



Preddiplomski studij

Računarstvo

Komunikacijske mreže

2.

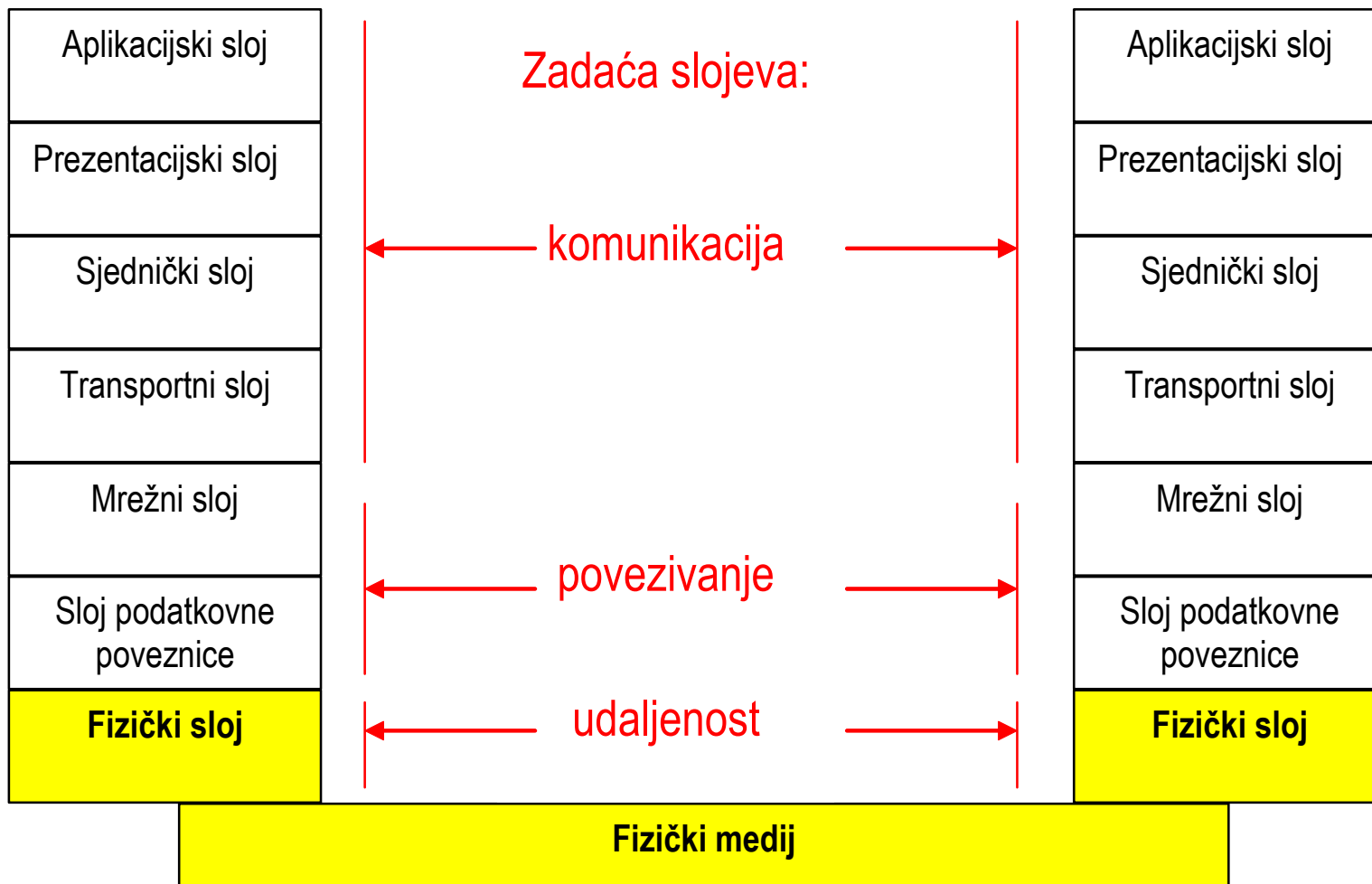
Fizički sloj

Sloj podatkovne poveznice

Ak.g. 2011./2012.

- ◆ Fizički sloj
 - zadaća
 - oblikovanje
- ◆ Prijenosni medij
 - parica
 - koaksijalni kabel
 - optičko vlakno
 - radijski prijenos
 - višestruka uporaba
- ◆ Sloj podatkovne poveznice
 - zadaća
 - oblikovanje

Fizički sloj i prijenosni medij



Zadaća fizičkog sloja:

- ◆ omogućiti prijenos na određenu udaljenost
- ◆ jedinica podataka: bit
- ◆ prijenos slijeda bita fizičkim medijem
- ◆ mehaničko, električko/optičko i vremensko sučelje s prijenosnim medijem

Prijenos informacije:

- ◆ električki
- ◆ optički (fotonički)

Oblikovanje fizičkog sloja uključuje:

- ♦ odabir prijenosnog medija te
- ♦ načina prijenosa za zahtijevanu brzinu prijenosa i udaljenost.

Na brzinu prijenosa i domet utječu:

- ♦ širina prijenosnog pojasa B (Hz)
- ♦ izobličenja u prijenosu (gušenje signala),
- ♦ interferencija (smetnje od vlastitog ili drugih signala),
- ♦ broj prijamnika (prigušenje i izobličenje signala).

Kapacitet komunikacijskog kanala određuju:

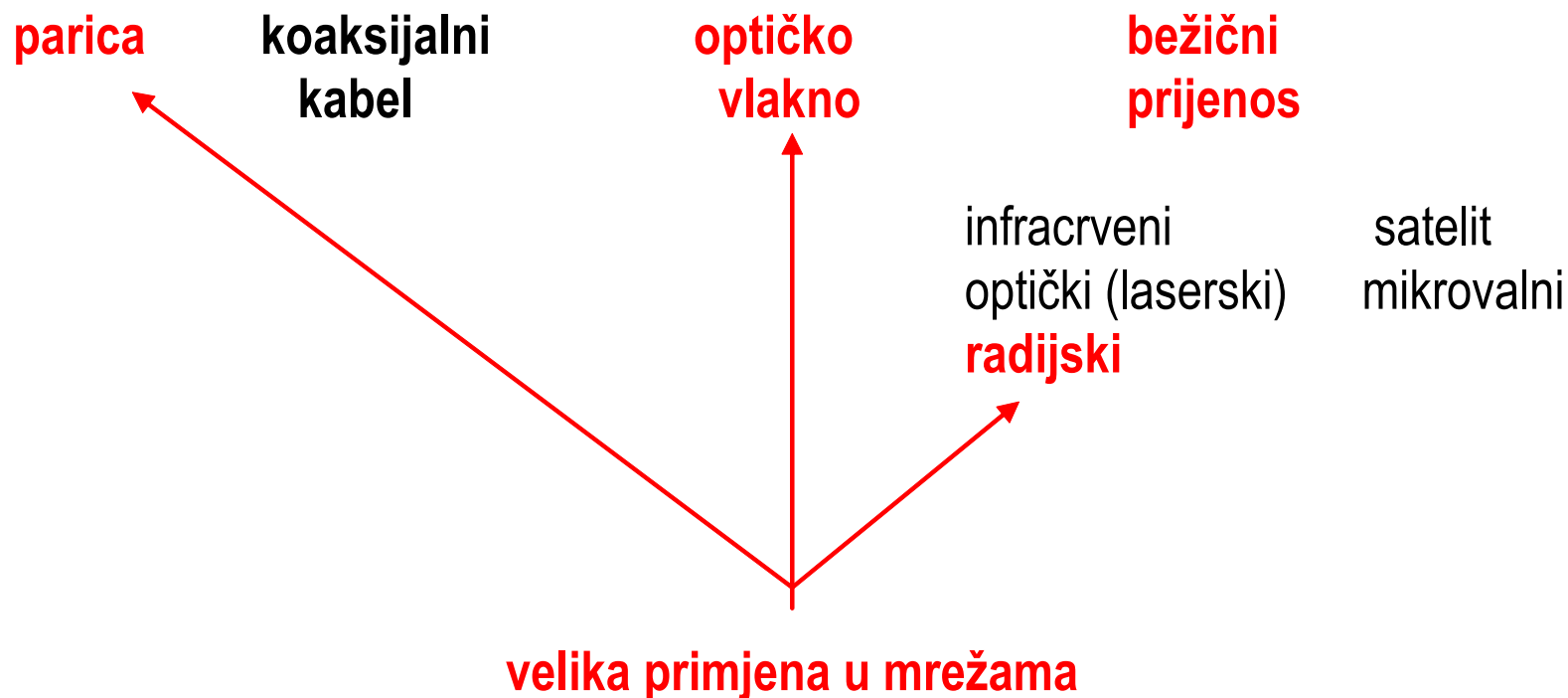
- ♦ širina prijenosnog pojasa B
- ♦ odnos signal – šum S/N

Signalna domena prijenosa informacije:

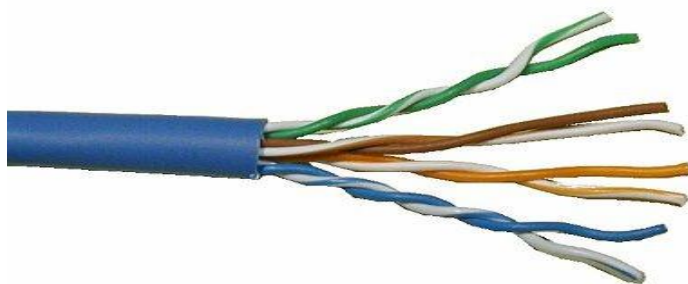
- ♦ **izvor**: pretvorba digitalnog signala – bita u signalne elemente prilagođene uvjetima prijenosa (modulacija, kodiranje),
- ♦ **prijenos** fizičkim medijem, uz moguće djelovanje smetnji koje izazivaju pogreške,
- ♦ **odredište**: pretvorba primljenih signalnih elemenata (demodulacija, dekodiranje) u digitalni signal – bit

Teorija informacije!

