

Топологии вычислительных систем

Топологии ВС

Организация внутренних коммуникаций вычислительной системы называется - ***топологией***.

Коммуникационная система ВС представляет собой сеть, *узлы* которой связаны трактами передачи данных — ***каналами***.

В роли узлов могут выступать процессоры, модули памяти, устройства ввода/вывода, коммутаторы либо несколько перечисленных элементов, объединенных в группу.

Связь между узлами обычно реализуется по *двухточечной схеме* (point-to-point).

Топологии ВС

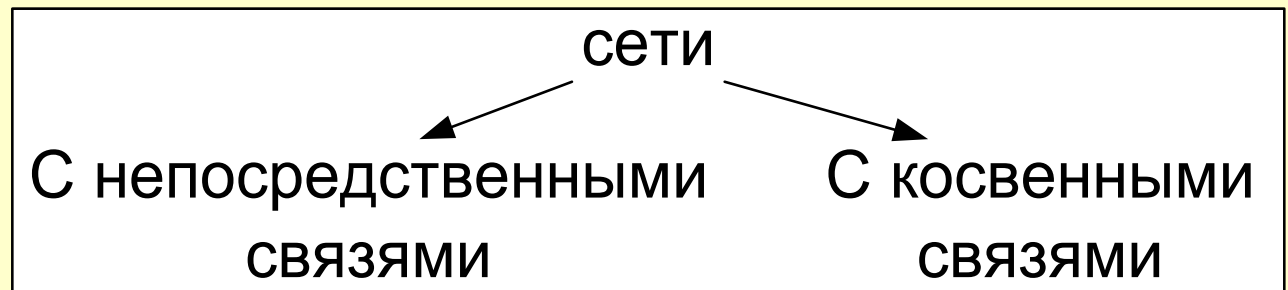
В зависимости от того, остается ли конфигурация взаимосвязей неизменной, по крайней мере пока выполняется определенное задание, различают сети со ***статической*** и ***динамической*** топологиями.

В статических сетях структура взаимосвязей фиксирована.

В сетях с динамической топологией в процессе вычислений конфигурация взаимосвязей с помощью программных средств может быть оперативно изменена.

Основные характеристики топологий и их классификация

Топологию сети межсоединений (СМС) определяет множество узлов N , объединенных множеством каналов C .



Три важнейших атрибута СМС:

- стратегия синхронизации (*синхронная и асинхронная*);
- стратегия коммутации (*сети с коммутацией соединений и сети с коммутацией пакетов*);
- стратегия управления (*централизованное управление и децентрализованное управление*).

Метрики сетевых соединений

При описании СМС их обычно характеризуют с помощью следующих параметров:

- **размер сети** (N) - численно равен количеству узлов, объединяемых сетью;
- **число связей** (I) - это суммарное количество каналов между всеми узлами сети;
- **диаметр сети** (D) - определяет минимальный путь, по которому проходит сообщение между двумя наиболее удаленными друг от друга узлами сети;
- **порядок узла** (d) - равен числу узлов сети, с которыми данный узел связан напрямую;

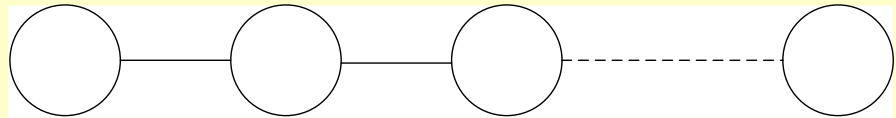
Метрики сетевых соединений

- **пропускная способность (W)** - характеризуется количеством информации, которое может быть передано по сети в единицу времени;
- **задержка в сети (T)** - это время, требуемое на прохождение сообщения через сеть;
- **связность (Q)** - минимальное число узлов или линий связи, которые должны выйти из строя, чтобы сеть распалась на две непересекающихся сети;
- **ширина бисекции (B)** - характеризует минимальное число каналов, разрываемых при всех возможных бисекциях сети;
- **полоса бисекции (b)** - это наименьшая полоса пропускания по всем возможным бисекциям сети

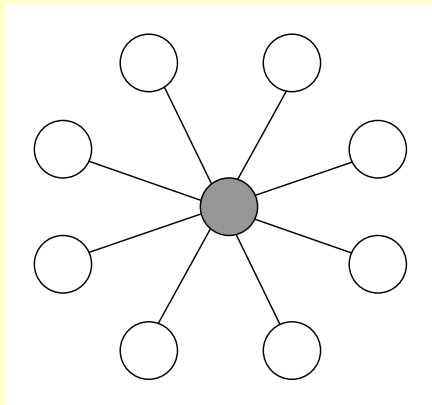
Статические топологии

К статическим топологиям СМС относят такие, где между двумя узлами возможен только один прямой фиксированный путь, то есть статические топологии не предполагают наличия в сети управляемых коммутирующих устройств.

1) Линейная топология

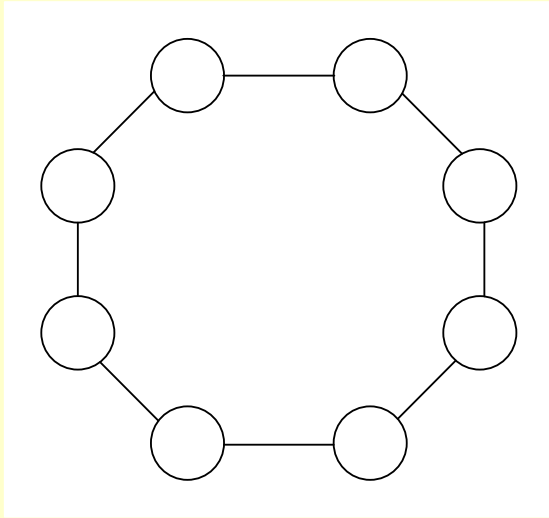


2) Звездообразная топология

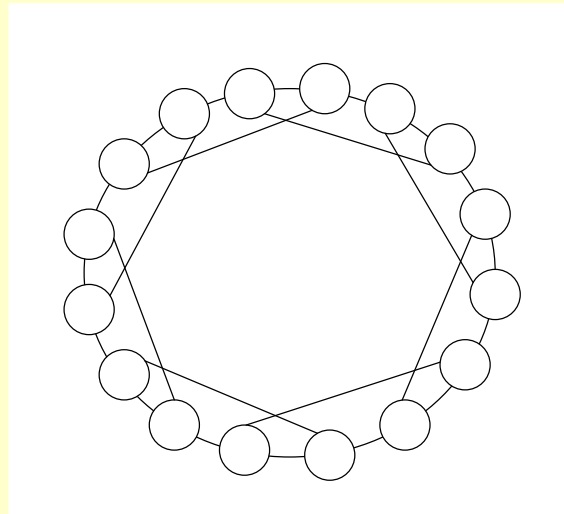


Общая пропускная способность сети обычно ограничивается быстродействием концентратора, аналогично тому, как сдерживающим элементом в линейной топологии выступает *шина*.

