

**ТЕМА**

**ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ  
КОМУТАТОРІВ ТА  
КОМУТАЦІЙНИХ  
СЕРЕДОВИЩ  
ПАРАЛЕЛЬНИХ КС.**

---

# ПЛАН:

---

1 Мережі міжз'єднань в паралельних КС.

2 Комутатори для багатопроцесорних КС.

3 Організація процесів комутації.

4 Приклади побудови міжпроцесорних зв'язків.

Висновки

---

# **1 МЕРЕЖІ МІЖЗ'ЄДНАНЬ В ПАРАЛЕЛЬНИХ КС.**

Мультикомп'ютери і мультипроцесори дуже схожі, оскільки містять кілька модулів пам'яті, які також можуть бути пов'язані один з одним і з процесорами. **В обох випадках застосовується передача повідомлень.**

У великих мультипроцесорах взаємодія між процесорами і віддаленою пам'яттю майже завжди полягає в тому, що процесор посилає в пам'ять повідомлення, так званий пакет, який запитує певні дані, а пам'ять посилає процесору пакет.

**Мережі міжз'єднань** можуть складатися максимум з п'яти компонентів:

1. Центральні процесори.
2. Модулі пам'яті.
3. Інтерфейси.
4. Канали зв'язку.
5. Комутатори.

1. Мережі міжз'єднань в паралельних КС.

**Інтерфейси** — це пристрої, які вводять і виводять повідомлення з центральних процесорів і модулів пам'яті.

**Канали зв'язку** — це канали, по яких переміщуються біти. Канали можуть бути електричними або оптико-волоконними, послідовними (шириною 1 біт) або паралельними (завширшки більше 1 біта).

**Комутатори** — це пристрої з декількома вхідними і кількома вихідними портами. Коли на вхідний порт приходить пакет, деякі біти в цьому пакеті використовуються для вибору вихідного порту, в який надсилається пакет.

Розмір пакета може складати 2 або 4 байти, але може бути і значно більше (наприклад, 8 Кбайт).

1. Мережі міжз'єднань в паралельних КС.

# Характеристики мережі міжз'єднань.

□ **Пропускна здатність** - це кількість даних, яку вона здатна передавати в секунду.

□ **Бісекційна пропускна здатність.** Щоб обчислити це число, потрібно в думках розділити мережу міжз'єднань на дві рівні (з точки зору числа вузлів) незв'язані частини шляхом видалення деяких дуг з графа. Потім обчислити загальну пропускну здатність видалених дуг.

**Бісекційна пропускна здатність** - мінімальна з усіх можливих, це найважливіша характеристика мережі міжз'єднань. Часто основна мета при розробці мережі міжз'єднань - зробити бісекційну пропускну здатність максимальною.

Мережа міжз'єднань характеризується так само **топологією**-способом з'єднання вузлів мережі.

1. Мережі міжз'єднань в паралельних КС.

**Діаметр мережі** - число переходів між максимально віддаленими вузлами мережі, визначає затримку передачі пакетів.

Мережі міжз'єднань можна характеризувати по їх розмірності.

Розмірність визначається за кількістю можливих варіантів переходу з початкового пункту в пункт призначення -1.

Якщо вибору немає (тобто існує тільки один шлях з кожного вихідного пункту в кожен кінцевий пункт), то мережа **нульмірна**.

Якщо є два можливих варіанти (наприклад, якщо можна піти або направо, або наліво), то мережа **одномірна**.

Якщо є дві осі і пакет може попрямувати направо або наліво або вгору або вниз, то така мережа **двовимірна** і т. д.

1. Мережі міжз'єднань в паралельних КС.

