4. Nivo transporta

Ciljevi:

- Shvatiti principe na kojima počivaju servisi nivoa transporta:
  - Multipleksiranje/ demultipleksiranje
  - Pouzdan prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Kontrola zagušenja
- Protokoli transportnog nivoa na Internetu:
  - UDP: nekonektivni transport
  - TCP: konektivni transport i kontrola zagušenja

1

4. Nivo transporta

4.1 Servisi nivoa transporta

4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje

4.3 Nekonektivni transport: UDP

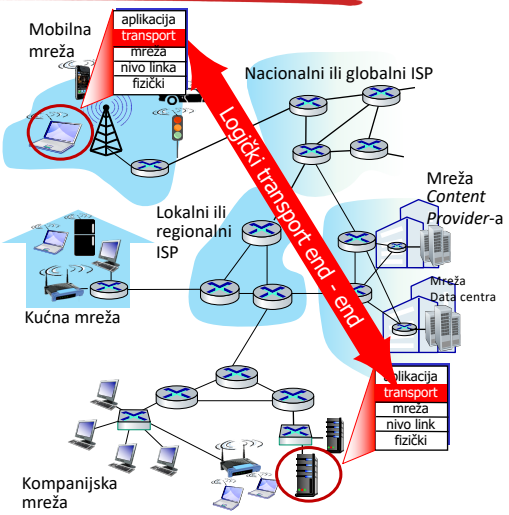
4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka

4.5 Konektivni transport: TCP
- Struktura segmenta
- Pouzdani prenos podataka
- Kontrola protoka
- Upravljanje vezom

2

Transportni servisi i protokoli

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



3

Poređenje transportnog i mrežnog nivoa

- *Mrežni nivo:* logička komunikacija između hostova
- *Transportni nivo:* logička komunikacija između procesa
  - Oslanja se na servise mrežnog nivoa i poboljšava njihove osobine

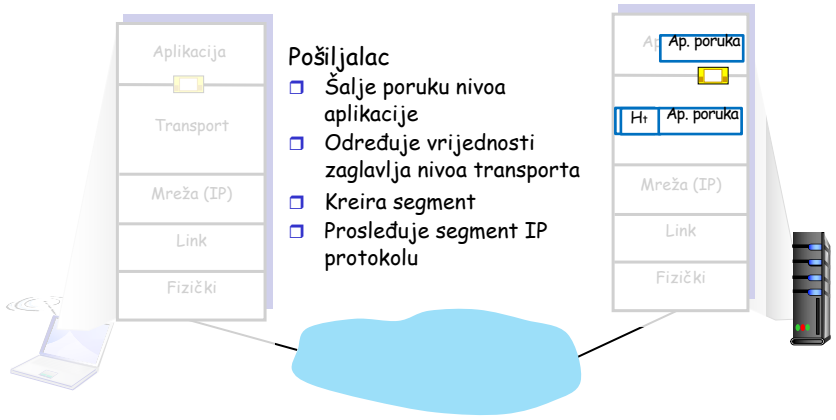
Analogija:

12 ljudi šalje pisma za 12 ljudi

- procesi = ljudi
- poruke = poruke u kovertama
- hostovi = kuće u kojima ljudi žive
- transportni protokol = zapis na koverti
- mrežni protokol = poštanski servis

4

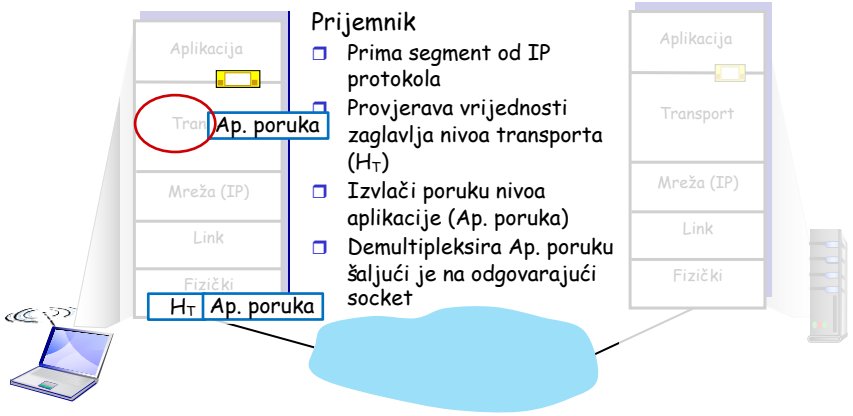
Akcije transportnog nivoa



Pošiljalac
- Šalje poruku nivoa aplikacije
- Određuje vrijednosti zaglavlja nivoa transporta
- Kreira segment
- Prosleđuje segment IP protokolu

5

Akcije transportnog nivoa

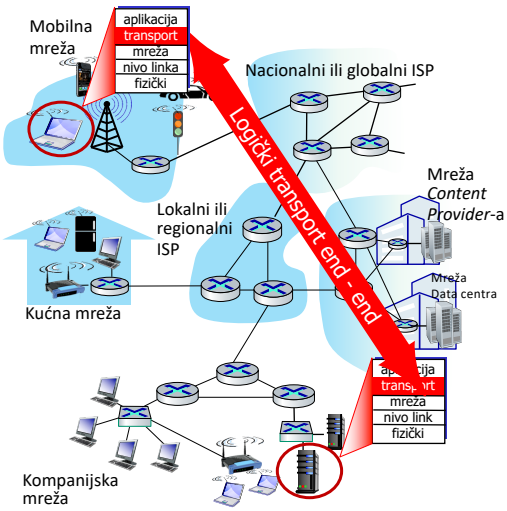


Prijemnik
- Prima segment od IP protokola
- Provjerava vrijednosti zaglavlja nivoa transporta (H_T)
- Izvlači poruku nivoa aplikacije (Ap. poruka)
- Demultipleksira Ap. poruku šaljući je na odgovarajući socket

6

Internet protokoli transportnog nivoa

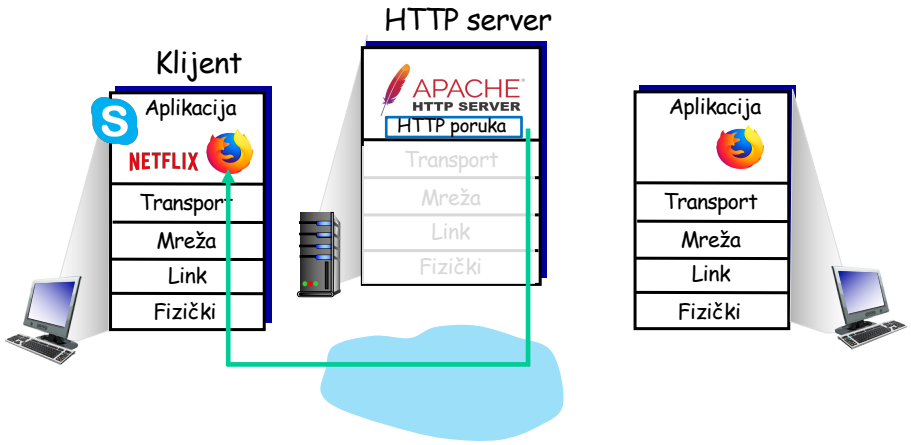
- Transmission Control Protocol (TCP)
  - Pouzdana, redosledna isporuka bajta
  - Kontrola zagušenja
  - Kontrola protoka
  - Uspostavljanje veze
- UDP (User Datagram Protocol)
  - Nepouzdana, neredosledna isporuka segmenata
  - Bez unapređenja"best-effort" IP servisa
- Servisi koji se ne pružaju:
  - Garantovano kašnjenje
  - Garantovana propusnost