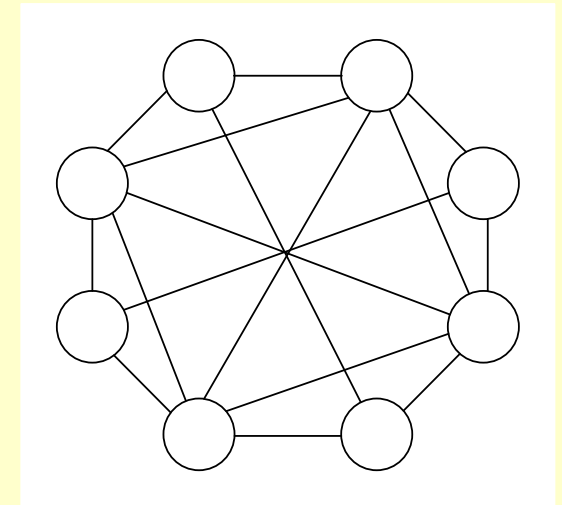
3) Кольцевые топологии



Стандартная
кольцевая топология

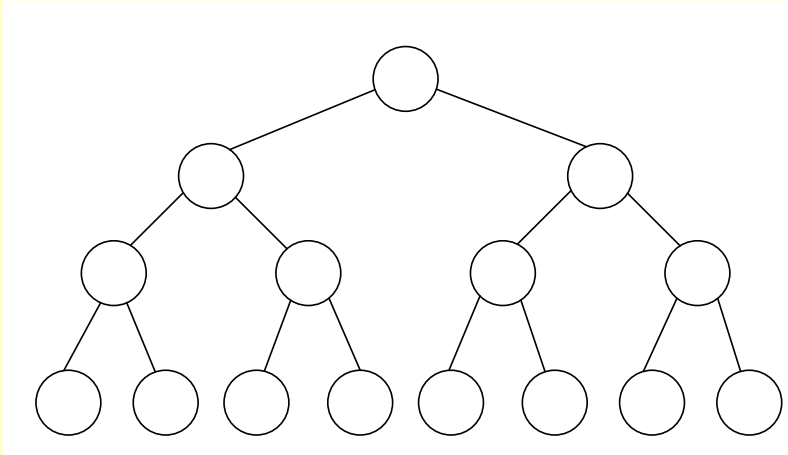


Хордальная кольцевая
топология

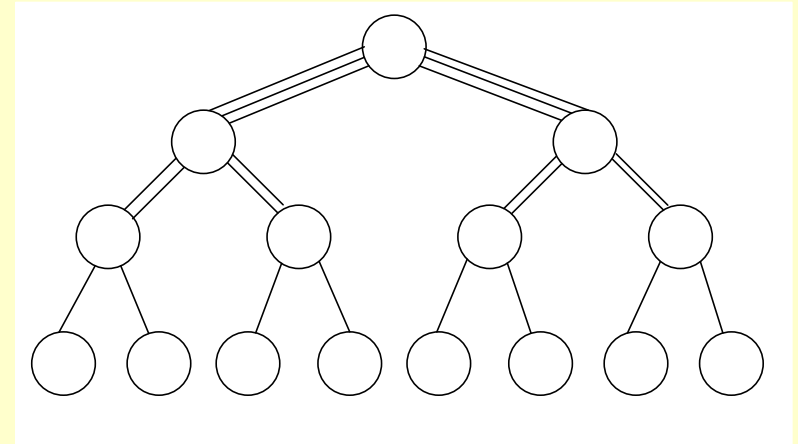


Кольцевая топология с
циклическим сдвигом
связей

4) Древовидные топологии

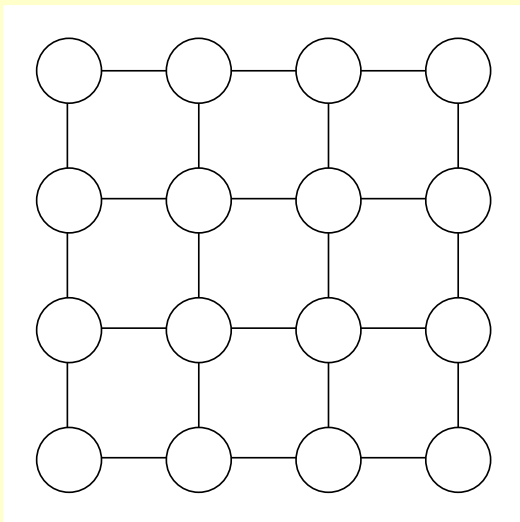


Древовидная топология -
стандартное дерево

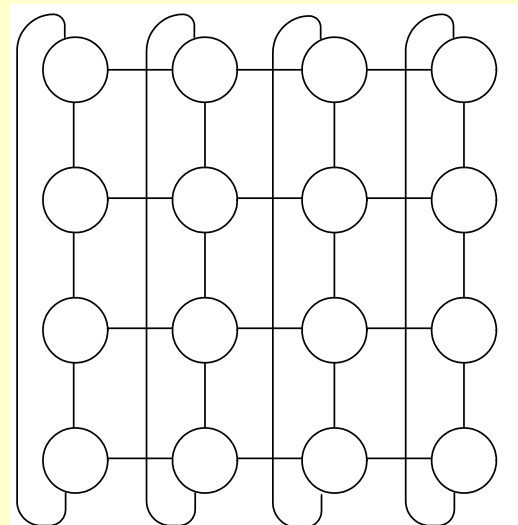


Древовидная топология -
«толстое» дерево

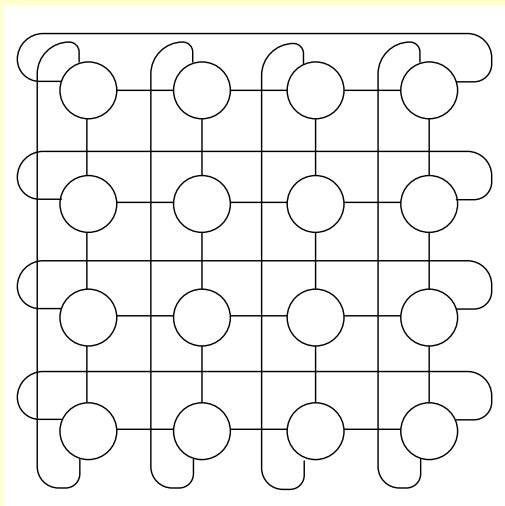
5) Решетчатые топологии



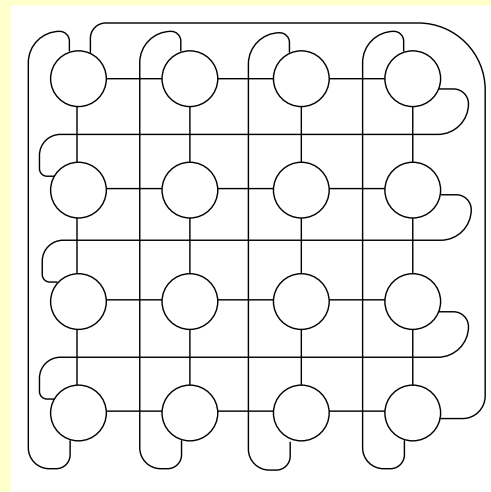
Плоская решетка



Цилиндрическая топология

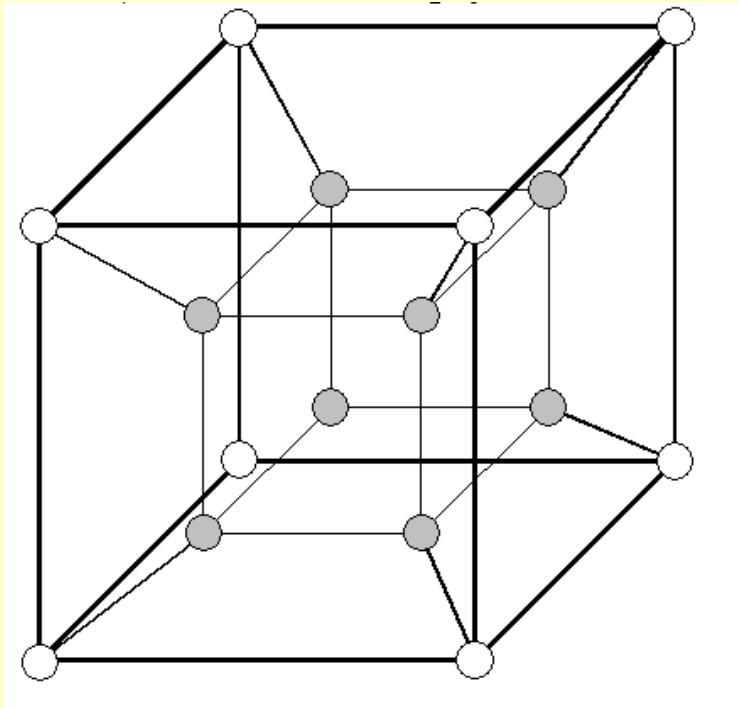


Тороидальная топология



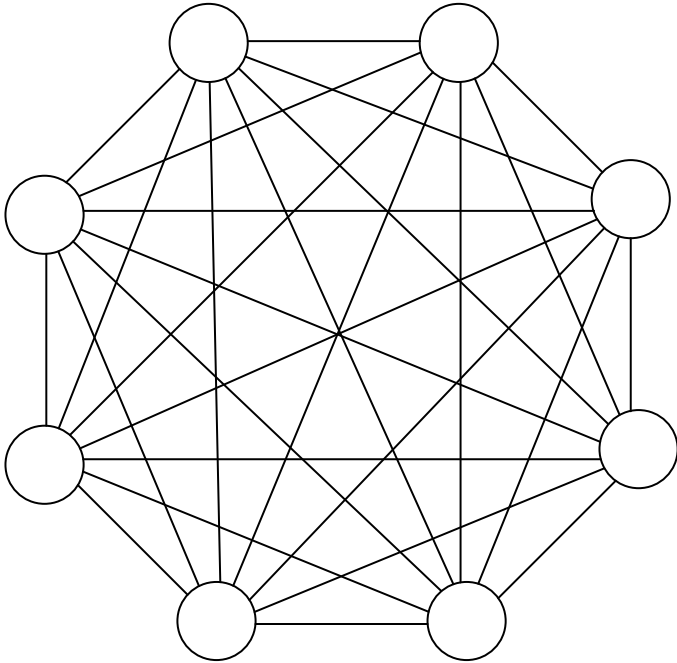
Витая тороидальная топология

6) Топология гиперкуба



Создание гиперкуба при большом числе процессоров требует увеличения порядка узлов, что сопряжено с большими техническими проблемами.

7) Полносвязная топология



Если размер сети велик, топология становится дорогостоящей и трудно реализуемой.

Более того, топология зачастую не дает существенного улучшения производительности, поскольку каждая операция пересылки требует, чтобы узел проанализировал состояние всех своих $N - 1$ входов.

