7. Transportni protokoli

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

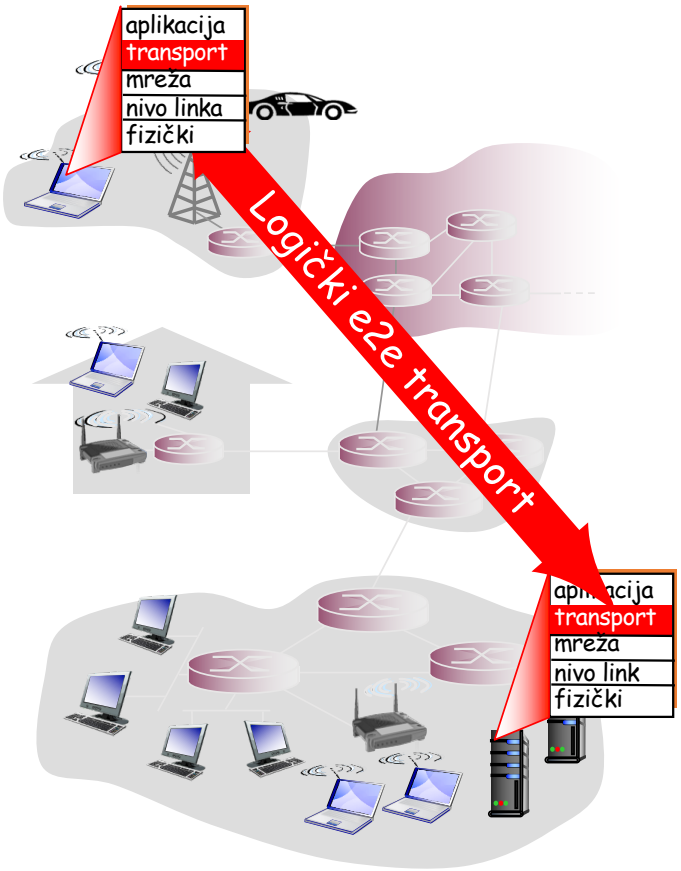
slavicat@ucg.ac.me

Transportni protokoli

- Transportni servisi
- UDP
- Pouzdani prenos podataka
  - *Stop & Wait*
  - *Go Back N*
  - *Selective Repeat*
- TCP (ukratko)

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 i 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.
  - Na Internetu dominiraju TCP i UDP



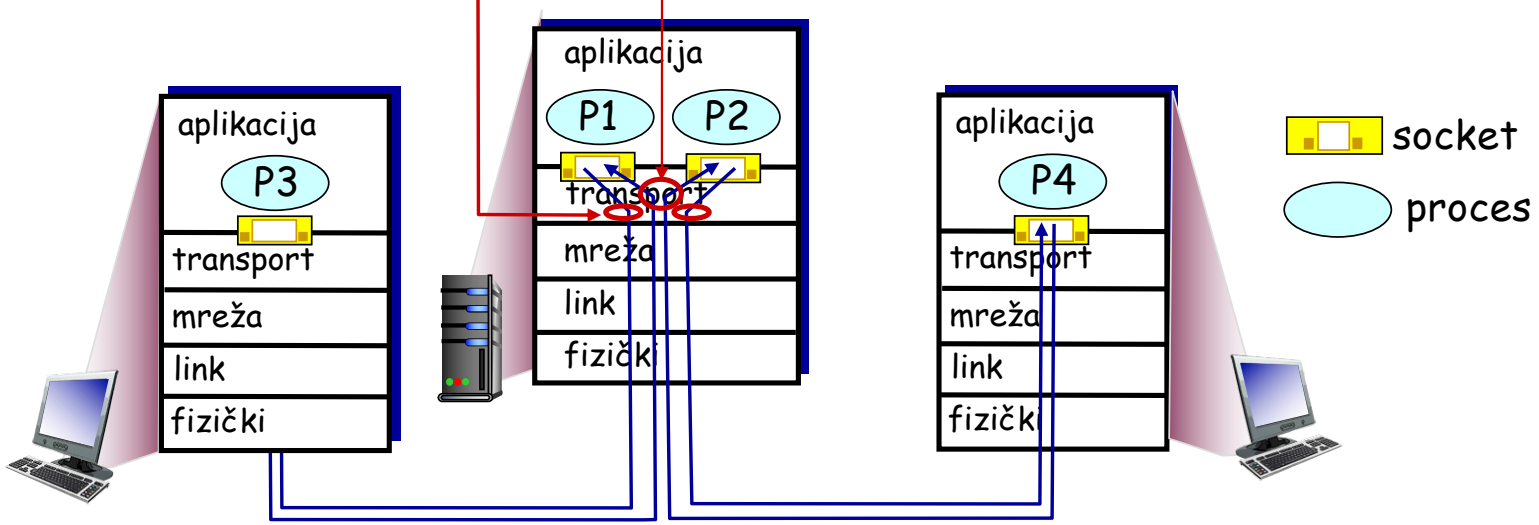
Transportni servisi i protokoli

Multipleksiranje na predaji:

Manipulisanje podacima iz više socket-a i 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]

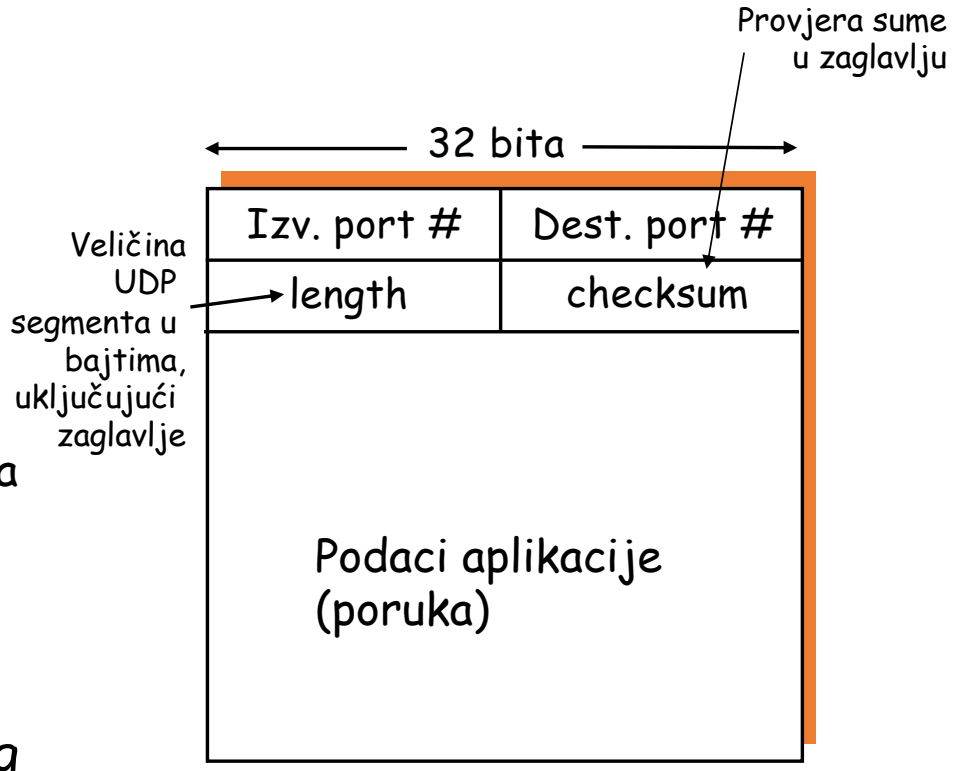
- Nema poboljšanja koja se nude Internet protokolu.
- *Best effort* servis tako da UDP segmenti mogu biti:
  - izgubljeni
  - neredosledno predati
- Nekonektivan
  - Nema uspostavljanja veze (*handshaking*) između UDP pošiljaoca i prijemnika.
  - Svaki UDP segment se tretira odvojeno od drugih segmenata.

Zašto onda UDP?

