

TEMELJI RAČUNALNIH MREŽA

Stjepan Groš

07. 09. 2006.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Osnovni pojmovi.....	2
2.1.Uslojavanje.....	2
2.2.ISO/OSI.....	3
2.3.Multipleksiranje.....	4
2.4.Spojna i bespojna veza.....	4
2.5.Pospajanje.....	4
2.6.Tipovi računalnih mreža s obzirom na mogućnosti međusobne komunikacije.....	4
2.7.Podjela računalnih mreža po veličini.....	5
2.8.Topologija računalnih mreža.....	5
2.9.Jednosmjerni, obosmjerni i dvosmjerni način rada.....	6
2.10.Klijent/Poslužitelj arhitektura.....	6
2.11.Partnerske mreže.....	6
2.12.Internet.....	6
2.13.Opis sintakse upotrebom BNF zapisa.....	6
3. Pouzdan prijenos podataka.....	7
3.1.Protokol alternirajućeg bita.....	7
3.2.Protokol s vraćanjem.....	13
3.3.Protokol sa selektivnim ponavljanjem.....	15
4. Detekcija i i ispravljanje pogrešaka.....	16
4.1.Internet kontrolna suma.....	16
4.2.CRC.....	16
5. Standardizacija u računalnim mrežama.....	17
5.1.Internet proces standardizacije.....	17
5.2.Web konzorcij.....	17
5.3.IEEE.....	17
5.4.3GPP.....	17
5.5.ITU.....	17
5.6.ISO.....	17
6. Primjeri.....	18
7. Literatura.....	19

1. Uvod

Računalne mreže su kompleksno područje koje obuhvaća i koristi znanja širokog spektra tehničkih i prirodnih znanosti. To pogotovo dolazi do izražaja kod fizikalnih elemenata koji se upotrebljavaju za prijenos podataka, a mogu biti radio valovi, električni signali u bakrenim vodičima ili svjetlost. Kako bi se omogućilo korištenje i razvoj računalnih mreža uprkos toj složenosti upotrebljavaju se modeli uslojavanja. U drugom poglavlju daje se pregled nekih modela od kojih dva imaju posebnu važnost.

Nakon toga slijedi pregled određenog broja pojmova i tehnika koje se stalno provlaču u razmatranju računalnih mreža, bilo unutar jednog sloja u različitim protokolima, ili čak u različitim slojevima.

Napomena: Niz pojmova definiran je u RFC3753 no neki pojmovi pripadaju i drugim slojevima!

Pretpostavljaju se temeljna znanja iz područja operacijskih sustava

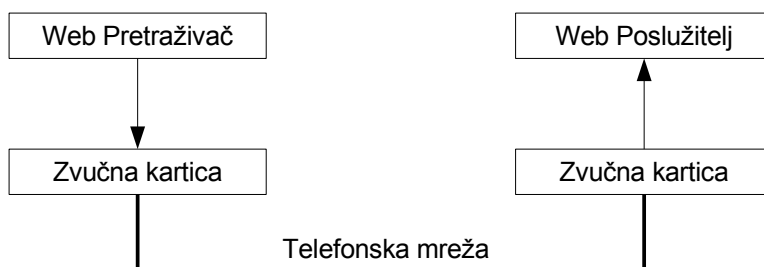
Osnovno poznavanje Interneta i njegovih aplikacija, Web, elektronička pošta, i slično.

2. Osnovni pojmovi

Određeni pojmovi i tehnike upotrebljavaju se u različitim dijelovima računalnim mrežama. Ti pojmovi i tehnike izdvojeni su i objašnjeni u ovom poglavlju kako bi se izbjeglo ponavljanje teksta.

2.1. Uslojavanje

Kako bi ilustrirali složenost računalnih mreža promotrimo sliku 1 na kojoj je prikazano kako Web pretraživač šalje podatke Web poslužitelju. Ta slika je vrlo pojednostavljen prikaz stvarne situacije koji uključuje samo komponente koje su vidljive prosječnom korisniku Interneta.



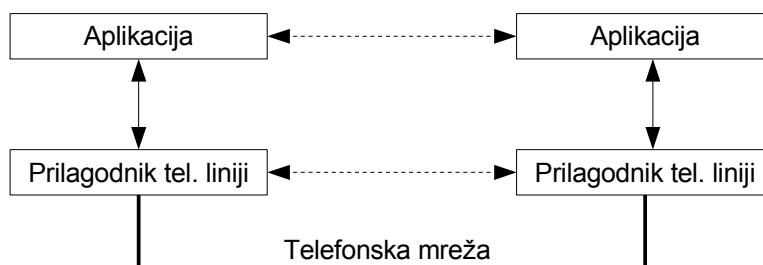
Slika 1. Komunikacija Web pretraživača i poslužitelja

Dakle, podaci od Web pretraživača putuju preko telefonske mreže do Web poslužitelja. I Web pretraživač i Web poslužitelj koriste digitalne podatke (izvršavaju se na računalu koje je digitalno). Međutim, telefonska mreža je analogna i zbog svoje namjene – prilagođena je prijenosu ljudskog govora – vrlo je ograničena. Dakle, potrebno je digitalne podatke koje šalju i primaju pretraživač i poslužitelj pretvoriti u analogni oblik koji se šalje putem telefonske mreže. Tu funkcionalnost možemo ostvariti upotrebom zvučne kartice. Recimo da nulu kodiramo kao signal frekvencije 300Hz i trajanja 1 sekundu, dok jedinicu kodiramo kao signal frekvencije 1200Hz istog trajanja. Na drugoj strani telefonsku liniju dovodimo do mikrofonskog ulaza zvučne kartice i potom na osnovu frekvencije primljenog signala zaključujemo da li smo primili nulu ili jedinicu. Na sličan način ostvarujemo komunikaciju u obrnutom smjeru. Za one koji su se zapitali zašto tu ne koristimo *modem* samo napomena kako modem u osnovi funkcionira baš kao zvučna kartica, dakle, konceptualno radi se o identičnim uređajima.

