7. Transportni protokoli

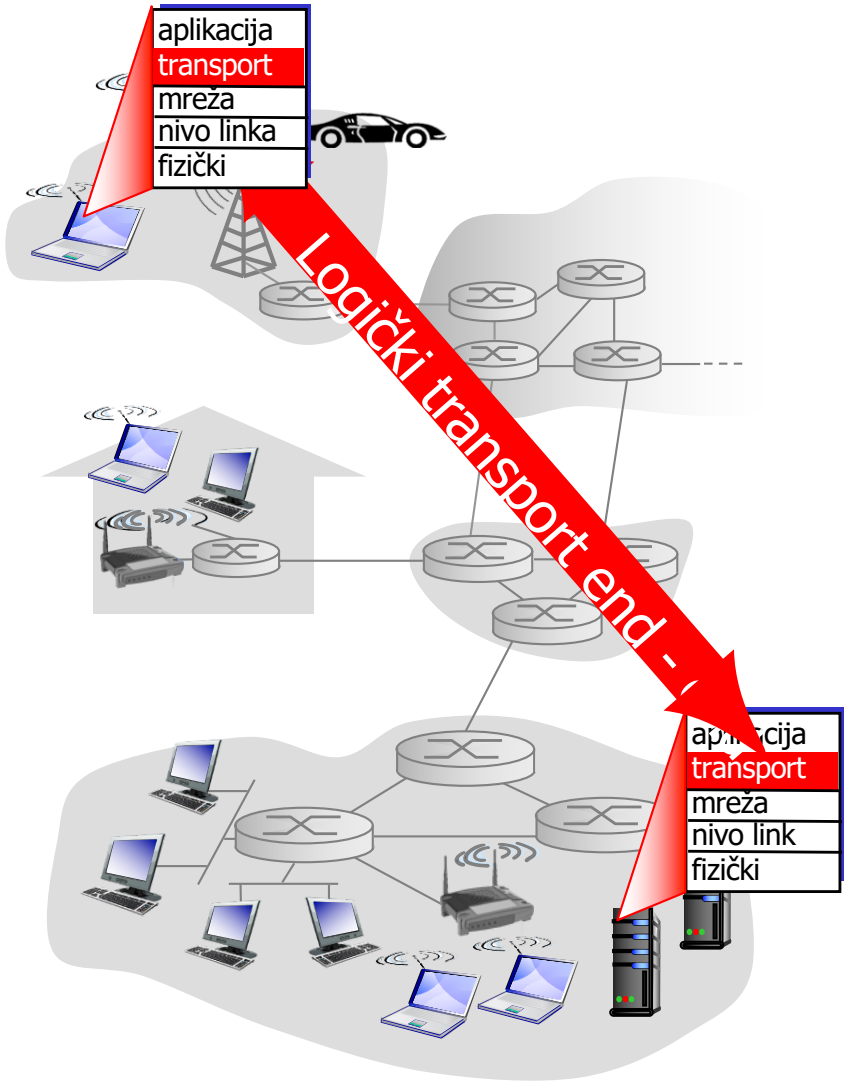
Prof.dr Igor Radusinović
igorr@ucg.ac.me
dr Slavica Tomović
slavicat@ucg.ac.me

Transportni protokoli

- Transportni servisi
- UDP
- Pouzdani prenos
  - Stop & Wait
  - Go Back N
  - Selective Repeat
- TCP
- TCP pouzdani prenos
- TCP kontrola protoka
- TCP kontrola zagušenja

Transportni servisi i protokoli

- obezbjeđuju *logičku komunikaciju* između aplikacija koje se odvijaju na različitim hostovima
- transportni protokoli se implementiraju na krajnjim sistemima
  - Predajna strana transportnog protokola: dijeli poruke u segmente, prosleđuje ih mrežnom nivou
  - Prijemna strana transportnog protokola: desegmentira segmente u poruke, i prosleđuje ih nivou aplikacije
- Više od jednog transportnog protokola je na raspolaganju aplikacijama
  - Internet: TCP i UDP



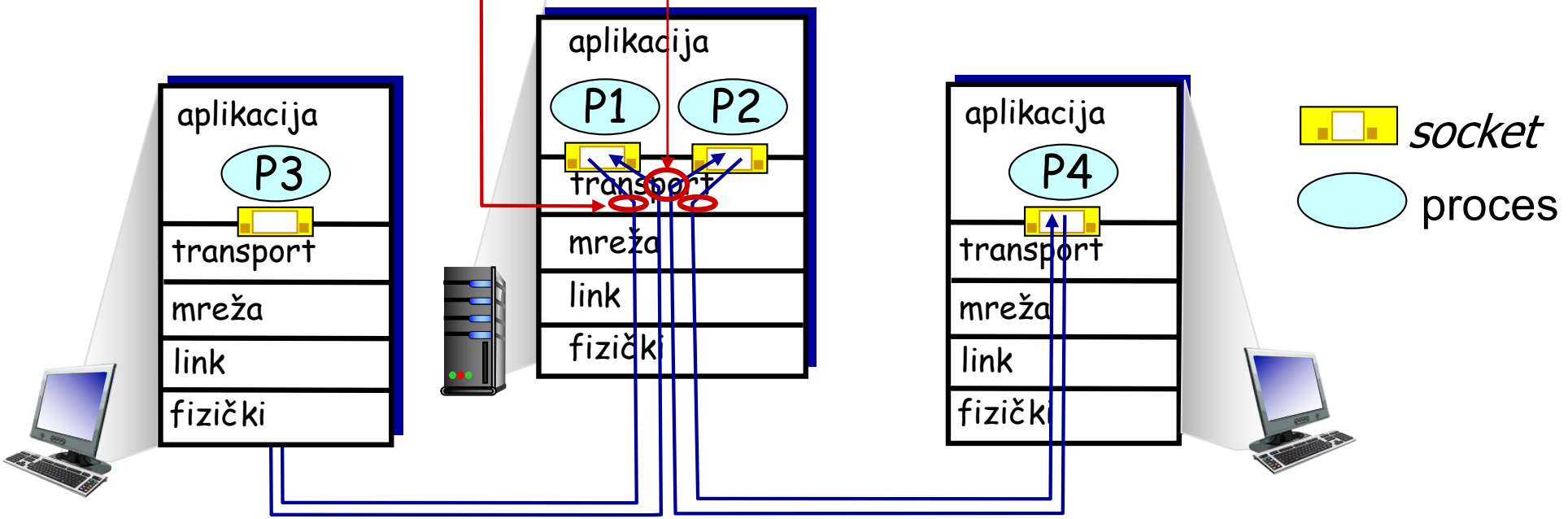
Multipleksiranje/demultipleksiranje aplikacija

Multipleksiranje na predaji:

Manipulisanje podacima iz više *socket*-a, dodavanje transportnog zaglavlja (koristi se za demultipleksiranje)

Demultipleksiranje na prijemu:

Koristi zaglavlje za predaju primljenih segmenata pravom *socket*-u



UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

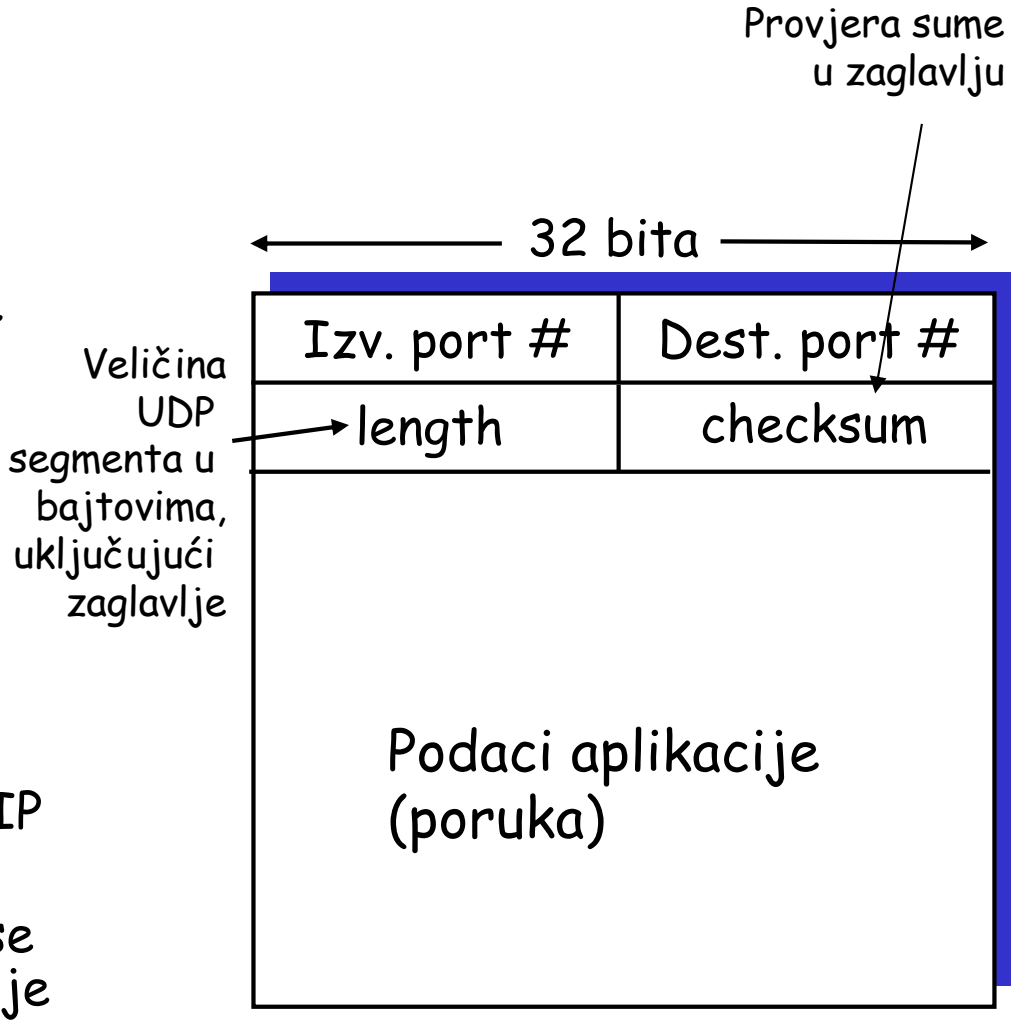
- Nema poboljšanja koja se nude Internet protokolu
- "*best effort*" servis, UDP segmenti mogu biti:
  - izgubljeni
  - neredosledno predati
- nekonektivni:
  - nema uspostavljanja veze *(handshaking)* između UDP pošiljaoca i prijemnika
  - svaki UDP segment se tretira odvojeno od drugih

Zašto onda UDP?