4. Nivo transporta

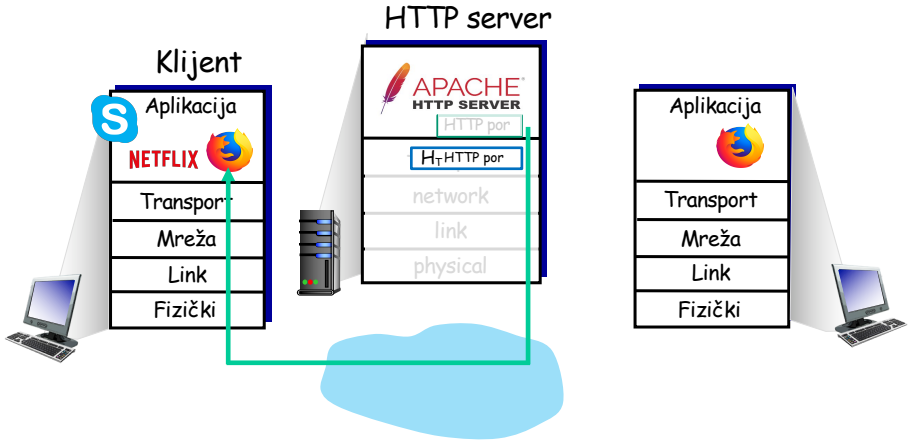
- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

Mutlipleksiranje i demultipleksiranje



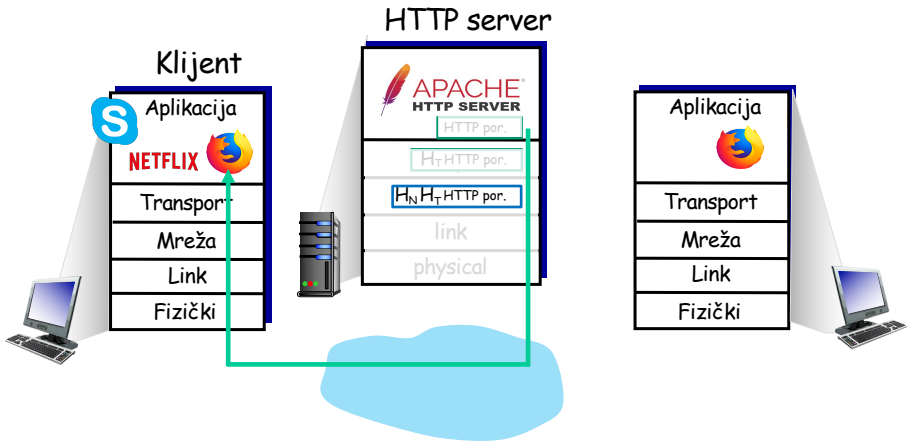
9

Mutlipleksiranje i demultipleksiranje



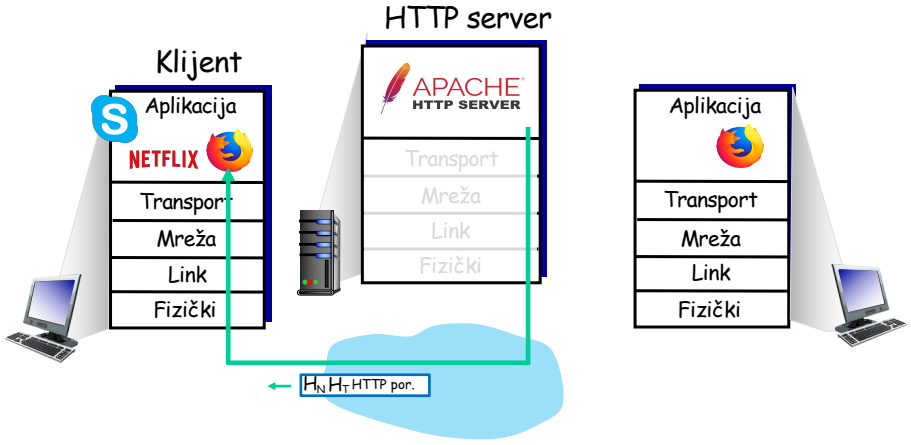
10

Mutlipleksiranje i demultipleksiranje



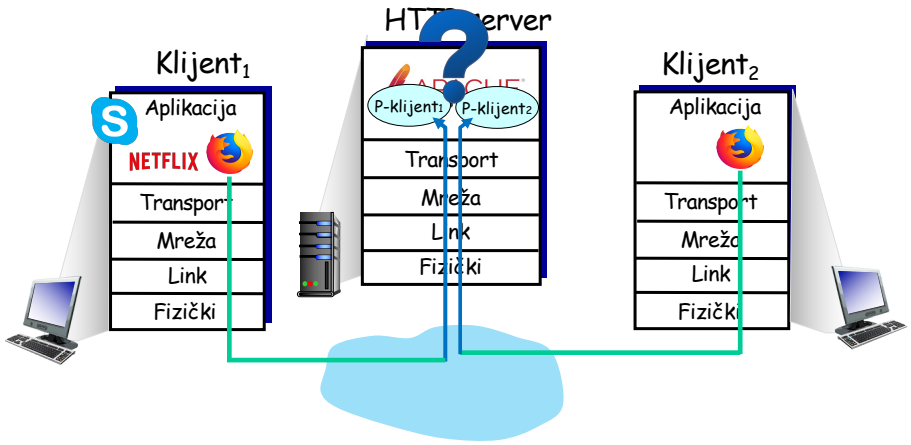
11

Mutlipleksiranje i demultipleksiranje



12

Mutlipleksiranje i demultipleksiranje



13

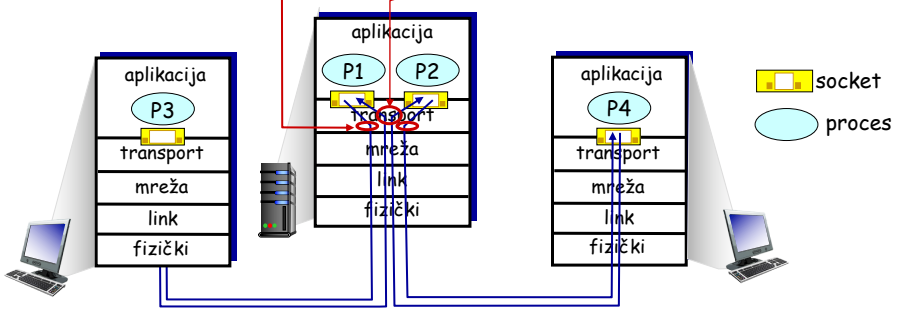
Multipleksiranje i demultipleksiranje

Multipleksiranje na predaji:

Manipulisanje podacima iz više socketa, dodavanje transportnog zaglavlja (koristi se za demultipleksiranje)

Demultipleksiranje na prijemu:

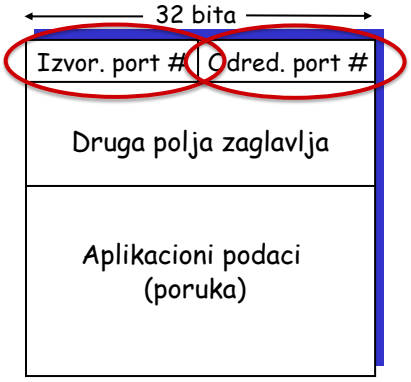
Koristi zaglavlje za predaju primljenih segmenata pravom socketu



14

Kako funkcioniše demultipleksiranje?

