MAC

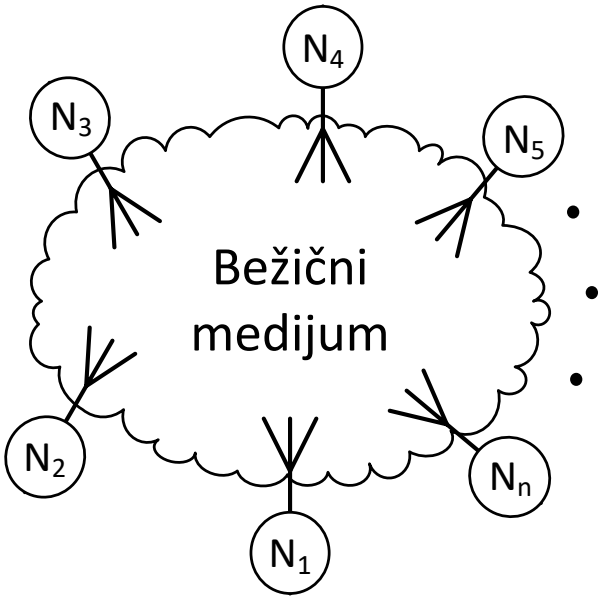
Medium Access Control

– Kontrola pristupa medijumu -

MAC

Bežični medijum kao deljiv resurs

Komunikacioni kapacitet bežičnog medijuma (maksimalna količina podataka koja se može preneti u jedinici vremena) je ograničen. Zavisi od širine frekventnog opsega, uslova propagacije, efikasnosti antena, predajne snage, tipa modulacije itd



Bežični medijum je difuzionog karaktera (nevođen) – prostire se u svim pravcima. Nemogućnost da više uređaja istovremeno emituje svoje RF signale u istom frekventnom opsegu

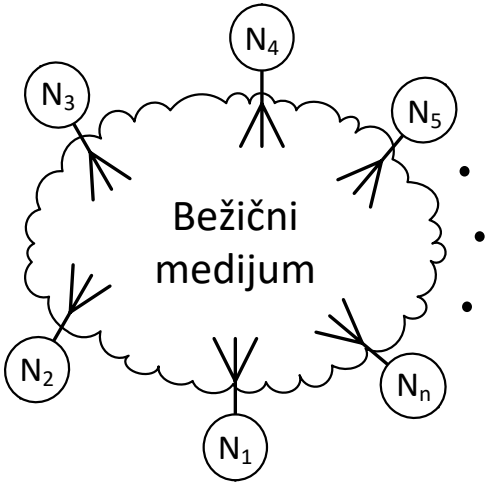
MAC: set mehanizama (protokola) koji regulišu raspodelu komunikacionog kapaciteta i koordinišu pristup bežičnom medijumu od strane različitih uređaja (ko, kada, koliko dugo i na koji način može da koristi medijum)

MAC

- Osnovni zadaci MAC protokola su:
  - *Deoba* (*zajedničko korišćenje*) *bežičnog medijuma*:
    - Omogućiti svakom uređaju pristup medijumu (u odgovarajućem trenutku)
  - *Koordinacija pristupa*:
    - Izbegavanje konflikata (istovremenih transmisija)
  - *Razrešavanje konflikata*:
    - Prepoznavanje da se konflikt desio i saniranje štete izazvane konfliktom
- Sekundarni zadaci (veoma skraćen spisak)
  - *Prioriteti i raspodela resursa*:
    - Različiti prioriteti u pristupu medijumu i raspodeli resursa za različite vrste saobraćaja i uređaja.
  - *Sigurnost*:
    - Zaštita komunikacije od neovlašćenog pristupa ili napada

MAC
- klasifikacija -

- *Statička alokacija resursa*: Resursi bežičnog medijuma (vreme, frekventni kanali, kodove) su fiksno, na duži vremenski rok, raspodeljeni među uređajima
- *Dinamička kontrola pristupa medijumu*: gde se medijum dodeljuje uređaju na zahtev (onda kad mu je potreban):
  - *Planiranje resursa* (*schedule-based*): uređaj isporučuje zahtev centralnom entitetu koji pravi plan raspodele resursa i shodno tom planu uređajima dodeljuje vreme, frekvenciju ili kôd na privremeno korišćenje. (Nije obuhvaćeno u ovoj lekciji)
  - *Slučajni pristup* (*random access*): uređaj pristupa medijumu uvek kada ima potrebu za tim, ali uz obavezu da se pre samog emitovanja izbori sa drugim uređajima za pravo pristupa. (Distribuirani pristup - ne zahteva centralni entitet)

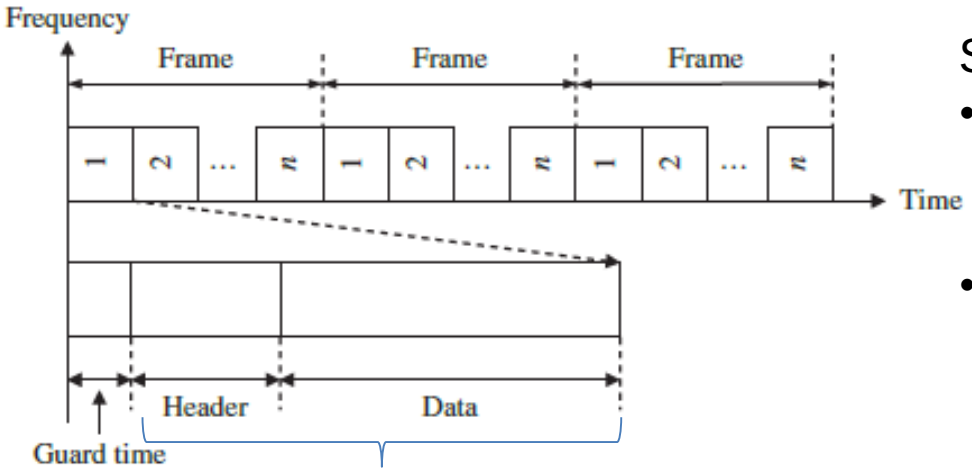


MAC protokoli sa statičkom alokacijom

- Raspoloživi resursi bežičnog medijuma se dodeljuju uređajima na duži vremenski period (reda minuta, sati, ili duže)
- Uređaj ima ekskluzivno pravo na deo resursa koji mu je dodeljen, bez straha od kolizije.
- Uređaji ne moraju da primenjuju nikakve mere zaštite od kolizija, niti da gube vreme i dodatne resurse radi nadmetanja sa drugim čvorovima.
- Mala fleksibilnost:
  - Resursi se moraju preraspodeliti nakon promene topologije mreže, isključenja uređaja, dodavanja novog uređaja i sl.
  - Uređaj zauzima dodeljen resurs i onda kad ga ne koristi
- Tri pristupa (u zavisnosti šta se deli, vreme, frekvencija ili kod): TDMA, FDAM i CDMA

TDMA

- TDMA (*Time Division Multiple Access*) - podeli podleže vreme
- Vreme se deli na cikluse fiksnog trajanja (tzv. frejmove), ili vremenske okvire),
- Svaki frejm na vremenske slotove fiksnog trajanja.
- Slotovi se dodeljuju mrežnim uređajima na ekskluzivno korišćenje
- Svaki uređaj može da šalje svoje podatke samo za vreme trajanja svog slota, što se dešava periodično, tj. jedanput tokom svakog frejma



Paket = zaglavlje + podaci

Slot:

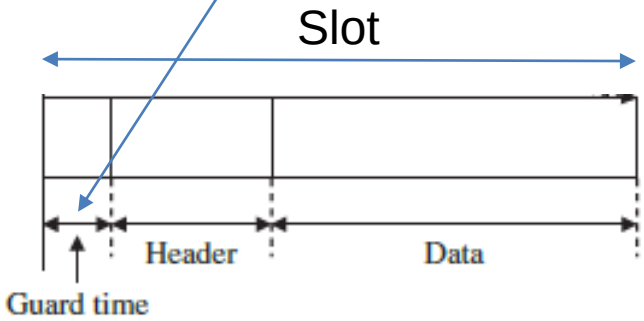
- Zaštitno kašnjenje (kompenzacija neidealne vremenske sinhronizacije), plus
- Vremenski interval dovoljan za prenos paketa maksimalne dužine

TDMA
- prednosti -

- *Garantovana propusnost*:
  - Svakom uređaju je dodeljen jedan fiksni deo ukupnog komunikacionog kapaciteta bežičnog kanala.
  - U nekim slučajevima, uređaji sa većim komunikacionim zahtevima mogu dobiju više slotova u frejmu.
- *Velika brzina prenosa podataka*:
  - U okviru svog slota, uređaj ima na raspolaganju celokupan frekventni opseg (a ne samo jedan uži frekventni kanal, kao kod FDMA). Širi frekventni opseg znači mogućnost prenosa podataka većom brzinom.
- *Predvidljivost komunikacije*.
  - Tačno se zna u kom trenutku emituje svaki uređaj
- *Smanjena interferencija*.
  - Mala mogućnost interferencije istovremenih transmisija različitih uređaja (jer svako emituju u svom slotu).
- *Energetska efikasnost*
  - Mogućnost da uređaj isključi RF transmiter u slotovima koji ne pripadaju njegovim neposrednim susedima (koji nisu u radio dometu).