- Nema uspostavljanja veze (koja povećava kašnjenje)
- jednostavnije: ne vodi se računa o stanju veze
- manje zaglavlje segmenta (8B u odnosu na 20B kod TCP-a)
- nema kontrole zagušenja: UDP može slati podatke onom brzinom kojom to aplikacija želi

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

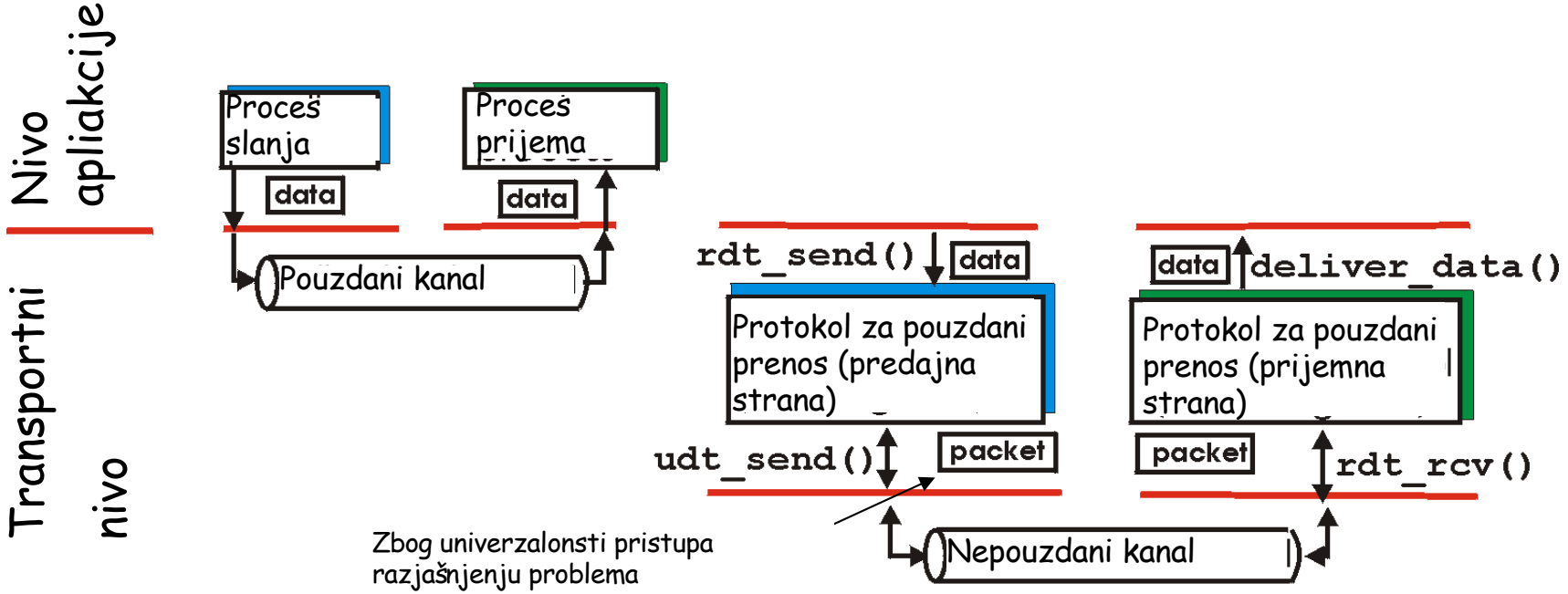
- Često se koristi za "*streaming*" multimedijalne aplikacije
  - Tolerantne u odnosu na gubitke
  - Osjetljive na brzinu prenosa
- drugi UDP korisnici
  - DNS
  - SNMP (zbog toga što mrežne menadžment aplikacije funkcionišu kada je mreža u kritičnom stanju)
  - RIP (zbog periodičnog slanja RIP update-a)
- Pouzdani prenos preko UDP: mora se dodati pouzdanost na nivou aplikacije
  - Oporavak od greške na nivou aplikacije
- Problem kontrole zagušenja je i dalje otvoren!



Format UDP segmenta RFC 768

Pouzdani prenos podataka

- Važno na nivoima aplikacije, transporta, linka
- Jedna od top-10 karakteristika mreže!

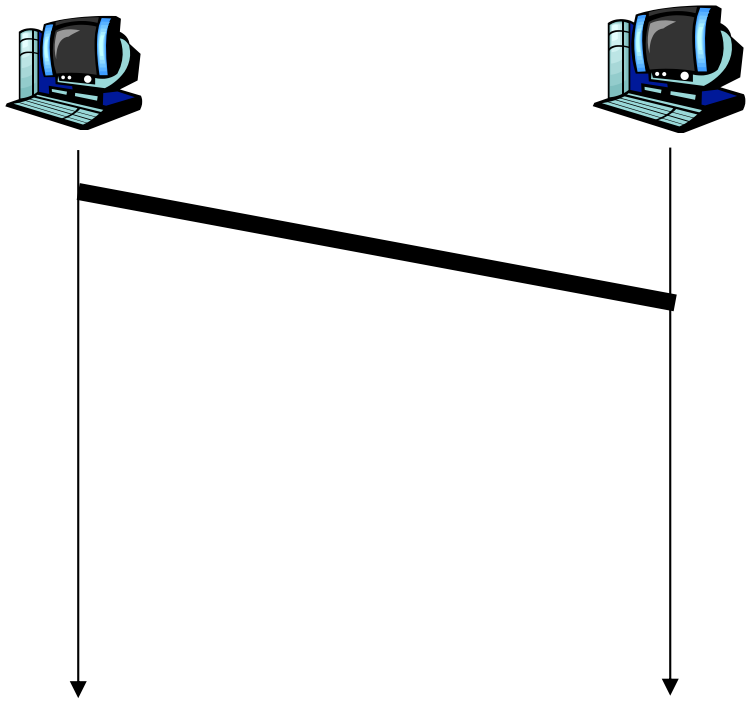


a) Pruženi servis b) Implementacija servisa

- Karakteristike nepouzdanog kanala će odrediti kompleksnost pouzdanog protokola za prenos podataka (rdt)

Pouzdani prenos podataka

- Kanal je pouzdan u potpunosti
  - Nema greške po bitu
  - Nema gubitka paketa

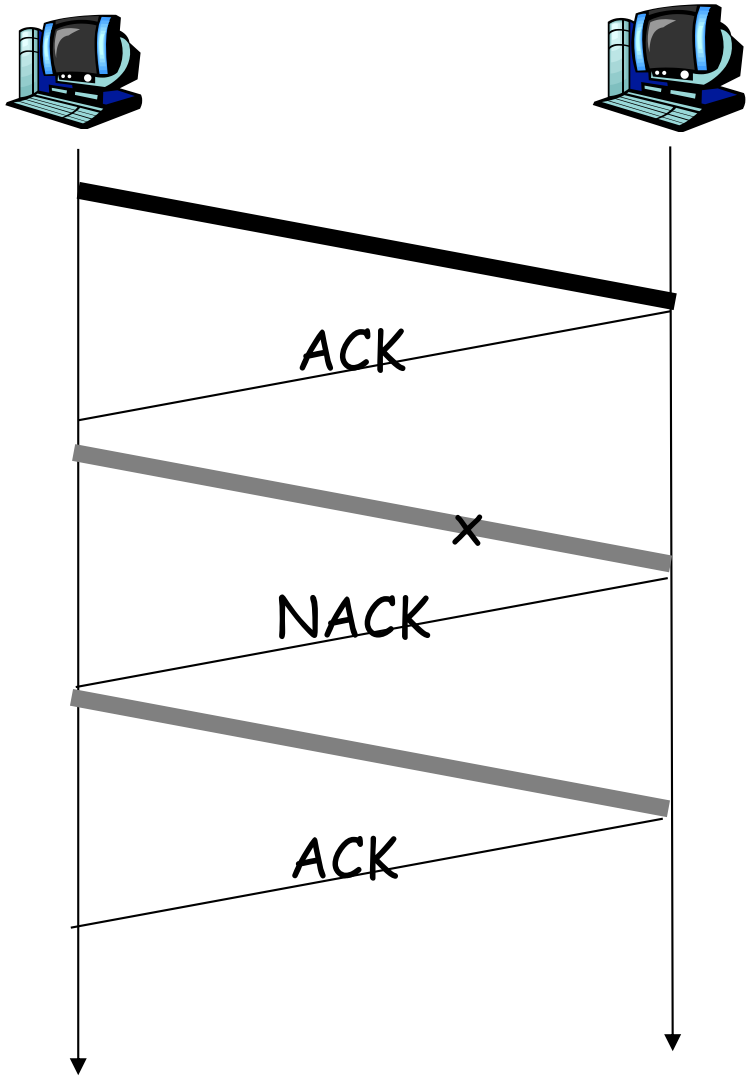


Nema potrebe za mehanizmom pouzdanog prenosa!