Функции маршрутизации данных

1. Перестановка

$$E_k(b_m, \dots, b_k, \dots, b_1) = (b_m, \dots, \overline{b_k}, \dots, b_1), \quad 1 \leq k \leq m.$$

2. Тасование

1) Идеальное тасование
(perfect shuffle)

$$S(b_m, b_{m-1}, \dots, b_1) = (b_{m-1}, b_{m-2}, \dots, b_1, b_m);$$

2) Отсутствие тасования
(unshuffle)

$$U(b_m, b_{m-1}, \dots, b_1) = (b_1, b_m, \dots, b_2);$$

3) субтасование по i-му биту
(i-th subshuffle)

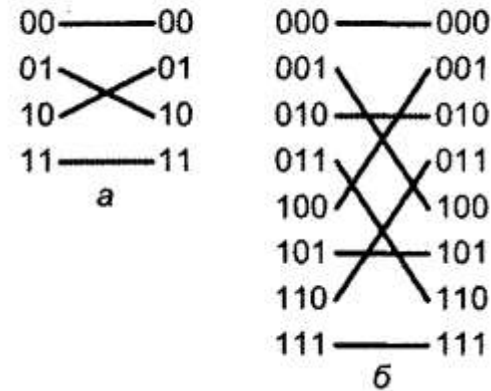
$$S_i(b_m, b_{m-1}, \dots, b_i, \dots, b_1) = (b_m, \dots, b_{i+1}, b_{i-1}, \dots, b_1, b_i);$$

4) супертасование по i-му биту
(i-th supershuffle)

$$S^i(b_m, b_{m-1}, \dots, b_i, \dots, b_1) = (b_{m-1}, \dots, b_{m-i+1}, b_m, b_{m-1}, \dots, b_1).$$

3. Баттерфляй

$$B(b_m, b_{m-1}, \dots, b_1) = (b_1, b_{m-1}, \dots, b_2, b_m).$$



4. Реверсирование битов

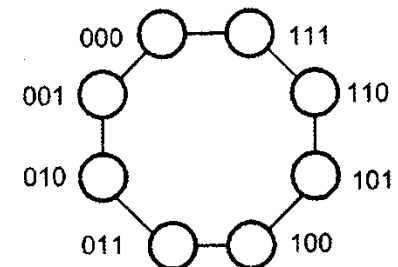
$$R(b_m, b_{m-1}, \dots, b_1) = (b_1, b_2, \dots, b_m).$$

5. Сдвиг

Функция *маршрутизации по алгоритму сдвига* имеет вид:

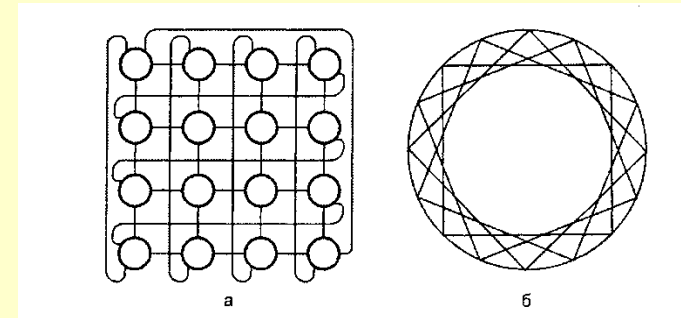
$$SH(x) = (x + 1) \bmod N \quad (N = 2^m).$$

При $m = 3$ данной функции соответствует топология кольца .



