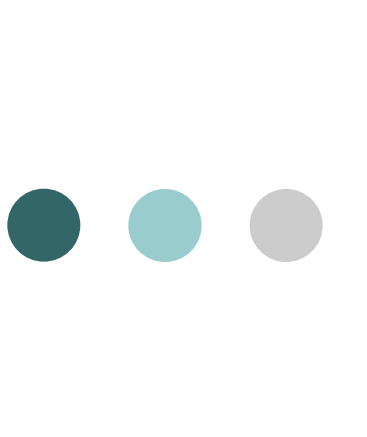


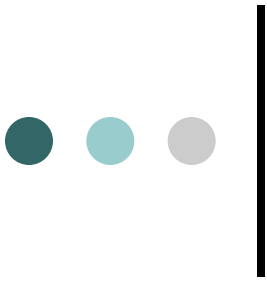
Multimedijalno inženjerstvo – master strukovne studije



Digitalni komunikacioni sistemi: **Lekcija 2:** **Komunikacione mreže**

zima 2019/2020

Branimir M. Trenkić



Komunikacione mreže

- formiranje i načela -
- deljenje resursa i komutatori -

Komunikacione mreže

- Postoje **tehnike koje omogućuju formiranje poin-to-point komunikacionog kanala (linka)** za slanje poruka između **dve direktno povezane stanice**
- Link, između ostalog, karakteriše:
 - određeni intezitet generisanja **grešaka u prenosu**
 - odgovarajući intezitet **gubitaka poruka**
 - Gubitak poruke se dešava kada postojeći **mehanizam za korekciju greške** u prenosu **nije u stanju da koriguje sve nastale greške**
3 prouzrokovane 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 tehnikama kojima se oni prevazilaze***
- ***Pored deljenja resursa 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
 - ***Dve tehnike prenosa - Dva načina komutacije:***
(I) ***komutacija kola*** i (II) ***komutacija paketa***
- ***Uloga bafera*** (paketski komutatori)
- ***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 kanala*** (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*)

Formiranje komunikacione mreže:

(znajući kako se formira
komunikacioni link)

**međusobnim povezivanjem N
komunikacionih uređaja**

je prilično jednostavno:

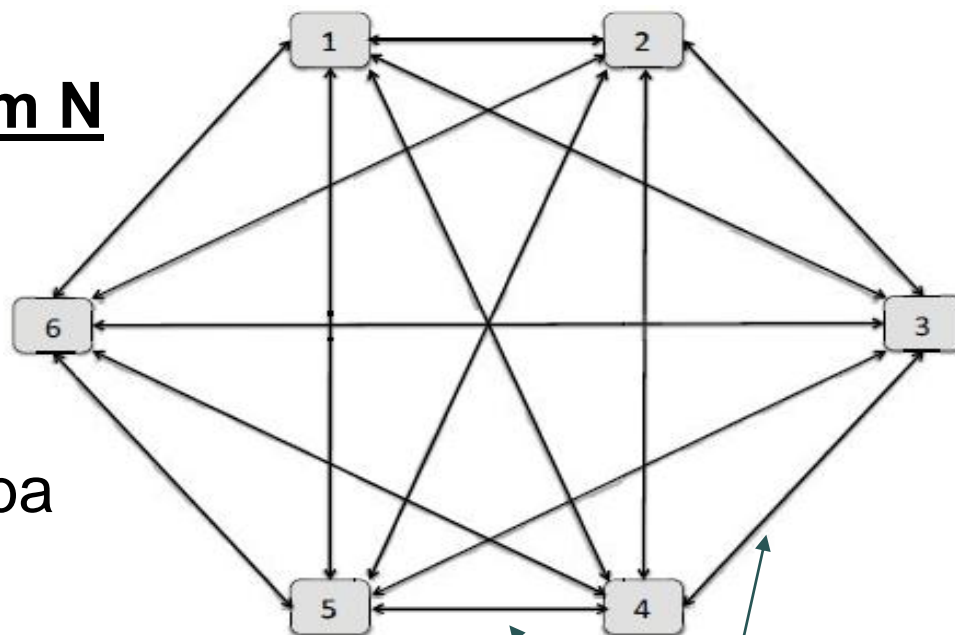
(a)svaki par uređaja

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*)

- U fizičkom smisli, komutator je uređaj sa višestrukim interfejsima (PHY) (često se nazivaju **portovi**) na njemu
- Na svaki od portova **može biti povezan link** (žičani, radio,)