Pouzdani prenos podataka

Kanal koji unosi grešku ali ne i gubitke

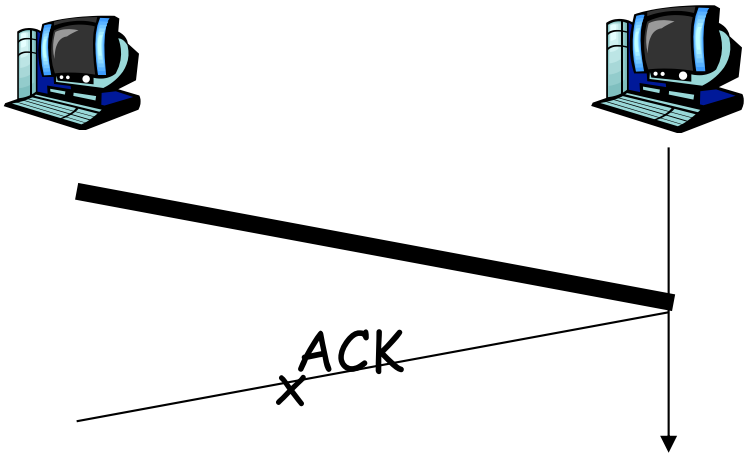
- Kanal može zamijeniti vrijednosti bita u paketu
- Potrebno je detektovati grešku na prijemnoj strani. Kako?
- Prijemna strana o tome mora obavijestiti predajnu stranu potvrdom uspješnog (ACK) ili neuspješnog prijema (NACK)
- Kada prijemna strana primi ACK šalje nove podatke, ako primi NACK obavlja ponovno slanje prethodnog paketa (retransmisija)
- ARQ (Automatic Repeat reQuest)



Pouzdani prenos podataka

Šta se dešava kada su ACK/NAK oštećene?

- Pošiljalac ne zna šta se dešava na prijemu!
- Retransmisija je besmislena: moguće je dupliranje paketa



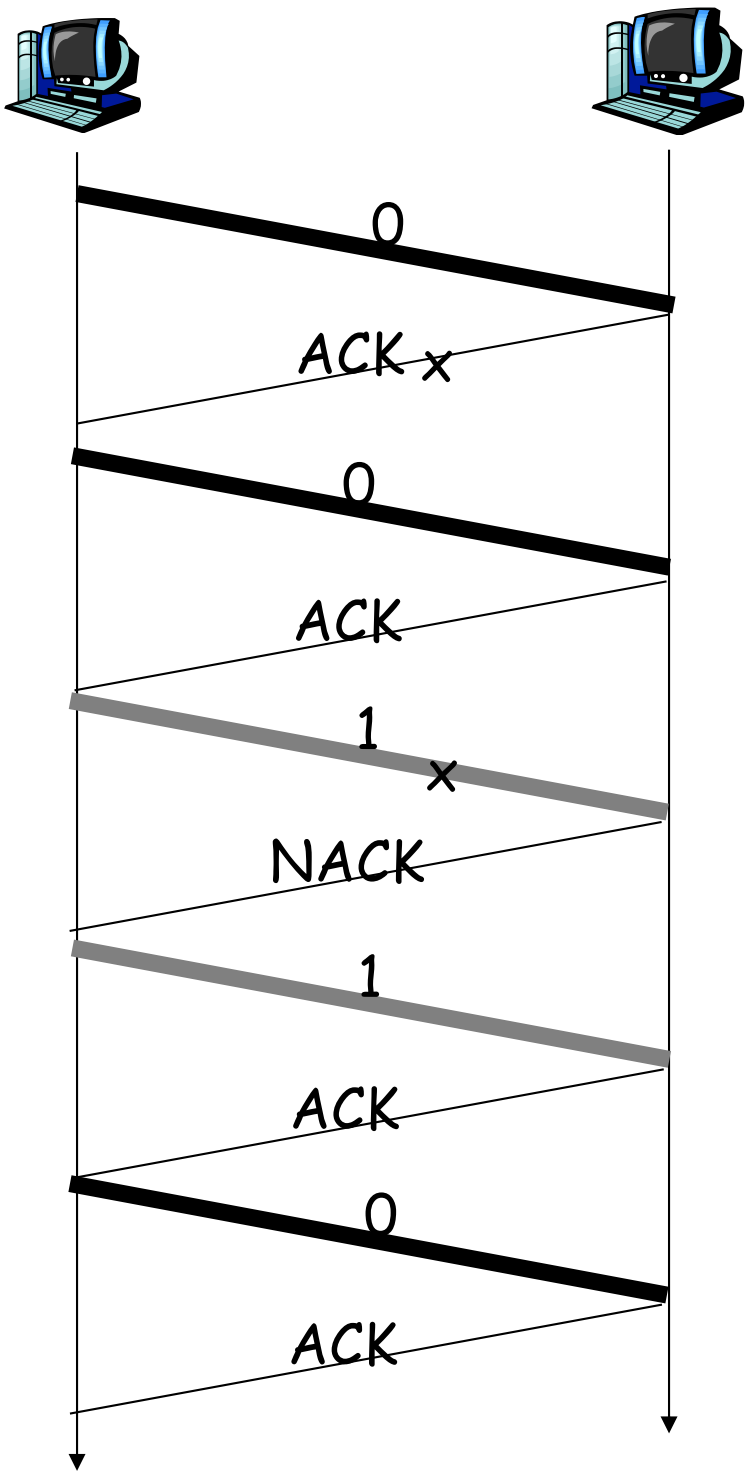
Rješavanje duplikata:

- Pošiljalac dodaje svakom paketu *broj u sekvenci*
- Pošiljalac ponovo šalje posmatrani paket ako je ACK/NAK oštećen
- Prijemnik odbacuje duple pakete
- U ACK/NAK nema broja u sekvenci paketa koji se potvrđuje jer nema gubitka paketa, pa se potvrda odnosi na poslednji poslati paket.

STOP & WAIT

Pošiljac šalje jedan paket, a zatim čeka na odgovor

Stop & Wait (u kanalu bez gubitaka)



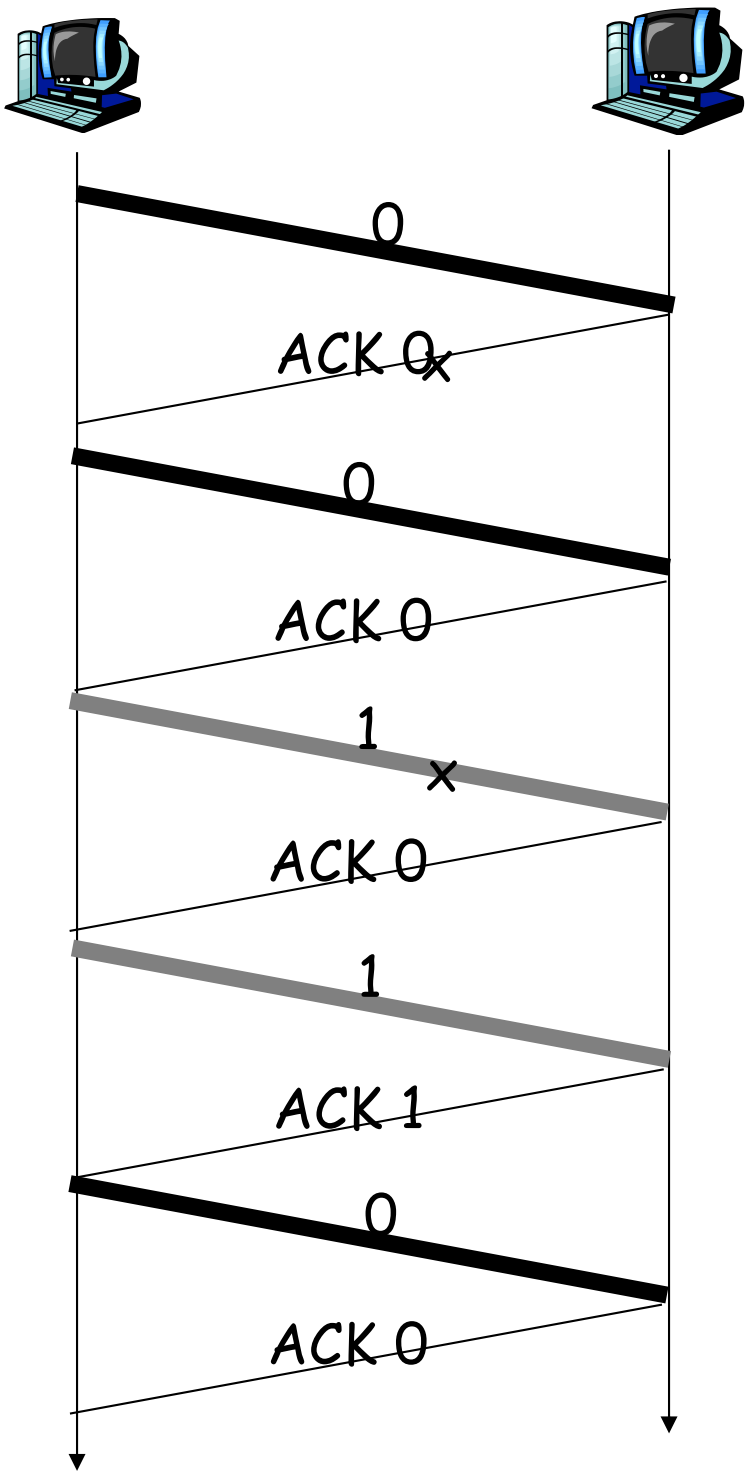
Stop & Wait (u kanalu bez gubitaka)