Programer koji bi pokušao ostvariti kompletan sustav prikazan na slici 1 imao bi jako puno posla. Trebao bi napisati Web pretraživač, potom Web poslužitelj, zatim bi trebao implementirati konverziju digitalnih podataka u analogni oblik i obratno. Tu ne bi bio kraj problema našeg programera. On bi se za početak trebao nositi s različitim zvučnim karticama, različitim specifičnostima telefonskih mreža u pojedinim zemljama, a to bi tek bio početak. Možda bi netko želio umjesto telefonske mreže upotrebljavati radio valove, ili optičke kablove, ili nešto treće.

Dakle, na osnovu ovog pojednostavljenog primjera vidljivo je kako bi implementacija prikazanog sustava predstavljala značajan posao. U tom primjeru namjerno je zanemaren još niz drugih problema koji će postati očiti kako sve više ulazimo u problematiku računalnih mreža. Ta složenost je uzrok što je od kraja 50-tih do početka 80-tih godina prošlog stoljeća, kada su se pojavile prve računalne mreže to bila tehnologija koju su nudile samo najveće tvrtke i koji su si rijetki mogli priuštiti. Ipak, i te rijetke tvrtke koje su imale dovoljno resursa za razvoj računalnih mreža bile su suočene s njihovom velikom složenošću te su rješenja tražili u tzv. *uslojavanju*. Ideja uslojavanja je vrlo jednostavna i slična modularizaciji koja se upotrebljava u razvoju programske podrške. Sva funkcionalnost koja se javlja u komunikaciji grupira se u *slojeve* koji se potom nezavisno razvijaju. Komunikacija između slojeva, vertikalna i horizontalna, točno je propisana. Ako bi se vratili primjeru sa slike 1 tada bi, s obzirom na funkcionalnost koju smo spominjali, mogli nacrtati sliku koja definira slojeve kako je prikazano na slici 2. Ta slika sada je malo apstraktnija. Za početak, na njoj su definirana dva sloja! Prvi, viši, sloj je aplikacijski sloj. U njemu se nalazi aplikacija. U našem primjeru te aplikacije su Web pretraživač i poslužitelj, no sada mogu biti i mnoge druge, primjerice klijent i poslužitelj

elektroničke pošte. Nadalje, više nemamo zvučnu karticu već sada imamo *prilagodnik telefonske linije*. On se nalazi u nižem sloju. Komunikacija između slojeva (vertikalna između različitih slojeva) i horizontalna (između istih slojeva) sada je točno propisana, baš kao što je u razvoju programske podrške točno propisano kako se pozivaju pojedini moduli i kako im se prosljeđuju ili prihvaćaju od njih podaci! Prednost ovog pristupa je očita. Bilo koji sloj može se sada raditi nezavisno od ostalih slojeva, a također ih je moguće mijenjati pod uvijetom da njihova sučelja ostanu ista!

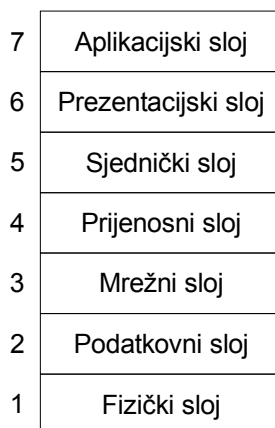


Slika 2. Primjer uslojavanja

Sada se može postaviti pitanje koliko tih slojeva treba biti, što oni trebaju raditi, kako međusobno komunicirati i slično. Odgovor na to pitanje je malo teži jer ne postoji nekakva formalna metoda kojom bi se to egzaktno odredilo. Ipak, upotrebom se je iskristalizirao jedan bitan modela i jedna arhitektura.

2.2. ISO/OSI

Kao što je rečeno, uslojavanje je moguće obaviti na mnoštvo različitih načina i svaki proizvođač imao je svoj pristup. Taj problem odlučio je riješiti ISO 70-tih godina prošlog stoljeća. Ideja je bila da se načini temeljni model, a potom se standardiziraju sučelja između slojeva. Kao rezultat definiranja slojeva nastao je ISO/OSI referentni model prikazan na slici 3.



Slika 3. ISO/OSI referentni model

Dakle, očito je kompletna mrežna funkcionalnost podijeljena na 7 dijelova. Neko računalo spojeno na mrežu ima implementirano svih 7 slojeva. Najčešće se fizički sloj i dio podatkovnog sloja implementira u sklopovlju, dok se od podatkovnog sloja do dijela sjedničkog sloja implementira u jezgri operacijskog sustava. Ostatak se implementira u programskoj podršci, ali izvan operacijskog sustava.

Ovom prilikom treba napomenuti kako je na temelju referentnog modela nastao niz standarada, međutim oni nisu zaživjeli. O tome će biti više riječi prilikom opisa postupka standardizacije u

području računalnih mreža. Ipak, referentni model ima široku primjenu budući da se koristi kao temelj za usporedbu različitih mrežnih arhitektura.

Svaki pojedini sloj ima sljedeći niz zadaća:

- *Zadatak fizičkog sloja* je prijenos jedinica i nula. U osnovi, na fizičkom sloju definiramo kako ćemo predstaviti jedinice i nule, koliki napon ćemo upotrijebiti, koliko će trajati i slično. Osim toga, na ovom sloju definirani su i karakteristike fizikalnih priključaka, dakle, broj žica, njihova funkcija, dimenzije priključaka i čitav niz drugih, sličnih, parametara.
- *Podatkovni sloj* dodaje svu potrebnu funkcionalnost na fizički sloj koja omogućava pouzdan prijenos podataka između dva, fizički direktno spojena, mrežna uređaja. Primjerice, podatkovni sloj
- Mrežni sloj
- Prijenosni sloj
- Sjednički sloj
- Prezentacijski sloj
- Aplikacijski sloj

2.3. Multipleksiranje

Multipleksiranje je pojam koji označava dijeljenje nekog zajedničkog resursa korisnicima. Taj pojam prisutan je u različitim dijelovima računarstva, ali i općenito u svakodnevnom životu. Kao jednostavan primjer multipleksiranja može se uzeti željeznička pruga. Recimo da između dva grada, A i B, postoji samo jedan kolosjek! Očito kako po njemu, u jednom trenutku, može putovati samo jedna kompozicija u jednom smjeru. Želimo li poslati dvije kompozicije od grada A do B ne možemo to učiniti istovremeno već moramo poslati prvo jednu kompoziciju, a potom, nakon određenog vremena, i drugu kompoziciju. To je primjer *vremenskog multipleksiranja*. Dakle, svaki korisnik (kompozicija) koristenim resurs (u ovom slučaju kolosijek) u *različitom* vremenskom trenutku. Primjera vremenskog multipleksiranja doista je puno u svakodnevnom životu. Primjerice, telefon i govornik na telefonu, zatim televizijske emisije na istom programu, itd.

