


Paralelné spojovanie s prepájaním paketov

doc. Ing. Martin Medvecký, PhD.

Formy spojovania

- **Sériové spojovanie** - distribuované spojovanie na zdieľanom médiu (zbernica, kruh)
 - **Paralelné spojovanie** - spojovacia sieť (maticové pole) s N vstupmi a M výstupmi
- 
- Použité v telefónnej sieti
 - Historický (technologický) dôvod
 - Kapacitný dôvod

Spojovacia sieť

- **Transportná časť**
 - fyzické médium, ktoré zabezpečuje prenos informácie z jednotlivých vstupov na jednotlivé výstupy
 - je daná svojou architektúrou
 - vykonáva funkcie dané v užívateľskej rovine protokolového modelu siete
- **Riadiaca časť**
 - riadi spojovací proces,
 - jej činnosť je závislá na signalizácií v sieti
 - vykonáva funkcie v riadiacej rovine protokolového modelu siete

Spojovacia sieť

- **Základný spojovací prvok - spojovací element**
 - veľkosť $P \times Q$
 - limitovaná kapacita
- Väčšie polia - väčší počet spojovacích elementov kombinovaných do



viacstupňových spojovacích sietí

(MIN - Multistage Interconnection Networks)

Klasifikácia MIN

- **Podľa typu spojenia**
 - Unicast MIN (one-to-one, point-to-point)
 - Multicast MIN
 - Broadcast MIN

- **Podľa spôsobu transportu paketu v spojovacej sieti**
 - Jednocestná MIN
 - Viaccestná MIN

Klasifikácia MIN

- **Podľa umiestnenia vyrovnávacej pamäte**
 - MIN s vonkajšou vyrovnávacou pamäťou
 - MIN s vnútornou vyrovnávacou pamäťou
 - na vstupe elementu
 - na výstupe elementu
 - v strede elementu

Klasifikácia MIN

- **Podľa riadenia spojovacej siete**
 - MIN s centralizovaným riadením
 - MIN s decentralizovaným riadením

- **Podľa vnútorného blokovania**
 - Siete s blokovaním
 - Siete bez vnútorného blokovania
 - Siete bez vonkajšieho blokovania
 - Rekonfigurovateľné siete bez blokovania

Klasifikácia MIN

- Každá MIN má prvky priestorového aj časového prepojenia

- **Priestorová zložitosť MIN** - počet spojovacích elementov potrebných pre konštrukciu danej siete

- **Časová zložitosť MIN** - čas/oneskorenie paketu pri prechode sieťou

Charakteristika

- Unicast spojovacie siete - spájajú jeden vstup s jedným výstupom (v tom istom čase)
- Jednocestné spojovacie siete - majú iba jednu cestu/možnosť spojenia medzi ľubovoľným vstupom a výstupom
- Reprezentant:
 - generalizovaná binárna sieť
(GBN - Generalized Binary network)

Generalizovaná binárna sieť

- **Označovanie**
 - Každý vstup a výstup siete sú označené binárnym číslom (zhora nadol)
 - vstup $P = p_{n-1}p_{n-2} \dots p_1p_0$
 - výstup $D = d_{n-1}d_{n-2} \dots d_1d_0$

pre každý stupeň i v spojovacej sieti.

Generalizovaná binárna sieť

- Veľkosť $N \times N$ ($2^n \times 2^n$)
- Vlastnosti:
 - používa spojovacie elementy 2×2 ,
 - má n stupňov ($0, 1, \dots, n-2, n-1$)
 - má 2^{n-1} spojovacích elementov na stupeň
 - pre funkciu spojenia medzi stupňami platí **pravidlo susedstva**

„Každý pár spojovacích elementov z i -teho stupňa je spojený len s jedným párom spojovacích elementov z $(i+1)$ -vého stupňa“

