

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 998

**Tehnike višestrukog pristupa mediju po
dodijeljenim kanalima**

Adrijan Jakšić

Zagreb, srpanj 2016.

Zagreb, 11. ožujka 2016.

Predmet: **Teorija prometa**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 998

Pristupnik: **Adrijan Jakšić (0036450452)**
Studij: Informacijska i komunikacijska tehnologija
Profil: Telekomunikacije i informatika

Zadatak: **Tehnike višestrukog pristupa mediju po dodijeljenim kanalima**

Opis zadatka:

Višestruki pristup mediju omogućava većem broju korisnika da zajednički koriste isti prijenosni medij. Jednu skupinu takvih pristupnih tehnika čine FDMA, TDMA i CDMA pri korištenju kojih se svakom korisniku dodjeljuje namjenski kanal. Vaš je zadatak da načinite analizu kašnjenja u navedenim tehnikama te da načinite njihovu međusobnu usporedbu. U tu svrhu trebate kreirati adekvatnu programsku aplikaciju koja će to omogućiti.

Zadatak uručen pristupniku: 18. ožujka 2016.
Rok za predaju rada: 1. srpnja 2016.

Mentor:



Prof. dr. sc. Alen Bažant

Djelovođa:



Doc. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Predsjednik odbora za
diplomski rad profila:



Prof. dr. sc. Gordan Ježić

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Računalna mreža	2
1.1. Lokalna računalna mreža	2
2. Tehnike višestrukog pristupa mediju	6
2.1. Tehnike slučajnog pristupa mediju	7
2.2. Tehnike pristupa mediju s centralnim upravljačem	8
2.2.1. Tehnike prozivanja.....	8
3. Teorijska analiza tehnike pristupa mediju fiksno zauzetim kanalom	10
3.1. Višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom kanala.....	10
3.2. Višestruki pristup s vremenskom raspodjelom kanala	12
3.2.1. Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA	14
3.3. Višestruki pristup s kodnom raspodjelom kanala	14
3.3.1. Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA, TDMA i CDMA	17
4. Praktični dio rada i analiza	18
Zaključak.....	24
Literatura	25
Sažetak	26
Abstract	26
Skraćenice	27
Popis stranih izraza.....	28
Dodatak	29

Uvod

Tehnike višestrukog pristupa mediju se upotrebljavaju zbog omogućavanja većem broju korisnika da dijele raspoloživi spektar na najbolji mogući način. Kako je spektar ograničen, dijeljenje spektra je neophodno s povećanjem broja korisnika te se omogućava da raspoloživi spektar bude upotrebljen istovremeno od različitih korisnika. Stoga je jedna od glavnih tema istraživanja u računalnim komunikacijama na koji način se mogu što efikasnije koristiti raspoložive frekvencije, postići da one budu učinkovitije i pritom omogućiti što veći broj komunikacija kojima će biti dana usluga. Kao rezultat takvih istraživanja nastale su različite tehnike višestrukog pristupa mediju koje se koriste u računalnoj pristupnoj mreži koje su analizirane i čija svojstva i usporedbe su prikazana u ovom radu pod naslovom tehnike višestrukog pristupa mediju. Jednu skupinu takvih pristupnih tehnika čine FDMA, TDMA i CDMA pri korištenju kojih se svakom korisniku dodjeljuje namjenski kanal. Cilj ovog rada je analiza kašnjenja u navedenim tehnikama te njihova međusobna usporedba.

Rad je podijeljen u četiri glavne cjeline:

1. Računalne mreže,
2. Tehnike višestrukog pristupa mediju,
3. Teorijska analiza tehnike pristupa mediju fiksno zauzetim kanalom,
4. Praktični dio rada i analiza.

U prvom poglavlju opisane su računalne mreže. Navede koje vrste postoje te opis lokalne mreže kao glavne u kojoj se koriste tehnike višestrukog pristupa mediju. Također, u ovom poglavlju rada govori se o osnovni pojmovima bitnima za analizu pristupa mediju.

Drugo poglavlje obuhvaća opis različitih tehnika višestrukog pristupa mediju te usporedba njihovih različitosti.

Zatim prikazana je teorijska analiza tehnika pristupa mediju fiksno zauzetim kanalom u koju spadaju tehnike FDMA, TDMA i CDMA. Prikazane su ovisnosti propusnosti, kašnjenja te međusobna usporedba ovih različitih tehnika pristupa mediju.

U zadnjem poglavlju prikazana je analiza tehnika iz prethodnog poglavlja, ali na praktičan način. U tu svrhu načinjen je program u jeziku Matlab.

1. Računalna mreža

Računalna mreža je komunikacijska mreža koja omogućuje međusobno povezivanje računala i drugih terminalnih uređaja (procesora, skladišta podataka, pisača i grafičkih terminala) i sredstvo za komunikaciju između računala i terminalnih uređaja. Ona se sastoji od komunikacijskih medija koje prenose poruke ili podatke između računala i uređaja spojenih na mrežu. Komunikacijski mediji mogu se provoditi s upletenim parom žica, koaksijalnim kabelima, optičkim vlaknima, ili nekim drugim oblikom medija.

Ovisno o geografskom opsegu koje je pokriveno mrežom, računalne mreže mogu se svrstati u tri kategorije: lokalne mreže (engl. *local area network*, skraćeno **LAN**), gradske mreže (engl. *metropolitan area network*, **MAN**) i mreže širokog područja (engl. *wide area network*, **WAN**) ili duge mreže (engl. *long-haul network*). Lokalne mreže pokrivaju područje samo kratke udaljenosti do 25 km. WAN ili mreže širokog područja, s druge strane, mogu pokriti jako široka zemljopisna područja koja mogu biti stotine ili tisuće kilometara u daljinu.

Postoje značajne razlike u dizajnu duge i lokalne mreže, zbog različitih zahtjeva tih tipova mreža. Za lokalne mreže, moguće je instalirati medij velike brzine i niskog šuma. Međutim, duge mreže zahtijevaju korištenje zajedničkih medija za čije velike brzine odnosno kapacitet je dosta skupo implementirati. Nadalje, mediji za duge mreže mogu biti s puno šuma.

Lokalne mreže obično su dizajnirane tako da su svi čvorovi povezani s jednim zajedničkim kanalom velike brzine. Podaci ili poruke se upakiraju te tako prenose preko zajedničkog kanala kako bi svi čvorovi mreže mogli primiti određeni paket. Dakle, usmjeravanje niti algoritmi usmjeravanja nisu potrebni. Glavni problemi za dizajn lokalne mreže su kontrola zagušenja, protokol pristupa kanalu i mrežna arhitektura.

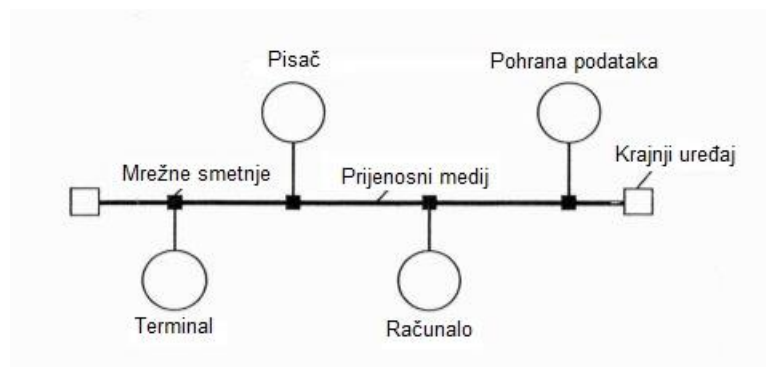
1.1. Lokalna računalna mreža

Lokalne mreže služe za međusobno povezivanje računala, terminala, grafičkih terminala, lokalnih pohrana, pisača, telefona i podatkovnih datoteka. Jedan od razloga za korištenje lokalne mreže je dijeljenje skupih resursa; poput središnjih podatkovnih datoteka. Drugi razlog je razmjena podataka i informacija između sustava.

Lokalna mreža se definira kao komunikacijska mreža koja osigurava povezivanje raznih komunikacijskih uređaja u malom području. To uključuje bilo koji uređaj koji komunicira preko prijenosnog medija kao što su računala, terminali, senzori, telefon, telefaks i periferni uređaji.

Stope prijenosa podataka u lokalnoj mreži su u rasponu između 0.1-100 Mbit/s te udaljenosti u rasponu 0,1-25 km. Stopa pojavljivanja greške je obično niska od 10^{-8} do 10^{-11} .

Slika (Slika 1.1) prikazuje primjer lokalne mreže koja je ostvarena kao jednostruki dijeljeni komunikacijski medij. Za reguliranje takvog medija mora se koristiti protokol za kontrolu pristupa mediju. Lokalne mreže koriste se za pružanje komunikacije između računala i uređaja, brz pristup bazama podataka i dijeljenje skupih uređaja i sredstava. Podaci i poruke prenose se mrežom obično u digitalnom obliku i nalaze se u paketima podataka. Svaki paket mora nositi sa sobom određeno zaglavlje, koje uključuje izvorišnu i odredišnu adresu i suvišne bitove za kontrolu pogreške.



Slika 1.1 Lokalna računalna mreža

U analizi performansi lokalne mreže, na raspolaganju su topologija mreže, prijenosni medij, tehnike pristupa mediju i mrežna sučelja. S korisnikovog gledišta, važna mjera performansi je vrijeme odziva. Vrijeme odziva definira se kao vrijeme potrebno za prijenos paketa od izvora do odredišta i dobivanja odgovora.

Vrijeme odziva ovisi o stanju mreže i zato je slučajna varijabla. U aplikacijama, većina mjerenja prikazana su kao srednje vrijednosti. Stoga, najčešća mjera performansi je jednostavno srednje vrijeme odziva.

Postoje dvije komponente koje su uključene u izračun prosječnog vremena odziva:

1. Prosječno kašnjenje slanja paketa kroz mrežu i njegova sučelja,
2. Kašnjenje na korisničkim medijima.

Prosječno kašnjenje paketa kroz mrežu je funkcija opterećenja i veličine paketa. Kašnjenje na mediju korisničke stanice je relativno neovisno o opterećenju, ali je ovisno o tehnici pristupa mediju.

Na mrežnoj razini, propusnost, koji je mjera prosječnog broja bitova po sekundi ili paketa u sekundi koji mogu proći kroz mrežu, postaje značajan.