Komutator (*switch*)

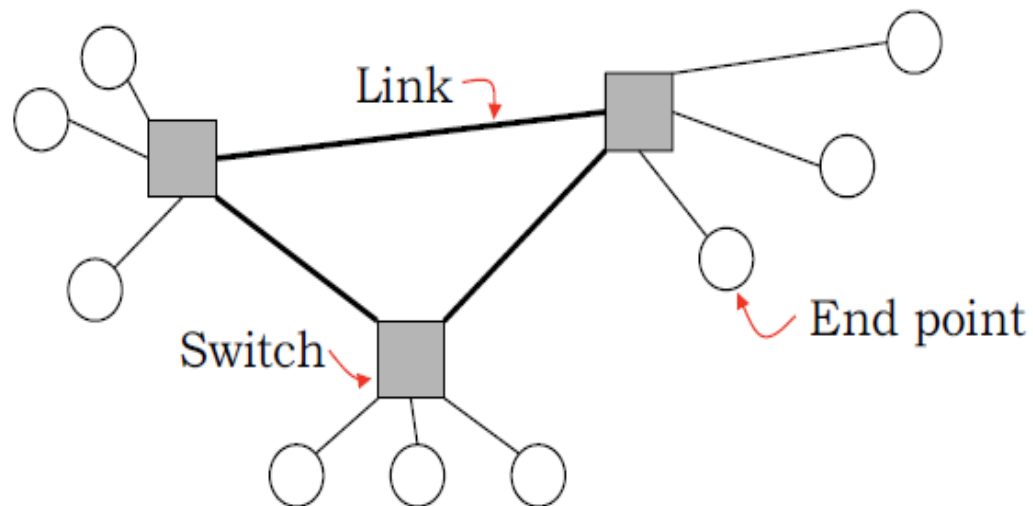
- *Uloga I:*
- Komutator **organizuje** *linkove* tako da se oni ***mogu deliti između različitih konekcija*** ili veza
 - Istovremeno ostvarivanje većeg broja veza između različitih parova stanica – preko jednog linka
- Komutatori imaju ***dodatne resurse*** koji će biti ***deljeni*** od strane različitih veza

Komutator (*switch*)

- *Uloga II:*
- 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***

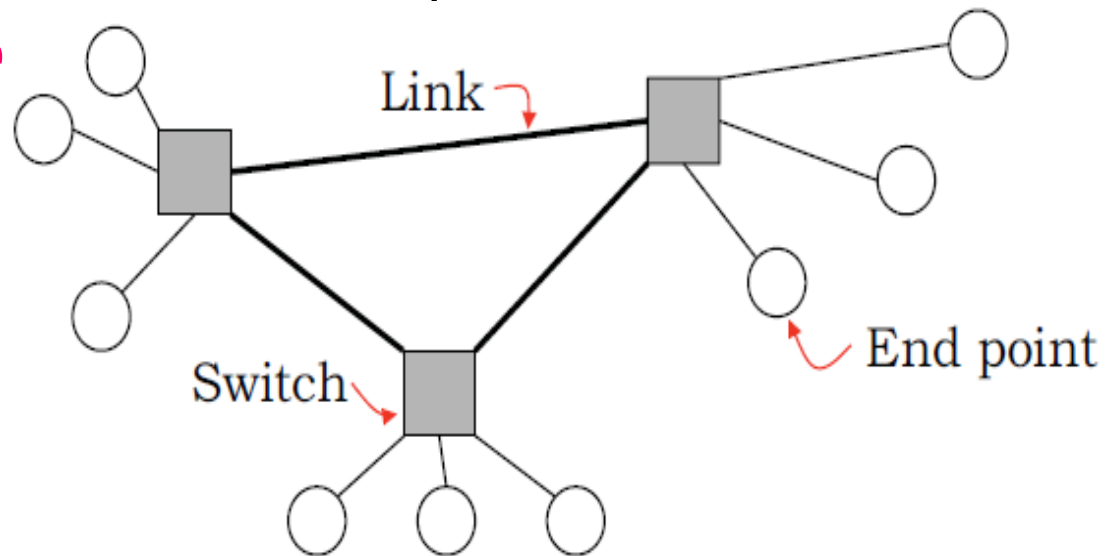
Komutator (*switch*)