Prijenosni mediji (engl. *transmission media*)



engl. *pair*



- ◆ dva bakrena vodiča promjera do 1 mm koji su upredeni kako bi se smanjio međusobni elektromagnetski utjecaj
 - upredena parica (engl. *twisted pair*)
 - neoklopljena upredena parica (engl. *Unshielded Twisted Pair*, UTP)
 - oklopljena upredena parica (engl. *Shielded Twisted Pair*, STP)
- ◆ parica je jako rasprostranjena, prikladna i za analogni i za digitalni prijenos

Brzina prijenosa ovisi o:

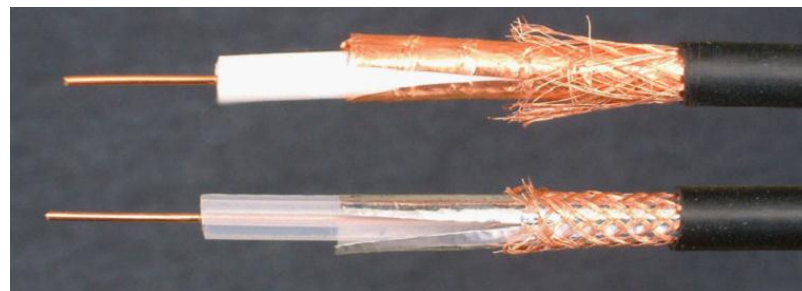
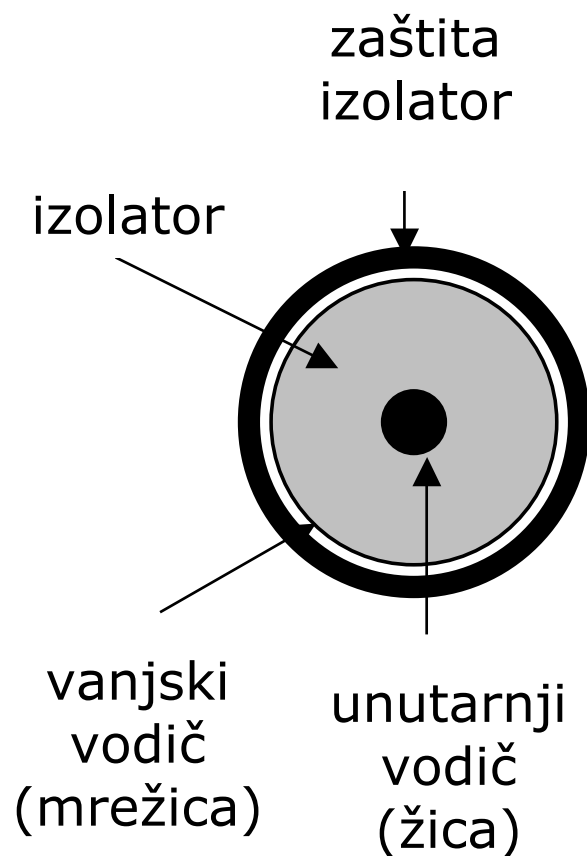
- ◆ debljini žice,
- ◆ duljini žice,
- ◆ načinu upredanja,
- ◆ načinu slaganja parica u kabel.

Kategorija parice (“CAT”) – klasifikacija prema mogućoj brzini prijenosa (npr. CAT 5 – primjena u LAN-ovim do 100 Mbit/s)

Primjer ADSL:

- ◆ maksimum: **ili** brzina (u dolaznom smjeru 8 Mbits, u odlaznom 640 kbits) **ili** udaljenost (5486 m) – **obrnuto proporcionalno!**
- ◆ RH: dobra izvedba u gradovima – duljina parice do 1km

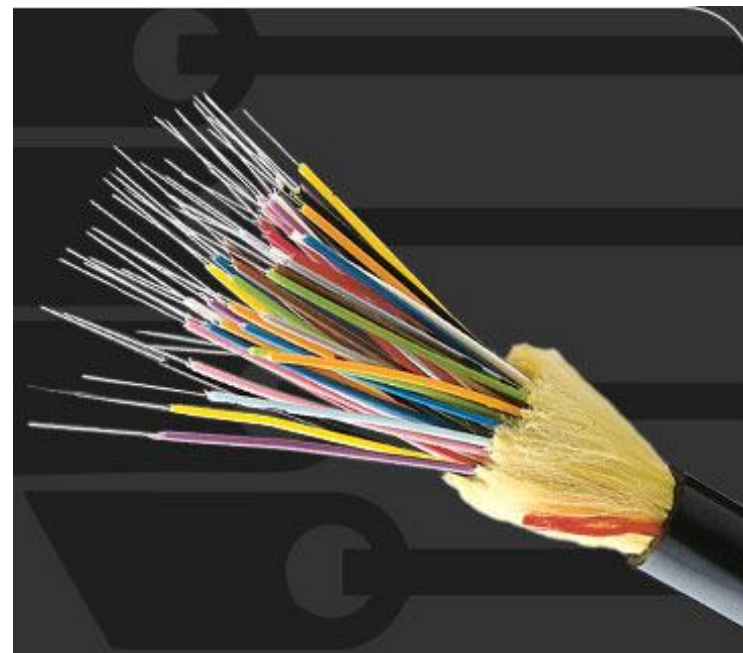
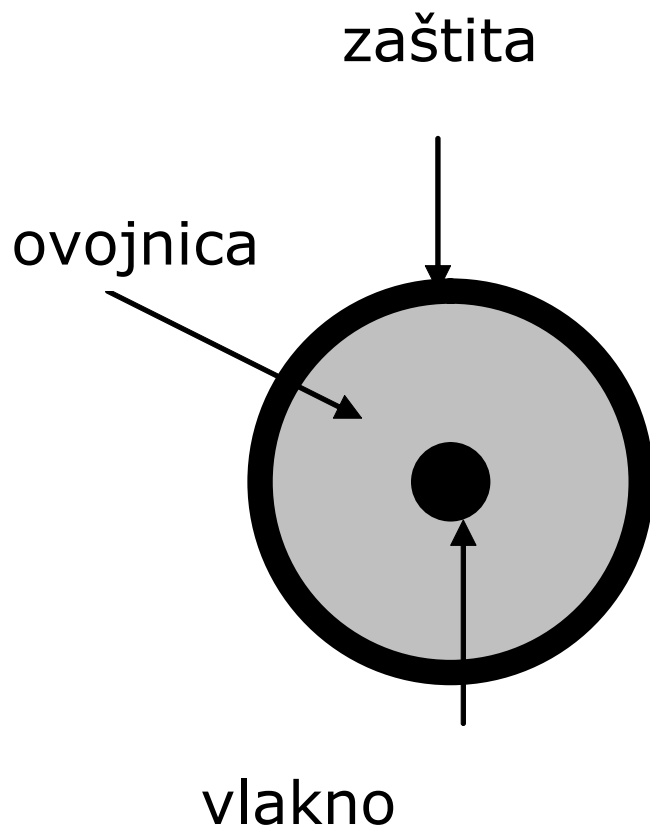
engl. *coaxial cable* ("coax")



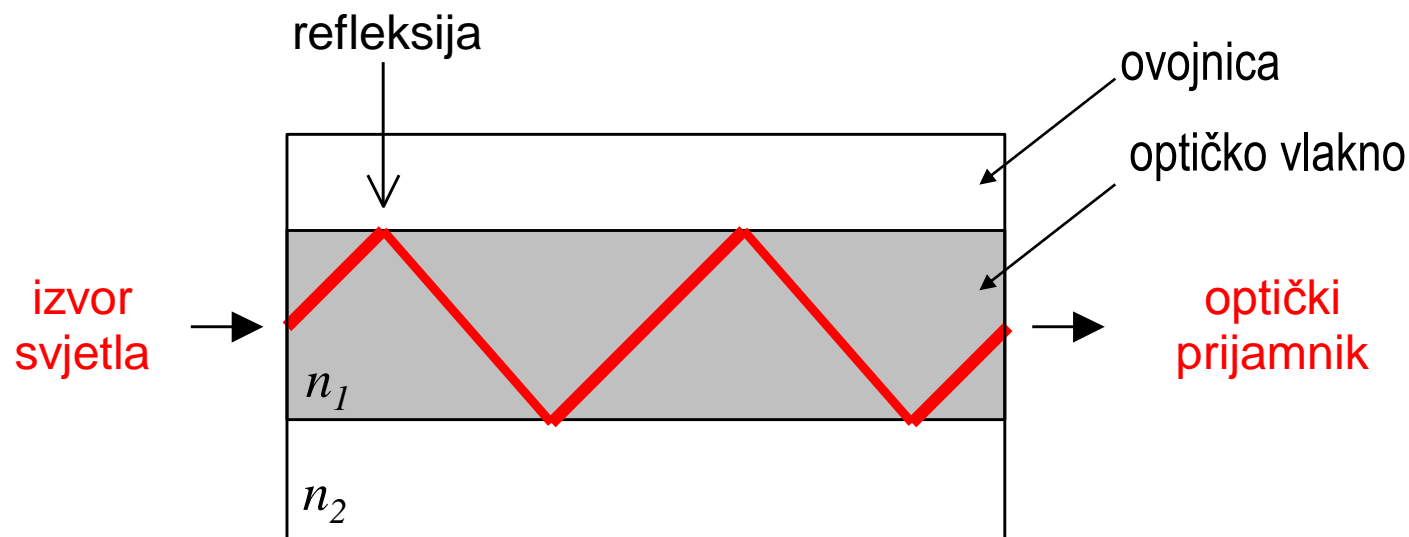
- ♦ velika širina pojasa i dobra zaštita od smetnji, ali
- ♦ lošije performanse od optičkih vlakana koja su ih istisnula iz uporabe
- ♦ primjena: kabelska TV

