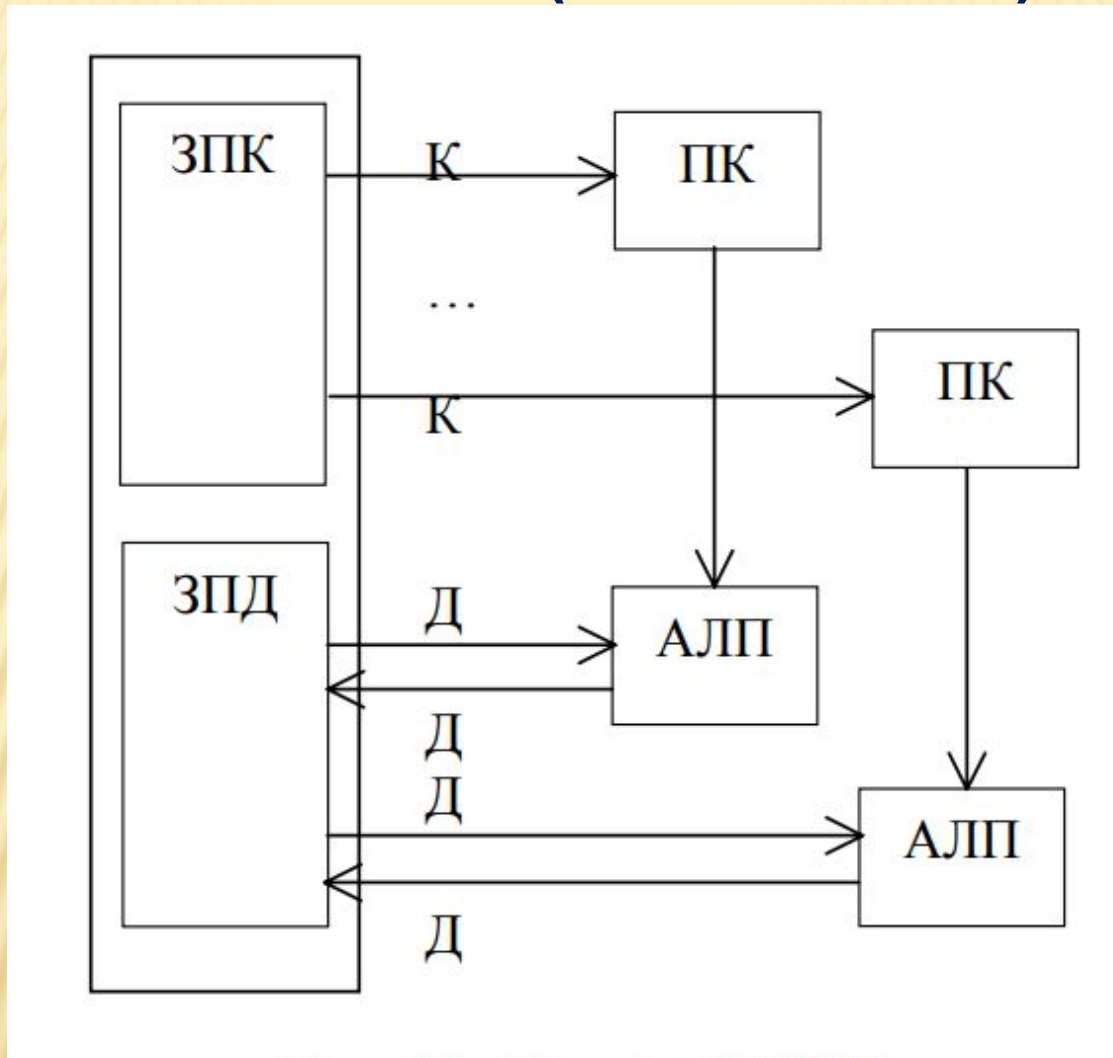


Рисунок 4 - Системи МКМД.

1. Класифікація систем паралельної обробки

Класифікація Джонсона

Е. Джонсон запропонував проводити класифікацію МКМД-архітектур на основі структури пам'яті та реалізації механізму взаємодії і синхронізації між процесорами.

За структурою оперативної пам'яті існуючі системи поділяються на дві великі групи:

- ▶ системи із загальною пам'яттю, що прямо адресується всіма процесорами;
- ▶ системи з розподіленою пам'яттю, кожна частина якої доступна лише одному процесору.

Одночасно з цим для міжпроцесорної взаємодії існують дві альтернативи - через змінні, що розділяються, або за допомогою механізму передачі повідомлень. Виходячи з таких припущень, можна отримати чотири класи МКМД-архітектур, що уточнюють класифікацію Фліна (табл.1).

Класифікація Джонсона

Таблиця 1. Класифікація Джонсона для систем МКМД за Фліном.