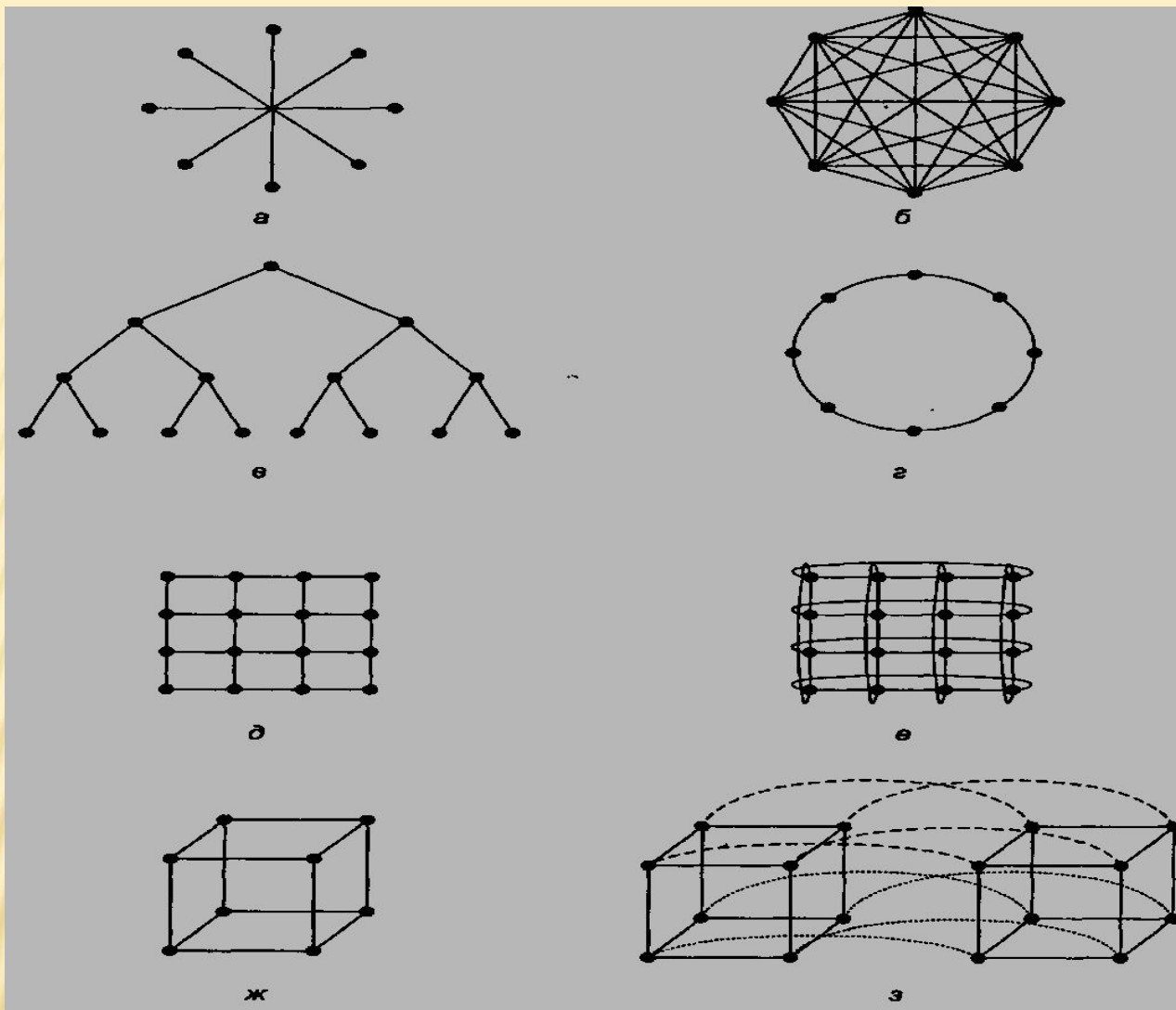


Рисунок 1 – Різноманітні топології. Жирні точки відповідають комутаторам. Процесори та модулі не показані: зірка (а); повне міжз'єднання (б); дерево (в); кільце (г); решітка (д); двійний тор (е); куб (ж); гіперкуб (з)

**1. Мережі міжз'єднань в паралельних КС.**



# Конфігурації зірка і повне міжз'єднання

На рис. 1, а зображена нульмірна конфігурація **зірка**, де процесори і модулі пам'яті прикріплюються до зовнішніх вузлів, а перемикання здійснює центральний вузол з **точки зору відмовостійкості це дуже невдала розробка.**

На рис. 1, б зображена інша **нульмірна топологія - повне міжз'єднання (fullinterconnect)**. Тут кожен вузол безпосередньо пов'язаний з кожним наявним вузлом.

У такій розробці пропускна здатність між двома секціями максимальна, діаметр мінімальний, а відмовостійкість дуже висока. Однак для **k** вузлів потрібно  $k(k-1) / 2$  каналів, а це абсолютно неприйнятно для великих значень.

1. **Мережі міжз'єднань в паралельних КС.**

# Дерево Кільце Решітка

На рис. 1, в зображена третя нульмірна топологія - дерево. Пропускна здатність між секціями дорівнює пропускній здатності каналів.

**Кільце** (рис1, г) - це одномірна топологія, оскільки кожен відправлений пакет може піти направо або наліво.

**Решітка** або **сітка** (рис. 1, д) - це двовимірна топологія, яка застосовується в багатьох комерційних системах. Вона відрізняється регулярністю і може бути застосована до систем великого розміру, а діаметр становить квадратний корінь від числа вузлів (тобто при розширенні системи діаметр збільшується незначно).

# Подвійний тор Куб

**Подвійний тор** (рис. 1, е) є різновидом решітки. Це решітка, у якій з'єднані краї. Вона характеризується більшою стійкістю до відмов і меншим діаметром, ніж звичайна решітка, оскільки тепер між двома протилежними вузлами всього дві транзитних ділянки.

**Куб** (рис. 1, ж) - це правильна тривимірна топологія. На малюнку зображений куб **2x2x2**, але в загальному випадку він може бути **kxkxk**.

# Багатовимірні топології. Характеристики графів міжз'єднань

Чотиривимірний куб, отриманий з двох тривимірних кубів, які пов'язані між собою.

Можна зробити п'ятимірний куб, з'єднавши разом 4 чотиривимірних куба.

Щоб отримати 6 вимірювань, потрібно продублювати блок із 5 - 4х мірних кубів і з'єднати відповідні вузли і т. д .;

N-мірний куб називається **гіперкубом**.

Ця топологія використовується в багатьох комп'ютерах паралельної дії, оскільки її діаметр знаходиться в лінійній залежності від розмірності.

**Діаметр** - це логарифм за основою 2 від числа вузлів.

---

# **2 КОМУТАТОРИ ДЛЯ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ КС.**

# Комутатори для багатопроцесорних комп'ютерних систем

## 1. Прості комутатори

Типи простих комутаторів:

- з тимчасовим поділом;
- з просторовим розділенням.

## 2. Складові комутатори

- Комутатор Клоза
- Баньян-мережі
- Омега-мережі.

## 3. Розподілені складові комутатори.

# Прості і складові комутатори

**Комунікаційні середовища комп'ютерних систем** складаються з адаптерів обчислювальних модулів (ОМ) і комутаторів, що забезпечують з'єднання між ними.

Використовуються як прості комутатори, так і складові, компоновані з набору простих.

*Прості комутатори* можуть з'єднувати лише мале число ОМ в силу фізичних обмежень, проте забезпечують при цьому мінімальну затримку при встановленні з'єднання.

*Складові комутатори*, зазвичай будуються з простих у вигляді багатокаскадних схем, долають обмеження на малу кількість з'єднань, проте збільшують і затримки.

# Прості комутатори

Типи простих комутаторів:

- з *тимчасовим поділом*;
- з *просторовим розділенням*.

Переваги: простота управління і високу швидкодію.

Недоліки: мала кількість входів і виходів.

Приклади використання:

- прості комутатори з тимчасовим поділом використовуються в системах SMP PowerChallenge від SGI;
- прості комутатори з просторовим розділенням (Gigaplane) використовуються в сімействі SunUltraEnterprise.



