

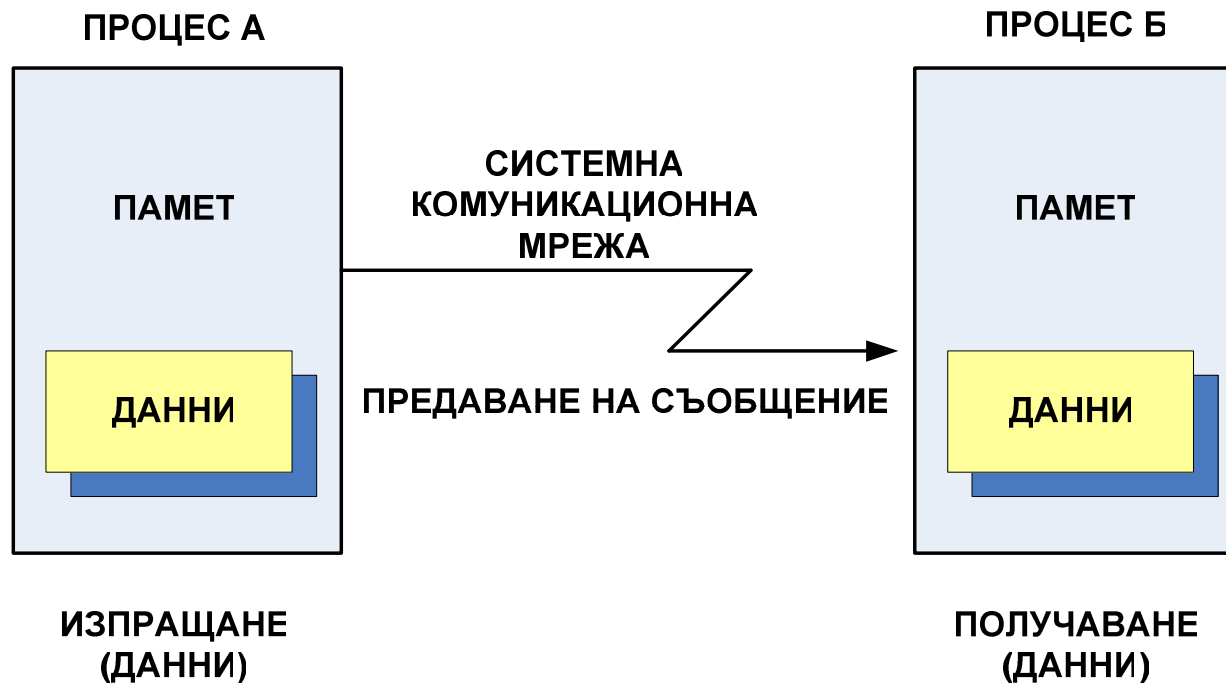


КОМУНИКАЦИИ В ПАРАЛЕЛНИТЕ СИСТЕМИ

ПРОФ. ПЛАМЕНКА БОРОВСКА

Комуникация "от-точка-до-точка" (point-to-point)

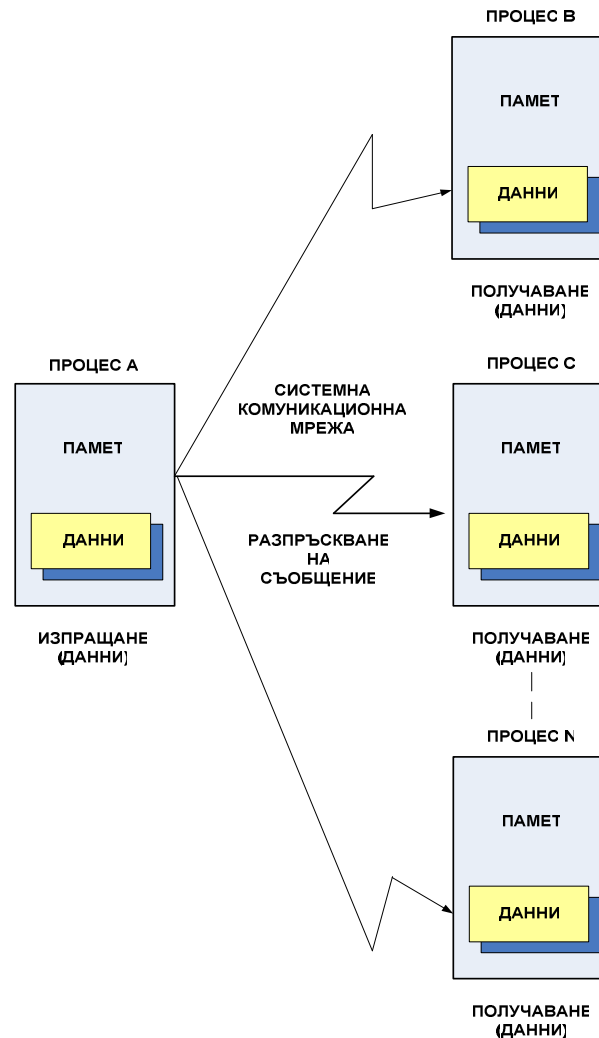
- "комуникация между последователни процеси" – "рандеву"
- Комуникациите с блокиране ограничават производителността на паралелните системи поради загубите на процесорно време
- Затова се предпочитат неблокиращи операции за комуникации, при които може да се използва буфериране на съобщението.



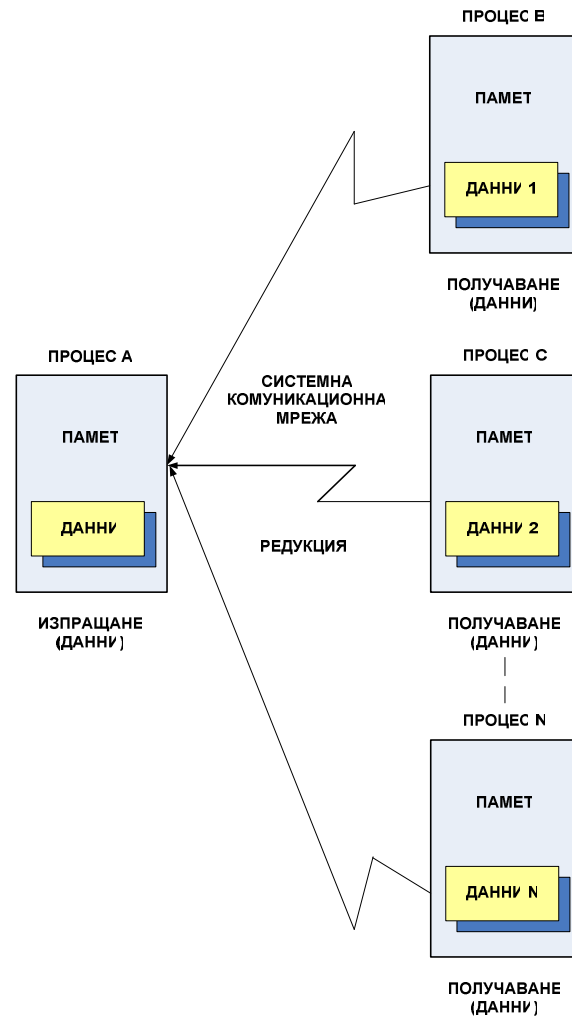
Колективна комуникация

- Глобален информационен обмен и глобална координация между множество процесори в рамките на паралелния компютър
- Комуникация от тип "ВСИЧКИ–С–ВСИЧКИ" ("*all-to-all*") е от най-интензивните и с най-натоварен трафик
- Всеки процесор в дадена процесорна група изпраща съобщение до всички останали процесори в групата
- В зависимост от естеството на съобщението, което се изпраща, комуникацията от тип "ВСИЧКИ–С–ВСИЧКИ" може да бъде по-нататък класифицирана като разпръскване "ВСИЧКИ–С–ВСИЧКИ" ("*all-to-all broadcast*"), и персонализиран обмен "ВСИЧКИ–С–ВСИЧКИ" ("*all-to-all personalized exchange*") или "*gossiping*"
- Колективната персонализирана комуникация може да се използва като ефективен еталон за оценка на комуникационния потенциал на системната мрежа

Колективна комуникация "разпръскване"



Колективна комуникация "редукция"



СТАТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СИСТЕМНИТЕ КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ

1. **ТОПОЛОГИЯ** - ключов фактор, определящ комуникационната производителност, надеждността и възможностите за самовъзстановяване на паралелната компютърна система, осигурява пълна система на връзките
 - *Статични топологии* - комуникационните връзки между два процесора са пасивни и некомутируемите шини не подлежат на реконфигурация
 - При *динамичната категория мрежи* могат да се променят чрез реконфигурация на активните комутаторни елементи - обхваща три топологични класа: едностъпални, многостъпални и кросбар (комутираща матрица)





КЛАСИФИКАЦИЯ НА СИСТЕМНИТЕ КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ

- **Многостъпалните мрежи** са разпределени в следните класове: неблокиращи, блокиращи, реконфигурируеми, едностранни, двустранни и рециркуляционни
- **Неблокиращи мрежи** (non-blocking)
- При **блокиращите мрежи** реализацията на някои пермутации при едновременни заявки за ползване на общ комуникационен ресурс води до временно локално блокиране в мрежата, в резултат на което закъсненията на различните съобщения варират и се налага буферизиране до освобождаване на съответния комуникационен ресурс



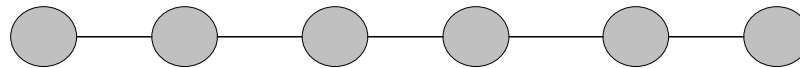


СИСТЕМНИ КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ

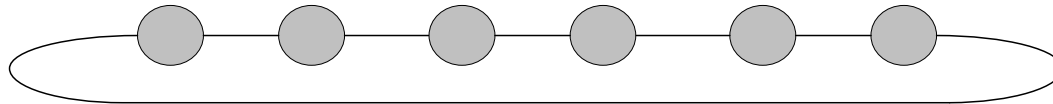
- Реконфигурируемите мрежи осигуряват полиморфна структура на връзките чрез динамична промяна на топологията на мрежите
- Архитектурна реконфигурация
- Реконфигурация за устойчивост на откази
- Рециркуляционни мрежи



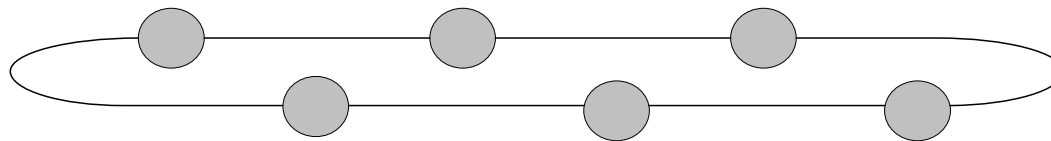
Линейни мрежи и рингове



Линейно свързване.

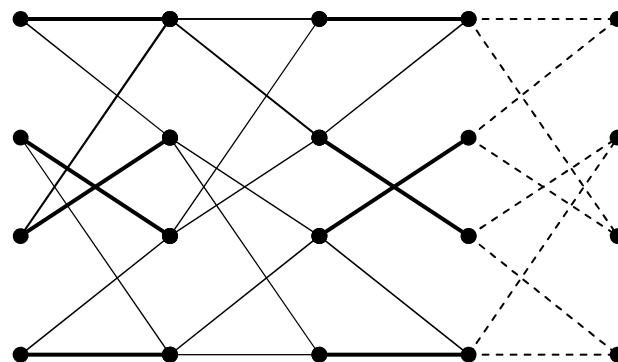
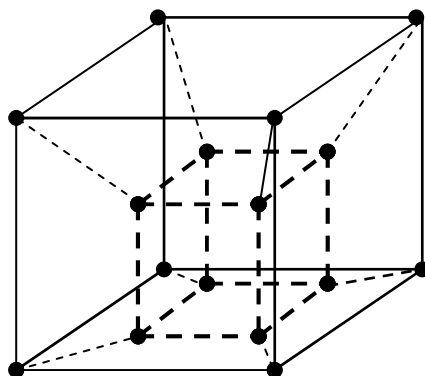
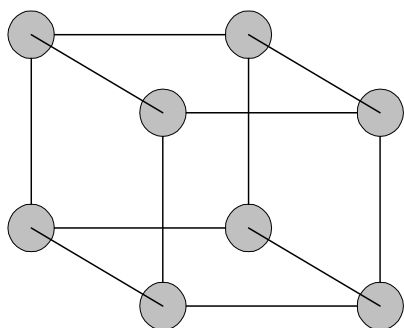
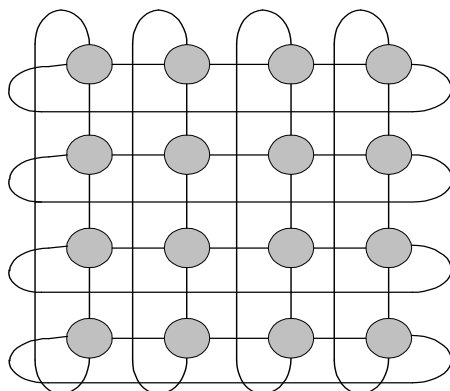
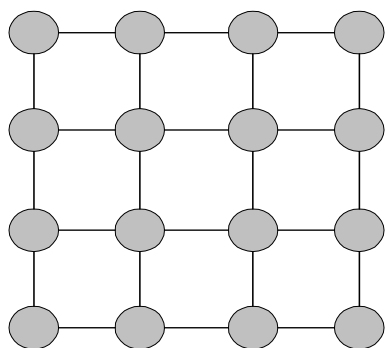
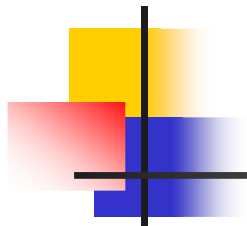


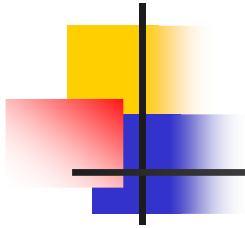
Ринг (Торус)



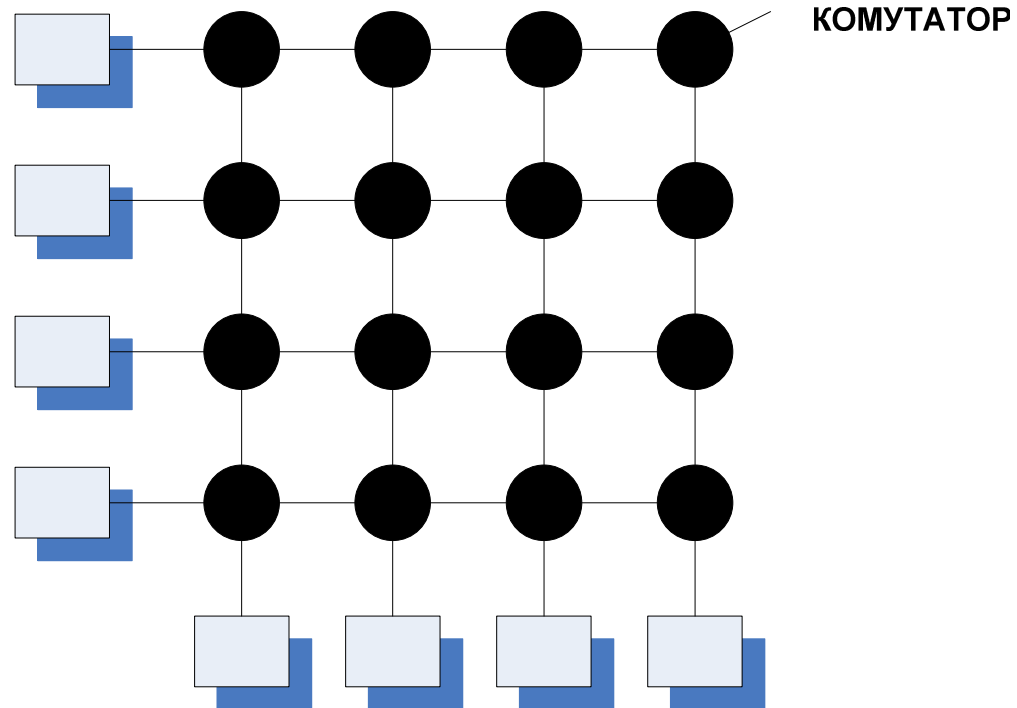
Ринг аранжиран за имплементация с къси връзки