Обмін даними	Пам'ять	
	загальна	розподілена
загальні дані	GMSV - General Memory-Shared variables (загальна пам'ять та змінні, що розділяються) Клас 1. «Систем з пам'яттю, що розділяється»	DMSV-Distributed Memory, Shared variables (розподілена пам'ять та змінні, що розділяються) Клас 2. «Гібридна архітектура»
передача даних	GMMP - General Memory, Message propagation (загальна пам'ять та передача повідомлень)	DMMP - Distributed Memory, Message propagation (розподілена пам'ять та передача повідомлень) Клас 3. «Архітектури з передачею повідомлень»

Класифікація Джонсона

Базуючись на цьому Джонсон вводить наступні найменування для деяких класів:

- обчислювальні системи, що використовують пам'ять, що розділяється та використовується для міжпроцесорної взаємодії і синхронізації – «системи з пам'яттю, що розділяється» (клас 1); приклад CRAY Y-MP;
- системи, в яких пам'ять розподілена по процесорах, а для взаємодії і синхронізації використовується механізм передачі повідомлень - «архітектура з передачею повідомлень» (клас 3); приклад NCube;
- системи з розподіленою пам'яттю і синхронізацією через змінні, що розділяються - «гібридна архітектура» (клас 2); приклад VBN Butterfly.

Класифікація Дункана

Класифікація Дункана заснована на декількох ознаках:

1) З класу паралельних машин мають бути виключені ті, в яких паралелізм закладений лише на найнижчому рівні, включаючи:

- конвеєризацію на етапі підготовки і виконання команди (instruction pipelining), тобто часткове перекриття таких етапів, як дешифрування команди, обчислення адрес операндів, вибірка операндів, виконання команди і збереження результату;
- наявність в архітектурі декількох функціональних пристроїв, що працюють незалежно, зокрема, можливість паралельного виконання логічних і арифметичних операцій;
- наявність окремих процесорів введення-виведення, що працюють незалежно і паралельно з основними процесорами.

Класифікація Дункана

Якщо розглядати комп'ютери, що використовують лише паралелізм низького рівня, то, по-перше, практично всі існуючі системи будуть класифіковані як паралельні (що не є позитивним чинником для класифікації), і, по-друге, такі машини погано вписуватимуться в будь-яку модель або концепцію, що відображає паралелізм високого рівня.

2) Класифікація має бути погодженою з класифікацією Фліна, що показала правильність вибору ідеї потоків команд і даних.

3) Класифікація повинна описувати архітектури, які однозначно не вкладаються в систематику Фліна, але проте відносяться до паралельної архітектури (наприклад, векторно-конвеєрні).

Класифікація Дункана

Враховуючи вищевикладені вимоги, Дункан дає неформальне визначення паралельної архітектури, причому саме неформальність дала йому можливість включити в даний клас комп'ютери, які раніше не вписувалися в систематику Флінна.