Pošiljalac:

- Dodaje broj u sekvenci paketu
- Dva broja (0,1) su dovoljna. Zašto?
- Mora provjeriti da li je primljeni ACK/NAK oštećen

Prijemnik:

- Mora provjeriti da li je primljeni paket duplikat
  - stanje indicira da li je 0 ili 1 očekivani broj u sekvenci paketa
- Napomena: prijemnik ne može znati da li je posljednji ACK/NAK primljen ispravan od strane pošiljaoca



Stop & Wait (u kanalu bez gubitaka) bez NAK

- Iste funkcionalnosti kao u prethodnom slučaju, korišćenjem samo ACK
- umjesto NAK, prijemnik šalje ACK za poslednji paket koji je primljen ispravno
  - Prijemnik mora *eksplicitno* unijeti broj u sekvenci paketa čiji se uspješan prijem potvrđuje
- Dvostruki ACK za isti paket na strani pošiljaoca rezultira istom akcijom kao: *ponovo šalji posmatrani paket*

Stop & Wait (kanal sa greškom i gubicima)

Nova pretpostavka: kanal takođe izaziva gubitak paketa (podataka ili potvrda)

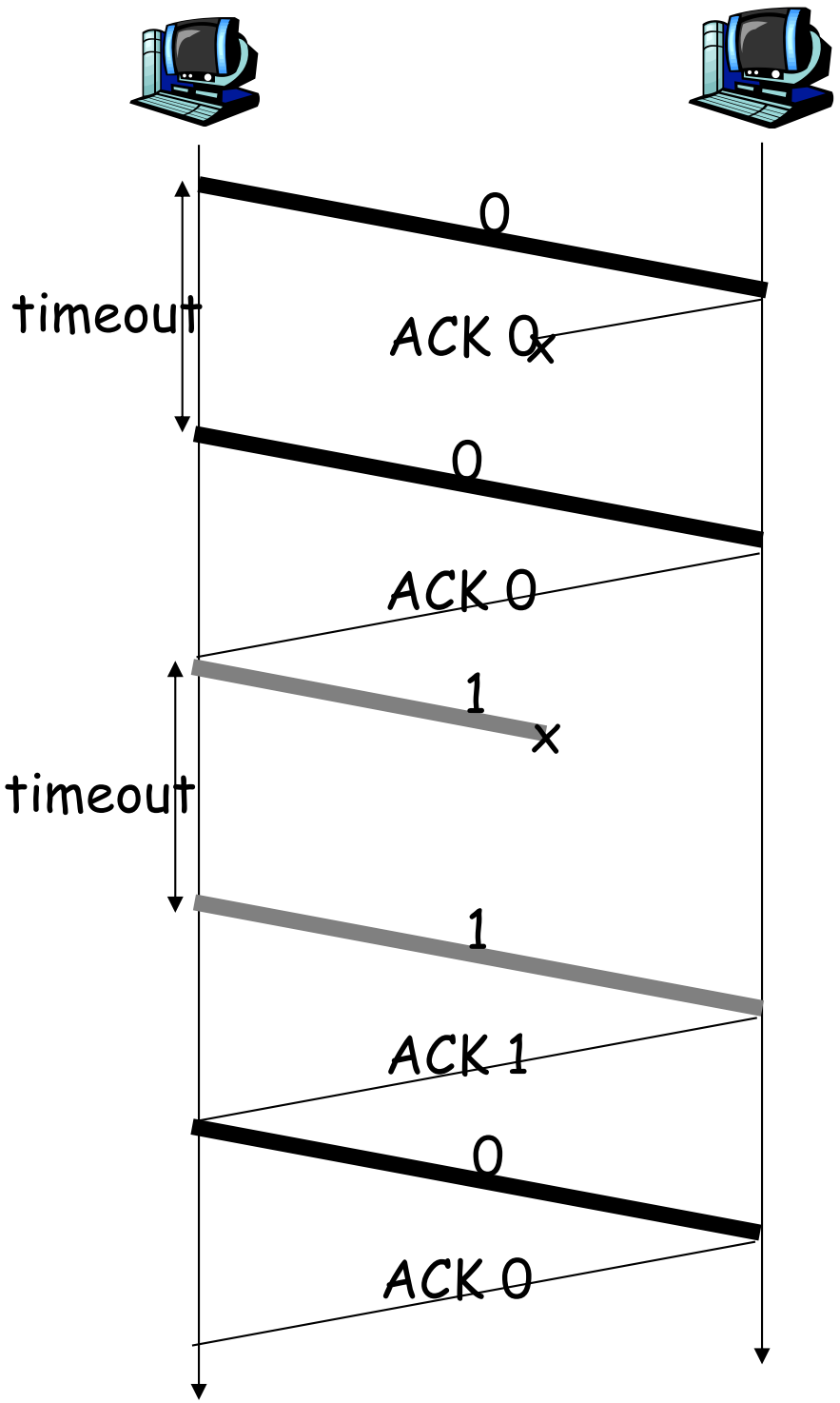
- checksum, broj u sekvenci, ACK, retransmisije su od pomoći, ali ne dovoljno.

P: Kako se izboriti sa gubicima?

- Pošiljalac čeka dok se određeni podaci ili ACK izgube, zatim obavlja retransmisiju.
- Koliko je minimalno vrijeme čekanja?
- Koliko je maksimalno vrijeme čekanja?
- Nedostaci?

Pristup: pošiljalac čeka "razumno" vrijeme za ACK

- Retransmisija se obavlja ako se ACK ne primi u tom vremenu
- Ako paket (ili ACK) samo zakasni (ne biva izgubljen):
  - Retransmisija će biti duplirana, ali korišćenje broja u sekvenci će to odraditi
  - Prijemnik mora definisati broj u sekvenci paketa čiji je prijem već potvrđen
- Zahtijeva timer



Stop & wait: u kanalu sa gubicima

- Iste funkcionalnosti kao u prethodnom slučaju, korišćenjem samo ACK
- umjesto NAK, prijemnik šalje ACK za posljednji paket primljen ispravno
  - Prijemnik mora *eksplicitno* unijeti broj u sekvenci paketa čiji se uspješan prijem potvrđuje
- Dvostruki ACK za isti paket na strani pošiljaoca rezultira istom akcijom kao: *ponovo šalji posmatrani paket*

STOP & WAIT performanse

- S&W funkcioniše, ali ima loše performanse
- primjer: 1 Gb/s link, 15 ms vrijeme prenosa od kraja do kraja, veličina paketa 1000B :

$$T_{prenosa} = \frac{L\ (\text{veličina paketa u bitima})}{R\ (\text{propusnost linka, b/s})} = \frac{8\text{kb/pkt}}{10^9\ \text{b/s}} = 8\ \mu\text{s}$$

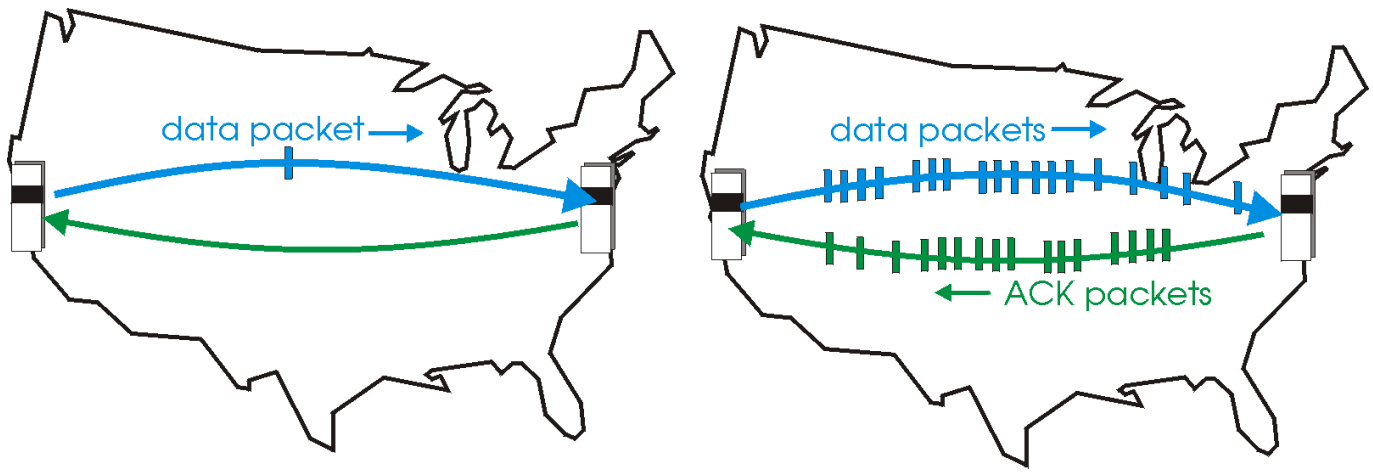
$$U_{pošilj.} = \frac{L / R}{RTT + L / R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

- $U_{pošiljalac}$: iskorišćenje – dio vremena u kome je pošiljalac zauzet
- Pošiljalac šalje 1000B paket svakih 30.008 ms -> 267kb/s bez obzira što je propusnost linka 1 Gb/s
- Mrežni protokol ograničava fizičke resurse!
- Stvar je još gora jer je napravljeno nekoliko zanemarivanja!