Optičko vlakno (1)

engl. *fibre (fiber) optics*



- ♦ optičko vlakno i ovojnica: staklo
- ♦ kabel s optičkim vlaknima (engl. *fibre optic cable*), optički kabel sadrži više vlakana



- ♦ indeks loma ovojnice manji od indeksa loma vlakna kako bi se svjetlost zadržala u vlaknu ($n_1 > n_2$)
- ♦ jednomodno vlakno (engl. *single-mode fibre*): kad promjer vlakna nije veći od nekoliko valnih duljina svjetlosnog signala, može se postići rasprostiranje svjetla na jedan način (*mode*), jednom zrakom
- ♦ višemodno vlakno (engl. *multimode fibre*): rasprostiranje svjetla s više zraka, uz odbijanje

Prednosti optičkog vlakna:

- ♦ veća brzina prijenosa (Gbit/s, Tbit/s)
- ♦ malo prigušenje signala, tako da se obnavljanje signala provodi na većim udaljenosti, od nekoliko desetaka do iznad sto kilometara (npr. za jednomodno vlakno s 50 Gbit/s na 100 km)
- ♦ neosjetljivost na elektromagnetske utjecaje i koroziju,
- ♦ tanka i lagana,
- ♦ prisluškivanje teško izvedivo.

Nepovoljne strane optičkog vlakna:

- ◆ jednosmjerni prijenos, tako da su potrebna dva vlakna za dvosmjerni prijenos,
- ◆ optička sučelja složenija i skuplja od električkih,
- ◆ instrumentarij za izvedbu i održavanje mreža složeniji i skuplji.

Primjeri:

- ◆ prijenos različitih informacijskih sadržaja paricom (modem, ISDN, ADSL) i optičkim vlaknom [KM-2010_02_FiberSpeed](#)

Propagacijsko kašnjenje (rasprostiranje) – mala razlika

$$d = L/c$$

L udaljenost (m)

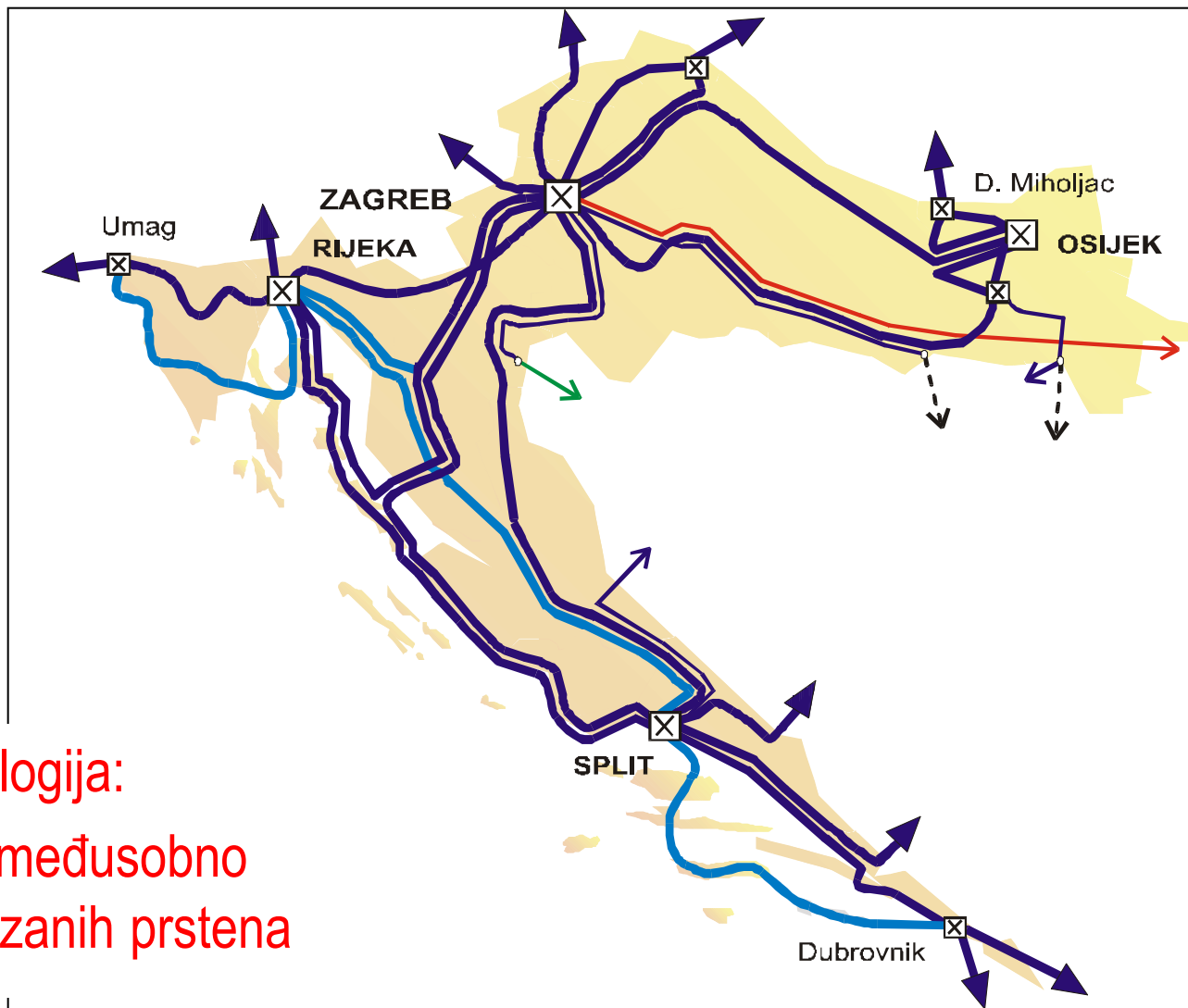
c brzina signala (svjetlosti) u mediju (m/s)

bakreni vodič: $c = 2,3 \times 10^8$ m/s

optičko vlakno: $c = 2 \times 10^8$ m/s

Primjeri:

- optičkim vlaknom 1 km: 5 μ s
- optičkim vlaknom Zagreb – Split (400 km): 2 ms
- optičkim vlaknom oko Zemlje (40.000 km): 0,2 s
- Koliko će trajati prijenos 1 Gbita podataka iz Zagreba u Split optičkim sustavom koji osigurava propusnost od 1 Gbit/s?