- Nema uspostavljanja veze (koja povećava kašnjenje) što je jednostavnije nego kod TCP protokola jer se ne vodi računa o stanju veze.
- Malo zaglavlje segmenta od svega 8B (TCP zaglavlje ima 20B).
- Nema kontrole protoka i zagušenja tako da UDP može slati podatke brzinom koju aplikacija diktira.

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

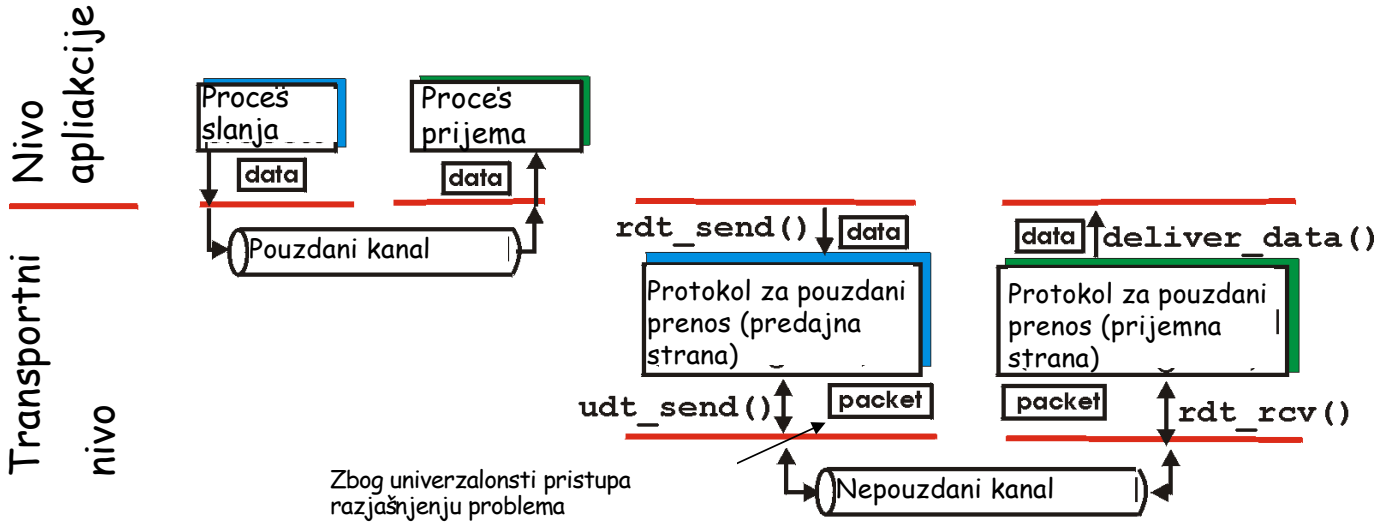
- Često se koristi za *streaming* multimedijalne aplikacije:
  - tolerantne u odnosu na gubitke i
  - osjetljive na brzinu prenosa
- Drugi protokoli koji koriste UDP:
  - DNS
  - SNMP (zbog toga što mrežne menadžment aplikacije funkcionišu kada je mreža u kritičnom stanju)
  - RIP (zbog periodičnog slanja RIP update-a)
- Za pouzdani prenos preko UDP se moraju dodati mehanizmi pouzdanog prenosa podataka na nivou aplikacije.
  - Oporavak od greške na nivou aplikacije!
- Nedostatak kontrole zagušenja je problematičan!



Format UDP segmenta
RFC 768

Pouzdani prenos podataka

- Važan na nivoima aplikacije, transporta i linka.
- Jedna od top-10 karakteristika mreže!

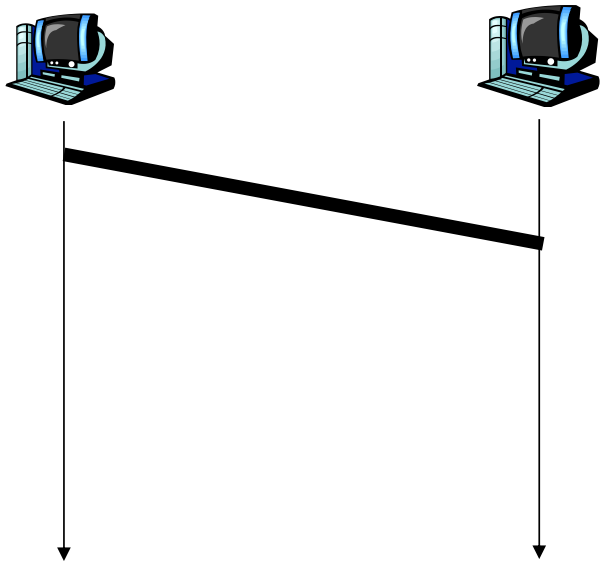


a) Pruženi servis b) Implementacija servisa

- Karakteristike nepouzdanog kanala će odrediti kompleksnost pouzdanog protokola za prenos podataka.

Pouzdani prenos podataka

- Kanal je pouzdan:
  - nema grešaka na bitima
  - nema gubitka segmenata

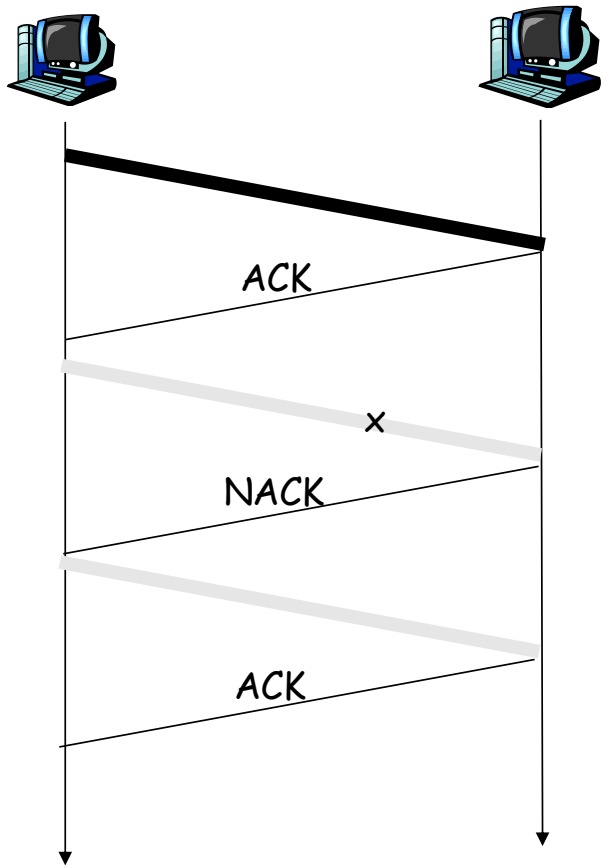


Nema potrebe za mehanizmom pouzdanog prenosa podataka!

Pouzdani prenos podataka

Kanal koji unosi grešku ali ne i gubitke

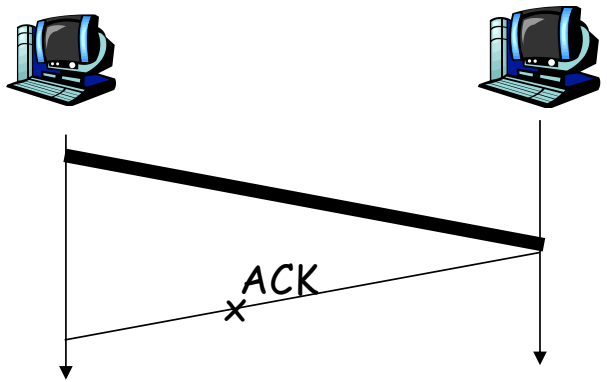
- Kanal može zamijeniti vrijednosti bita u segmentu.
- Potrebno je detektovati grešku na prijemnoj strani. Kako?
- Prijemna strana o tome mora obavijestiti predajnu stranu potvrdom uspješnog (ACK) ili neuspješnog prijema (NACK).
- Kada prijemna strana primi ACK šalje novi segment, ako primi NACK ponovo šalje prethodni segment (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 jer je moguće dupliranje segmenata.