Многомерни решетки и торуси

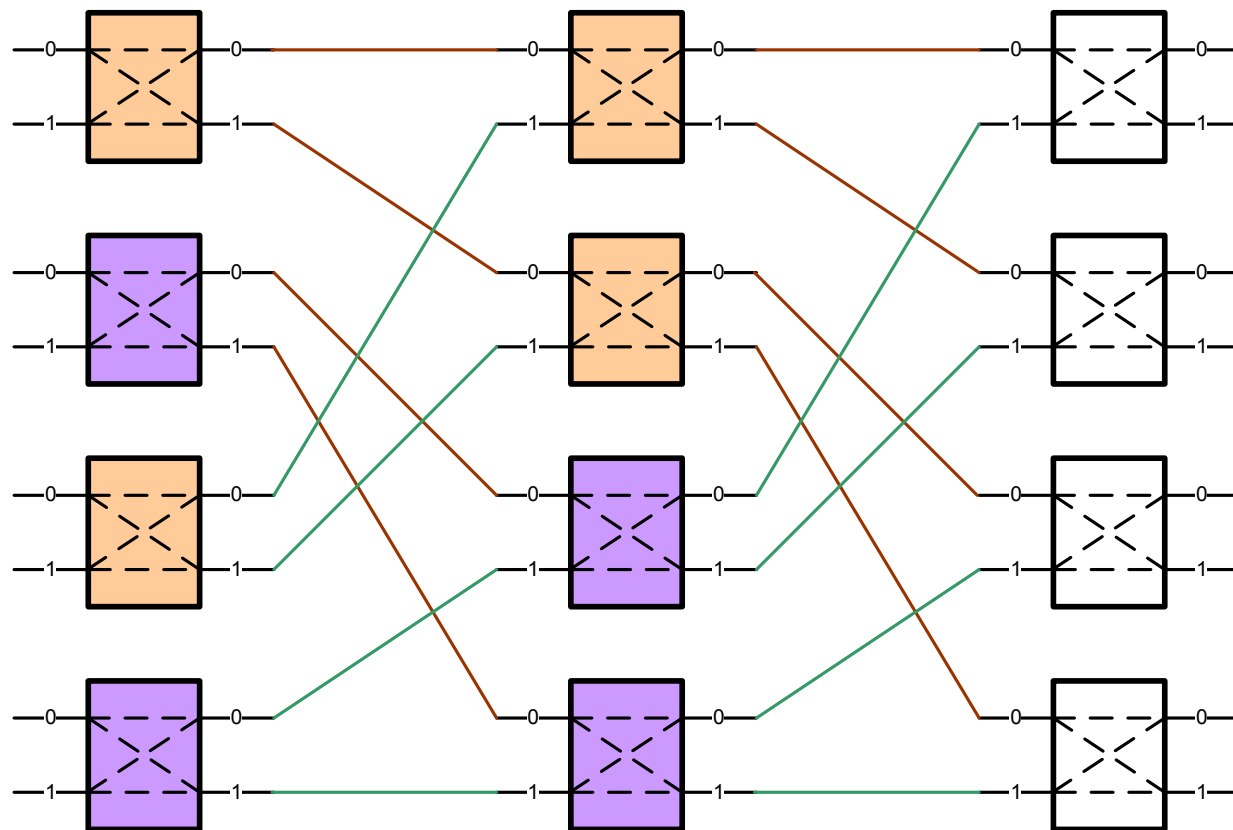




Кросбар



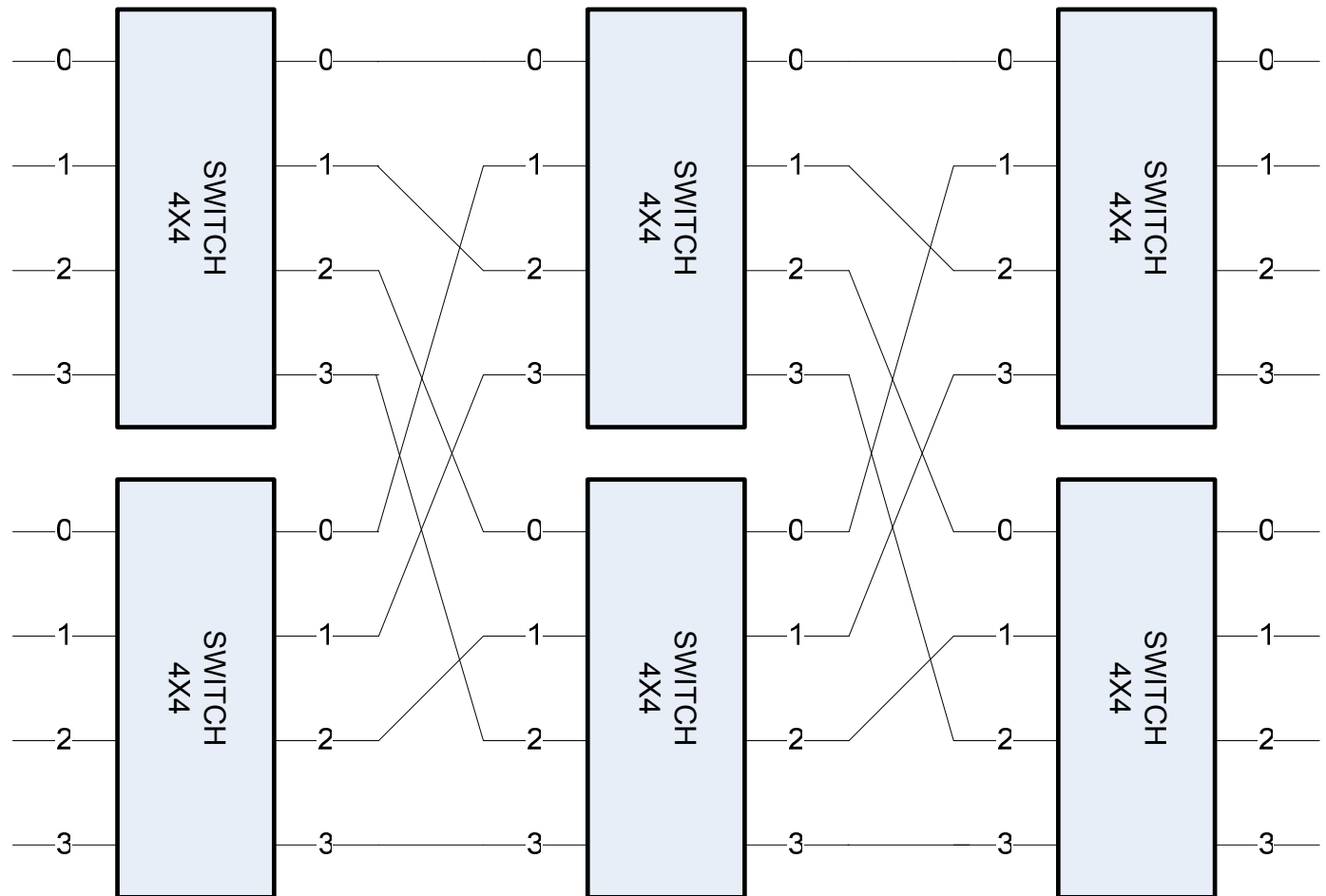
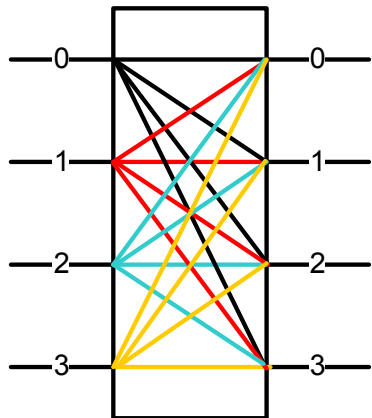
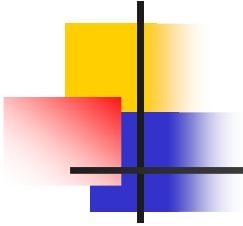
ОМЕГА (buddy property)



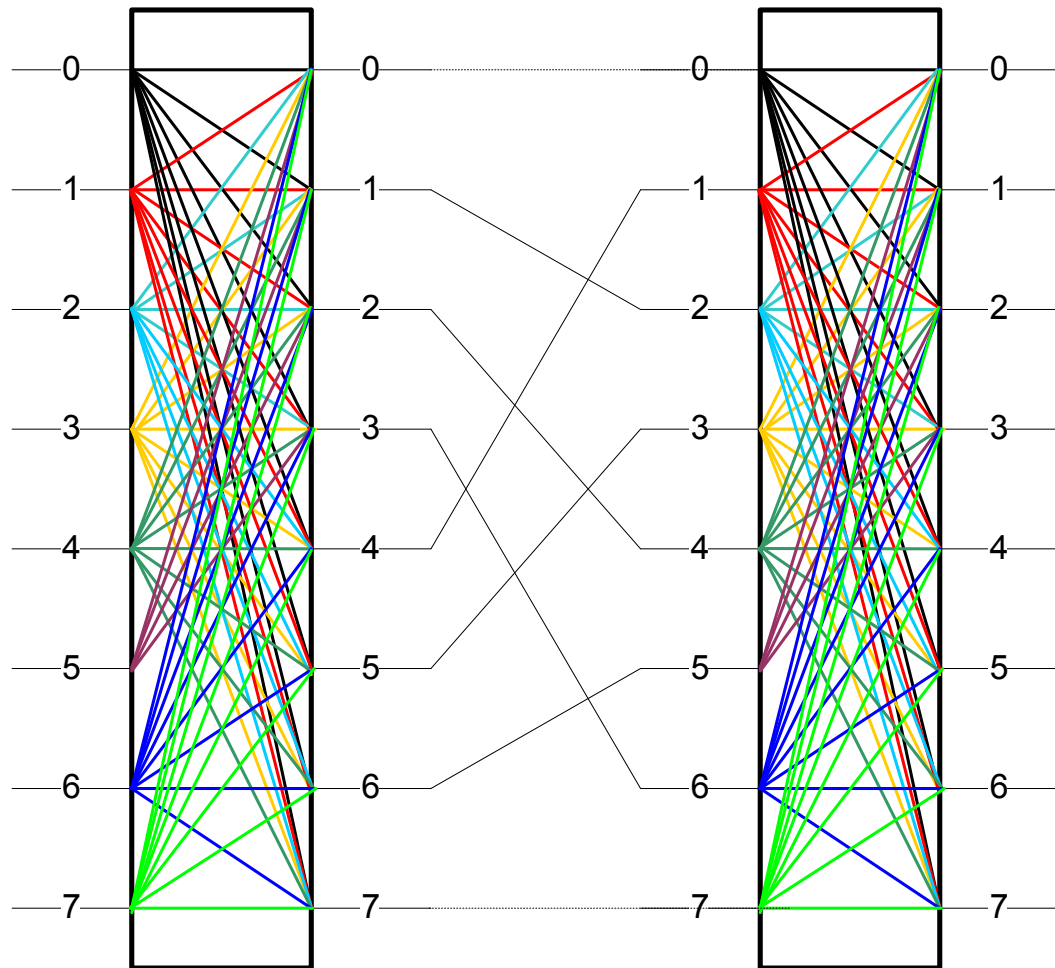
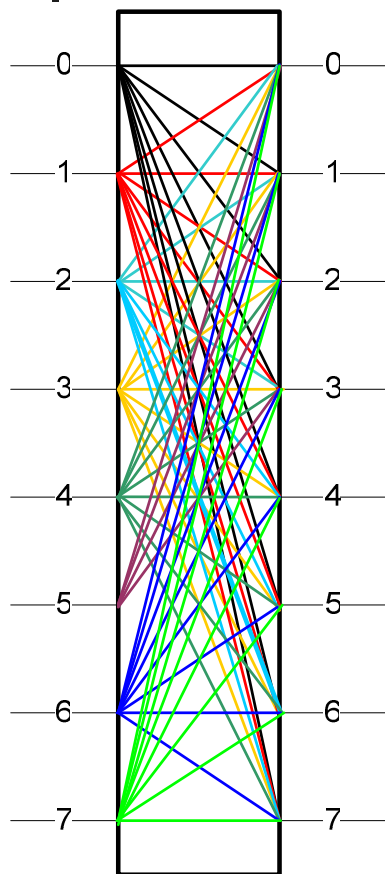
СПРЕГНАТИ ДВОЙКИ
(BUDDIES)



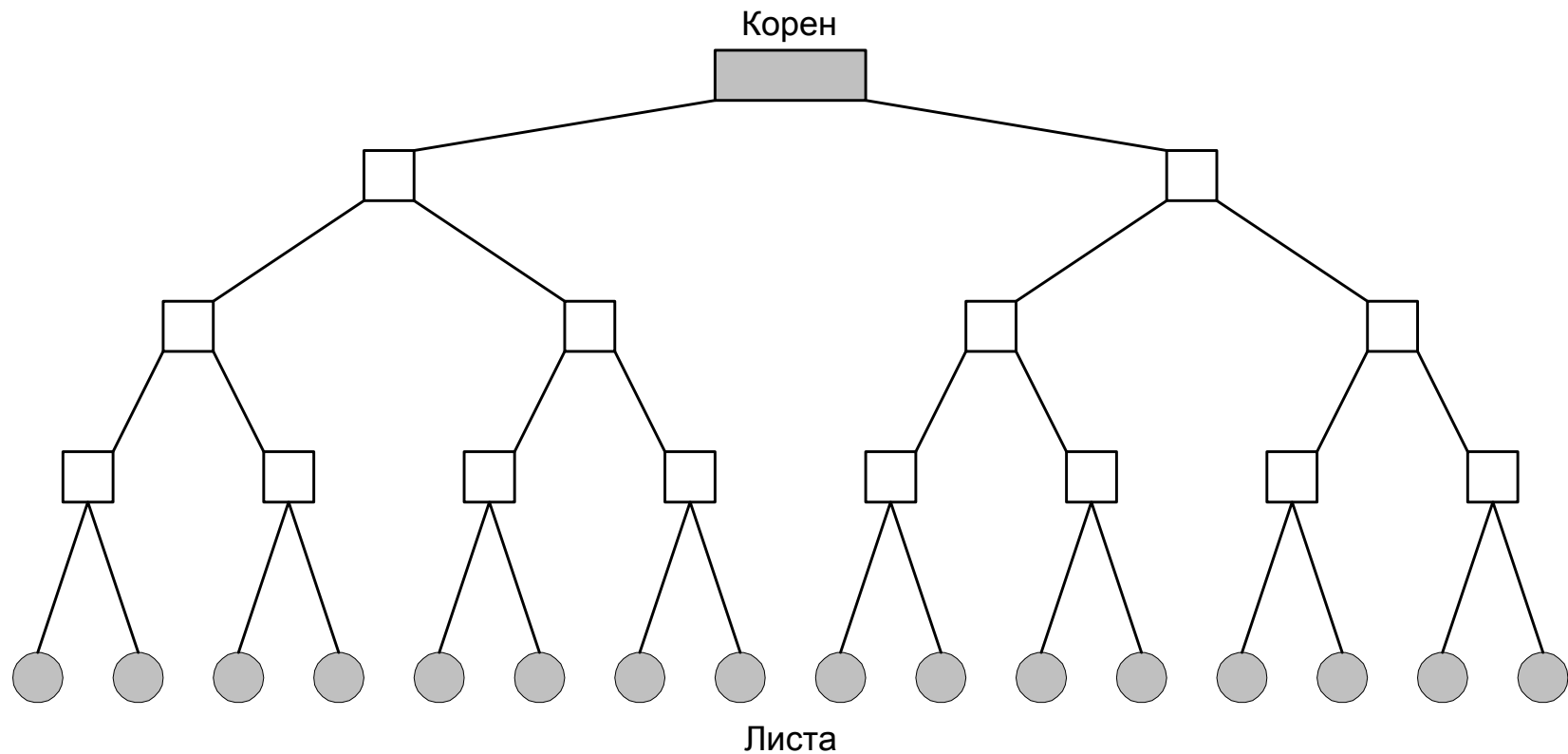
ОМЕГА (КОМУТАТОРИ 4X4)



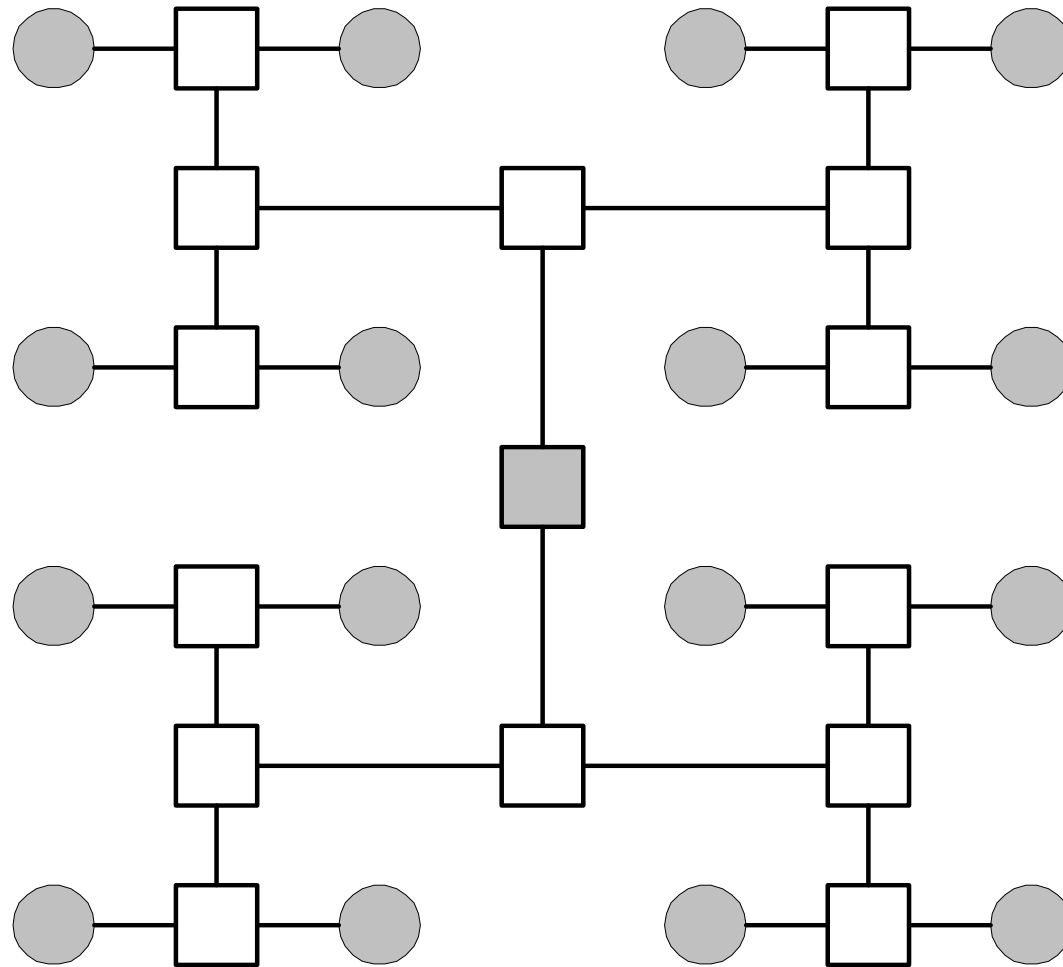
ОМЕГА (КОМУТАТОРИ 8X8)