Treba shvatiti da povećanje propusnosti i smanjenje kašnjenja za određenu mrežu su suprotni zahtjevi. Pri izradi lokalne mreže, dakle, potrebno je napraviti najučinkovitiji kompromis između ta dva uvjeta. Dakle, važno obilježje mnogih lokalnih mreža je krivulja ovisnosti kašnjenja u odnosu na propusnost mreže.

Propusnost (engl. *throughput*), u bitovima po sekundi, je mjera za količinu podataka ili poruka koji prolaze kroz mrežu. Može se, također, definirati kao prosječan broj bitova koji prolaze određenom točkom u mreži po sekundi. Pri izračunu propusnosti, uobičajeno je da uključujemo samo podatkovne bitove paketa bez grešaka. Budući da je prosječna ulazna stopa i prosječna izlazna brzina jednaka za određenu mrežu u stabilnom stanju, propusnost je prosječan broj bitova u sekundi koji ili ulazi u ili izlazi iz mreže. Često, propusnost se normalizira dijeljenjem prosječne ulazne stope sa stopom prijenosa kanala. Normalizirana propusnost je označena simbolom S te je umnožak učestalosti dolazaka paketa λ te prosječnog vremena prijenosa jednog paketa \bar{X} .

Iskorištenost kanala ili učinkovitost (engl. *channel utilization or efficiency*) se definira kao dio vremena kada je kanal zauzet s prijenosom paketa. Ovaj termin se u hrvatskim materijalima često spominje kao **prometno opterećenje** pa će se i u ovom radu tako koristiti. Simbol ρ služi za prometno opterećenje kanala. Ako je D broj bitova podataka u paketu, a H je broj bitova zaglavlja u paketu, onda prometno opterećenje kanala je opisana formulom

$$\rho = \frac{D}{D + H} \times S$$

U mnogim aplikacijama, kada je broj bitova zaglavlja mnogo manji u odnosu na broj bitova podataka, propusnost i prometno opterećenje kanala smatraju se jednakima.

Prosječno kašnjenje prijenosa (engl. *average transfer delay*) definira se kao prosječno vrijeme dolaska posljednjeg bita paketa kroz mrežu od stanice koja ga je poslala pa sve do njegove prijemne stanice.

Kao i s propusnosti, često je prikladno normalizirati prosječno kašnjenje T dijeljenjem prosječnog vremena slanja paketa \bar{X} , tako da se normalizirano prosječno vrijeme kašnjenja \hat{T} računa

$$\hat{T} = \frac{T}{\bar{X}}$$

Najčešće korišteni ulazni promet u analizi uspješnosti telefonskih mreža je po **Poissonovoj** slučajnoj razdiobi. *Poissonov* proces je matematički atraktivan jer međudolazna vremena poziva posjeduju Markovljevo svojstvo (nedostatak memorije).

U lokalnim mrežama, promet podacima ili porukama smatra se prskavim (engl. *bursty*). Ima svojstvo da je potražnja za uslugom rijetka, ali kada je potrebna usluga, to zahtijeva visoku brzinu i za komunikaciju i obradu. Budući da priroda prskavog prometa još nije dobro razumljiva, kako bi se olakšala analiza performansi kasnijih tehnika za pristup mediju, proces dolaska paketa na mreži pretpostavlja se da je *Poissonov* kao aproksimacija te je distribuirana duljina paketa konstantna.

U analizi pristupnih tehnika, može se pretpostaviti da je proces dolaska paketa u svakoj stanici nezavisan kao *Poissonov* proces s brzinom dolazaka λ paketa po sekundi, a vrijeme za prijenos jednog paketa konstantno jednak \bar{X} sekundi.

U svom prvotnom obliku sve su lokalne računalne mreže koristile arhitekturu dijeljenog medija. Upravljanje pristupom prijenosnom mediju u LAN-ovima provodi se uglavnom centralizirano ili decentralizirano, tj. distribuirano. Kod centraliziranog načina upravljanja jedan uređaj u mreži ima ulogu središnjeg upravljača koji drugim krajnjim uređajima dodjeljuje pravo pristupa mreži. Krajnji uređaj može slati okvire tek nakon što od upravljača dobije dozvolu za slanje. Nasuprot tome, kod korištenja distribuirane upravljačke arhitekture sve stanice zajednički obavljaju funkciju upravljanja pristupom mediju što znači da u mreži nema središnjeg upravljača. U lokalnim mrežama uglavnom se koristi decentralizirano upravljanje pristupom mediju.

2. Tehnike višestrukog pristupa mediju

Karakteristika lokalne računalne mreže je da prijenosni medij dijeli mnogo korisnika. Dakle, moguće je za dva ili više korisnika u mreži žele istovremeno pristupiti prijenosnom mediju, time uzrokujući da se njihovi signali ometaju i postaju pomiješani. Za rješavanje tih sukoba, potrebno je određeno sredstvo za kontrolu pristupa prijenosnom mediju.

Postoje tri glavne skupine višestruko-pristupnih tehnika kojima se kontrolira pristup prijenosnom mediju u lokalnim mrežama: fiksno zauzet medij (engl. *fixed assignment*), slučajno raspoređen medij (engl. *random assignment*) i medij dodijeljen po potražnji (engl. *demand assignment*).

U lokalnim računalnim mrežama, kapacitet prijenosnog medija je obično mnogo veći od onog koji je potreban za prijenos jednog signala. U ovom slučaju, multipleksirajuće sheme mogu se koristiti s fiksno zauzetim prijenosnim medijom. Dvije tehnike su u općoj upotrebi: frekvencijsko-raspodijeljeni višestruki pristup (engl. *frequency-division multiple access*, skraćeno **FDMA**) i vremensko-raspodijeljeni višestruki pristup (engl. *time-division multiple access*, skraćeno **TDMA**). Još jedna dobro poznata tehnika je višestruki pristup s kodiranom raspodjelom kanala (engl. *code-division multiple access*, skraćeno **CDMA**).

Medij sa slučajnim zauzećem kanala dopušta bilo kojoj korisničkoj stanici prijenos poruke u bilo kojem trenutku. Ne postoji kontrolni mehanizam za utvrđivanje koji korisnik ima pravo na pristup prijenosnom mediju te time nema potrebe za međusobnom koordinacijom korisničkih stanica. Međutim, ako dvije ili više stanica prenose u isto vrijeme, tako da se njihovi paketi preklapaju u vremenu, za rezultat će se javiti smetnje i pogreške koje su nastale u preklapnom dijelu od paketa. U tom slučaju, kada dolazi do sudara, tj. kolizije (engl. *collision*) dva slanja, potrebno je organizirati pakete za ponovno slanje, tj. retransmisiju (engl. *retransmission*). Da bi se izbjeglo ponavljanje stanja paketa u koliziji, vremena ponovnog prijenosa obično se biraju slučajno od strane uključenih stanica.

Tehnika pristupa mediju dodijeljenog po potražnji zahtijeva **središnji upravljač** (engl. *central controller*) ili računalo za upravljanje kako bi se utvrdio pristup prijenosnom mediju u bilo kojem trenutku. Rad mreže središnjeg upravljača također zahtijeva dvosmjernu komunikaciju između upravljača i korisničkih stanica.

2.1. Tehnike slučajnog pristupa mediju

Navedena pristupna tehnika je sasvim slučajna, u smislu da se prijenos događa slučajno. Najranije i najosnovnije slučajne pristupne tehnike, poznate i kao čista **ALOHA** (engl. *pure ALOHA*), razvijene su na Sveučilištu Havaja, a primjena im je bila i stvorila čvrste temelje paketskih radio mreža. U takvoj mreži pristup je potpuno decentraliziran i slučajan.

Razvijano je nekoliko vrsta ALOHA-e: prethodno navedena čista ALOHA, ALOHA s podjelom vremena pristupa na odsječke fiksne duljine trajanja (engl. *slotted ALOHA*, skraćeno S-ALOHA) i rezervacijska ALOHA (engl. *reservation ALOHA*).

Kod slučajnih pristupnih mreža, svaki put kad stanica ima paket za slanje, paket će se odmah poslati. Tada stanica sluša za duljinu vremena koja je jednaka najvećem mogućem povratnom vremenu propagacije na mreži (dvostruko vrijeme za slanje paketa između dvije najdalje udaljene stanice). Ako stanica dobije potvrdu za to vrijeme, prijenos je uspješan. Inače, ona će ponovno poslati paket nakon odgovarajućeg vremena. Stanica koja prima paket će provjeriti poruke. Ako je poruka ispravna, stanica je odmah šalje potvrdu. Ako poruka ima pogrešku zbog šuma na mreži ili ako više stanica šalje u isto vrijeme, za rezultat će biti smetnje. Ovaj fenomen je poznat kao kolizija. U tom slučaju, nema potvrde da je prihvatna stanica poslala.

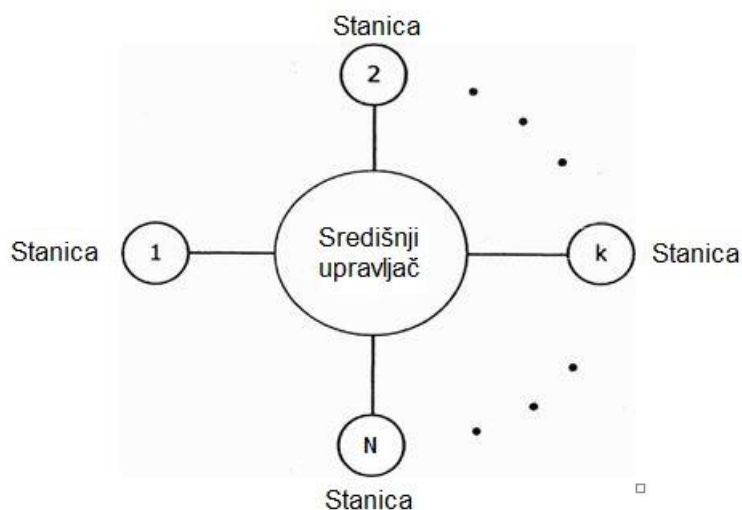
Međutim, sve tri vrste ALOHA-e omogućuju postizanje male propusnosti mreže. Ako se propusnost lokalne mreže S izrazi kao postotak iskorištenog dijela kapaciteta kanala R (prometno opterećenje), tada, zbog sudara paketa, mreža s tehnikom pristupa mediju čista ALOHA ima maksimalno prometno opterećenje, odnosno propusnost od oko 18.5%. Kod tehnike *slotted ALOHA* maksimalna propusnost je povećana za dvostruko na oko 37%. Uvođenjem sposobnosti hvatanja na Aloha mreži, maksimalna propusnost može se dodatno povećati.