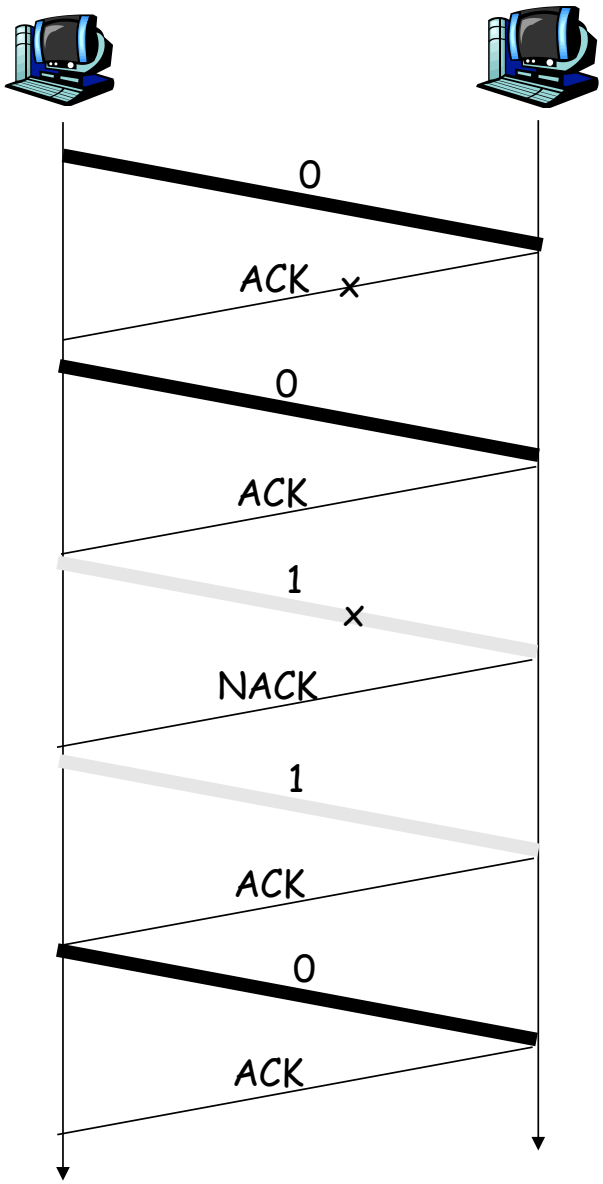
Rješavanje duplikata:

- Pošiljalac dodaje svakom segmentu broj u sekvenci.
- Pošiljalac ponovo šalje posmatrani segment ako je ACK/NAK oštećen.
- Prijemnik odbacuje duple segmente.
- U ACK/NAK nema broja u sekvenci segmenta koji se potvrđuje jer nema gubitka segmenata, pa se potvrda odnosi na posledni poslati segment.

STOP & WAIT

Pošiljac šalje jedan segment, a zatim čeka na odgovor.

Stop & Wait
(u kanalu bez gubitaka)



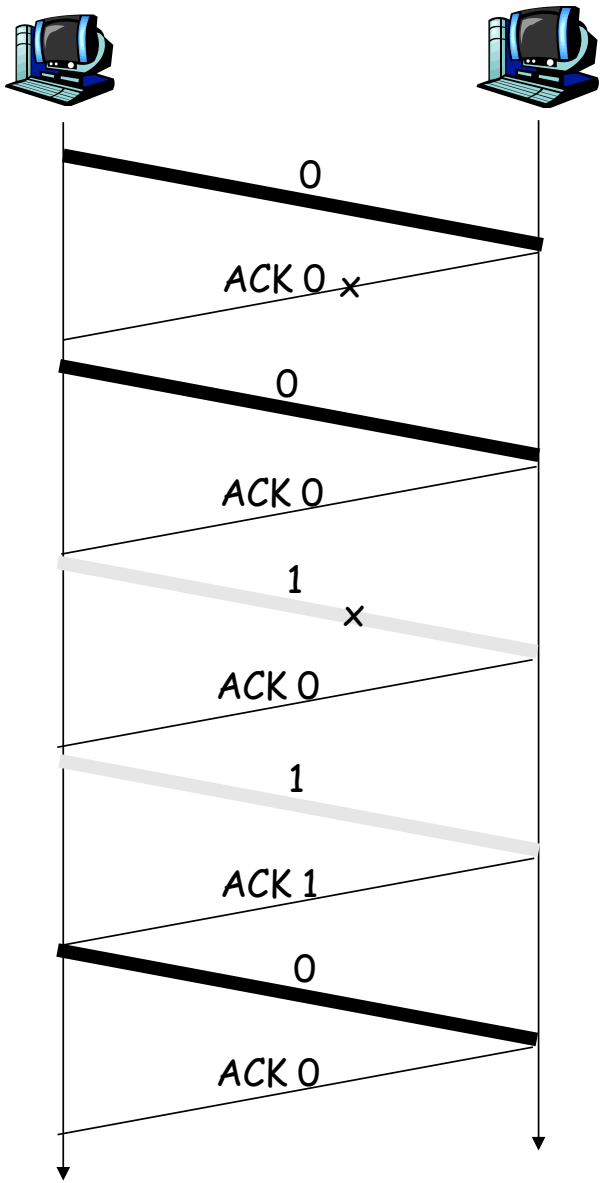
Stop & Wait (u kanalu bez gubitaka)

Pošiljalac:

- Dodaje broj u sekvenci segmentu.
- Dva broja (0,1) su dovoljna. Zašto?
- Pošiljac posjeduje brojač koji pokazuje na broj poslatog segmenta.
- Mora provjeriti da li je primljeni ACK/NAK oštećen.
- Nakon potvrde prijema segmenta
  - brojač se povećava za 1 (mod 2),
  - segment se briše
  - pošiljalac čeka podatke sa višeg nivoa.

Prijemnik:

- Posjeduje brojač koji pokazuje na broj očekivanog segmenta.
- Mora provjeriti da li je primljeni segment duplikat.
  - Stanje indicira da li je 0 ili 1 očekivani broj u sekvenci paketa.
- Prijemnik ne može znati da li je poslednji ACK/NAK primljen ispravan od strane pošiljaoca.
- Ako je segment ispravan i očekivan:
  - njegov sadržaj se predaje višem nivou
  - brojač se povećava za 1 (mod 2)



Stop & Wait (u kanalu bez gubitaka) bez NAK

- Iste funkcionalnosti kao u prethodnom slučaju, korišćenjem samo ACK.
- Umjesto NAK, prijemnik šalje ACK za posljednji segment koji je primljen ispravno.
  - Prijemnik mora eksplicitno unijeti broj u sekvenci segmenta čiji se uspješan prijem potvrđuje.
- Dvostruki ACK za isti segment na strani pošiljaoca rezultira istom akcijom kao "ponovo šalji posmatrani segment".

Stop & Wait (kanal sa greškom i gubicima)

Nova pretpostavka: kanal izaziva i gubitak segmenta (podataka ili potvrda).