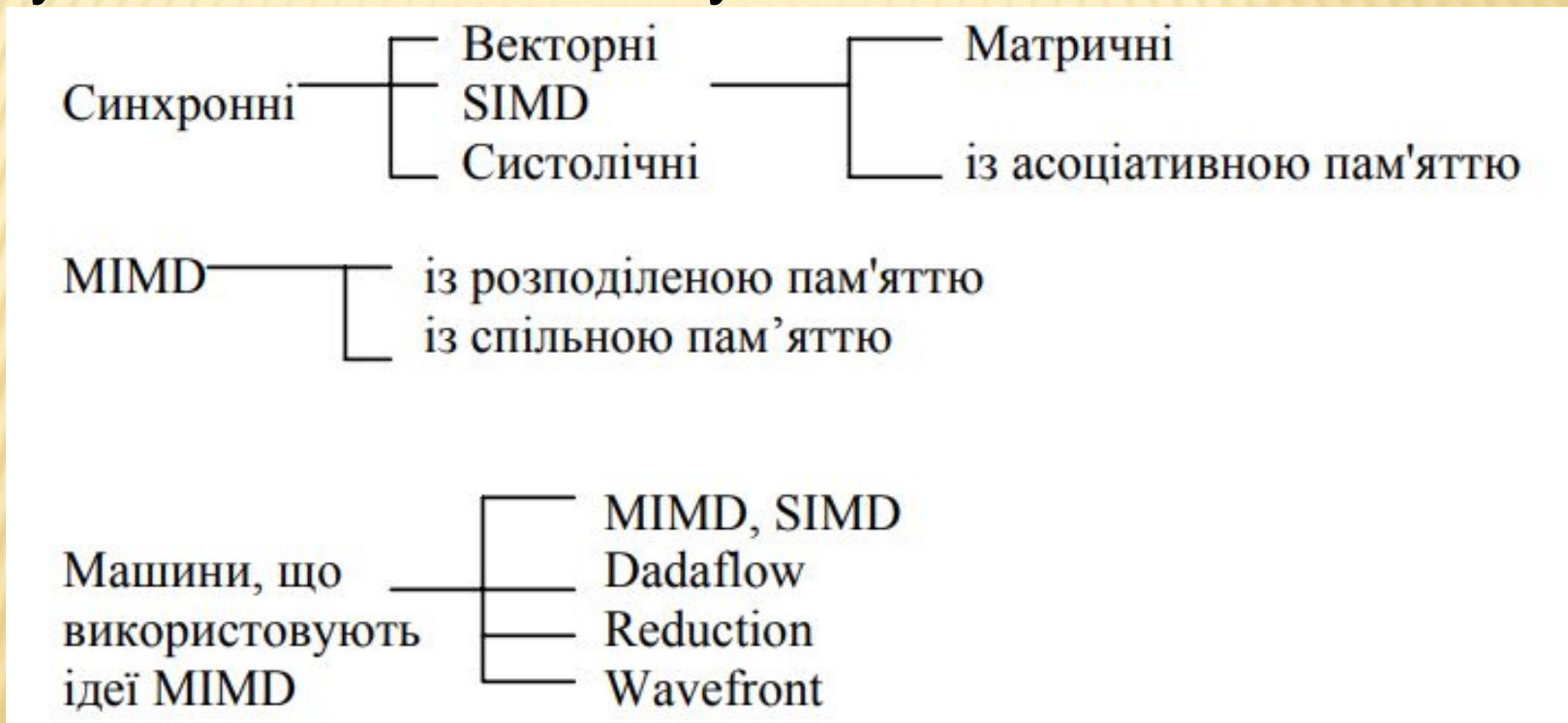


Рисунок 5 - Класифікація Дункана

Класифікація Дункана

Систолічна архітектура (частіше називають систолічними масивами) є множиною процесорів, об'єднаних регулярним чином (наприклад, система WARP). Звернення до пам'яті можливо тільки через процесори на кордоні масиву. Вибірка операндів з пам'яті та передача даних по масиву здійснюється в одному і тому ж темпі. Напрям передачі даних між процесорами фіксований. Кожен процесор за інтервал часу виконує невелику інваріантну послідовність дій.

Гібридні МКМД/ОКМД-архітектури, обчислювальні системи dataflow, reduction і wavefront здійснюють паралельну обробку інформації на основі асинхронного управління, як і МКМД-системи. Але вони виділені в окрему групу, оскільки мають ряд специфічних особливостей, яких не має у систем, що традиційно відносяться до МКМД.

Класифікація Дункана

МКМД/ОКМД - типово гібридна архітектура. Вона передбачає, що в МКМД-системі можна виділити групу процесорів, що є підсистемою, та яка працює в режимі ОКМД (наприклад, RASM, Non-Von). Такі системи відрізняються відносною гнучкістю, оскільки допускають реконфігурацію відповідно до особливостей прикладного завдання, що вирішується.

Останні три види архітектури використовують нетрадиційні моделі обчислень. *Dataflow-машини* використовують модель, в якій команда може виконуватися відразу ж, як тільки обчислені необхідні операнди. Таким чином, послідовність виконання команд визначається залежністю за даними, яка може бути виражена, наприклад, у формі графа.

Класифікація Скількорна

Пропонується розглядати архітектуру будь-якого комп'ютера як абстрактну структуру, що складається з чотирьох компонентів:

- процесор команд (IP - Instruction Processor) - функціональний пристрій, що працює як інтерпретатор команд (у системі може бути відсутнім);
- процесор даних (DP - Data Processor) - функціональний пристрій, що працює як перетворювач даних, відповідно до арифметичних операцій;
- ієрархія пам'яті (IM - Instruction Memory, DM - Data Memory) – запам'ятовуючий пристрій, у якому зберігаються дані і команди, що пересилаються між процесорами;
- перемикач - абстрактний пристрій, що забезпечує зв'язок між процесорами і пам'яттю.

Класифікація Скїллікорна

- Функції процесора команд** багато в чому схожі з функціями пристроїв управління послідовних машин і, згідно з Д. Скїллікорном, зводяться до наступних:
- ✓ на основі свого стану і отриманою від DP інформації IP визначає адресу команди, яка виконуватиметься наступною;
 - ✓ здійснює доступ до IM для вибірки команди;
 - ✓ отримує і декодує вибрану команду;
 - ✓ повідомляє DP команду, яку треба виконати;
 - ✓ визначає адреси операндів і посилає їх в DP;
 - ✓ отримує від DP інформацію про результат виконання команди.

Класифікація Скількорна

Функції процесора даних роблять його багато в чому схожим на арифметичний пристрій традиційних процесорів:

- ✓ DP отримує від IP команду, яку треба виконати;
- ✓ отримує від IP адреси операндів;
- ✓ вибирає операнди з DM;
- ✓ виконує команду;
- ✓ запам'ятовує результат в DM;
- ✓ повертає в IP інформацію про стан після виконання команди.

В термінах таким чином визначених основних частин комп'ютера структуру традиційної фон-нейманівської архітектури можна представити в наступному вигляді (рис. 12.6).