Stoga je razvijena učinkovitija metoda, nazvana višestruki pristup mediju pomoću otkrivanja nosioca (engl. *carrier sense multiple access*, skraćeno **CSMA**). Pristupna metoda 1-persistent CSMA, koja se koristi u Ethernetu, omogućuje postizanje propusnosti LAN-a veće. Točan naziv inačice pristupne metode CSMA koja je zaživjela u Ethernet LAN-ovima je CSMA s detekcijom sudara okvira (engl. *CSMA with collision detection*, skraćeno CSMA/CD).

2.2. Tehnike pristupa mediju s centralnim upravljačem

Za primjer opisa i analize raznih tehnika uzima se lokalna računalna mreža s N korisničkih stanica koje dijele tipičan komunikacijski medij kao što je prikazano na slici (Slika 2.1).

Neka je kapacitet kanala, tj. brzina zajedničkog prijenosnog medija R bita u sekundi (engl. *bits per second*), tj. skraćeno bit/s (engl. *bps*). Paketi fiksne duljine L bita stižu na svaku stanicu po stopi od λ paketa u sekundi u skladu s nezavisnim *Poissonovim* procesom te je međuspremnik (engl. *buffer*) za pohranu paketa na svakoj stanici dozvoljen. Dakle, prosječno vrijeme prijenosa jednog paketa je $\bar{X} = L/R$ sekundi.



Slika 2.1 Mreža s centralnim upravljačem

2.2.1. Tehnike prozivanja

Prozivanje (engl. *polling*) je metoda kontrole pristupa prijenosnom mediju kojeg dijeli određen broj stanica. Stanica je korisnik koji traži uslugu. Tehnike prozivanja su se naširoko koristile u mrežama temeljenima na upit-odgovor komunikaciji. U mrežama s tehnikom prozivanja, središnji upravljač je zadužen ili za početak ili za provedbu prozivanja.

Osnovna značajka mreže s tehnikom prozivanja leži u djelovanju središnjeg upravljačkog računala pri prozivanju svake stanice na mreži u ranije određenom cikličkom poretku pružanja pristupa komunikacijskom kanalu. Mreže s tehnikom prozivanja spadaju u klasu mreža sa središnjim upravljačem što objašnjeno u prethodnom poglavlju.

Poruke koje dolaze na svakoj stanici su prvo obavijene u paket, a zatim pohranjeni u međuspremnik za slanje, gdje čekaju prozivku. Kako je svaka stanica prozivana, ako ima pakete spremne za prijenos, može koristiti puni kapacitet kanala da pošalje svoje pakete do središnjeg računala.

Prijenosi između stanica odvijaju se kroz središnje računalo koje prima pakete iz svake stanice, a zatim ih prenosi na odgovarajuće stanice. Žice koje povezuju stanice i središnje računalo obično su žice velikih brzina.

Mreže s tehnikom prozivanja mogu raditi na jedan od dva načina: centralizirano kružno prozivanje (engl. *roll-call polling*) i decentralizirano kružno prozivanje (engl. *hub polling*).

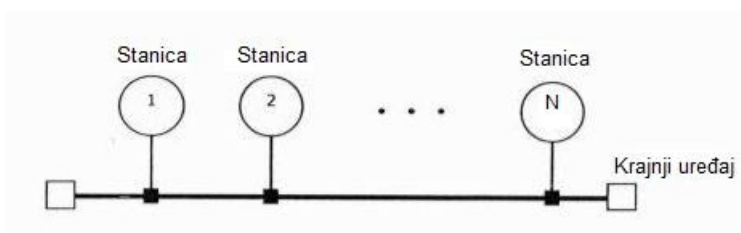
Kod centraliziranog kružnog prozivanja ili prozivanja ispitivanjem, središnje računalo će pokrenuti slijed prozivanja slanjem prozivke odabranoj stanici. Nakon što stanica prenese svoje pakete središnjem računalu, obavještava središnje računalo da nastavi dalje tako što nadoda tu informaciju na kraj svog zadnjeg paketa. Nakon primitka tog zadnjeg paketa stanice koja je prenosila, središnje računalo šalje prozivku sljedećoj stanici u redoslijedu prozivanja te se ovakav proces nastavlja.

Kod decentraliziranog kružnog prozivanja, središnje računalo šalje slijed prozivanja do početne stanice na isti način kao i kod centraliziranog kružnog prozivanja. Međutim tada stanice zajedničkim snagama upravljaju kružnim prozivanjem jedna do druge.

Na temelju tehnike kružnog prozivanja osmišljena je tehnika pristupa mediju nazvana prolazak pristupnog okvira (engl. *token passing*), koja se koristi u lokalnoj mreži nazvanoj *Token Ring* i primjer je potpuno decentraliziranog prozivanja.

3. Teorijska analiza tehnike pristupa mediju fiksno zauzetim kanalom

Za primjer opisa i analize raznih tehnika uzima se lokalna računalna mreža s N korisničkih stanica koje dijele tipičan komunikacijski medij kao što je prikazano na slici (Slika 3.1).

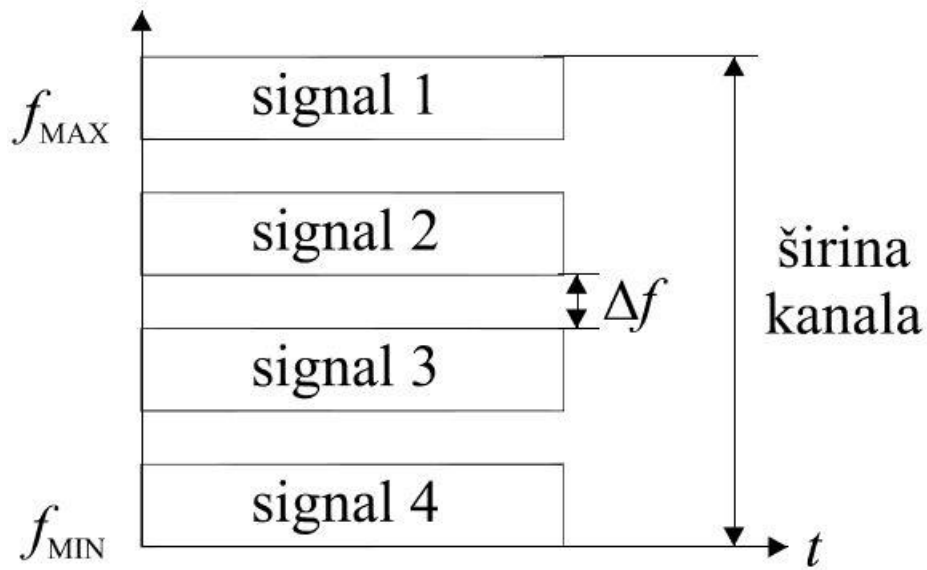


Slika 3.1 Tipičan komunikacijski medij

Neka je kapacitet kanala, tj. brzina zajedničkog prijenosnog medija R bita u sekundi. Paketi fiksne duljine L bita stižu na svaku stanicu po stopi od λ paketa u sekundi u skladu s nezavisnim *Poissonovim* procesom te je međuspremnik za pohranu paketa na svakoj stanici dozvoljen. Dakle, prosječno vrijeme prijenosa jednog paketa je $\bar{X} = L/R$ sekundi.

3.1. Višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom kanala

Koncept tehnike FDMA se ostvaruje u podjeli kapaciteta kanala R u više N (broj korisnika/stanica) manjih nezavisnih kanala od kojih svaka ima kapacitet od R/N bitova po sekundi, kao što je prikazano na slici (Slika 3.2). U ovom slučaju, sve stanice mogu prenositi njihove pakete istovremeno na mrežu i svaki signal je podešen na drugu frekvenciju nosioca (engl. *carrier frequency*). Frekvencije nosioca dovoljno su odvojene sa zaštitnim pojasevima (engl. *guard band*) tako da se frekvencijski pojasevi signala ne preklapaju. Širina pojasa (engl. *bandwidth*) svakog signala sa svojom frekvencijom nosioca u sredini naziva se kanal.



Slika 3.2 Frekvencijska raspodjela kanala kod tehnike pristupa mediju FDMA

Budući da svaki od N kanala radi neovisno s istim kapacitetom R/N bit/s, lokalna računalna mreža s tehnikom FDMA može se smatrati kao N neovisnih M/D/1 redova. Svaki od ovih M/D/1 redova ima efektivnu brzinu prijenosa podataka od R/N bit/s. Tako da je prosječno kašnjenje prijenosa za FDMA lokalne mreže jednako zbroju vremena emitiranja paketa i prosječnog čekanja u redu na stanici. To znači da je prosječno kašnjenje prijenosa

$$T = N \times \bar{X} + \frac{\rho \times N \times \bar{X}}{2 \times (1 - \rho)}$$

gdje prometno opterećenje ρ svakog reda je

$$\rho = \lambda \times N \times \bar{X}$$

Za FDMA lokalne mreže, mrežna propusnost S u stabilnom stanju jednaka je ukupnoj stopi dolazaka, $N \times \lambda$ paketa po sekundi, pomnoženoj s vremenom prijenosa jednog paketa. Tako, S u biti postaje

$$S = N \times \lambda \times \bar{X}$$

Iz te dvije formule slijedi

$$S = \rho$$

Dakle, kašnjenje se može zapisati kao

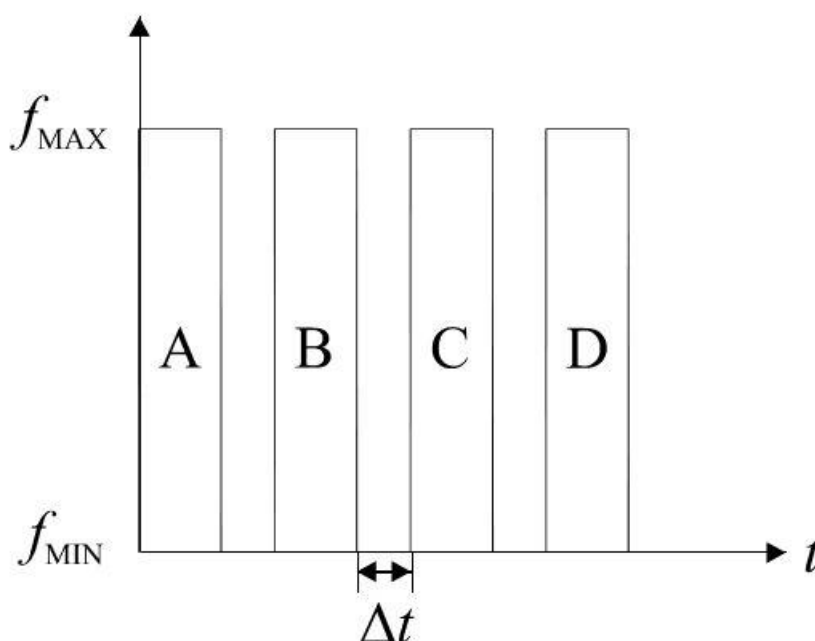
$$T = N \times \bar{X} + \frac{N \times \bar{X} \times S}{2 \times (1 - S)}$$