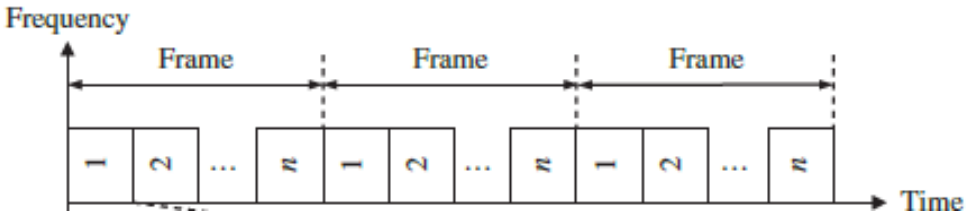
TDMA
- nedostaci -

- *Sinhronizacija*: neophodna precizna vremenska sinhronizacija uređaja, da bi se izbeglo preklapanje slotova dodeljenih susednim uređajima.
  - Svaki čvor odmerava slotove lokalnim časovnikom
  - Lokalne časovnike uređaja je neophodno usaglasiti – sinhronizovati
  - Ne postoji idealna sinhronizacija
  - Da bi se kompenzovala „razdešenost“ lokalnih časovnika => zaštitno kašnjenje na početku slota
  - Zaštitno kašnjenje troši vreme slota
  - Preciznu sinhronizaciju je lakše ostvariti u „zvezdi“ nego u „rešetki“
- *Neracionalno korišćenje komunikacionog kapaciteta*.
  - Kada uređaj ne koristi svoj dodeljeni vremenski slot, taj deo vremena ostaje neiskorišćen (ne može se dodeliti nekom drugom uređaju, koji trenutno ima povećanu potrebu za komunikacijom)



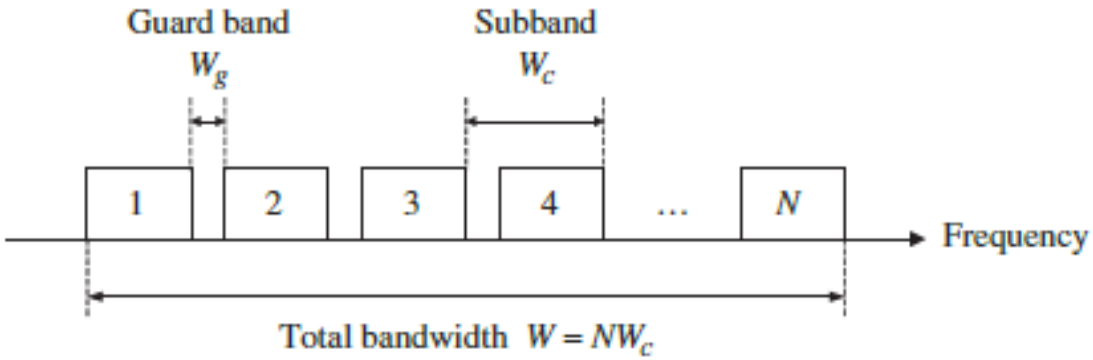
TDMA
- nedostaci -

- *Velika latencija*
  - Uređaj mora da sačeka svoj slot da bi počeo emitovanje.
  - Vreme prenosa poruke ne uključuje samo vreme koje je potrebno za emitovanje poruke, već i vreme čekanja na početak slota
  - U proseku, vreme čekanja jednako je polovini trajanja frejma, što može biti prilično dug interval
- *Slabije performanse sa povećanim brojem korisnika* (uređaja)
  - Veći broj uređaja => veći broj vremenskih slotova u frejmu
  - Manji komunikacioni kapacitet po uređaju
  - Manja efikasnost:
    - Veći broj slotova u frejmu => slotovi su kraći, režijski troškovi po slotu ostaju isti => manje vremena za prenos podataka
  - Režijski troškovi obuhvataju: zaštitno kašnjenje i prenos zaglavlja paketa.



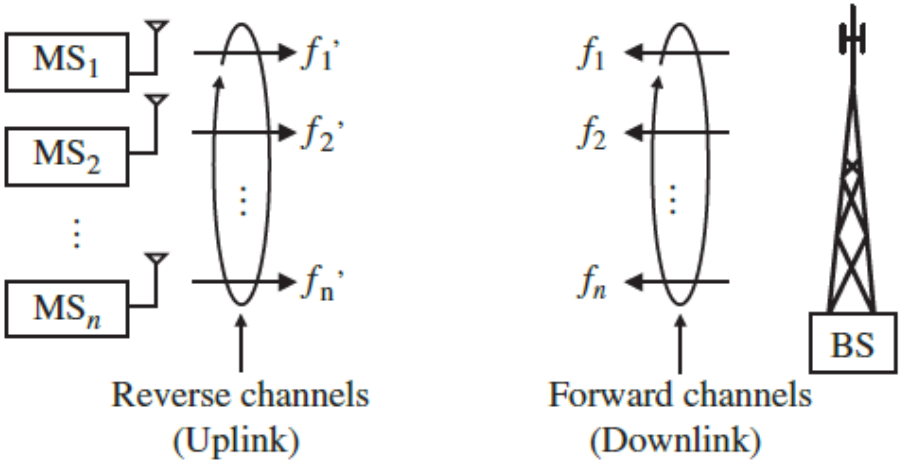
FDMA

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) - raspoloživ frekventni opseg se deli na podopsege (frekventne kanale) koji se dodeljuju uređajima, tako da svaki uređaj dobija frekvenciju na kojoj ima ekskluzivno pravo emitovanja.
- Dodela je fiksna i uređaji zadržavaju dodeljene frekventne kanale tokom vremena.
- Zaštitni opseg (*guard band*): kako bi se minimizirala interferencija između susednih kanala.



FDMA
- primeri -

- *Analogne radio-difuzne mreže*, gde različite radio/TV stanice koriste različite frekventne kanale (FM, AM radio, TV)
- *Celularne mreže*: za komunikaciju između svakog mobilnog uređaja i baze stanice koriste se dva frekventna kanala, jedan na kome uređaj emituje dok bazna stanica prima podatke (*uplink*), i drugi za komunikaciju u suprotnom smeru (*downlink*).
- Koristi se i kod većine WPAN i WLAN mreža, ali sa drugačijom svrhom:
  - Umesto da se pojedinačni kanali dodeljuju uređajima, celokupna mreža (svi uređaji u mreži) rade na istom kanalu, koji se bira na način da se minimizuje interferencija sa drugim mrežama u okolini koji koriste taj isti frekventni opseg.



FDMA
- prednosti -

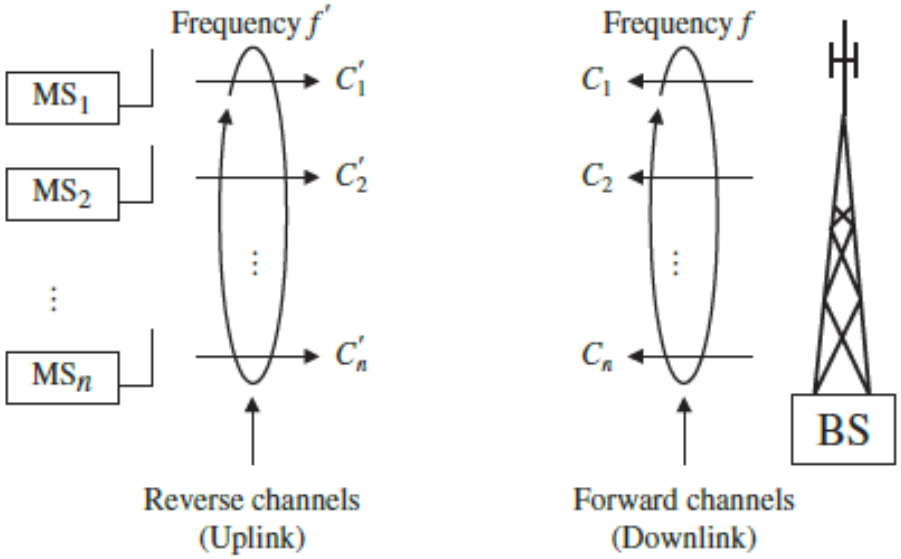
- Prednosti u odnosu na TDMA:
  - **Manje kašnjenje u prenosu podataka**, jer čvor ne mora da čeka na svoj slot da bi počeo prenos - može da emituje svoje podatke „kad god poželi“.
  - **Jednostavnija implementacija**,
    - čvor (mobilni uređaj) ne mora da vodi računa o protoku vremena i striktnoj vremenskoj sinhronizaciji; dovoljno je da podesi svoj predajnik na frekvenciju dodeljenog kanala.
    - Međutim, smanjena složenost uređaja se ovde postiže na račun veće složenosti bazne stanice - mora biti u mogućnosti da istovremeno prima/emituje na različitim frekventnim kanalima.

FDMA
- nedostaci -

- Rad na više frekvencija zahteva preciznu frekventnu sinhronizaciju, upotrebu selektivnih uskopojasnih filtera i primopredajnika koji imaju sposobnost biranja frekvencije emitovanja/prijema – viša cena.
- Ostali nedostaci FDMA su, uglavnom, isti oni od kojih pati i TDMA:
  - Otežano dodavanje novih korisnika ili uređaja bez promene tekuće alokacije frekventnih kanala,
  - Pad komunikacionog kapaciteta sistema sa povećanjem broja korisnika, i
  - Dodeljeni frekventni kanali su zauzeti i kada nema aktivne komunikacije, što može rezultirati neefikasnim korišćenjem resursa.
- Za razliku od TDMA gde uređaju može relativno lako da se dodeli više vremenskih slotova, kod FDMA mogućnost dodele više frekventnih kanala istom uređaju može značajno povećati složenost sistema.