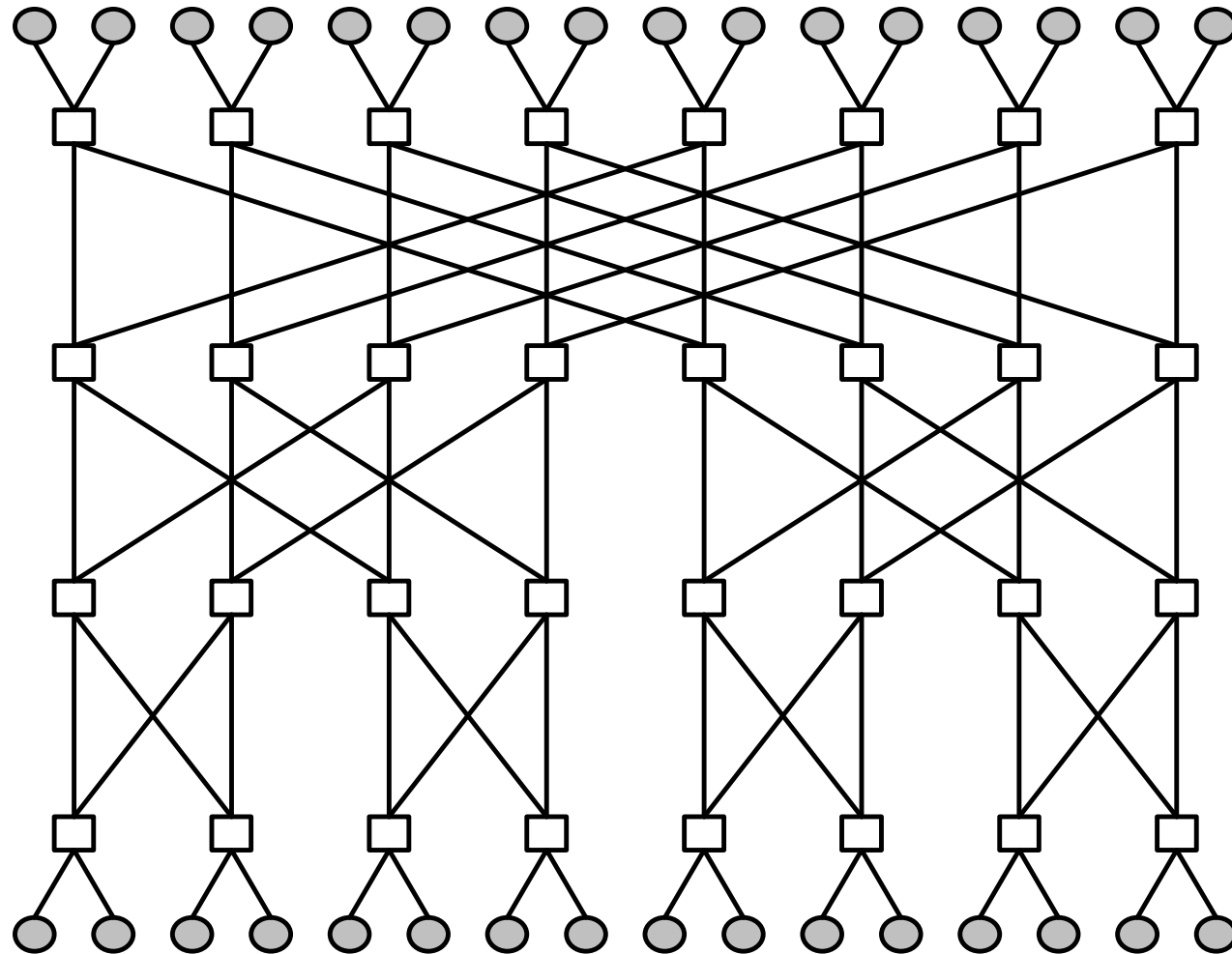
Топология бинарно дърво



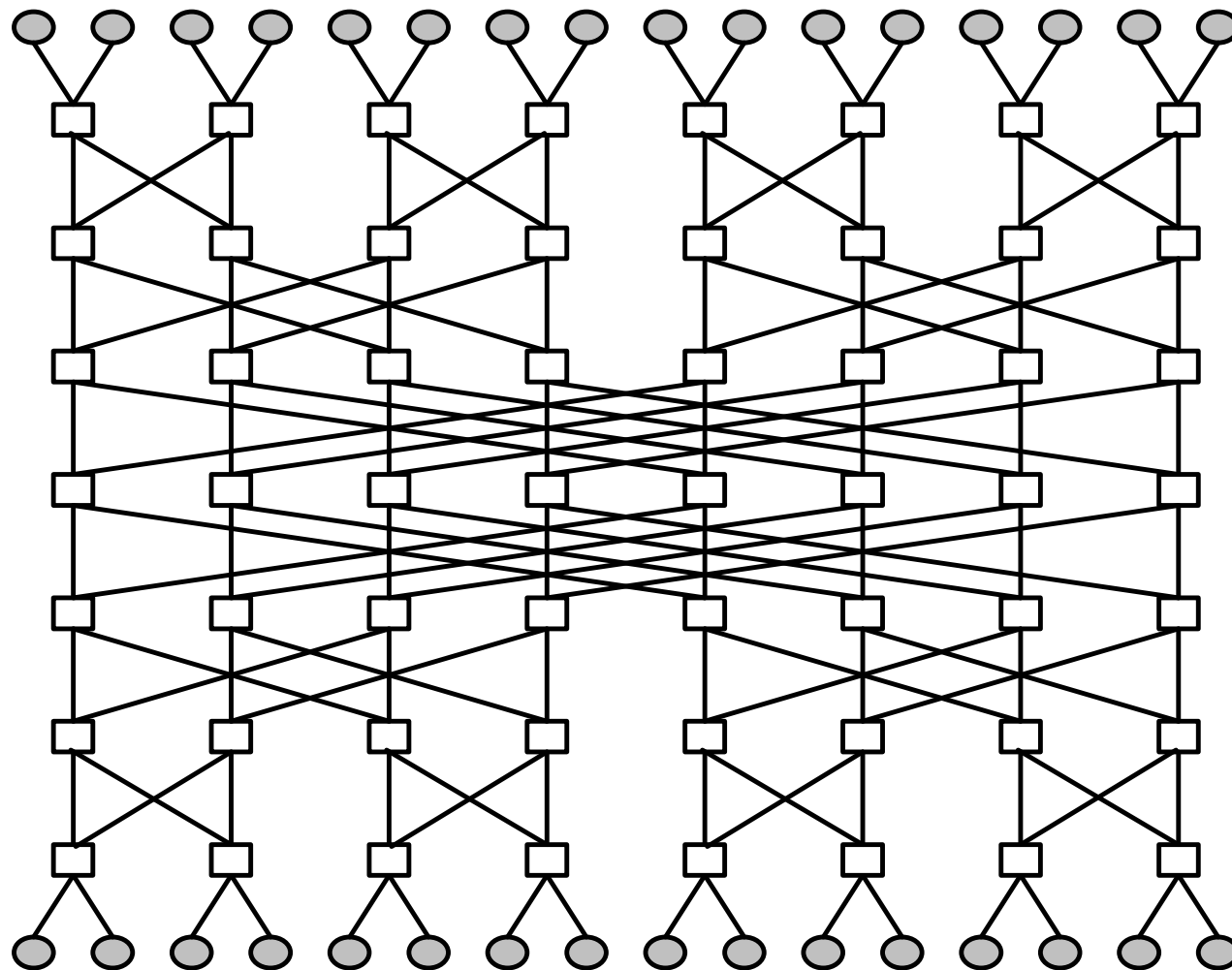
Влагане на топология бинарно дърво в планарна структура



Мрежова топология Butterfly



Многостъпална мрежа Bennet

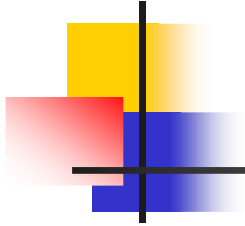




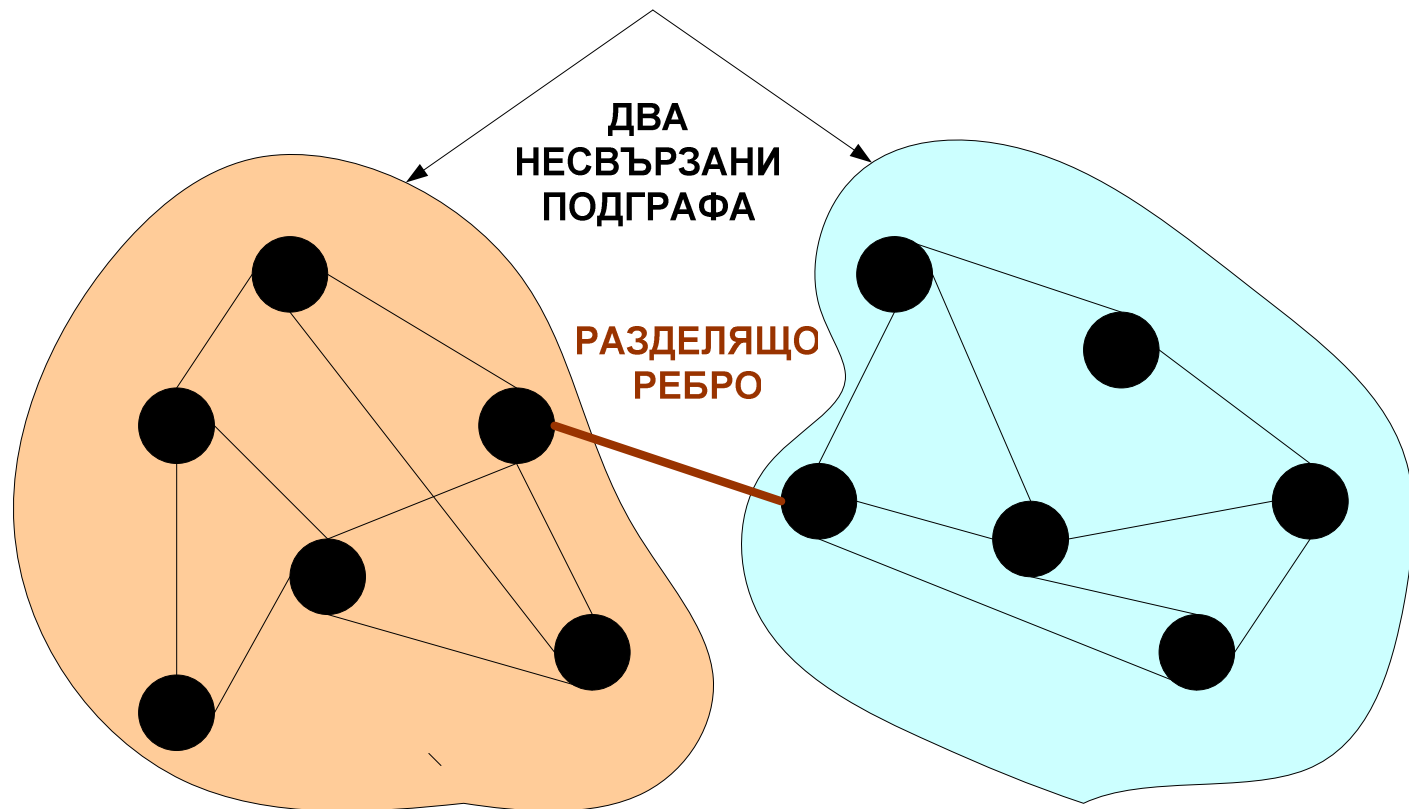
Схеми на комуникациите

- Граф-теоретични модели
- Възлите представят комутаторите
- Дъгите представят комуникационните връзки
- Статични характеристики – пълнота на системата връзки (всички пермутации), диаметър на графа (най-дълъг път), разделящи ребра

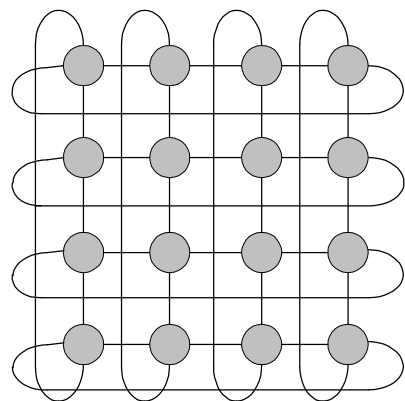




Разделящи ребра

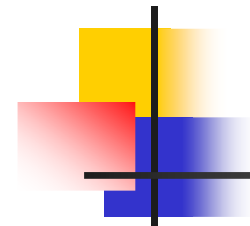


Матрица на минималните разстояния при комуникация

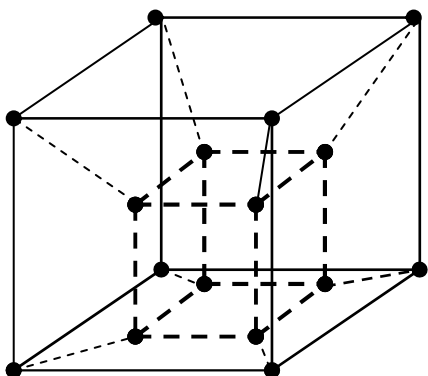


Разстояние	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄
P ₁₁	0	1	2	1	1	2	3	2	2	3	4	3	1	2	3	2
P ₁₂	1	0	1	2	2	1	2	3	3	2	3	4	2	1	2	3
P ₁₃	2	1	0	1	3	2	1	2	4	3	2	3	3	2	1	2
P ₁₄	1	2	1	0	2	3	2	1	3	4	3	2	2	3	2	1
P ₂₁	1	2	3	2	0	1	2	1	1	2	3	2	2	3	4	3
P ₂₂	2	1	2	3	1	0	1	2	2	1	2	3	3	2	3	4
P ₂₃	3	2	1	2	2	1	0	1	3	2	1	2	4	3	2	3
P ₂₄	2	3	2	1	1	2	1	0	2	3	2	1	3	4	3	2
P ₃₁	2	3	4	3	1	2	3	2	0	1	2	1	1	2	3	2
P ₃₂	3	2	3	4	2	1	2	3	1	0	1	2	2	1	2	3
P ₃₃	4	3	2	3	3	2	1	2	2	1	0	1	3	2	1	2
P ₃₄	3	4	3	2	2	3	2	1	1	2	1	0	2	3	2	1
P ₄₁	1	2	3	2	2	3	4	3	1	2	3	2	0	1	2	1
P ₄₂	2	1	2	3	3	2	3	4	2	1	2	3	1	0	1	2
P ₄₃	3	2	1	2	4	3	2	3	3	2	1	2	2	1	0	1
P ₄₄	2	3	3	2	3	4	3	2	2	3	2	1	1	2	1	0

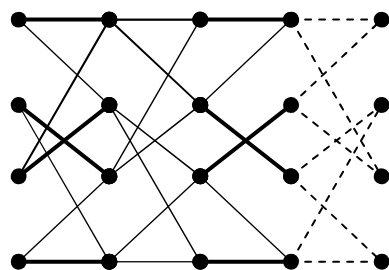
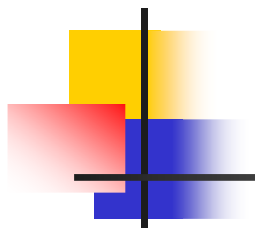
Матрица на минималните разстояния при комуникация



Разстояние	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₅	P ₂₆	P ₂₇	P ₂₈
P ₁₁	0	1	2	1	1	2	3	2	1	2	3	2	2	3	4	3
P ₁₂	1	0	1	2	2	1	2	3	2	1	2	3	3	2	3	4
P ₁₃	2	1	0	1	3	2	1	2	3	2	1	2	4	3	2	3
P ₁₄	1	2	1	0	2	3	2	1	2	3	2	1	3	4	3	2
P ₁₅	1	2	3	2	0	1	2	1	2	3	4	3	1	2	3	2
P ₁₆	2	1	2	3	1	0	1	2	3	2	3	4	2	1	2	3
P ₁₇	3	2	1	2	2	1	0	1	4	3	2	3	3	2	1	2
P ₁₈	2	3	2	1	1	2	1	0	3	4	3	2	2	3	2	1
P ₂₁	1	2	3	2	2	3	4	3	0	1	2	1	1	2	3	2
P ₂₂	2	1	2	3	3	2	3	4	1	0	1	2	2	1	2	3
P ₂₃	3	2	1	2	4	3	2	3	2	1	0	1	3	2	1	2
P ₂₄	2	3	2	1	3	4	3	2	1	2	1	0	2	3	2	1
P ₂₅	2	3	4	3	1	2	3	2	1	2	3	2	0	1	2	1
P ₂₆	3	2	3	4	2	1	2	3	2	1	2	3	1	0	1	2
P ₂₇	4	3	2	3	3	2	1	2	3	1	2	2	2	1	0	1
P ₂₈	3	4	3	2	2	3	2	1	2	3	2	1	1	2	1	0



Матрица на минималните разстояния при комуникация



Разстояние	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄
P ₁₁	0	1	2	1	4	1	2	1	2	3	2	3	4	3	2	3
P ₁₂	1	0	1	2	3	2	1	2	1	2	3	2	3	4	3	4
P ₁₃	2	1	0	1	2	3	2	3	2	1	4	1	2	3	4	3
P ₁₄	1	2	1	0	3	2	1	2	1	2	3	2	3	4	3	4
P ₂₁	4	3	2	3	0	3	2	3	4	1	2	1	2	1	2	1
P ₂₂	1	2	3	2	3	0	3	2	1	4	1	4	3	2	1	2
P ₂₃	2	1	2	1	2	3	0	3	2	1	4	1	2	3	4	3
P ₂₄	1	2	3	2	3	2	3	0	1	4	1	4	3	2	1	2
P ₃₁	2	1	2	1	4	1	2	1	0	3	2	3	4	3	2	3
P ₃₂	3	2	1	2	1	4	1	4	3	0	3	2	1	2	3	2
P ₃₃	2	3	4	3	2	1	4	1	2	3	0	3	2	1	2	1
P ₃₄	3	2	1	2	1	4	1	4	3	2	3	0	1	2	3	2
P ₄₁	4	3	2	3	2	3	2	3	4	1	2	1	0	1	2	1
P ₄₂	3	4	3	4	1	2	3	2	3	2	1	2	1	0	1	2
P ₄₃	2	3	4	3	2	1	4	1	2	3	2	3	2	1	0	1
P ₄₄	3	4	3	4	1	2	3	2	3	2	1	2	1	2	1	0