Dijeljenjem ovog izraza s prosječnim vremenom slanja paketa \bar{X} daje normalizirano prosječno kašnjenje prijenosa

$$\hat{T} = N + \frac{N \times S}{2 \times (1 - S)} = \frac{N \times (2 - S)}{2 \times (1 - S)}$$

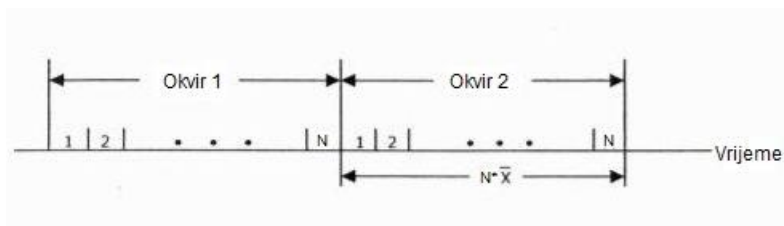
3.2. Višestruki pristup s vremenskom raspodjelom kanala

U TDMA mrežama, svi signali koriste istu frekvenciju nosioca i širinu pojasa, ali djeluju u različitim vremenima. Poput zaštitnih pojaseva u FDMA mrežama, TDMA mreže koriste male odsječke vremena (engl. *time slots*) za odvajanje signala od susjednih stanica kako bi se izbjegle kolizije i preslušavanja kao što je prikazano na slici (Slika 3.3).



Slika 3.3 Vremenska raspodjela kanala kod tehnike pristupa mediju TDMA

Zajedno sa signalom, prenosi se jedan bit za sinkronizaciju u svakom ciklusu signala s N stanica. Ovakav ciklus zajedno s kontrolnim bitom za sinkronizaciju se naziva okvir (engl. *frame*). Dakle, postoje N jednakih vremenskih odsječaka u jednom okviru, po jedan za svaku stanicu, kao što je prikazano na slici (Slika 3.4). Rad TDMA također poznat pod nazivom sinkronizirano vremenski raspodijeljeno multipleksiranje (engl. *synchronous time-division multiplexing*, skraćeno **STDM**). Paketi koji dolaze na stanici se pohranjuju u međuspremniku stanica i čekaju svoj red, odnosno vremenski odsječak da se prenesu.



Slika 3.4 Vremenski okviri u tehnici TDMA

Radi jednostavnosti, pretpostavimo da svaki vremenski odsječak je dužine vremena za prijenos jednog paketa \bar{X} . Dakle, s N stanica, svaka stanica može prenijeti jedan paket po okviru. Duljina okvira je $N \times \bar{X}$ sekundi.

Uzevši u obzir paket koji dolazi na proizvoljnu stanicu, prosječno kašnjenje prijenosa sastoji se od tri komponente:

1. Prosječno vrijeme potrebno za sinkronizaciju prije nego što stanica dobiva svoj red za prijenos paketa na mrežu,
2. Prosječno čekanje u međuspremniku stanica,
3. Stvarno vrijeme prijenosa, \bar{X} sekundi.

Ovdje se zanemaruje vrijeme prostiranja na kanalu jer je zanemarivo u odnosu na prethodne tri navedene komponente. Budući da je proces dolazaka čisto slučajan, odnosno *Poissonov* proces, prosječno vrijeme potrebno za sinkronizaciju je jedna polovina vremena okvira ili $N \times (\bar{X} / 2)$.

Za izračun prosječnog čekanja u međuspremniku stanica, mreža se može modelirati kao N nezavisnih, identičnih M/D/1 redova, svaki sa stopom dolazaka λ paketa po sekundi. Za svaki takav red, efektivno vrijeme prijenosa paketa je $N \times \bar{X}$. Stoga, dobivamo da je prosječno čekanje u međuspremniku stanice

$$W = \frac{\rho \times N \times \bar{X}}{2 \times (1 - \rho)}$$

Za TDMA mrežu također vrijedi kao i kod FDMA da je $S = \rho$. Dakle prethodna formula prosječnog čekanja u međuspremniku stanice W može se zapisati kao

$$W = \frac{N \times \bar{X} \times S}{2 \times (1 - S)}$$

Prosječno vrijeme prijenosa T je zbroj prosječnog vremena sinkronizacije, prosječnog čekanja W u međuspremniku te vremena prijenosa paketa, tako da je

$$T = \frac{N \times \bar{X}}{2} + \frac{N \times S \times \bar{X}}{2 \times (1 - S)} + \bar{X} = \frac{N \times \bar{X}}{2 \times (1 - S)} + \bar{X}$$

Dijeljenjem ovog izraza s \bar{X} daje normalizirano kašnjenje prijenosa

$$\hat{T} = \frac{N}{2 \times (1 - S)} + 1$$

3.2.1. Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA

Usporedbom formula normaliziranog kašnjenja prijenosa FDMA i TDMA tehnike, vidimo da je

$$\hat{T}_{FDMA} = \hat{T}_{TDMA} + \frac{N}{2} - 1$$

Budući da broj postaja mora biti najmanje dva (za višestruki pristup mediju), može se zaključiti da je $\hat{T}_{FDMA} \geq \hat{T}_{TDMA}$. Za mreže s više od dvije stanice, FDMA uvijek daje veće prosječno kašnjenje prijenosa od TDMA.

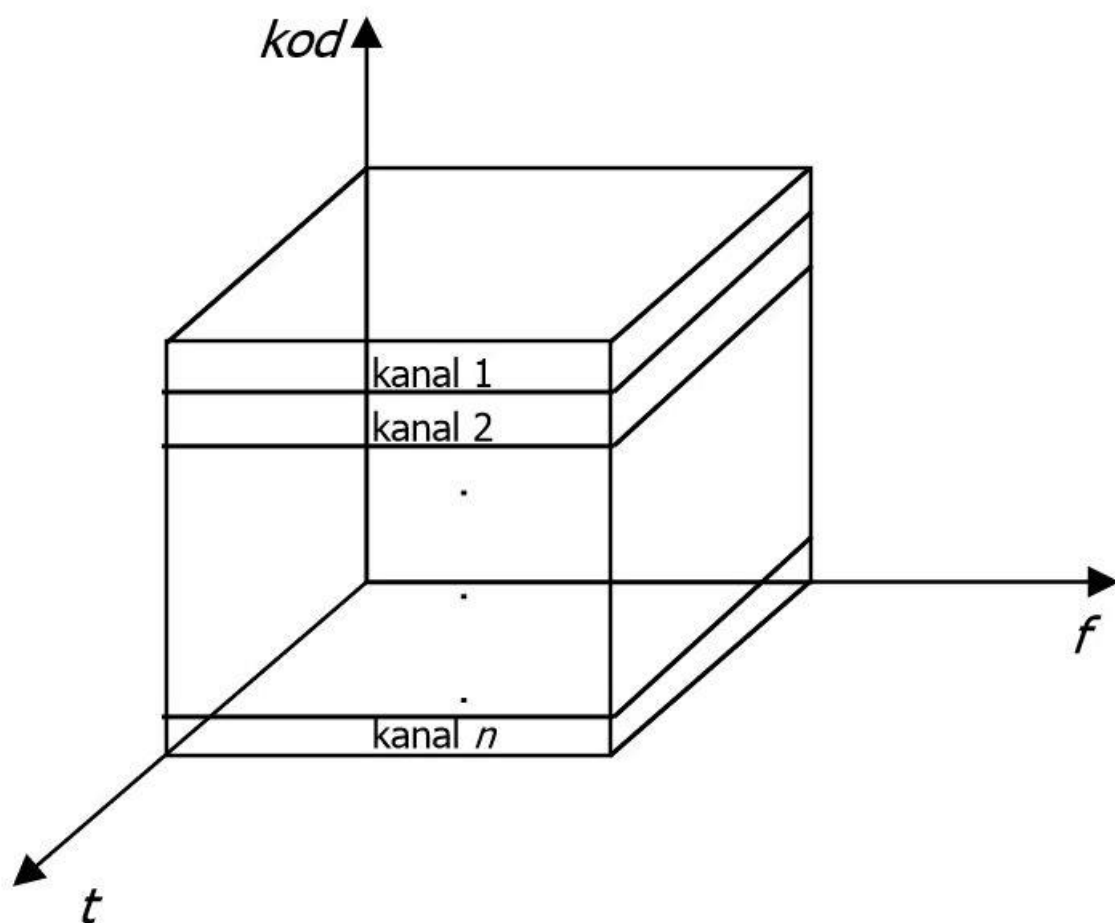
Prosječna normalizirana kašnjenja za FDMA i TDMA su prikazana na slici u ovisnosti o mrežnoj propusnosti S za različite vrijednosti N (broj korisnika/stanica).

3.3. Višestruki pristup s kodnom raspodjelom kanala

Kao što je spomenuto u prethodnim poglavljima, dvije najčešće korištene metode višestrukog pristupa mediju s fiksno zauzetim kanalom su FDMA i TDMA. Kod tehnike FDMA svih N korisničkih stanica mogu prenositi istodobno, ali korištenjem samo $1/N$ od kapaciteta kanala R , što je R/N bit/s. Kod tehnike TDMA, svih N korisnika mogu koristiti puni kapacitet kanala R za prijenos, ali oni smiju prenositi jedan paket u određenom vremenskom okviru od N odsječaka, jedna stanica za jedan vremenski odsječak. Duljina vremenskog odsječka je \bar{X} sekundi. Nadalje, TDMA zahtijeva sinkronizaciju svih stanica.