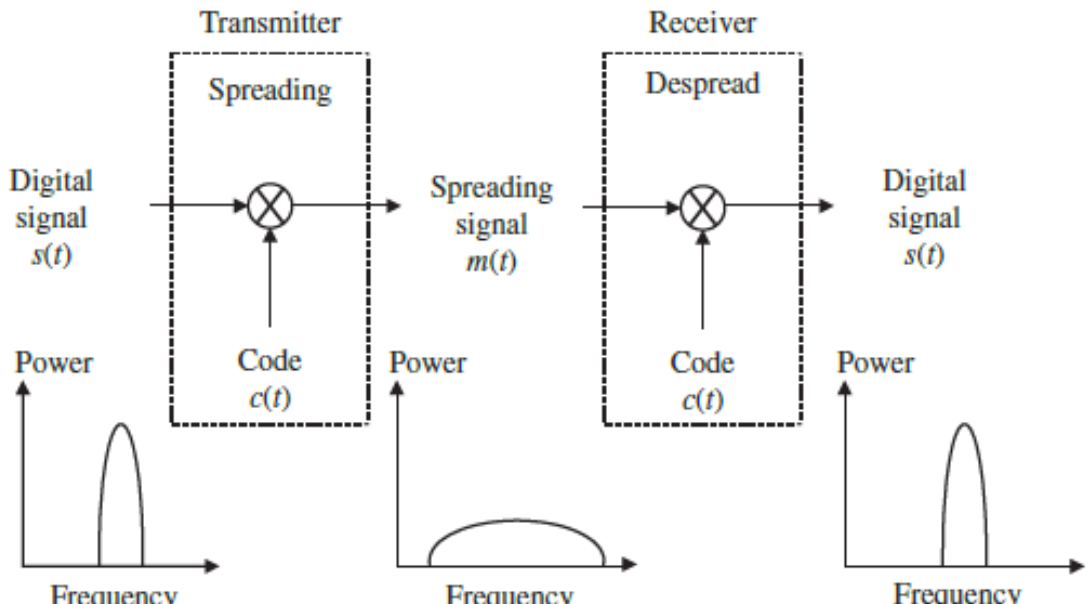
CDMA

- CDMA (*Code Division Multiple Access*) –tehnika pristupa medijumu koja omogućava bežičnim uređajima da **istovremeno** koriste **isti frekventni opseg**, koristeći različite kôdne sekvence.
- Na predajnoj strani, izvorna bit-sekvenca se „množi“ pseudo-slučajnom bit-sekvencom značajno veće frekvencije (kôd), čijim se emitovanjem zauzima značajno širi propusni opseg nego što je to neophodno.
- Na prijemu, izvorni podatak se regeneriše množenjem primljenog signala odgovarajućom kôdnom sekvencom.



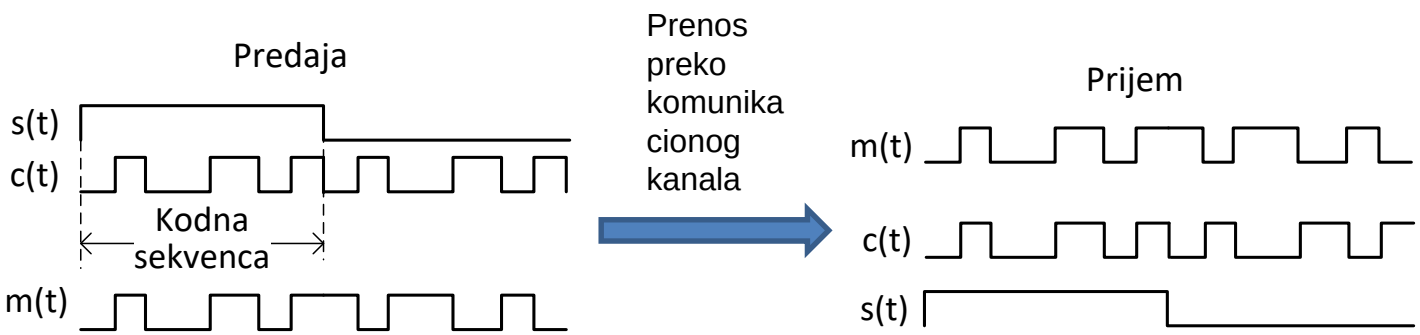
CDMA
- prošireni spektar -

- *Spread spectrum* (prošireni spektar) - modulisani signal zauzima veći propusni opseg nego što je to neophodno
  - $s(t)$: informacija koja se šalje (sekvenca bita)
  - $c(t)$: kodni signal (takođe sekvenca bita, ali više frekvencije – u jedan bit iz $s(t)$ „stane“ više (mnogo) bita iz $c(t)$.
  - $m(t) = s(t) \otimes c(t)$: signal koji se prenosi. Njegov spektar je značajno širi od spektra signala $s(t)$
  - $s(t) = m(t) \otimes c(t)$: osobina operatora $\otimes$ je ta da „množenjem“ primljenog $m(t)$ sa $c(t)$ koji je korišćen na predaji dobijemo $s(t)$



CDMA
- direktna sekvenca -

- Proširenje spektra direktnom sekvencom (DSSS – *direct sequence spread spectrum*):
  - Za $c(t)$ koriste se pseudo-slučajne „ortogonalne“ bit-sekvence
  - Operator $\otimes$ je logička XNOR (ili XOR) operacija

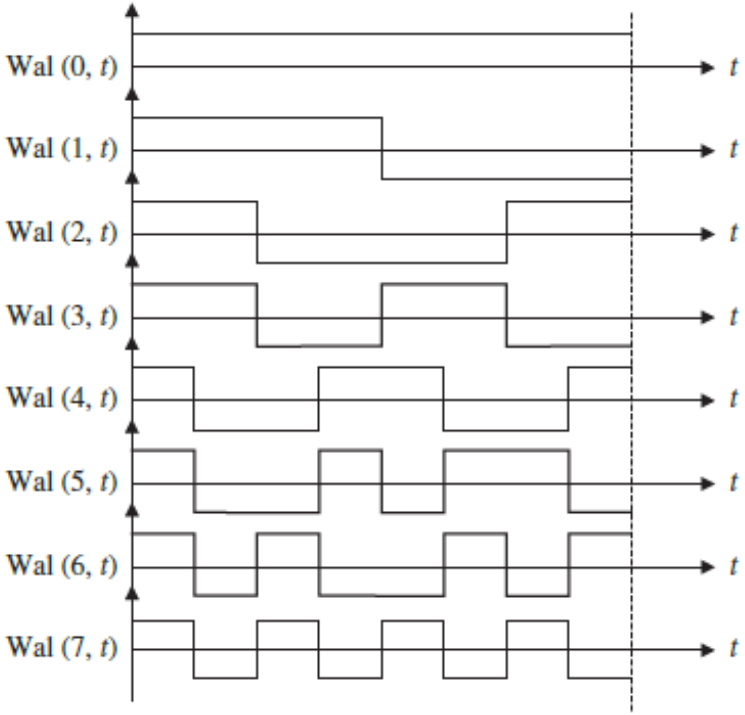


- Poenta je ovde da ovo „radi“ i kada se u komunikacionom kanalu pomeša više signala $m(t)$, svaki generisan različitim kodom $c(t)$
- Ali, samo pod uslovom ako su kodne sekvence međusobno „ortogonalne“

CDMA
- direktna sekvenca -

- Skup binarnih sekvenci je ortogonalan ako je kros-korelacija bilo koje dve sekvence iz skupa jednaka 0
- Volšov kod
- Kros-korelacija: množenje (po bitovima) dve sekvence aritmetičkim sabiranjem rezultujućih vrednosti
- Ako npr. pomnožimo sekvence
  - 3: (1, 1, -1,-1, 1, 1,-1,-1) i
  - 5: (1,-1,-1, 1,-1, 1, 1,-1), dobićemo sekvencu:
  - (1,-1, 1,-1,-1, 1,-1, 1), u kojoj zbir svih 1 i -1 daje 0
- Ovo važi za svaki par sekvenci
- Kros-korelacija sekvence sa samom sobom je 8

8-bitni Volšov kod:
8 8-bitnih sekvenci



Umesto 0 i 1, za ovu vrstu sekvenci se koristi 1 i -1

CDMA
- direktna sekvenca -

- Kako se konstruiše skup Volšovih sekvenci?