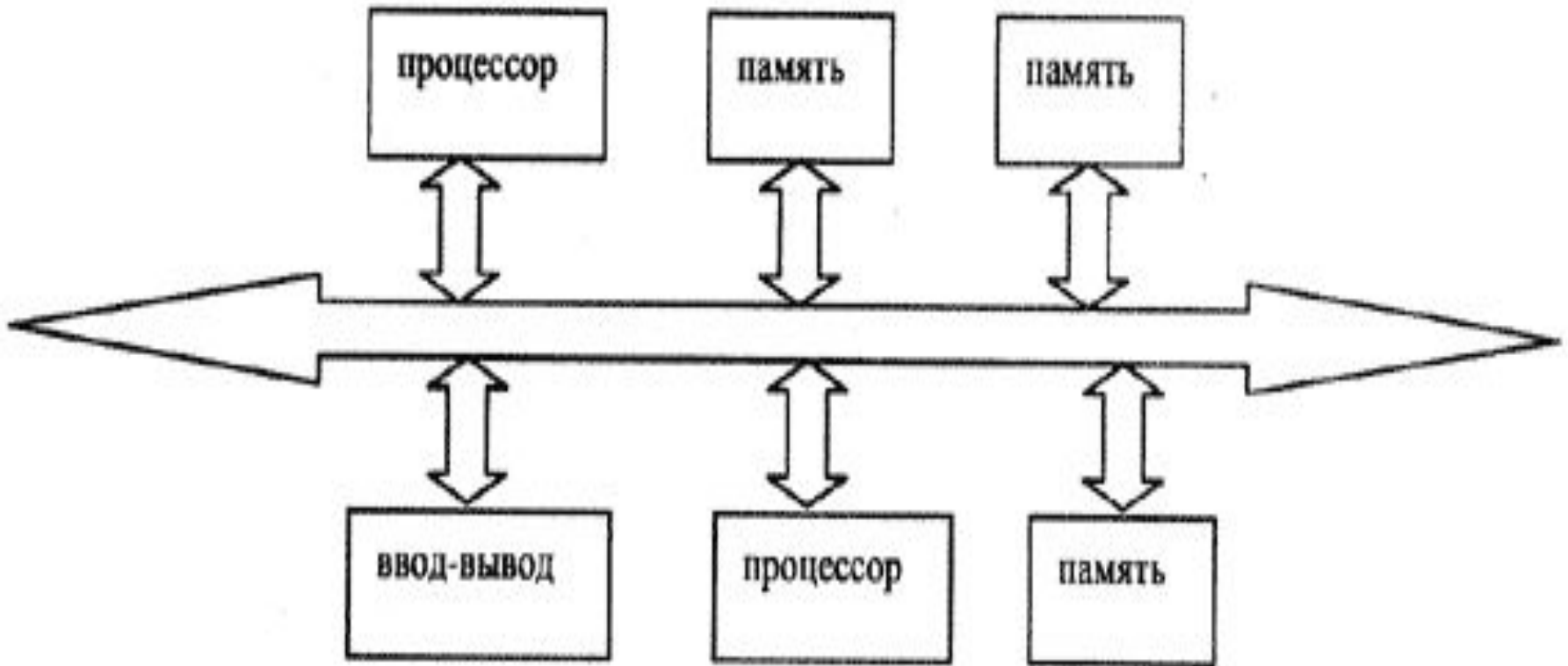
# Прості комутатори з тимчасовим поділом

**Прості комутатори з тимчасовим поділом** називаються також шинами або шинними структурами. Всі пристрої підключаються до загальної інформаційної магістралі, використовуваної для передачі інформації між ними (рис. 2.). Зазвичай шина є пасивним елементом, управління передачами здійснюється пристроями передачі і приймання.

## Процес передачі виглядає наступним чином:

- Передавальний пристрій спочатку отримує доступ до шини, далі намагається встановити контакт з пристроєм-адресатом і визначити його здатність до прийому даних.
- Приймаючий пристрій розпізнає свою адресу на шині і відповідає на запит пере

# Загальна схема комутатора шинної структури



Передавальний пристрій повідомляє, що насамперед має зробити приймаючий пристрій в ході взаємодії. Після цього відбувається передача даних. **Так як шина є загальним ресурсом, за доступ до якого змагаються підключені до неї пристрої, то необхідні методи управління наданням доступу пристроїв до шини.**

Можливе використання центрального пристрою для управління доступом до шини, однак це зменшує масштабованість і гнучкість системи.

*Для вирішення конфліктів*, що виникають при одночасному запиті пристроїв на доступ до шини, використовуються різні прийоми, зокрема: 1) призначення кожному пристрою унікального пріоритету (статичного чи динамічного), 2) використання черги запитів FIFO, 3) виділення фіксованих тимчасових інтервалів кожному пристрою.

## *Статичні пріоритети*

Кожен пристрій в системі отримує унікальний пріоритет, при одночасному запиті декількох пристроїв на передачу, доступ до шини надається пристрою з найвищим пріоритетом.

На практиці пріоритет пристрою визначається місцем його підключення до шини. Для контролю доступу до шини використовується *окремий блок управління*.

## *Динамічні пріоритети*

Так само, як і в попередньому алгоритмі, пристрої отримують унікальні пріоритети, проте на відміну від нього ці пріоритети **непостійні в часі**.

Пріоритети динамічно змінюються, надаючи пристроям більш-менш рівні шанси отримання доступу до шини.

**Найвищий пріоритет надається пристрою, який найбільш довго не використовував шину.**

Контроль доступу до шини здійснює пристрій, що одержав доступ до шини в попередньому циклі арбітражу.

Фіксовані часові інтервали:

Кожен пристрій по порядку отримує однаковий часовий інтервал для здійснення передачі. Якщо пристрій не має даних для передачі, то інтервал, тим не менш, не надається наступному пристрою.

Черга FIFO:

Створюється черга запитів "перший прийшов - перший пішов", Перевагою даного алгоритму є можливість досягнення максимальної пропускної здатності шини.

## Особливості реалізації шин

**Шини використовуються** для об'єднання пристроїв на друкованих платах і друкованих плат в блоках.

Широко застосовуються шини наступних стандартів:

- ISA - Industry Standard Architecture
- EISA - Extended ISA
- VESA - Video Electronics Standards Association
- PCI - Peripheral Computer Interconnect
- VME - Versabus Module Europe
- I2C - Inter Integrated Circuit
- AGP - Accelerated Graphic Port

**Шини використовуються також в мезонинній технології**, де на великій платі встановлюється один або кілька шинних роз'ємів для установки менших плат, так званих мезонинів.

## ***Прості комутатори з просторовим поділом***

Такі комутатори представляють собою сукупність мультиплексорів, кількість яких відповідає кількості виходів комутатора, при цьому кожен вхід комутатора повинен бути заведений на всі мультиплексори.