Класифікація Скількорна

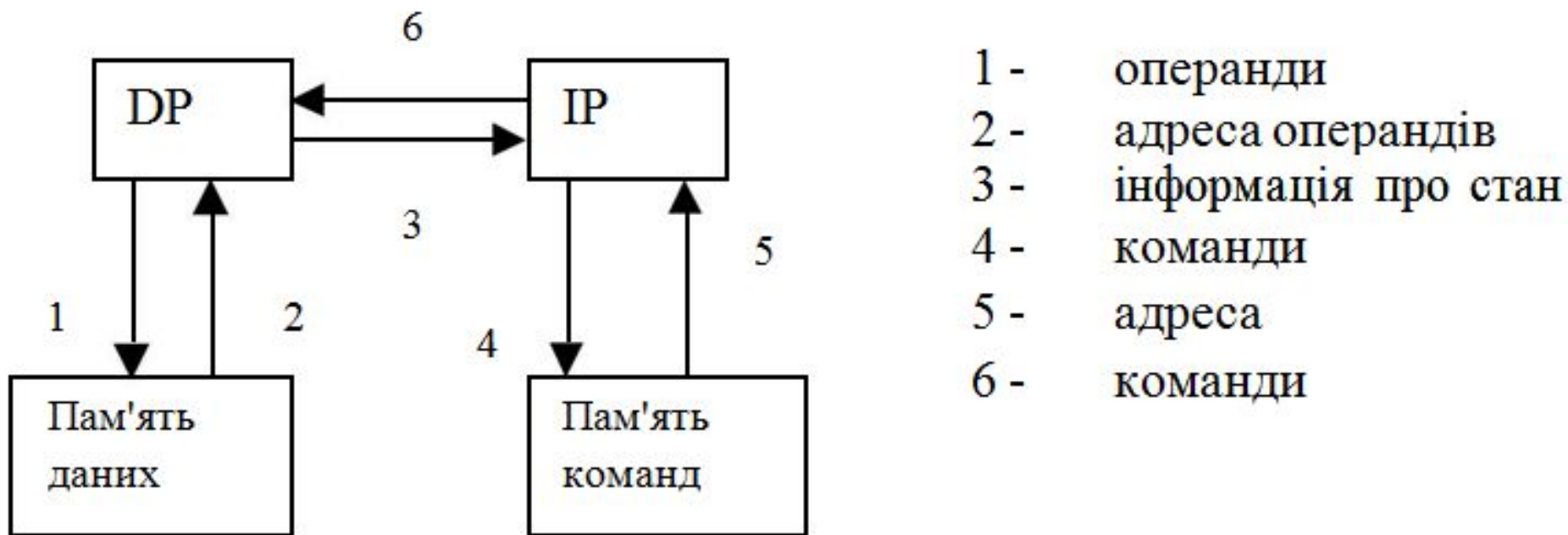


Рисунок 6 - Представлення фон-Неймоновской архітектури за Скількорном.

Класифікація Скількорна

Для опису паралельних обчислювальних систем автор фіксує чотири типи перемикачів, без якого-небудь явного зв'язку з типом пристроїв, які вони сполучають:

- перемикач такого типу зв'язує пару функціональних пристроїв;
- n - n перемикач зв'язує i -й пристрій з однієї множини пристроїв з i -м пристроєм з іншої множини, тобто фіксує попарний зв'язок;
- 1 - n - перемикач сполучає один виділений пристрій зі всіма функціональними пристроями з деякого набору;
- $n \times n$ - кожен функціональний пристрій однієї множини може бути пов'язаний з будь-яким пристроєм іншої множини і навпаки.

Класифікація Скількорна

Класифікація Д. Скількорна складається з двох рівнів. На першому рівні вона проводиться на основі восьми характеристик:

- кількість процесорів команд (IP);
- кількість запам'ятовуючих пристроїв (модулів пам'яті) команд (IM);
- типа перемикача між IP і IM;
- кількість процесорів даних (DP);
- кількість запам'ятовуючих пристроїв (модулів пам'яті) даних (DM);
- тип перемикача між DP і DM;
- типа перемикача між IP і DP;
- типа перемикача між DP і DP.

Використовуючи введені характеристики і передбачаючи, що розгляд кількісних характеристик можна обмежити лише трьома можливими варіантами значень: 0, 1 і n можна отримати 28 класів архітектури.

У кл. 1-5 знаходяться комп'ютери типа dataflow і reduction, що не мають процесорів команд в звичайному розумінні цього слова.

Кл. 6 - це класична фон-нейманівська послідовна машина. Всі різновиди матричних процесорів містяться у класах 12-10.

Кл. 11 і 12 відповідають комп'ютерам типа МКОД класифікації Фліна і на теперішній час не заповнені.

Кл. з 13-го по 28-й займають всілякі варіанти мультипроцесорів, причому в 13-20 класах знаходяться машини з досить звичною архітектурою, в той час, як архітектура класів 21-28 виглядає екзотично.

2 МАТРИЧНІ СИСТЕМИ

Матричні системи

Найбільш поширеними системами класу ОКМД є матричні системи, які краще всього пристосовані для вирішення завдань, що характеризуються паралелізмом незалежних об'єктів, або паралелізмом даних. Організація таких систем має наступний вигляд: загальний керуючий пристрій, що генерує потік команд, та велике число пристроїв, що працюють паралельно та обробляють кожен свій потік даних.

Класичним прикладом багатопроцесорної системи є система ILLIAC IV (рис.7), основні ідеї якої були запозичені з системи SOLOMON.