Osim vremenskog multipleksiranja postoji još jedna vrsta multipleksiranja. Radi se o *frekvencijskom multipleksiranju* i za shvaćanje te vrste multipleksa potrebno je poznavati pojam frekvencije.

2.4. Spojna i bespojna veza

2.5. Prospajanje

2.6. Tipovi računalnih mreža s obzirom na mogućnosti međusobne komunikacije

2.7. Podjela računalnih mreža po veličini

Prema veličini računalne mreže možemo podijeliti na: *lokalne*, *gradske* i *globalne* računalne mreže. Osim te temeljne podjele, u zadnje vrijeme dosta često se spominje i pojam *kućna mreža*. Ponekad je dosta teško odrediti kojoj kategoriji pripada pojedina računalna mreža budući da granice između navedenih kategorija nisu stroge!

Osnovna karakteristika lokalnih računalnih mreža (Local Area Network, LAN) je da se rasprostiru na području jedne ili više međusobno bliskih zgrada. Brzina lokalnih mreža je relativno velika, a kašnjenja su relativno mala.

Gradske računalne mreže pokrivaju, kao što im ime kaže, područje jednog grada.

Globalne računalne mreže pokrivaju sve mreže koje se rasprostiru izvan jednog grada, dakle, sve do mreža koje povezuju kontinente. Osnovna karakteristika ovih mreža je da imaju relativno velika kašnjenja u odnosu na preostale tipove mreža zbog udaljenosti koje pokrivaju.

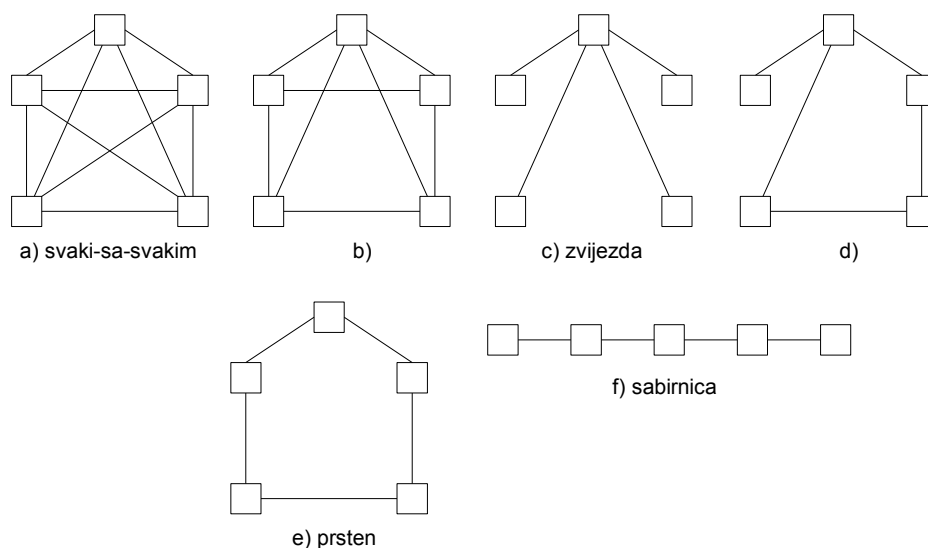
Nekada je dodatni kriterij za klasifikaciju mreža u pojedinu grupu bila i njena brzina, tj. lokalne mreže su bile najbrže, a globalne najsporije. Međutim, to više nije istina zbog sveprisutne upotrebe optičkih kablova tako da trenutno globalne mreže imaju najveće brzine prijenosa.

2.8. Topologija računalnih mreža

Pretpostavimo da nam je na raspolaganju pet računala. Na koliko načina ih je moguće povezati? Slika 4 prikazuje neke moguće načine povezivanja. Svaki od mogućih načina povezivanja predstavlja jednu topologiju, dakle, na slici 4 prikazano je šest mogućih topologija. Topologija je skup računala, ili općenito različitih uređaja, i veza između njih. U suštini, topologija je pojam iz teorije grafova. Bitna karakteristika svake topologije je da ostvaruje vezu između bilo koja dva mrežna uređaja, bilo direktno, ili indirektno preko nekih drugih mrežnih uređaja. Ukratko, topologija mora ostvariti povezanost cijele mreže. Primjetimo kako se jedna topologija, odnosno, jedan način povezivanja, može nacrtati na različite načine, prema tome, grafički prikaz nije jedinstven! Topologiju odabiremo na osnovu sljedećih parametara: kapacitet mreže, neosjetljivost na ispade pojedinih veza/mrežnih uređaja, cijenu povezivanja mreža, složenost pojedinih čvorova kako bi se ostvarila željena povezanost.

Od prikazanih načina povezivanja očito je najbolji način spajanja svaki sa svakim. Naime, u tom slučaju prekid bilo koje veze neće onemogućiti komunikaciju niti jednog računala. Ako sve veze rade, tada će sva računala moći istovremeno komunicirati punom brzinom koju omogućava pojedina veza, tj. mreža ima najveći kapacitet. No, u slučaju veze svaki sa svakim problem postaje broj veza koje je potrebno ostvariti s povećanjem broja računala. Primjerice, za spajanje 4 računala potrebno bi bilo 6 vodiča, no za spajanje 10000 računala to je skoro 5 milijuna vodiča. Na Internet je danas spojeno stotine tisuća računala i očito je kako nije moguće povezati svako računalo sa svakim. Dakle, potrebno je odabrati neki optimalan način povezivanja.