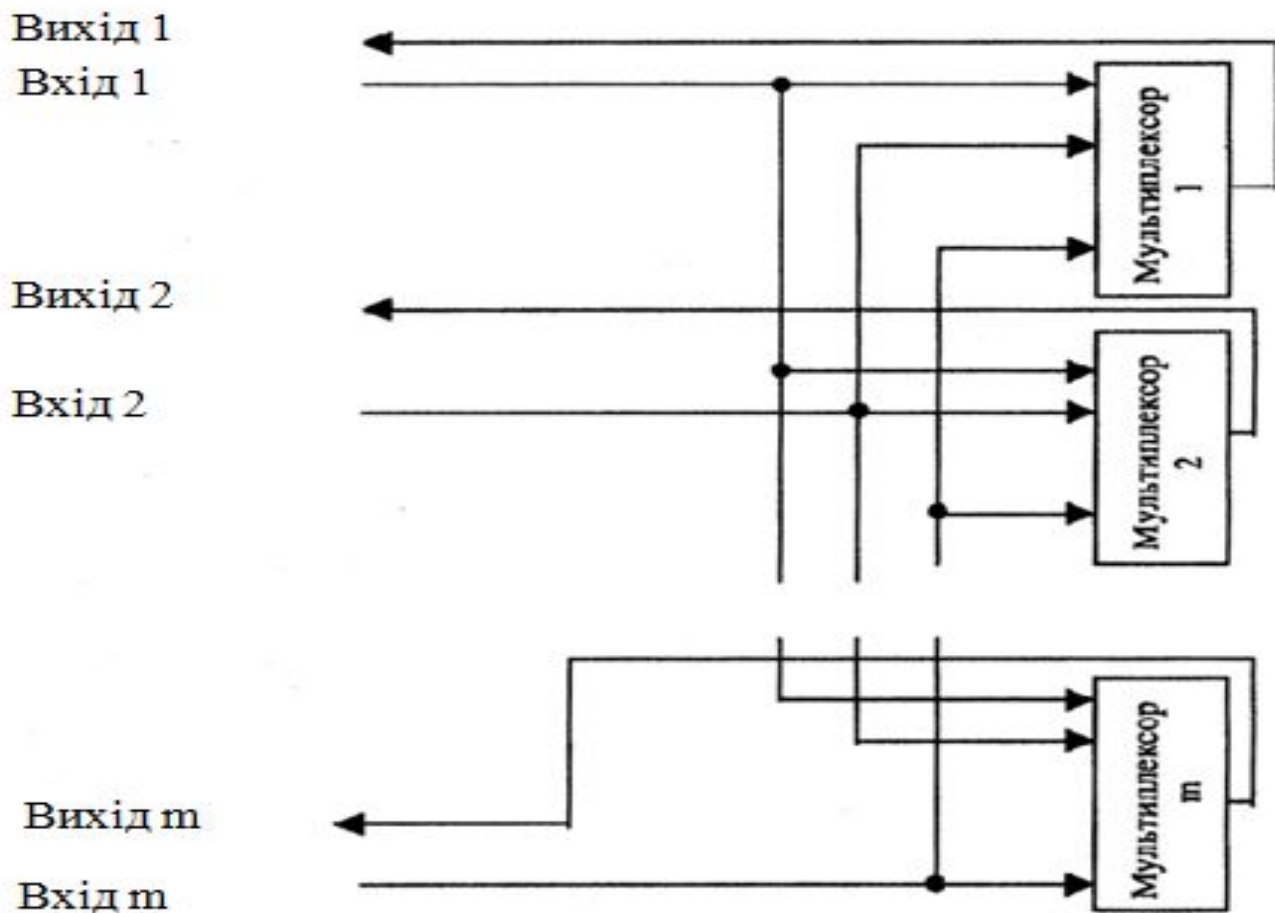
### **Переваги:**

- можливість одночасного контакту з усіма пристроями
- мінімальна затримка

### **Недоліки:**

- висока складність порядку  $n \times m$ , де  $n$  - кількість входів,  $m$  - кількість виходів.
- складність забезпечення надійності.

# Прості комутатори з просторовим поділом на основі мультиплексорів





Прості комутатори мають обмеження на число входів і виходів, а також можуть вимагати великої кількості обладнання).

Тому для побудови комутаторів з великою кількістю входів і виходів використовують сукупність простих комутаторів, об'єднаних за допомогою ліній "точка-точка".

Складові комутатори мають затримку, пропорційну кількості простих комутаторів, через які проходить сигнал від входу до виходу, тобто числу каскадів.

Однак обсяг обладнання складеного комутатора менше, ніж простого з тією ж кількістю входів і виходів.

Найчастіше складові комутатори будуються з прямокутних комутаторів  $2 \times 2$  з двома входами і виходами.

## *Робота комутатора*

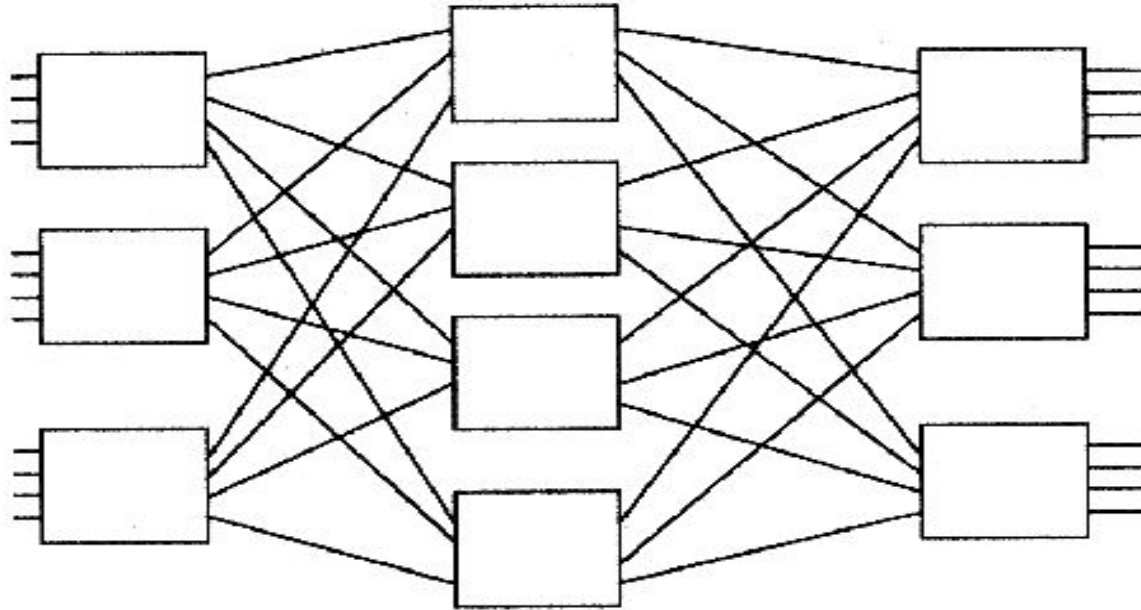
Вони мають два стани: пряме пропускання входів на відповідні виходи і перехресне пропускання.