6. Сеть ILLIAC IV

$$\begin{aligned}R_{+1} &= (i + 1) \bmod N; \\R_{-1} &= (i - 1) \bmod N; \\R_{+r} &= (i + r) \bmod N \quad (0 \leq i \leq N - 1); \\R_{-r} &= (i - r) \bmod N \quad (r = \sqrt{N}).\end{aligned}$$



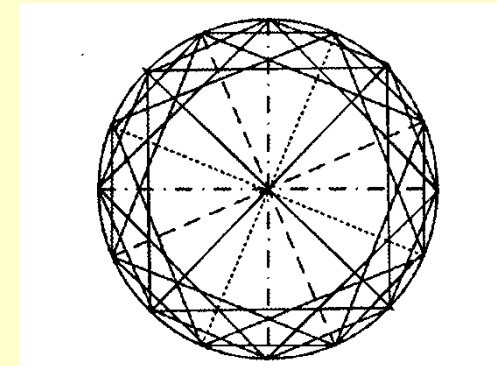
Топологии сети ILLIAC IV: *а* — в виде решетки;
б — в виде хордального кольца

7. Циклический сдвиг

Функция циклического сдвига
(barrel shift) описывается

выражениями

$$\begin{aligned}B_{+i}(j) &= (j + 2^i) \bmod N, \\B_{-i}(j) &= (j - 2^i) \bmod N, \text{ где } 0 \leq j \leq N - 1, 0 \leq i \leq \log_2 N - 1.\end{aligned}$$

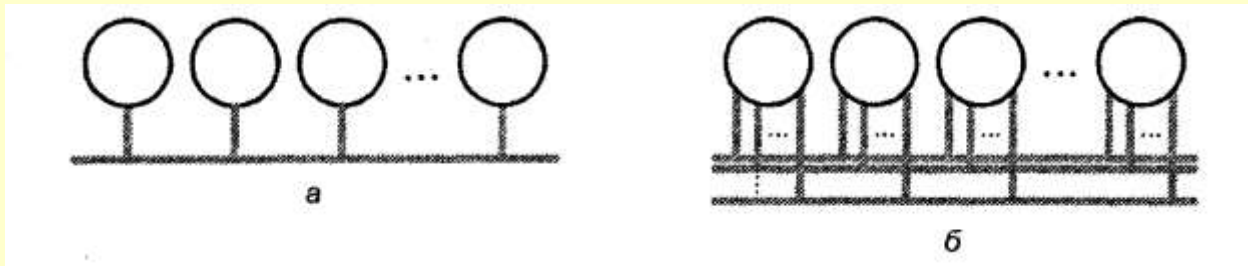


Топология сети на базе рассматриваемой функции циклический сдвиг

Динамические топологии

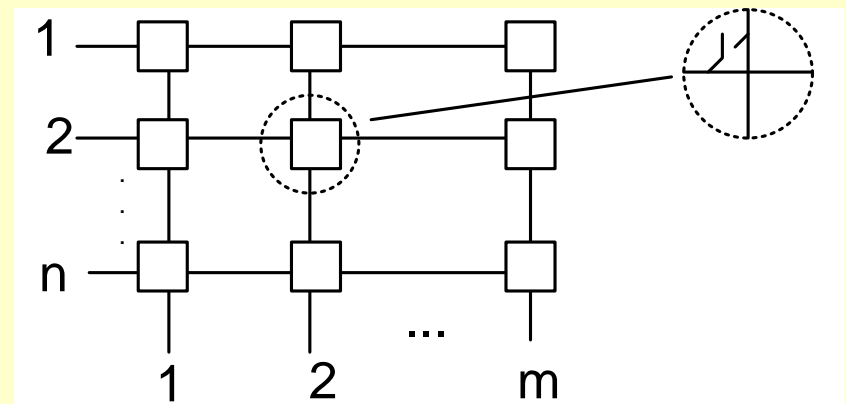
В *динамической топологии сети* соединение узлов обеспечивается электронными ключами, варьируя установки которых можно менять топологию сети.

Шинная топология



Топология перекрестной коммутации («кроссбар»)

Кроссбар $n \times m$ представляет собой коммутатор, способный соединить n входных и m выходных терминальных узлов с уровнем параллелизма, равным $\min(n, m)$.

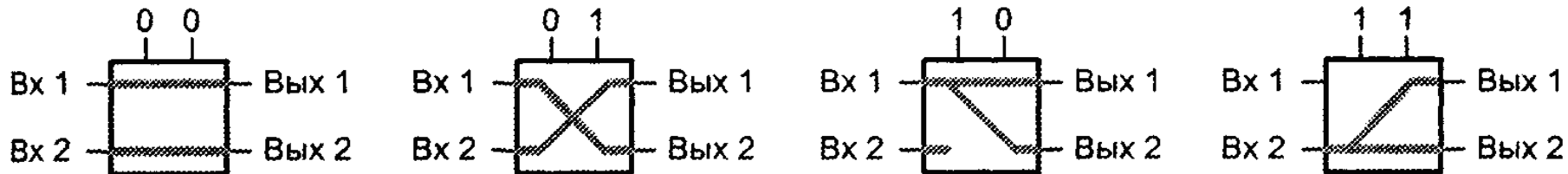


Коммутирующие элементы сетей с динамической топологией

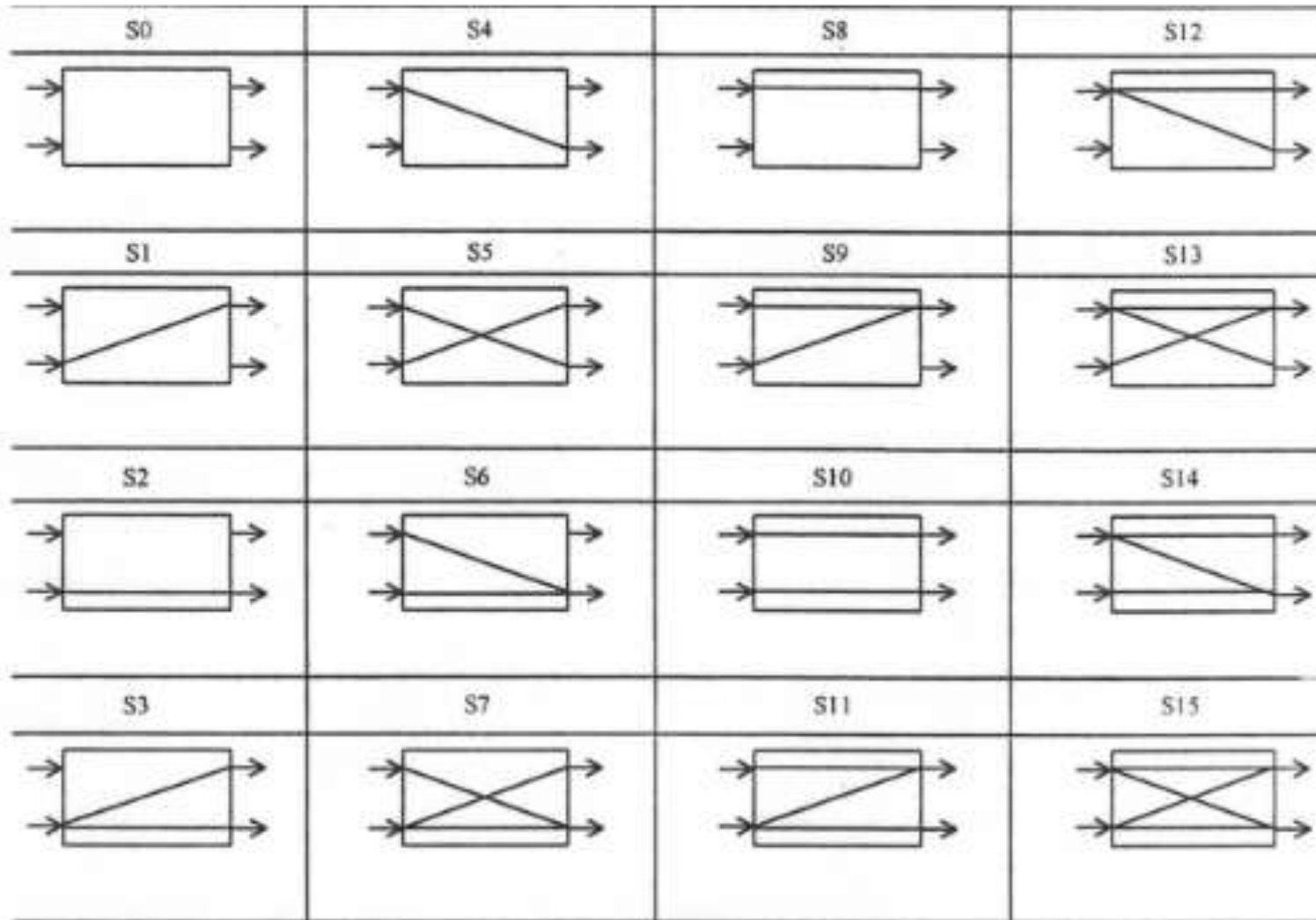
По данному признаку различают:

- сети на основе базового коммутирующего элемента (используется «полный кроссбар» 2×2).
- сети на основе перекрестной коммутации (используется кроссбар $n \times m$);

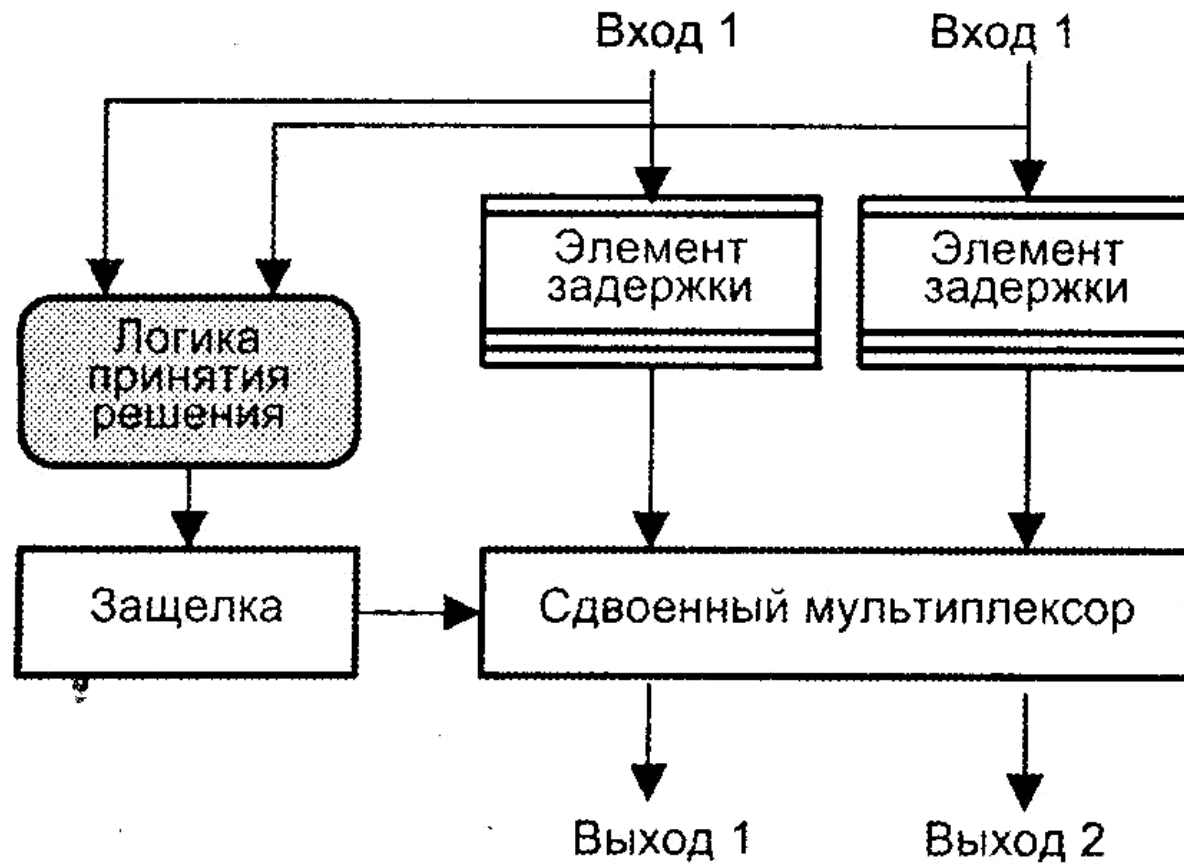
Потенциально коммутатор 2×2 управляется четырехразрядным двоичным кодом и обеспечивает 16 вариантов коммутации, из которых полезными можно считать 12.



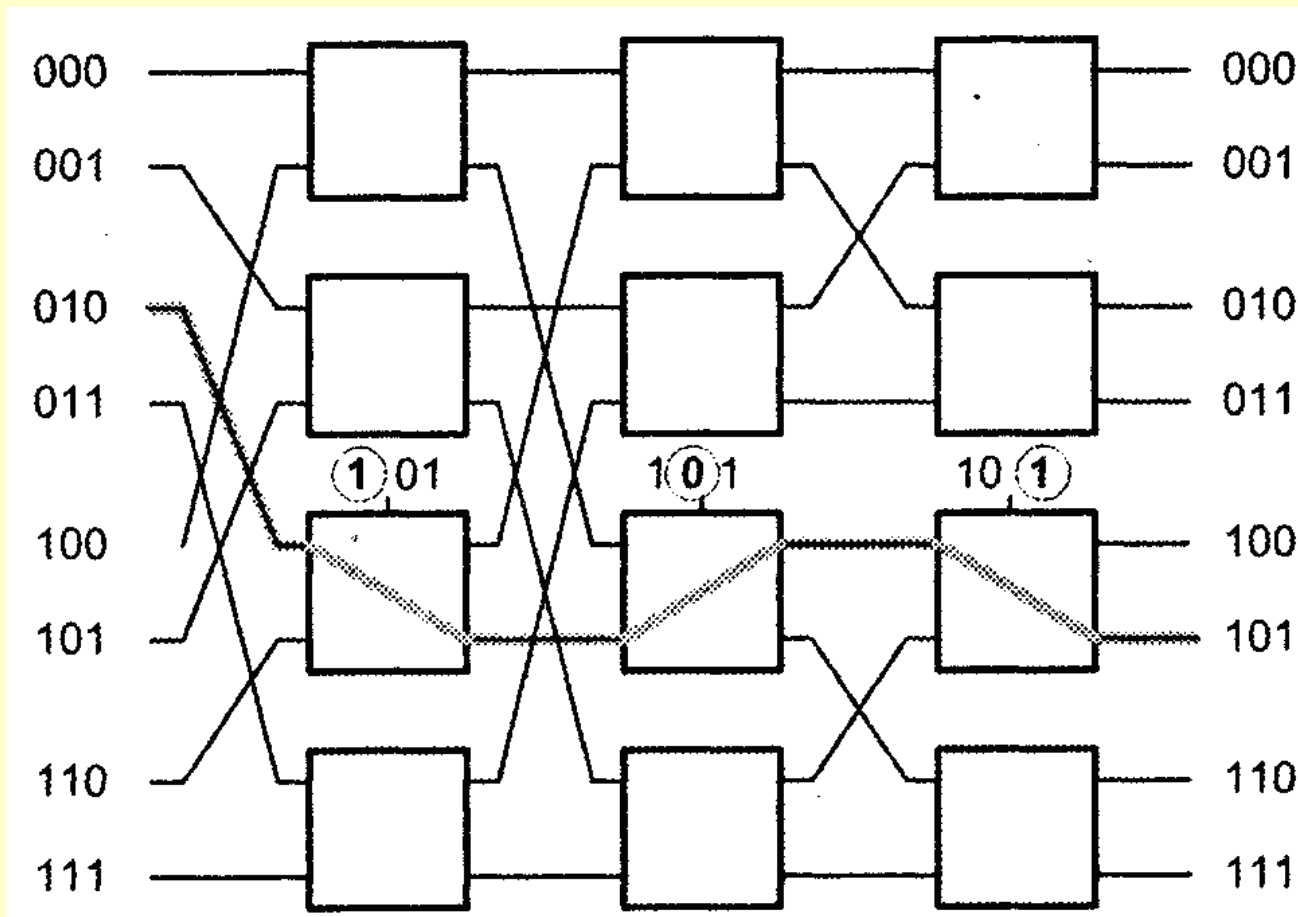
Коммутирующие элементы сетей с динамической топологией