- host prima IP datagrame
  - Svaki datagram ima izvorišnu IP adresu i odredišnu IP adresu
  - Svaki datagram nosi 1 segment nivoa transporta
  - Svaki segment ima izvorišni i odredišni broj porta
    - 16 bitni broj (0-65535)
    - 0-1023 su tzv"dobro poznati" portovi koji su unaprijed rezervisani (RFC1700, www.iana.org)
- host koristi IP adrese i brojeve portova da usmjeri segment na odgovarajući socket



TCP/UDP format segmenta

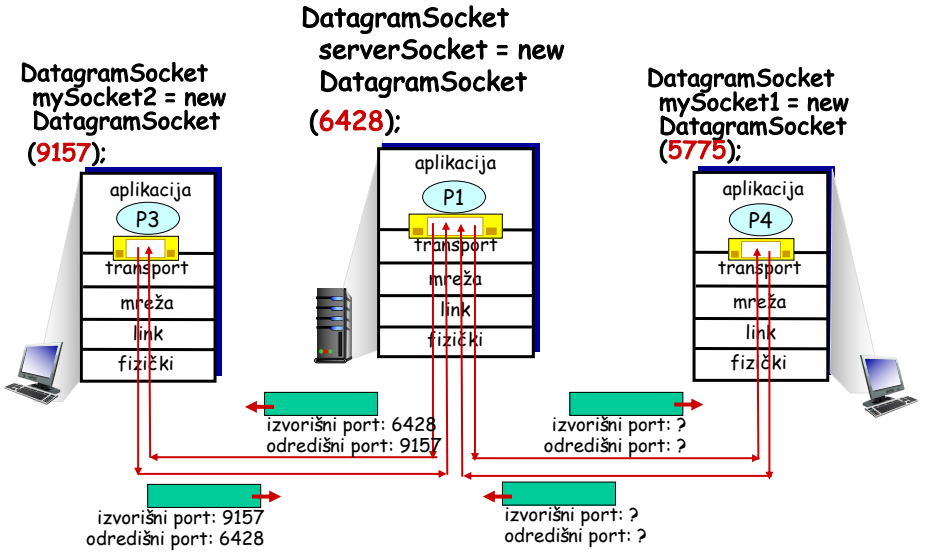
Nekonektivno demultipleksiranje (UDP)

- Kada se kreira UDP socket transportni nivo mu odmah dodjeljuje broj porta koji ne koristi neki drugi UDP socket na hostu
- Klijentska strana transportnog protokola običnо socketu dodjeljuje ne "dobro poznate" brojeve portova (1024-65535)
- UDP socket identifikuju dva podatka:

(IP adresa odredišta, broj porta odredišta)

- Kada host primi UDP segment:
  - Provjerava odredišni broj porta u segmentu
  - Usmjerava UDP segment u socket koji ima taj broj porta
- IP datagrami sa istim destinacionim brojevima portova, ali različitim izvorišnim IP adresama i/ili izvorišnim brojevima portova se usmjeravaju na isti socket

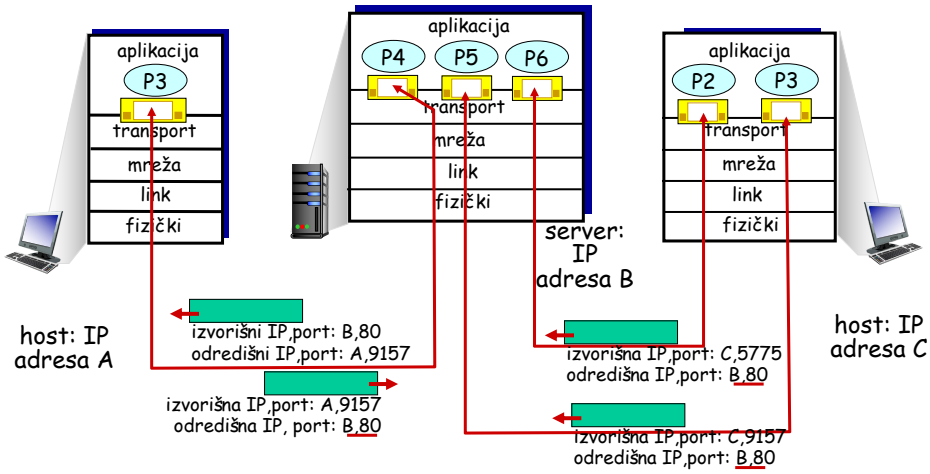
Nekonektivno demultipleksiranje



Konektivno demultipleksiranje

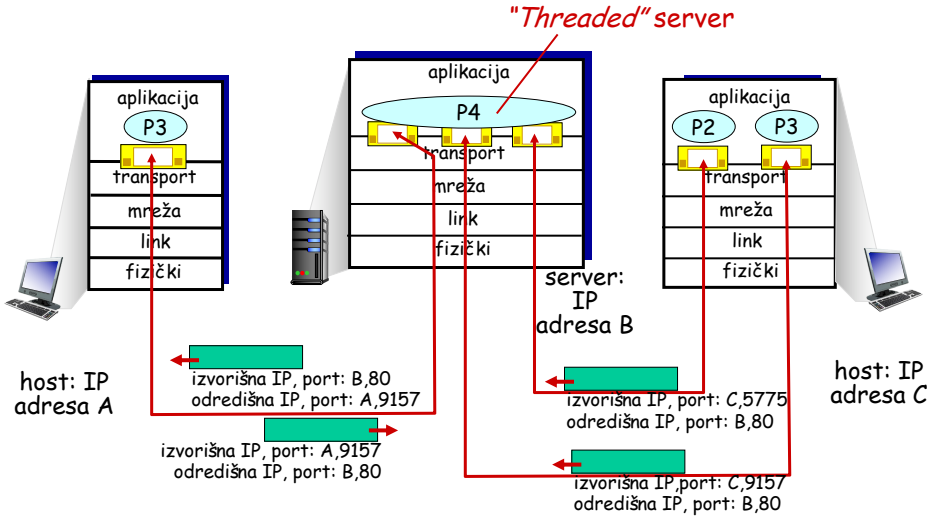
- TCP socket identifikuju 4 parametra:
  - Izvorišna IP adresa
  - Izvorišni broj porta
  - Odredišna IP adresa
  - Odredišni broj porta
- Prijemni host koristi sve četiri vrijednosti za usmjeravanje segmenta na odgovarajući socket
- Server može podržavati više simultanih TCP socket-a:
  - svaki socket je identifikovan sa svoja 4-parametra
- Web serveri imaju različite socket-e za svakog povezanog klijenta
  - ne-perzistentni HTTP će imati različite socket-a za svaki zahtjev