Динамични характеристики

- Комуникационни модели
- Капсулиране и фрагментиране на информацията
- Комуникационни протоколи – алгоритъм за маршрутизация и стратегия за комутация
- Управление на потока
- Комуникационна производителност

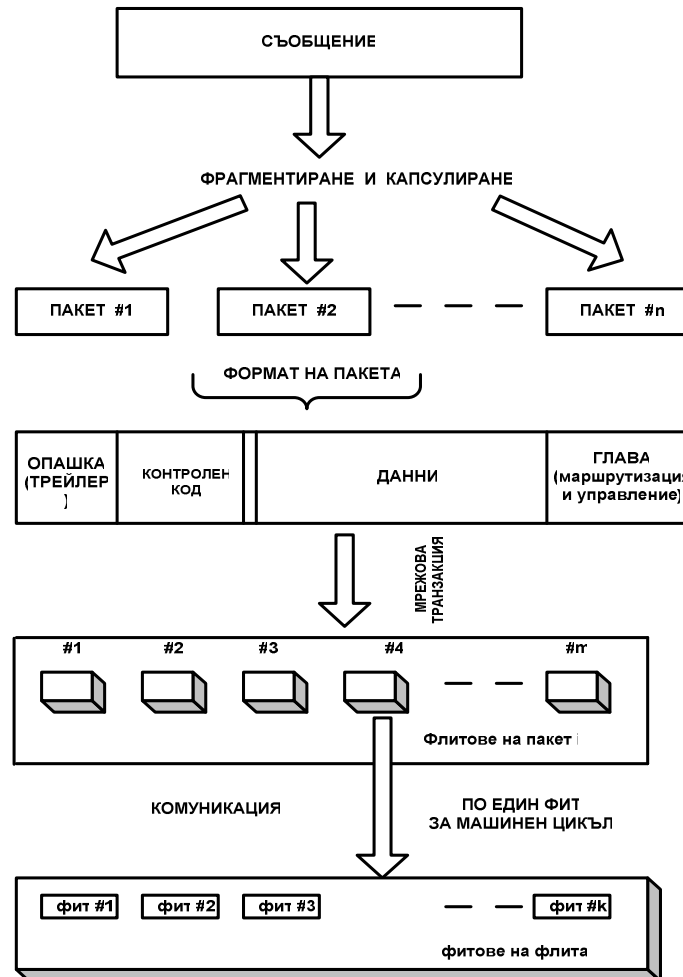


Модели на комуникация

1. Модел с паралелен трансфер едновременно през всички портове в режим на пълен дуплекс (означава се като модел F^*) – режим на "крещене";
 2. Модел с трансфер само през един порт в даден момент в режим на пълен дуплекс (означава се като модел $F1$);
 3. Модел с паралелен трансфер едновременно през всички портове в полудуплексен режим (означава се като модел H^*);
 4. Модел с трансфер само през един порт в даден момент в режим на полудуплекс (означава се като модел $H1$) – режим на "шепот";
- Четирите модела формират спектър, в който моделът F^* осигурява най-ефективната комуникация, а моделът $H1$ – най-неефективната



Капсулиране и фрагментиране на информацията





Стратегия за комутация

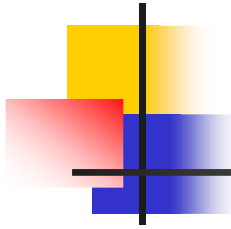
- **Комутация на канали** – телекомуникационните мрежи - каналът се конфигурира чрез маршрутизирането на съобщението през мрежата като маршрутът се резервира отворен за времетраенето на обмена
- **Комутация на пакети** - порцията информация, предавана по дадена комуникационна връзка в рамките на един мрежов цикъл се нарича физическа единица или фит (phit). Размерът му се определя от броя на линните за данни в комуникационния канал и се измерва като брой битове, обменяни в рамките на един машинен цикъл. Порцията информация, предавана по дадена комуникационна връзка в рамките на една комуникационна транзакция се нарича потокова единица или флит (flit).



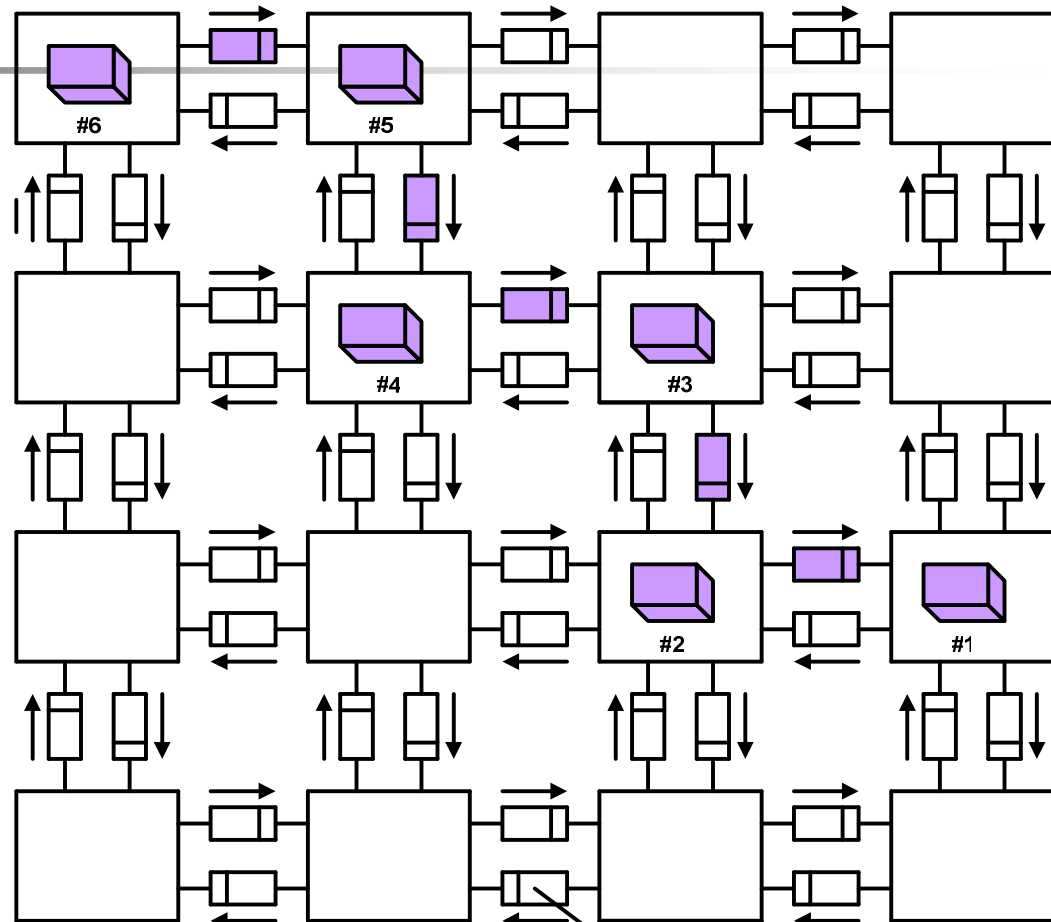
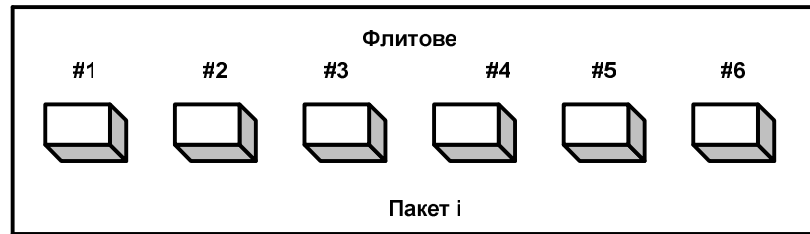


Алгоритъм за маршрутизация

- Маршрутизация с акумулиране на пакета и последващ трансфер (**store-and-forward**);
- Маршрутизация с конвейеризиран трансфер на пакета (**cut-through routing**) .



cut-through routing - wormhole



Комутатор 2x2

Комуникационен канал

Състояние на трафика на мрежата в момента 1



Маршрутизация

- При двумерните решетки всеки пакет носи дистанцията за комуникация за всяка посока $[\Delta x, \Delta y]$ със съответния знак в заглавието на пакета
- Операцията по маршрутизация в комутатор ij се дефинира по следния начин:

<u>Посока</u>	<u>Условие</u>
WEST (-x)	$\Delta x < 0$
EAST (+x)	$\Delta x > 0$
SOUTH (-y)	$\Delta x = 0, \Delta y < 0$
NORTH (+y)	$\Delta x = 0, \Delta y > 0$
HOST	$\Delta x = 0, \Delta y = 0$

- За осъществяването на този тип маршрутизация комутаторът трябва да тества адреса в заглавието и да инкрементира или декрементира съответно едно поле за маршрутизация. В типичния случай маршрутите в двумерна решетка се формират чрез придвижване първо в посока Δx и след това в посока Δy .





Маршрутизация

- По-общ подход представлява задаването на маршрута от подателя на съобщението при който той включва в заглавието на пакетите номера на изходния порт на всеки комутатор по маршрута p_0, p_1, \dots, p_{h-1} .
- Всеки комутатор прочита номера на изходния порт в началото на съобщението и го премахва от заглавието, като комутира съобщението през зададения канал по-нататък в мрежата.
- Този подход осигурява проста структура на комутатора с малко управляващи функции като дори не се изискват аритметични устройства за поддържане на сложни функции по маршрутизация за произволни топологии.
- В случая цялата интелигентност се съсредоточава в хост- възлите.
- Недостатък на разглеждания подход е голямата дължина на заглавието, която варира в процеса на придвижването на пакета в мрежата. Ако локалната степен на комутатора е d и максималната дължина на маршрута е h заглавието на пакета трябва да съдържа $h \log d$ бита за маршрутизация.





Маршрутизация

- На основата на таблици - универсален подход и предполага малко заглавие с фиксиран размер.
- Всеки комутатор съдържа маршрутизираща таблица и всеки пакет съдържа в заглавието си поле за маршрутизация.
- Определянето на съответния изходен порт става чрез търсене на позиция $R(i)$ в таблицата за маршрутизация, зададена в полето за маршрутизация - използва се в комутаторите ATM (Asynchronous Transfer Mode).
- В общия случай в позицията на таблицата се намира и полето за маршрутизация за следващата стъпка на маршрута.
- Недостатък на този подход е, че е необходимо да се обменят служебни съобщения между комутаторите или друг механизъм, който да поддържа актуалното съдържание на таблицата.
- Значително големи таблици са необходими за поддържането дори на прости алгоритми за маршрутизация.
- Този подход се използва главно при компютърните мрежи (глобални и локални) при които в даден интервал от време се използват само някои от маршрутите между възлите за разлика от паралелните компютри при които в общия случай съществува трафик между всички възли.





Алгоритми за маршрутизация

- **Детерминиран (неадаптивен)** - маршрутът на съобщението се определя единствено от взаимното разположение на подателя и дестинацията независимо от трафика в мрежата. Пакетът ще продължи да следва маршрута независимо от това дали по него има блокирана връзка.
- При **адаптивните алгоритми** за маршрутизация трафикът на мрежата оказва влияние върху маршрута на пакета.
- Например, в решетка маршрутът може да следва зигзаг по пътя си към дестинацията заобикаляйки блокирани или отказали връзки.





Алгоритми за маршрутизация

- Ако алгоритъмът за маршрутизация избира най- кратките маршрути до дестинацията той се нарича **минимален**.
- В противен случай той е **неминимален**.
- Наличието на **алтернативни маршрути** от източника до местоназначението е необходимо условие за адаптивната маршрутизация и толерантност към откази като също така осигурява възможности за разпределянето на комуникационния товар между повече връзки.
- **Изборът на конкретен маршрут се прави динамично след като пакетът се присъедини към трафика в мрежата.**
- При адаптивната маршрутизация структурата на комутаторите е с по- висока сложност, но тя осигурява потенциалната възможност за по- добро използване на комуникационните канали.

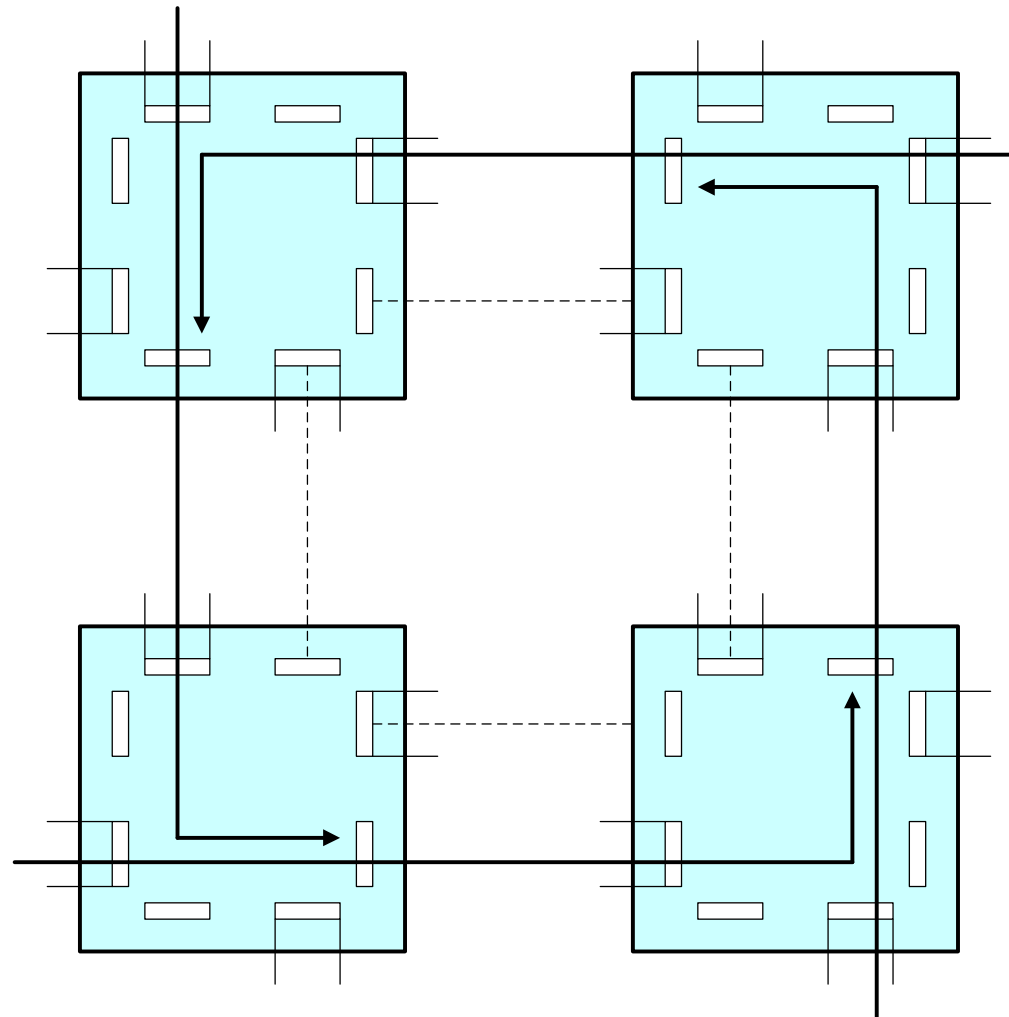


Мъртво блокиране (deadlock)

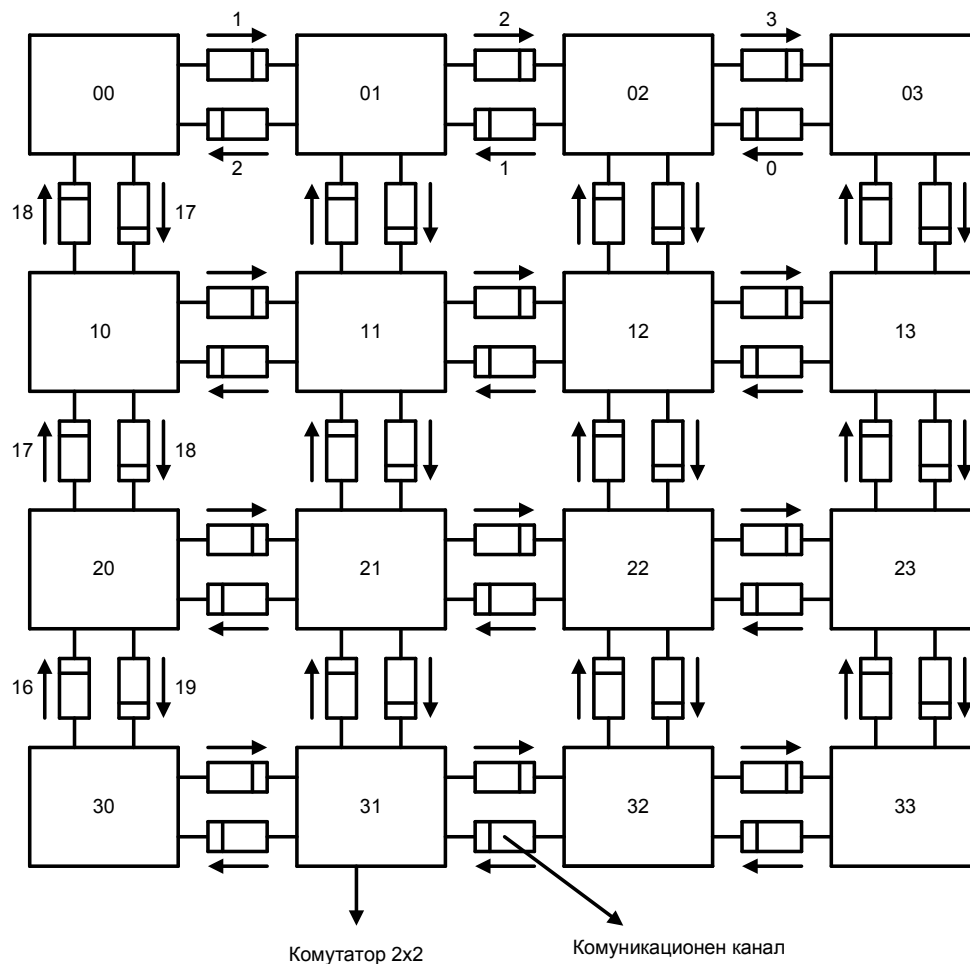
- Възниква в случаите когато пакетът чака събитие, което не може да възникне, например ако никой от пакетите не може да напредне към дестинацията си тъй като опашките на мрежата са пълни и пакетите взаимно се изчакват да освободят комуникационните ресурси.
- Мъртво блокиране може да възникне в различни ситуации. Например в случаите, когато два възела си изпращат взаимно пакети и всеки от тях започва да предава преди никой от тях да започне да приема.
- При мрежите тази ситуация може да възникне при полудуплексни канали или ако управляващото устройство на комутатора не е успяло едновременно да осъществи приемане и предаване по дуплексен канал.