Tijekom korištenja računalnih mreža do izražaja je došlo nekoliko topologija, tj. načina povezivanja, koja su se pokazala najisplativijim u praksi. To su sabirnica, zvijezda i prsten i ti načini spajanja su izdvojeni na slici 4. Prednost tih načina spajanja je u njihovoj relativnoj efikasnosti u odnosu na broj upotrebljenih veza.



Slika 4. Mogući načini povezivanja 5 računala

U slučaju zvijezde imamo jedan centralni uređaj na koji su spojeni svi ostali uređaji. U ovom slučaju sav promet između bilo koja dva mrežna uređaja ide preko tog centralnog uređaja. Jasno da ispadom centralnog uređaja mreža prestaje funkcionirati, no, uprkos tome ova topologija se najviše upotrebljava u lokalnim računalnim mrežama.

U slučaju prstena može doći do ispada pojedine veze, ili pojedinog mrežnog čvora, ali će povezanost i dalje ostati sačuvana, tj. ostali čvorovi će moći međusobno i dalje komunicirati. Očito da ispadom dvije veze, ili dva čvora, to više u općem slučaju ne vrijedi, tj. može se desiti da neka dva uređaja više ne mogu komunicirati.

Konačno, u slučaju sabirnice svi mrežni uređaji poredani su u liniju. U ovom slučaju, kao i kod zvijezde, ispadom pojedinog mrežnog uređaja ili veze, mreža više neće biti povezana.

2.9. Jednosmjerni, obosmjerni i dvosmjerni način rada

2.10. Klijent/Poslužitelj arhitektura

2.11. Partnerske mreže

2.12. Internet

2.13. Opis sintakse upotrebom BNF zapisa

RFC4234

2.14. Opis podataka upotrebom ASN.1 zapisa

povijest asn1 zapisa

osnovno o asnl zapisu

varijante asnl zapisa

primjeri asnl zapisa i asnlc projekt

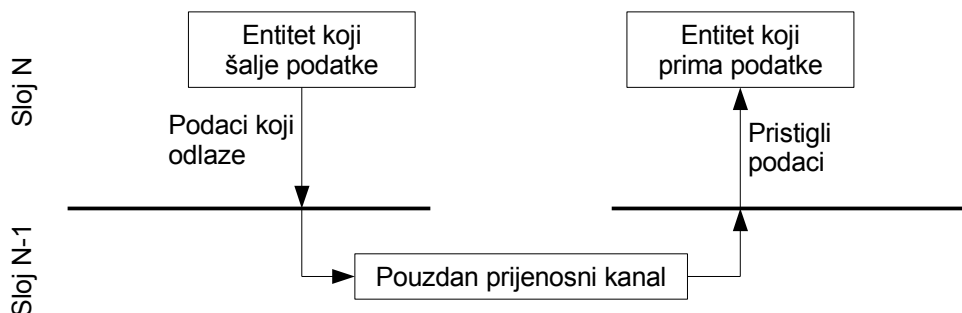
RFC3641

RFC3727

RFC4049

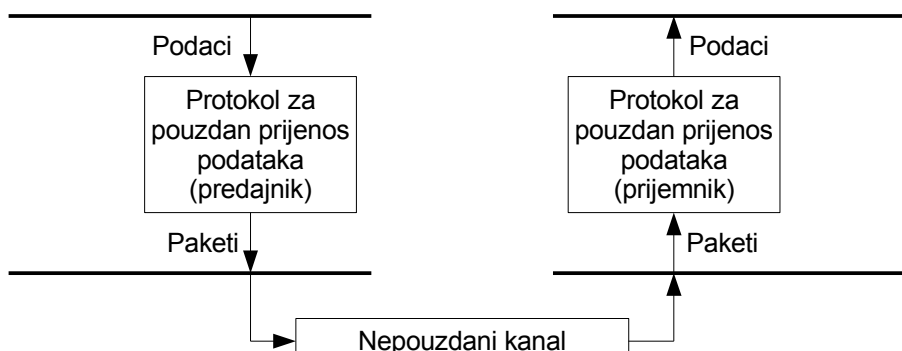
3. Pouzdan prijenos podataka

Pružanje usluge *pouzdanog prijenosa* podataka jedna je od temeljnih zadaća računalnih mreža. Pod pouzdanim prijenosom podrazumijevamo situaciju u kojoj pošiljatelj može biti siguran da je prijemnik primio sve podatke u ispravnom redoslijedu. U slučaju da podatke nije bilo moguće isporučiti, primjerice zato što aplikacija koja prima podatke nije pokrenuta, tada će pošiljatelj biti obaviješten o grešci. Međutim, pružanje takve usluge može biti dosta zahtjevno zbog različitih utjecaja koji otežavaju postupak prijenosa. Radi lakšeg opisivanja različitih protokola za ostvarivanje pouzdanog prijenosa koristiti ćemo model prikazan na slici 5.



Slika 5. Model pouzdane usluge prijenosa podataka

Na slici je prikazana usluga u sloju N-1 koja nudi pouzdan prijenos podataka putem pouzdanog prijenosnog kanala. Implementacija navedene usluge prikazana je na slici 6.



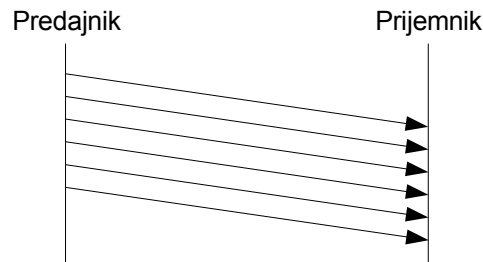
Slika 6. Implementacija pouzdanog prijenosnog kanala

Iz slike je vidljivo kako se kanal za pouzdani prijenos implementira nad nepouzdanim kanalom upotrebom odgovarajućeg protokola. Na slici je tok podataka jednosmjernan međutim u stvarnosti tok podataka može biti dvosmjernan. Takve situacije nešto su malo složenije s implementacijske strane, ali zato dosta otežavaju objašnjavanje protokola za ostvarenje pouzdanog prijenosa.