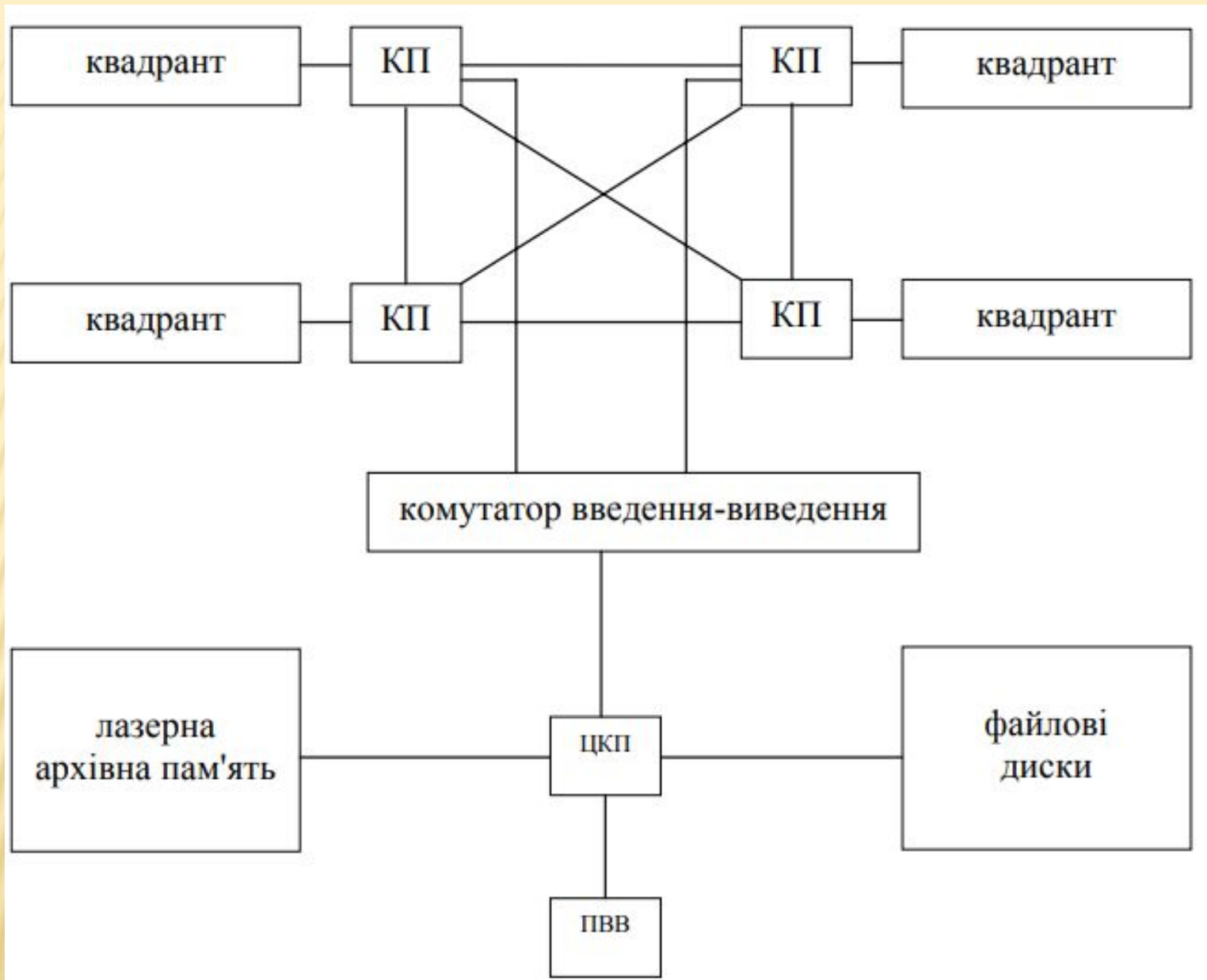


Рисунок 7 - Система ILLIAC IV

Матричні системи

За первинним проектом система ILLIAC IV повинна була включати 256 процесорних елементів (ПЕ), розбитих на 4 групи, - квадранти, кожен з яких повинен управлятися спеціальним процесором (УП). Управління всією системою, що містить окрім УП і ПЕ також зовнішню пам'ять і устаткування введення-виведення, передбачалося від центрального керуючого процесора. У кожному квадранті міститься 64 ПЕ утворюють матрицю розміром 8×8 , причому зв'язок із зовнішнім середовищем мають всі ПЕ без виключення. Кожен ПЕ складається з власне процесора і ОЗП. Продуктивність кожного ПЕ близько 3 млн. операцій в секунду.

Матричні системи

Надвисока продуктивність системи досягається лише на певних типах завдань: операції над матрицями, швидке перетворення Фур'є, лінійне програмування, обробка сигналів, тобто на завданнях, де має місце паралелізм даних або паралелізм незалежних об'єктів. Для розробки програмного забезпечення таких систем необхідне створення спеціалізованих мов програмування або компіляторів.

Ще одним прикладом матричних систем є система ПС 2000 («Паралельна система 2000», рис. 12.8), яка орієнтована на вирішення завдань, що характеризуються паралелізмом даних, незалежних гілок та об'єктів.

Матричні системи

Центральна частина системи - мультипроцесор ПС 2000, що складається з вирішального поля і пристрою керування мультипроцесором.