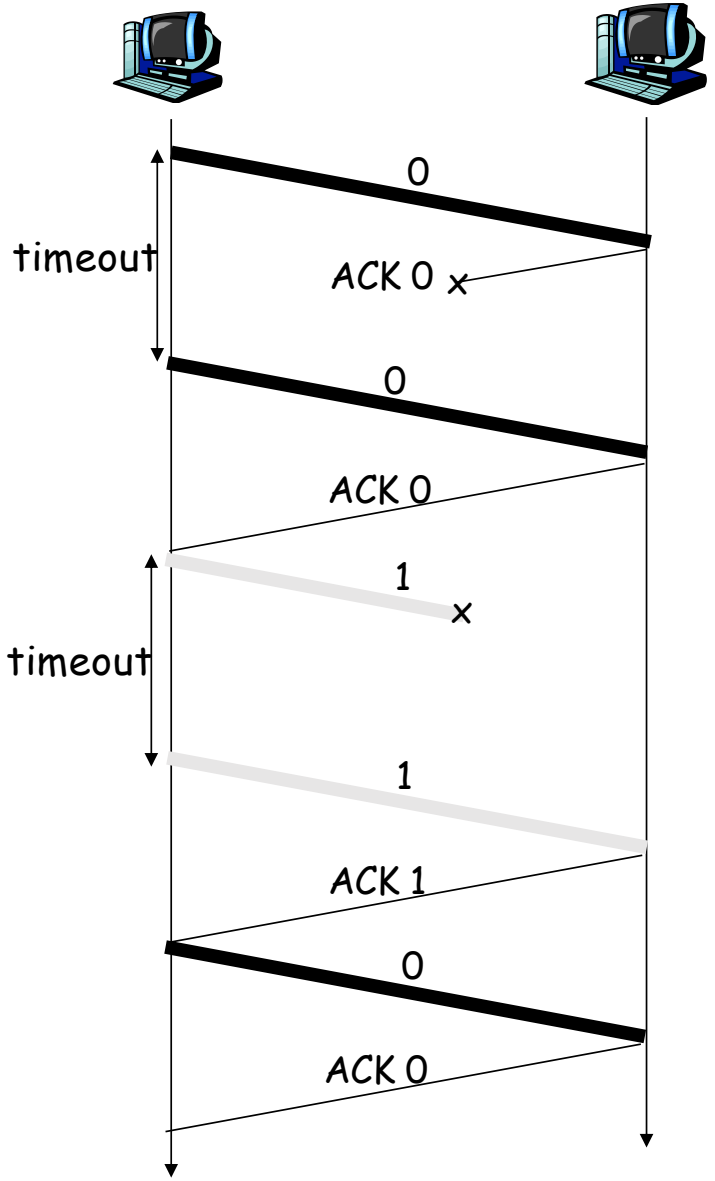
- Checksum, broj u sekvenci, ACK, retransmisije su od pomoći, ali ne dovoljno.

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

- Uvodi se timer na predajnoj strani.
- Retransmisija se obavlja ako se ACK ne primi u timeout intervalu.
- Ako segment (ili ACK) zakasni:
  - Retransmisija će biti duplirana, ali korišćenje broja u sekvenci će to odraditi.
  - Prijemnik mora definisati broj u sekvenci segmenta čiji je prijem već potvrđen.



Stop & Wait (u kanalu sa gubicima)

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

STOP & WAIT performanse

- S&W funkcioniše, ali ima loše performance.
- Na primjer, link kapaciteta je 1Gb/s, RTT iznosi 15ms, a veličina paketa je 1000B:

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

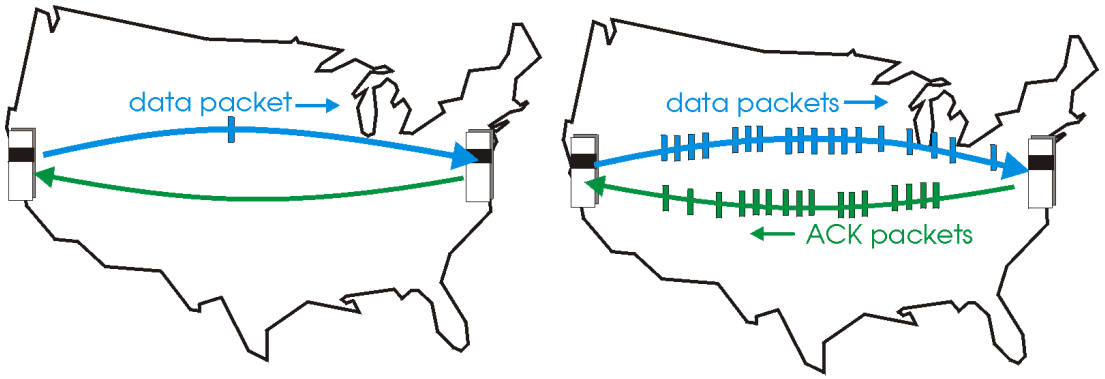
$$U_{pošilj.} = \frac{L / R}{RTT + L / R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

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

Pipelined protokoli

Pošiljalac dozvoljava istovremeni prenos više segmenata čiji prijem nije potvrđen.

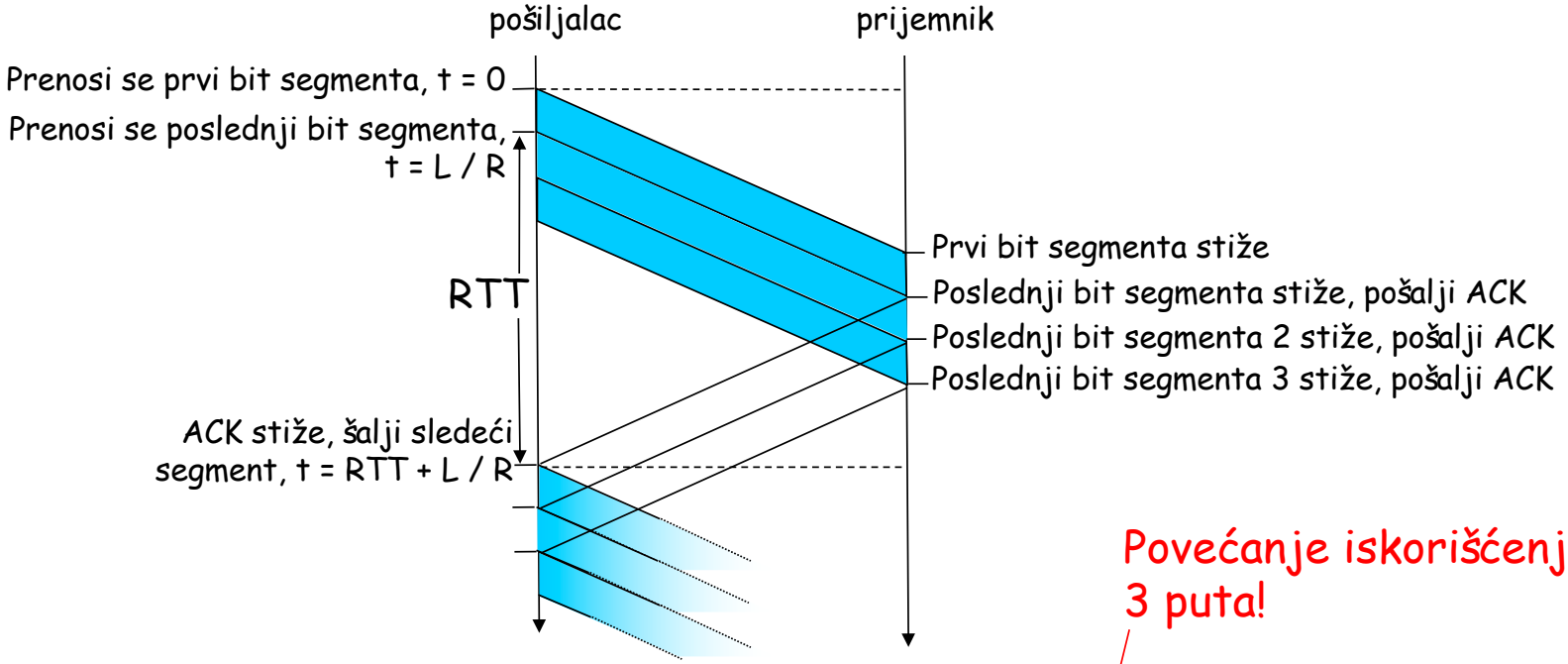
- Opseg brojeva u sekvenci mora biti proširen.
- Baferovanje više od jednog segmenta na predajnoj i/ili prijemnoj strani.



a) *Stop and Wait* protokol b) *Pipeline* protokol

- 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.
- Pošiljalac posjeduje predajni prozor a prijemnik brojač.