Konektivno demultipleksiranje



tri segmenta, adresirana na IP adresu: B,
dest port: 80 se demultipleksiraju na različite sockete

Konektivno demultipleksiranje



4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

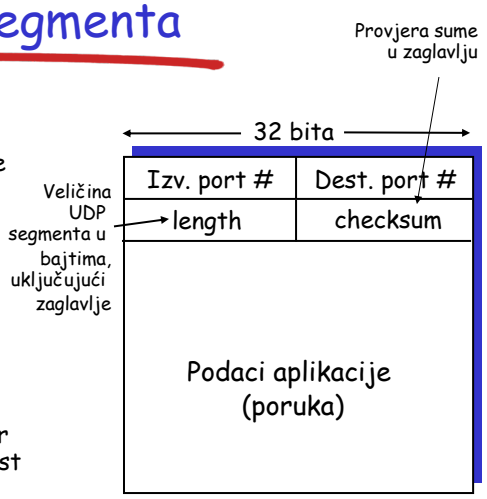
- Nema poboljšanja koja se nude Internet protokolu
- "best effort" servis, UDP segmenti mogu biti:
  - izgubljeni
  - predani neredosledno
- *nekonektivni:*
  - nema uspostavljanja veze (*handshaking*) između UDP pošiljaoca i prijemnika
  - svaki UDP segment se tretira odvojeno od drugih

Zašto onda UDP?

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

UDP: zaglavlje segmenta

- 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)
  - HTTP/3
- Za pouzdani prenos preko UDP (npr HTTP/3) se mora dodati pouzdanost na nivou aplikacije
  - Oporavak od greške na nivou aplikacije
  - Kontrola zagušenja na nivou aplikacije



Format UDP segmenta
RFC 768

UDP checksum-a

Cilj: detekcija greške u prenošenom segmentu

Razlog: nema garancije da je kontrola greške primijenjena na svim linkovima preko kojih se segment prenosi. Dodatno, greška može nastupiti i u nekom od rutera.

Pošiljalac:

- Tretira sadržaj segmenta (uključujući zaglavlje) kao sekvence 16-bitnih brojeva
- Izračunava se 1. komplement sume 16-bitnih brojeva (*checksum*)
- Pošiljac postavlja vrijednost *checksum*-e u odgovarajuće polje UDP segmenta

Prijemnik:

- Sekvence 16-bitnih brojeva zaglavlja (uključujući polje *checksum*) se sumiraju i provjerava se da li je rezultat broj koji sadrži 16 jedinica:
  - NE – detektovana greška
  - DA – nema greške. ????????

Nema oporavka od greške! Segment se odbacuje ili se predaje aplikaciji uz upozorenje!

Primjer Internet *Checksum*-e

- Napomena
  - Kada se sabiraju brojevi, prenos sa najznačajnijeg bita se dodaje rezultatu

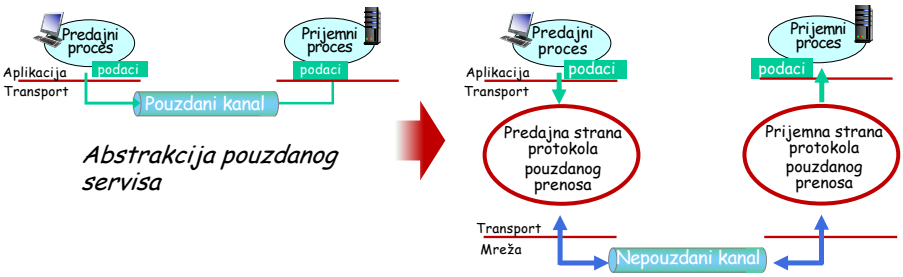
	1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0
	1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
prenos	(1) 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1
suma	1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0
checksum	0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1

4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

Opšti principi pouzdanog prenosa podataka

- Pouzdani prijenos je važan na nivoima aplikacije, transporta, linka
- Jedna od top-10 karakteristika mreže!



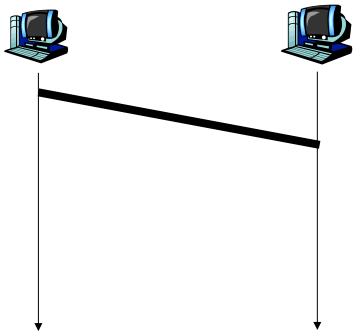
Abstrakcija pouzdanog servisa

Implementacija pouzdanog *servisa*

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

Pouzdani prenos preko pouzdanog kanala

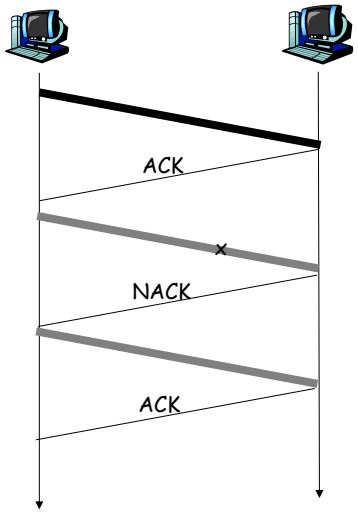
- Kanal je pouzdan u potpunosti
  - Nema greške po bitu
  - Nema gubitka paketa



- Nema potrebe za protokolom pouzdanog prenosa!

Kanal sa greškom (ali nema gubitka paketa)

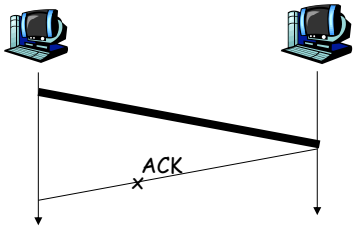
- Kanal može zamijeniti vrijednosti bita u paketu
- Potrebno je detektovati grešku na prijemnoj strani. Kako?
- Prijemna strana o tome mora obavijestiti predajnu stranu potvrdom uspješnog (ACK) ili neuspješnog prijema (NACK)
- Ako prijemna strana primi
  - ACK - šalje nove podatke
  - NACK - ponovo šalje prethodni paket (retransmisija)
- ARQ (Automatic Repeat reQuest)



Prethodno rješenje ima fatalan problem!

Šta se dešava kada su ACK/NAK oštećene?

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

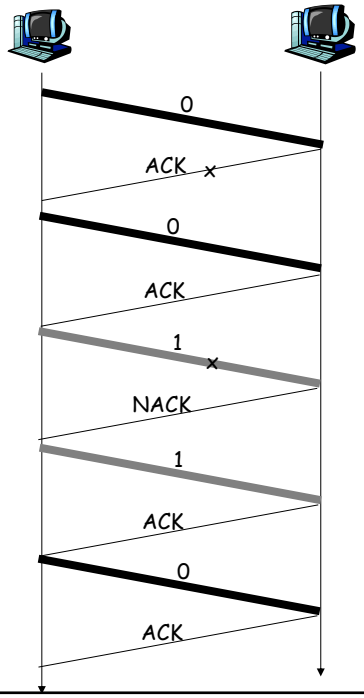


Rješavanje problema duplikata:

- 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

31

Stop & Wait u kanalu bez gubitaka

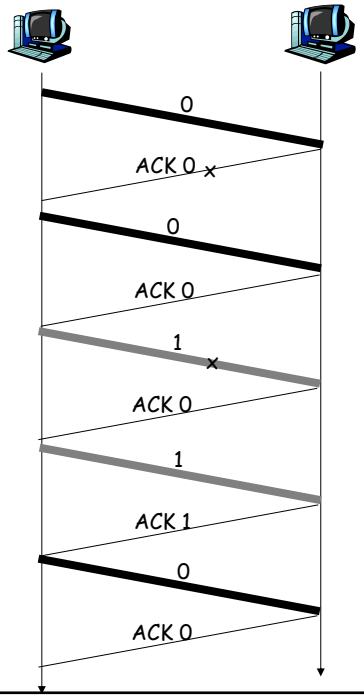
Pošiljalac:

- 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 poslednji ACK/NAK primljen ispravan od strane pošiljaoca

32



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*

33

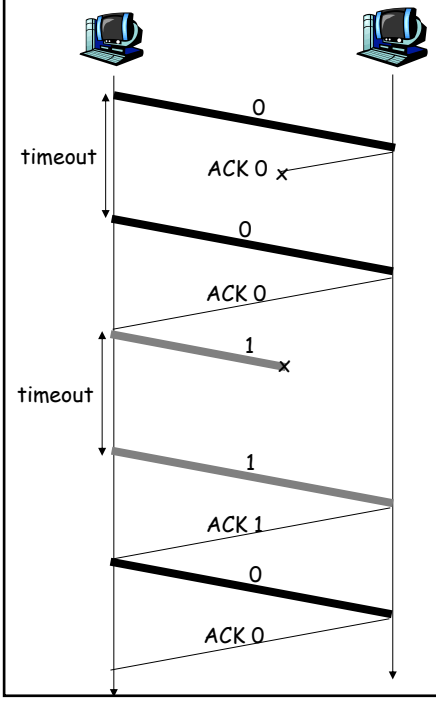
Stop & wait u kanalu sa greškom i gubicima

Nova pretpostavka: kanal izaziva i gubitak paketa (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?

Pošiljalac može da čeka "razumno" vrijeme za ACK
- Retransmisija se obavlja ako se ACK ne primi u tom vremenu
- Ako paket (ili ACK) samo zakasni (nije 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

34

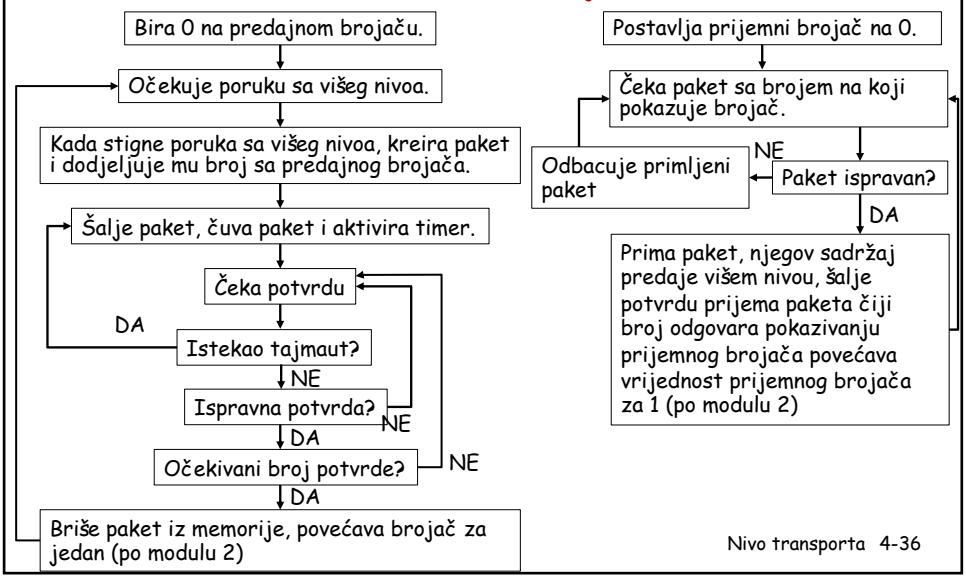


Stop & wait u kanalu sa gubicima

- Iste funkcionalnosti kao u prethodnom slučaju, korišćenjem samo ACK
- umjesto NAK, prijemnik šalje ACK za poslednji ispravno primljeni paket
  - 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*"

35

Stop & Wait



36

STOP & WAIT performanse

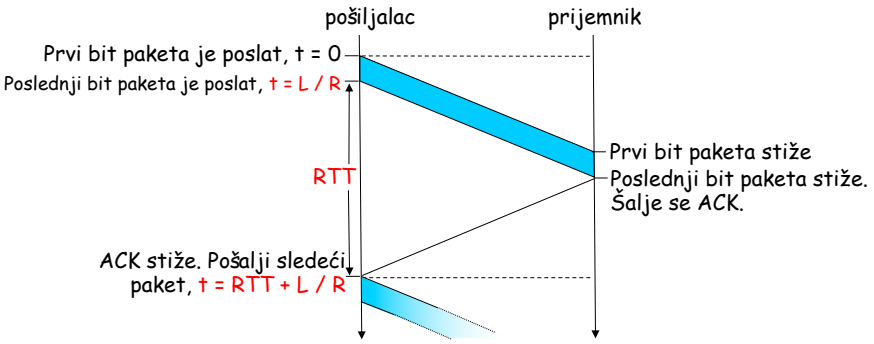
- S&W funkcioniše, ali ima loše performanse
- primjer: 1 Gb/s link, 15 ms vrijeme prenosa od kraja do kraja, veličina paketa 1000 B :

$$T_{prenosa} = \frac{L\ (\text{veličina paketa u bitima})}{R\ (\text{kapacitet linka [b/s]})} = \frac{8\ \text{kb/paketu}}{10^9\ \text{b/s}} = 8\ \mu s$$

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

- $U_{pošiljalac}$: iskorišćenje – dio vremena u kome je pošiljalac zauzet
- Pošiljalac šalje 1000B paket svakih 30.008 ms -> 267 kb/s bez obzira što je kapacitet linka 1Gb/s
- Primjer da mrežna funkcija ograničava propusnost mreže!
- U praksi je situacija još gora jer je napravljeno nekoliko zanemarivanja!

STOP & WAIT performanse

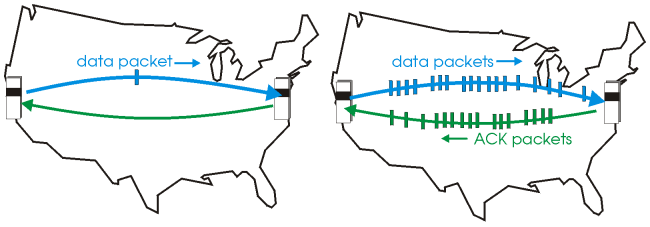


$$U_{Pošilj.} = \frac{L / R}{RTT + L / R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

"Pipelined" protokoli

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

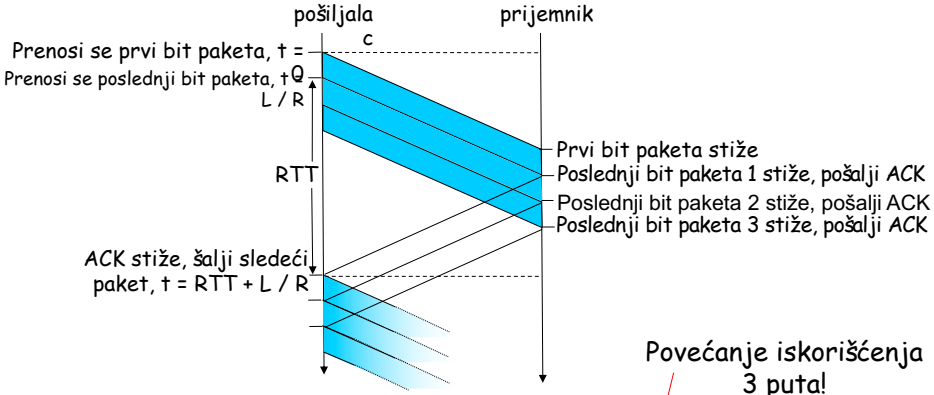
- Opseg brojeva u sekvenci mora biti proširen
- Baferovanje na predajnoj i/ili prijemnoj strani



a) Stop and wait protokol b) Pipeline protokol

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

"Pipelining" povećava iskorišćenje



Povećanje iskorišćenja 3 puta!