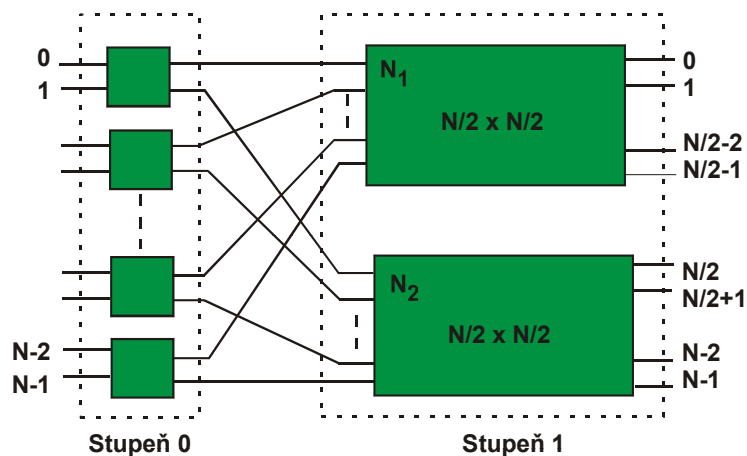
Baseline sieť

- Slúži ako referencia pre posúdenie iných GBN sietí
- Spojovacia funkcia medzi dvomi stupňami sa nazýva reverzné miešanie (Reverse Shuffle) a je definovaná:

$$\text{reshuffle}(p_{n-1}p_{n-2} \dots p_1p_0) = p_0p_{n-1}p_{n-2} \dots p_2p_1$$

- Výsledkom reverzného miešania je rotácia doprava

Baseline sieť



Baseline sieť - blokovanie

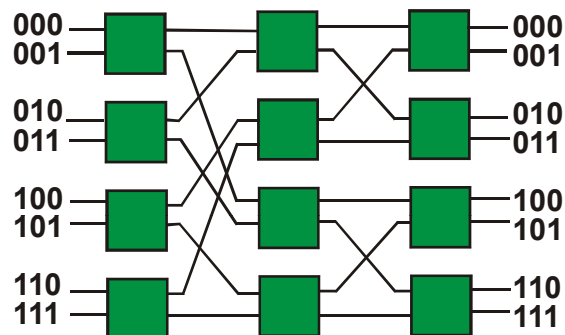
- Sieť má $(N/2) \cdot \log_2 N$ spojovacích elementov
- Každý spojovací element má 2 stavy
- V sieti je možných $2^{(N/2) \cdot \log_2 N} = N^{N/2}$ konfigurácií
- Ide o permutačnú sieť s množstvom permutácií $N!$
- Pravdepodobnosť uskutočnenia spojenia/permutácie:

$$P(N) = N^{(N/2)}/N!$$

- Pravdepodobnosť vzniku blokády:

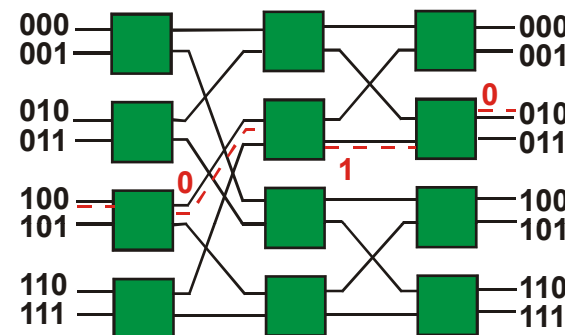
$$B(N) = 1 - P(N)$$

Baseline sieť pre N=8



Pravdepodobnosť vzniku blokády: $N = 8, P(N) = 0,1, B(N) = 0,9$

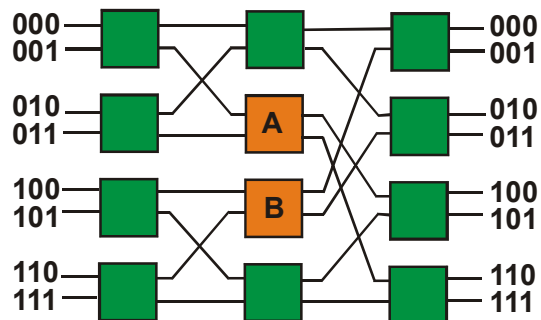
Baseline sieť - samosmerovanie



Smerovací tag = 010

Smerovacia logika - 0 = horný výstup, 1 = dolný výstup

Reverzná Baseline sieť



Banyan sieť

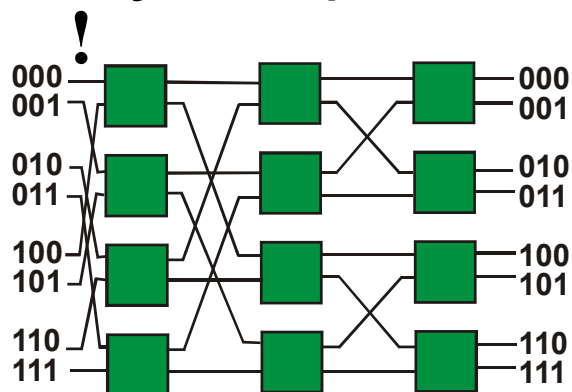
- Nazýva sa aj *generalizovaná kubická sieť*
- Spojovacia funkcia medzi dvomi stupňami:

$$\text{cube}_i (p_{n-1}p_{n-2} \dots p_1p_0) = p_{n-1}p_{n-2} \dots p_{i+1}\bar{p}_ip_{i-1} \dots p_2p_1p_0$$

kde \bar{p} označuje komplement p

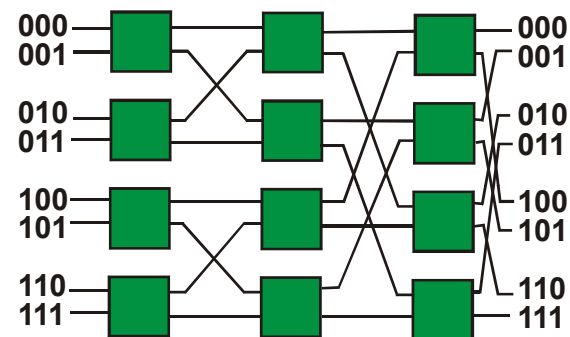
- Vzťah znamená, že na stupni i spojovacieho stupňa vstupujú do spojovacieho elementu linky s adresou, ktorá sa líši na mieste i .

Banyan sieť pre N=8



Pravdepodobnosť vzniku blokády: $N = 8$, $P(N) = 0,1$, $B(N) = 0,9$

Reverzná Banyan sieť



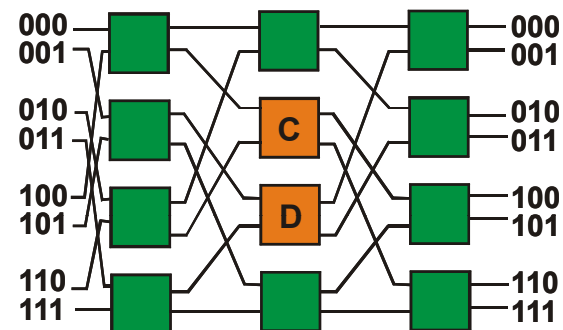
Omega sieť

- Je charakterizovaná zmiešavacím (shuffle) algoritmom na každom stupni
- Spojovacia funkcia medzi dvomi stupňami:

$$\text{shuffle}(p_{n-1}p_{n-2} \dots p_1p_0) = p_{n-2}p_{n-3} \dots p_1p_0p_{n-1}$$