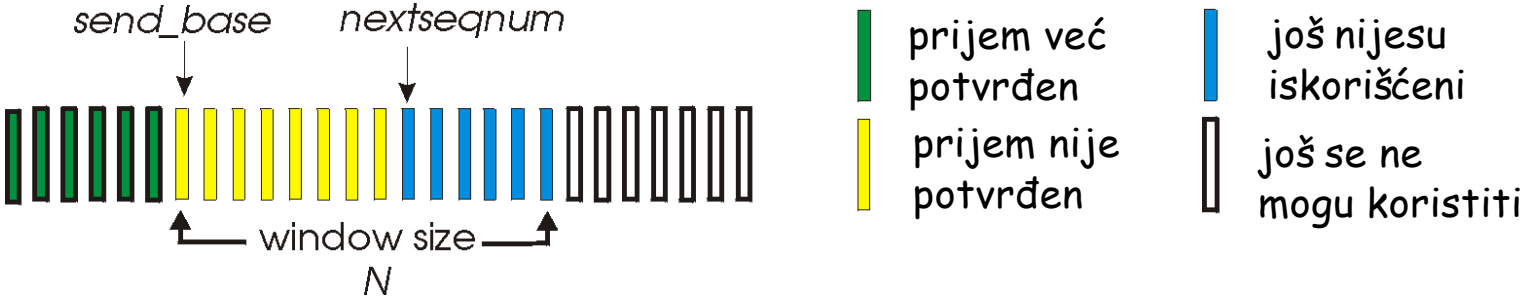
Selective Repeat:

- 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.
- Pošiljalac posjeduje predajni, a prijemnik prijemni prozor.

Go-Back-N (sliding window)

Pošiljalac:

- Broj u sekvenci u zaglavlju segmenta je dugačak k-bita što znači da se može poslati N=2^k nepotvrđenih segmenata
- Prozor veličine N susjednih nepotvrđenih segmenata je dozvoljen
- Zašto ograničavati N?

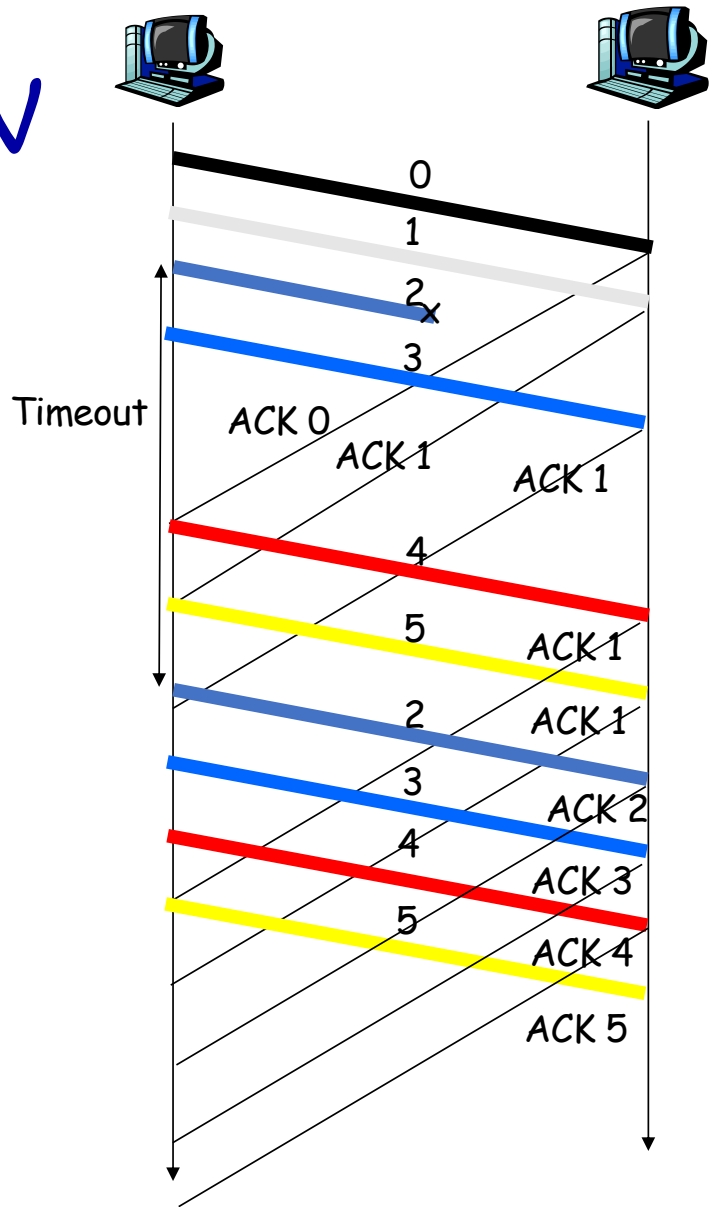


- Broj u sekvenci se upisuje u polje zaglavlja veličine k bita (0,2^k-1). Kod TCP k=32, pri čemu se ne broje segmenti, već bajti u bajt streamu.
- ACK(n): ACK sve pakete, uključujući n-ti u sekvenci - kumulativni ACK
  - Mogu se pojaviti duple ACK potvrde (obratiti pažnju na prijemnik).

Go-Back-N (sliding window)

- Timer se inicijalizuje za "najstariji" segment i vezuje za svaki segment čiji prijem još nije potvrđen.
- Timeout(n): retransmisija segmenta n i svih segmenata čiji je broj u sekvenci veći od n, u skladu sa veličinom prozora.
- Uvijek se šalje ACK za korektno primljen segment sa najvećim brojem u sekvenci uz poštovanje redosleda
  - Može generisati duple ACK potvrde.
  - Treba da zapamti samo broj očekivanog segmenta.
- *Out-of-order* segment:
  - Odbacuje se-> Zašto nema baferovanja na prijemu?
  - Ponovo šalje ACK za segment sa najvećim brojem u sekvenci.