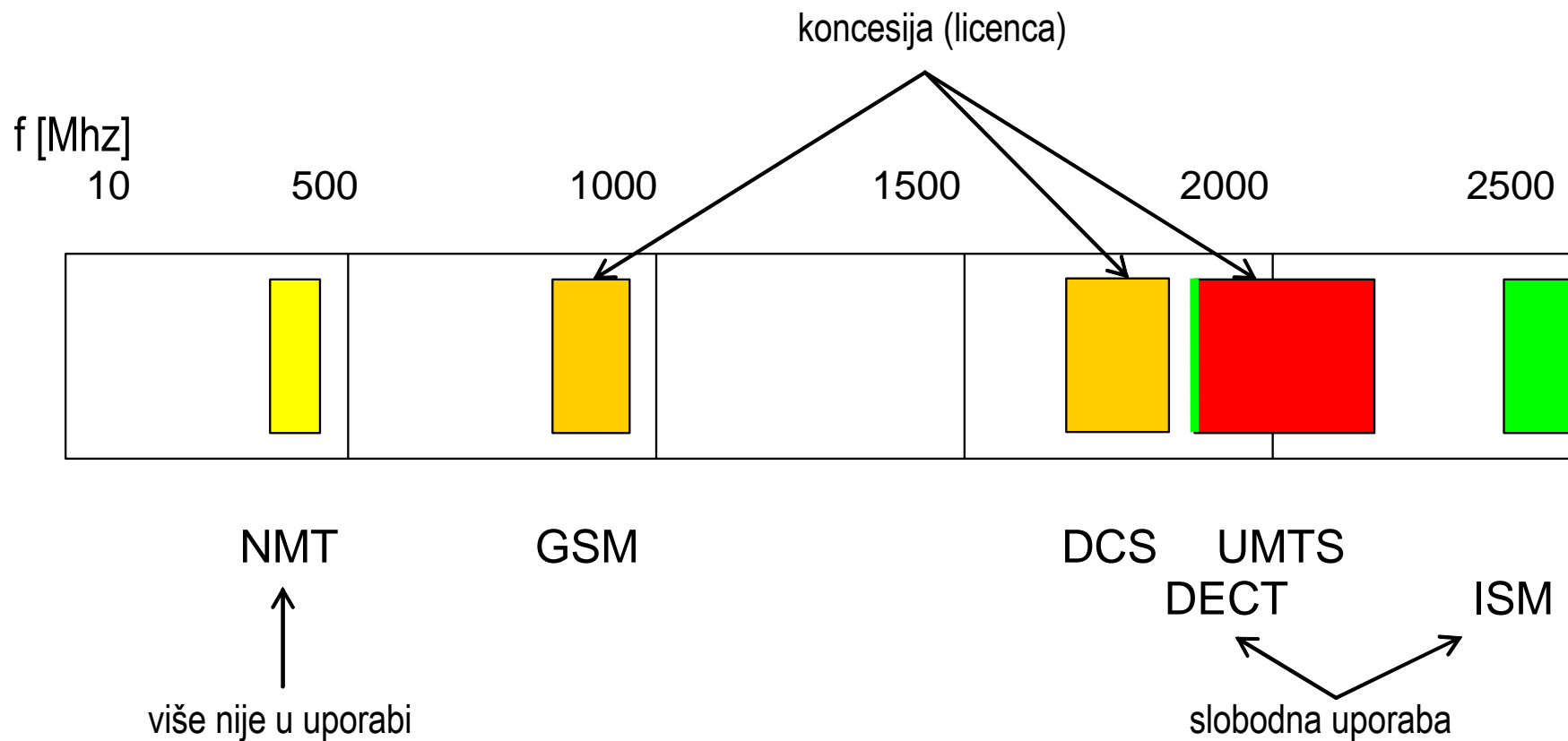


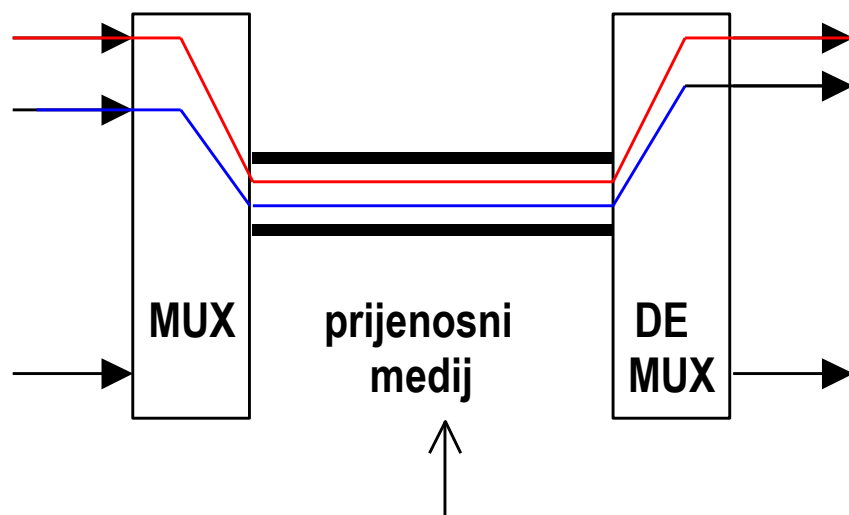
Topologija:
više međusobno
povezanih prstena

- ◆ prijenos informacije elektromagnetskim valom u slobodnom prostoru u definiranom dijelu **radiofrekvencijskog spektra**
- ◆ prednost pred infracrvenim (domet, usmjerenost, od točke do točke) i laserskim prijenosom (osjetljivost na atmosferske utjecaje)
- ◆ primjena u mreži:
 - pristup korisnika javnoj pokretnoj mreži,
 - pristup korisnika lokalnoj mreži,
 - povezivanje dvaju točaka (npr. usmjerena mikrovalna veza).

- ◆ upravljanje radiofrekvencijskim spektrom:
 - međunarodni dogovor i nacionalna provedba kojom rukovodi regulatorno tijelo (Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije, www.hakom.hr),
 - ograničeni resurs koji ograničava i broj bežičnih mreža,
- ◆ uporaba dijela radiofrekvencijskog spektra uz naplatu, npr.:
 - javne pokretne mreže (GSM, UMTS), bežične pristupne mreže
- ◆ slobodna uporaba dijela radiofrekvencijskog spektra, npr.:
 - bežični telefon (DECT)
 - bežična lokalna mreža u pojasu ISM (*Industrial Scientific Medical*)

Radiofrekvencijski spektar (2)





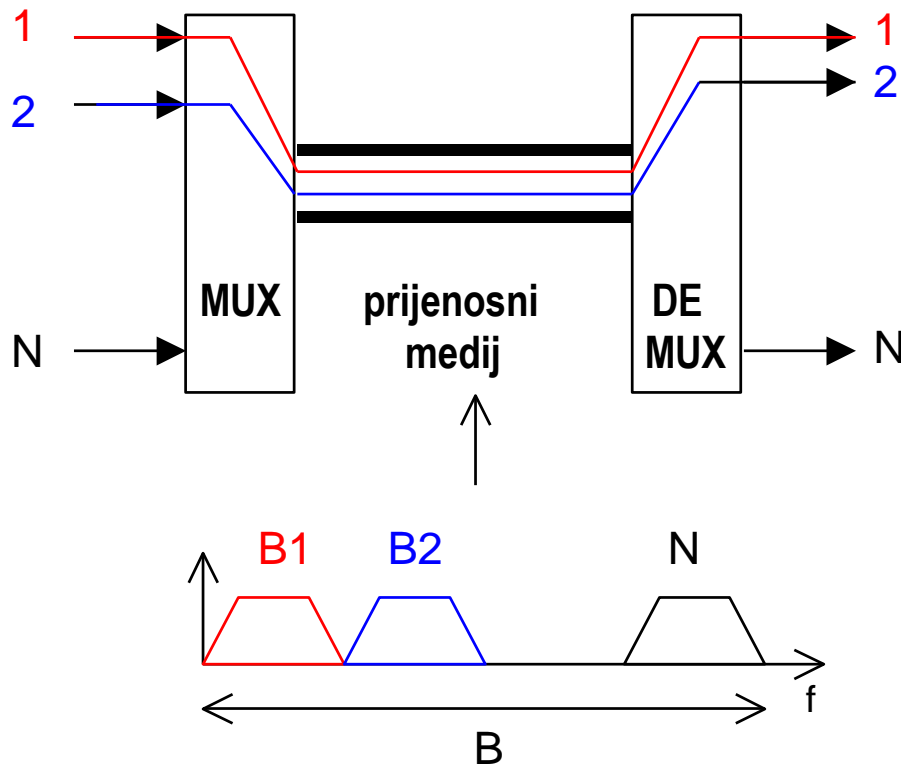
Podjela po komponenti
informacijskog volumena:

- frekvencija
- vrijeme
- valna duljina

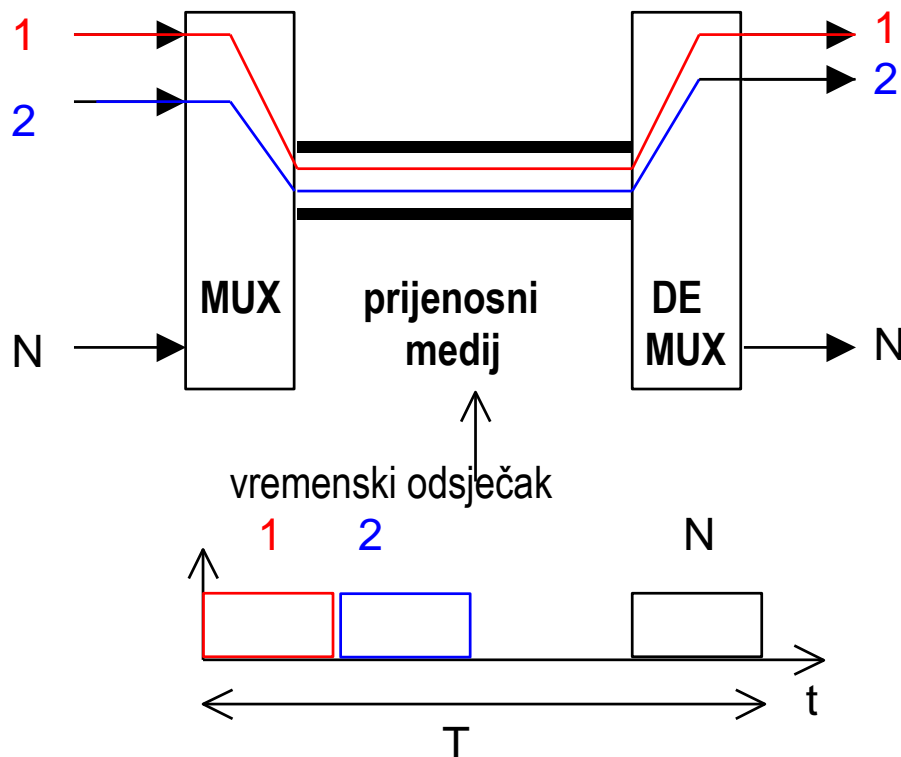
Prijenosni medij između dvije
točke upotrijebiti za povezivanje
više izvora i odredišta istodobno