3.1. Protokol alternirajućeg bita

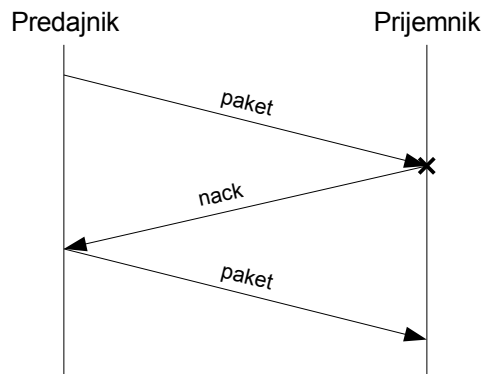
Prvi slučaj, od kojega ćemo krenuti, je prijenos podataka preko kanala koji isporučuje sve poslane pakete bez pogrešaka, gubitaka i u redoslijedu u kojemu su poslani. Tada sve što protokol za pouzdani prijenos treba napraviti je slati slati paket po paket na drugu stranu gdje se isporučuju entitetu koji prima podatke. Tu situaciju prikazuje slika 7. Na slici je svaki paket simboliziran strelicom. Prijemnik i predajnik predstavljeni su okomitim crtama, a između njih nalazi se idealan medij. Taj medij ipak unosi određeno kašnjenje što je simbolizirano nakošnjenjem strelica.

U ovom vrlo jednostavnom slučaju podaci doista idu u jednom smjeru, a nema ni razlike između podataka koji se predaju protokolu za pouzdan prijenos i paketa koje protokol šalje preko kanala. Također se u ovom protokolu provlači još jedna pretpostavka, naime, prepostavlja se kako je prijemnik u stanju prihvaćati pakete brzinom kojom ih šalje predajnik. Razlog za to je jednostavan, prijemnik nema načina na koji bi obavijestio predajnik da malo uspori.



Slika 7. Slanje paketa preko idealnog prijenosnog kanala

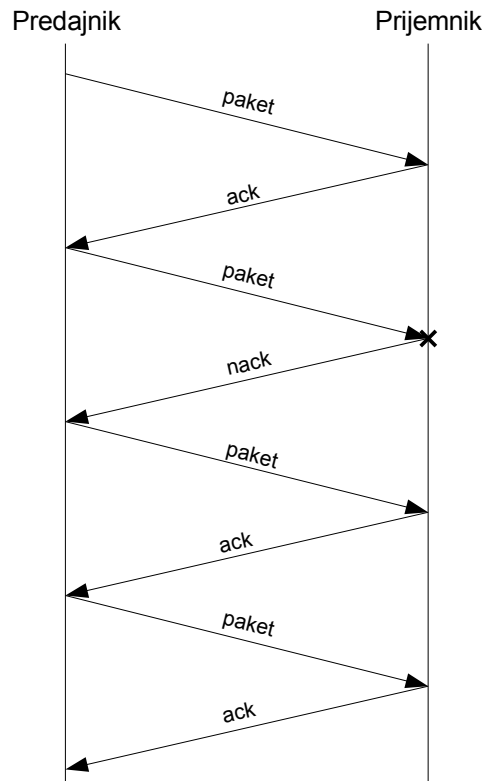
Međutim, ne postoji savršen kanal pa ćemo sada razmatranje proširiti na kanal koji unosi pogreške, ali i dalje isporučuje sve pakete u redoslijedu u kojemu su poslani. Očito ovaj puta paket koji je pristigao na drugu stranu može biti oštećen. Prvo što moramo dodati paketu kako bi mogli detektirati pogrešku je kontrolna suma. Kontrolne sume se razmatraju u posebnom poglavlju, a one omogućavaju otkrivanje greške i u određenim slučajevima mogu ispraviti pogrešku. Za sada ćemo pretpostaviti da je greška samo uočena te da nije ispravljena. Kada je prijemnik uočio da je došlo do pogreške on mora na neki način o tome obavijestiti predajnik kako bi mu poslao novu kopiju paketa. Obavijest o pogrešci mora biti u vidu paketa koji putuje od prijemnika do predajnika i naziva se *negativna potvrda* (engl. negative acknowledge, NACK). Po primitku te poruke predajnik ponovo šalje isti paket i ako je opet primljen s pogreškom postupak se ponavlja. Ta je situacija prikazana na slici 8. Indikacija neispravno primljenog paketa načinjena je upotrebom znaka x na prijemnoj strani.



Slika 8. Ponovljeno slanje paketa zbog greške u prijenosu

Za vrijeme dok prijemnik ne utvrdi ispravan primitak paketa predajnik ne može poslati paket s novim podacima. Tu nastaje manji dodatni problem, ako je paket pristigao bez pogreške prijemnik neće slati negativnu potvrdu što će prouzročiti da predajnik ne može nastaviti sa slanjem. Rješenje tog problema je slanje pozitivne potvrde (engl. positive acknowledgment). Po primitku te potvrde predajnik šalje idući paket. Za potvrde je dovoljan jedan bit, primjerice 0 označava negativnu a 1 pozitivnu potvrdu. Navedeni protokol poznat je pod imenom *stani-i-čekaj* (engl. stop-and-wait) budući da svaki od entiteta nakon slanja čeka na odgovor. Slika 9 prikazuje slanje tri paketa od kojih je na drugome nastala pogreška te je morao biti ponovno poslan.