Вирішальне поле будується з одного, двох, чотирьох або восьми пристроїв обробки (ПО), в кожному з яких 8 процесорних елементів. Ємність оперативної пам'яті ПЕ - 4096 або 16384 24-розрядних слова.

Пристрій керування містить блок мікропрограмного управління ємністю 16384 мікрокоманди, ОЗУ ємністю 4096 або 16384 24-розрядних слів і АЛП.

Матричні системи

Система ПС 2000 володіє перед системою ПХ1АС IV рядом переваг:

- процесорні елементи мають великі можливості, що визначається наявністю надоперативної регістрової пам'яті, наявністю процесорів для операцій над адресами і процесора активації;
- завдяки наявності власної пам'яті і індексної арифметики можливе поєднання обміну інформацією між модулями пам'яті ПЕ, АЛП і пристроями введення-виведення;

Матричні системи

Система ПС 2000 володіє перед системою ПХ1АС IV рядом переваг:

- велика ємність пам'яті ПЕ і багаторівнева система переривань дозволяють організацію мульти-програмного режиму з виділенням незалежних ресурсів для кожного завдання;
- дворівневе управління (командне і мікрокомандне) забезпечує більш ефективне програмування;
- можливе нарощування системи модулями по 8 ПЕ без зміни засобів управління;
- невисока вартість.

3. АСОЦІАТИВНІ СИСТЕМИ

Асоціативні системи

До числа систем класу ОКМД відносяться асоціативні системи. Вони, як і матричні системи, характеризуються великою кількістю операційних пристроїв, здатних одночасно за командами одного керуючого пристрою вести обробку декількох потоків даних. Проте вони істотно відрізняються способом формуванням потоку даних.

У матричних системах дані надходять на обробку від загальних або роздільних запам'ятовуючих пристроїв з адресною вибіркою інформації, або безпосередньо від пристроїв - джерел даних.

У асоціативних системах інформація на обробку надходить від асоціативних запам'ятовуючих пристроїв (АЗП), що характеризуються тим, що інформація з них вибирається не за певною адресою, а за її змістом.

Асоціативні системи

Зазначені властивості дозволяють ефективно вирішувати завдання з наступних областей: обробка радіолокаційної інформації, розпізнавання образів, обробка різних знімків та іншої інформації з матричною структурою даних. Програмування таких завдань для асоціативних систем набагато простіше, ніж для традиційних.

Найбільш характерним представником групи асоціативних обчислювальних систем є система STARAN (США). Відмінність від описаних матричних систем полягає в наступному: 1) асоціативна пам'ять є пам'яттю з багатовимірним доступом, тобто в неї можна звернутися як порозрядно, так і послівно; 2) операційні процесорні елементи передбачені для кожного слова пам'яті; 3) є унікальна схема перестановок для перегрупування даних у пам'яті.

Асоціативні системи

До числа систем класу ОКМД відносяться асоціативні системи. Вони, як і матричні системи, характеризуються великою кількістю операційних пристроїв, здатних одночасно за командами одного керуючого пристрою вести обробку декількох потоків даних. Проте вони істотно відрізняються способом формування потоку даних.

У матричних системах дані надходять на обробку від загальних або роздільних запам'ятовуючих пристроїв з адресною вибіркою інформації, або безпосередньо від пристроїв - джерел даних.

У асоціативних системах інформація на обробку надходить від асоціативних запам'ятовуючих пристроїв (АЗП), що характеризуються тим, що інформація з них вибирається не за певною адресою, а за її змістом.

Основним елементом системи є **багатовимірна асоціативна матриця** - асоціативний модуль (АМ), який являє собою квадрат з 256 розрядів на 256 слів (Рис. 9), тобто містить в загальній складності 65535 біт даних. Для обробки даних є 256 ПЕ, які послідовно розряд за розрядом обробляють слова. Всі ПЕ працюють одночасно, по одній команді, котра видається пристроєм керування. Таким чином, відразу по одній команді обробляються всі вибрані за певними ознаками з пам'яті слова.

Базова конфігурація системи STARAN містить один асоціативний модуль (АМ). Проте їхня кількість може збільшуватися до 32-х. При цьому максимальний обсяг одночасно оброблюваної інформації досягає 256 КБайт.