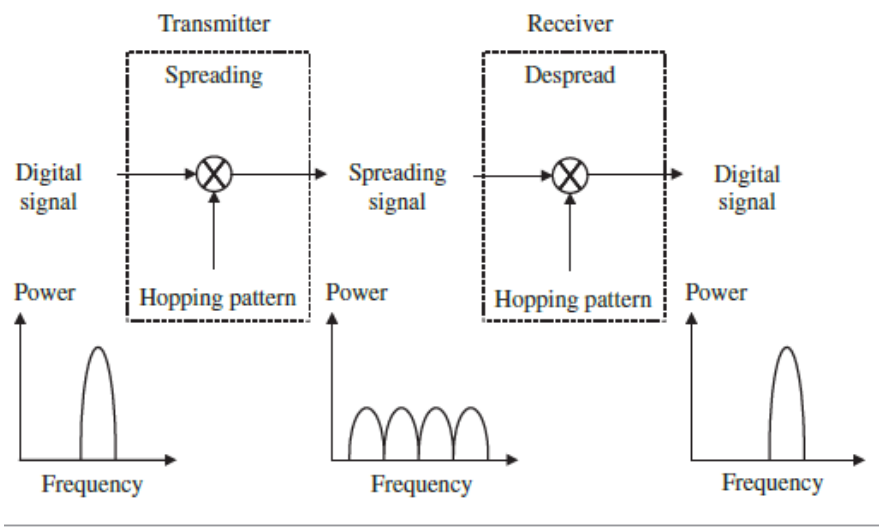
$$H\left(2^1\right) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

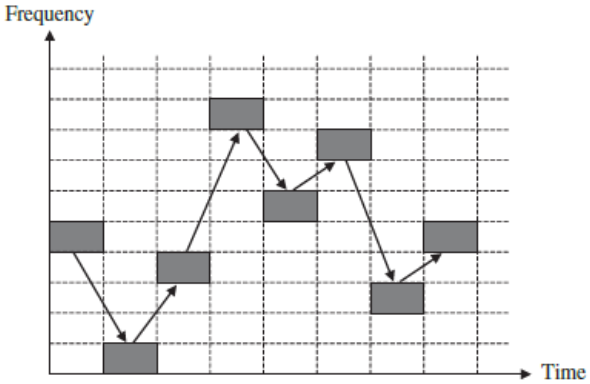
$$H\left(2^k\right) = \begin{bmatrix} H\left(2^{k-1}\right) & H\left(2^{k-1}\right) \\ H\left(2^{k-1}\right) & -H\left(2^{k-1}\right) \end{bmatrix}$$

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

CDMA
- frekventno skakanje -

- Proširenje spektra frekventnim skakanjem (FHSS – *Frequency hopping spread spectrum*): upotreba pseudo-slučajne sekvence za promenu frekvencije signala koji se emituje
- Kodna sekvenca: niz celih brojeva (poput 0,3,4,6,2,1,5,7) gde svaki broj predstavlja redni broj frekventnog kanala iz šireg frekventnog opsega
- Predajnik emituje signal na kanalu 0, zatim na kanalu 3, zatim 4 itd.
- Prijemnik koristi istu sekvencu kako bi menjao prijemni kanal u sinhronizmu sa predajnikom
- Višestruki pristup je omogućen ako svi istovremeni predajnici koriste različite i ortogonalne sekvence (ne sudaraju se)
- *Brzo skakanje*: frekvencija emitovanja se menja više puta tokom svakog bit-intervala
- *Sporo skakanje*: emitovanje na istoj frekvenciji obuhvata više bit-intervala



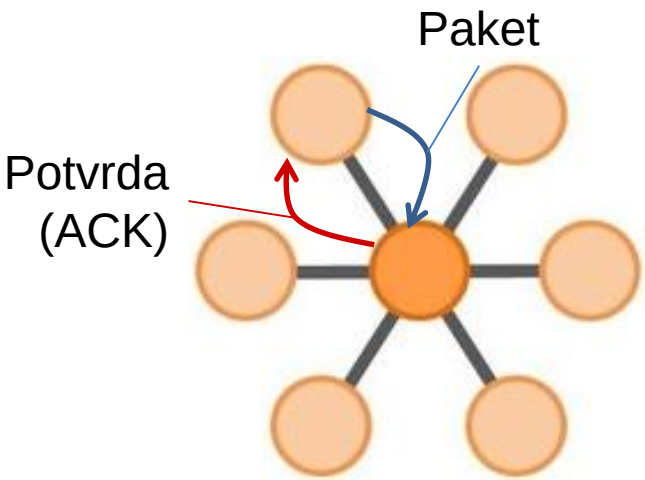


MAC protokoli sa nadmetanjem

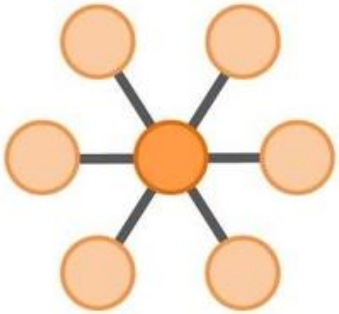
- *Contention-based MAC*: MAC za dinamičku kontrolu pristupa medijumu
- Uređaji međusobno nadmeću da bi se izborili za pravo pristupa zajedničkom bežičnog medijuma (ne postoji fiksna raspodela resursa - niko ništa unapred nije dobio)
- Takmičenje za pristup može biti:
  - Implicitno (*random access protocols*): uređaj nasumično bira vreme slanja svojih podataka
  - Eksplicitno (*collision resolution protocols*): uređaji prolaze kroz proceduru međusobnog nadmetanja i samo pobednik stiče pravo da pošalje svoje podatke.
- Efikasni u uslovima promenljivog opterećenja u mreži (uređaji su veći deo vremena neaktivni, a tek povremeno imaju potrebu za komunikacijom)

ALOHA

- Za mreže zvezdaste topologije
- Implicitno (*random access protocols*) nadmetanje
- Uređaj koji želi da pošalje paket to čini odmah, bez odlaganja.
- Nakon uspešnog prijema paketa, centralni uređaj šalje odmah potvrdu pošiljaocu.
- Ukoliko se paket ne potvrdi, predajni uređaj pretpostavlja da je došlo do kolizije; povlači na nasumično odabrano vreme i ponovo šalje (retransmituje) isti paket

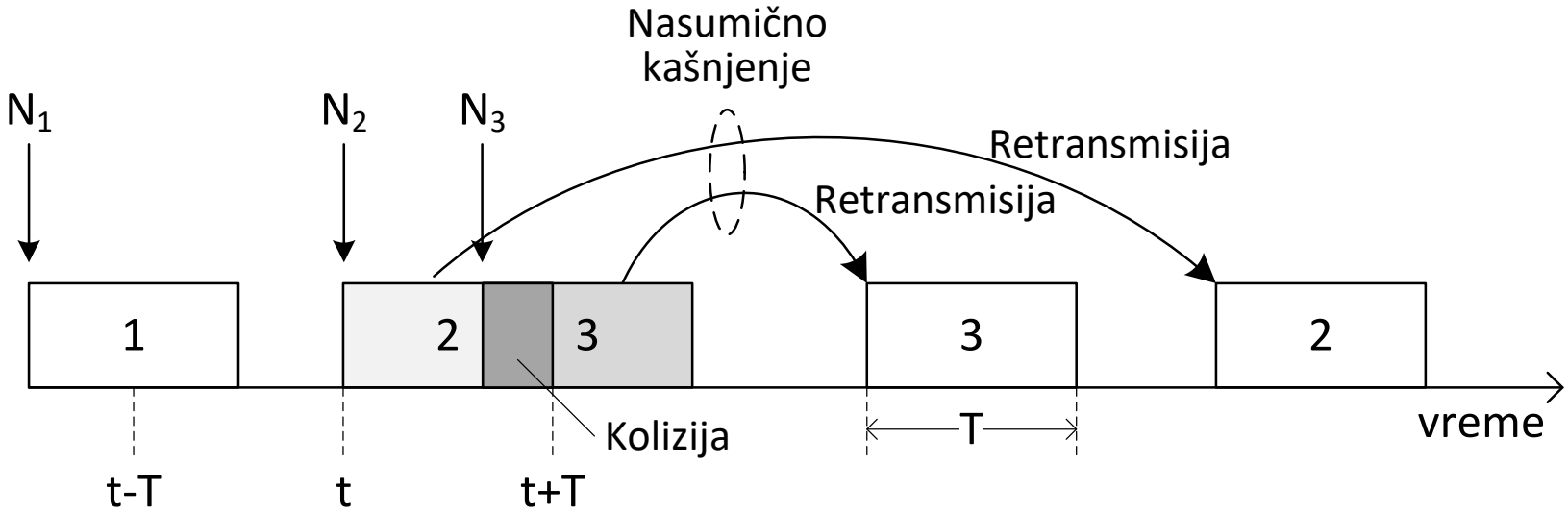


ALOHA



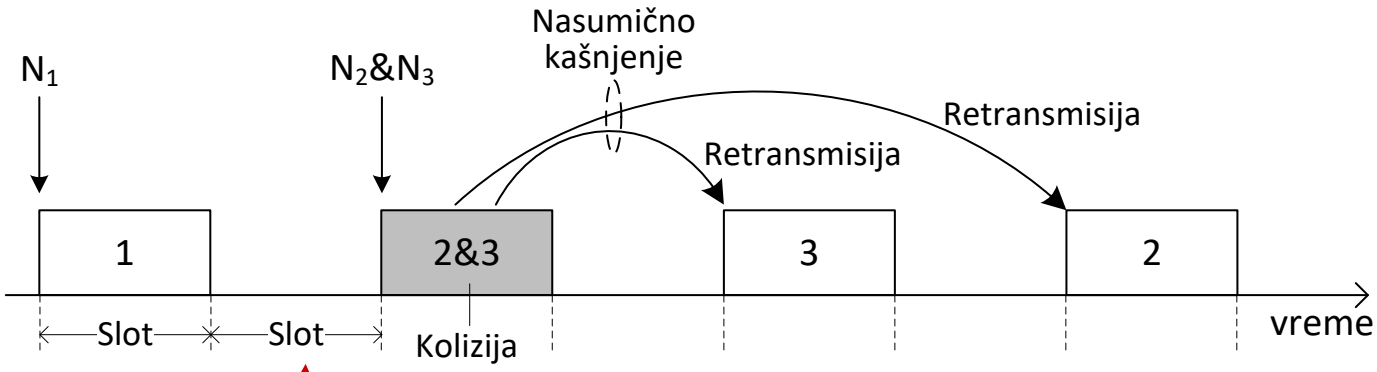
- T: vreme trajanja emitovanja paketa
- t: vreme početka emitovanja paketa 2
- [t-T, t+T] – interval ranjivosti paketa 2 (ako neki drugi uređaj počne emitovanje svog paketa tokom ovog intervala, nastaje kolizija)