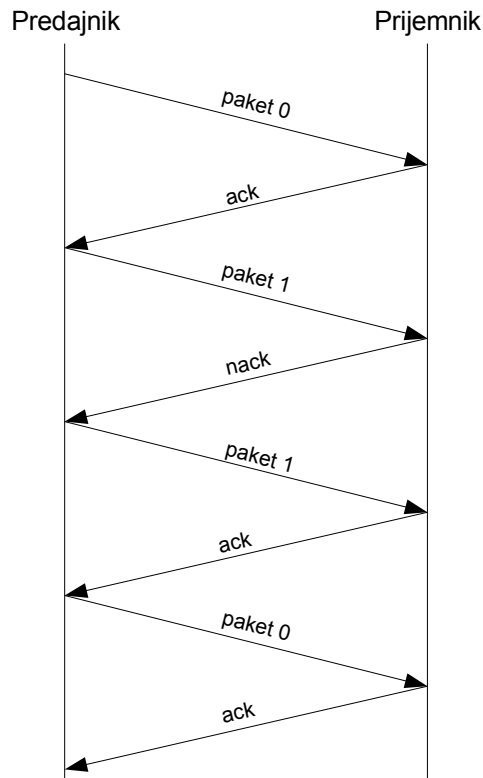
Upravo opisana verzija protokola s čekanjem ima jedan vrlo ozbiljan problem. Naime, ne uzima u obzir kako i potvrde mogu biti oštećene! Jedno rješenje je slanje potvrde na potvrdu, međutim na taj način se problem ne može riješiti budući da i nove potvrde mogu stići oštećene. Drugo rješenje je dodavanje kontrolne sume koja omogućava ispravljanje pogrešaka. Međutim, u općem slučaju je nemoguće ispraviti sve pogreške. Konačno, treća mogućnost je ponovljeno slanje paketa za slučaj negativne ili oštećene potvrda. To rješenje uvodi problem dupliciranih paketa te prijemna strana nije u stanju razlučiti dupli paket. Kako bi to bila u stanju napraviti potrebno je dodati odgovarajuću



Slika 9. Primjer slanja tri paketa

informaciju paketu. Ta informacija je *slijedni broj* (engl. sequence number) i koji je za svaki idući paket različit te na taj način prijemnik može razlučiti ponovljeno slanje paketa. Za stop-and-wait protokol dovoljan je jedan bit za slijedni broj. Prijenos sa slike 9 sa navedenom modifikacijom prikazan je na slici 10.

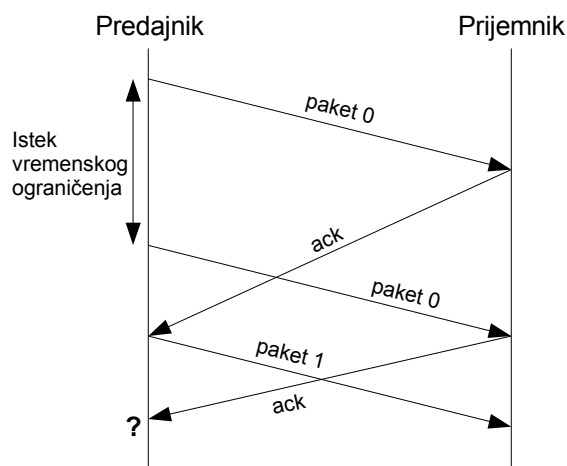
Treba primjetiti kako se umjesto negativne potvrde može svakoj pozitivnoj potvrdi dodati informacija o slijednom broju paketa koji se potvrđuje pa se na pristignuti oštećeni okvir šalje potvrda za zadnji ispravno pristigli paket. Predajnik na tu potvrdu reagira ponovljenim slanjem neispravnog paketa.



Slika 10. Ponovljeno slanje oštećenog paketa korištenjem slijednih brojeva

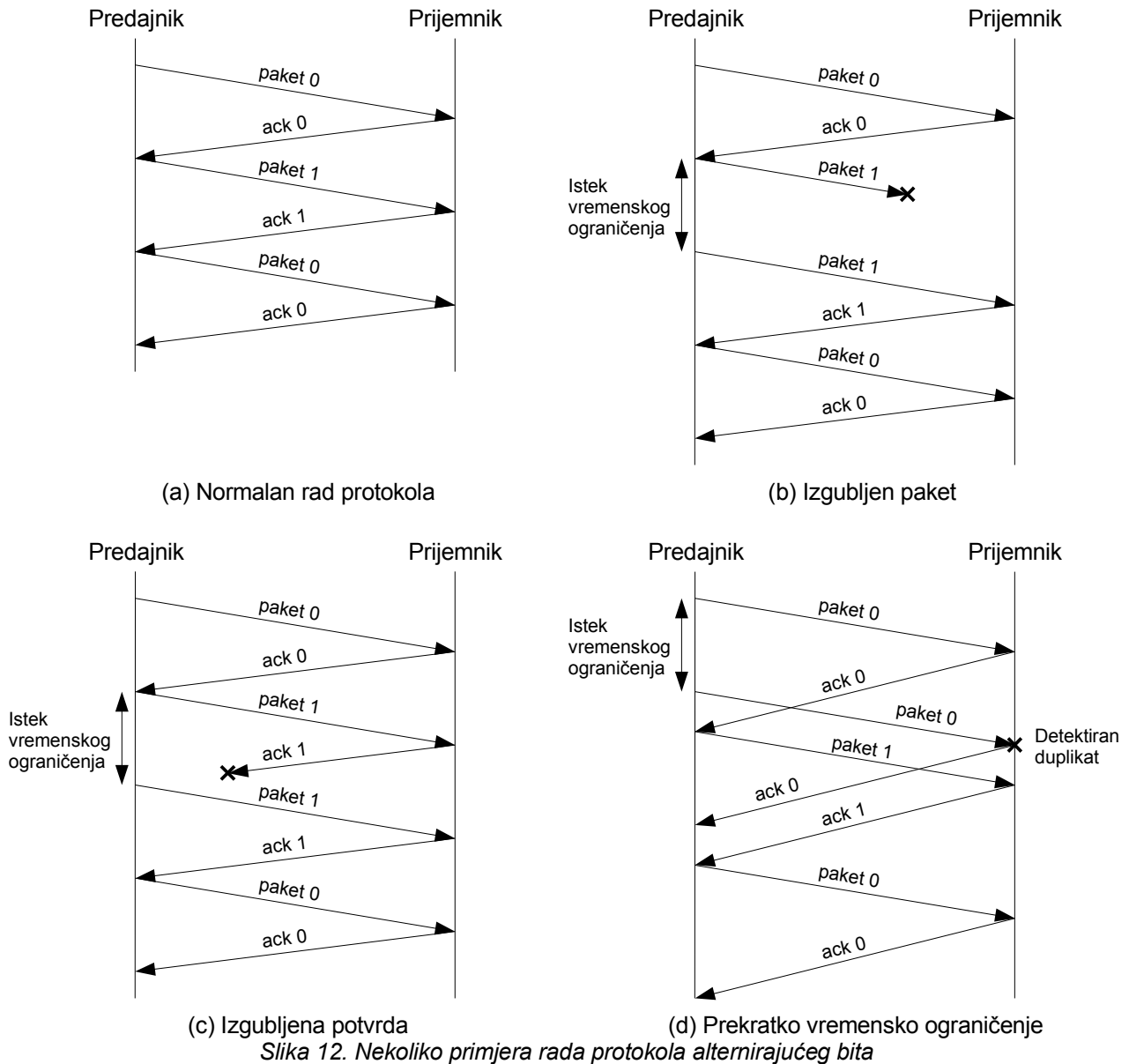
Iduće poboljšanje protokola za posuzivanje pouzdanog prijenosa podataka uzima u obzir mogućnost da prijenosni kanal gubi pakete. To je sasvim uobičajna situacija u računanim mrežama, a pogotovo na mreži kao što je Internet. Više je mogućih rješenja tog problema od kojih su neki navedeni i u primjerima (FIXME), a ovdje ćemo razmotriti promjenu koja se obavlja na pošiljatelju, a sastoji se od uvođenju vremenskog ograničenja. Naime, kada pošalje paket pošiljatelj pokreće vremensko brojilo. Ako do trenutka kada brojilo odbroji ne pristigne potvrda pošiljatelj jednostavno ponavlja slanje. Upotrebom navedenog rješenja potrebno je razmotriti još nekoliko dodatnih pitanja. Prvo pitanje je vrijednost vremenskog ograničenja. Naime, idealna vrijednost je točno koliko je potrebno za prijenos paketa i potvrde plus vremena obrade u predajniku. No, ta vrijednost dosta često varira te nije poznat njen točan iznos. Što se postavi veća vrijednost veća je vjerojatnost da je paket ili potvrda izgubljena, dok s druge strane će se dulje čekati da protokol uoči kako je došlo do gubitka. S druge strane, postavljanjem sve manje vrijednosti javlja se opasnost da je vrijednost premalena te da se nepotrebno ponovno šalju paketi. Drugi problem vezan uz predloženo rješenje je mogućnost da prijemnik nije siguran za pristiglu potvrdu kojemu paketu pripada. Ta situacija prikazana je na slici 11.