- ◆ svakom paru izvor-odredište
dodjeljuje se drugi dio odabrane
komponente informacijskog
volumena
- ◆ višestruka uporaba –
multipleksiranje (engl.
multiplexing)
 - multipleksor (MUX)
 - demultipleksor (DEMUX)

engl. *Frequency Division Multiplexing, FDM*

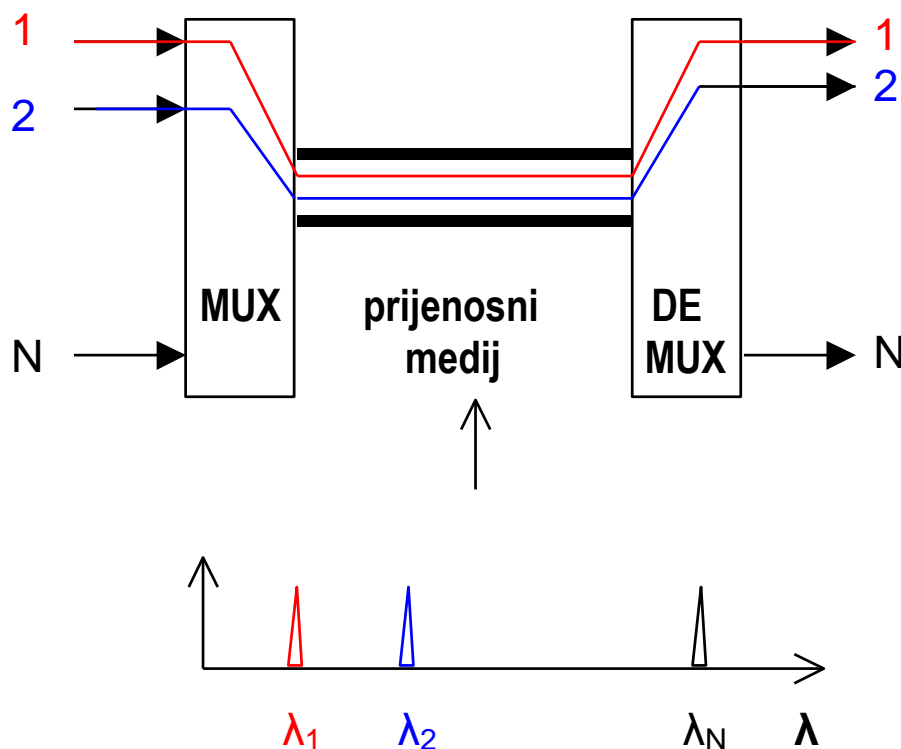


- ♦ svakom paru izvor-odredište dodjeljuje se drugi dio frekvencijskog pojasa B
- ♦ frekvencijski odvojeni kanali na istom prijenosnom mediju!



engl. *Time Division Multiplexing*, TDM

- ◆ svakom paru izvor-odredište dodjeljuje se fiksni vremenski odsječak unutar okvira trajanja T
- ◆ okviri se ponavljaju i odsječci ciklički izmjenjuju (1, 2, .., N , 1, 2, ..)
- ◆ vremenski odvojeni kanali na istom prijenosnom mediju!



engl. *Wavelength Division Multiplexing, WDM*

- ♦ samo optički prijenos!
- ♦ svakom paru izvor-odredište dodjeljuje se druga valna duljina λ
- ♦ kanali odvojeni valnim duljinama na istom prijenosnom mediju!

Pulsno kodna modulacija

(engl. *Pulse Code Modulation*, PCM)

- ◆ osnovna primjena: digitalizacija govora u telefonskoj mreži
 - govor: analogni signal 300 – 3400 Hz ($B = 4$ kHz)
 - uzimanje uzoraka frekvencijom $2B = 8$ kHz, tj. svakih 125 μ s, kodiranje svakog uzorka s 8 bita, što daje $8 \times 8 = 64$ kbit/s
- ◆ okvir:
 - trajanje 125 μ s
 - 32 kanala: 30 govornih
 - 1 sinkronizacijski (usklađivanje predajnika i prijamnika)
 - 1 signalizacijski (pozivni broj, stanje poziva,)
 - kapacitet: $32 \times 64 = 2048$ kbit/s = 2,048 Mbit/s ← “2 Mbit/s”

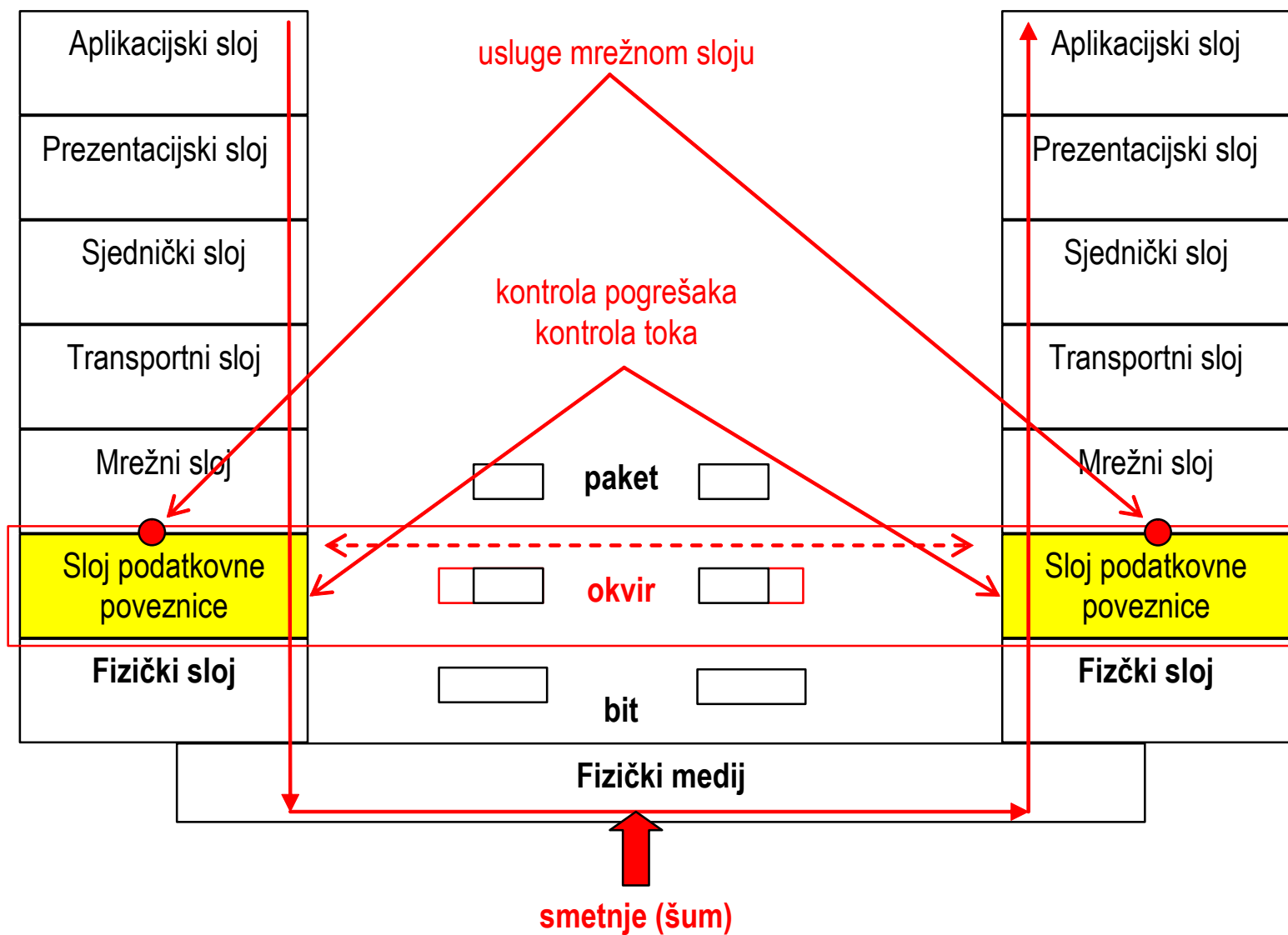
Sinkrona digitalna hijerarhija

(engl. *Synchronous Digital Hierarchy*, SDH)

- ◆ prijenos bita u ekstremno točnim trenucima (usklađenost predajnika i prijamnika) upravljani glavnim satom točnosti 10^9 (atomska sekunda)
- ◆ mogućnost multipleksiranja kanala različitih kapaciteta
- ◆ okvir:
 - sinkroni transportni modul (engl. *Synchronous Transport Module*, STM)
 - u RH su u primjeni STM-1 (155 Mbit/s), STM-4 (620 Mbit/s) i STM-16 (2500 Mbit/s)

Sloj podatkovne poveznice

Sloj podatkovne poveznice (1)