Kolizija paketa 2 i 3; zbog toga
Uređaji N_2 i N_3 nisu primili potvrde
Oba pokušavaju ponovo nakon nasumično izabrane pauze



ALOHA
- *Slotted* ALOHA -

- Vreme je podeljeno na vremenske slotove, čije je trajanje dovoljno za prenos jednog paketa.
- Početak emitovanja paketa je uvek sinhronizovan sa početkom slota (uređaj ne počinje odmah da emituje paket, već čeka na početak prvog sledećeg slota)
- Interval ranjivosti je smanjen na T (u odnosu na 2T kod „čiste“ ALOHA-e

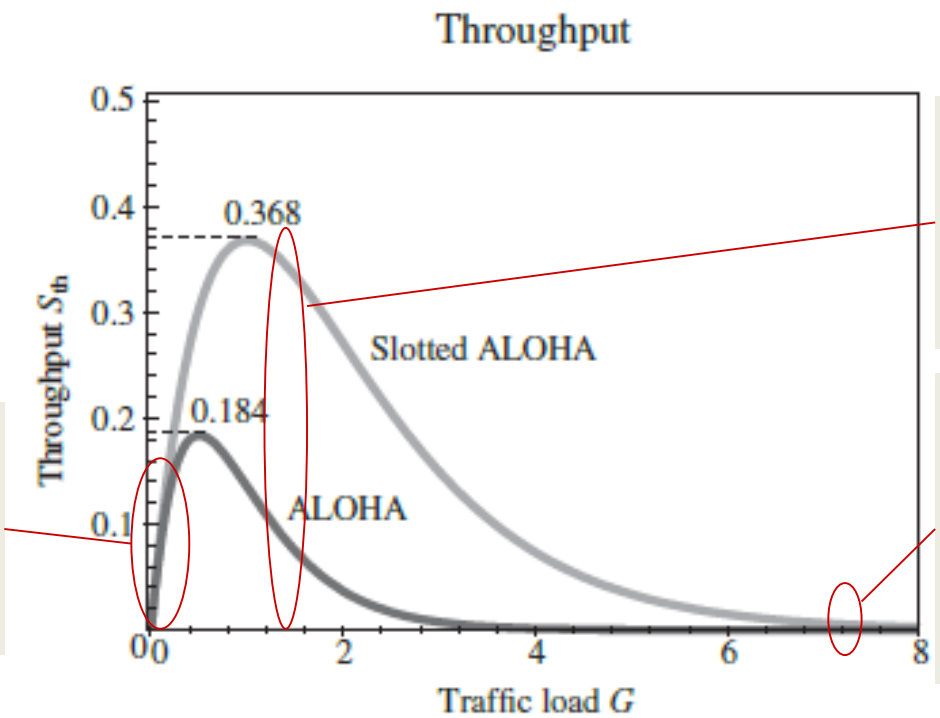


Paketi 2 i 3 su kreirani u nekom trenutku tokom ovog slota (zato je interval ranjivosti = T)

Kraći interval ranjivosti => manja šansa za koliziju => više performanse

Pure ALOHA vs Slotted ALOHA

- Zavisnost propusnosti od ponuđenog saobraćaja:
- *Ponuđeni saobraća* (G): brzina generisanja paketa – broj paketa koji se generiše u celokupnoj mreži u vremenu prenosa jednog paketa, T.
- Propusnost (throughput): koliko paketa primi centralni uređaj tokom vremena T
  - Propusnost = 1 – celokupno vreme je ispunjeno uspešnim prenosima (nema kolizija)
  - Propusnost = 0.184 – tokom vremena T centralni čvor primi u proseku 0.184 paketa (ili, 18.4% vremena je ispunjeno uspešnim prenosima)

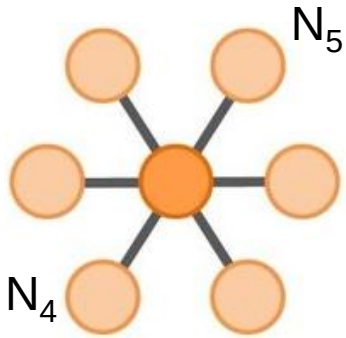


Za veliko G, kolizije su česte. Veći deo vremena se koristi za retransmisije

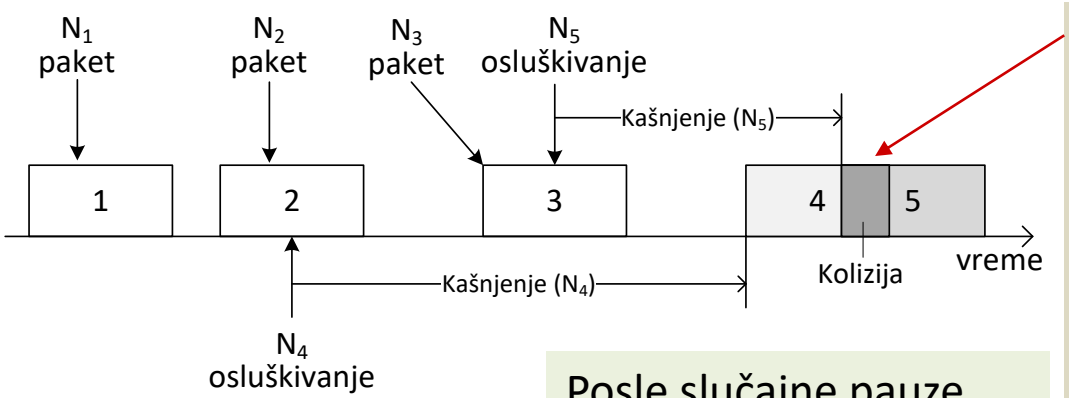
Za malo G, paketi su retki, nema kolizija, propusnost linearno raste

Za još veće G, propusnost pada na 0; svo raspoloživo vreme se „baca“ na retransmisije

CSAM



- CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*):
- Eksplicitno (*collision resolution protocols*)
- Pokušaj da se kolizije preduprede osluškivanjem medijuma
  - Pre emitovanja paketa, uređaj osluškuju bežični medijum
  - Ukoliko medijum nije slobodan, jer neki drugi uređaj trenutno emituje svoje podatke, uređaj se povlači na slučajno odabrano vreme, a zatim ponovo pokušava.



N_4 odustaje od transmisije jer neko drugi već emituje

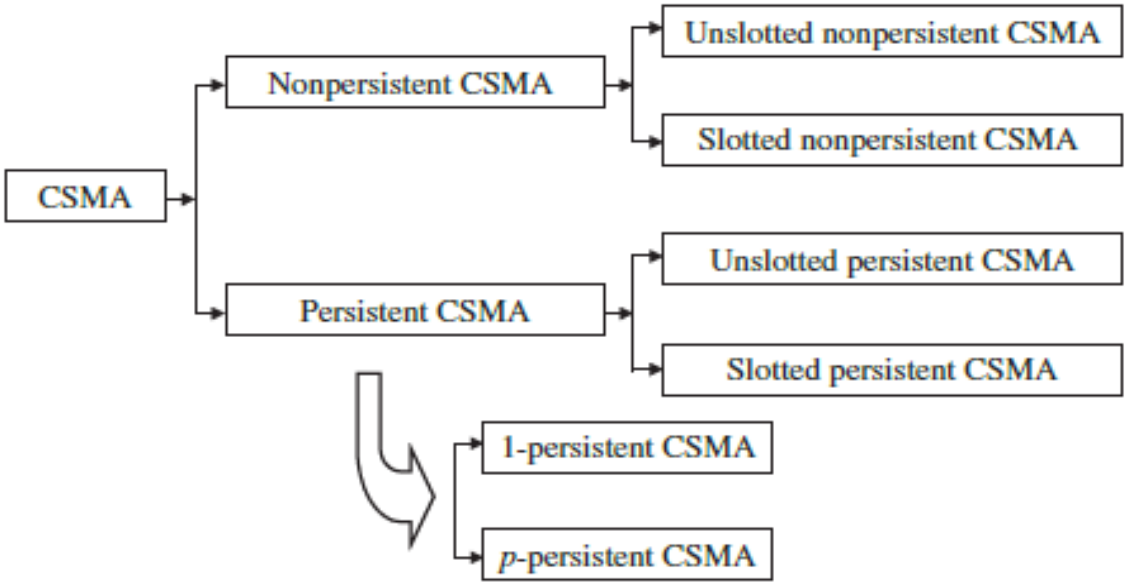
Posle slučajne pauze, N_4 ponovo pokušava. Medijum je sada slobodan i N_4 počinje prenos

N_5 se ponaša isto kao N_4
Ali, zašto se desila kolizija?
Zar N_5 nije pre slanja osluškivao medijum?
Dva moguća razloga:

- N_4 i N_5 nisu jedan drugom u radio dometu
- Propagaciono kašnjenje: N_4 je počeo sa emitovanjem, ali radio talas još uvek nije stigao do N_5 u trenutku osluškivanja

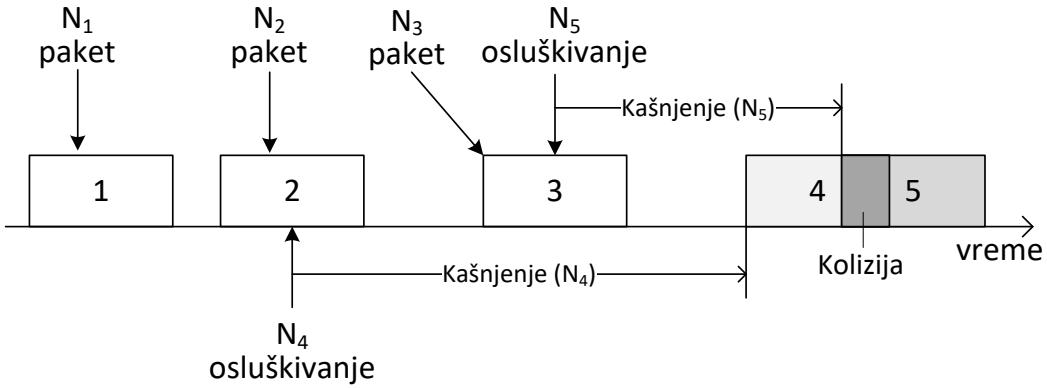
CSMA
- klasifikacija -

- *Persistent/Nonpersistent* – da li se medijum neprekidno osluškuje dok ne postane slobodan, ili se osluškuje u diskretnim vremenskim trenucima
- *Slotted/Unslotted* – da li je vreme podeljeno na slotove
- Prethodno opisani CSMA je zapravo „ Nonpersistent-Unslotted“



Neperzistentni CSMA

- Uređaj koji ima paket za slanje osluškuje medijum i ako je medijum zauzet odustaje od slanja i pravi pauzu slučajnog trajanja pre ponovnog osluškivanja medijuma.
- „Neperzistentan“ se odnosi na osobinu protokola da ne istrajava u osluškivanju čekajući da se završi tekuća transmisija, već, ako je medijum zauzet, prekida osluškivanje i pravi pauzu.
- Ovakva strategija omogućava uređaju da tokom ove pauze isključi svoj RF transiver i tako uštedi energiju.
- Dve podvarijante neperzistentnog CSMA:
  - *Slotted* CSMA - vreme je podeljeno na vremenske slotove fiksnog trajanja i transmisija paketa može da počne samo na početku slota.
  - U*nslotted* CSMA, nema slotova i uređaj može da počne transmisiju u bilo kom trenutku.



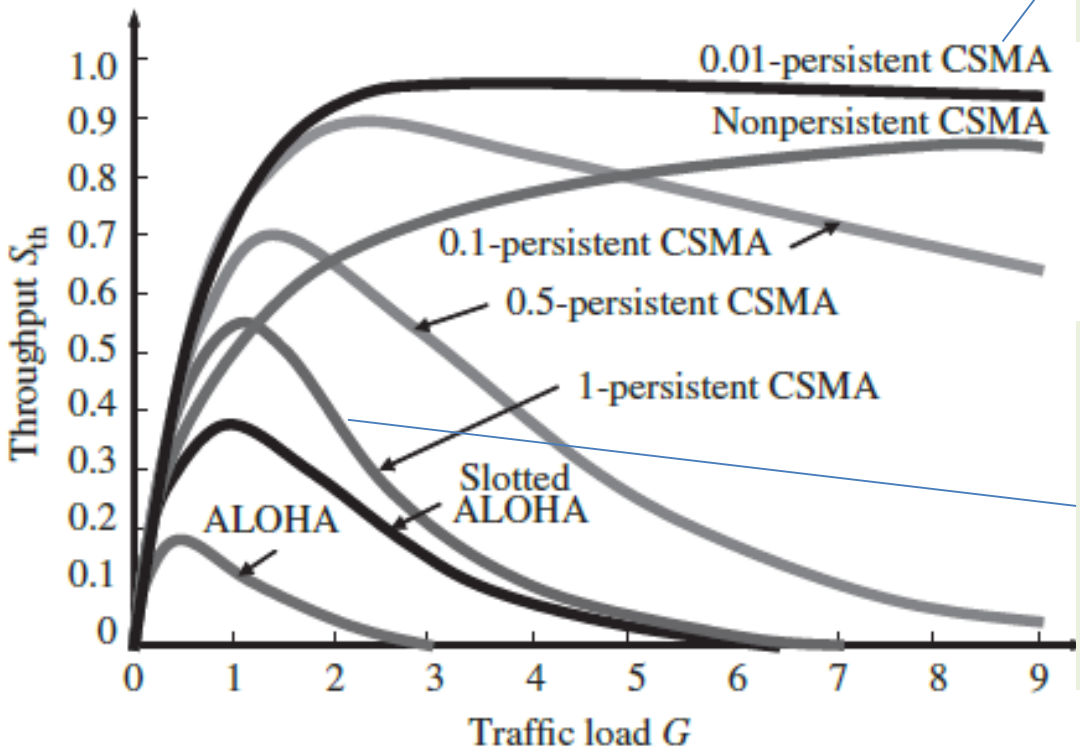
1-perzistentni CSMA

- Ako je medijum zauzet, uređaj nastavlja sa osluškujem i počinje emitovanje svog paketa odmah nakon što medijum postane slobodan.
- „1-Perzistentan“ znači da će uređaj početi transmisiju uvek, tj. sa verovatnoćom $p = 1$, kada primeti da je medijum slobodan
- Kolizija je neizbežna ukoliko dva ili više uređaja čeka oslobađanje medijuma, budući da će svi oni početi s transmisijom u istom trenutku kada se medijum oslobodi.

p-perzistentni CSMA (slotted varijanta)

- Vreme je podeljeno na slotove i transmisija može da počne samo na početku slota.
- Uređaj mora da osluškuje medijum pre slanja svog paketa.
- Ako je medijum zauzet, uređaj čeka na početak sledećeg slota i ponovo osluškuje medijum.
- Ako je medijum i dalje zauzet, uređaj pravi novu pauzu trajanja jednog slota i ponovo osluškuje medijum.
- Ako je na početku slota medijum slobodan, uređaj počinje transmisiju sa verovatnoćom p, odnosno odlaže transmisiju za sledeći slot sa verovatnoćom $1 - p$
- U sledećem slotu, ako je medijum slobodan, uređaj postupa na isti način – počinje transmisiju sa verovatnoćom p, ili je odlaže za sledeći slot, sa verovatnoćom $1 - p$
- Ako dođe do kolizije paketa, odnosno (uređaj nije primio potvrdu za poslati paket), uređaj se povlači na neko slučajno odabrano vreme, a onda ponavlja istu proceduru.
- Uzdržavanje od emitovanja otklanja većina kolizija koje nastaju kada dva ili više uređaja čeka na oslobađanje medijum.
- Što je p manje, to se može očekivati da će biti i manje kolizija
- Međutim, malo p dovodi do povećanja vremena čekanja paketa, zbog velike verovatnoće da će uređaj odložiti slanje paketa za sledeći slot.
- Ako je ponuđeni saobraćaj u mreži mali, biće čestih situacija kada samo jedan uređaj čeka na oslobađanje medijum i kada je odlaganje početka emitovanja čisto gubljenje vremena.

Poređenja ALOHA i CSMA protokola

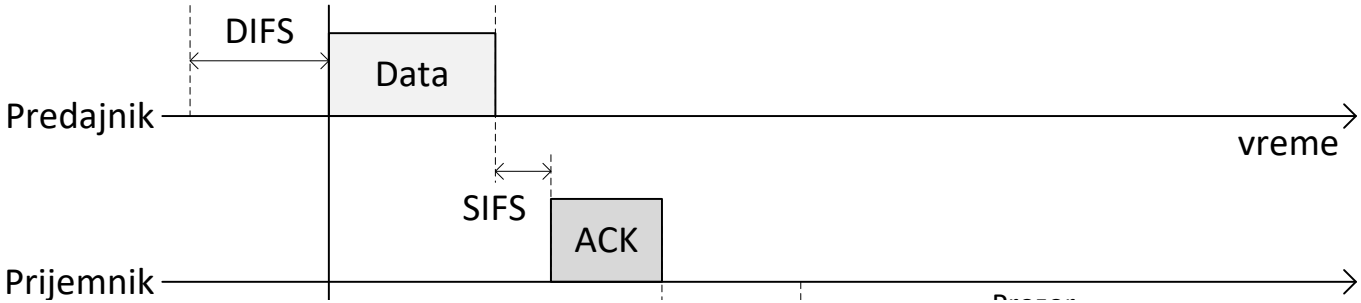


Najbolji, ali po cenu velikog kašnjenja paketa

Čak i 1-perzistentni CSMA je bolji od ALOHA (uzdržavanje od emitovanja ako je medijum zauzet)