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

Pipelined protokoli

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

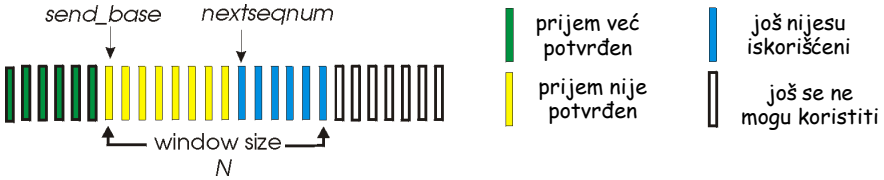
Selective Repeat:

- 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 znači da se može poslati N=2^k nepotvrđenih paketa
- "prozor" veličine N susjednih nepotvrđenih paketa je dozvoljen
- Zašto ograničavati N?

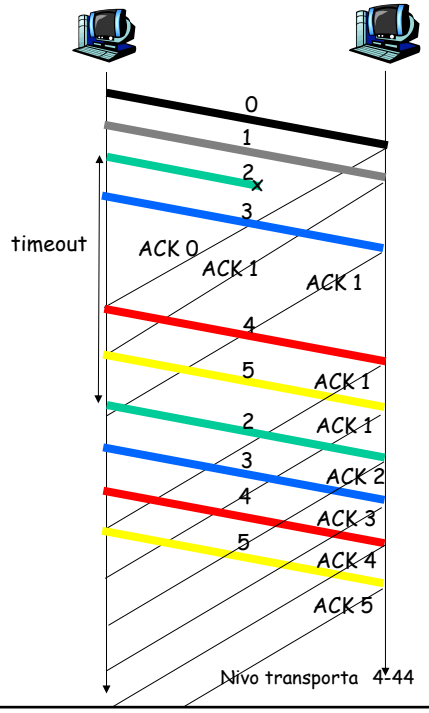


- Broj u sekvenci se upisuje u polje zaglavlja veličine k bita (0,2^k-1). Kod TCP (k=32) se ne broje segmenti, već bajti u streamu.
- ACK (n): ACK sve pakete, uključujući n-ti u sekvenci - "kumulativni ACK"
  - Mogu se pojaviti dupli ACK-ovi (vidi prijemnik)

GBN

- 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

GBN u akciji



Go-Back-N: problemi

- 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 ponovo 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

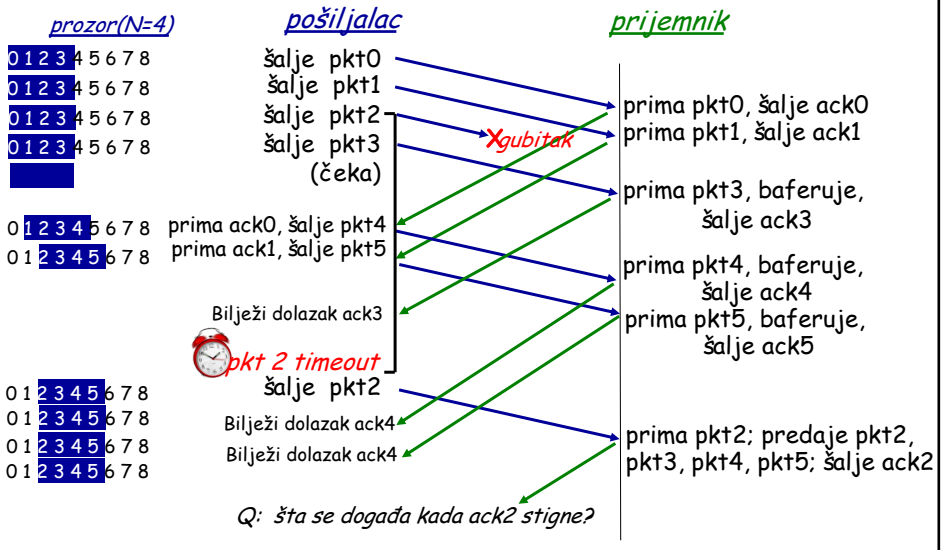
Prijemnik

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

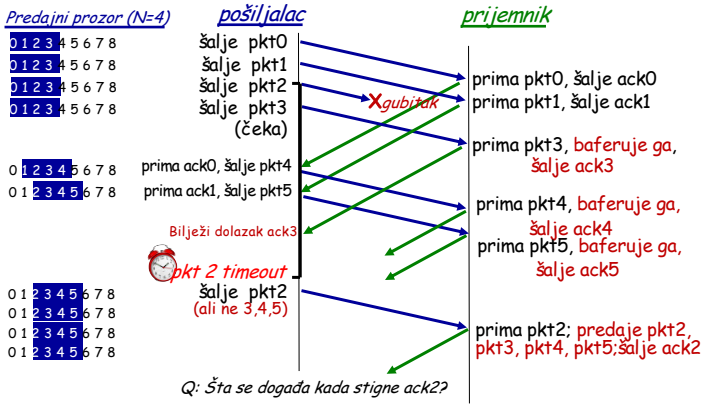
paket n u [rcvbase-N,rcvbase-1]
- ACK(n)

drugačije:
- ignoriši

Selective repeat u akciji



Selective repeat u akciji

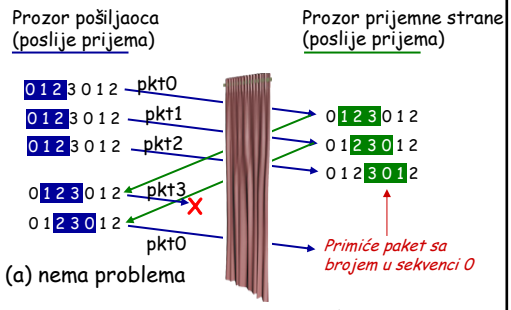


Selective repeat: dilema

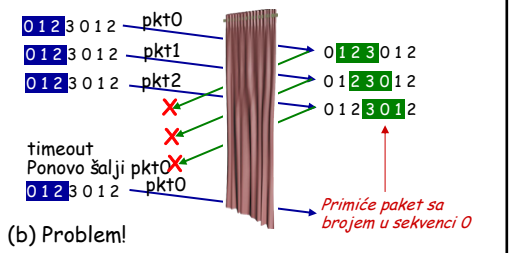
primjer:

- Brojevi u sekvenci: 0, 1, 2, 3
- Veličina prozora=3
- Prijemnik ne vidi razliku u dva scenarija!
- Duplikat se prima kao novi (b)

P: Kakva je relacija između veličine broja u sekvenci i veličine prozora kako bi se izbjegao problem pod (b)?