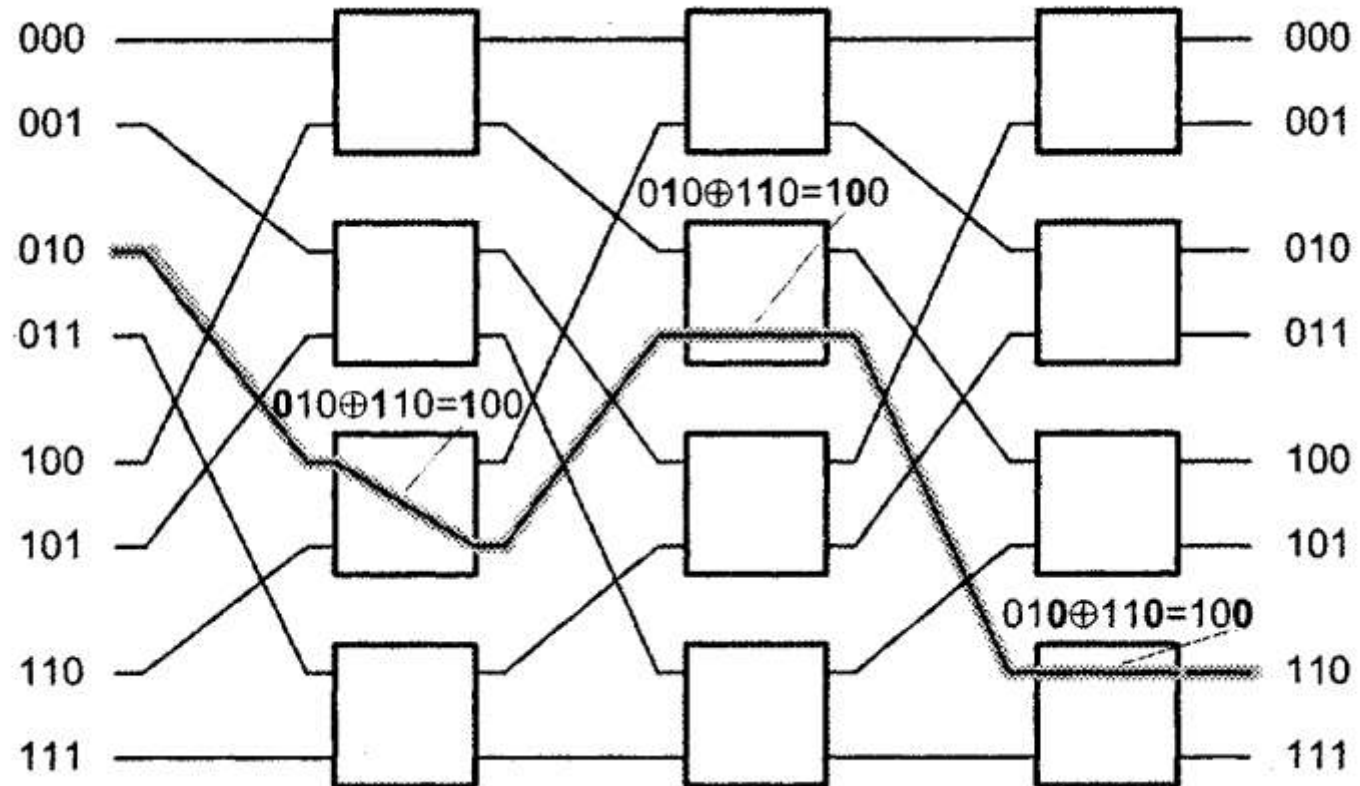
Структура БКЭ (2х2)



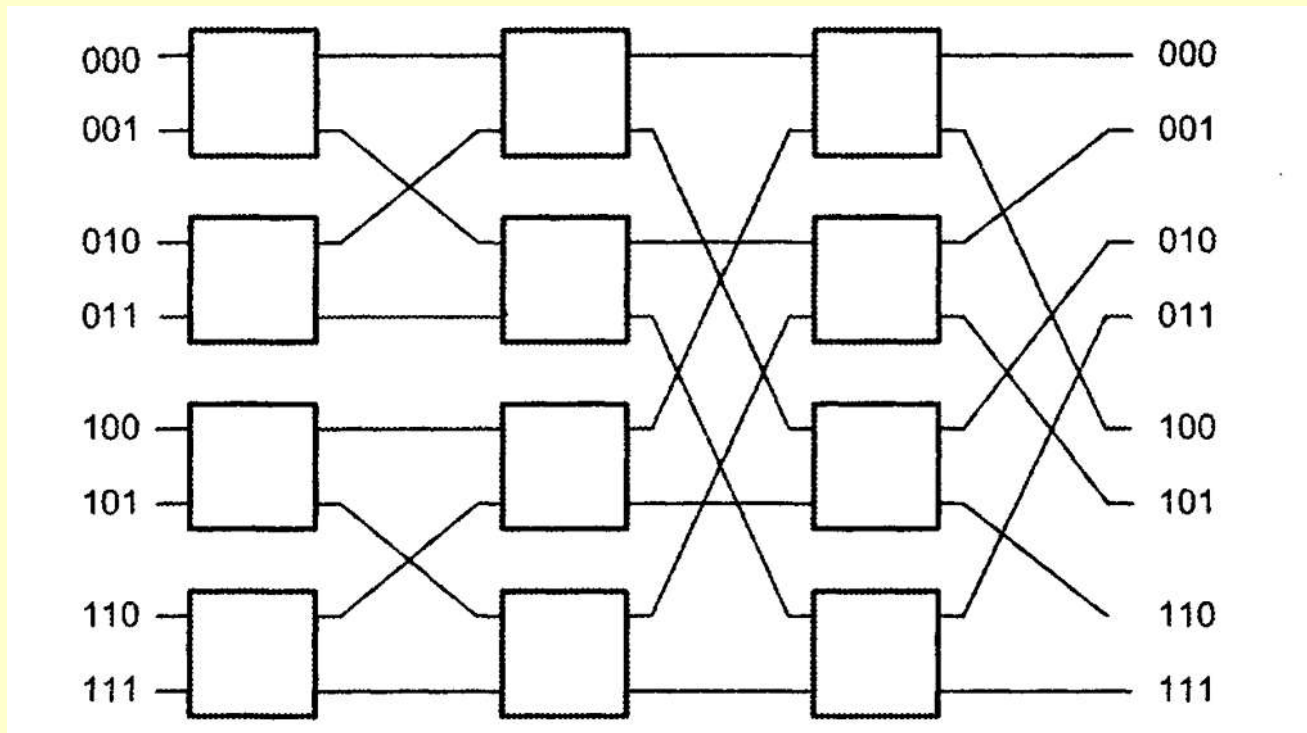
Топология «Баньян»