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



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

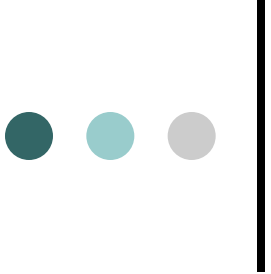
Komutator – osnovna funkcija

- Osnovna funkcija komutatora

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

b) Određivanje linka ili linkova po kojima date podatke treba **proslediti**

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

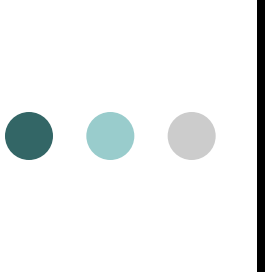


Komutator - tri problema

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

Komutator - tri problema

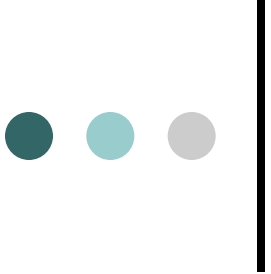
- **Rutiranje**: svaki komutator na neki način **mora da** odredi (**spozna**) **topologiju mreže**, kako bi bio u stanju **da formira korektnu strukturu podataka** na bazi koje će **vršiti prosleđivanje**
- **Proces** u kojem **(I) komutatori (sarađujući) spoznaju topologiju mreže**, **(II)** adaptirajući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



Komutator - tri problema

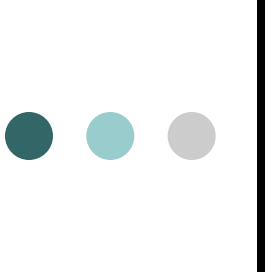
- ***Dodeljivanje resursa***: Komutatori svakoј vezi dodeljuju mrežne (svoje) resurse, a to su pre svega

- I. pristup linku* i
- II. lokalna memorija*



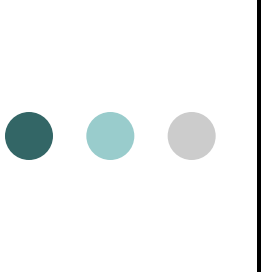
Komutator - tri problema

- Vremenom su se izdvojila **dva** različita **načina za rešavanje ovih problema:**
- **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

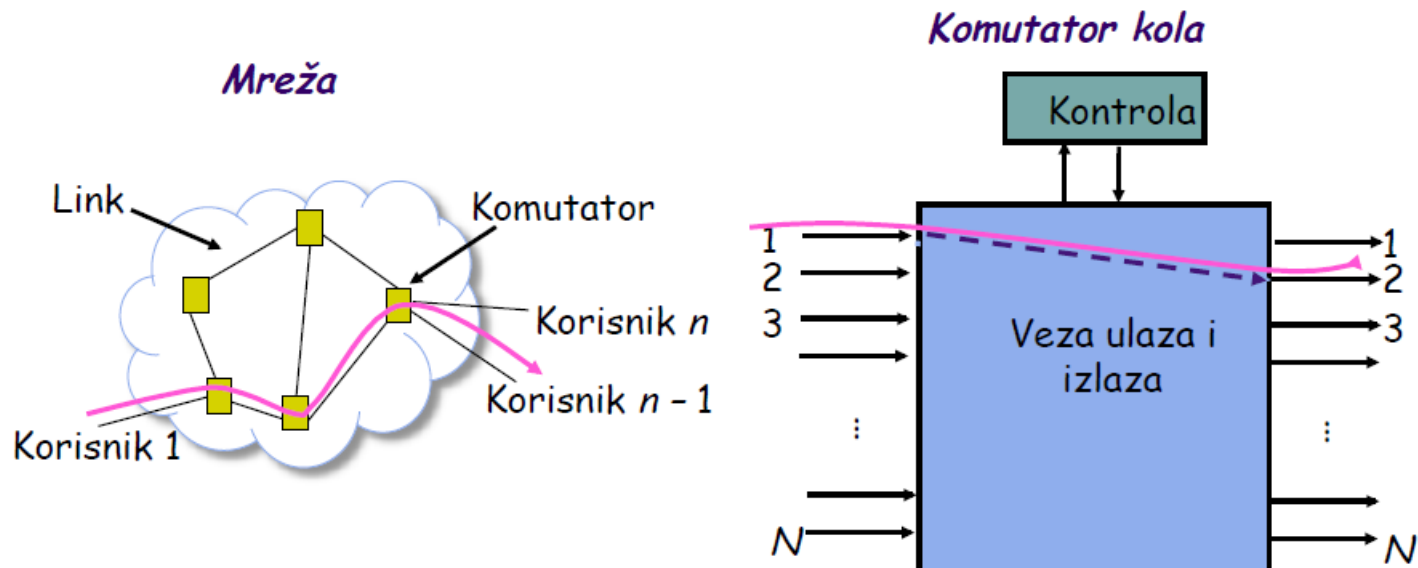
- **Razlika u samoj filozofiji prenosa** je mnogo bitnija:
- **U mrežama sa komutacijom kola** svakom paru koji komunicira **dodeljuje se link** (apstrakcija koju nazivamo **namenski link**)
 - Ovaj namenski link se sastoji od **više fizičkih linkova** (najmanje dva) i najmanje jednog **komutatora**
 - Krajnje tačke i komutator imaju **dodatni posao** kako bi **ostvarili iluziju direktne komunikacije**, t.j. **²⁶namenskog 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**:

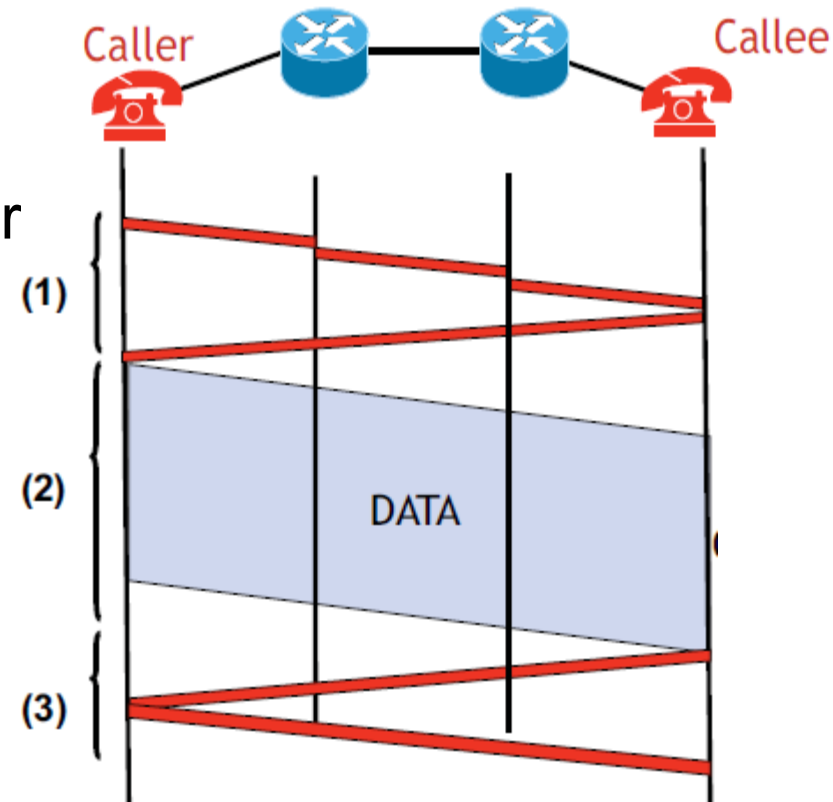
1) Faza uspostave veze

- Konfiguriše svaki komutator na putanji u neko stanje

2) Faza prenosa podataka

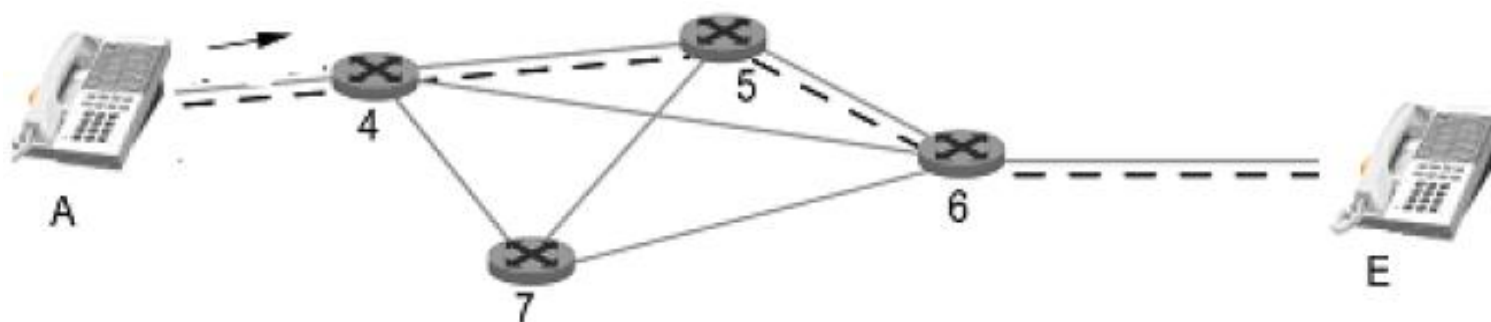
3) Faza raskida veze

- Briše stanje u svakom komutatoru nakon faze prenosa



Komutacija kola

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



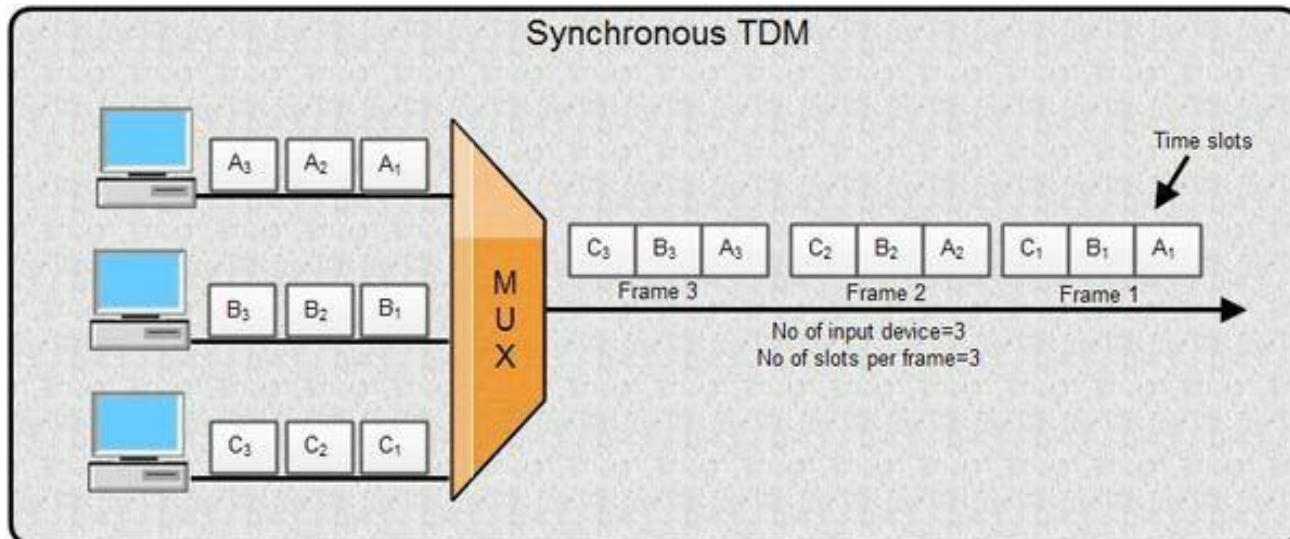