Výsledkom dokonalého miešania je rotácia doľava

Omega sieť pre N=8



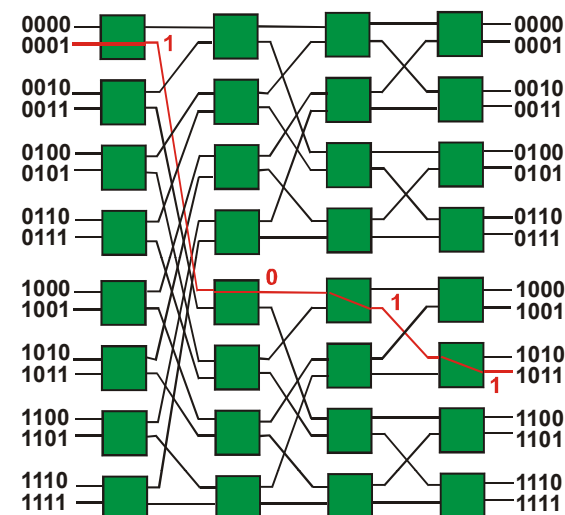
Výmenou SE C a D dostaneme Banyan sieť

Pravdepodobnosť vzniku blokády: $N = 8$, $P(N) = 0,1$, $B(N) = 0,9$

Delta sieť

- Definícia GBN predpokladá SE 2x2
- Vo všeobecnosti počet vstupov a počet výstupov SE môže byť rôzny - (*Irregular Networks*)
- **Delta-b** siete:
 - pravouhlá topológia NxN
 - identické spojovacie elementy bxb
 - počet stupňov je $\log_b N = k$
 - N/b spojovacích elementov na stupeň
 - $N = b^k$

Delta-2 sieť pre N=16



Viaccestné siete

- Zabezpečujú alternatívne cesty medzi vstupmi a výstupmi
- Zachovávajú samosmerovacie vlastnosti siete a len minimálne komplikujú časovú zložitosť



Zlepšenie spoľahlivosti a priepustnosti siete

Baseline sieť s delenou záťažou

Samosmerovanie:

- Paket môže byť poslaný do ktoréhokoľvek SE v jednej skupine a vždy dôjde na určený výstup bez zmeny smerovacej informácie (*tag*)
- Ak je niektorý SE blokovaný, ostatné SE v tej istej skupine spracujú prevádzku
- Podmienka dosiahnutia alternatívnej cesty



SE sa musia párovať

Baseline sieť s delenou záťažou

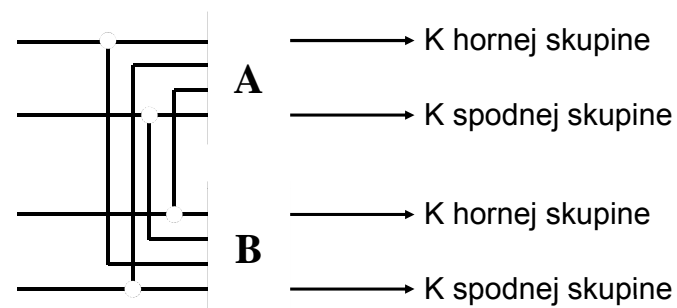
Uvažujme:

- viacstupňovú Baseline sieť s n stupňami číslovanými od 0 po n-1
- nech $(s_{n-2}s_{n-3} \dots s_1s_0)$ je binárne vyjadrenie polohy SE smerom zhora nadol v každom stupni

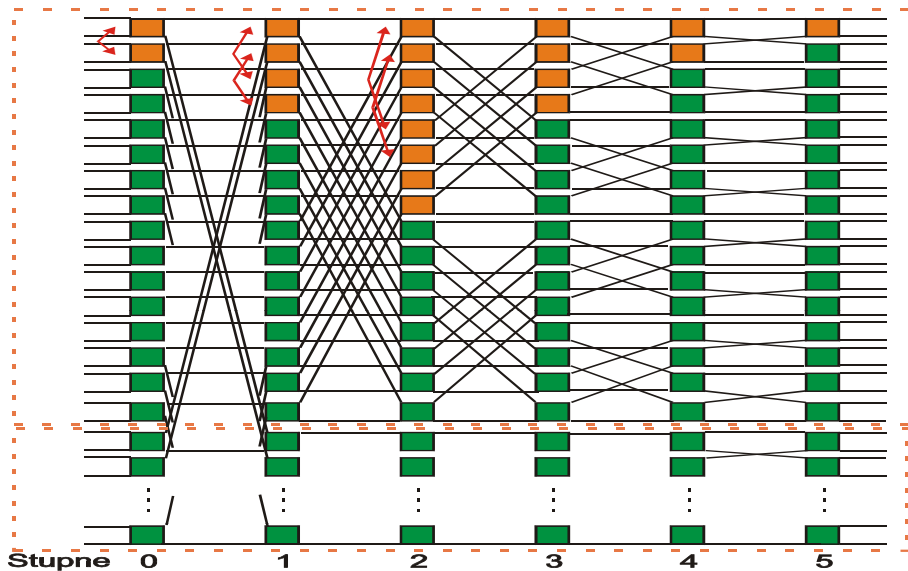


SE v i-tom stupni patria do tej istej skupiny, ak v ich binárnom vyjadrení je zľava i bitov totožných