Комутатор 2x2 складається з блоку комутації даних і блоку управління. **Блок управління** в залежності від керуючих сигналів, які надходять на нього, визначає, який тип з'єднання слід здійснити в блоці комутації: прямий або перехресний.

При цьому якщо обидва входи хочуть з'єднатися з одним виходом, то комутатор вирішує конфлікт і пов'язує з даними виходу тільки один вхід, а запит на з'єднання з боку другого блокується або відкидається.

## ***Комутатор Клоза 3 x 4.***

Комутатор Клоза може бути побудований в якості альтернативи для прямокутного комутатора з  $(m \times d)$  входами і  $(m \times d)$  виходами. Він формується з трьох каскадів комутаторів:  $m$  комутаторів  $(d \times d)$  у вхідному каскаді,  $m$  комутаторів  $(d \times d)$  в вихідному і  $d$  проміжних комутаторів  $(m \times m)$ .



## ***Баньян-мережі***

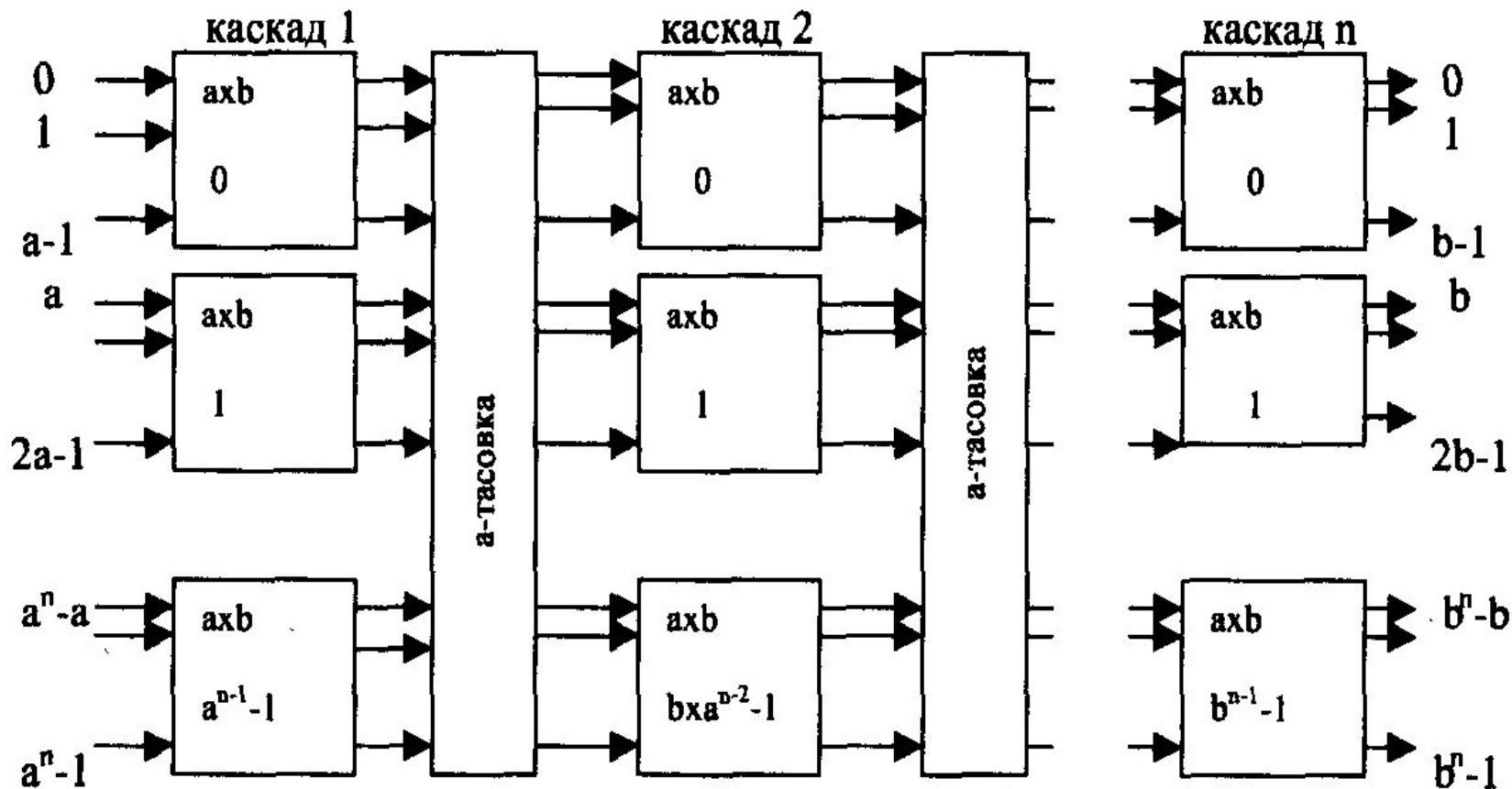
Ці комутатори будуються на базі прямокутних комутаторів  $a \times b$  таким чином, що існує тільки один шлях від кожного входу до кожного виходу.

Важливим підкласом баньян-мереж служать дельта-мережі.