Oba FDMA i TDMA rade dobro pod teškim uvjetima prometa i s malim, fiksnim brojem stanica. Ako je broj stanica velik i stalno se mijenja (stanice se dodaju i brišu), a ako je promet praskavi (nagao), FDMA i TDMA tehnike mogu postati neučinkovite. Osnovni problem je u tome što su dodijeljene širine pojasa ili vremenski odsječci na stanicama uzaludne ako nemaju pakete za prijenos.

Ako je svim N stanicama dopušteno prenositi istovremeno, prometno opterećenje kanala može se poboljšati korištenjem jedne druge metode koja se naziva tehnika višestrukog pristupa s kodnom podjelom (CDMA). Kodna raspodjela kanala prikazana je na slici (Slika 3.5). Budući da sve stanice koriste prijenosni medij istovremeno, svakoj stanici je dodijeljen jedinstveni kod. Uzorak koda određuje kako će stanica prenositi svoj paket širenjem signala na duljinu od $N \times \bar{X}$ sekundi, gdje je $\bar{X} = L/R$ vrijeme prijenosa paketa, L je duljina paketa u bitovima i R je kapacitet kanala u bitovima u sekundi.



Slika 3.5 Kodna raspodjela kanala kod tehnike pristupa mediju CDMA

Ako se kodovi, dodijeljeni različitim stanicama, ne preklapaju u frekvenciji u bilo koje zadano vrijeme, tada CDMA je ekvivalent FDMA ili TDMA tehnici pristupa mediju. Međutim, kod CDMA tehnike, kodovi omogućuju signalima, koji se prenose, preklapanje čime uzrokuju kolizije. Glavna značajka CDMA tehnike je da kolizije nisu destruktivne, tj. za svaki od signala koji su uključeni u koliziju će biti primljene samo blage stope porasta pogreške. Upotrebom dugih kodova i opsežne procedure kontrole pogrešaka omogućuje više

istovremenih prijenosa signala bez ozbiljne degradacije performansi. Dakle, učinak kolizija može se smanjiti sposobnošću prijemnika da zadrži i koncentrira se samo na jedan paket (signal), dok se svi ostali preklapajući paketi smatraju kao šum.

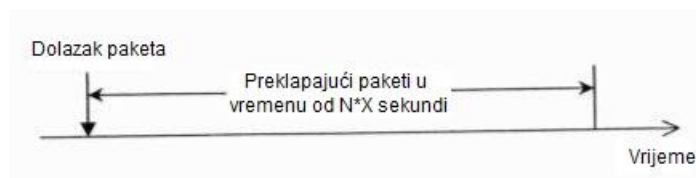
Da bi se ostvarila tehnika CDMA, mora se koristiti klasa tehnika signala poznatih pod zajedničkim nazivom **modulacija raspršenog spektra** (engl. *spread-spectrum modulation*). Konkretno, svakoj stanici je dodijeljen jedinstveni broj za obavljanje modulacije raspršenog spektra. Svaki kod je otprilike ortogonalan sa svim ostalim kodovima. CDMA mreža radi asinkrono tako da se vrijeme prijenosa paketa jedne stanice ne mora preklapati s onima drugih stanica.

Korištenjem CDMA ostvaruju se tri atraktivna svojstva u odnosu na tehniku TDMA:

- CDMA daje mogućnost vanjskog odbijanja smetnji (preklapanja),
- CDMA ne zahtijeva sinkronizaciju postaja, što je ključno za tehniku TDMA,
- CDMA nudi postupnu degradaciju performansi prilikom povećanja broja stanica.

Tehnika višestrukog pristupa mediju CDMA iskorištava širinu kanala od 1224 MHz i svi korisnici sustava dijele isti kanal što je jedna od glavih prednosti ove tehnike.

Prijenos signala u CDMA mreži prikazan je na slici (Slika 3.6).



Slika 3.6 Prijenos signala u CDMA mreži

Zbog modulacije raspršenog spektra, pretpostavljamo da svaka stanica ima prosječno efektivno vrijeme prijenosa paketa jednako $N \times \bar{X}$ sekundi. Ovo prosječno efektivno vrijeme prijenosa paketa je teško procijeniti jer ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su duljina paketa L , dužina samog koda, kapacitet kanala, tj. brzina medija R i broj istovremeno prenijetih signala. Vjerojatnost pogreške bita zanemaruje se u sljedećoj približnoj analizi. U CDMA mreži svaka stanica može se modelirati kao M/D/1 red s *Poissonovom* stopom dolazaka paketa od λ paketa u sekundi i srednjim efektivnim vremenom prijenosa jednog paketa $N \times \bar{X}$, gdje je $\bar{X} = L/R$. Srednje kašnjenje prijenosa paketa može se sada napisati kao zbroj srednjeg vremena čekanja u redu i srednjeg efektivnog vremena prijenosa paketa

$$T = \frac{\rho \times N \times \bar{X}}{2 \times (1 - \rho)} + N \times \bar{X}$$

Budući da je $\rho = \lambda \times N \times \bar{X} = S$, može se zapisati kao

$$T = \frac{S \times N \times \bar{X}}{2 \times (1 - S)} + N \times \bar{X}$$

3.3.1. Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA, TDMA i CDMA

Normalizirano srednje kašnjenje prijenosa jest

$$\hat{T} = \frac{S \times N}{2 \times (1 - S)} + N$$

koje je identično onome kod tehnike FDMA. Tako da vrijedi sljedeće

$$\hat{T}_{CDMA} = \hat{T}_{TDMA} + \frac{N}{2} - 1$$

i zaključuje se da za $N \geq 2$,

$$\hat{T}_{CDMA} \geq \hat{T}_{TDMA}$$

Usporedbom prethodne analize zaključuje se da CDMA i FDMA imaju isto srednje vrijeme prijenosa pod pretpostavkom da srednje efektivno vrijeme prijenosa paketa iznosi $N \times \bar{X}$ sekundi. Ako je ova pretpostavka nije istina tada će i rezultat biti drugačiji.

4. Praktični dio rada i analiza

U svrhu praktične analize u ovom radu izradio sam program u programskom jeziku Matlab kojim prikazujem sljedeće rezultate i grafove. Program se sastoji od dva dijela. Prvi je u suštini kalkulator za izračun propusnosti i srednjeg kašnjenja prijenosa različitih tehnika pristupa mediju s fiksno dodijeljenim kanalom nakon što se unesu potrebne vrijednosti broja korisnika (stanica), dužine paketa u bitovima, učestalosti dolazaka paketa te kapaciteta kanala.

Drugi dio predstavlja analizu navedenih tehnika pomoću raznih grafova što pomaže u analizi odnosa propusnosti i prosječnog kašnjenja prijenosa, njihovog odnosa u ovisnosti o promjenjivom broju korisnika te usporedbi različitih tehnika višestrukog pristupa mediju na jednom grafu.

Na slici (Slika 4.1) vidi se kako kalkulator funkcionira. Za zadane vrijednosti u gornjem desnom kutu izračunale su se vrijednosti prosječnog kašnjenja prijenosa te propusnosti.

Input parameters:

- ☒ FDMA
- ☒ TDMA
- ☒ CDMA
- Broj korisnika (N): 10
- Učestalost dolazaka paketa (λ): 10 paketa / s
- Broj bitova u paketu (L): 1000 bit
- Brzina prijenosa po kanalu (R): 10 Mbit

Buttons: Prikaži kašnjenja, Prikaži propusnost, Prikaži grafove

Results:

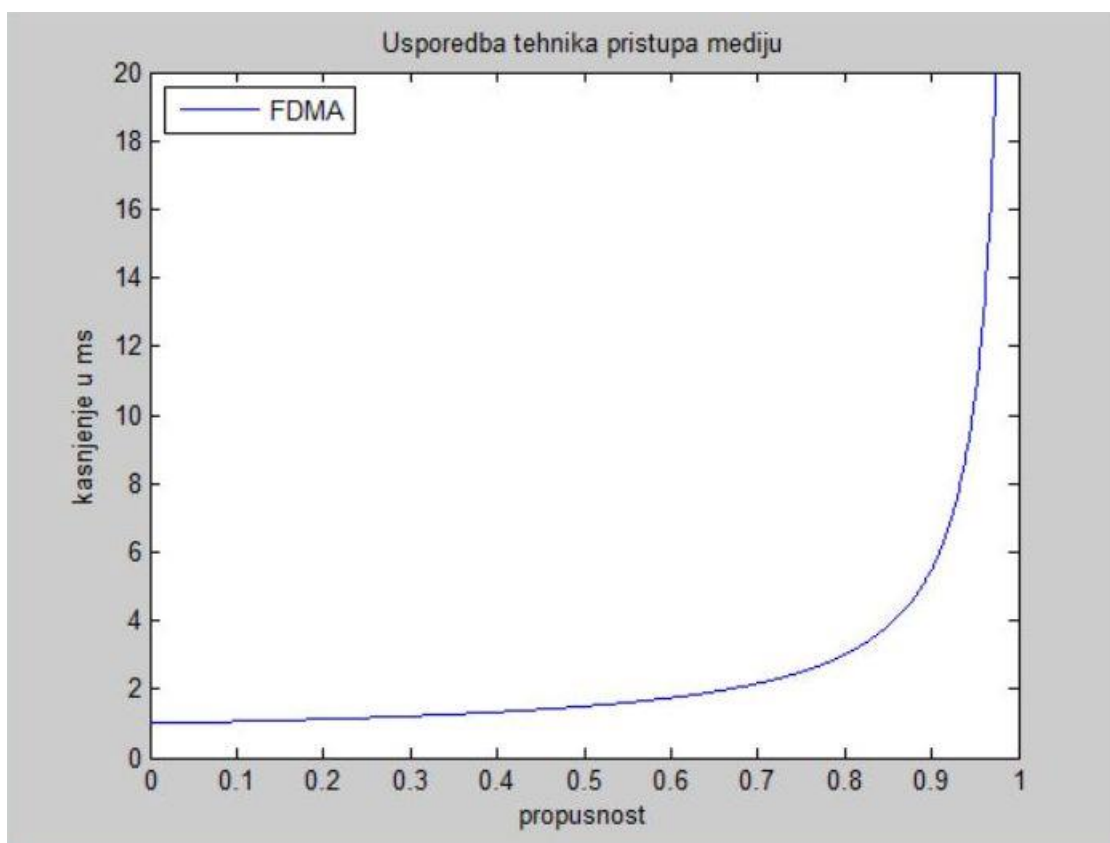
Technique	Average Delay (ms)	Throughput
FDMA	1.0051	0.01
TDMA	0.60505	0.01
CDMA	1.0051	0.01

Usporedba različitih N

Slika 4.1 Kalkulator za izračun srednjeg kašnjenja prijenosa i propusnosti

Iz izračuna propusnosti se vidi kako je ona ista za sve tri tehnike jer ovisi samo o umnošku broja korisnika, učestalosti dolazaka te vremena prijenosa jednog paketa. Srednje kašnjenje prijenosa je jednako za tehnike pristupa mediju FDMA i CDMA kao što je bilo izvedeno u poglavlju 3. Također, potvrdilo se da za broj korisnika veći od dva srednje kašnjenje prijenosa kod tehnika pristupa mediju FDMA i CDMA je veće nego kod TDMA.