Párovanie



Čím viac SE v jednom stupni sa podieľa na prevádzke, tým viac alternatívnych ciest sieť poskytuje



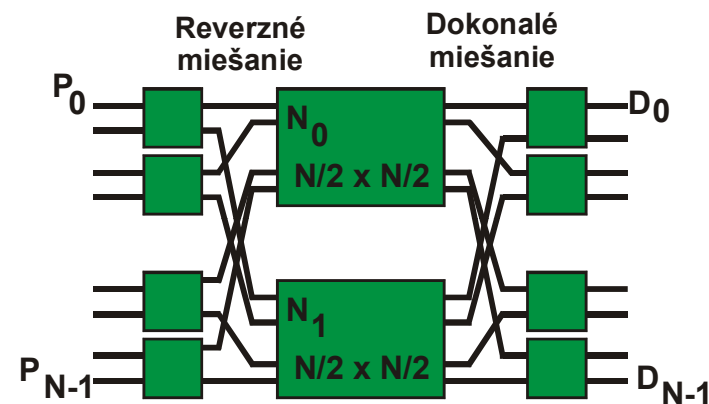
Charakteristika

- Sieť s blokovaním - vyžadujú opatrenia na potlačenie blokovania
 - najčastejšie - umiestnenie vyrovnávacích pamätí v sieti
 - iné riešenie - sieť bez blokovania
- Sieť bez blokovania:
 - topologicky bez blokovania
 - riadením bez blokovania

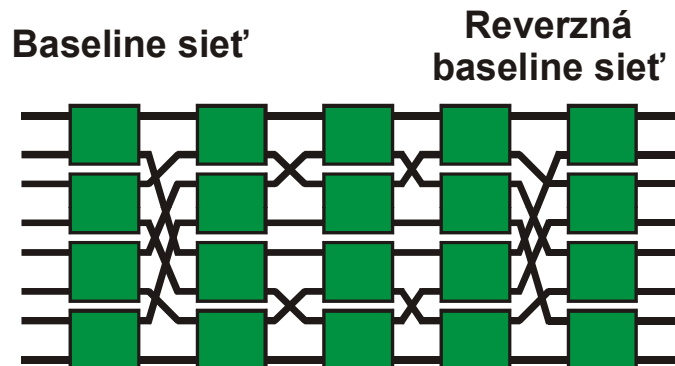
Benešova sieť (Sériová baseline sieť)

- Využíva princíp viacnásobného radenia jednocestných GBN
- Topológia môže byť generovaná rekurzívnym spôsobom s využitím dokonalého a reverzného miešania
- Sieť má:
 - $(2\log_2 N - 1)$ stupňov
 - v každom stupni $N/2$ spojovacích elementov

Benešova sieť



Benešova sieť 8x8



Benešova sieť

- Benešova sieť = rekonfigurovateľná sieť bez blokovania

vyžaduje algoritmus pre rekonfiguračný proces

- Rekonfiguračný algoritmus pre:
 - centralizované riadenie - existuje (napr. slučkový rekurzívny algoritmus)
 - decentralizované riadenie - neexistuje (vhodnejšie pre FPS)

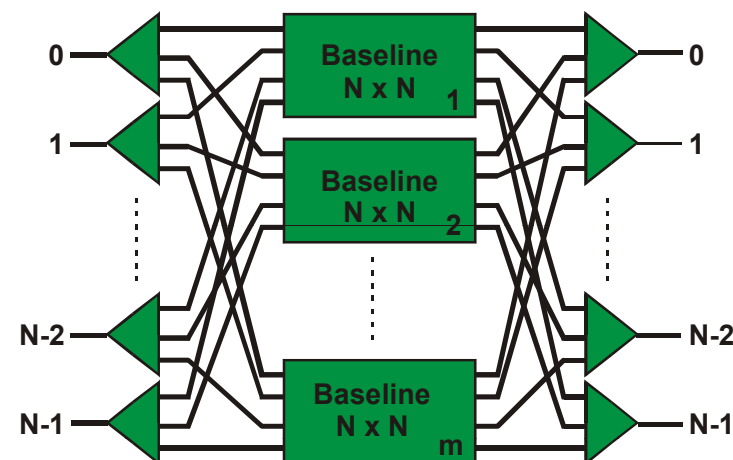
Paralelná baseline sieť

- Nevýhody sériovej baseline siete:
 - ťažké lokalizovanie chybných SE
 - veľký počet stupňov