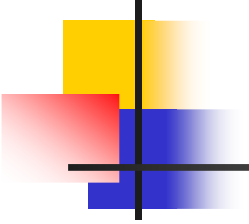


Мъртво блокиране при маршрутизация в мрежата



Предотвратяване на мъртво блокиране





Подходи за проектиране на маршрутизиращи алгоритми, недопускащи мъртво блокиране

- Ограничаване на множеството легални маршрути за пакетите;
- Ограничаване на начините за заемане на ресурсите.

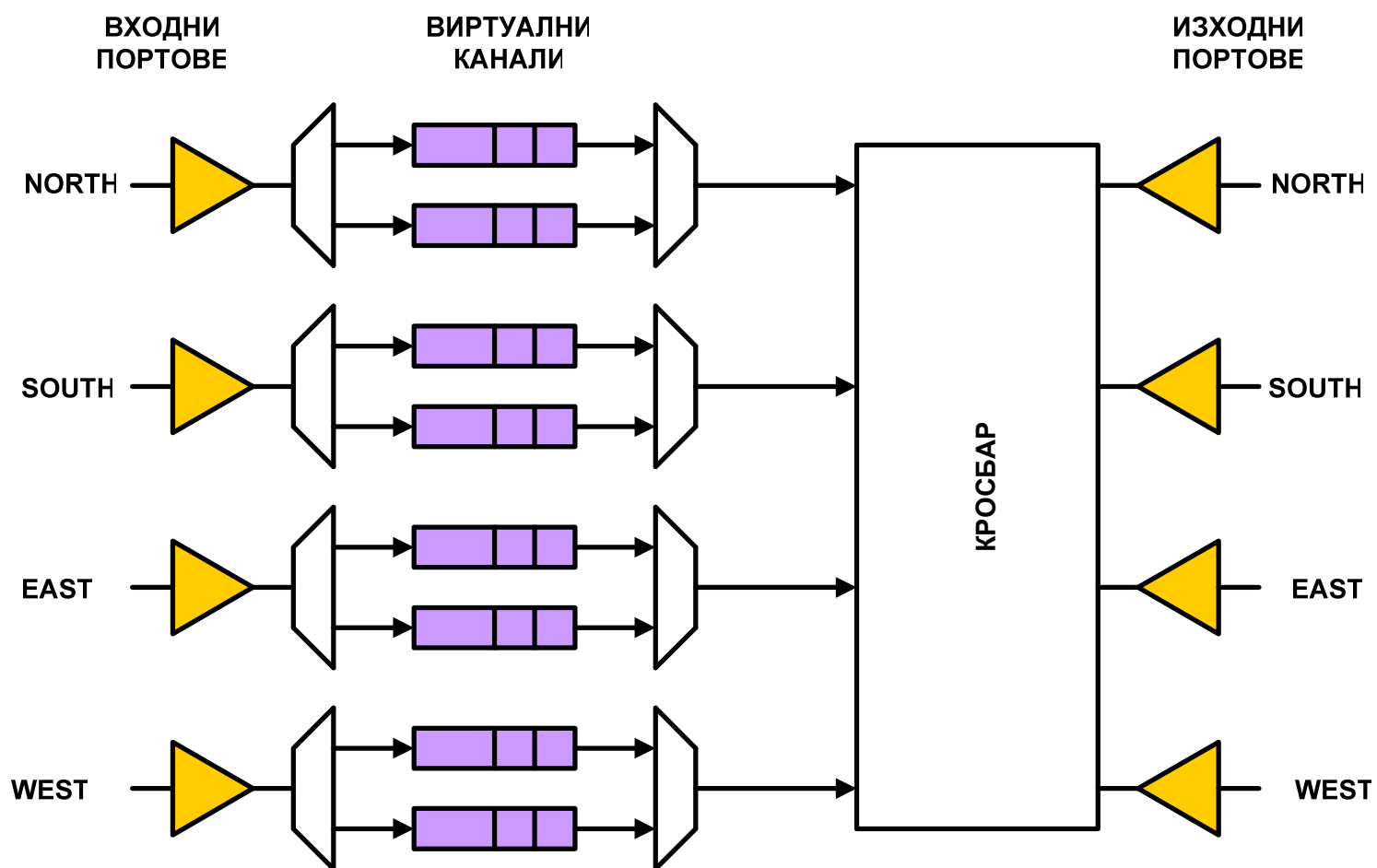


Виртуални канали

- Основната техника за предотвратяване на мъртво блокиране в мрежи с конвейеризиран трансфер и маршрутизация от типа “дупка на червея” е да се осигури множество буфери във всеки физически канал и всеки буфер да се раздели на група виртуални канали.
- Тази техника не увеличава броя на връзките и комутаторите в мрежата.
- Също така не се увеличава размера на вътрешния кросбар във всеки комутатор тъй като в даден момент само един флит се придвижва в комутатора към съответния изходен порт.



Комутатор с виртуални канали

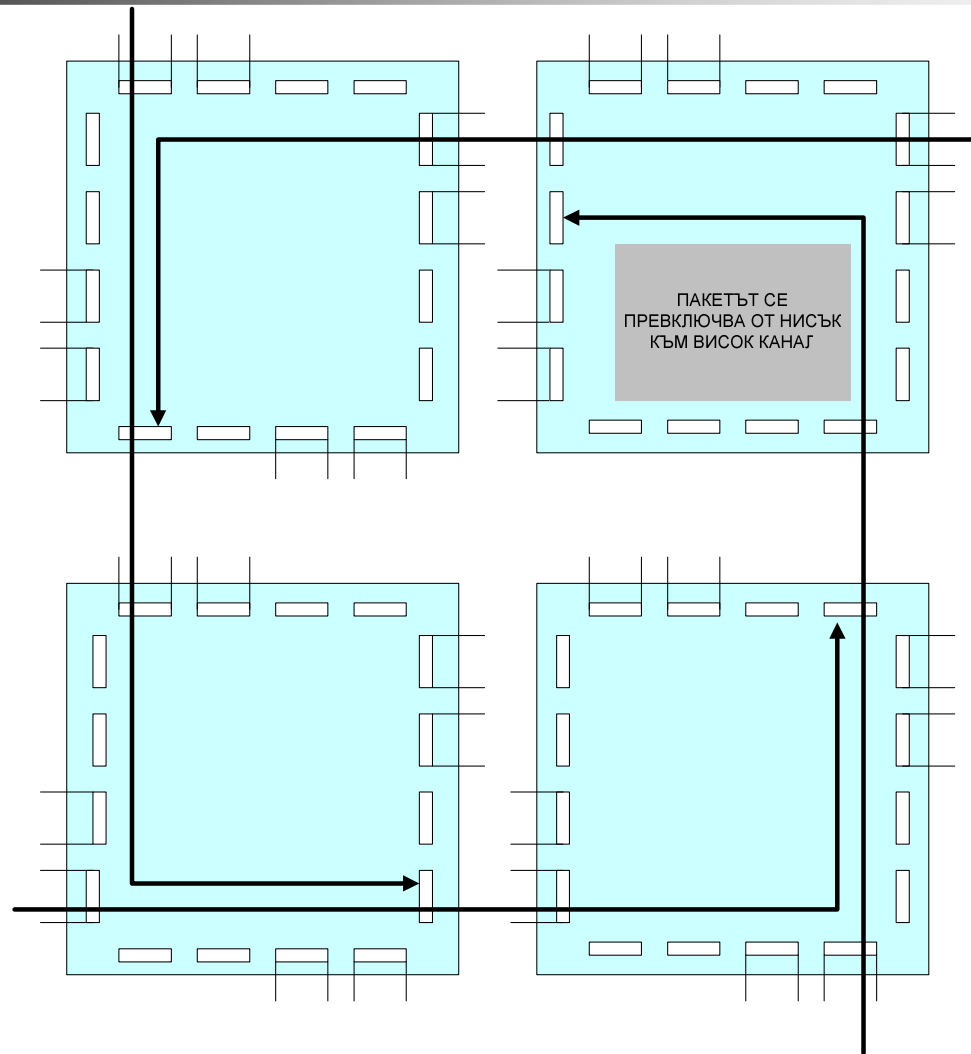


Комутатор с виртуални канали

- С цел предотвратяване на мъртво блокиране нека да организираме два виртуални канала в рамките на всеки физически канал, означени като нисък (с по-малък номер) и висок (с по-голям номер).
- Освен това съобщенията във възли с номера по-големи от номерата на дестинациите си се маршрутизират по високите канали (с по-големи номера).
- Цикълът, предизвикващ мъртво блокиране е разрушен.
- Когато пакетът се предава от нисък (висок) канал на изходния порт на комутатора, той се приема съответно от ниския (високия) канал на приемащия комутатор.
- Това правило се нарушава само при маршрутизация север – запад (NORTH - WEST) при което пакетът се превключва от ниския канал на предаващия комутатор към високия канал на приемащия комутатор.



Предотвратяване на цикли на мъртво блокиране с виртуални канали





Маршрутизация UP – DOWN

- За предотвратяване на мъртво блокиране не за всички топологии е необходимо въвеждането на виртуални канали.
- При положение, че каналите са двупосочни съществува прост алгоритъм за конструиране на маршрути, непредизвикващи мъртво блокиране в произволна топология, който ограничава множеството легални маршрути.
- Основен подход е **да се конструира дървовиден маршрут до листа – дестинации с възходящо номериране на възлите към корена.**
- **За всяка дестинация се формира UP-DOWN маршрут** включващ последователност от канали към възли с по-големи номера т.е. към корена на дървото, последващ завой и последователност от канали към възли с по-малки номера в посока на листата на дървото.
- Множеството маршрути, следващи тази ориентация, са свободни от мъртво блокиране.
- **Мрежовият граф може да съдържа цикли, но графът на зависимостите на каналите при UP-DOWN маршрутизацията не съдържа цикли.**
- Множеството високи канали формира насочен ацикличен граф, както и множеството ниски канали формира насочен ацикличен граф.



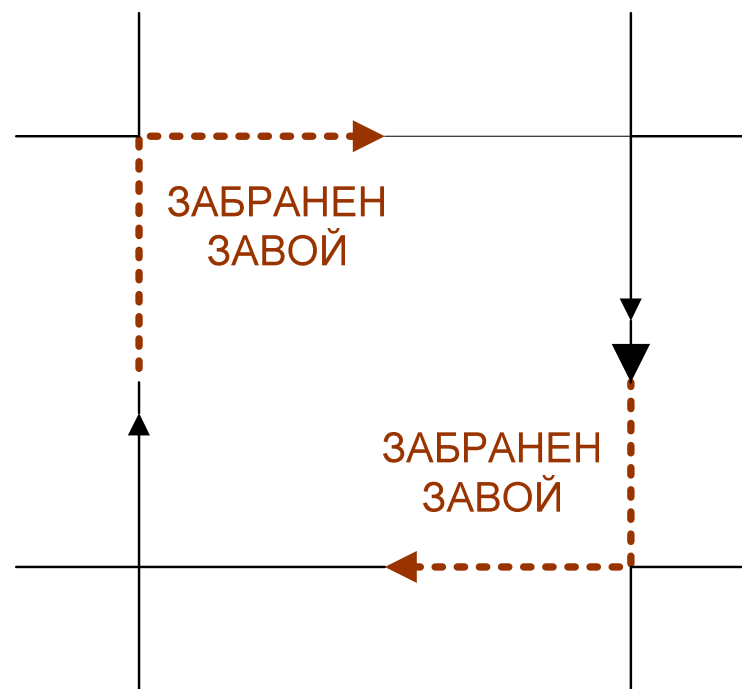
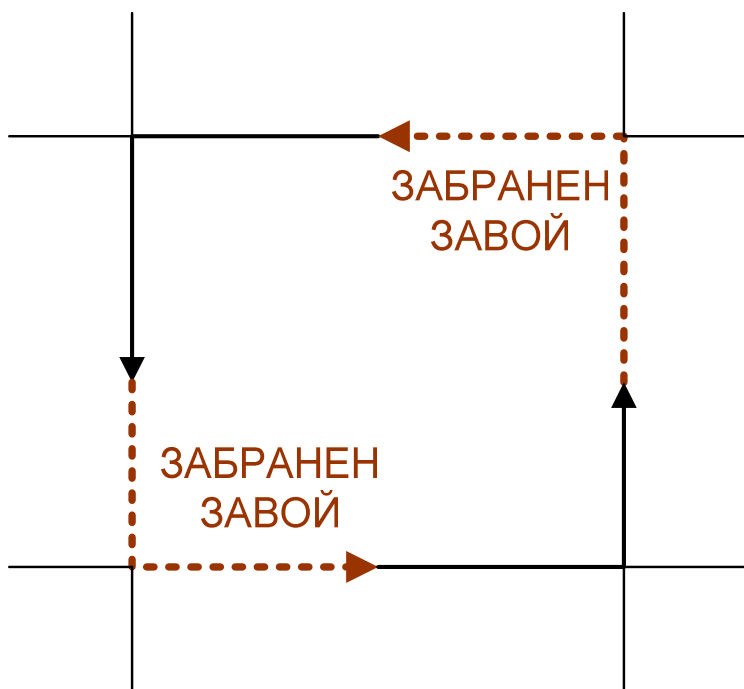


Маршрутизация с ограничаване на завоите

- При двумерната решетка съществуват 8 завоя, които формират два прости цикъла
- При $\Delta x, \Delta y$ маршрутизацията в двумерна решетка се забраняват 4 от 8 завоя: при придвижване в посока $-x$ ($+x$) се допуска завои в посока $-y$ ($+y$), но след като пакетът се придвижва в измерение y не се допускат повече завои.



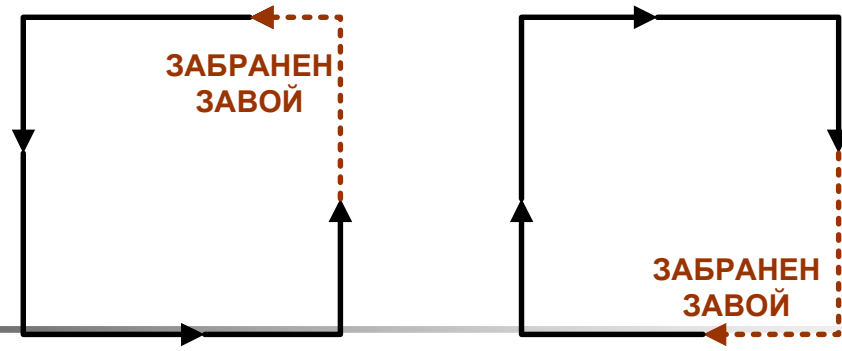
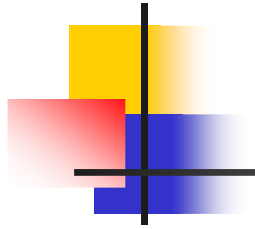
Маршрутизация с ограничаване на завоите



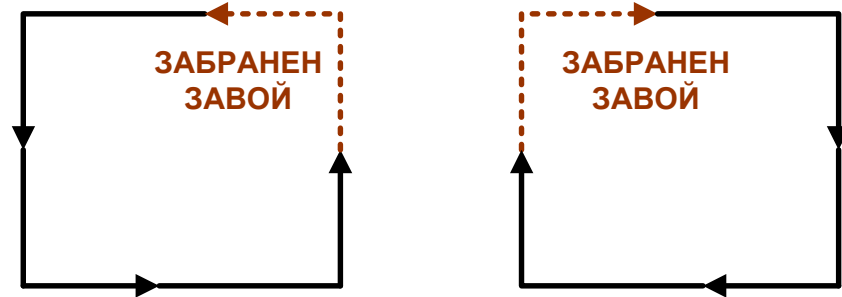
Алгоритми West-first, North-last и Negative-first

- При алгоритъма West-first не се разрешава завой в посока $-x$.
- Алгоритъмът North-last забранява завоите от посока $+y$.
- Алгоритъмът Negative-first забранява завои от позитивна в негативна посока.
- За произволна топология може да се приложи комбиниран алгоритъм, обединяващ концепциите на виртуалните канали и ограничаването на завоите.