Zadaća:

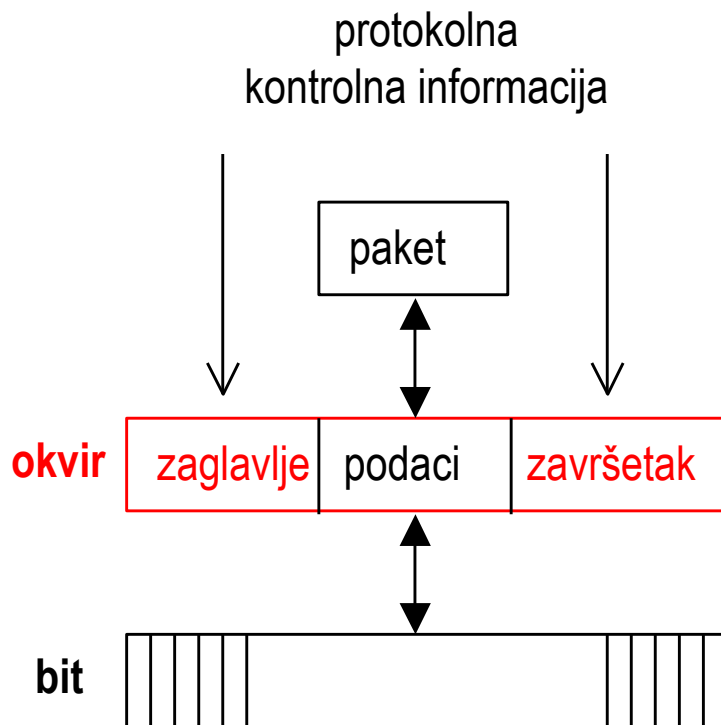
- ♦ omogućiti povezivanje dva susjedna (izravno povezana) čvora:
 - pružanje usluge mrežnom sloju,
 - obrada pogrešaka u prijenosu,
 - upravljanje tokom podataka.
- ♦ jedinica podataka: okvir (engl. *frame*)

Problemi koji utječu na učinkovitost i pouzdanost:

- ♦ konačni kapacitet kanala, kašnjenje, djelovanje smetnji koje izazivaju pogreške bita, kvarovi,

Oblikovanje podatkovne poveznice uključuje:

- ◆ Definiranje jedinice podataka: okvir
- ◆ Način rukovanja jedinicama podataka mrežnog sloja većima od okvira: fragmentiranje
- ◆ Definiranje usluge mrežnom sloju: spojna/nespojna, s/bez potvrde
- ◆ Način upravljanja pogreškama: otkrivanje, ispravljanje
- ◆ Način upravljanja tokom: izvor ne odašilje više podataka nego što ih odredište može primiti



Sadržaj okvira:

- ♦ polje podataka (engl. *payload*)
- ♦ polja s upravljačkom informacijom:
 - ispred polja podataka: zaglavlje (engl. *header*)
 - iza polja podataka: završetak (engl. *trailer*)
- ♦ u polje podataka okvira smješta se protokolna jedinica podataka mrežnog sloja, npr. paket

Duljina okvira:

- ♦ fiksna, utvrđena unaprijed ili
- ♦ varijabilna, zbog varijabilnog polja podataka, pri čemu je utvrđena najveća moguća duljina

Veličina polja podataka u okviru:

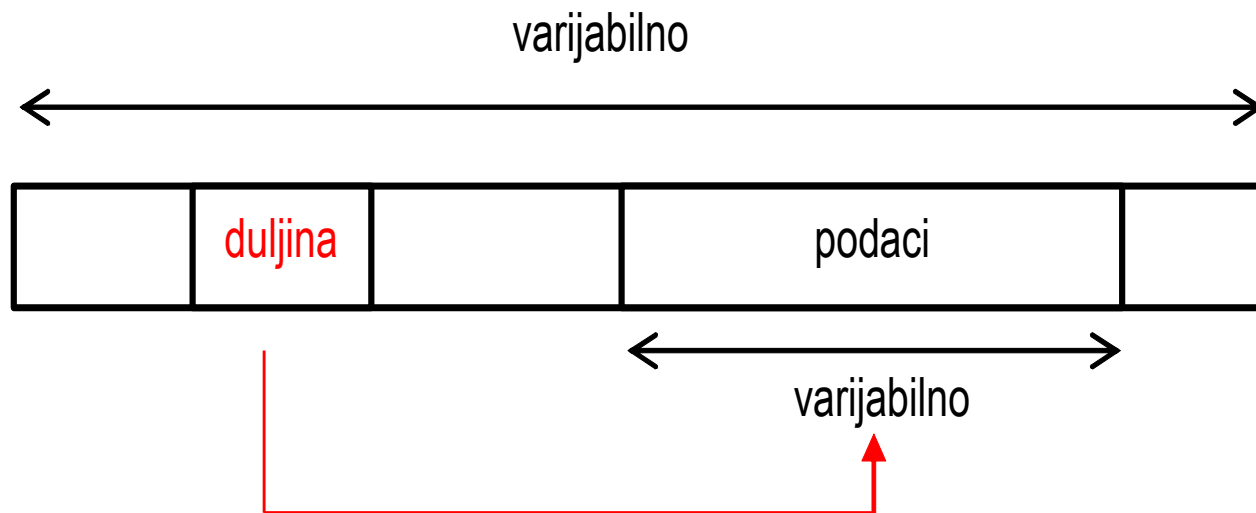
- ♦ veća ili jednaka mrežnoj jedinici podataka: mrežna jedinica podataka se smješta u okvir
- ♦ manja od mrežne jedinice podataka: mrežna jedinica podataka se dijeli na više manjih dijelova (fragmenata, segmenata) koji se smještaju svaki u poseban okvir



Ukoliko su podaci koji se prenose (tj. mrežna jedinica podataka) kraći od duljine okvira, dodaje se tzv. punjenje (engl. *filler*), odnosno ispuna (engl. *padding*) do pune duljine okvira

Primjer:

- sloj podatkovne poveznice na radijskom sučelju mreže GSM

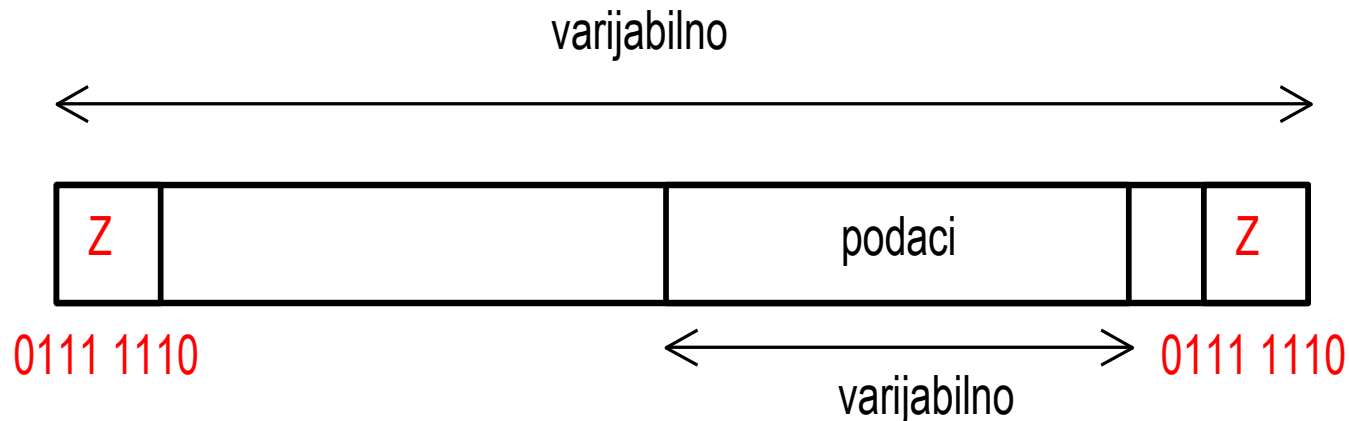


Varijabilno je najčešće samo polje podataka, tako da se u zaglavlju specificira duljina, tako da prijamnik može odrediti kraj okvira.