Paralelná baseline sieť

- Pozostáva z m baseline podsietí radených paralelne
- Na vstupe a výstupe siete je realizovaná funkcia expanzie a koncentrácie

Paralelná baseline sieť



Paralelná baseline sieť

- Počet stupňov (ak nerátame vstupné a výstupné stupne) = počet stupňov v baseline podsieti
- Podmienka bezblokovosti pre rekonfigurovateľnú paralelnú sieť:
ak $n = \log_2 N$ je počet stupňov v baseline podsieti, tak počet paralelných podsietí $N \times N$ musí byť

$$m \geq 2^{(n/2)}$$

Closova sieť

- Topologicky bez blokovania

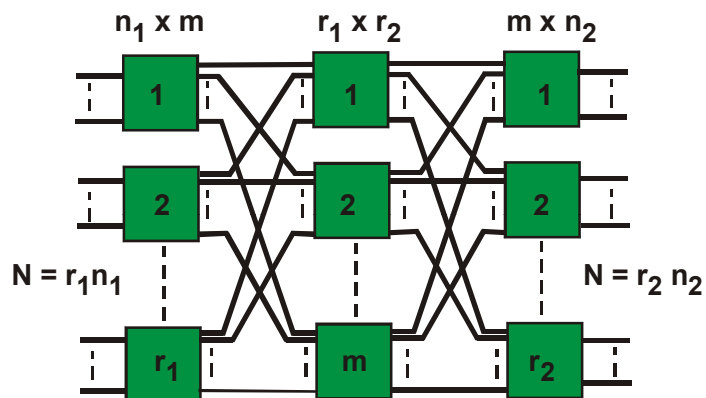
nevyžaduje algoritmus pre rekonfiguráciu siete

- Podmienka bezblokovosti

$$m \geq (n_1 - 1) + (n_2 - 1) + 1$$

$$m \geq n_1 + n_2 - 1$$

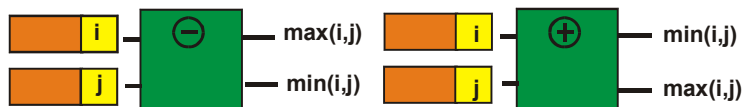
Closova sieť



Batcherova sieť

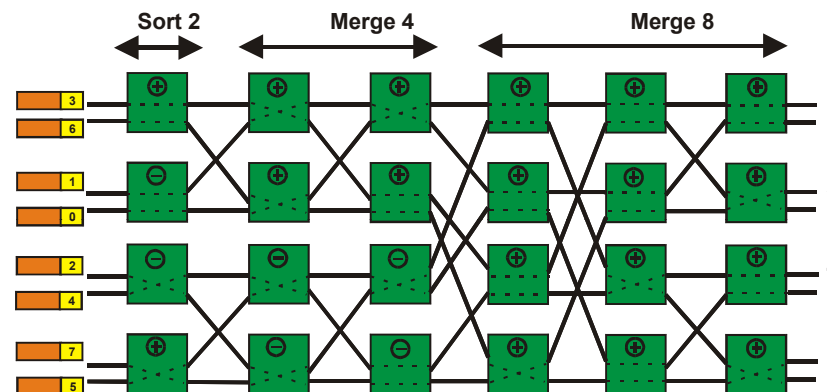
- Je určená pre prepájanie paketov s jednou, pevne stanovenou dĺžkou
- Nemá smerovacie vlastnosti
- Triedi vstupujúce pakety podľa ich adresy výstupu (od najmenších adries k najväčším)
- Použitý prvok - **bitonický triedič** 2x2

