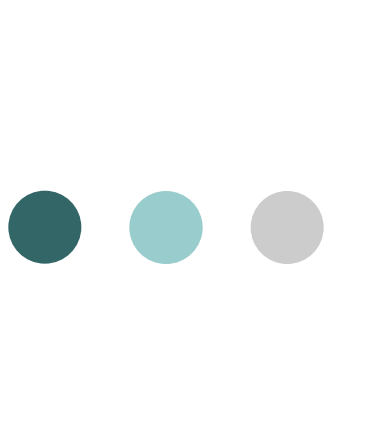


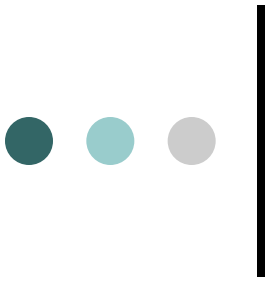
Multimedijalno inženjerstvo – master strukovne studije



Digitalni komunikacioni sistemi: Lekcija 2: Komunikacione mreže

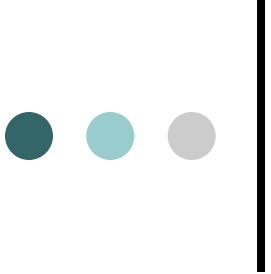
zima 2018/2019

Branimir M. Trenkić



Komunikacione mreže

- formiranje i načela -
- deljenje resursa i komutatori -



Komunikacione mreže

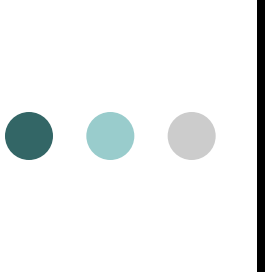
- Postoje ***tehnike koje omogućuju formiranje poin-to-point komunikacionog linka za slanje poruka između dve direktno povezane stanice***
- Link se može odlikovati:
 - određenim intezitetom generisanja ***grešaka u prenosu***
 - odgovarajućim intezitetom ***gubitaka poruka***
 - Gubitak poruke se dešava kada postojeći ***mehanizam za korekciju greške*** u prenosu ***nije u stanju da koriguje sve nastale greške***
³prouzrokovane šumom ili interferencijom

● ● ● | KM – izazovi formiranja

- **Komunikacione mreže** – sistemi koji **međusobno povezuju tri ili više komunikacionih uređaja** (računara, telefona, senzora ili bilo šta što ima mogućnost komunikacije)
- **Ključni pristup u formiranju** komunikacione mreže je – **kompozicija (povezivanje)**:
 - **male mreže** se formiraju **međusobnim povezivanjem** (multi-point ili point-to-point) **linkovima**
 - **velike mreže** se formiraju **međusobnim povezivanjem** (**internetworking**) **manjih mreža**

KM – izazovi formiranja

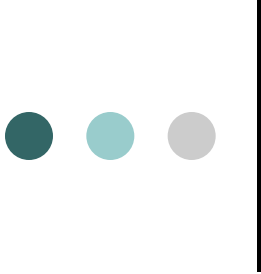
- **Fundamentalni izazovi u dizajniranju** **komunikacione mreže** su isti kao i u slučaju **komunikacionog linka**:
 - **deljenje** u cilju efikasnosti i
 - **pouzdanost** prenosa
- **Velika razlika** je u izazovima
 - distribuiranosti sistema,
 - pokriva geografski prostor koji je mnogo duži nego što se može praktično napraviti zajednički deljeni link



KM – izazovi formiranja

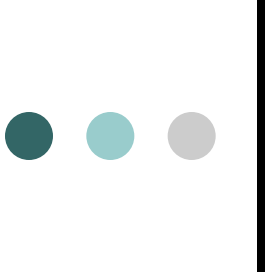
- Pored toga, u mrežama mnogo **više stvari može krenuti naopako**, praveći **komunikaciju mnogo nepouzdanijom** u odnosu na nepouzdanost komunikacionog linka
 - Nepouzdanost komunikacionog linka – greške u prenosu bitova (**bitske greške**)

„**networking** – samo jedno slovo ga deli od **not working**“



KM – izazovi formiranja

- U okviru ovog kursa mi ćemo se baviti ovim izazovima kao i ***ključnim principima kojima se oni prevazilaze***
- ***Pored deljenja i pouzdanosti prenosa***, važan i složen problem u mnogim komunikacionim mrežama (naročito Internetu) je ***proširljivost (scalability)*** - kako realizovati vrlo velike, globalne mreže

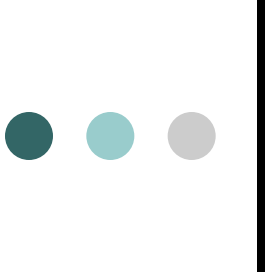


KM – deljenje resursa

- Ovo predavanje će se fokusirati na ***problem deljenja*** kroz sledeće koncepte:
 - ***Komutatori***
 - Kako oni ***omogućuju multipleksiranje različitih veza*** na individualnim komunikacionim linkovima
 - ***Dva načina komutacije***: (I) komutacija kola i (II) komutacija paketa
- ***Uloga bafera***
- ***Faktori*** koji ***utiču na kašnjenje u prenosu***
- ***Little-ov zakon***