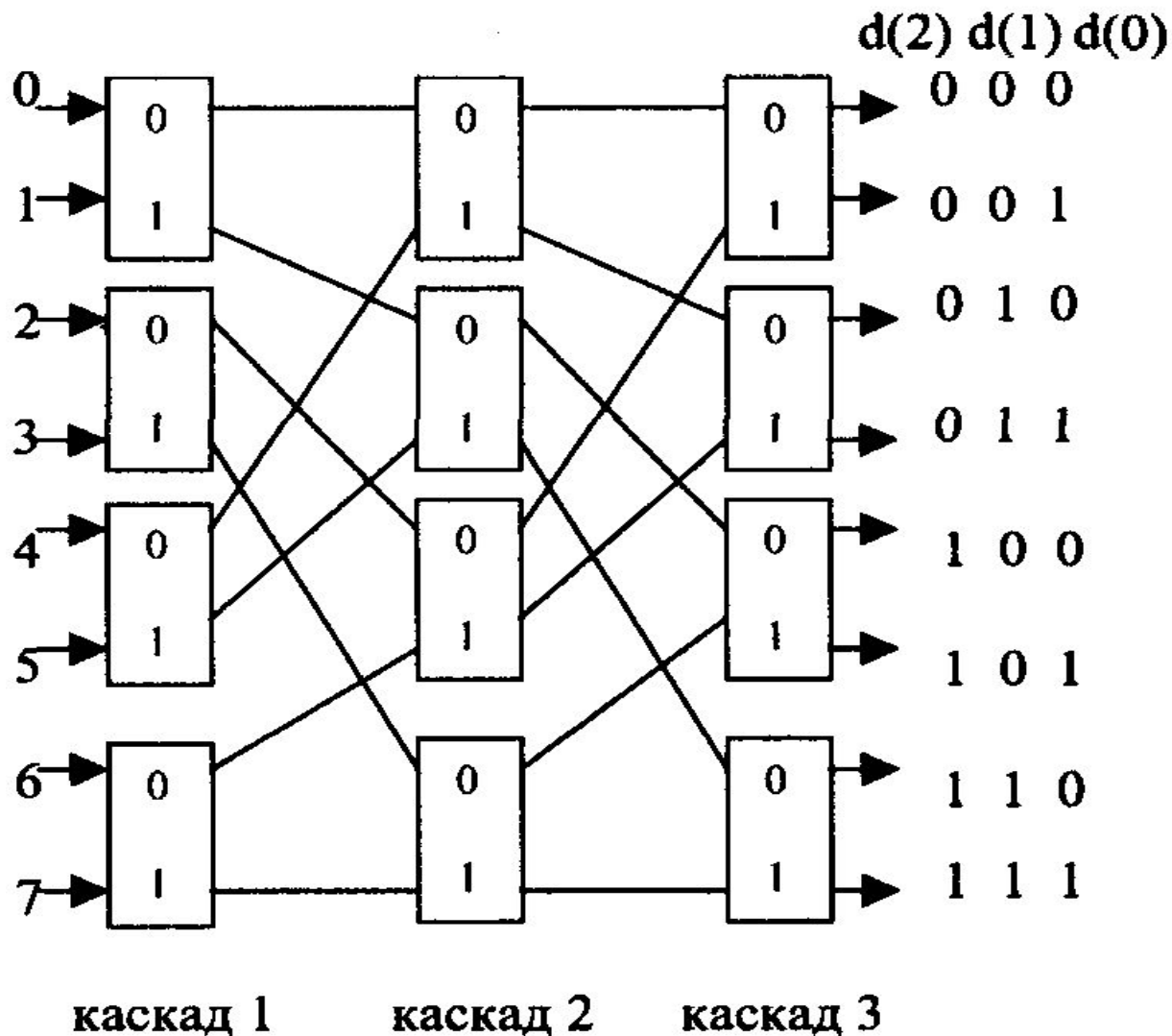
Дельта-мережа формується з комутаторів  $a \times b$ , входи і виходи яких позначені  $0, 1, \dots, a-1$  і  $0, 1, \dots, b-1$ , відповідно. Кожен вхід з'єднується з виходом з номером  $d$ , якщо цей вхід управляється числом  $d$ , де  $d$  - число по підставі  $b$ . Дельта-мережа є  $n$  каскадним комутатором з  $a$  "входами і  $b$ " виходами.

Складові комутатори з'єднані так, що утворюється єдиний шлях однакової довжини для з'єднання будь-якого входу з будь-яким виходом.