Primjer:

- lokalna mreža IEEE 802.3

Varijabilna duljina okvira – označavanje granice

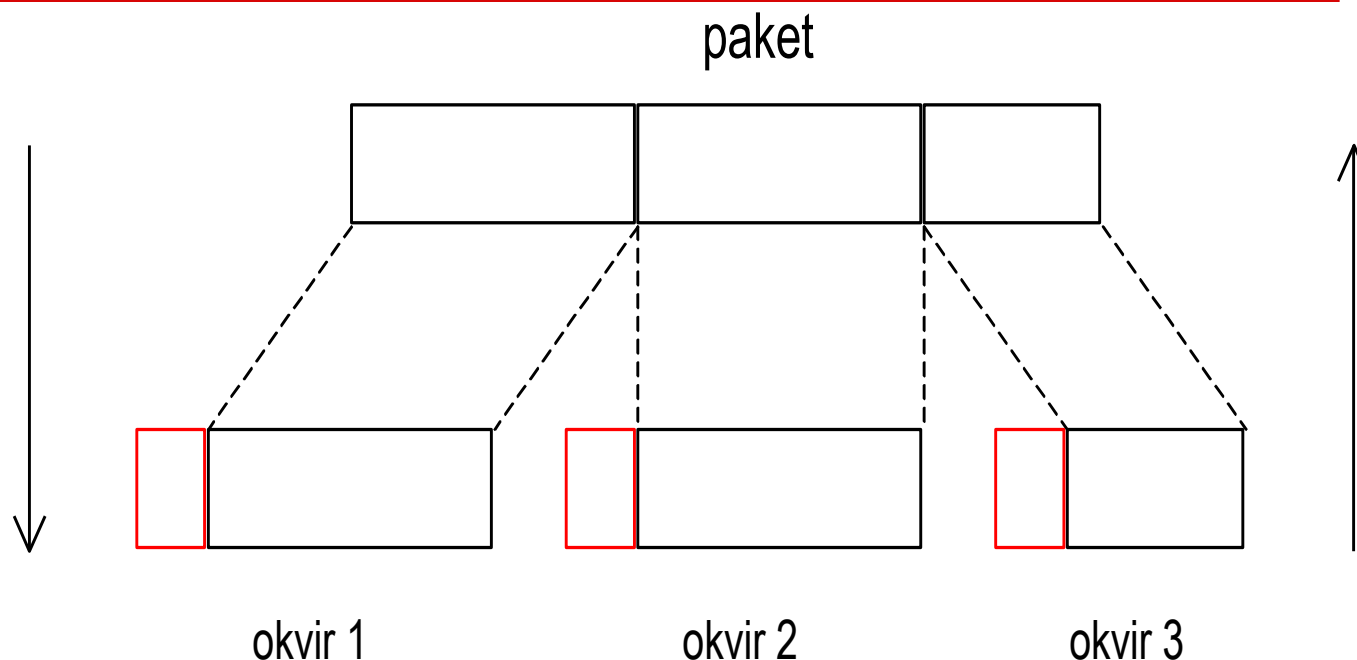


Označavanje početka i kraja posebnim znakom – zastavicom (engl. *flag*)

- ♦ opasnost: kombinaciju bita u polju podataka koja odgovara zastavici prijamnik će prepoznati kao kraj okvira
- ♦ rješenje: ubacivanje bita (engl. *bit stuffing*) 0 nakon 11111 u predajniku i njegovo izbacivanje u prijamniku

Primjer:

- ♦ protokoli vrste HDLC (*High-level Data Link Control*)



Na predajnoj strani se paket dijeli na fragmente, a svaki fragment prenosi posebnim okvirom.

Na prijamnoj se strani iz primljenih okvira (fragmenata) sastavlja paket.

Vrste usluga s obzirom na način razmjene jedinice podataka:

- ◆ nespojna
- ◆ spojna

Vrste usluga s obzirom na potvrdu prijama:

- ◆ bez potvrde
- ◆ s potvrdom

Smislene kombinacije: nespojna bez potvrde, nespojna s potvrdom, spojna s potvrdom

engl. *unacknowledged connectionless service*

Opis usluge:

- ◆ izvor šalje neovisne okvire (nema logičke veze)
- ◆ odredište ne potvrđuje prijam – **gubitak okvira moguć!**

Primjena:

- ◆ prijenos podataka uz malu vjerojatnost pogreške bita (npr. u lokalnoj mreži),
- ◆ komunikacija u stvarnom vremenu (npr. prijenos digitaliziranog govora)

engl. *acknowledged connectionless service*

Opis usluge:

- ◆ izvor šalje neovisne okvire (nema logičke veze)
- ◆ odredište potvrđuje prijam svakog okvira zasebno
- ◆ ukoliko ne primi potvrdu, izvor ponovno šalje okvir – retransmisija (engl. *retransmission*)

Primjena:

- ◆ prijenos s jako izraženim smetnjama (npr. bežični)

engl. *acknowledged connection-oriented service*

Opis usluge:

- ◆ uspostavljanje logičke veze između izvora i odredišta prethodi razmjeni okvira, nakon čega se veza prekida
- ◆ svaki okvir označava se brojem kako bi se moglo jamčiti da će:
 - svaki okvir biti primljen samo jednom
 - svi okviri biti primljeni u ispravnom redoslijedu

Primjena:

- ◆ ako se zahtijeva visoka pouzdanost

engl. *error control*

Problem:

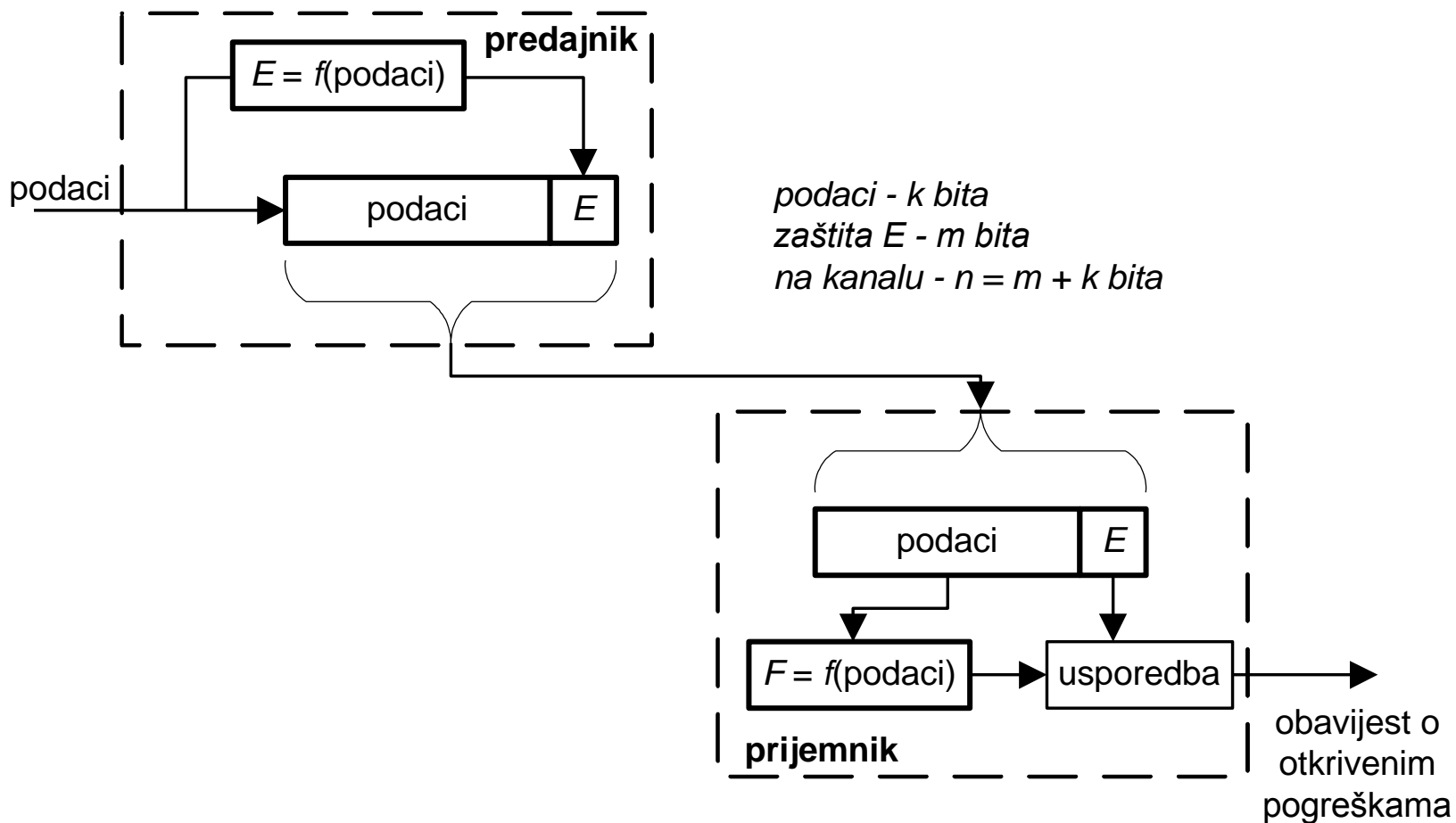
- ◆ djelovanje smetnji izaziva pogreške bita ($0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0$)
- ◆ pogreške su slučajne, a događaju se pojedinačno ili u snopu (engl. *burst*), tj. skupini bita u nizu
- ◆ mjera kvalitete digitalnog prijenosa
učestalost pogreške bita (engl. *Bit Error Rate, BER*), 10^{-n}
- ◆ npr. kod optičkog prijenosa zahtijeva se $BER = 10^{-9}$, što znači da broj neispravnih bita ne smije biti veći od jednoga na svakih 10^9

Komunikacija se nikad ne odvija u idealnim uvjetima tako da se pogreške u prijenosu ne mogu isključiti. Zaštitno kodiranje pretpostavka je za **upravljanje pogreškama**, tj. smanjenje broja pogrešno isporučenih bita na odredištu.