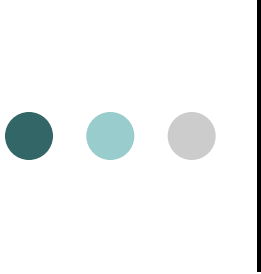
KM – deljenje resursa

- Upoznavanje sa ulogom bafera u ***apsorbovanju grupnog saobraćaja*** u paketskim mrežama
- Upoznavanje sa faktorima koji utiču na kašnjenje u prenosu kroz mrežu:
 - ***Tri fiksna*** kašnjenja
 - prostiranje, obrada i kašnjenje u prenosu
 - ***Jedan*** izvor ***promenljivog kašnjenja***
 - kašnjenje u sistemu usluživanja



KM – deljenje resursa

- *Little-ov zakon*, povezuje prosečno kašnjenje, prosečan intezitet nailaska paketa u sistem i prosečni broj paketa u sistemu



Komutator (*switch*)

- **Skup tehnika koje se koriste za formiranje komunikacionog linka** (modulacija, kodiranje,..), često se implementiraju u **modulu** koji se naziva **fizički sloj** (ili kratko **PHY**)
- **Predajni PHY** uzima jedan tok (niz) bitova i organizuje njegovo slanje kroz link ka prijemniku
- **Prijemni PHY** pruža najbolju procenu (prepoznavanje) toka bitova poslatih sa drugog kraja linka

Komutator (*switch*)

(znajući kako se formira
komunikacioni link)

**međusobno povezivanje N
komunikacionih uređaja**

je prilično jednostavno:

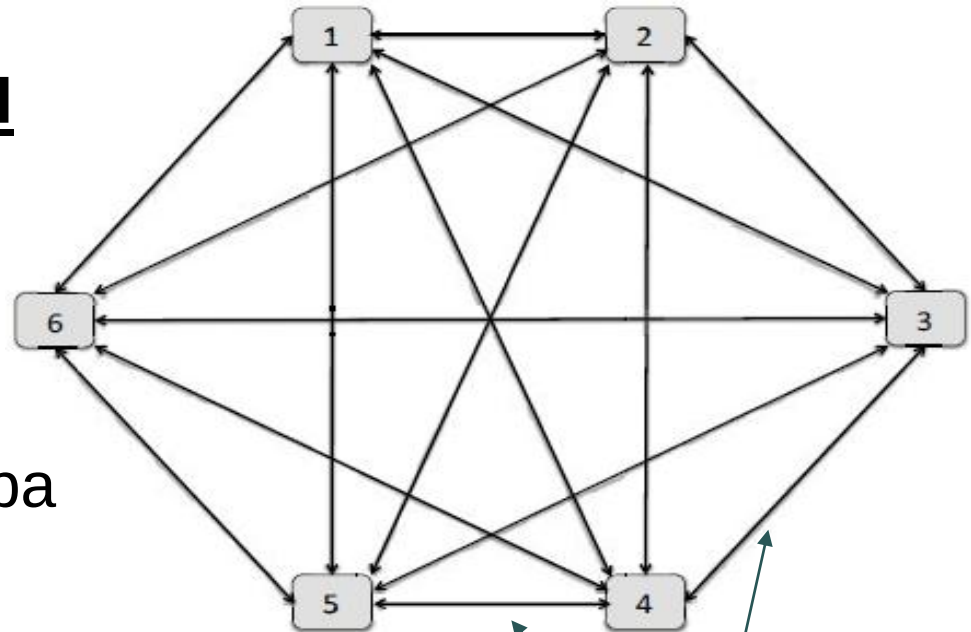
(a)svaki par uređaja

povezati kablom i

(b)koristiti fizički sloj na oba

kraja (omogućuje
komunikaciju preko
tog kabla)

(a) + (b) = namenski linkovi



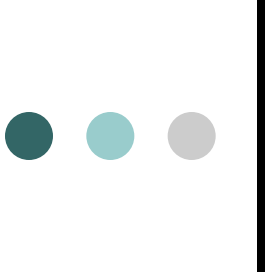
namenski linkovi

Komutator (switch)

- **Ova** jednostavna **topologija** koristi **namenske linkove** za svaki par stanica i ima **dva ozbiljna nedostatka**

1) Neefikasnost u smislu cene

- (a) **Broj** potrebnih namenskih **linkova raste kvadratno** sa porastom broja uređaja, N -
$$\binom{N}{2} = \frac{N(N-1)}{2}$$
 dvosmernih linkova, u ovoj organizaciji
- (b) **Operativni troškovi** takve mreže **su veliki**, svaka stanica dodata u takvu mrežu povećava troškove proporcionalne veličini mreže



Komutator (*switch*)