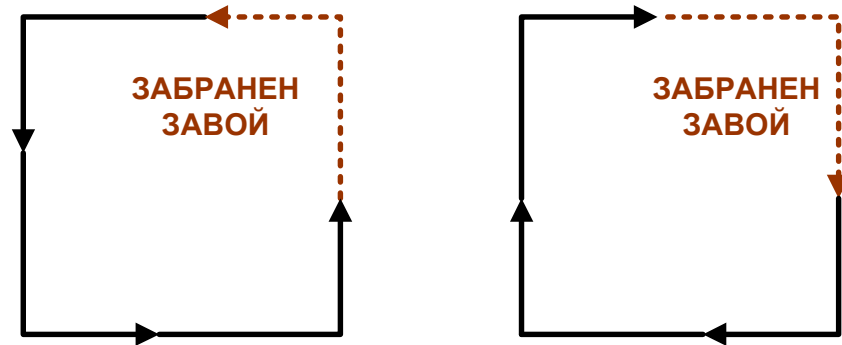




WEST - FIRST



NORTH-LAST



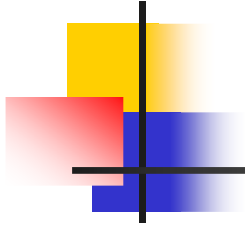
NEGATIVE-FIRST



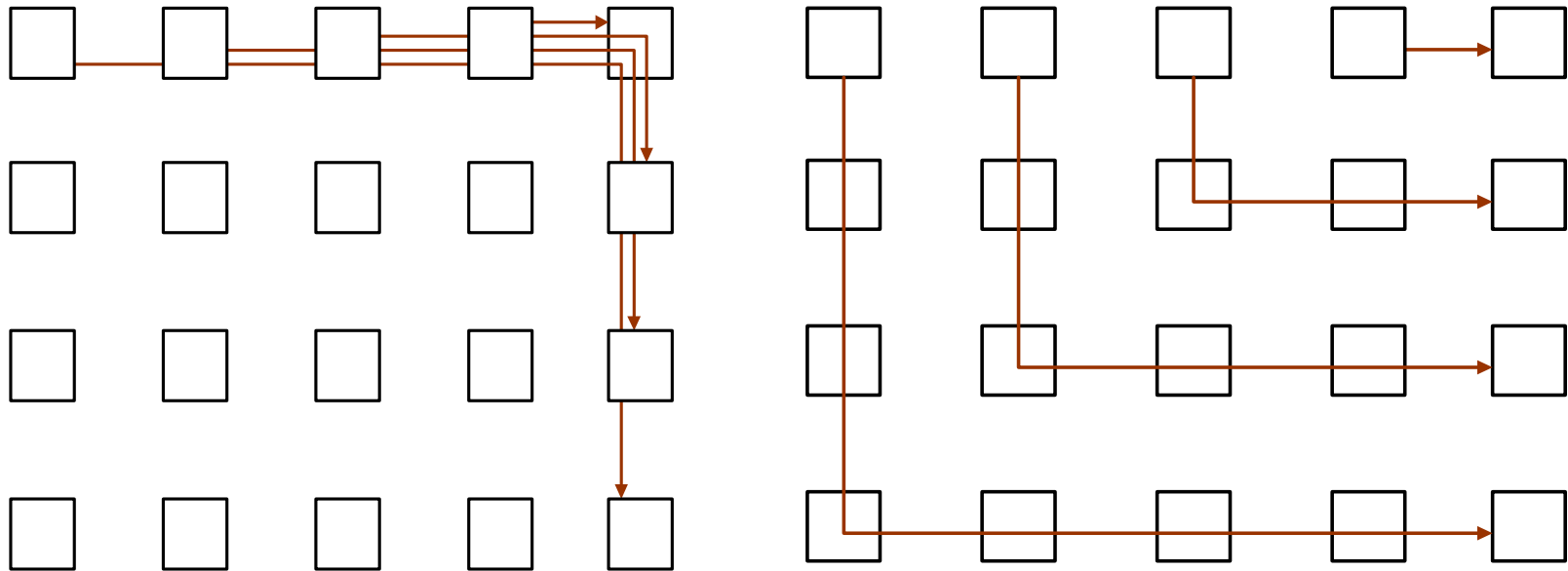
Адаптивна маршрутизация

- Наличието на алтернативни маршрути дава възможност за заобикаляне на блокирани или прекъснати връзки както и да се разпредели комуникационния товар между повече канали и по този начин да се подобри използването на мрежата.
- Простите детерминирани алгоритми могат да предизвикат множество конфликти за мрежови ресурси дори когато комуникационният товар е разпределен равномерно между независими дестинации.





Адаптивна маршрутизация





Ефекта "обратно налягане"

- При системните мрежи на паралелните компютри пакет, който е маршрутизиран към пълен буфер, се блокира, а не се изхвърля от трафика.
- Това налага "ръкостискане" (handshake) между изходния и входния порт към връзката т.е. управление на потока на ниво връзка.
- При продължително задръстване трафикът "се връща" от точката в мрежата, в която е възникнал конфликтът за едновременно ползване на общ ресурс, към източниците, които насочват трафика към конфликтната точка.
- Тогава тези източници са подложени на "обратно налягане" от мрежата (когато тя отказва да приеме пакетите) предизвиквайки намаляване на потоковата скорост в мрежата, която се определя от потоковата скорост през задръстения маршрут.
- Увеличаването на капацитета на буферите в мрежата дава възможност задръстването да бъде толерирано по-дълго време без да оказва обратно налягане на източника. От друга страна, обаче, се увеличава латентността поради потенциалното нарастване на времето за блокиране на пакета в опашките.

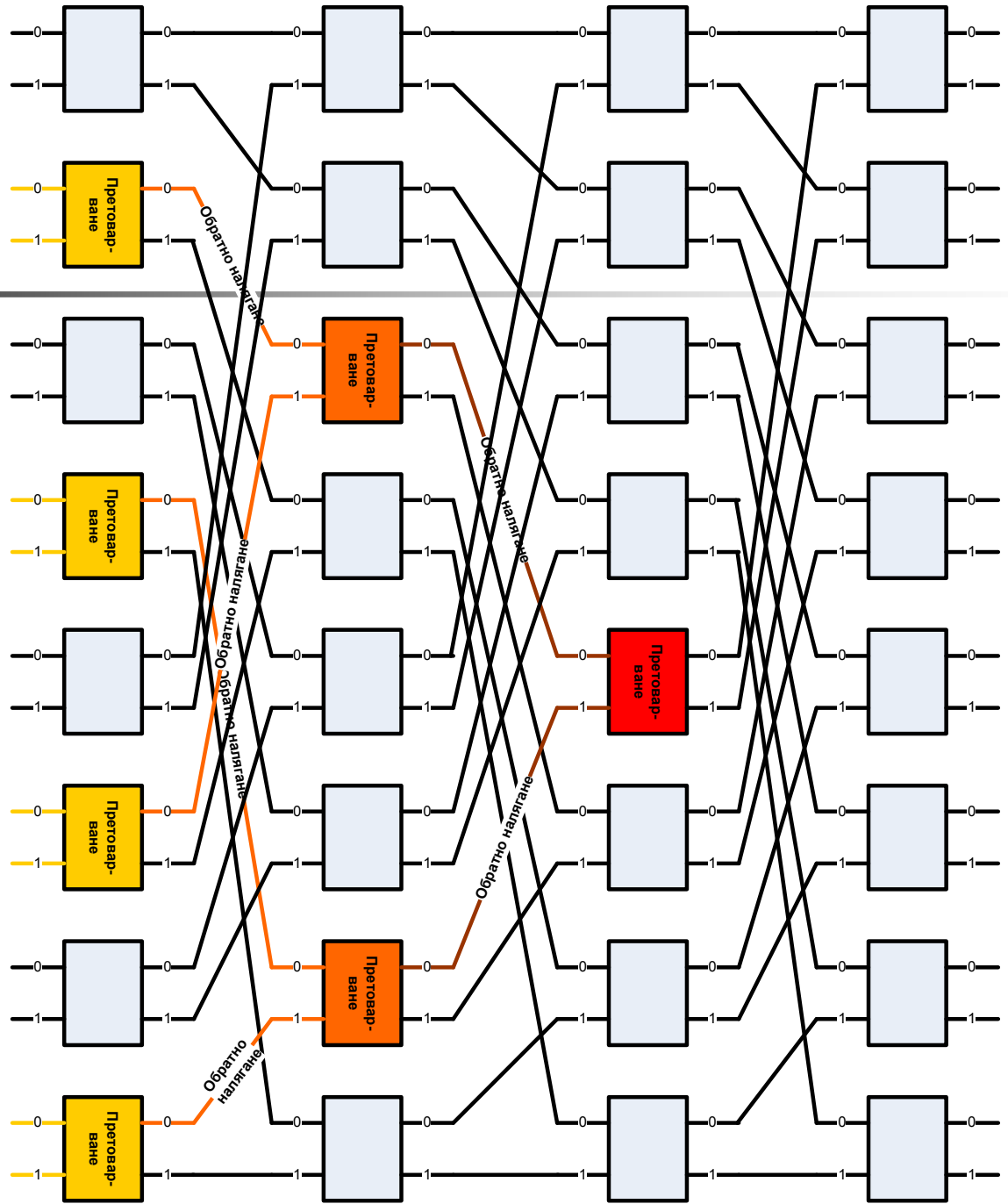
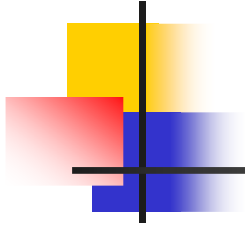




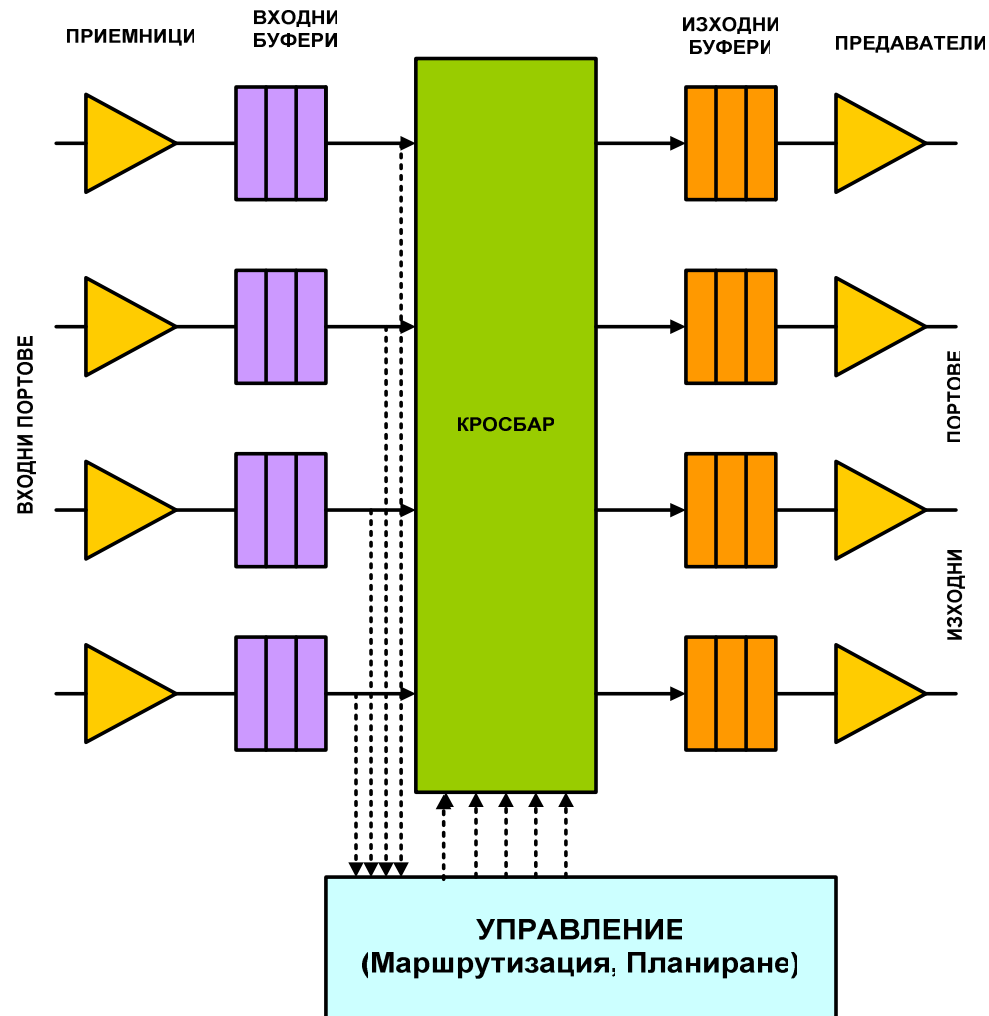
Ефекта "обратно налягане"

- Нека да разгледаме случая, в който трафикът към дадена дестинация е много интензивен.
- Този претоварен възел се нарича "гореща точка".
- В случаите, когато трафикът, насочен към тази дестинация, превишава пропускателната способност на горещия изходен порт, възниква обратно налягане в мрежата.
- Ако тази ситуация се задържи по-дълго време, задръстването се разпространява обратно през дървото канали, свързани с проблемната дестинация.
- Явлението се нарича "*дървовидно насищане*". Всеки трафик, пресичащ това дърво, ще бъде забавен.

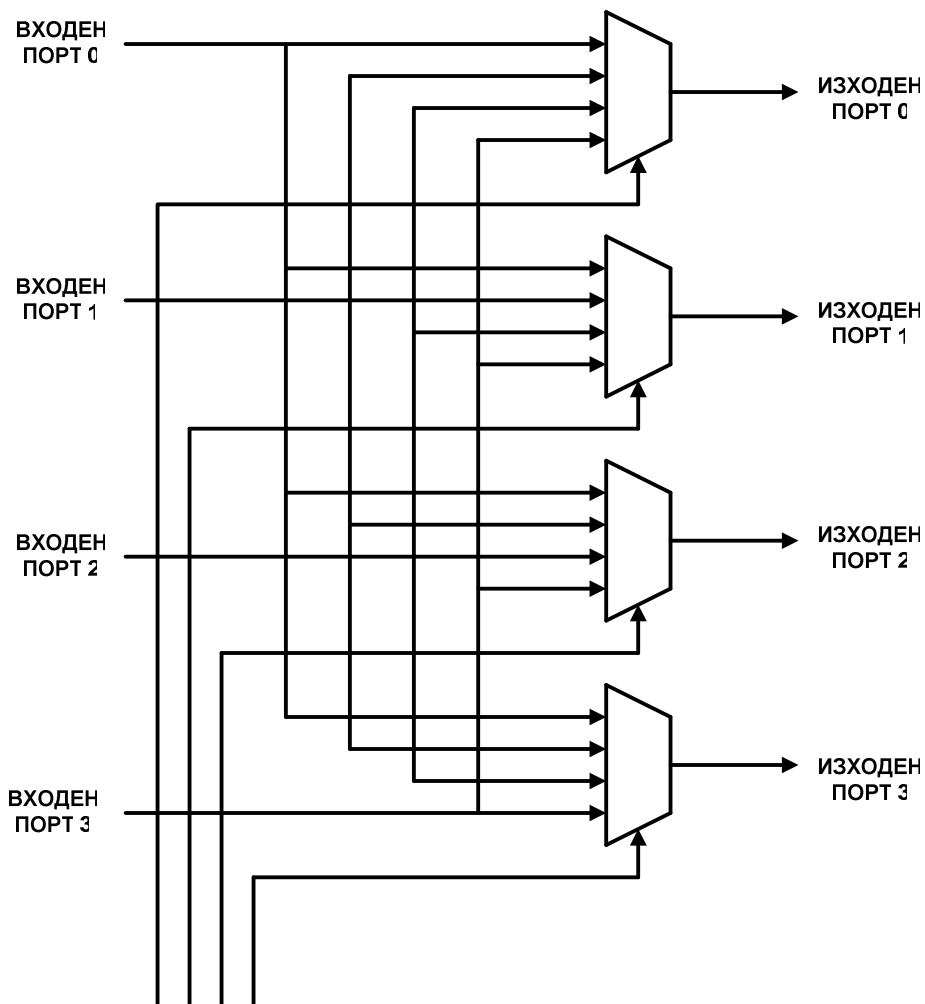




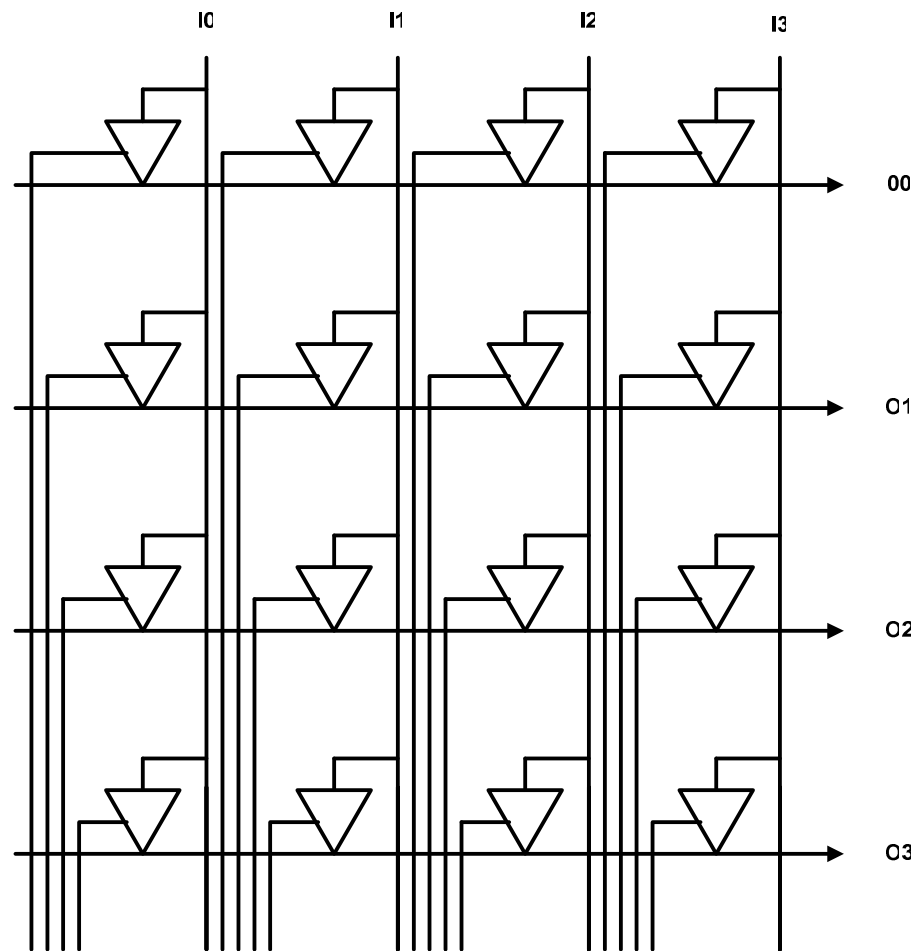
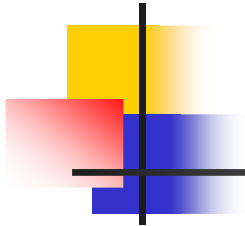
Архитектура на комутатора