Naime, nakon što je prvoj potvrdi trebalo više vremena da pristigne do predajnika, predajnik je ponovo poslao isti paket. Taj paket pristiže do prijemnika koji također nema načina da uvrđi kako je potvrda na kraju ipak stigla te uz pretpostavku da je možda izgubljena ili oštećena u prijenosu šalje ponovo istu potvrdu. U međuvremenu predajnik je poslao novi paket, a nakon toga pristiže i potvrda za dupli paket. U tom trenutku predajnik ne može utvrditi za koji paket je potvrda! Kako bi se riješio navedeni problem svakoj potvrdi dodaje se slijedni broj paketa kojega potvrđuje. S tom modifikacijom protokol je s funkcionalnog stanovišta kompletan. Naziv navedenog protokola je *protokol s alternirajućim bitom* (engl. alternating bit protocol). Na slici 12 prikazan je normalan rad protokola i nekoliko specifičnih situacija koje se mogu javiti.



Slika 11. Potvrda za koju nije moguće utvrditi koji paket potvrđuje

Problem protokola s alternirajućim bitom je njegova neefikasnost u određenim, ne tako rijetkim, situacijama. Točnije, za prijenosne kanale koji imaju velik umnožak brzine i kašnjenja. Uzmimo primjer prijenosnog kanala brzine 1Gb/s čije kašnjenje je 100ms, a paketi su veličine 8kB. U tom slučaju protokol alternirajućeg bita pošalje 8kB i potom čeka na odgovor. Paket u potpunosti stiže do prijemnika za 100ms plus vrijeme potrebno za prijenos, tj. $(8\text{kB} * 1024 \text{ B/kB} * 8 \text{ b/B}) / 1\text{Gb/s}$ što iznosi 0.06ms. Nakon toga, stiže odgovor za idućih 100ms. Dakle, u približno 200ms preneseno je samo 8kB podataka što znači da je efektivna brzina oko 327kb/s! Daleko ispod mogućnosti koje pruža prijenosni medij. Taj izračun je još i dosta optimističan u smislu da je dobijena idealna brzina jer, primjerice, nisu uračunata u obzir i razna kašnjenja u mrežnim uređajima.



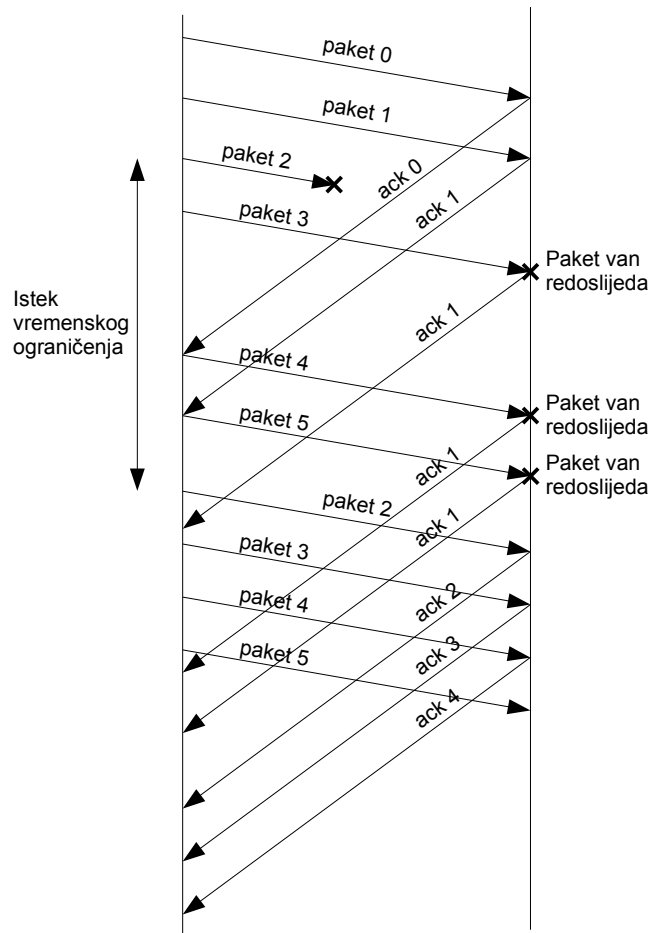
Slika 12. Nekoliko primjera rada protokola alternirajućeg bita