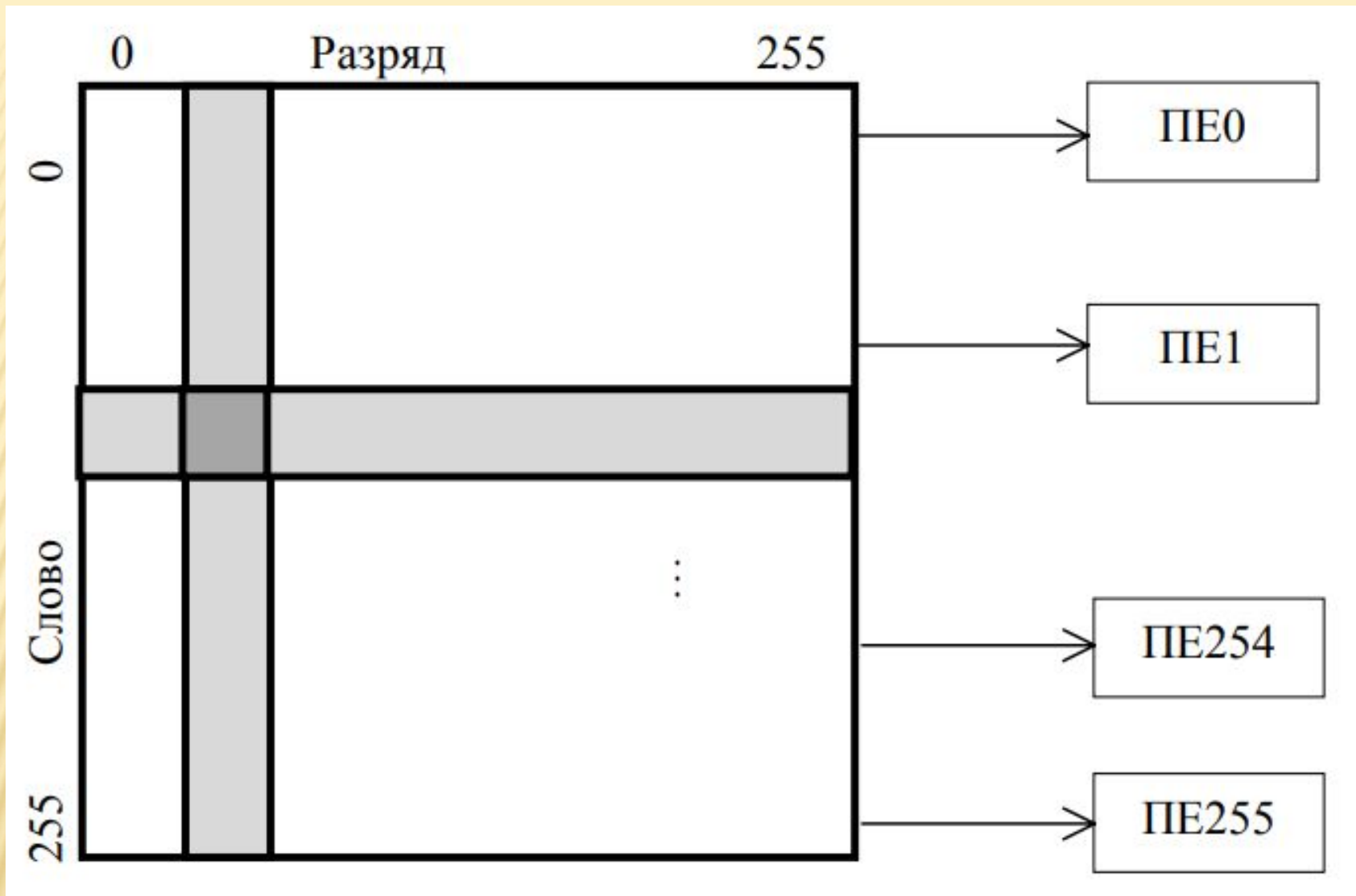


Рисунок 9 - Процесорна обробка в системі STARAN.

Асоціативні системи

Підсистема введення/виведення забезпечує підключення до системи периферійних пристроїв за чотирма типами інтерфейсів:

- інтерфейс прямого доступу для швидкого доступу та для нарощування пам'яті;
- буферізоване введення/виведення для зв'язку зі стандартними периферійними пристроями з обміном блоками даних;
- паралельне введення/виведення, що включає до 256 входів і виходів для кожної матриці та дозволяє збільшити швидкість обміну даними між матрицями, забезпечити зв'язок системи з високошвидкісними засобами введення/виведення і безпосередній зв'язок будь-якого пристрою з асоціативними пристроями.

4. ОДНОРІДНІ СИСТЕМИ ТА СЕРЕДОВИЩА

У системах паралельної обробки, що розглядаються вище, не ставиться ніяких умов або обмежень щодо складу та функцій обробляючих пристроїв, а також зв'язків між ними.

На початку 60-х років Е.В. Євреїнов і Ю.Г. Косарєв запропонували інший підхід до побудови систем, в основі якого лежать принципи:

- паралельність операцій;
- змінність логічної структури;
- конструктивна однорідність елементів і зв'язків між ними.

Перший принцип базується на аксіомі паралельності завдань та алгоритмів: будь-яка складна задача може бути представлена у вигляді пов'язаних між собою простих підзадач і для будь-якої складної задачі може бути запропоновано паралельний алгоритм, що допускає її ефективне рішення.

Другий принцип базується на аксіомі змінності логічної структури: процес вирішення складної задачі може бути представлений певною структурною моделлю, що включає в себе підзадачі та зв'язки між ними.

Третій принцип базується на аксіомі *конструктивної однорідності елементів і зв'язків*: всі прості завдання отримуються шляхом поділу складної задачі на частини, а тому всі ці прості завдання приблизно однакові за об'ємом обчислень і пов'язані між собою однаковими схемами обміну. Це означає, що система для вирішення складного завдання може бути побудована з однакових оброблюючих елементів, пов'язаних між собою однаковим чином.

Важливим аспектом роботи однорідної системи є програмування її структури - налаштування, яке здійснюється за допомогою спеціальних реєстрів налаштування, що входять до складу модулів міжмашинного зв'язку.