Топология «Омега»

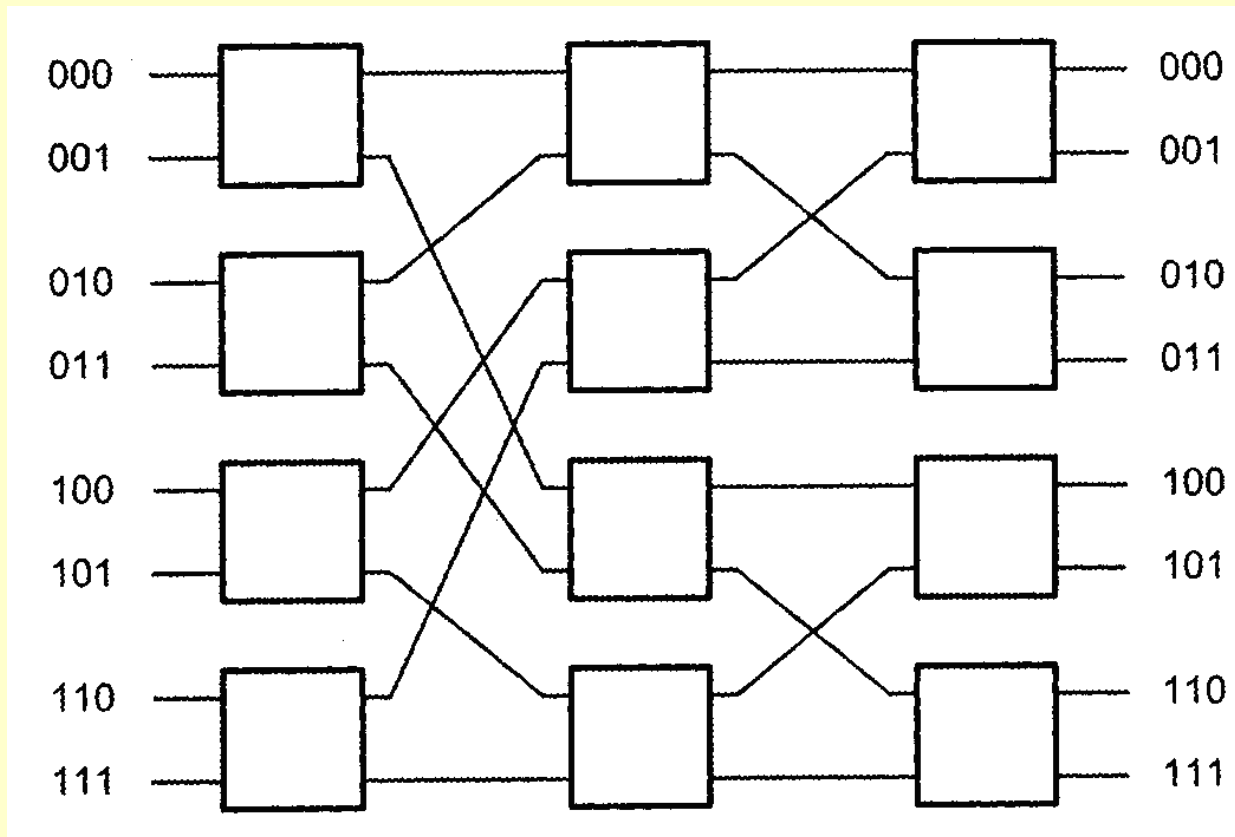


Топология двоичной n-кубической сети с косвенными связями

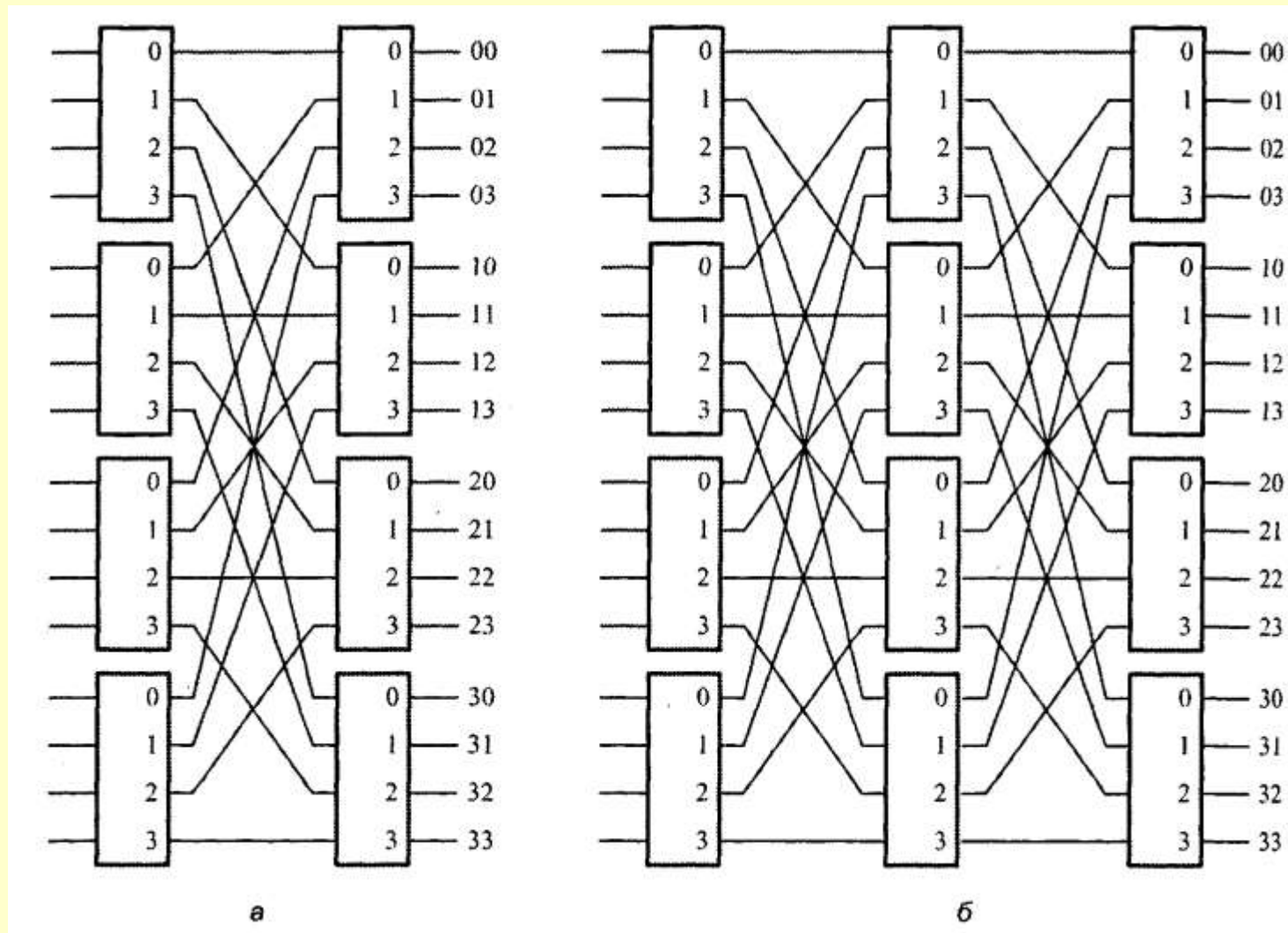


Косвенная двоичная n-кубическая сеть 8x8

Топология базовой линии



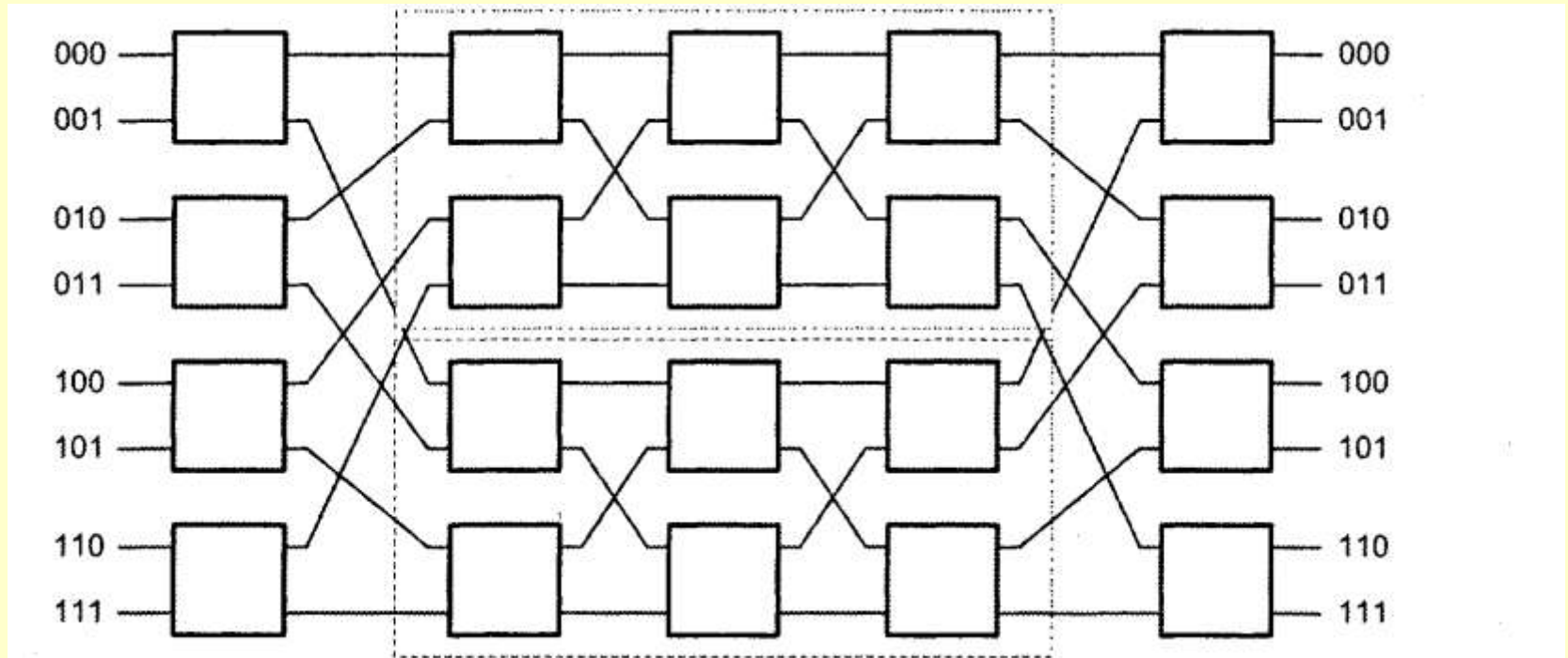