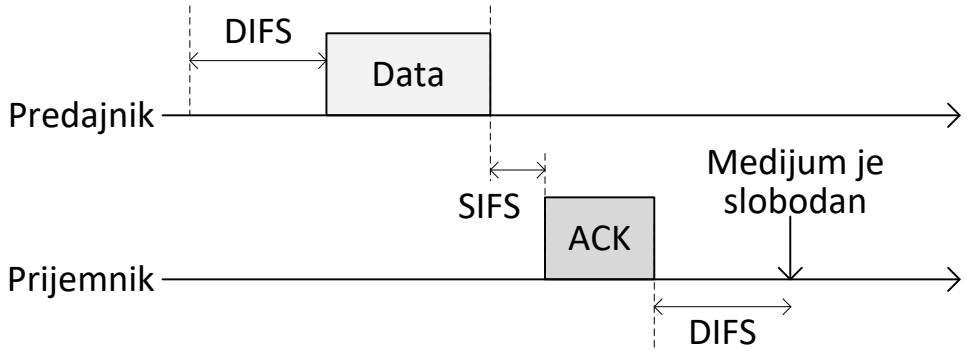
CSMA/CA

- CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*): delje poboljšanje performansi CSMA.
- „CA“ (*Collision Avoidance*): izbegavanje kolizija, što znači da ovaj protokol pokušava da, koliko god je to moguće, predupredi nastanak kolizija, umesto da sanira posledice kolizija
- Kako predajnik može da zna da je na strani prijemnika nastala kolizija?
  - Jedini način je da od prijemnika dobije potvrdu ispravnog prijema, ACK (*Acknowledgement*)
  - Dakle, na svaki ispravno primljen paket, prijemnik šalje ACK paket predajniku, ali ne odmah, već nakon kratkog kašnjenje u iznosu SIFS (reda *us*)
  - SIFS (*Short InterFrame Space*) – neophodno da bi predajnik imao dovoljno vremena da režim svog RF transivera promeni sa predaja na prijem



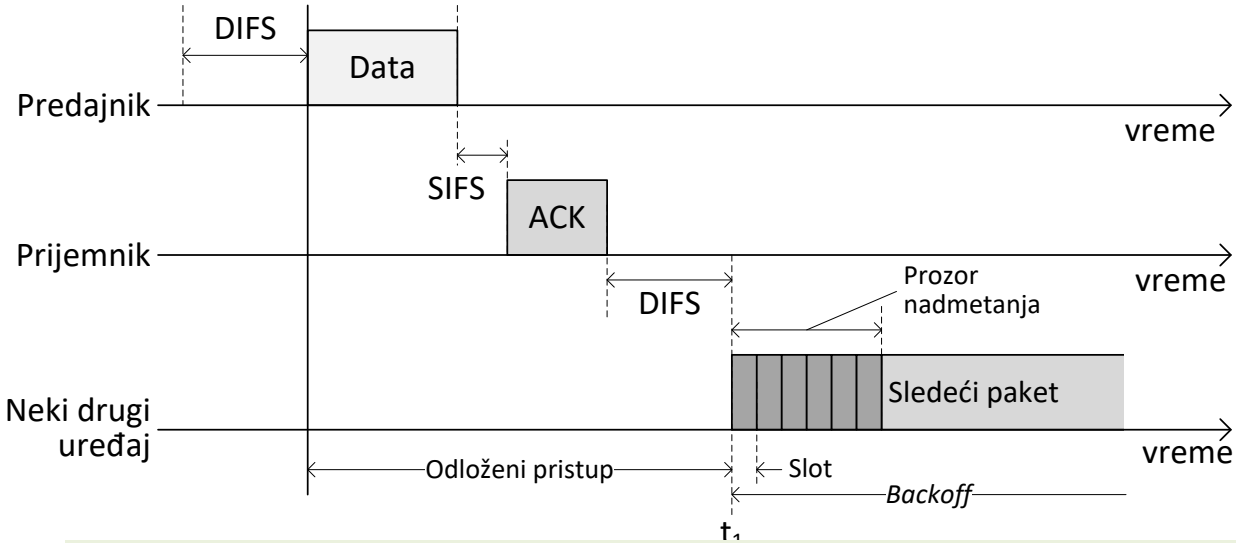
CSMA/CA

- Perzistentno osluškivanje medijuma
- Uslov za slobodan medijum: nije detektovana nikakva transmisija u vremenu DIFS
- DIFS (*Distributed Interframe Space*) bira se tako da važi $DIFS > SIFS$. Zašto?
  - Obezbeđenje da uređaj koji čeka na slobodan medijum neće početi svoju transmisiju pre nego što je prenet ACK paket za upravo završen prenos



CSMA/CA

- U trenutku t_1 (oslobađanje medijuma), počine tzv. prozor nadmetanja CW (*contention window*), koji se sastoji iz određenog broja kratkotrajnih vremenskih slotova fiksnog trajanja
- Uređaj nasumično bira redni broj CW slota u kome će započeti emitovanje i tim brojem inicijalizuje svoj *backoff* brojač
- Sa svakim proteklim slotom, *backoff* brojač odbrojava za 1 unazad
- Dok slotovi prolaze, uređaj neprekidno osluškuje medijum.
- Ukoliko detektuje transmisiju u medijumu:
  - Uređaj zaustavlja *backoff* brojača i
  - Odustaje od transmisije; čeka na oslobađanje medijuma, odnosno novi CW
  - U novom CW, backoff brojač nastavlja tamo gde je stao
- Kada stanje backoff brojača postane 0, uređaj emituje svoj paket podataka



U nadmetanju pobeđuje uređaj koji je izabrao najmanji backoff

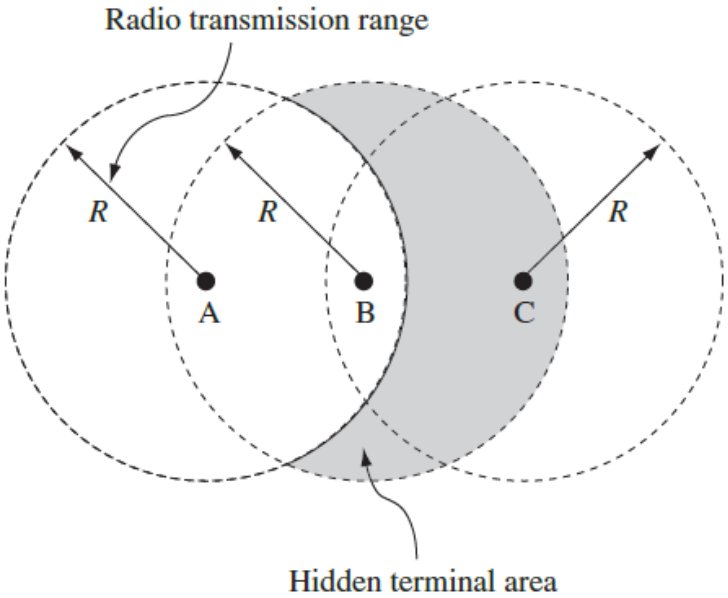
CSMA/CA

- Svaki čvor ima svoj CW, čije trajanje nije fiksno (u smislu broja slotova) već se dinamički menja.
- Podrazumevano, dužina CW je mala –nekoliko slotova.
- Nakon kolizije (izostanak ACK paketa), uređaj duplira dužinu svog CW, i nastavlja dupliranje sa svakom uzastopnom kolizijom.
- Dupliranje traje sve dok se ne dostigne maksimalno dopuštena dužina CW-a, koja se nakon toga više ne menja.
- Kada dobije ACK potvrdu za poslati paket, čvor vraća dužinu CW-a na podrazumevanu vrednost.
- Ovakav način rada se naziva *eksponencijalni backoff*.
- Opravdanje:
  - Pojava uzastopnih kolizija ukazuje da trenutno u mreži veći broj čvorova pokušava slanje, što zahteva duži prozor nadmetanja – smanjuje se verovatnoća da će dva čvora izabrati isti slot.
  - S druge strane, nije dobro da CW stalno bude dugačko, jer se tako prolongira početak emitovanja i usporava komunikacija, pa se zato CW vraća na početnu vrednost nakon uspešno prenetog paketa.

CSMA/CA sa RTS/CTS

- Problem skrivenih terminala (*hidden terminal problem*)
- Skriveni terminali su uređaji koji pripadaju istoj bežičnoj mreži, imaju zajedničke susede, ali se međusobno nalaze izvan dometa svojih radio signala.
- Osnovni CSMA/CA ne može da reši problem skrivenih terminala

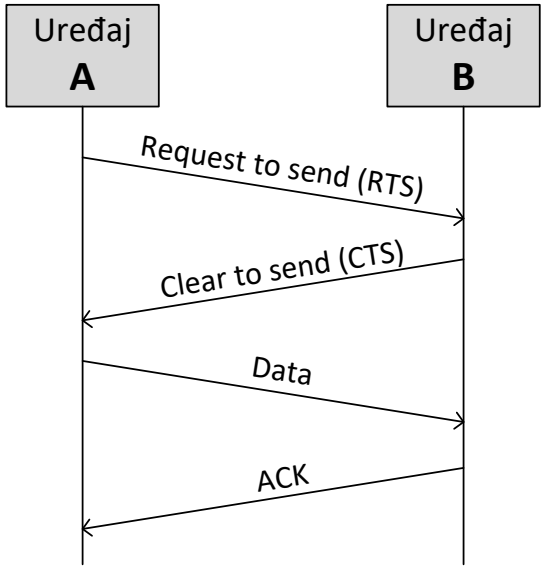
U odnosu na čvor B, C je skriven terminal čvora A i A je skriven terminal čvora C