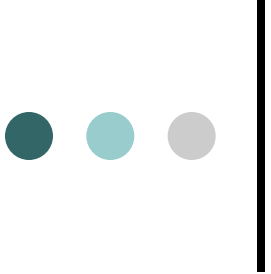
(2) *Komplikovani za održavanje*

(a) neki od tih linkova mogu biti enormne dužine - „*long-haul*“ *linkovi*

- Jasno, potreban nam je bolji pristup
- ***Ključ rešenja*** je poseban komunikacioni uređaj - *komutator*

Komutator (*switch*)

- Komutator je uređaj sa višestrukim interfejsima (često se nazivaju portovi) na njemu
- Na svaki od portova **može biti povezan link** (žičani ili radio)
- Komutator **organizuje linkove** tako da se oni **mogu deliti između različitih konekcija** ili veza
 - Istovremeno ostvarivanje većeg broja veza između različitih parova stanica – preko jednog linka
- Komutatori imaju **dodatne resurse** koji će biti **deljeni** od strane različitih veza

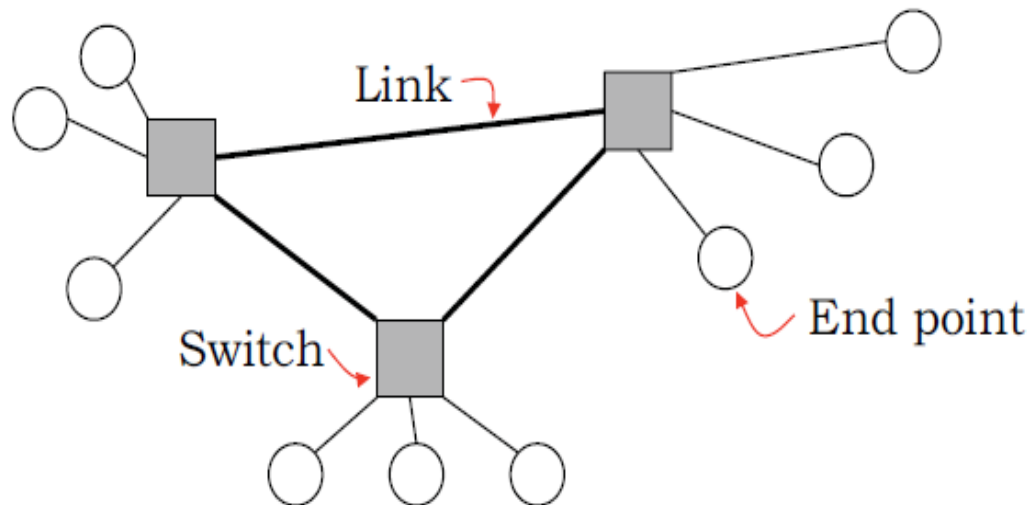


Komutator (*switch*)

- Komutator:
 - ***prihvata*** bitove koji su enkapsulirani u ***okvire*** koji se prenose po njegovim (dolaznim) linkovima,
 - ***obrađuju ih*** i
 - ***prosleđuju ih*** po jednom ili više odlaznih linkova
- U većini mreža, ovi ***okviri se nazivaju paketi***

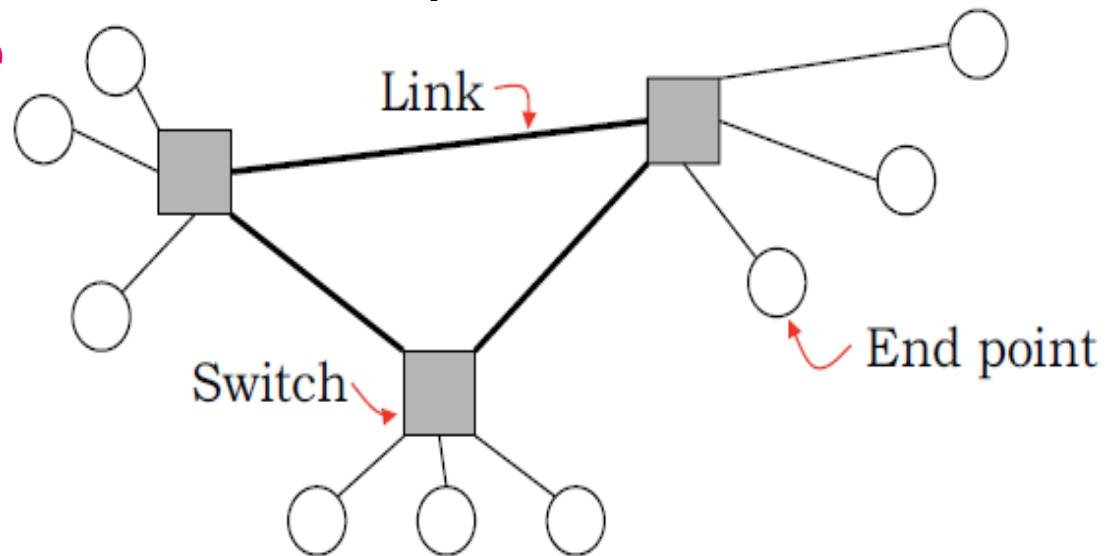
Komutator (*switch*)