- S obzirom da okviri ne sadrže informacije o njihovom odredištu – **faza uspostave veze** je faza koja brine o tom poslu i zato konfigurira (**rezervira**) sve **resurse** potrebne za komunikaciju (prenos podataka) i na taj način **obezbedi iluziju** namenskog linka. Uloga faze raskida je da oslobodi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

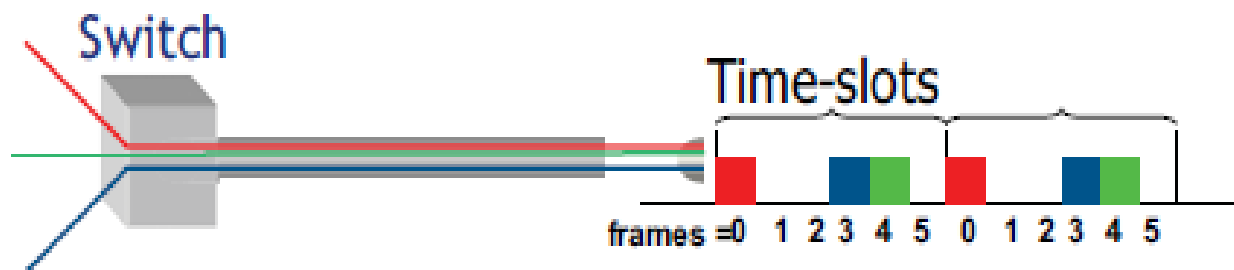


Komutacija kola

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**)