"Pipelined" protokoli

"Pipelining": pošiljalac dozvoljava istovremeni prenos više paketa čiji prijem nije potvrđen

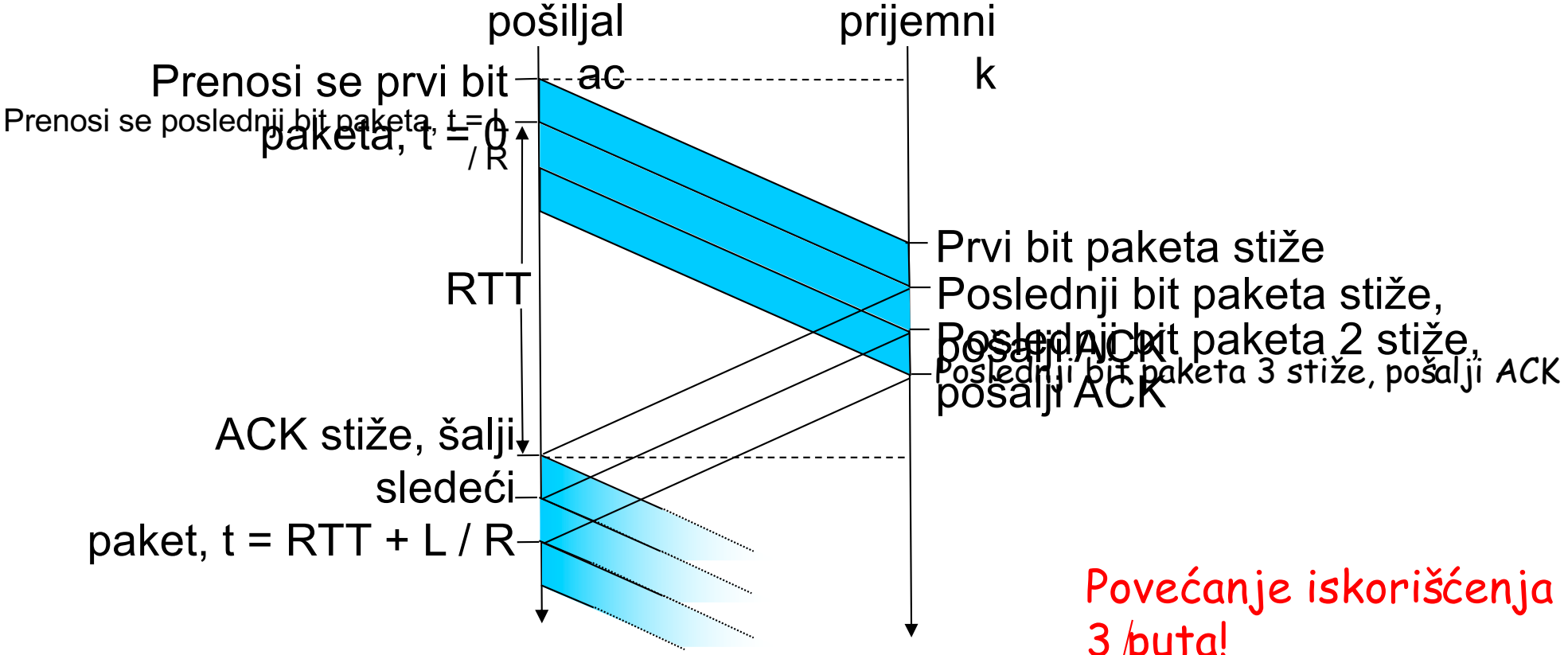
- Opseg brojeva u sekvenci mora biti proširen
- Baferovanje više od jednog segmenta na predajnoj i/ili prijemnoj strani



a) Stop and wait protokol b) Pipeline protokol

- Postoje dvije forme ovog protokola: *"go-Back-N", "selective repeat"*

"Pipelining": povećanje iskorišćenja



Povećanje iskorišćenja 3 puta!

$$U_{\text{Pošilj.}} = \frac{3 * L / R}{RTT + L / R} = \frac{.024}{30.008} = 0.0008$$

Pipelined protokoli: pregled

Go-back-N:

- Pošiljalac može imati do N nepotvrđenih poslatih segmenata
- Prijemnik šalje samo *kumulativne potvrde*
  - Ne potvrđuje segmente ako se jave "praznine"
- Pošiljalac ima timer za najstariji nepotvrđeni paket
  - Kada timer istekne ponovo se šalju svi nepotvrđeni segmenti

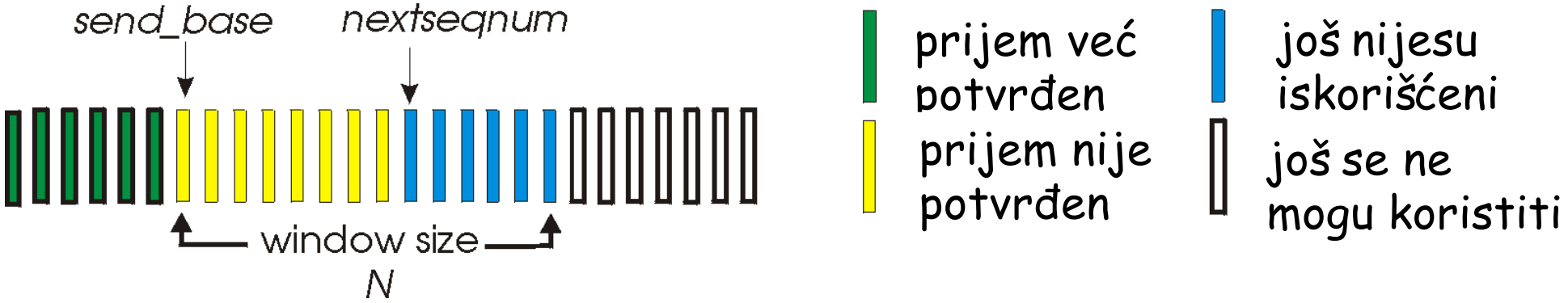
Selective Repeat:

- Pošiljalac može imati do N nepotvrđenih poslatih segmenata
- Prijemnik šalje *individualne potvrde* za svaki paket
- Predajnik ima tajmer za svaki nepotvrđeni segment
  - Kada timer istekne ponovo se šalje samo taj segment

Go-Back-N (sliding window)

Pošiljalac:

- k-bita dugačak broj u sekvenci u zaglavlju paketa što znači da se može poslati $N=2^k$ nepotvrđenih paketa
- "prozor" veličine N susjednih nepotvrđenih paketa je dozvoljen
- Zašto ograničavati N?

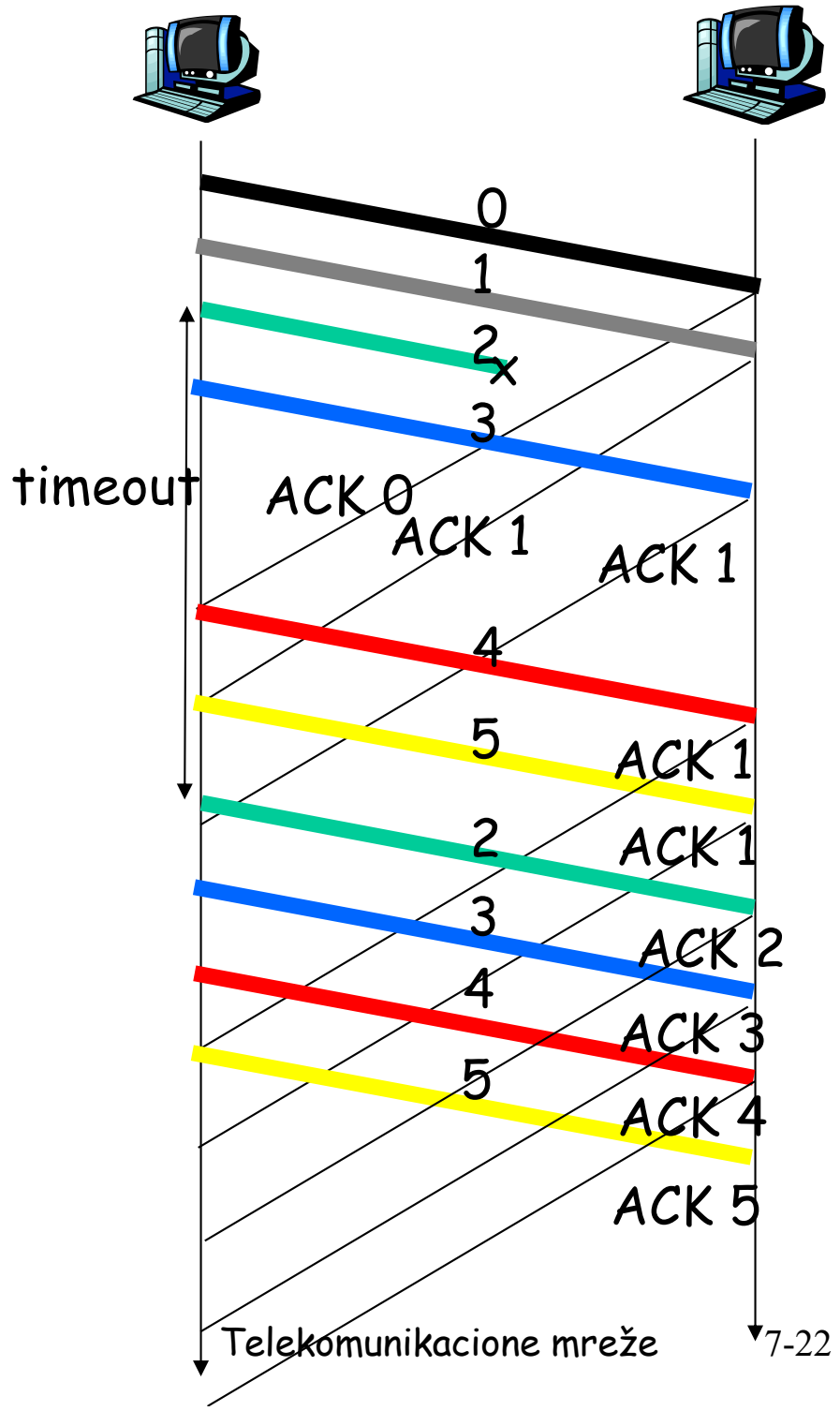


- Broj u sekvenci se upisuje u polje zaglavlja veličine k bita (0,2^k-1). Kod TCP k=32, pri čemu se ne broje segmenti, već bajtovi u bajt streamu.
- ACK(n): ACK sve pakete, uključujući n-ti u sekvenci - "kumulativniACK"
  - Mogu se pojaviti dupli ACKovi (vidi prijemnik)