Prijemnik ne vidi stranu pošiljaoca.
Prijemnikovo ponašanje je identično u oba slučaja!
Nešto nije u redu!



4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

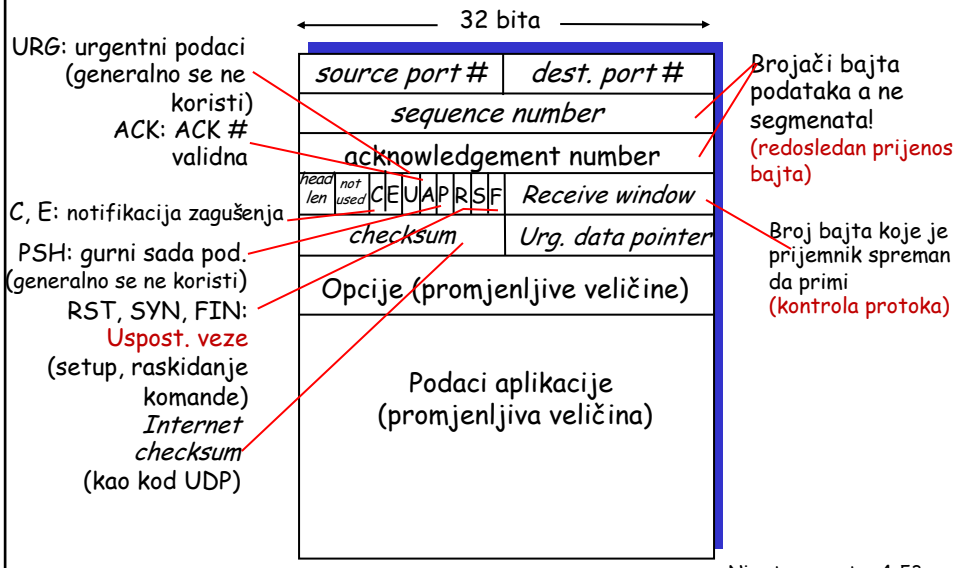
TCP: Pregled

RFC-ovi: 793, 1122, 1323, 2018,..., 7323

- 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*

- Kumulativne potvrde
- "*full duplex*" prenos:
  - U istoj vezi prenos se obavlja u oba smjera
  - MSS: maksimalna veličina polja podataka u segmentu
- konektivan:
  - "*handshaking*" (razmjena kontrolnih poruka) inicira je pošiljalac, razmjenjuje stanja prije slanja
- kontrola protoka:
  - Pošiljalac ne može "zagušiti" prijemnika

TCP struktura segmenta (21B-1480B)



TCP brojevi u sekvenci, ACK-ovi

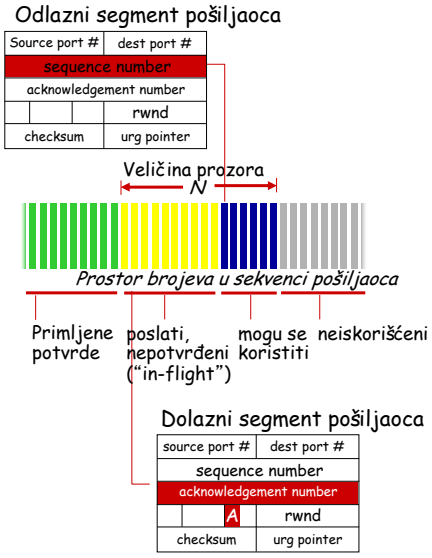
Brojevi u sekvenci:

- Dodjeljuje se broj prvom bajtu iz sadržaja segmenta
- Inicijalne vrijednosti se utvrđuju na slučajan način.

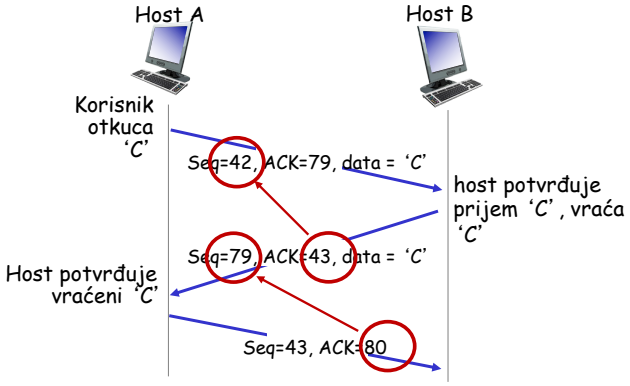
Potvrde (ACK):

- Broj sekvence sledećeg bajta koji se očekuje sa druge strane
- kumulativni ACK

P: Kako se prijemnik ponaša prema *out-of-order* segmentima?



TCP brojevi u sekvenci, potvrde



jednostavni scenario (TELNET)

4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

TCP pouzdani prenos podataka

- TCP kreira pouzdani servis korišćenjem IP nepouzdanog servisa
- *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

Događaji vezani za TCP pošiljaoca

1. Podaci primljeni od aplikacije:

- Kreiranje segmenta sa sekvencom brojeva
- Broj u sekvenci je redni 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 *Round Trip Time* i *Timeout*

Kako postaviti TCP vrijeme *timeout*-a?

- Duže od RTT-a
  - ali RTT varira
- Suviše kratko: prerani *timeout*
  - nepotrebne retransmisije
- Previše dugo: spora reakcija na gubitak segmenta
- Potrebna je aproksimacija RTT-a

Kako aproksimirati RTT?

- **SampleRTT:** mjeriti vrijeme od slanja segmenta do prijema ACK
  - Ignorisati retransmisije
  - Radi se za samo jedan nepotvrđeni segment
- **SampleRTT** će varirati, želja je za što boljom estimacijom RTT
  - Više mjerenja, a ne samo trenutno **SampleRTT**

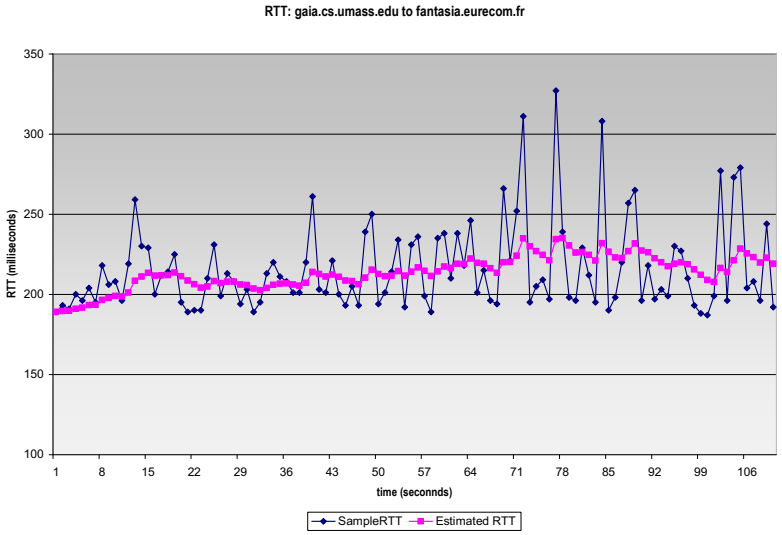
Da li SampleRTT vezivati za svaki nepotvrđeni segment?
Zašto ignorisati retransmisije?