Naime, umnožak brzine i kašnjenja predstavlja količinu podataka koju je moguće imati u prijenosnom kanalu u bilo kojem trenutku! Rješenje problema efikasnosti protokola s alternirajućim bitom je uvođenje mogućnosti da predajnik pošalje više paketa bez čekanja potvrde. To zahtijeva određene preinake u protokolu:

- potrebno je proširiti raspoložive slijedne brojeve s dosadašnjeg 1 bita jer svaki paket u prijenosu mora imati vlastiti slijedi broj
- na prijemniku i predajniku potrebno je uvesti spremnike koji će privremeno pohranjivati poslani i nepotvrđeni pakete

Dva osnovna protokola koja uvode navedene modifikacije i omogućavaju oporavak od pogrešaka su *protokol s vraćanjem* (engl. go-back-n protocol) i *protokol sa selektivnim ponavljanjem* (engl. selective repeat protocol).

Na slici 14 je prikazan primjer rada protokola s vraćanjem. Pretpostavljena je veličina prozora od 4 paketa. Nakon što su poslana četiri paketa (0, 1, 2 i 3) pošiljalatelj staje i čeka potvrde. Paketi 0 i 1 stižu na odredište ispravni te se potvrđuju i predaju višem sloju. Paket sa slijednim brojem 2 izgubljen je tijekom prijenosa, a po primitku paketa sa slijednim brojem 3 primatelj ga odbacuje i šalje potvrdu sa slijednim brojem zadnjeg ispravno prihvaćenog paketa (1 paket). Pošiljalatelj u međuvremenu prima potvrde koje pomiču prozor te on šalje pakete sa slijednim brojevima 3, 4 i 5. Međutim, u jednom trenutku ističe vremensko ograničenje te pošiljalatelj ponovo šalje 2. i sve naknadne pakete koliko mu dopušta prozor. Prijemnik po primitku paketa sa slijednim brojem 2 šalje potvrdu i predaje ga višem sloju, a isto će napraviti za sve preostale pakete koji pristižu po redu i bez gubitaka.



Slika 14. Primjer rada protokola s vraćanjem

3.3. Protokol sa selektivnim ponavljanjem

4. Detekcija i ispravljanje pogrešaka

Jedna od bitnih funkcija računalnih mreža je ispravan i pouzdan prijenos podataka. To znači da je potrebno detektirati sve greške u prijenosu i te greške ispraviti ili ponoviti prijenos.

Modeliranje prijenosnog kanala sa šumom

Nakon što poslani podaci pristignu na odredište potrebno je utvrditi da li je tijekom prijenosa došlo do kakvih grešaka. To je nužno jer neispravno preneseni podaci. To možemo učiniti na više načina. Najjednostavniji je da svaki podatak pošaljemo dva puta. Usporedbom podataka primljenih prvi puta i drugi puta možemo utvrditi da li je došlo do greške. Ipak, ako je greška

4.1. Paritetna suma

4.2. Internet kontrolna suma

4.3. CRC

Najčešće korišteni

5. Standardizacija u računalnim mrežama

5.1. Internet proces standardizacije

Internet za razliku od ISO standarada nikada nije imao nekakvu arhitekturu koja je diktirala njegov razvoj.

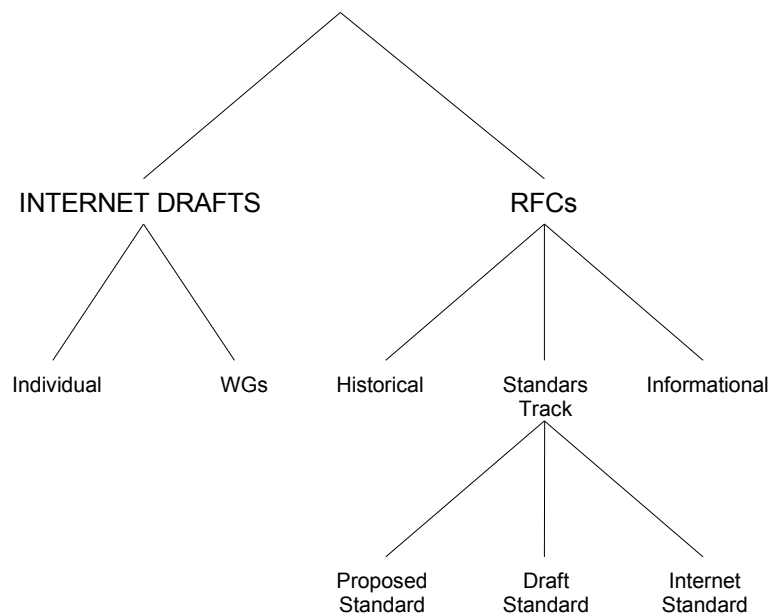
Internet standard process (RFC2026, RFC3667, RFC3668, RFC3932, RFC3979, RFC3978)
RFC3935, RFC3160, RFC3932

Napomena: Standardizacija i rad IETF i ostalih grupa

IRTF (rfc2014, rfc4440)

IAB (RFC2850)

IETF (RFC2418, RFC3934)



Slika 15. Dokumenti koje izdaje IAB i drugi odbori

5.2. Web konzorcij

5.3. IEEE

5.4. 3GPP

5.5. ITU

5.6. ISO

6. Literatura

[TANEN96]

Tanenbaum, Andrew, *Computer Networks*, 3rd edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.