Bitonický triedič



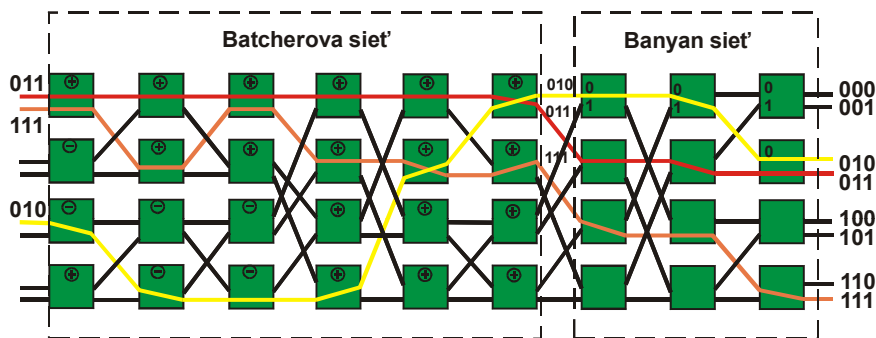
- Dva druhy elementov - „+“ a „-“
- Ak je na vstupe elementu len jeden paket - je smerovaný akoby mal nižšiu adresu

Batcherova sieť 8x8



Pakety sú na výstupe siete zoradené podľa vzostupných adries

Batcher-banyan sieť

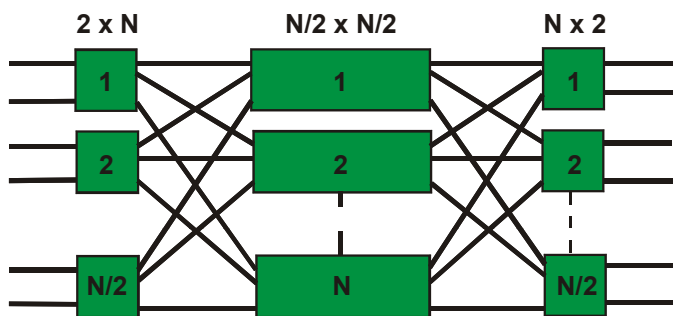


Ak existuje možnosť výskytu rovnakých výstupných adries na vstupe siete, je potrebné použiť vyrovnávacie pamäte.

Multicast siete

- Ľubovoľná skupina vstupov sa môže prepojiť s ľubovoľnou množinou výstupov
 - každý vstupný port môže byť spojený s viac ako jedným výstupným portom
 - každý výstupný port je zvyčajne spojený najviac s jedným vstupným portom
- Môžu uskutočniť N^N rôznych spojení (*unicast siete len $N!$*)
- Ako multicast sieť môže fungovať každá unicast sieť ktorej spojovacie elementy dokážu prepojiť svoje vstupy na viac výstupov

Closova multicast sieť



- Trojstupňová sieť
- Vstupný a výstupný stupeň majú multicast vlastnosti
- Stredný stupeň nemá multicast vlastnosti

Closova multicast sieť

Požiadavky na prevádzku bez blokovania

$$m \geq \max(N_1, N_2)$$

kde

$$N_1 = \min(n_1 r_2, n_2 r_2), \quad N_2 = \min(n_2 r_1, n_1 r_1)$$

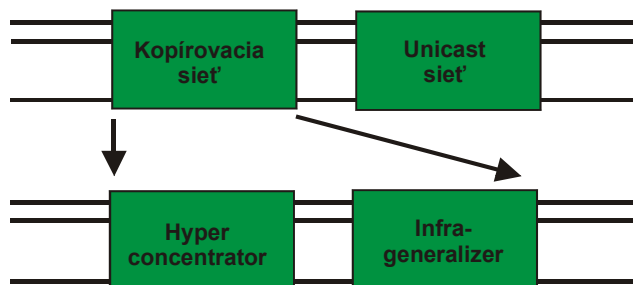
tak, že akákoľvek skupina vstupov K_1

$$1 \leq K_1 \leq r_1$$

môže byť súčasne priradená k akejkoľvek skupine výstupov K_2

$$1 \leq K_2 \leq r_2$$

Kaskádne siete



Kopirovacía sieť vytvorí viacnásobné kópie paketov ktoré sú následne smerované v normálnej unicast sieti.