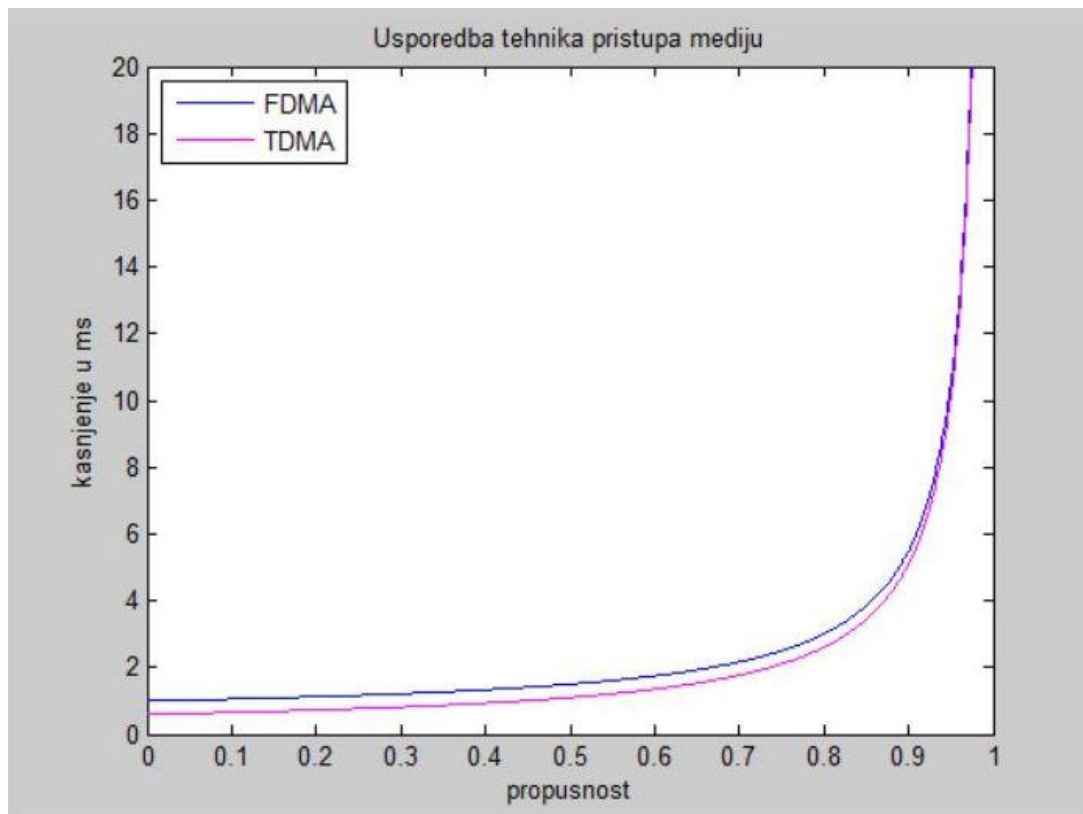
Na slici (Slika 4.2) je prikazan graf ovisnosti srednjeg vremena kašnjenja o propusnosti za tehniku pristupa mediju FDMA. Ta ovisnost, vidi se iz grafa, eksponencijalno raste s porastom propusnosti.



Slika 4.2 Ovisnost srednjeg vremena kašnjenja o propusnosti kod tehnike pristupa mediju FDMA

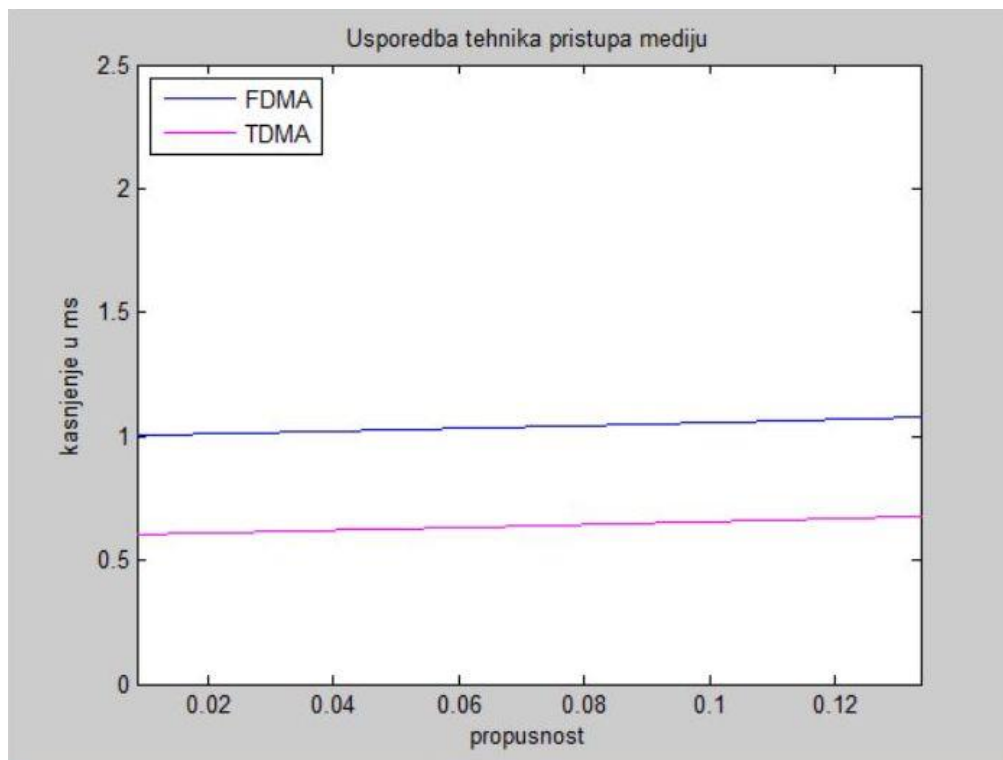
Iz slike se vidi kako je teško pomiriti dva osnovna zahtjeva za bolju učinkovitost mreže: veća propusnost mreže i manje kašnjenje prijenosa. Taj optimum zadovoljavanja oba zahtjeva za ovaj slučaj se događa kada je propusnost oko 85%.

Sljedeća slika (Slika 4.3) prikazuje, na jednom grafu, usporedbu ovisnosti srednjeg kašnjenja prijenosa i propusnosti kod tehnika FDMA i TDMA. Ponovo se vidi kako vrijeme kašnjenja prijenosa je veće kod tehnike pristupa mediju FDMA nego TDMA za, u ovom slučaju, broj korisnika $N = 10$.



Slika 4.3 Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA

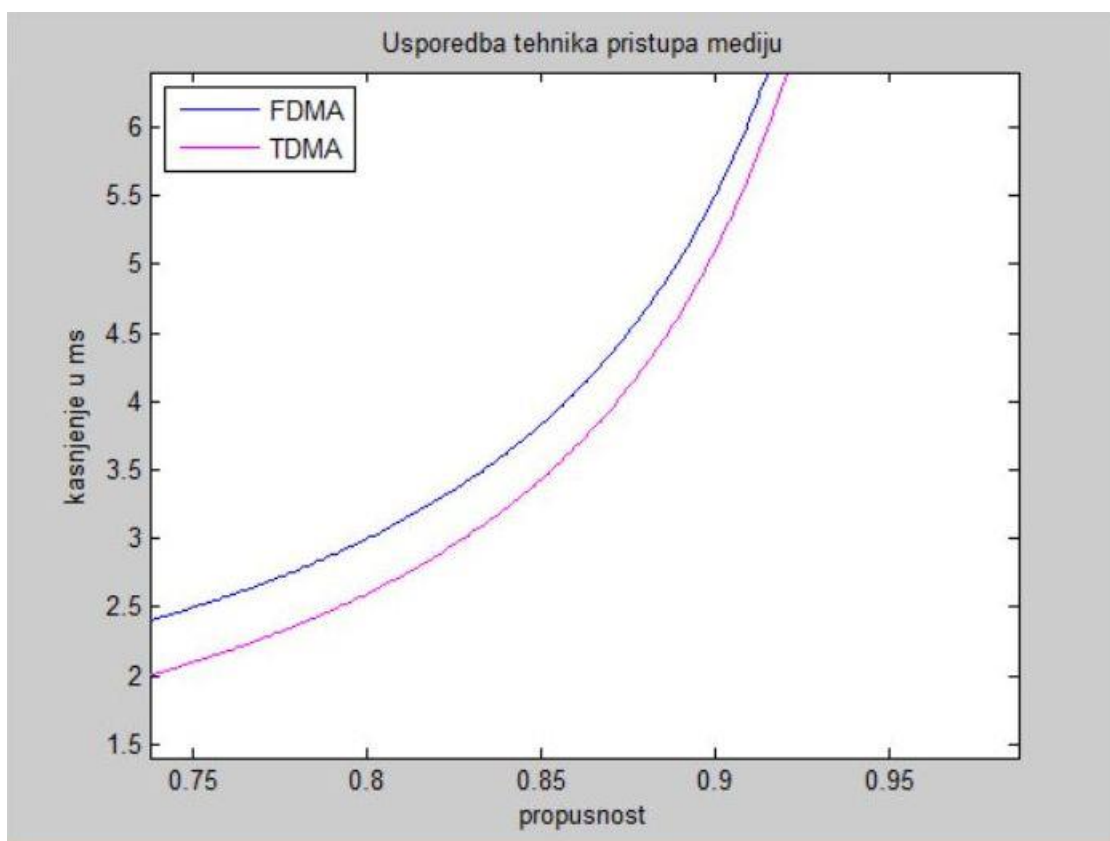
Slika (Slika 4.4) prikazuje detaljniju (približenu) usporedbu tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA kada je propusnost mreže niska.