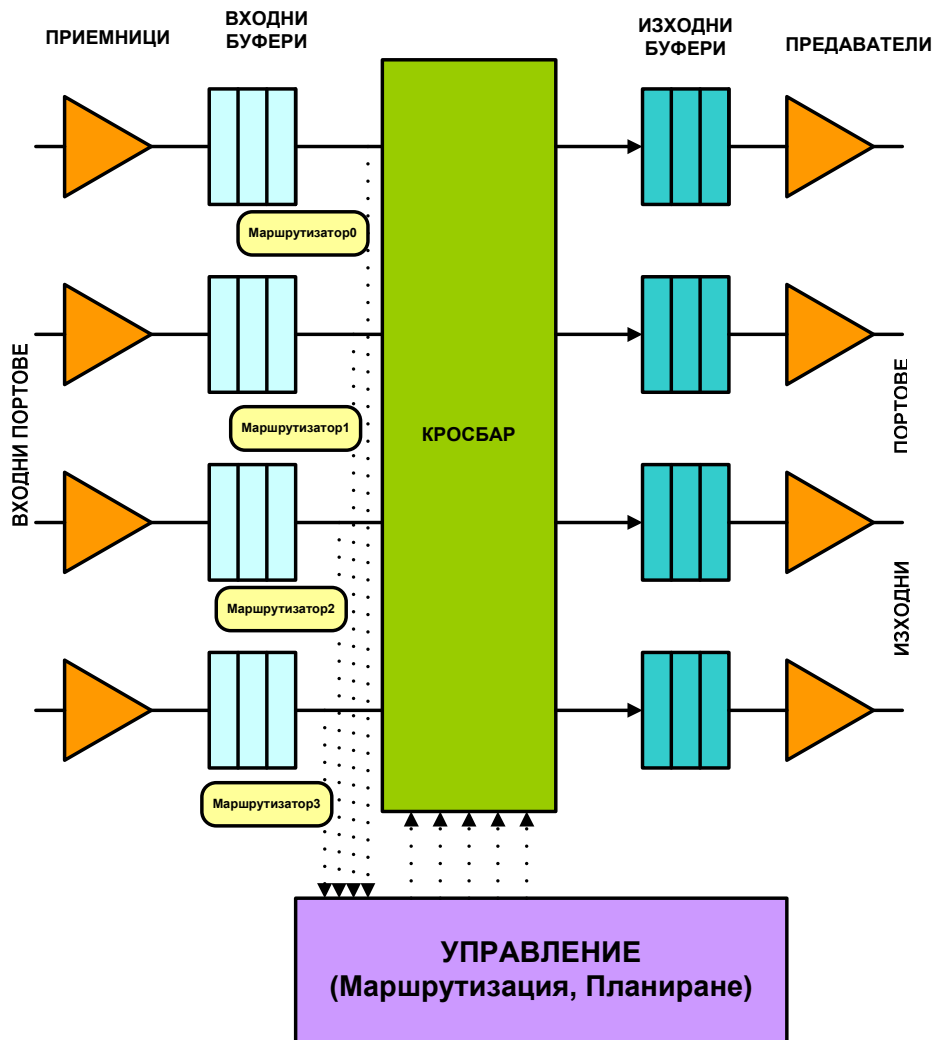
Имплементация на вътрешния кросбар чрез множество мултиплексори



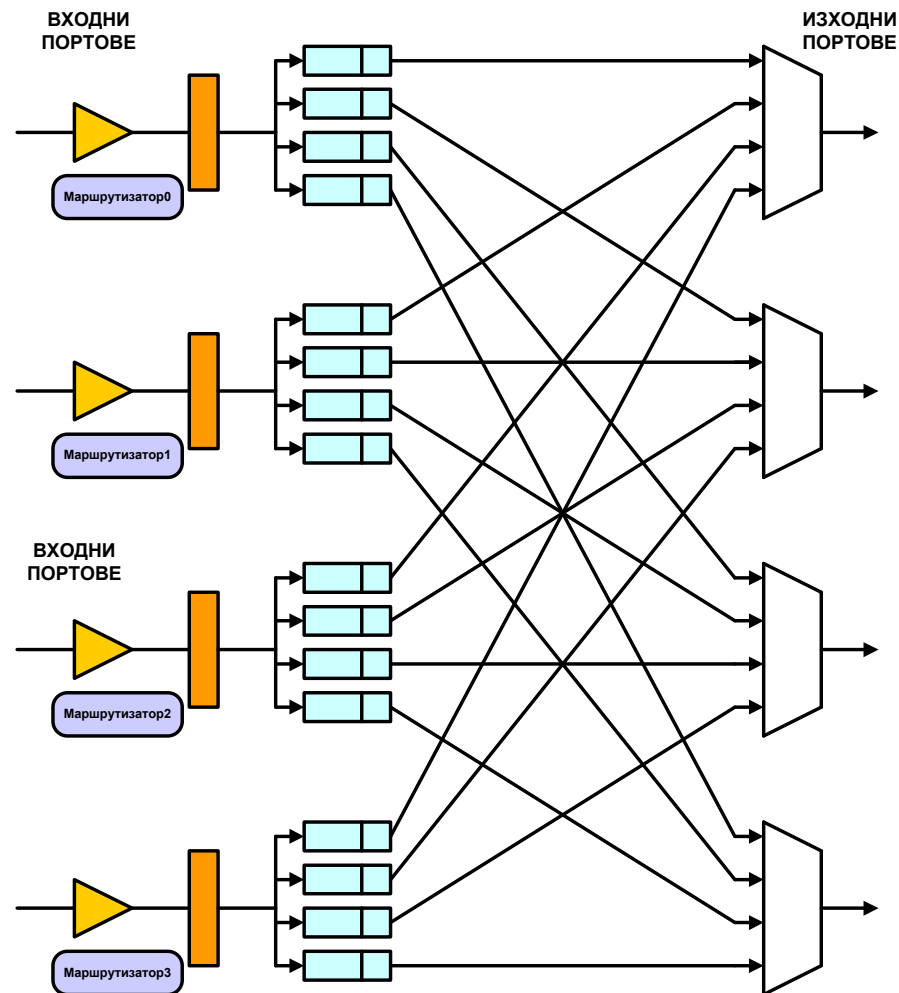
Имплементация на вътрешния кросбар чрез tri-state буфери



Комутатор с буфериране на входа



Елиминиране на блокиране от "главата" на опашката



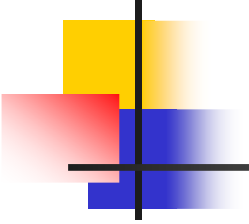
Комуникационна производителност

- **ЛАТЕНТНОСТ** - Времето за трансфера на n байта информация от източника до дестинацията има 4 компоненти, както следва:

$$\text{Time}(n)_{S-D} = OV + RD + CO + CD$$

- **OV** (OVERHEAD) – допълнителните разходи за присъединяване на съобщението в трафика на мрежата и излизането му от трафика на мрежата при действителното му предаване от край до край, свързан с интерфейса възел – мрежа;
- **RD** (ROUTING DELAY) – закъснение за маршрутизация;
- **CO** (CHANNEL OCCUPANCY) – заетост на комуникационните канали;
- **CD** (CONTENTION DELAY) – закъснение поради блокиране, което отразява престоя на съобщенията при пълен буфер на приемния комутатор по маршрута.
- **S-D** (SOURCE – DESTINATION) – източник – дестинация.





Комуникационна производителност

- за товар с размер n , заетостта на канала е $(n + n_E)/b$, където n_E е размера на плика и b е физическата пропускателна способност на канала.
- Въвежда се *ефективна пропускателна способност на комуникационната връзка*, която се формулира от гледната точка "извън мрежата" и се базира на физическата пропускателна способност на комуникационната връзка поне за пакети с фиксиран размер: $(n/n + n_E)$.



От гледна точка “извън мрежата”

- Закъснението за маршрутизация, от гледната точка “извън мрежата”, включва времето за трансфер на даден символ, например, първия бит на съобщението, от източника до дестинацията.
- Разглеждана в рамките на мрежата, всяка стъпка по маршрута добавя закъснение за маршрутизация, което се акумулира в тотално закъснение, виждано “извън мрежата”.
- Закъснението за маршрутизация зависи от броя на каналите по маршрута, формиращи т.нар. дистанция за маршрутизация, h и закъснението Δ , възникващо във всеки комутатор, необходимо за селекция на съответния изходен порт.
- При анализа на производителността при комуникация е удобно закъснението при маршрутизация, възникващо в интерфейса възел-мрежа, да се разглежда аналогично на закъснението в комутаторите.
- Дистанцията за маршрутизация зависи от мрежовата топология, алгоритъма за маршрутизация и конкретната двойка източник-местоназначение.
- Общото закъснение силно се влияе от стратегиите за комутация и маршрутизация.





Латентност на мрежата

- Мрежовата латентност за пакет от n байта, включващо пакета е :

$$T_{sf}(n,h) = h(n/b + \Delta)$$

- Където Δ е допълнителното време за маршрутизация на стъпка, h – дистанцията за комуникация и n – размера на данните.
- От уравнението се вижда, че мрежовата топология е от първостепенно значение за мрежовата латентност тъй като топологията основно определя дистанцията за маршрутизация, h .



ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА МРЕЖАТА

- Високата пропускателна способност на мрежата намалява заетостта на комуникационните канали както и вероятността за конфликти;
- Отделните фази на паралелната програма могат да генерират комуникационен товар с голям обем данни, без да е необходимо да се изчака завършването на техния трансфер;
- При мрежите с комутация на пакети и маршрутизация с врязване е възможно да се осигури висока пропускателна способност дори при големи стойности на латентността поради факта, че поведението на мрежата се определя от функционирането на множество конвейери за трансфер.



ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА МРЕЖАТА

Пропускателната способност на вътрешносистемната комуникационна мрежа на паралелния компютър може да се разглежда от две гледни точки:

- **Глобална (обща) пропускателната способност**, налична за всички възли в мрежата;
- **Локална (индивидуална) пропускателната способност**, налична за даден възел в мрежата.



ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА МРЕЖАТА

- Най-популярният подход при определянето на глобалната пропускателна способност на мрежата е да се изследва **мрежовата пропускателна способност при бисекция**, която се дефинира като сумата от пропускателните способности на минималното множество канали, чието отстраняване води до разделянето на мрежата на две несвързани множества от възли.
- При тази концепция разпределението на комуникационния товар е напълно равномерно, тъй като половината от съобщенията трябва да прекосят бисекцията във всяка посока.
- Пропускателна способност при бисекция за индивидуалния възел варира драстично при различните мрежови топологии.



Точка на насищане на мрежата

- Точката на насищане на мрежата представлява общата пропускателна способност на каналите, която мрежата може надеждно да осигури.
- Изискванията за пропускателна способност при комуникация, предявявана от процесорите, се нарича **предлагана пропускателна способност**.
- Когато тя е умерена, латентността остава ниска, а **предоставяната пропускателна способност** на мрежата се увеличава с нарастването на предлаганата пропускателна способност от паралелната програма.
- В дадена точка, изискванията за по-висока пропускателна способност от паралелната програма води само до увеличаване на конфликтите, което от своя страна драстично увеличава латентността.



Точка на насищане на мрежата

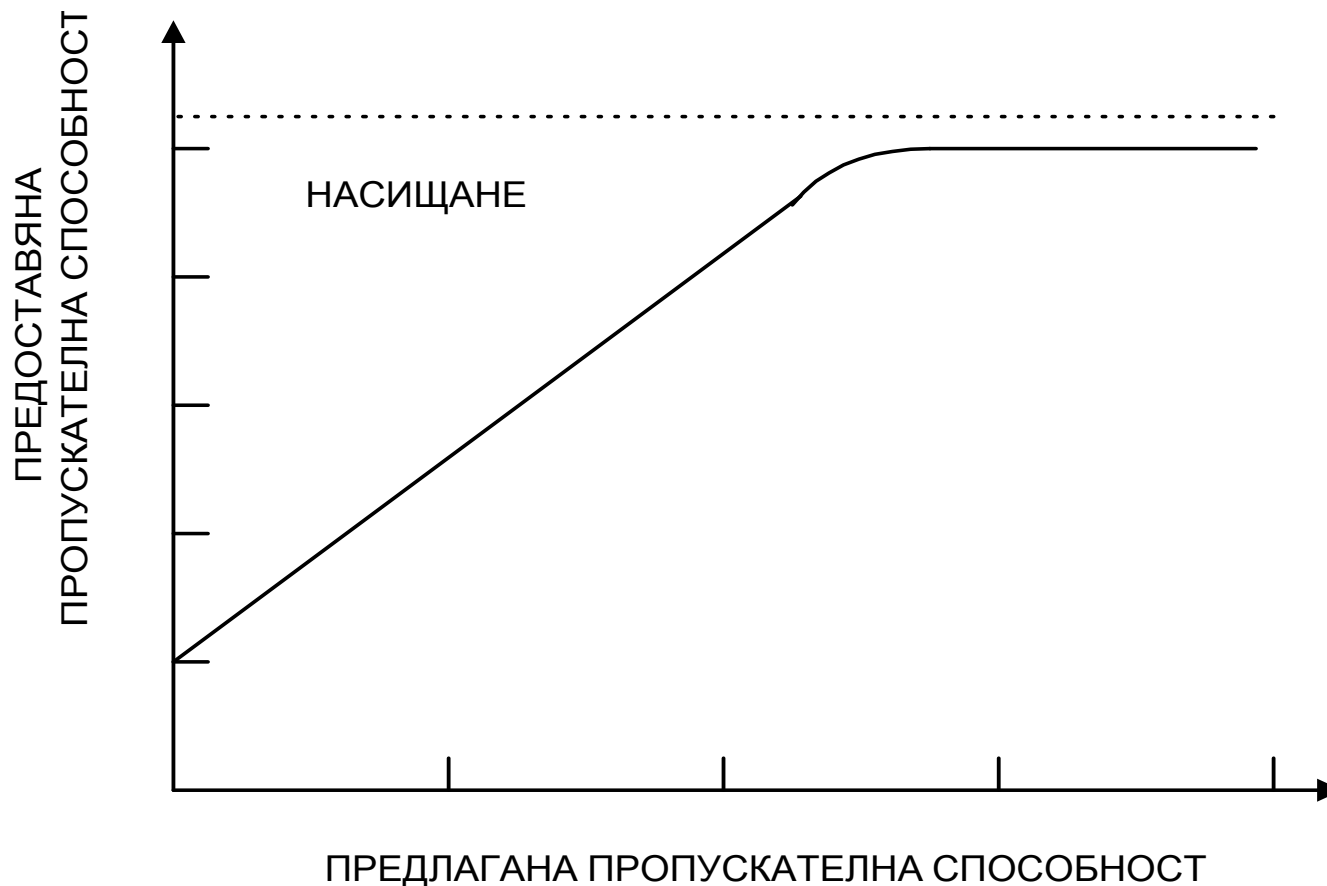
- В този режим мрежата работи при максимално натоварване на комуникационните си ресурси и допълнителните заявки само увеличават дължината на опашките в буферите на комутаторите.
- В режима на насищане увеличаването на предлаганата пропускателна способност от паралелната програма не води до съответното увеличаване на предоставяната пропускателна способност на мрежата т.е. тя остава постоянна.
- Целта при проектирането на паралелни компютри е да се осигури работен режим на системната мрежа далеч от точката на насищане или чрез осигуряване на много висока пропускателна способност при комуникация, или чрез въвеждане на механизми за ограничаване на изискванията за предлагана пропускателна способност на процесорите.



Ефект на насищане върху латентността на системната мрежа



Типично поведение на системната мрежа при насищане



Типично поведение на системната мрежа при насищане

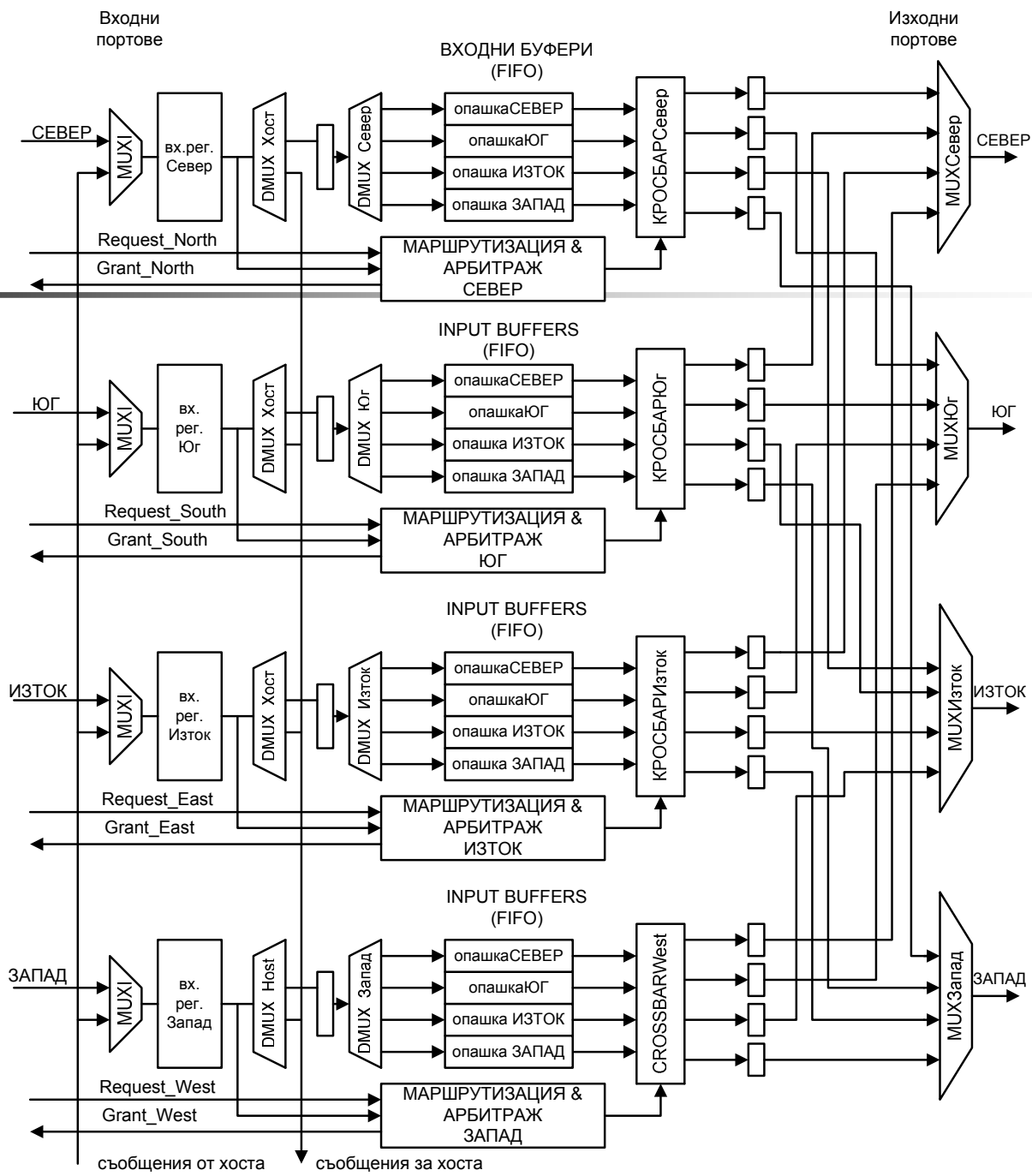
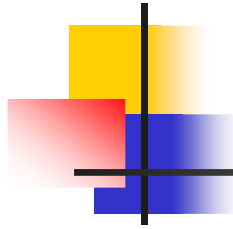
- Поведението на мрежата, представено на фиг. е характерно за всички системи, поддържащи опашки, но при допускането, че товарът не зависи от времето за отговор.
- Източниците генерират съобщения в системата с по-висока скорост, отколкото мрежата може да ги обслужи, така че се формират опашки с произволна дължина, предизвиквайки съответното нарастване на мрежовата латентност.
- С други думи, направеният анализ се отнася за отворени системи, докато реално паралелните компютри представляват затворени системи.
- Както в мрежата, така и в мрежовите интерфейси са осигурени ограничени възможности за буферизиране.
- Така, в случаите, когато опашките се напълнят, източниците ще намалят интензивността на подаване на заявките до предоставяната скорост на обслужване на мрежата тъй като няма да има възможност за поемане на нов пакет докато не бъде остранен от трафика поне един пакет.



Типично поведение на системната мрежа при насищане

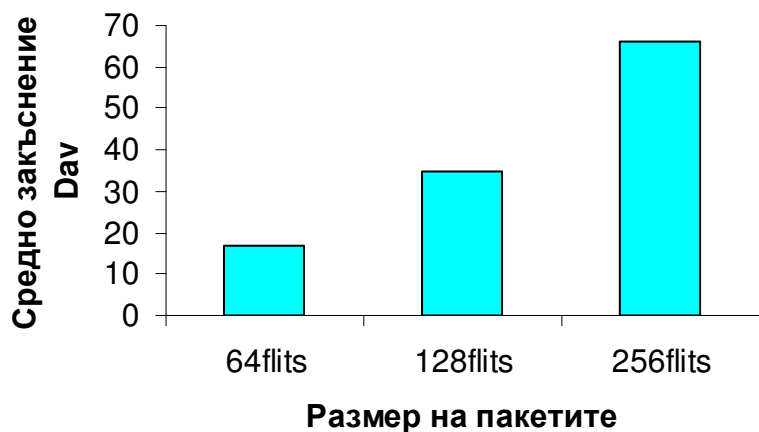
- Механизмите за управление на потока осъществяват това взаимодействие между източниците на трафик и възможностите на мрежата за обслужване на този трафик.
- От друга страна, зависимостите в рамките на паралелната програма сами по себе си предопределят в някаква степен **управление на потока от край до край** тъй като процесорът трябва да получи дистанционната информация за да може да продължи с по-нататъшната обработка и едва тогава може да генерира нов комуникационен трафик.
- **Важно е да се отбележи, че общ ресурс като мрежова връзка не може да се очаква да бъде използвана 100% дори за най-благоприятните приложения.**



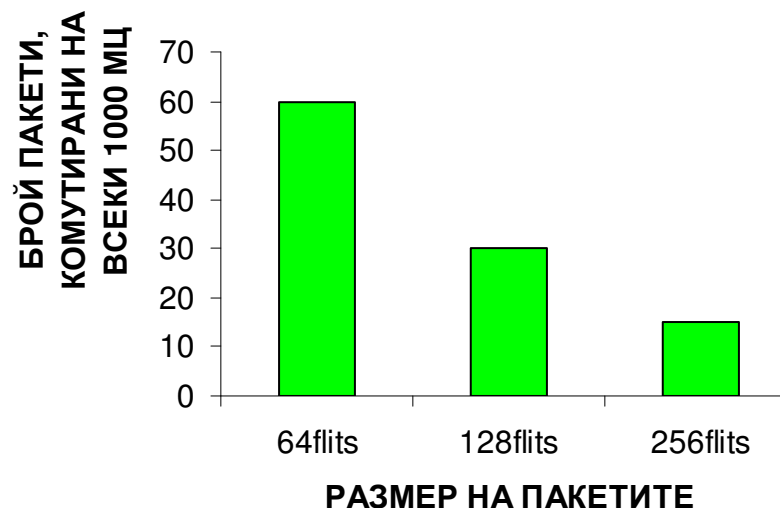


Динамични характеристики на комутатора

Средно закъснение D_{av}
в комутатор 4x4

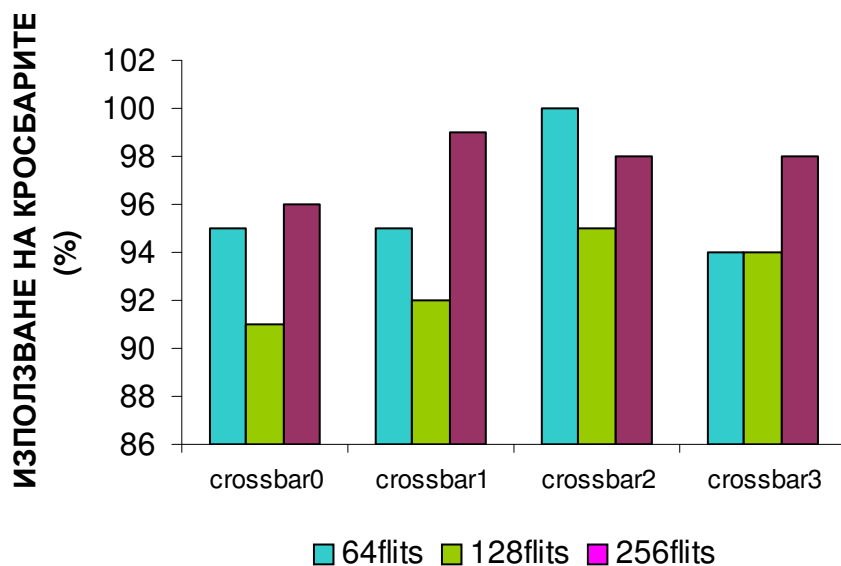


ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА
КОМУТАТОР 4X4

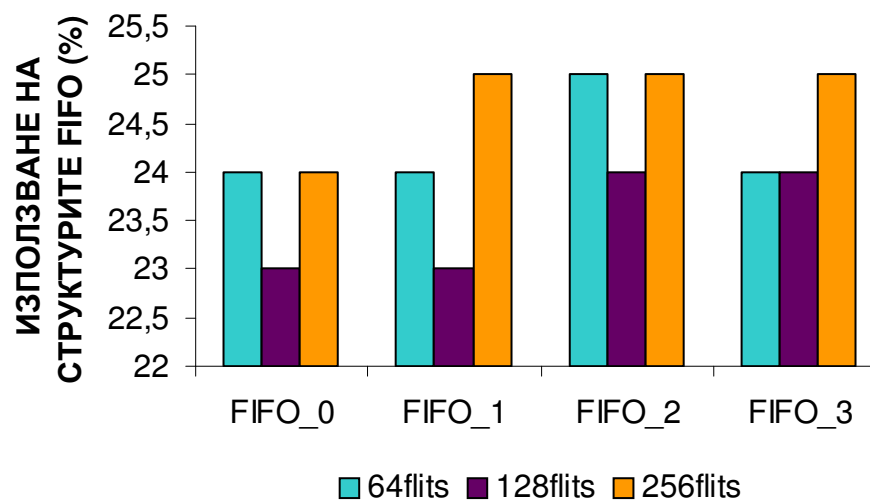


Динамични характеристики на комутатора

ИЗПОЛЗВАНЕ НА КРОСБАРИТЕ ВЪВ
ВХОДНИТЕ ПОРТОВЕ НА КОМУТАТОРА

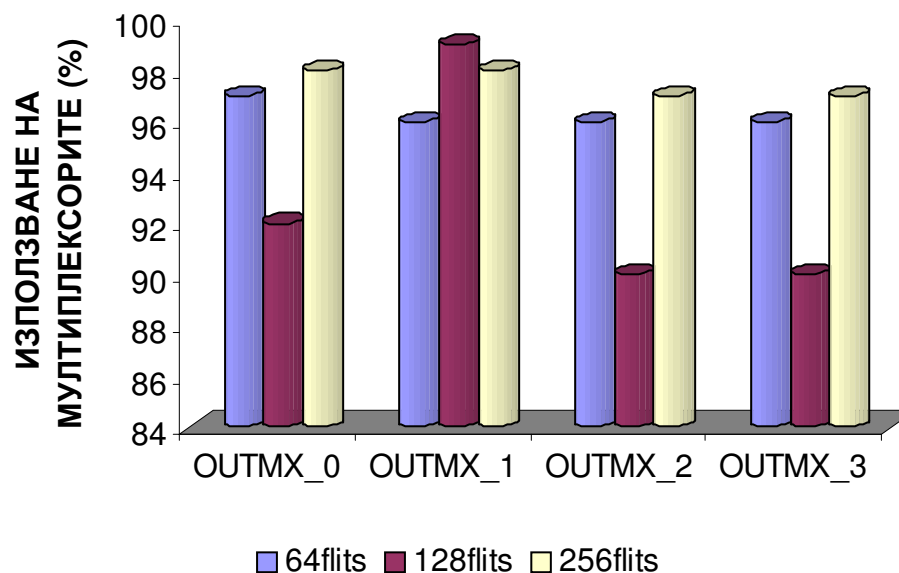


ИЗПОЛЗВАНЕ НА СТРУКТУРИТЕ FIFO
В КОМУТАТОР 4X4

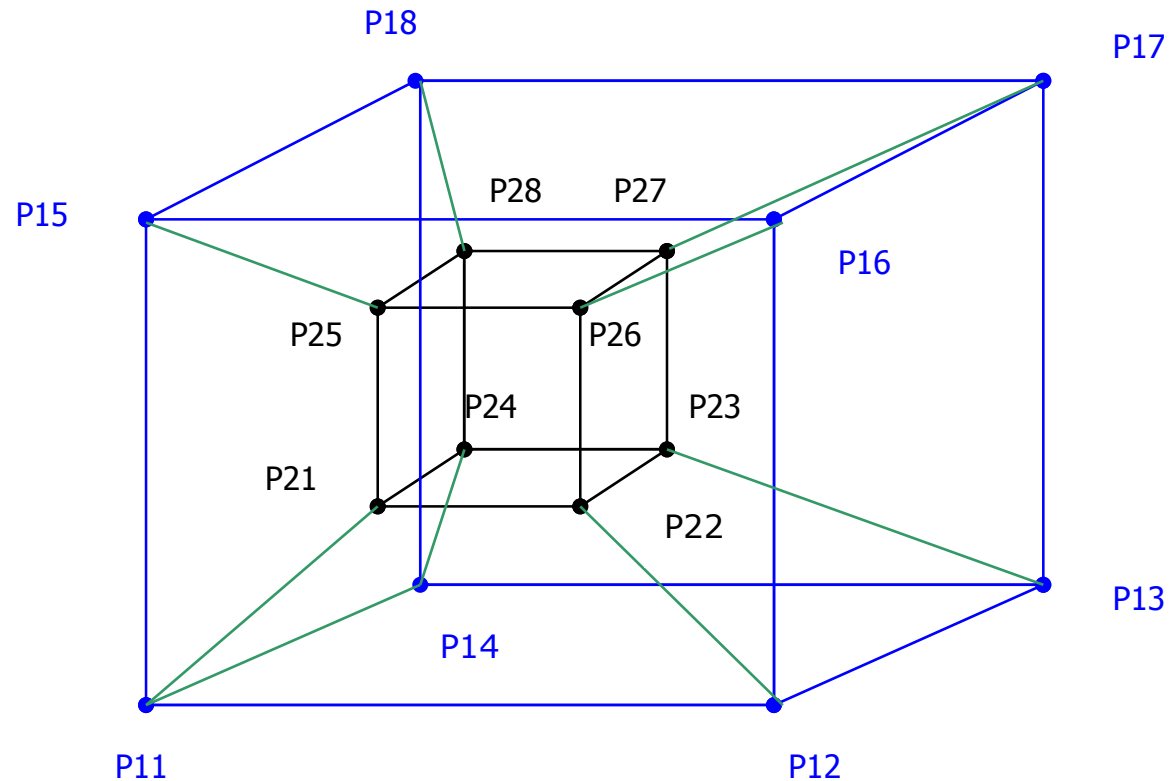


Динамични характеристики на комутатора

ИЗПОЛЗВАНЕ НА МУЛТИПЛЕКСОРИТЕ В
ИЗХОДНИТЕ ПОРТОВЕ НА КОМУТАТОРА

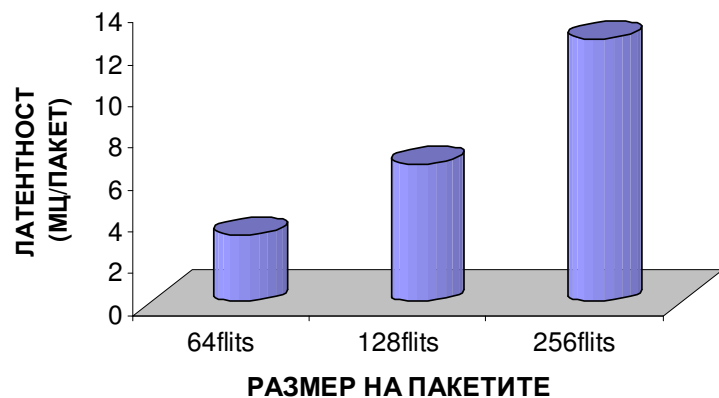


Динамични мрежови характеристики

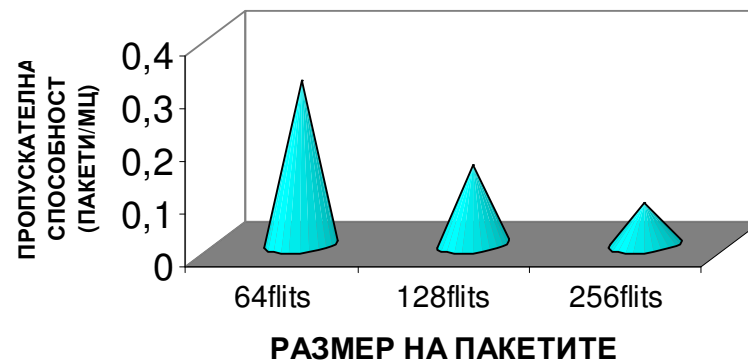


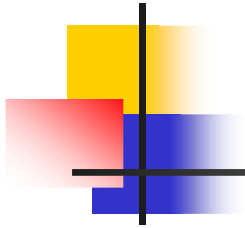
Динамични мрежови характеристики

ЛАТЕНТНОСТ НА МРЕЖАТА



ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА МРЕЖАТА В
ХИПЕРКУБ





КРАЙ



©BOROVSKA