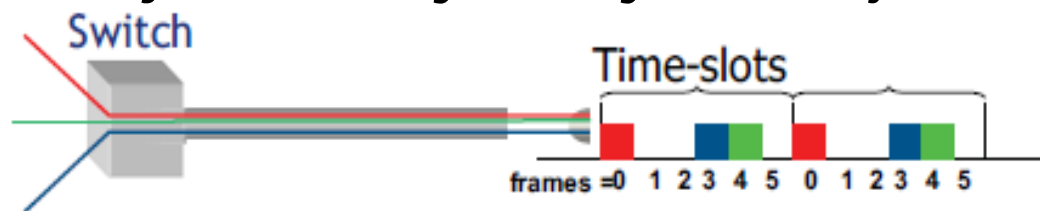
Komutacija kola

Primer: Sinhroni vremenski multiplekser

(Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)

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

Provera:



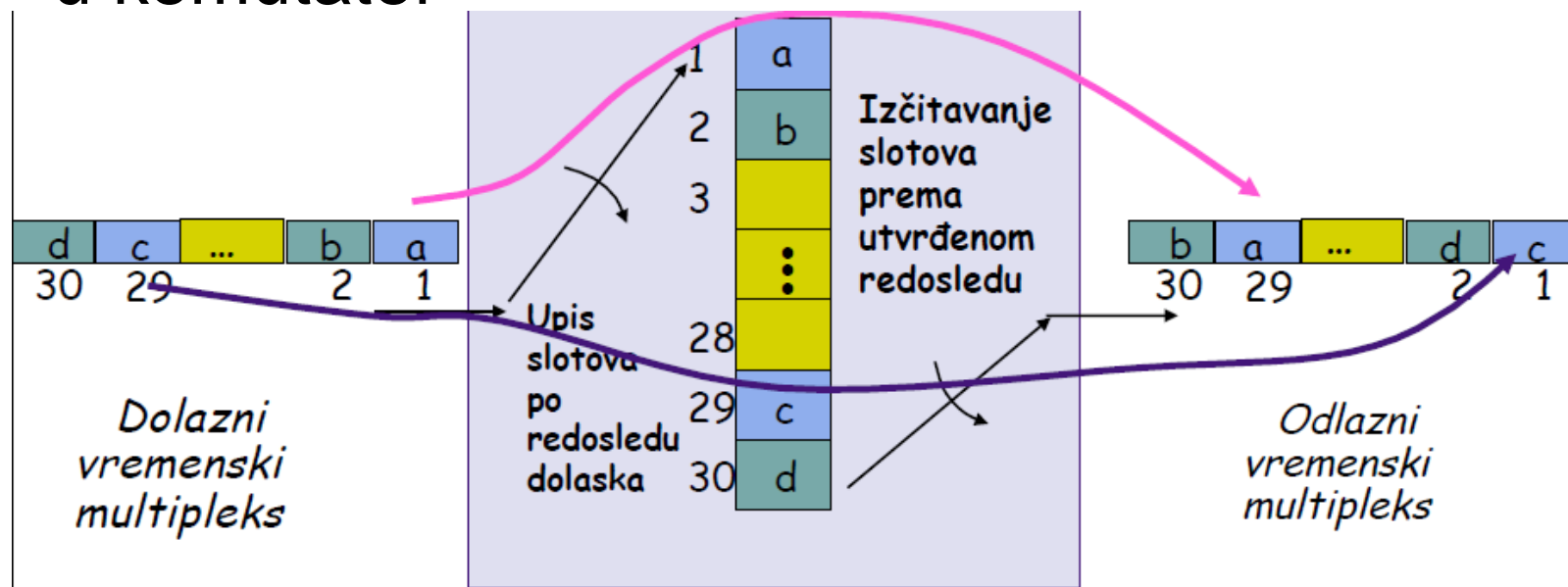
- Svaka sesija šalje **s bitova** u vremenskom periodu od **Ns/C sekundi** – svakih **N slotova s bitova**
- Što odgovara protoku – $s/(Ns/C)$
- Nakon skraćivanja daje $C/N = R$ **b/s** (a to je upravo intezitet dodeljen svakoj sesiji)

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 j-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 (PCM)**
- 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