# Дельта-мережу з $n$ каскадами, а входами $i$ $b$ виходами



## Елемент 23 x 23 комутатора



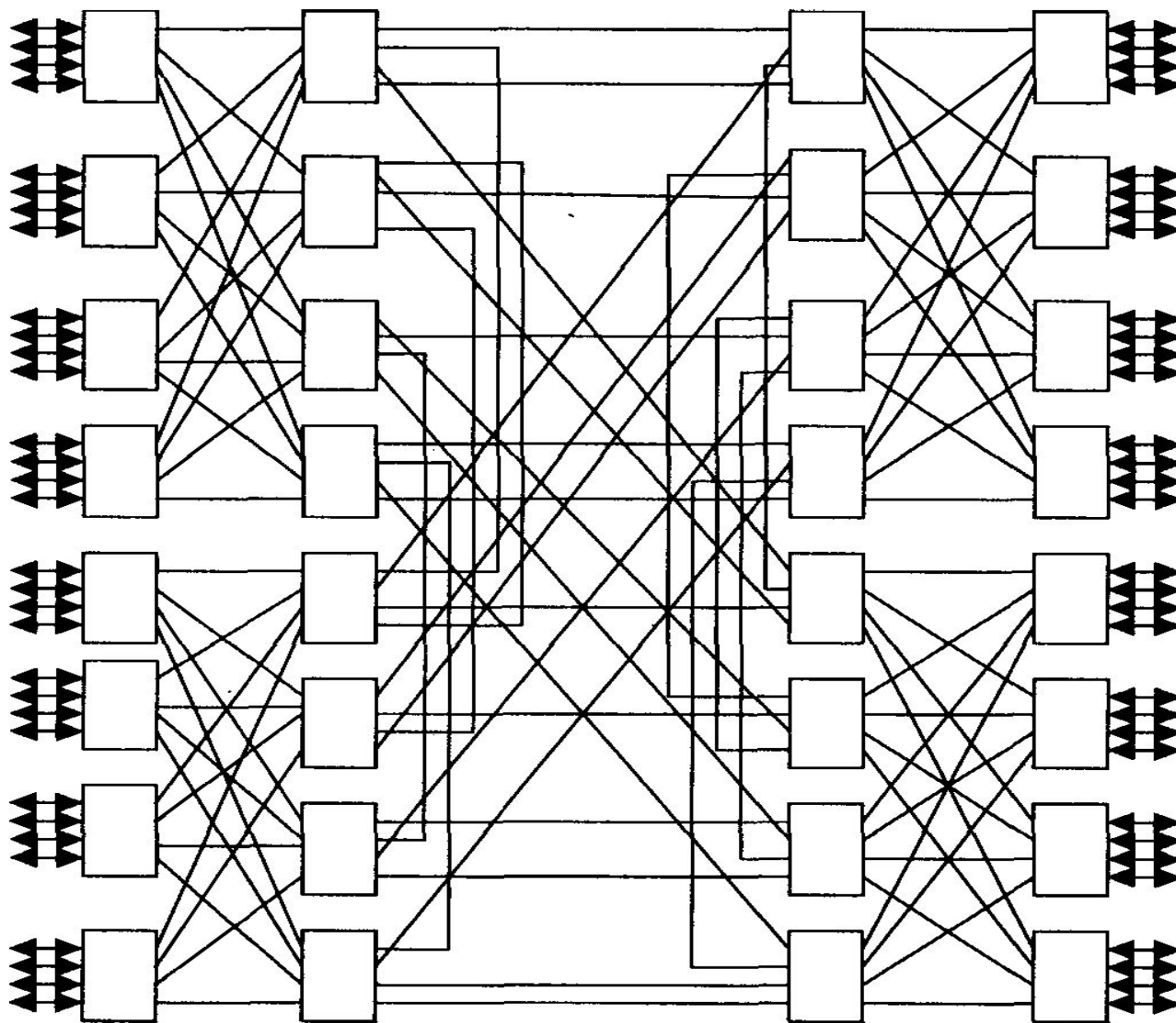
## *Розподілені складові комутатори*

У розподілених обчислювальних системах ресурси поділяються між завданнями, кожна з яких виконується на своїй підмножині процесорів.

У зв'язку з цим виникає поняття близькості процесорів, яка є важливою для активно взаємодіючих процесорів.

Зазвичай близькість процесорів виражається в різній каскадності з'єднань, різних відстанях між ними.

## Комутатор система SP-2 фірми IBM



2. Комутатори для багатопроцесорних КС,



---

# **3 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОМУТАЦІЇ.**

# Організація процесів комутації

Існує декілька стратегій перемикання:

□ **Перша з них** — комутація каналів. Перед тим як послати пакет, весь шлях від початкового до кінцевого пункту резервується заздалегідь.

□ **Друга стратегія** — комутація з проміжним зберіганням. Тут не потрібно попереднього резервування. З вихідного пункту надсилається цілий пакет до першого комутатора, де він зберігається.

Комутатори з проміжним зберіганням повинні відправляти пакети в буфер, оскільки коли вихідний пункт (наприклад, процесор, пам'ять або комутатор) видає пакет, вихідний порт, який потрібен, може бути в даний момент зайнятий передачею іншого пакету.

# Алгоритми вибору маршруту пакетів у мережі комутаторів

У будь-якій мережі міжз'єднань розмірністю один і вище можна вибирати, яким шляхом передавати пакети від одного вузла до іншого.

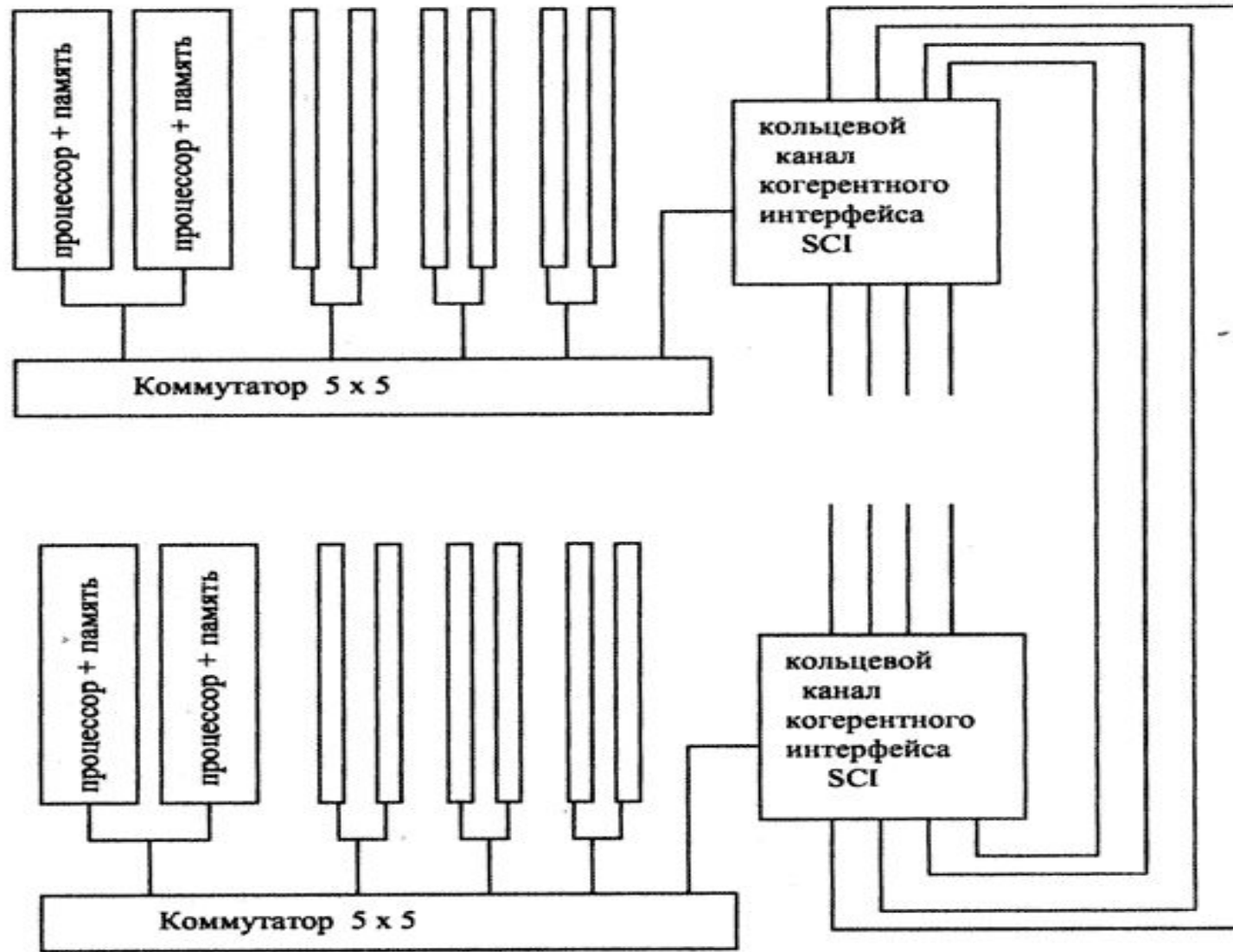
Часто існує безліч можливих маршрутів. Правило, що визначає, яку послідовність вузлів повинен пройти пакет при русі від вихідного пункту до пункту призначення, називається алгоритмом вибору маршруту.