- C šalje paket čvoru B
- A, takođe želi da pošalje paket čvoru B
- A osluškuje medijum
- Pošto ne detektuje nikakvu transmisiju, A počinje emitovanje,
- Ova transmisija izaziva koliziju sa transmisijom čvora C u tački čvora B

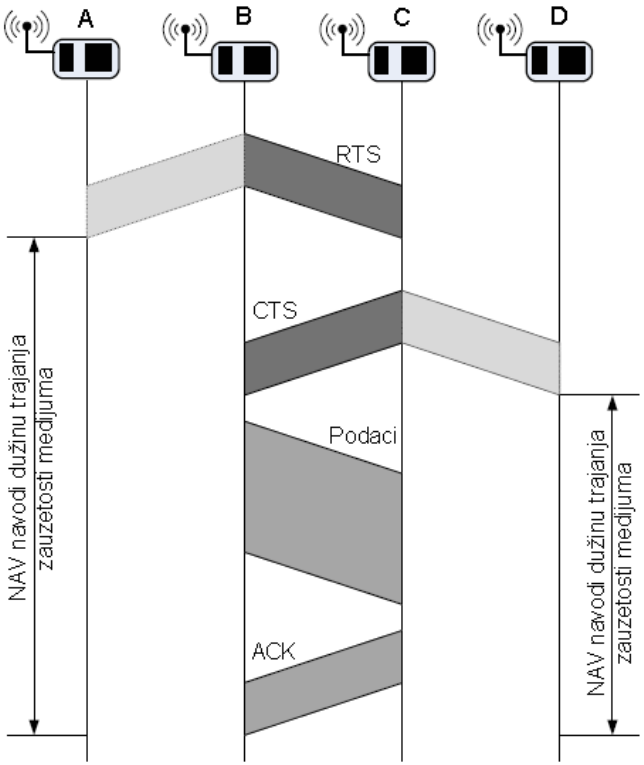
CSMA/CA sa RTS/CTS

- RTS/CTS (*request to send/clear to send*) procedura – rešenje problema skrivenih terminala
  - A šalje uređaju B kratak paket RTS (zahtev za slanje) kojim ga obaveštava o svojoj nameri da mu pošalje paket podataka.
  - Na primljeni RTS, uređaj B, ako je voljan da primi paket podataka, odgovara, takođe kratkim paketom CTS.
  - Uređaj A, po prijemu paketa CTS, šalje paket podataka uređaju B, a ovaj mu odgovara ACK paketom.
- CTS paket prima ne samo uređaj A kome je taj paket namenjen, veći i svi ostali uređaji koji su u radio dometu uređaja B, pa i skriveni terminali uređaja A
- Uređaj koji primi CTS, zna da sledi transmisija paketa podataka i zato se uzdržava od emitovanja



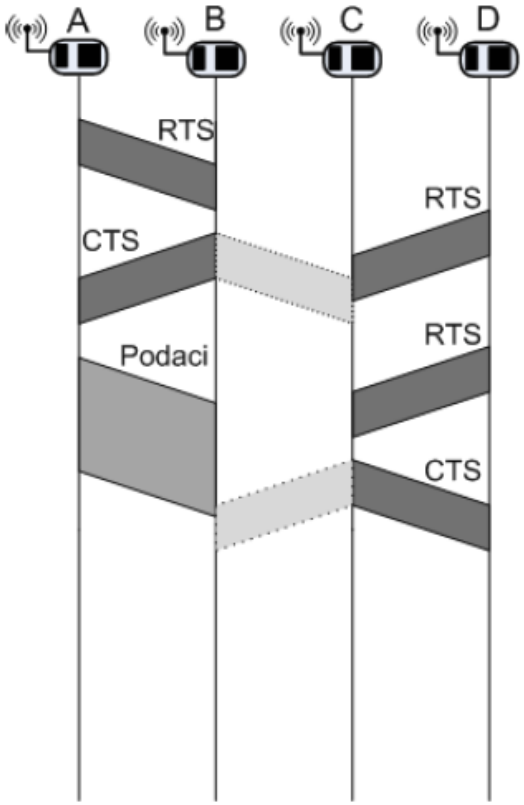
CSMA/CA sa RTS/CTS i NAV

- (NAV - *Network Allocation Vector*): virtuelno osluškivanje
- Kontrolni paketi RTS i CTS nose informaciju o trajanju predstojeće transmisije (paket podataka + ACK)
- Čvor, koji ne učestvuje u transmisiji, prijemom RTS/CTS paket saznaje trajanje transmisije i može da isključi svoj RF primopredajnik i ponovo ga uključi kad transmisija prođe.



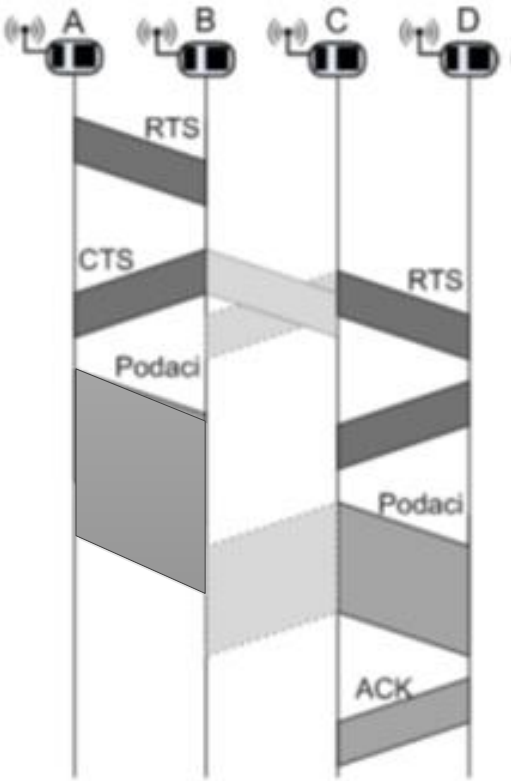
CSMA/CA sa RTS/CTS
- problemi -

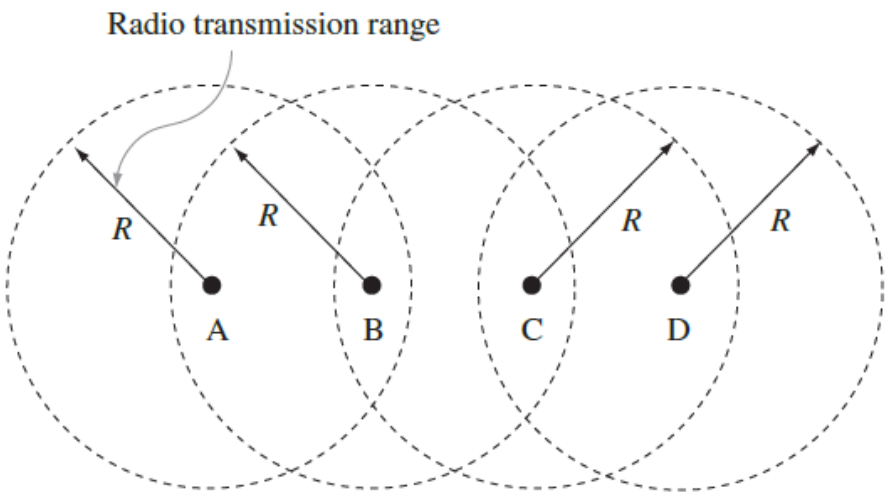
- Problem 1:
- Pratimo dve „RTS-CTS-Podaci-ACK“ transakcije, gde je jedna između uređaja A i B i druga između C i D
- Zbog kolizije sa B-ovim CTS, C ne čuje RTS koji mu šalje D, niti je dobio informaciju o predstojećoj transmisiji od A ka B
- D ponavlja slanje RTS za vreme dok je u toku transmisija od A ka B
- C prima ovaj RTS i odgovara CTS, što izaziva koliziju kod čvora B



CSMA/CA sa RTS/CTS
- problemi -

- Problem 2:
- Posledica polu-dupleks rada RF primopredajnika (RF primopredajnik može biti u režimu predaje ili prijema, ali ne i u oba režima u isto vreme).
- Dok uređaj C šalje RTS paket uređaju D, on neće biti u mogućnosti da primi CTS paket koji, u to isto vreme, uređaj B šalje uređaju A (kao što ni uređaj B neće primiti RTS paket koji uređaj C šalje uređaju D).
- Zbog toga, B i C nastavljaju svoje transakcije što dovodi do kolizije paketa u tački uređaja B.



CSMA/CA sa RTS/CTS
- problem izloženih terminala -

- CSMA/CA sa RTS/CTS procedurom, koji u velikoj meri otklanja problem skrivenih terminala, izaziva jedan novi problem, koji je poznat pod nazivom problem izloženih terminala (*exposed terminal problem*)
- Pretpostavimo da uređaj B namerava da pošalje paket podataka uređaju A i da mu zbog toga prvo šalje RTS paket.
- Ovaj paket ne prima samo A, kome je namenjen, već i svi čvorovi u dometu uređaja B, pa i uređaj C.
- Zbog toga će se C suzdržati od slanja podataka uređaju D, iako prenos između C i D ne bi smetao prijemu podataka kod uređaja A.
- Upravo ovo nepotrebno suzdržavanje od emitovanja predstavlja *problem izloženih terminala*.
- Nema kolizija i gubitka podataka, već se smanjuje protok podataka u mreži