TCP Round Trip Time and Timeout

EstimatedRTT = (1- α)*EstimatedRTT + α*SampleRTT

- Uticaj prošlosti opada po eksponencijalnoj raspodjeli
- *Exponential weighted moving average* (EWMA) ili eksponencijalno ponderisani klizni prosjek
- Tipična vrijednost: $\alpha = 0.125$

Primjer RTT estimacije:



TCP Round Trip Time i Timeout

Setovanje timeout-a

- **EstimatedRTT** + "sigurnosna margina"
  - Velika varijacija u **EstimatedRTT** -> velika sigurnosna margina
- Prvo se estimira koliko SampleRTT odstupa od EstimatedRTT:

DevRTT = (1-β)*DevRTT +
β*|SampleRTT-EstimatedRTT|

(tipično, β = 0.25) **EWMA od ove razlike**

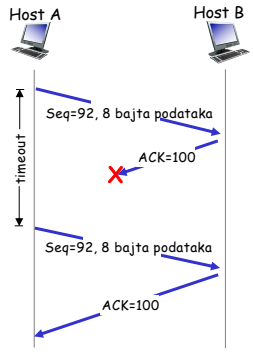
Tada se setuje timeout interval:

TimeoutInterval = EstimatedRTT + 4*DevRTT

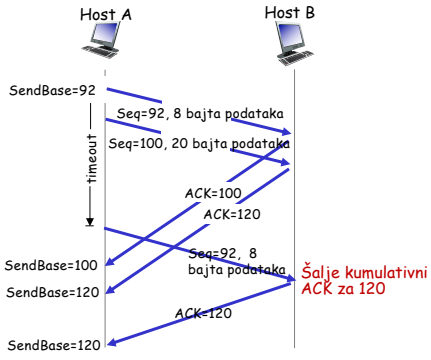
TCP generisanje ACK [RFC 1122, RFC 2581]

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

Scenariji retransmisije kod TCP-a

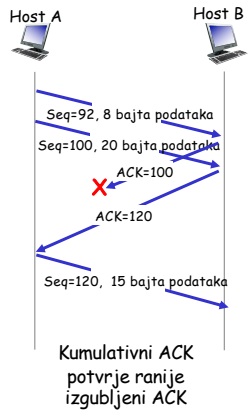


Scenario gubitka ACK



Nedovršeni timeout (nema retransmisije drugog dok ne dodje potvrda za prvi)

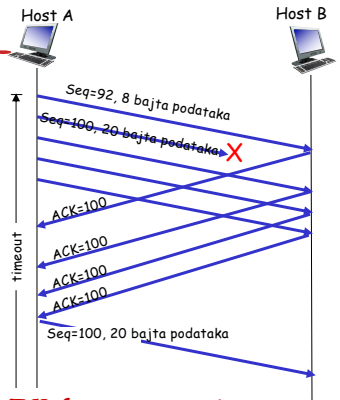
Scenariji retransmisije kod TCP-a



"Fast Retransmit"

- *Timeout* 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 duplih ACK-ova.

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



TCP fast retransmit

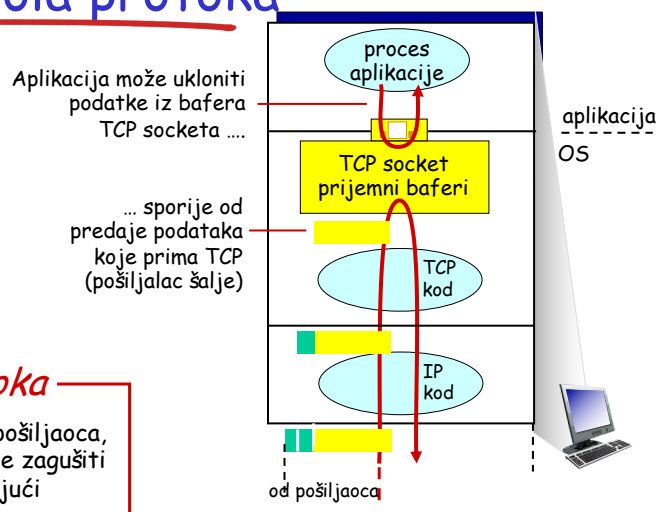
Ako pošiljalac primi 3 ACK za isti segment, pretpostavlja se da je segment poslije potvrđenog izgubljen:

fast retransmit: ponovno slanje segmenta prije nego što je tajmer istekao

4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

TCP kontrola protoka

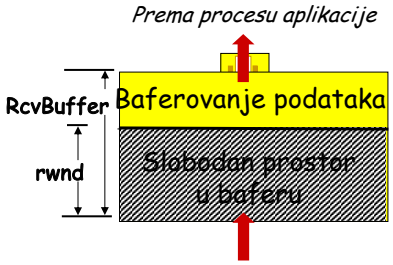


Kontrola protoka

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 polja **rwnd** u zaglavljuTCP segmenta
  - **Veličina RcvBuffer** se podešava u opcijama socketa (tipična vrijednost 4096B)
  - Mnogi OS podešavaju **RcvBuffer**
- Pošiljalac ograničava broj nepotvrđenih (*in-flight*) podataka na vrijednost prijemnikovog **rwnd**
- Garantuje da se ne prepuni bafer

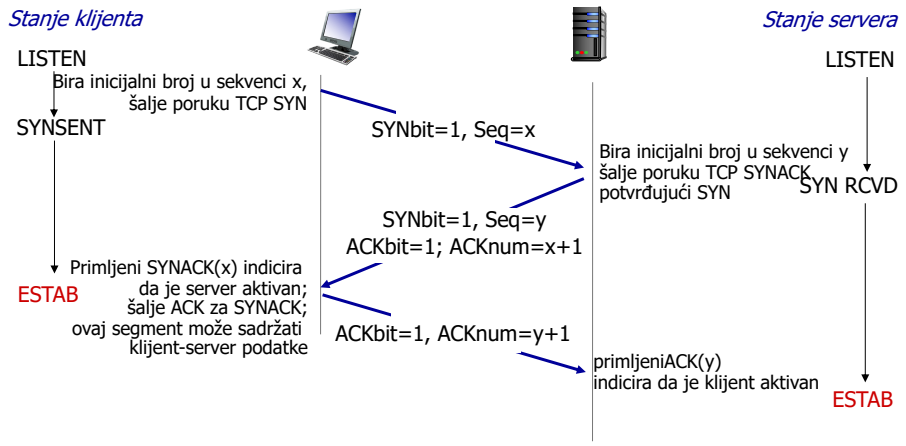


Baferovanje na prijemnikovoj strani

4. Nivo transporta

- 4.1 Servisi nivoa transporta
- 4.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje
- 4.3 Nekonektivni transport: UDP
- 4.4 Principi pouzdanog prenosa podataka
- 4.5 Konektivni transport: TCP
  - Struktura segmenta
  - Pouzdani prenos podataka
  - Kontrola protoka
  - Upravljanje vezom

Uspostavljanje TCP konekcije (*3-way handshake*)



Zatvaranje TCP konekcije