- Slika prikazuje generalnu ideju
 - Hostovi su **krajnje stanice** ili komunikacioni uređaji
 - Komutatori i linkovi preko kojih oni komuniciraju nazivamo **mrežna infrastruktura**



Komutator (*switch*)

- ***Prostorni raspored*** osnovnih elemenata mreže (*hostovi, komutatori i linkovi*) – naziva se ***topologija mreže***



- Za ***modelovanje mrežne topologije*** najčešće se koriste ***grafovi***, koji se sastoje od čvorova i grana (lukova) koji povezuju čvorove na različite načine

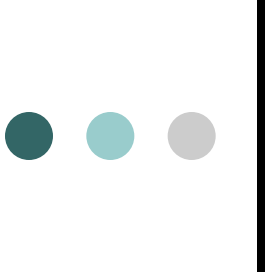
Komutator – osnovna funkcija

- Osnovna funkcija komutatora

a) Multipleksiranje i demultipleksiranje okvira koji pripadaju različitim host-host prenosnim sesijama (konekcijama)

b) Određivanje linka ili linkova po kojima dati okvir treba **proslediti**

- Ova **funkcija je od esencijalne važnosti** jer omogućuje da komunikacioni link bude **raspodeljen** između više istovremenih konekcija

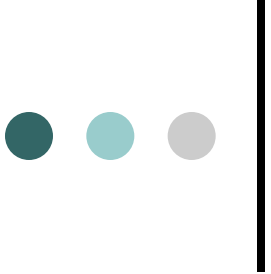


Komutator - tri problema

- U kontekstu ove funkcije - mogu se uočiti **tri problema**:
 1. Prosleđivanje: Kada okvir dođe u komutator, komutator ga obrađuje u smislu (I) **određivanja korektnog odlaznog linka** i odlučuje (II) **kada treba slati** taj okvir na taj link
 2. Rutiranje
 3. Dodeljivanje resursa

Komutator - tri problema

- **Rutiranje**: svaki komutator na neki način **mora da** odredi (**spozna**) **topologiju mreže**, kako bi bio u stanju **da formira korektnu strukturu podataka** na bazi koje će **vršiti prosleđivanje**
- **Proces** u kojem **(I) komutatori (sarađujući) spoznaju topologiju mreže**, **(II)** adaptirajući je u slučaju bilo kakvog otkaza u mreži – **naziva se rutiranje**
- Ovaj proces se ne odvija prilikom prenosa okvira već **„u pozadini“**

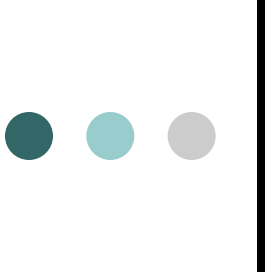


Komutator - tri problema

- ***Dodeljivanje resursa***: Komutatori svakoj vezi dodeljuju svoje resurse, a to su pre svega
 - I. *pristup linku* i
 - II. *lokalna memorija*

Komutator - tri problema

- Vremenom su se izdvojila dva različita načina za rešavanje ovih problema
- Ove tehnike se razlikuju u načinu na koji ***komutator***:
 - ***Prosleđuje podatke*** i
 - ***Dodeljuje resurse***
- **Prvi metod** se koristi u mrežama kao što je telefonska mreža – naziva se **komutacija kola**
- **Drugi metod**, koristi se u mrežama tipa internet – naziva se **paketska komutacija**



Komutator - tri problema

- ***Postoje dve fundamentalne razlike između ove dve metode:***
 - ***Filozofska***
 - ***Fizička***
 - U mrežama sa ***komutacijom kanala***
 - Okviri podataka ***ne moraju da prenose nikakve kontrolne informacije*** koje bi komutatori upotreбили u cilju daljeg prosleđivanja tog okvira
 - U mrežama sa ***komutacijom paketa***
 - Okviri ***moraju*** prenositi takve informacije

Komutator - tri problema

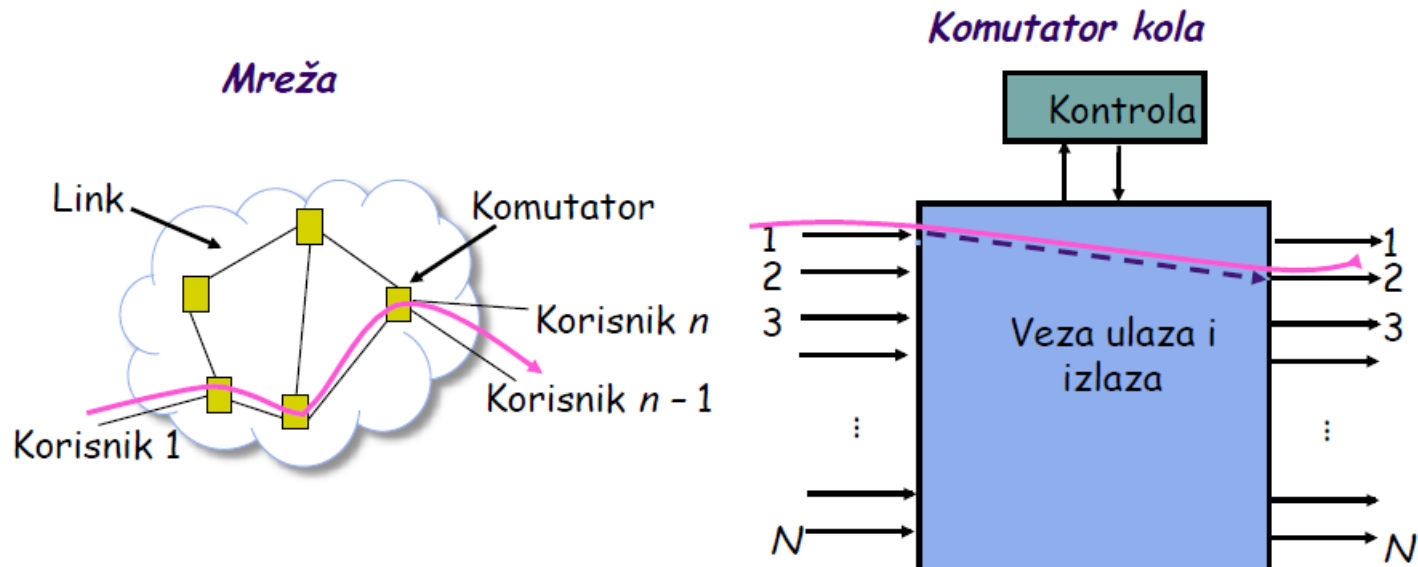
- **Razlika u samoj filozofiji prenosa** je mnogo bitnija:
- **U mrežama sa komutacijom kola** svakom paru koji komunicira **dodeljuje se link** (apstrakcija koju nazivamo **namenski link**)
 - Ovaj namenski link se sastoji od **više fizičkih linkova** (najmanje dva) i najmanje jednog **komutatora**
 - Krajnje tačke i komutator imaju **dodatni posao** kako bi **ostvarili iluziju direktne komunikacije**, t.j. **namenskog linka**

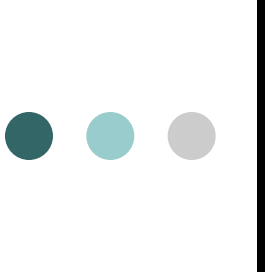
Komutator - tri problema

- ***Razlika u samoj filozofiji prenosa*** je mnogo bitnija:
- ***U paketskoj komutaciji*** to ***nije potrebno***
 - Mreže sa paketskom komutacijom ***ne prave takvu iluziju***
 - Ali opet, krajnje tačke i komutatori imaju ***dodatni posao*** u cilju ***obezbeđivanja pouzdanog i tačnog prenosa podataka*** između aplikacija na krajnjim tačkama

Komutacija kola

- Pre isporuke poruke, između odredišta i izvorišta **prvo se uspostavlja komunikacioni put koji im se ekskluzivno dodeljuje**
- Komunikacioni put - **fizičko kolo (ili kanal)**





Komutacija kola

- **Komunikacija** između predajnika i prijemnika se odvija **u tri faze**:
 - Faza uspostave veze
 - Faza prenosa podataka
 - Faza raskida veze

Komutacija kola

- **Komunikacija** između predajnika i prijemnika se odvija **u tri faze**:

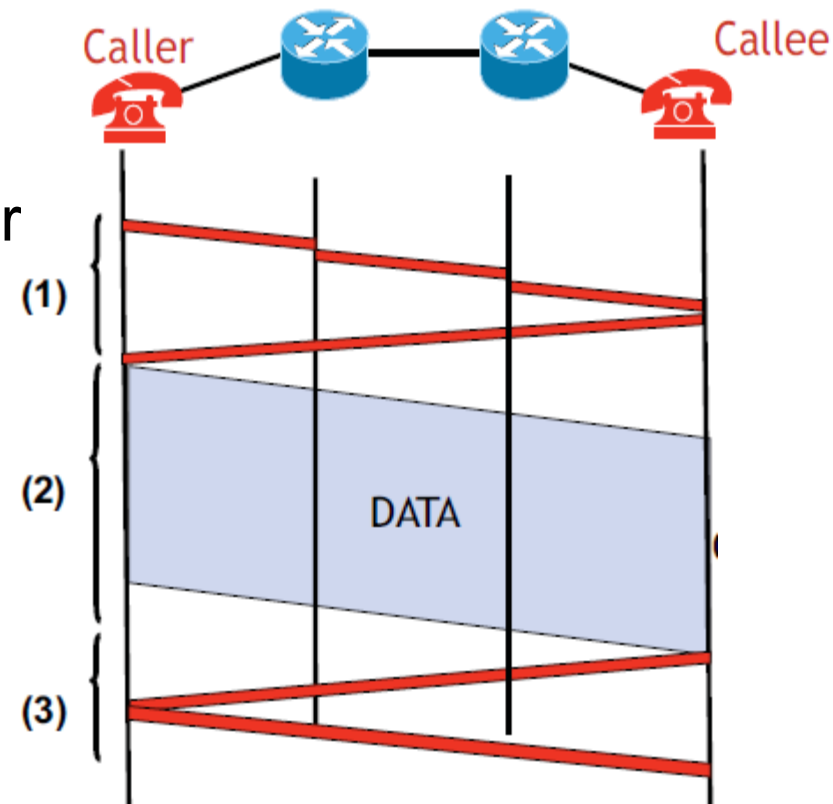
1) Faza uspostave veze

- Konfiguriše svaki komutator na putanji u neko stanje

2) Faza prenosa podataka

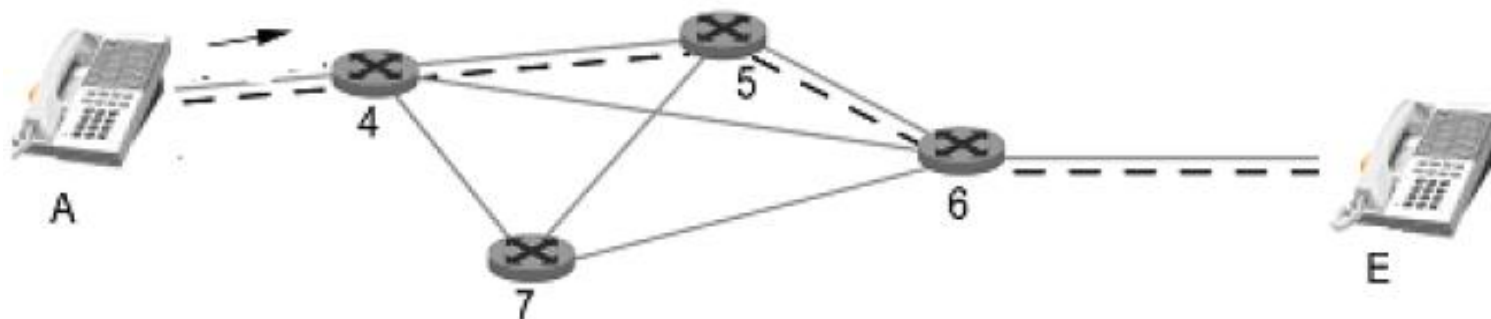
3) Faza raskida veze

- Briše stanje u svakom komutatoru nakon faze prenosa



Komutacija kola

- Tehnika komutacije kola se najčešće koristi **na fizičkom nivou**

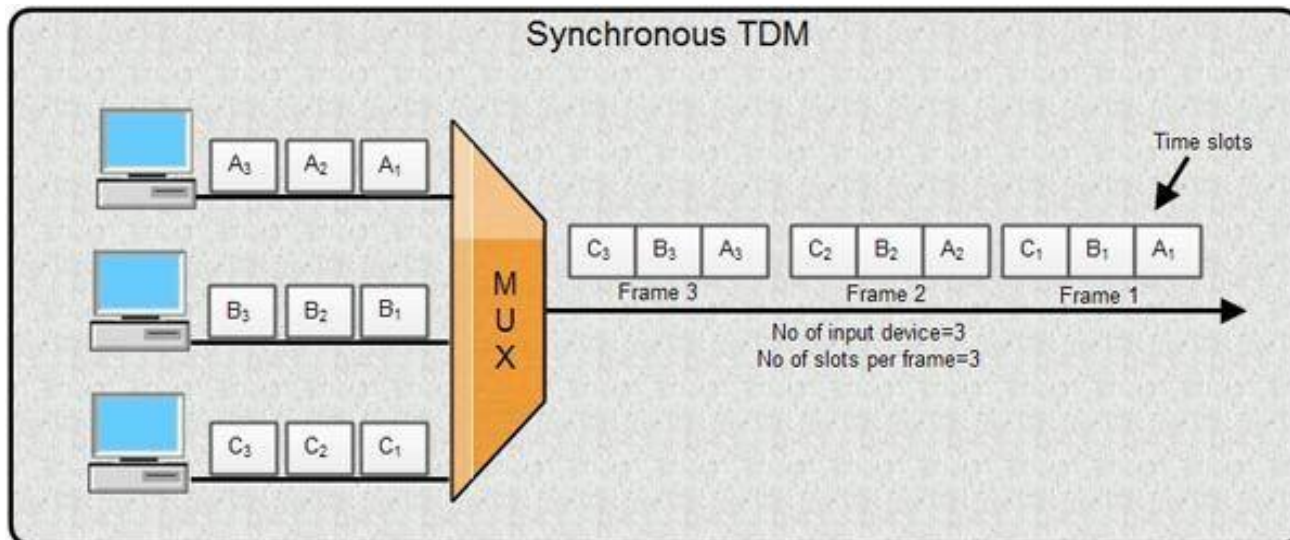


- S obzirom da okviri ne sadrže informacije o njihovom odredištu – **faza uspostave veze** je faza koja brine o tom poslu i zato konfigurira (**rezervira**) sve **resurse** potrebne za komunikaciju (prenos podataka) i na taj način **obezbedi iluziju** namenskog linka. Uloga faze raskida je da oslobodi sve predhodno rezervisane resurse

Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser (Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- Vrlo čest (ali ne i jedini) ***način implementacije tehnike komutacije kola***
- Poznat i kao ***izohroni prenos***

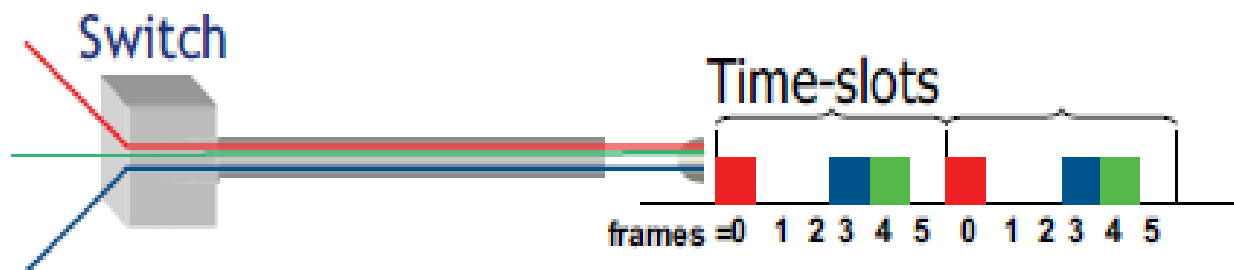


Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- Fizički **kapacitet**, ili bitska brzina, odlaznog linka povezanog na komutator, **C** (u **b/s**), je **podeljen** u **N** „**virtuelnih linkova**“ - svakom linku je
 - **dodeljen kapacitet C/N b/s** (označimo sa **R**), i
 - **pridružuje se jednoj** prenosnoj sesiji (**vezi**)

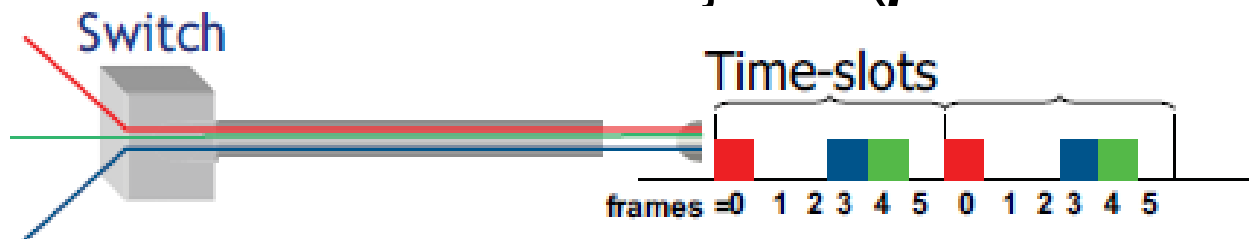


Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- Ako ograničimo da **svaki okvir** bude **konstantne dužine** - **s bitova**
- Komutator vrši **vremensko multipleksiranje** tako što će:
 - kapacitet linka raspodeliti u **vremenske celine (slotove)** dužine **s/C** vremenskih jedinica, i
 - pridružiti **i -ti vremenski slot** **i -toj vezi (po modulu N)**



Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- Ovaj pristup obezbeđuje ***svakoj sesiji*** dodeljeni ***intezitet od R b/s***

Provera:

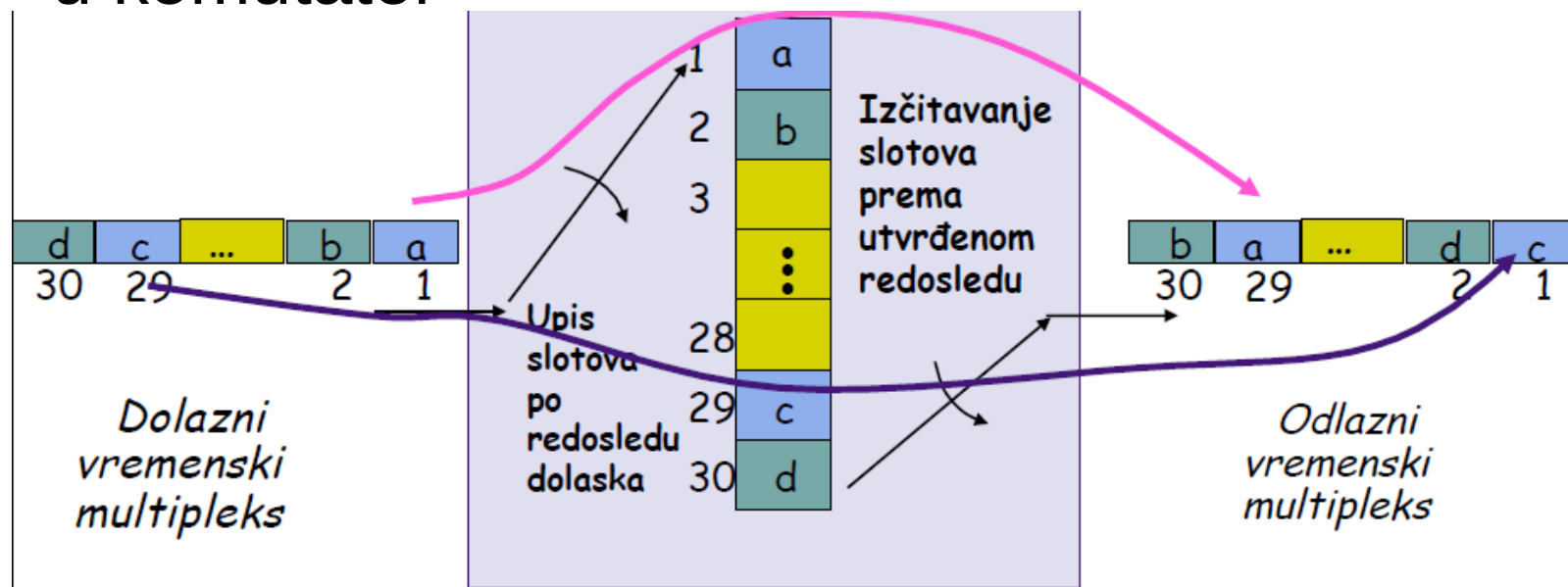
- Svaka sesija šalje ***s bitova*** u vremenskom periodu od Ns/C sekundi – svakih N slotova s bitova
- Što odgovara protoku – $s/(Ns/C)$
- Nakon skraćivanja daje $C/N = \mathbf{R\ b/s}$ (a to je upravo intezitet dodeljen svakoj sesiji)

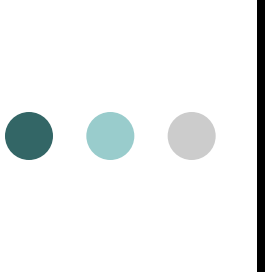
Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- **Prosleđivanje** okvira ka odlaznom portu – **na osnovu vremenskog slota u kome je primljen** u komutator



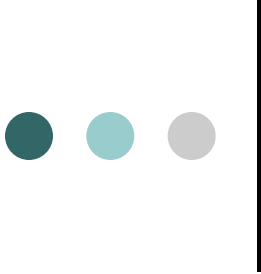


Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

- ***U toku faze uspostave veze*** (prve faze), vrši se pridruživanje jednog od tih kanala sesiji (vezi) koja uskoro sledi u sledećoj fazi dodeljivanjem i-tog slotu i-toj vezi (sesiji)
- ***Krajnje tačke*** šalju svoje podatke jedino u specificiranom vremenskom slotu (naznačen u fazi uspostave veze)

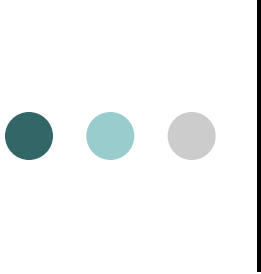


Komutacija kola

- **Drugi načini za implementaciju** komutacije kola obuhvataju
 - Multipleksiranje ***po talasnim dužinama*** (*wave length division multiplexing, WDM*),
 - ***Frekvencijsko*** multipleksiranje (*frequency division multiplexing, FDM*) i
 - ***Kodno*** multipleksiranje (*code division multiplexing, CDM*)
- Poslednje dve tehnike (zajedno sa TDM-om) se koriste u bežičnim mrežama, dok se WDM koristi u brzim optičkim mrežama

Komutacija kola – za i protiv

- Komutacija kola **ima smisla** u mrežama
 - sa **uniformnim saobraćajem** u kome sve veze koriste isti kapacitet i
 - u okviru svake veze **prenos se vrši konstantnim intezitetom** (ili blizu konstantnim)
- Najočigledniji **primer** takvog opterećenja mreže je u slučaju **telefonije**
- **Svaka** govorna **digitalizovana veza** podrazumeva prenos od **64kb/s**
- Komutacija je prvo i primenjena u telefonskim mrežama



Komutacija kola – za i protiv

- Klasične telefonske mreže, kao i mobilne telefonske mreže se u mnogim zemljama i danas realizuju na ovoj tehnici
- ***Telefonija preko Interneta*** postaje ***vrlo popularna*** tako da neki delovi mrežne infrastrukture klasične telefonske mreže prelaze ***na paketsku komutaciju***

Komutacija kola – za i protiv

- Komutacija kola teži **ne-efikasnom korišćenju kapaciteta linkova** u slučaju
 - **promenljivog** saobraćajnog **opterećenja**,
 - kada **okviri pristižu** u komutator **grupno** – bursty
- **Veliki broj računarskih aplikacija** podrazumeva prenos podataka u grupi
- Potrebno je bilo razmotriti **drugu strategiju prenosa** u računarskim mrežama

Komutacija kola – za i protiv

- **Drugi nedostatak** komutacije kola
- U slučajevima **nailaska $(N+1)$ -ve veze** u komutator čiji je relevantni **odlazni link već ima N aktivnih veza**
- Ta veza mora biti odbačena
- Paketska komutacija nema tih nedostataka