Slika 4.4 Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA pri niskoj propusnosti mreže

Sa slike je vidljivo kako je srednje kašnjenje skoro pa dvostruko kod tehnike pristupa mediju FDMA nego kod TDMA kada je propusnost mreže niska. Budući da većina računalnih mreža ima nižu propusnost, zaključuje se kako je tehnika višestrukog pristupa mediju TDMA pogodnija za korištenje ako su potrebne bolje performanse.

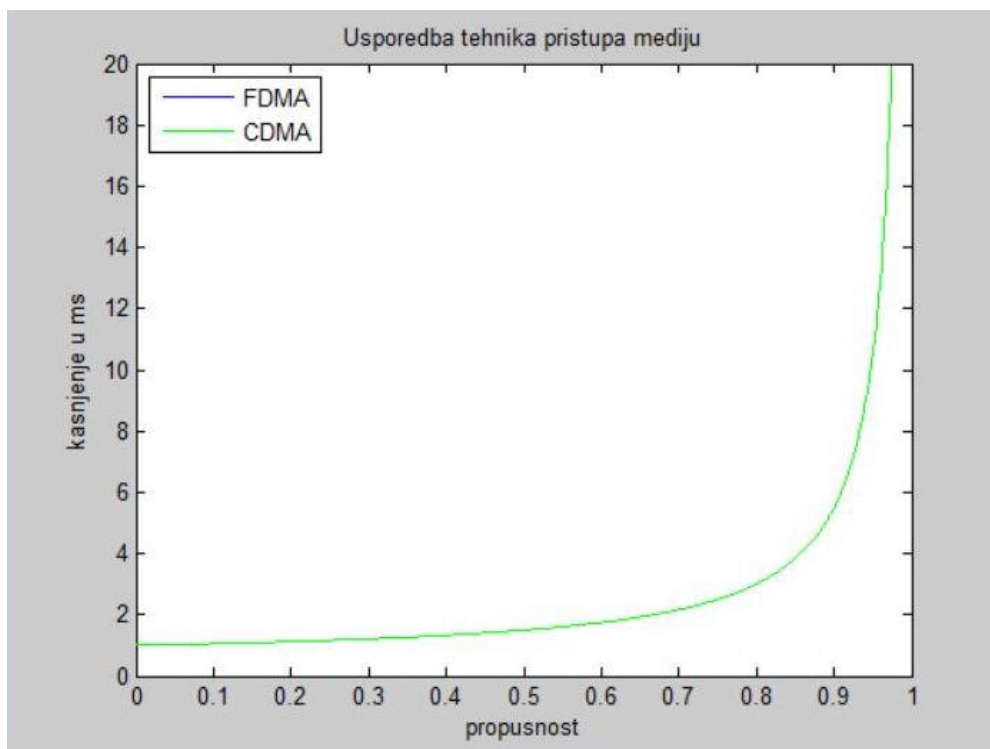
Slika (Slika 4.5) prikazuje detaljniju (približenu) usporedbu tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA kada je propusnost mreže visoka.



Slika 4.5 Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA pri visokoj propusnosti mreže

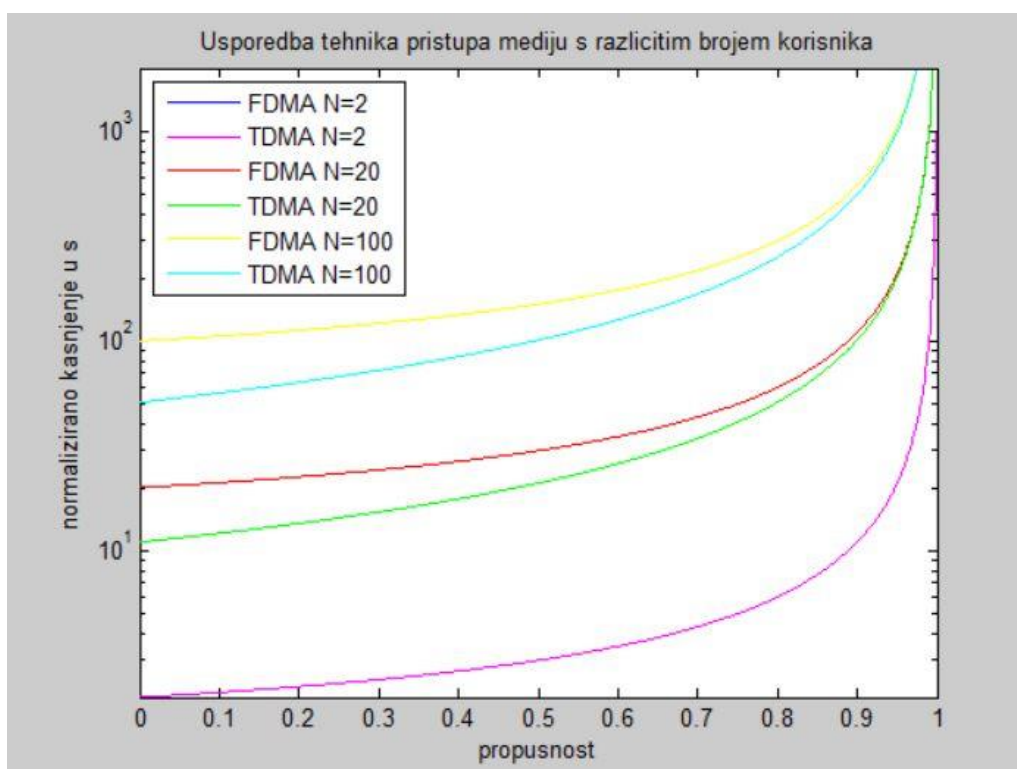
Sa slike je vidljivo, kako se propusnost povećava razlika u srednjem kašnjenju prijenosa između tehnika pristupa mediju se smanjuje. Također, može se primijetiti kako se „pregib“ funkcija (gdje kašnjenje prijenosa naglo počinje rasti) nalazi gdje propusnost je oko 85% što bi se označilo kao optimalno mjesto.

Ranije, u prethodnom poglavlju teorijski je dokazano da srednje kašnjenje prijenosa je istovjetno kod tehnika pristupa mediju FDMA i CDMA. Slika (Slika 4.6), također, pokazuje iscrtana dva grafa navedenih tehnika koji se preklapaju. Zaključak slijedi, srednje kašnjenje prijenosa kod tehnika pristupa mediju FDMA i CDMA je jednako.



Slika 4.6 Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i CDMA

Slika (Slika 4.7) prikazuje usporedbu tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA s različitim brojem korisnika. Na slici je vidljivo kako različit broj korisnika utječe linearno na ovisnost normaliziranog srednjeg kašnjenja prijenosa i propusnosti mreže.

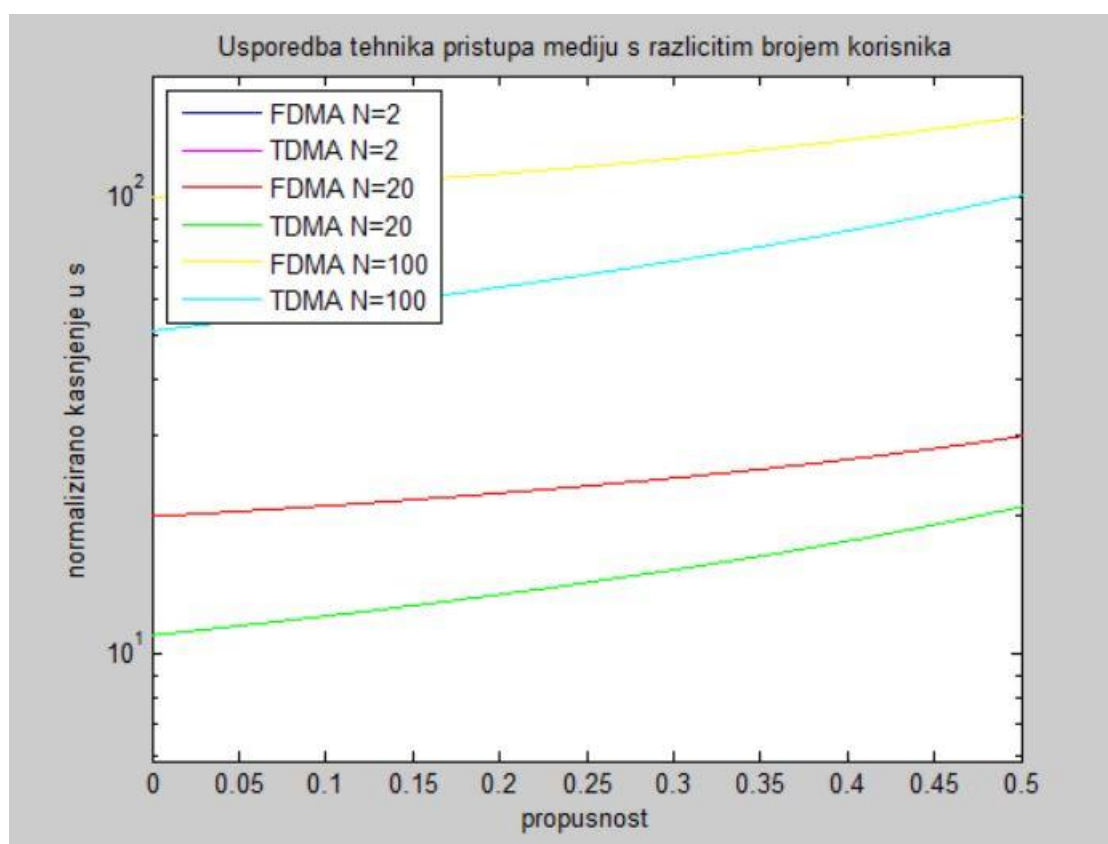


Slika 4.7 Usporedba tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA s različitim brojem korisnika

Odnos srednjeg normaliziranog kašnjenja prijenosa tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA se vidi iz formule

$$\hat{T}_{FDMA} = \hat{T}_{TDMA} + \frac{N}{2} - 1$$

Formula pokazuje kako povećanjem broja korisnika povećat će se i razlika u odnosu srednjeg normaliziranog kašnjenja prijenosa tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA. Na slici (Slika 4.7), zbog bolje preglednosti, os ordinate je skalirana logaritamski. Međutim, kada se поближе pogleda na slici (Slika 4.8), također je vidljivo Kako s većim brojem korisnika i razlika između dvije tehnike pristupa mediju se povećava.



Slika 4.8 Poblіža usporedba tehnika za pristup mediju FDMA i TDMA

Kada je propusnost mreže 10% i broj korisnika $N = 20$ razliка u normaliziranom kašnjenju je oko 5 s, a kod broja korisnika $N = 100$ razliка je oko 50 s. Dakle, za velik broj korisnika koji žele istovremeno koristiti prijenosni medij, tehnika pristupa mediju TDMA se ispostavlja boljom opcijom od FDMA i CDMA.

Zaključak

Kako bi korisnicima bio omogućen višestruki pristup lokalnim mrežama, razvijene su tehnike koji to omogućuju. Od tri glavne vrste tehnika pristupa mediju najjednostavnije su tehnike sa slučajno dodijeljenim kanalom, međutim, zbog pojave sudara paketa, one ostvaruju niske maksimalne vrijednosti propusnosti, tj. iskorištenosti kanala. Tehnike pristupa mediju sa središnjim upravljačem rješavaju taj problem, međutim tu se javlja problem organizacije rada središnjeg upravljača i trošak. Budući da u lokalnim računalnim mrežama, kapacitet prijenosnog medija je obično mnogo veći od onog koji je potreban za prijenos jednog signala praktično je koristiti multipleksirajuće sheme s fiksno zauzetim prijenosnim medijom.

Tehnika višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom kanala (FDMA) temeljena je na jednakoj podijeljenosti raspoloživosti frekvencijskog spektra na pojedine frekvencijske kanale. Metoda FDMA pogodna je za prijenos kod analognih komunikacijskih sustava.

Tehnika višestrukog pristupa s vremenskom raspodjelom TDMA razvijena je kada je efikasnost spektra FDMA postala nedovoljna. TDMA je metoda prijenosa podataka kod koje se frekvencijski pojas dijeli na vremenske odsječke te tako omogućuje prijenos digitalnih podataka. Tehnika pristupa mediju TDMA pogodna je kada velik broj korisnika želi istovremeno koristiti prijenosni medij.

Tehnike pristupa mediju FDMA i CDMA imaju jednake ovisnosti srednjeg kašnjenja prijenosa o propusnosti mreže. Međutim, tehnika pristupa mediju CDMA omogućuje veću iskoristivost spektra (1224MHz) od postojećih FDMA i TDMA tehnika i svi korisnici sustava dijele isti kanal što je jedna od glavih prednosti ove tehnike. Korištenjem CDMA ostvaruju se tri atraktivna svojstva u odnosu na tehniku TDMA:

- CDMA daje mogućnost vanjskog odbijanja smetnji (preklapanja),
- CDMA ne zahtijeva sinkronizaciju postaja, što je ključno za tehniku TDMA,
- CDMA nudi postupnu degradaciju performansi prilikom povećanja broja stanica.

Treba shvatiti da povećanje propusnosti i smanjenje kašnjenja za određenu mrežu su suprotni zahtjevi. Pri izradi lokalne mreže potrebno je napraviti najučinkovitiji kompromis između ta dva uvjeta. Pokazalo se u radu da taj optimum zadovoljavanja oba uvjeta se dobiva za propusnost oko 85%.

Literatura

Svaki autor piše popis literature na kraju svog poglavlja. Popis literature se piše stilom literatura.

- [1] Wikipedia, *Channel access method*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Channel_access_method, 15.06.2016.
- [2] Wikipedia, *Frequency-division multiple access*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division_multiple_access, 15.06.2016.
- [3] Wikipedia, *Time division multiple access*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Time_division_multiple_access, 15.06.2016.
- [4] Wikipedia, *Code division multiple access*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Code_division_multiple_access, 15.06.2016.
- [5] STALLINGS, W. 1990a. *Local Computer Networks*. John Wiley, London.
- [6] Bažant A. i dr. 2004. *Osnove arhitekture mreža: Lokalne mreže*. 2. izdanje. Element, Zagreb.
- [7] Schwartz, M. 2004. *Mobile wireless communications: Multiple access techniques*. Cambridge University Press
- [8] Prasad, K.V. 2003. *Principles of digital communication systems and computer networks Part I: Multiple access*. Charles river media
- [9] *Multiple access techniques*,
http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter8.pdf, 20.06.2016.
- [10] Sadiku M., Musa S.M. 2013. *Performance analysis of computer networks: Local area networks, Wireless networks*. Springer, Švicarska
- [11] Pahlavan K., Levesque. A.H. 2005. *Wireless information networks*. John Wiley, New Jersey
- [12] Predavanje kolegija naziva: Teorija prometa
- [13] Predavanje kolegija naziva: Lokalne mreže

Sažetak

U lokalnim mrežama, mnogi korisnici dijele prijenosni medij za komunikaciju. Da bi se izbjegli sukobi pristupa prijenosnom mediju, kada dvije različite stanice šalju podatke istovremeno, mogu se koristiti tehnike FDMA, TDMA te tehnike pristupa mediju dodijeljenog po potražnji. Međutim, za praskav promet dolazaka, tehnike slučajnog pristupa mediju su učinkovitije jer medij nije fiksno zauzet. Zbog sudara paketa, mreža s tehnikom pristupa mediju čista ALOHA ima maksimalno prometno opterećenje, odnosno propusnost od oko 18.5%. Kod tehnike *slotted* ALOHA maksimalna propusnost je povećana za dvostruko do oko 37%. Tehnikom CSMA maksimalna propusnost se dobiva i preko 50%.

Izrazi za određivanje propusnosti te prosječnog kašnjenja prijenosa u lokalnoj mreži koristeći TDMA, FDMA i CDMA su izvedeni. Općenito, prosječno vrijeme prijenosa putem tehnike TDMA je uvijek manje (za broj stanica $N > 2$) od korištenja tehnika FDMA ili CDMA. Pokazano je da tehnike FDMA i CDMA imaju isto prosječno kašnjenje prijenosa.

Ključne riječi: računalne mreže, LAN, tehnike višestrukog pristupa, FDMA, TDMA, CDMA

Abstract

In local area networks, the transmission channel for communication is often shared by many users. To avoid conflicts of access to the transmission channel, such as two stations transmitting at the same time, FDMA, TDMA, and demand assignment techniques can be used. However, for bursty input traffic, random access techniques have been found to be more efficient because the medium is not fixed assigned. Because of collisions, a pure ALOHA network has a maximum utilization factor of about 18.5%. When *slotted* ALOHA is considered the maximum throughput is increased to about 37%. With CSMA method, the maximum throughput is over 50%.

Expressions for determining the average transfer delay in local area networks using TDMA, FDMA and CDMA are derived. In general, the average transfer delay using TDMA is always smaller (for number of stations $N > 2$) than that of using FDMA or CDMA. It is shown that CDMA and FDMA have the same average transfer delay.

Keywords: computer networks, LAN, multiple access techniques, FDMA, TDMA, CDMA

Skraćenice

LAN	<i>Local Area Network</i>	lokalna računalna mreža
MAN	<i>metropolitan area network</i>	gradska računalna mreža
WAN	<i>wide area network</i>	mreža širokog područja
FDMA	<i>frequency-division multiple access</i>	frekvencijsko-raspodijeljeni višestruki pristup
TDMA	<i>time-division multiple access</i>	vremensko-raspodijeljeni višestruki pristup
CDMA	<i>code-division multiple access</i>	višestruki pristup s kodiranom raspodjelom kanala
CSMA	<i>carrier sense multiple access</i>	višestruki pristup pomoću otkrivanja nosioca
bps	<i>bits per second</i>	bita po sekundi
STDM	<i>synchronous time-division multiplexing</i>	sinkronizirano vremenski raspodijeljeno multipleksiranje

Popis stranih izraza

<i>long-haul network</i>	duga mreža
<i>throughput</i>	propusnost
<i>channel utilization</i>	iskorištenost kanala
<i>average transfer delay</i>	srednje kašnjenje prijenosa
<i>bursty traffic</i>	praskav promet
<i>fixed assignment</i>	fiksno zauzet medij
<i>random assignment</i>	slučajno raspoređen medij
<i>demand assignment</i>	medij dodijeljen po potražnji
<i>collision</i>	sudar, kolizija
<i>retransmission</i>	ponovno slanje, retransmisija
<i>buffer</i>	međuspremnik
<i>central controller</i>	središnji upravljač
<i>roll-call polling</i>	centralizirano kružno prozivanje
<i>hub polling</i>	decentralizirano kružno prozivanje
<i>token passing</i>	prolazak pristupnog okvira
<i>carrier frequency</i>	frekvencija nosioca
<i>guard band</i>	zaštitni pojas
<i>bandwidth</i>	širina pojasa
<i>time slot</i>	vremenski odsječak
<i>frame</i>	okvir
<i>spread-spectrum modulation</i>	modulacija raspršenog spektra

Dodatak

Instalacija programske podrške

Aplikacija se pokreće pomoću programa „Matlab“.

Upute za korištenje programske podrške

Nakon što korisnik uspješno pokrene aplikaciju, otvori mu se grafičko sučelje prikazano na slici (Slika1). Korisnik ima mogućnost unosa određenih podataka pomoću kojih želi izračunati propusnost S i prosječno kašnjenje prijenosa T , uz mogućnost odabira jedne ili više tehnike pristupa mediju, te da se pomoću njih prikaže graf ovisnosti kašnjenja o propusnosti.

Tehnike višestrukog pristupa mediju s fiksno zauzetim kanalom

☐ FDMA Broj korisnika (N) 10

☐ TDMA Učestalost dolazaka paketa (λ) 10 paketa / s

☐ CDMA Broj bitova u paketu (L) 1000 bit

Brzina prijenosa po kanalu (R) 10 Mbit

Prikaži kašnjenja Prikaži propusnost Prikaži grafove

FDMA [] ms [] Usporedba različitih N

TDMA [] ms []

CDMA [] ms []

Slika0.1 Grafičko sučelje aplikacije

Također, pritiskom na gumb „prikaži graf“ postoji mogućnost prikaza ovisnosti propusnosti i kašnjenja za različite tehnike pristupa mediju ovisno o različitim vrijednostima broja korisnika ili učestalosti dolazaka paketa. Postoji i gumb „Usporedba različitih N“ kojim iscrtavamo graf prikaza usporedbe tehnika pristupa mediju FDMA i TDMA s različitim brojem korisnika.