Zaštitno kodiranje omogućuje:

- ♦ otkrivanje pogrešaka
ili
- ♦ ispravljanje pogrešaka

Kodiranjem se bavi Teorija informacije!



engl. *error detection*

Postupak:

- ♦ predajnik kodira podatke
- ♦ **prijamnik** dekodira podatke i **otkriva** pogreške
- ♦ ispravljanje pogreške unatrag (engl. *Backward Error Correction*, BEC): prijamnik dojavljuje pogrešku **predajniku** koji ponavlja prijenos i tako **ispravlja** pogrešku

Primjena:

- ♦ u većini mreža
- ♦ primjer: paritetni bit (otkrivanje pojedinačne pogreške), ciklički kod

engl. *error correction*

Postupak:

- ♦ predajnik kodira podatke
- ♦ **prijamnik** dekodira podatke, **otkriva** pogrešku i određuje mjesto pogreške te je **ispravlja** - ispravljanje pogreške unaprijed (engl. *Forward Error Correction*, FEC)

Primjena:

- ♦ teški/teži uvjeti prijenosa s većom vjerojatnosti pogreška, bez ponavljanja prijenosa (npr. Bluetooth, vozilo na Marsu)
- ♦ primjer: Hammingov kod (ispravljanje pojedinačne pogreške), konvolucijski kodovi

Pogreška:

- ◆ oštećeni okvir (engl. *damaged frame*): okvir stiže na odredište, ali su neki od njegovih bita pogrešni
- ◆ izgubljeni okvir (engl. *lost frame*): okvir koji ne stiže na odredište

Najčešće – ispravljanje pogrešaka unatrag:

- ◆ izvor mora saznati što se događa u prijenosu i na odredištu:
 - primljena pozitivna potvrda: primljeni okvir ispravan
 - primljena negativna potvrda: primljeni okvir s pogreškom
 - potvrda nije primljena: ?

Ograničiti čekanje na potvrdu!

Osnovni mehanizmi:

◆ predajnik:

- šalje okvir, postavlja vremensku kontrolu i čeka potvrdu odaslanog okvira,
- zaustavlja vremensku kontrolu po prijemu potvrde,
- ponavlja okvir ako je potvrda negativna (primljen okvir s pogreškom) ili ako je istekla vremenska kontrola (izgubljen okvir ili potvrda).

◆ prijemnik:

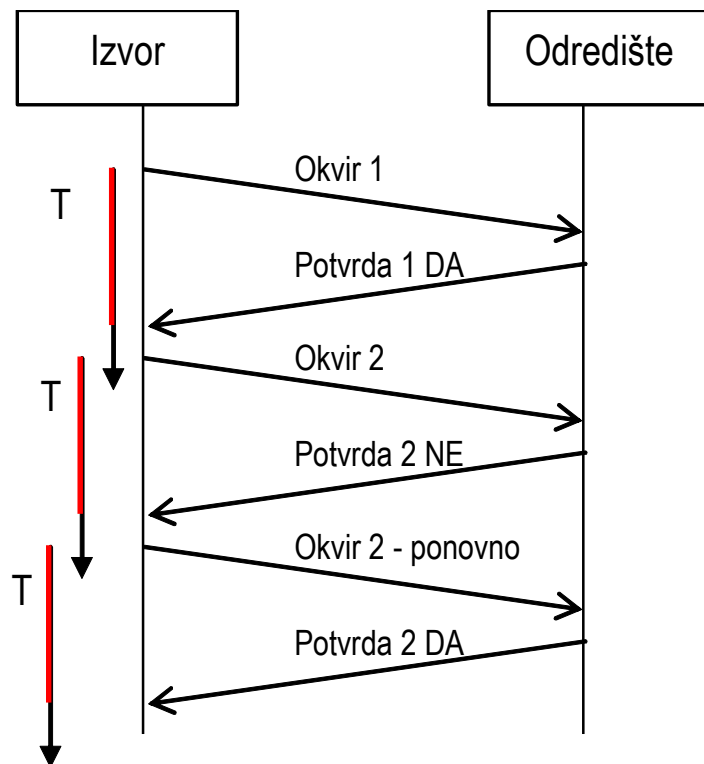
- potvrđuje ispravan/neispravan prijem okvira predajniku.

Vremenska kontrola:

- ◆ određuje se kao očekivano vrijeme potrebno da okvir dođe do odredišta i vrati se potvrda:
 - prekratka vremenska kontrola dovodi do prerane retransmisije okvira koji je primljen ispravno, a time i do dvostrukog (višestrukog) prijama istog okvira
 - preduga vremenska kontrola dovodi do slabe iskoristivosti komunikacijskih resursa

Višestruki prijam okvira:

- ◆ može se spriječiti numeracijom okvira slijednim brojem (engl. *sequence number*) koji omogućuje prijemniku izbacivanje okvira koji su primljeni više puta

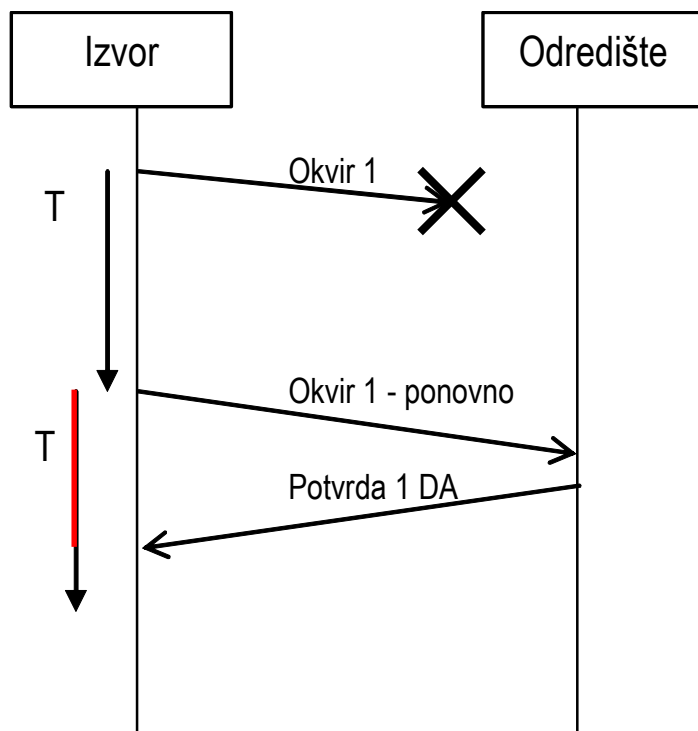


- ◆ prijenos okvira bez pogreške (DA - pozitivna potvrda ispravnog okvira)
- ◆ prijenos okvira s pogreškom (NE - negativna potvrda oštećenog okvira)
- ◆ retransmisija okvira

Prikaz:

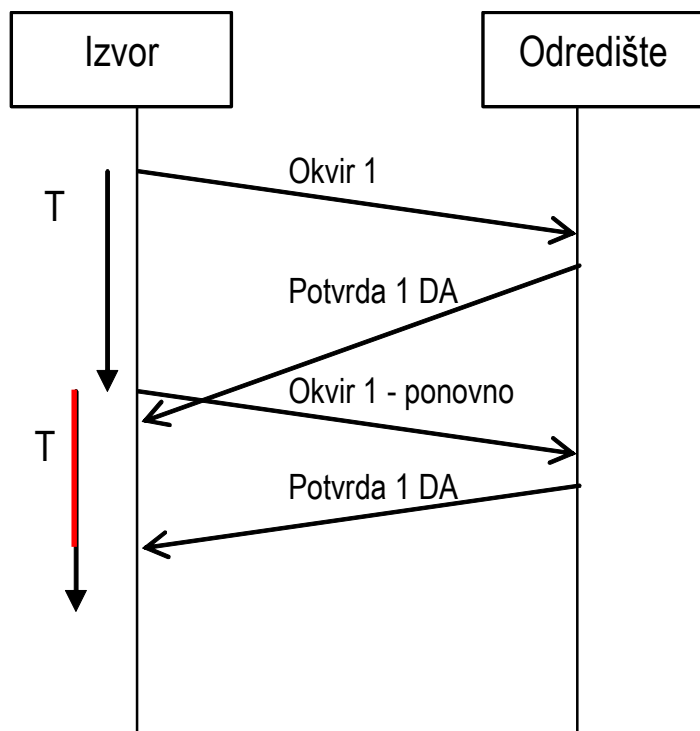
slijedni dijagram

(engl. *sequence diagram*)



- ♦ izgubljeni okvir
- ♦ retransmisija okvira nakon isteka vremenske kontrole T za prijem potvrde
- ♦ **ispravni prijam ponovljenog okvira!**

Primjer 3



- ◆ prijenos okvira bez pogreške (pozitivna potvrda ispravnog okvira)
- ◆ istek vremenske kontrole prije primitka potvrde – prekratka vremenska kontrola!
- ◆ retransmisija okvira nakon isteka vremenske kontrole T za prijem potvrde
- ◆ dvostruki prijam istog ispravnog okvira!

engl. *flow control*

Izvor ne smije slati podatke brže nego ih odredište može primiti:

- ◆ preopterećeni prijamnik prestaje primiti podatke, što se očituje kao gubitak okvira
- ◆ treba ograničiti broj odaslanih, a nepotvrđenih okvira: potrebno brojanje okvira (**numeracija okvira**)

Osnovni mehanizam:

- ◆ upravljanje tokom zasnovano na povratnoj vezi
 - prijamnik daje predajniku dopuštenje za odašiljanje podataka