Go-Back-N (sliding window)

- timer se inicijalizuje za "najstariji" segment i vezuje za svaki paket čiji prijem još nije potvrđen
- *timeout(n):* retransmisija paketa n i svih paketa čiji je broj u sekvenci veći od n, u skladu sa veličinom prozora
- uvijek se šalje ACK za korektno primljen paket sa najvećim brojem u sekvenci uz poštovanje *redosleda*
  - Može generisati duple ACK-ove
  - Treba da zapamti samo broj očekivanog paketa
- "out-of-order" paket:
  - odbacuje -> nema baferovanja na prijemu! Zašto?
  - Re-ACK paket sa najvećim brojem u sekvenci

Go-Back-N


0
1
2
3
timeout
ACK 0
ACK 1
ACK 1
4
5
ACK 1
2
ACK 1
3
ACK 2
4
ACK 3
5
ACK 4
ACK 5

Go-Back-N

- Dozvoljava pošiljaocu da ispuni link sa paketima, čime se uklanja problem lošeg iskorišćenja kanala.
- Sa druge strane kada su veličina prozora i proizvod brzine prenosa i kašnjenja veliki mnogo paketa može biti na linku. U slučaju gubitka jednog paketa mnogi paketi moraju biti potpuno nepotrebno iznova poslati.
- Iz tog razloga se koriste "selective repeat" protokoli, koji kao što im ime kaže omogućavaju izbor paketa koji će biti ponovo poslati.

Selective Repeat

- Prijemnik *pojedinačno* potvrđuje sve ispravno primljene pakete
  - baferuje pakete, ako je to potrebno, za eventualnu redoslednu predaju nivou iznad sebe
- Pošiljalac ponovo šalje samo pakete za koje ACK nije primljen
  - Pošiljalac ima tajmer za svaki paket čiji prijem nije potvrđen
- Prozor pošiljaoca
  - N uzastopnih brojeva u sekvenci
  - Ponovo ograničava broj poslatih paketa, čiji prijem nije potvrđen

Selective Repeat

pošiljalac

Podaci odozgo :

- Ako je sledeći broj u sekvenci u prozoru dostupan, šalji paket

timeout(n):

- Ponovo šalji paket n, restartuj tajmer

ACK(n) u [sendbase,sendbase+N]:

- markiraj paket n kao da je primljen
- Ako je n najmanji nepotvrđeni paket, proširi osnovu prozora na bazi narednog najmanjeg broja nepotvrđenog paketa

prijemnik

paket n u [rcvbase, rcvbase+N-1]

- Pošalji ACK(n)
- out-of-order: baferuj
- in-order: predaj (takođe baferuj, predaj u in-order), povećavaj prozor na sledeći paket koji još nije primljen

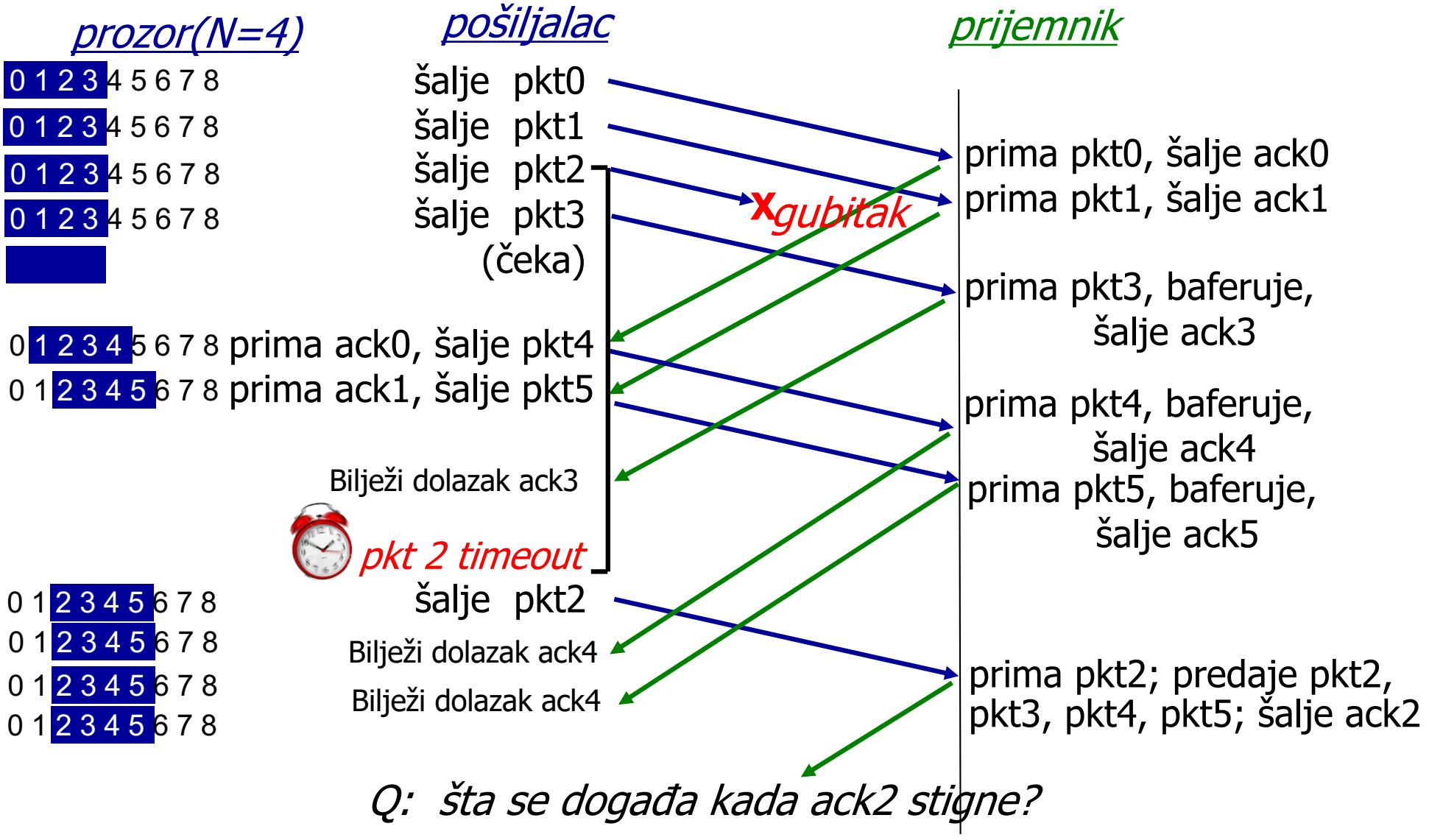
paket n u [rcvbase-N,rcvbase-1]

- ACK(n)

drugačije:

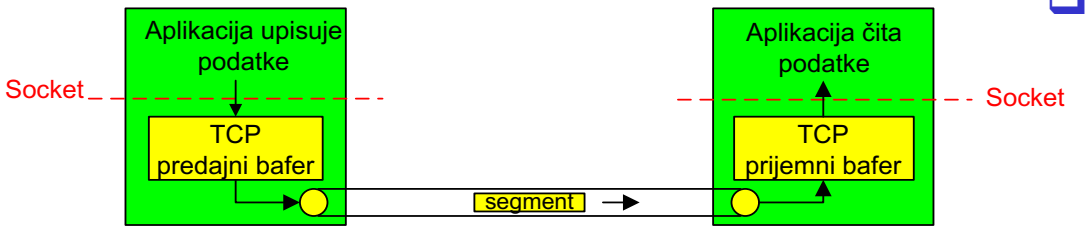
- ignoriši

Selective Repeat



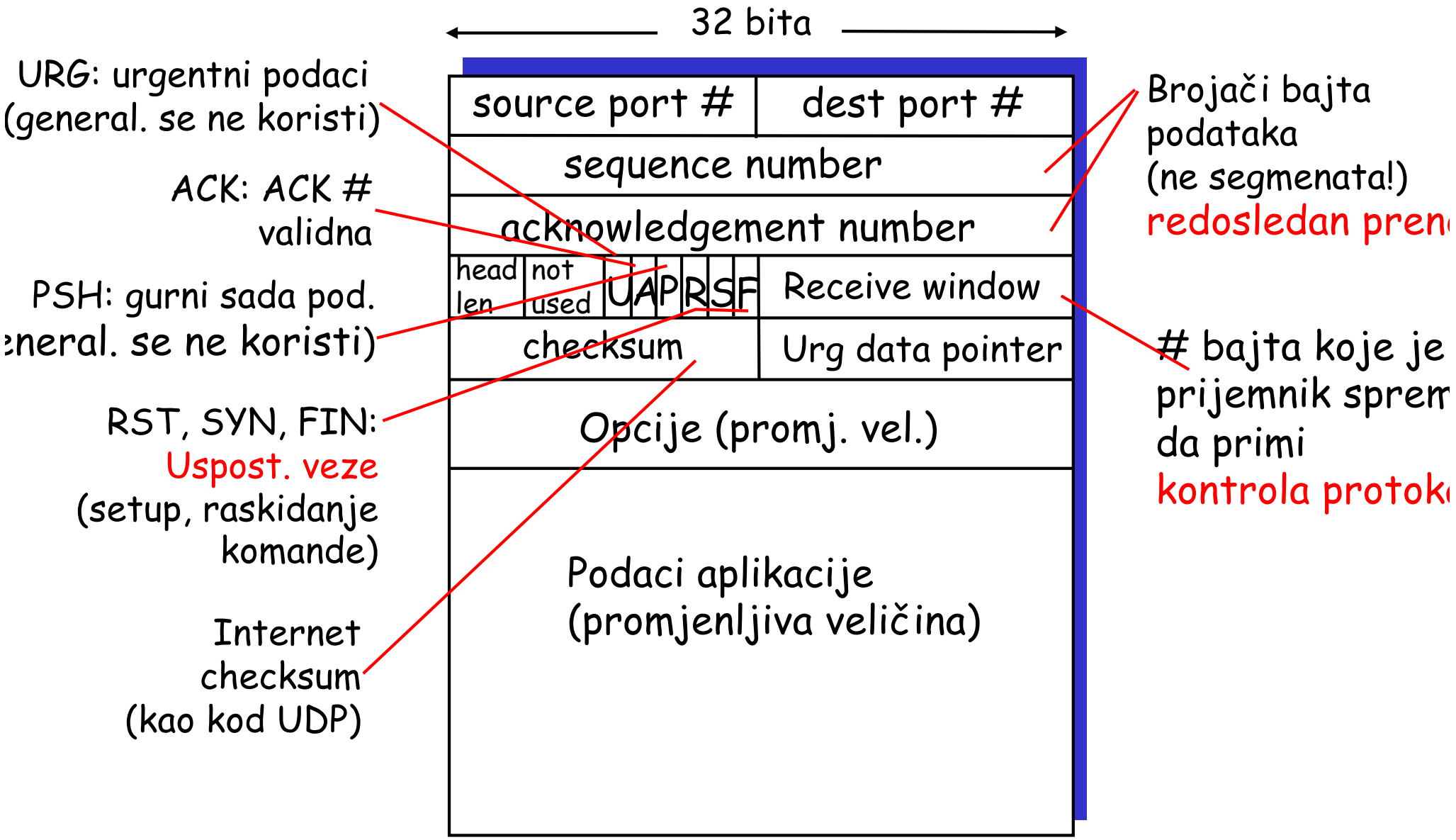
TCP: Pregled RFC-ovi: 793, 1122, 1323, 2018, 2581

- tačka-tačka:
  - Jedan pošilj, jedan prij.
- pouzdan, redosledan prenos bajta:
  - nema "granica poruka"
- "pipelined":
  - TCP kontrola zagušenja i protoka podešava veličinu prozora
- *Baferi za slanje & prijem*



- "full duplex" prenos:
  - U istoj vezi prenos u dva smjera
  - MSS: maksimalna veličina podataka sloja aplikacije u segmentu (1460B, 536B, 512B)
- konektivan:
  - "*handshaking*" (razmjena kontrolnih poruka) inicira je pošiljalac, razmjenjuje stanja prije slanja
- kontrola protoka:
  - Pošiljalac ne može "zagušiti" prijemnika

Struktura TCP segmenta



TCP pouzdani prenos

- TCP kreira pouzdani prijenos po IP nepouzdanom servisu
- "*Pipelined*" segmenti
- Kumulativne potvrde
- TCP koristi jedan retransmisioni tajmer
- Retransmisije su trigerovane sa:
  - *timeout* događajima
  - duplim ack-ovima
- Na početku treba razmotriti pojednostavljenog TCP pošiljaoca:
  - Ignorišu se duplirani ack-ovi
  - Ignorišu se kontrole protoka i zagušenja

TCP pouzdani prenos (pošiljalac)

1. Podaci primljeni od aplikacije:

- Kreiranje segmenta sa sekvencom brojeva
- Broj u sekvenci je *byte*-stream broj prvog bajta podataka u segmentu
- Startuje se tajmer ako to već nije urađeno
- Interval *timeout*-a se izračunava po odgovarajućoj formuli

2. timeout:

- Ponovo se šalje segment koji je izazvao timeout
- restartovati tajmer

3.Ack primljen:

- Ako se potvrdi prijem ranije nepotvrđenog segmenta
  - Napraviti odgovarajući *update*
  - startovati tajmer ako postoje segmenti koji čekaju

TCP pouzdani prenos (prijemnik)

Događaj na prijemu	TCP akcije prijemnika
Dolazak in-order segmenta sa očekivanim brojem u sekvenci. Svi podaci do očekiv. broja su potvrđ.	ACK sa kašnjenjem. Čeka do 500ms za sledeći segment. Ako nema sledećeg, šalje ACK.
Dolazak in-order segmenta sa očekiv. brojem u sekvenci. Potvrđ. prijema drugog segmenta u toku.	Odmah šalje jednu kumulativnu ACK, potvrđujući oba in-order segmenta
Dolazak out-of-order segmenta sa većom vrijednosti broja u sekv. od očekivane. Detektovan prekid.	Odmah šalje duplikat ACK, indicirajući broj u sekvenci očekivanog bajta.
Dolazak segmenta koji djelimično ili potpuno popunjava prekid.	Odmah šalje ACK, omogućavajući da segment popuni prekid

TCP pouzdani prenos (Fast Retransmit)

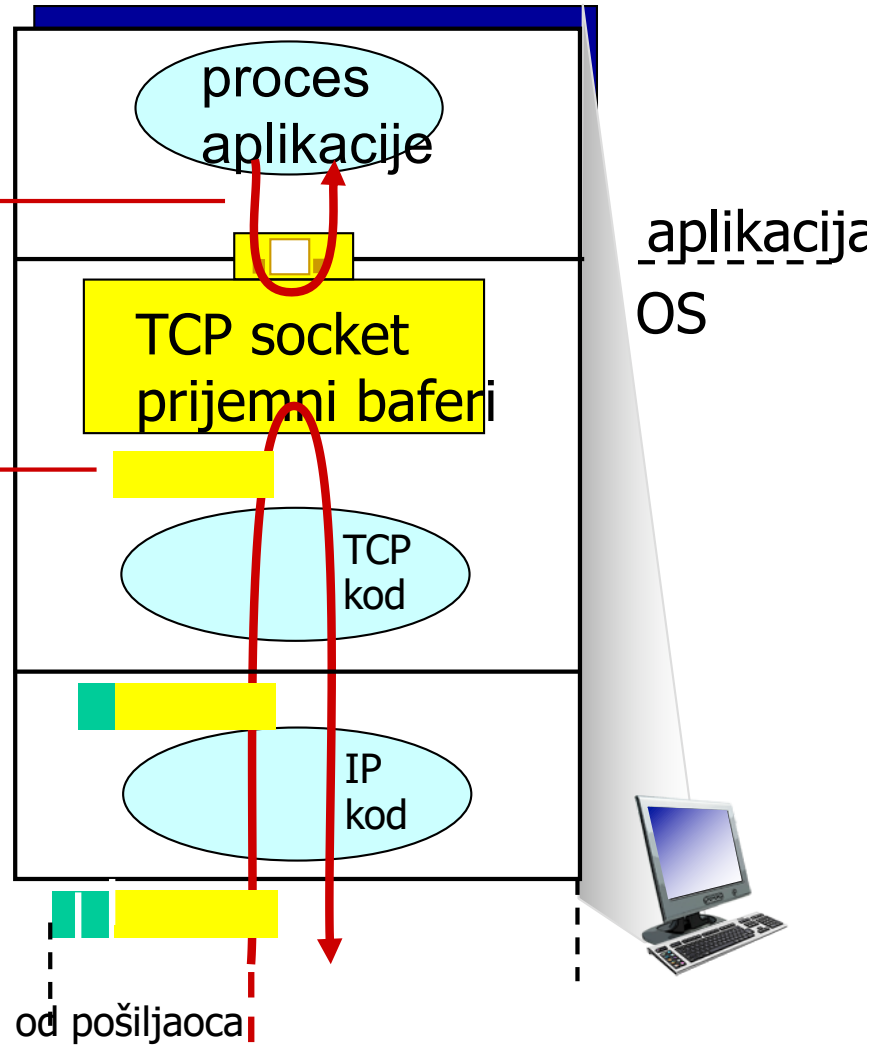
- *Time out* period je često predug:
  - Dugo kašnjenje prije slanja izgubljenog paketa
- Detekcija izgubljenog segmenta preko dupliranih ACK-ova.
  - Pošiljalac često šalje mnogo segmenata
  - Ako je segment izgubljen, najvjerovatnije će biti dosta dupliranih ACK-ova.
- Ako pošiljalac primi 3 ACK za iste podatke, pretpostavlja se da je segment poslije potvrđenog izgubljen:
  - "fast retransmit": novo slanje segmenta prije nego što je tajmer istekao

P: Da li TCP ima GBN ili "*selective repeat*" kontrolu greške?
P: Zašto 3 a ne dva ACK?

TCP kontrola protoka

Aplikacija može ukloniti podatke iz bafera TCP *socket*-a ....

... sporije nego što TCP prijemnik predaje (pošiljalac šalje)



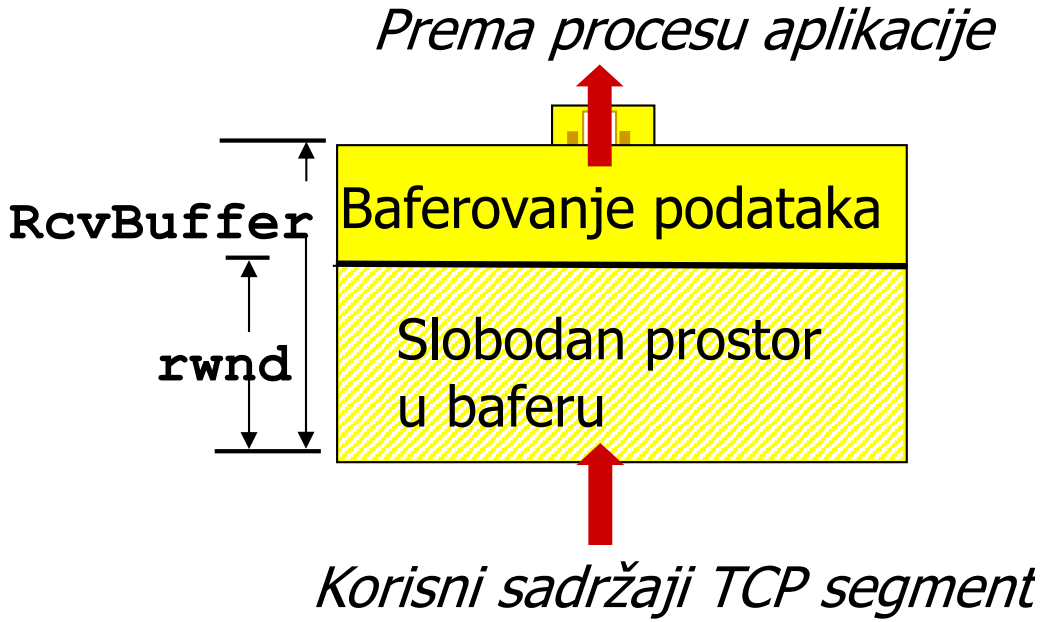
prijemnikov protolol *stack*

Kontrola protoka

Prijemnik kontroliše pošiljaoca, tako da pošiljalac neće zagušiti prijemnikov bafer šaljući podatke velikom brzinom

TCP kontrola protoka

- Prijemnik oglašava slobodan prostor u baferu podešavanjem vrijednosti u polje **`rwnd`** u zaglavljuTCP segmenta
  - **`Veličina RcvBuffer se`** podešava u opcijama *socket*-a (tipična vrijednost 4096B)
  - Mnogi OS podešavaju **`RcvBuffer`**
- Pošiljalac ograničava broj nepotvrđenih ("in-flight") podataka na vrijednost prijemnikovog **`rwnd`**
- Garantuje da se ne prepuni bafer



Baferovanje na prijemnikovoj strani

TCP kontrola zagušenja

- Kontrola od kraja do kraja (bez učešća mreže)
- Pošiljalac ograničava slanje:

  LastByteSent-LastByteAcked

  ≤ CongWin

- Približno,

$$\text{brzina} = \frac{\text{CongWin}}{\text{RTT}} \quad \text{b/s}$$

- **CongWin** je dinamička funkcija detekcije zagušenja mreže

Kako pošiljac otkriva zagušenje?

- gubitak = timeout *ili* 3 duplirane potvrde
- TCP pošiljalac smanjuje brzinu (**CongWin**) poslije gubitka

tri mehanizma:

- AIMD
- "slow start"
- konzervativan poslije timeouta

TCP kontrola zagušenja (AIMD)

Multiplikativno smanjenje: smanjuje **CongWin** na pola u slučaju gubitka

Aditivno povećanje: povećava **CongWin** za 1 MSS svaki RTT u odsustvu gubitka: *sondiranje*

Duga TCP veza

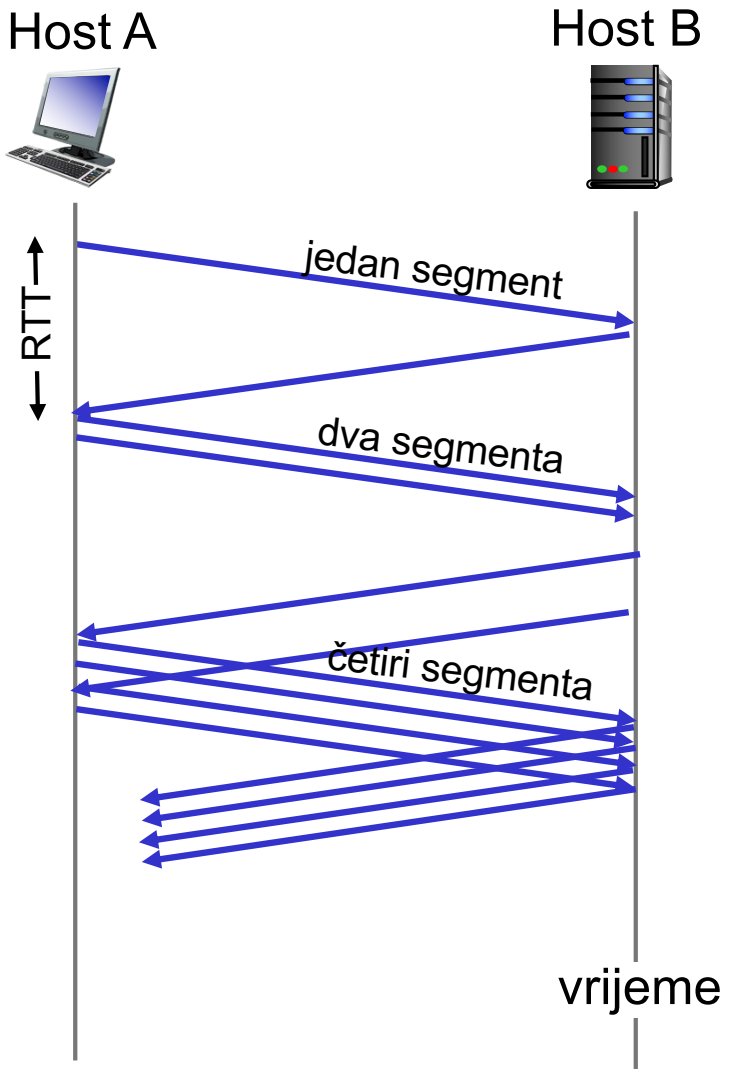
TCP kontrola zagušenja (Slow Start)

- Kada veza počne, **`CongWin`** = 1 MSS
  - Primjer: MSS = 500 B & RTT = 200 ms
  - Inicijalna brzina =20 kb/s
- Dostupna propusnost može biti>> MSS/RTT
  - Poželjno je brzo podešavaje na željenu brzinu

- Kada veza počne, povećava brzinu eksponencijalno do prvog gubitka

TCP kontrola zagušenja (Slow Start)

- Kada veza počne, eksponencijalno povećanje brzine do gubitka :
  - Udvostručuje se `CongWin` svaki RTT
  - Inkrementira se `CongWin` sa svakim primljenim
  - ACK Sumarum: inicijalna brzina je niska ali brzo raste



TCP kontrola zagušenja

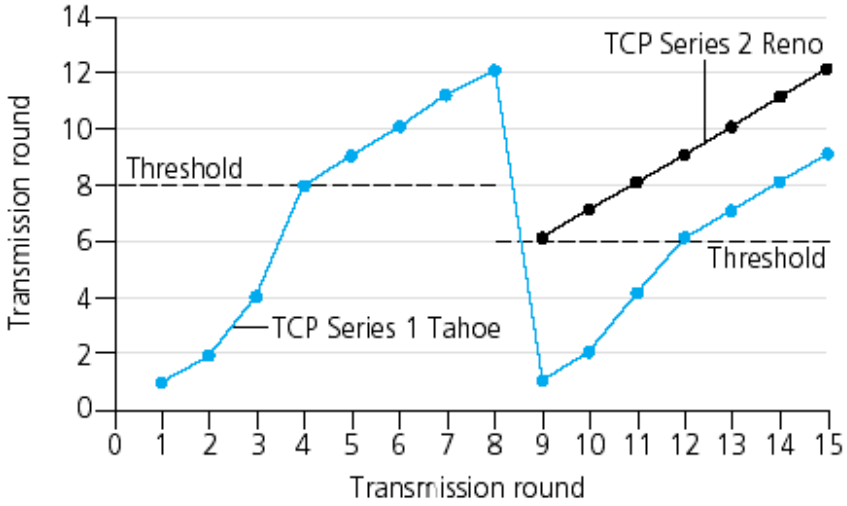
- Poslije 3 duplirane ACK:
  - **CongWin** se smanjuje na pola
  - Prozor raste linearno
- Ali posle timeout-a:
  - **CongWin** = 1 MSS;
  - Prozor raste eksponencijalno do praga a zatim linearno

Filozofija:

- 3 duple ACK indicira da je mreža sposobna da šalje
- timeout prije 3 duple ACK je "alarmantan"

TCP kontrola zagušenja

P: Kada eksponencijalna prelazi u linearnu?



Implementacija:

- Varijabilni prag (Tahoe)
- U slučaju gubitka, prag se postavlja na 1/2 vrijednosti CongWin prije gubitka
- U slučaju gubitka CongWin se smanjuje na pola(Reno)

TCP Tahoe

- "Slow Start", izbjegavanje kolizije
- Detektuje zagušenje kroz isticanje timeout-a i trostruke potvrde
- Inicijalizacija
  - CongWin=1;
  - Threshold=1/2 Max(Win)
- Poslije timeouta i trostruke potvrde
  - Threshold= 1/2 CongWin, CongWin= 1
  - Ulazi u slow start

TCP Reno

- "Fast Retransmit", "Fast recovery"
- Detektuje zagušenje kroz timeout-e i duplikate ACK-ova
- Kada se primi trostruki duplikat nekog ACK
  - Izbjegava slow start i ide direktno u fazu izbjegavanja kolizije
  - Threshold = 1/2 CongWin; Congwin = Threshold
    (Koristi AIMD)
- Kada se pojavi timeout
  - "Slow start"