Go-Back-N

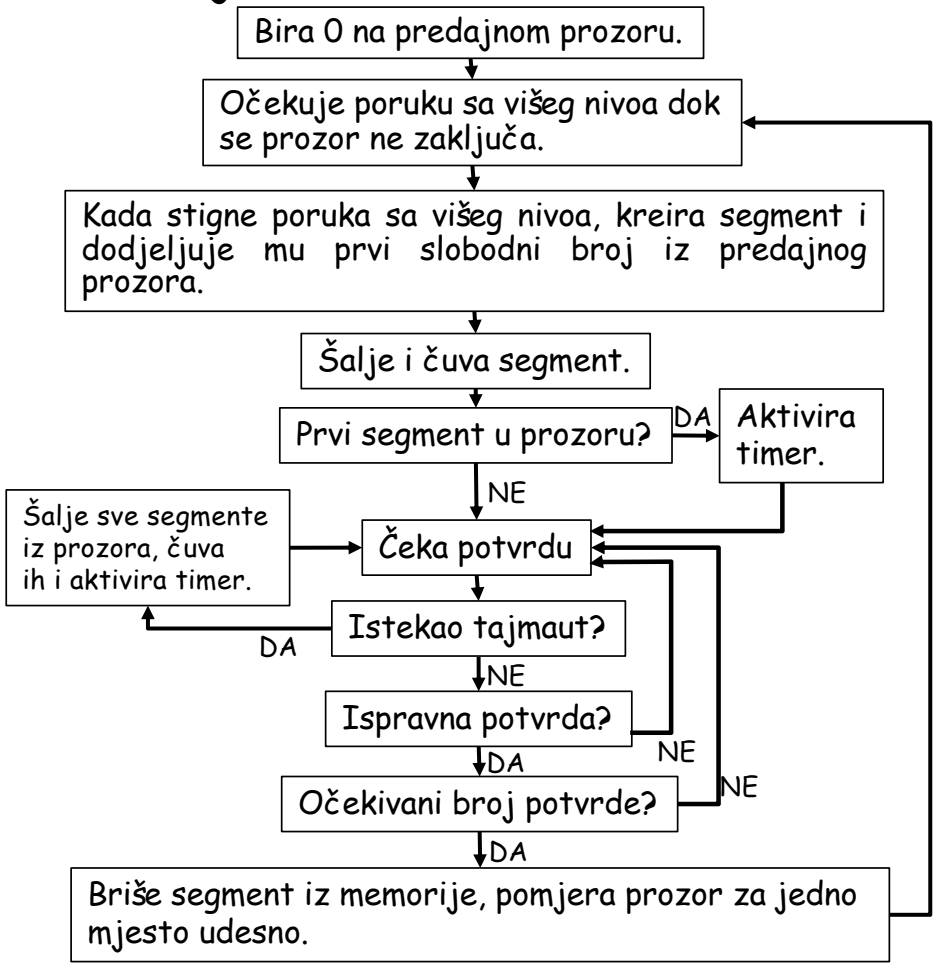

0
1
2
3
Timeout
ACK 0
ACK 1
ACK 1
4
5
ACK 1
2
ACK 1
3
ACK 2
4
ACK 3
5
ACK 4
ACK 5

Go-Back-N

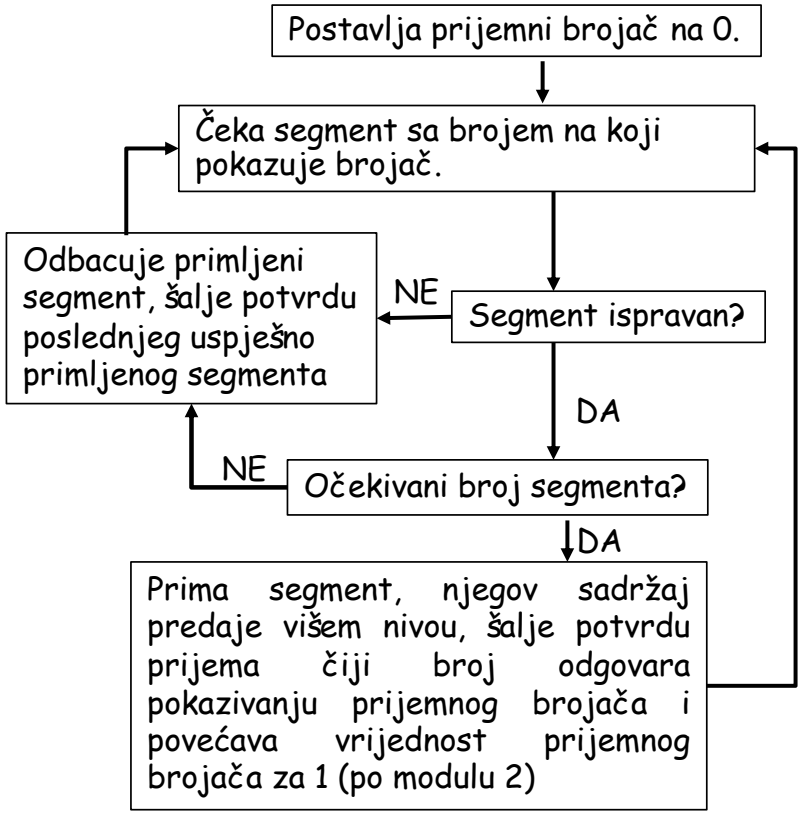
- Dozvoljava pošiljaocu da ispuni link segmentima, čime se uklanja problem lošeg iskorišćenja kanala.
- Sa druge strane, kada su veličina prozora i proizvod brzine prenosa i kašnjenja veliki mnogo segmenata može biti na linku. U tom slučaju zbog gubitka jednog segmenta mnogi segmenti se moraju iznova poslati (potpuno nepotrebno).
- Iz tog razloga se koriste Selective Repeat protokoli, koji kao što im ime kaže omogućavaju izbor segmenata koji će biti ponovo poslati.

Go-Back-N

Pošiljalac:



Prijemnik:



Selective Repeat

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

Selective Repeat

Pošiljalac

Podaci dolaze odozgo :

- Ako je sledeći broj u sekvenci u prozoru dostupan, poslati paket.

Timeout(n):

- Ponovo poslati segment n, restartovati tajmer.

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

- Markirati segment n kao da je primljen.
- Ako je n najmanji nepotvrđeni segment, proširiti osnovu prozora na bazi narednog najmanjeg broja nepotvrđenog segmenta.

Prijemnik

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

- Poslati ACK(n)
- *Out-of-order*: baferovati
- *In-order*: predati (takođe baferovati, predati u *in-order*), povećati prozor na sledeći segment koji još nije primljen

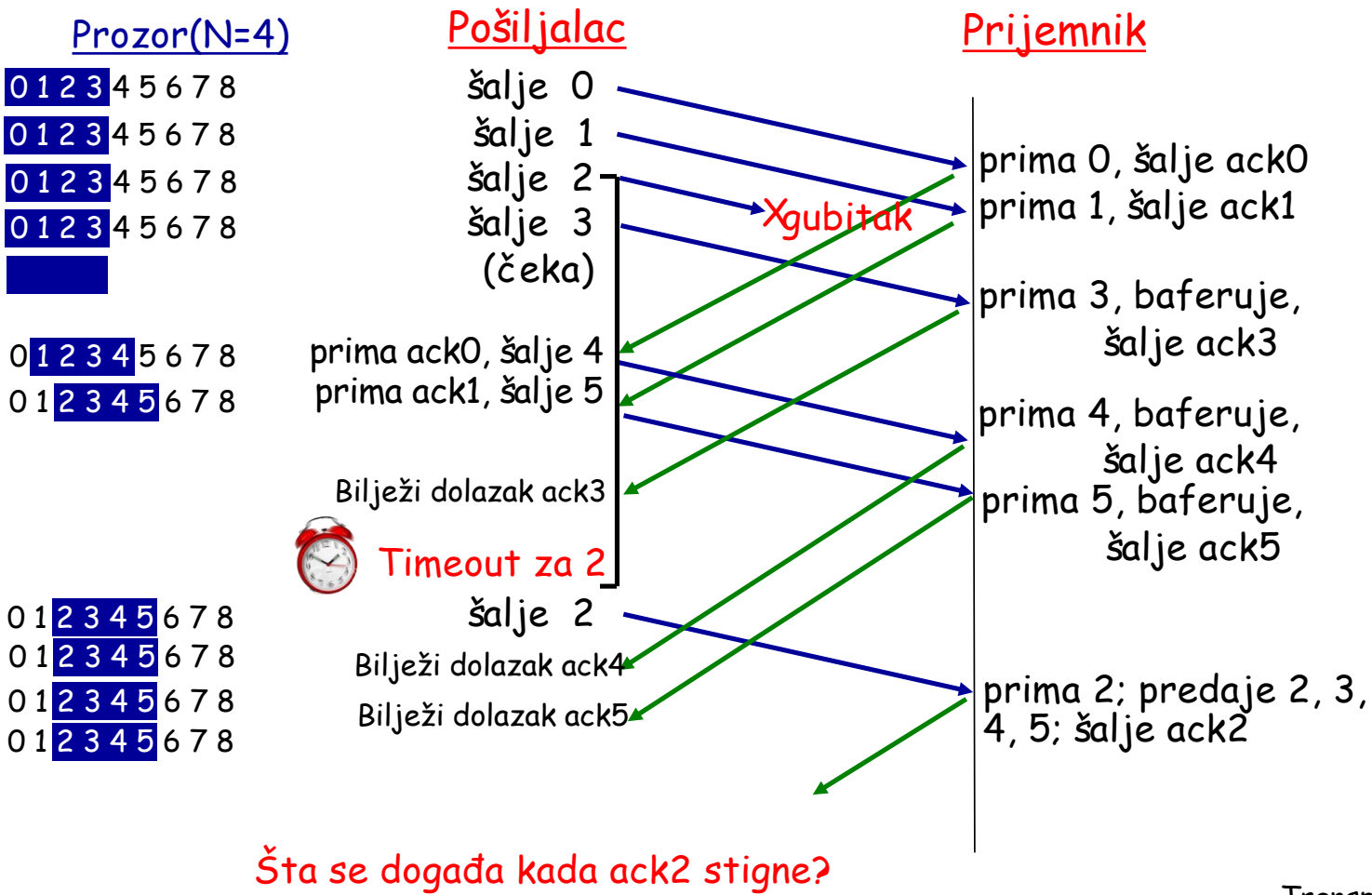
Segment n u [rcvbase-N,rcvbase-1]