Розвитком однорідних систем є однорідні обчислювальні середовища, які являють собою загальному випадку n -мірну решітчасту структуру. В окремому випадку це двомірна структура з квадратних клітин, що заповнюють площину. Кожна клітина (рис. 10) у двомірній структурі з'єднується з чотирма сусідніми.

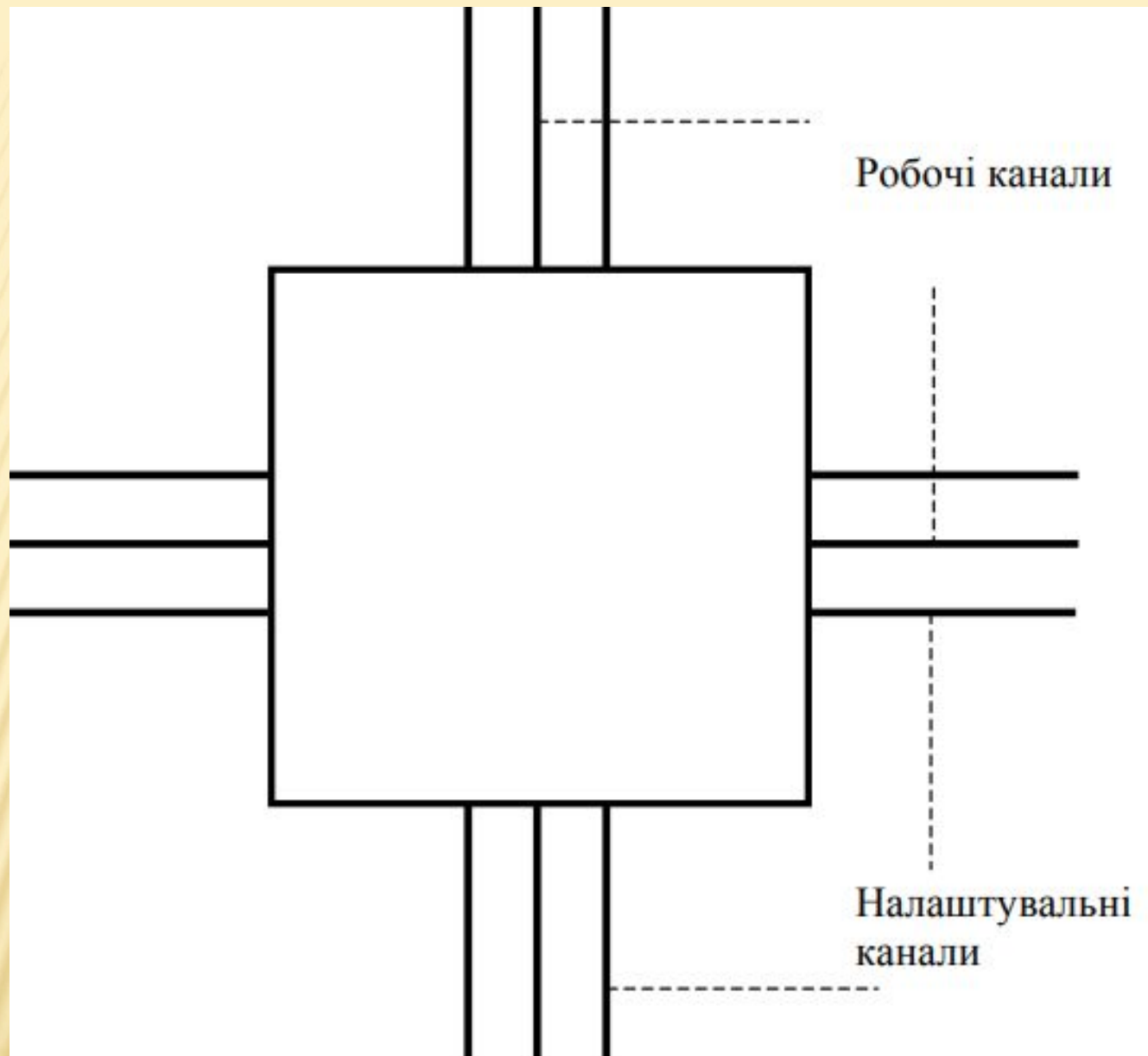


Рисунок 10 - Елемент однорідного обчислювального середовища.

ВИСНОВОК

Надвисока продуктивність системи ILLIAC IV досягається лише на певних типах завдань: операції над матрицями, швидке перетворення Фур'є, лінійне програмування, обробка сигналів, тобто на завданнях, де має місце паралелізм даних або паралелізм незалежних об'єктів. Для розробки програмного забезпечення таких систем необхідне створення спеціалізованих мов програмування або компіляторів.

Сукупність усіх зазначених особливостей дозволяє системі STARAN виконувати одночасно сотні й тисячі однакових операцій при вирішенні певного класу задач.

ВИСНОВОК

Важливим аспектом роботи однорідної системи є програмування її структури - налаштування, яке здійснюється за допомогою спеціальних реєстрів налаштування, що входять до складу модулів міжмашинного зв'язку.