Топология «Дельта»



Структура сети «Дельта»:

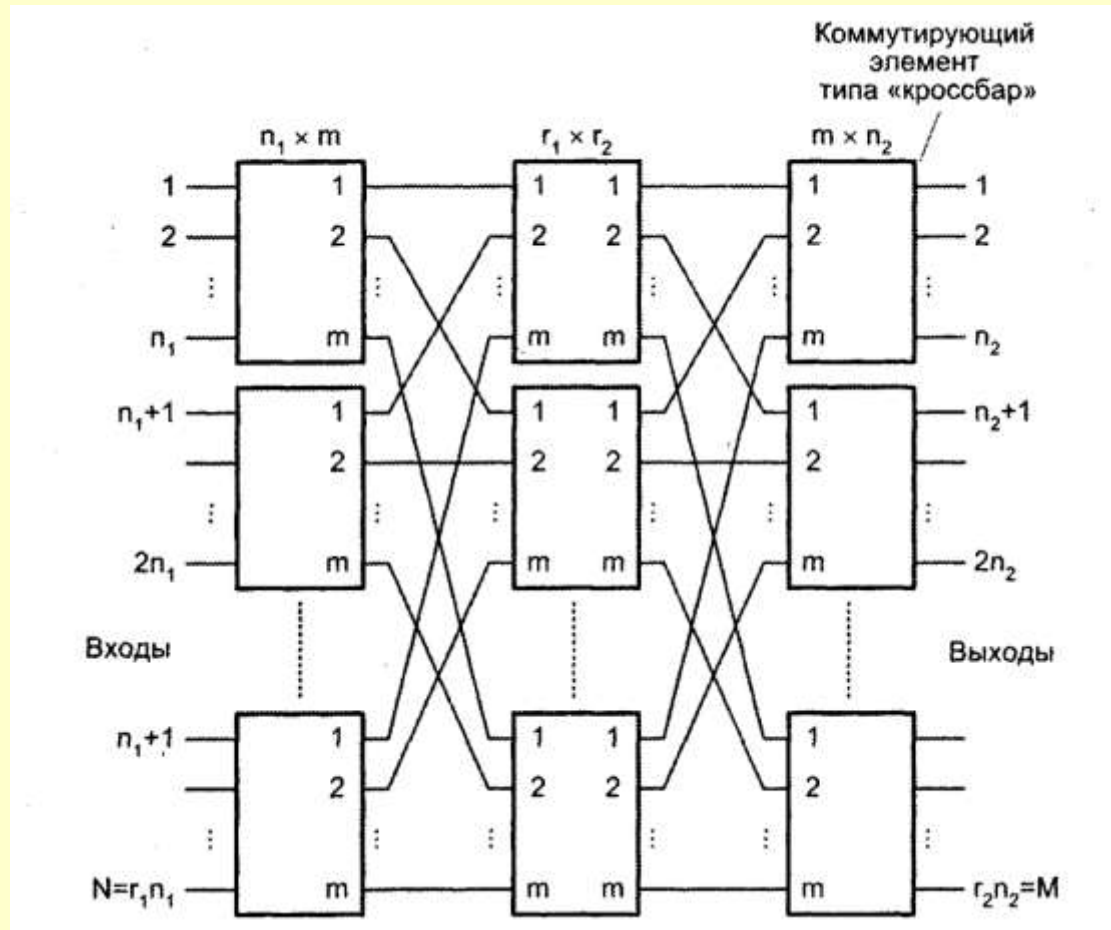
а — по базе 4; б — с дополнительной ступенью

Топология Бенеша



Топология Бенеша 8x8

Топология Клоша



Трехступенчатая сеть с топологией Клоша

Системы коммутации в глобальных сетях