Алгоритми вибору маршруту можна розділити на дві категорії: маршрутизація від джерела і розподілена маршрутизація.

---

## **4. ПРИКЛАДИ ПОБУДОВИ МІЖПРОЦЕСОРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ**

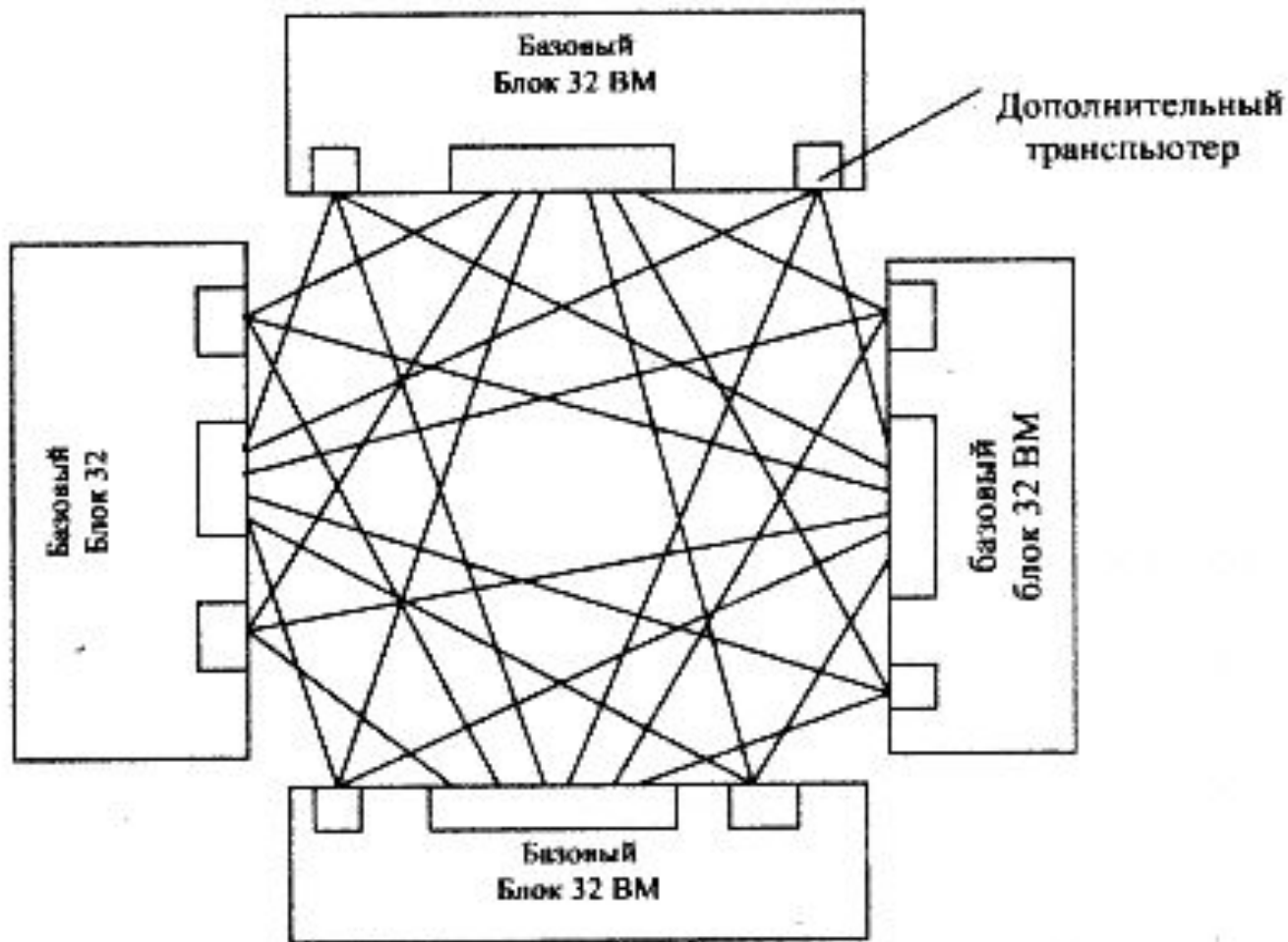
# Приклади реалізації міжпроцесорних зв'язків



Граф міжмодульних зв'язків Convex Exemplar SPP1000

4. Приклади побудови міжпроцесорних зв'язків

# Структура сполук 128-процесорної системи



4. Приклади побудови міжпроцесорних зв'язків

з 16 обчислювальних модулів, що утворюють матрицю 4x4, в якій чотири кутових елемента з'єднуються через трансп'ютерні лінки по діагоналі попарно.

12 лінків, які залишилися, призначаються для під'єднання зовнішніх пристроїв (4 лінка кутових ОМ) та сполук з подібними ОМ.

Конструктивним утворенням МВС-1000 є базовий обчислювальний блок, що містить 32 обчислювальних модуля. Максимальна довжина шляху між будь-якими з 32 обчислювальних модулів дорівнює п'яти, при цьому число вільних лінків після комплектації блоку складає 16, що дозволяє продовжити процедуру об'єднання.

## ВИСНОВОК

Важлива **властивість мережі міжз'єднань** - це її пропускна здатність, тобто кількість даних, яку вона здатна передавати в секунду.

Дуже важлива характеристика - бісекційна пропускна здатність.

Щоб обчислити це число, потрібно подумки розділити мережу міжз'єднань на дві рівні (з точки зору числа вузлів) незв'язані частини шляхом видалення деяких дуг з графа. Потім потрібно обчислити загальну пропускну здатність дуг, які ми видалили.

Часто основна мета при розробці мережі міжз'єднань - зробити бісекційну пропускну здатність максимальною.

Мережі міжз'єднань можна характеризувати за їх розмірностями.



## ВИСНОВОК

Розмірність визначається кількістю можливих варіантів переходу з початкового пункту в пункт призначення.

***Діаметр мережі*** - це логарифм за основою 2 від числа вузлів.

Комунікаційні середовища обчислювальних систем (ОС) складаються з адаптерів обчислювальних модулів (ОМ) і комутаторів, що забезпечують з'єднання між ними.

Використовуються як прості комутатори, так і складові, компонуємі з набору простих.