- ACK(n)

Drugačije:

- ignorisati

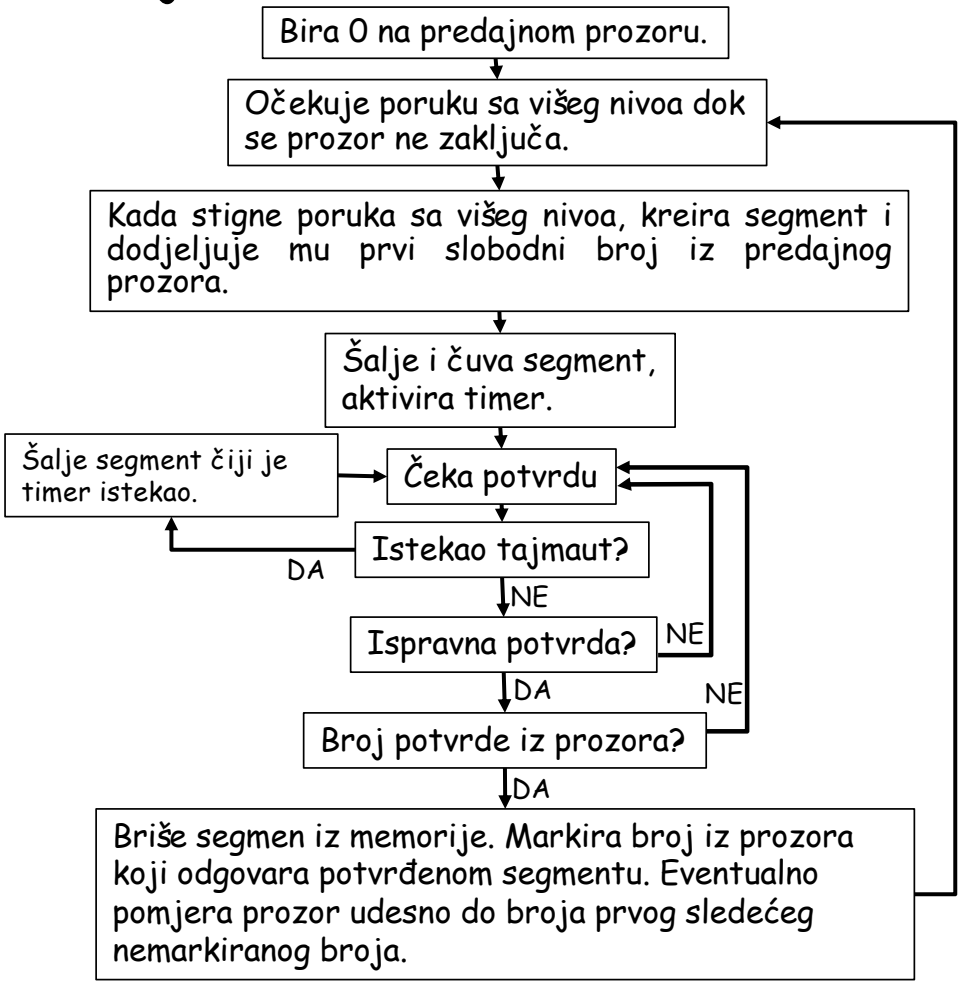
Selective Repeat



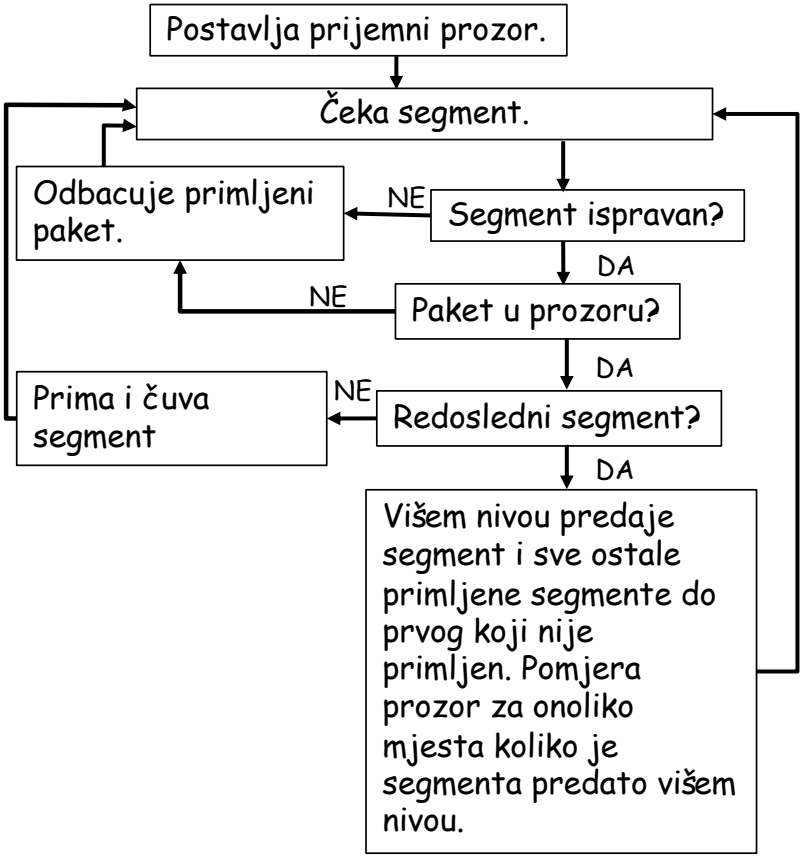
Šta se događa kada ack2 stigne?

Selective Repeat

Pošiljalac:

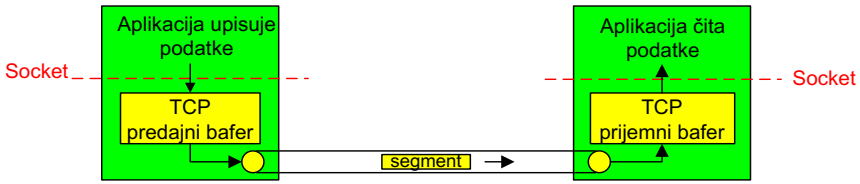


Prijemnik:



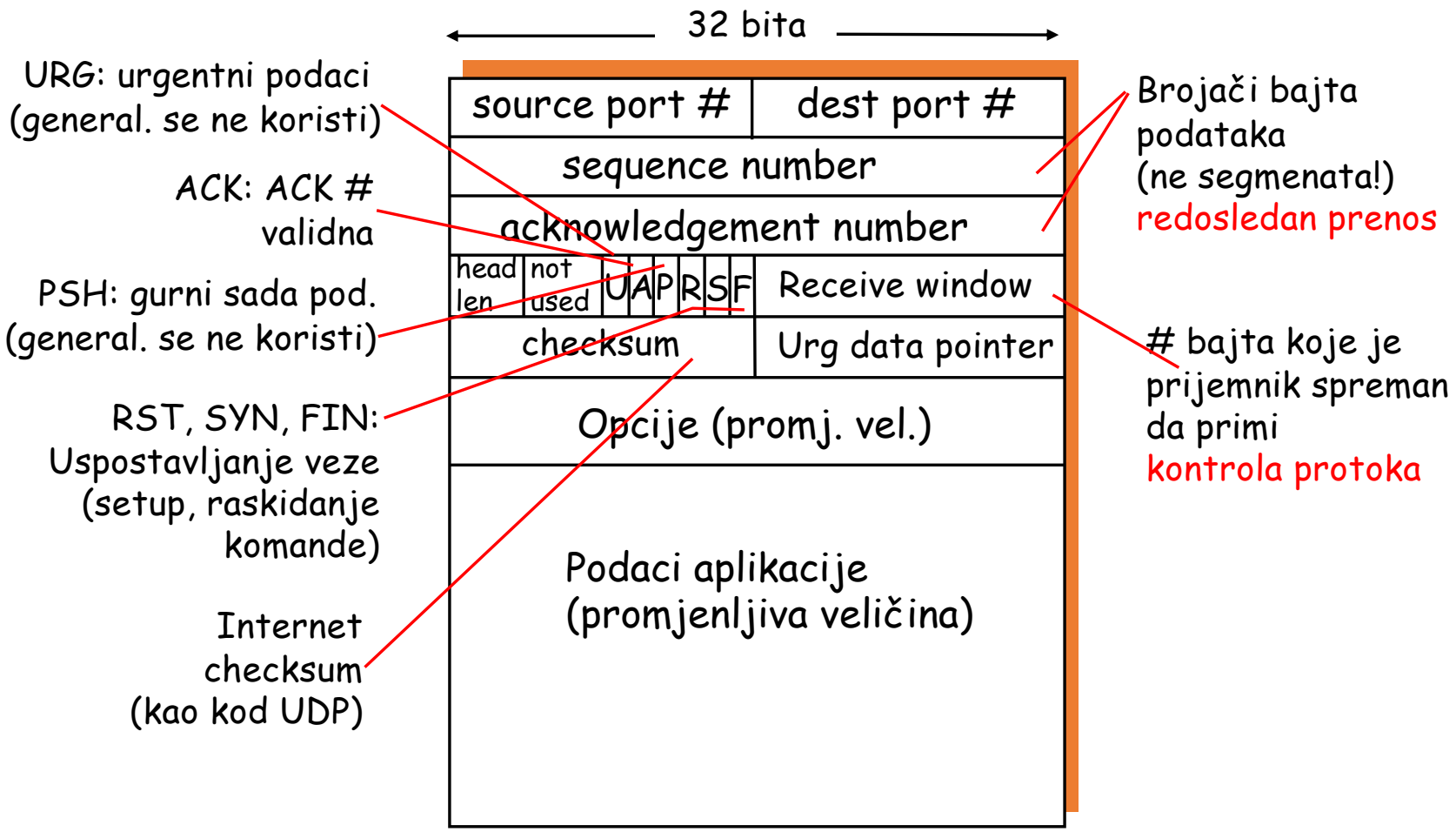
TCP - RFC [793, 1122, 1323, 2018, 2581]

- Tačka-tačka:
  - Jedan pošilj, jedan prij.
- Pouzdan i redosledan *pipelined* prenos bajta:
  - Nema "granica poruka".
  - TCP kontrola zagušenja i protoka podešavaju 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: kasnije u RM!
  - *Handshaking* (razmjena kontrolnih poruka) inicira je pošiljalac, razmjenjuje stanja prije slanja.
- Kontrola protoka: kasnije u RM!
  - Pošiljalac ne može "zagušiti" prijemnika.
- Kontrola zagušenja kasnije u RM!

Struktura TCP segmenta



TCP pouzdani prenos

- TCP kreira pouzdani prenos po IP nepouzdanom servisu.
- *Pipelined* segmenti.
- Kumulativne potvrde
- TCP koristi jedan retransmisioni tajmer.
- Retransmisije su trigerovane sa:
  - Timeout događajima.
  - Duplim ack-ovima.
- Razmatra se pojednostavljeni TCP pošiljalac:
  - Ignorišu se duplirani ACK segmenti.
  - Ignorišu se kontrole protoka i zagušenja.

TCP pouzdani prenos (pošiljalac)

1. Podaci primljeni od aplikacije:

- Kreiranje segmenta sa odgovarajućim brojem u sekvenci.
- Broj u sekvenci je byte-stream broj prvog bajta podataka u segmentu.
- Startuje se tajmer (ako to već nije urađeno).
- *Timeout* interval se izračunava po odgovarajućoj formuli.

2. Timeout:

- Ponovo se šalje segment koji je izazvao timeout.
- Restartuje se tajmer.

3.Ack primljen:

- Ako se potvrdi prijem ranije nepotvrđenog segmenta treba :
  - 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 očekivanog broja su potvrđeni.	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.

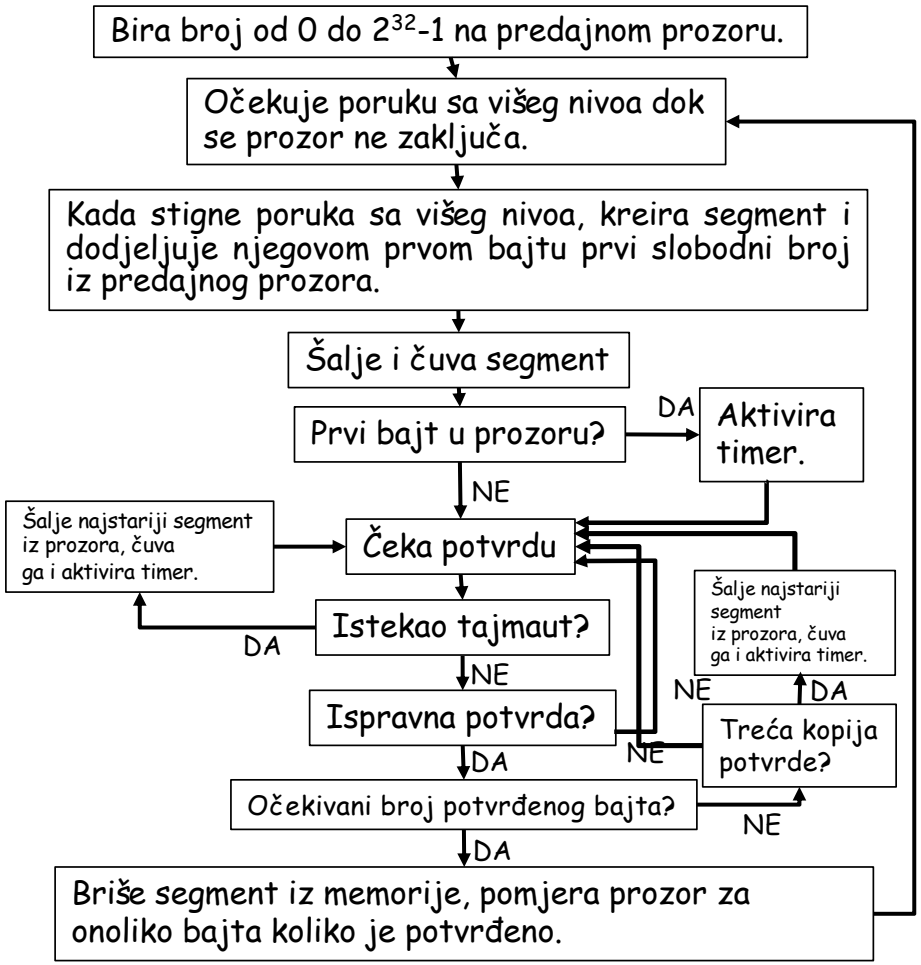
TCP pouzdani prenos (*Fast Retransmit*)

- *Time out* period je često predugačak.
  - 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 potvrda ACK.
- 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.

Da li TCP ima GBN ili SR kontrolu greške?
Zašto 3 a ne dva ACK?

TCP

Pošiljalac:



Prijemnik: