

Zašto su antene toliko važne u Wi-Fi komunikacijama?

Da bismo dali odgovor na ovo pitanje, pre svega, moramo razlikovati dve vrste komunikacija: *jednosmerne* i *dvosmerne*.

Jednosmerne komunikacije (poznate i kao *broadcasting*) koriste se za emitovanje Radio i TV programa i u svim drugim slučajevima kada prenos informacija ide samo u jednom smeru - od pošiljaoca ka primaocu informacija.

Dvosmerne komunikacije su one u kojima su obe strane u vezi i pošiljaoci i primaoci informacija.

Za prvu vrstu komunikacija potrebno je obezbediti pokrivanje što većeg broja prijemnika informacije, pa se u tu svrhu koriste vrlo snažni predajni uređaji, antene velikog pojačanja i obično neusmerenog zračenja. Prijemna antena mora da zadovolji jedini kriterijum: da na određenom mestu prijema i sa osobinama datog prijemnika obezbedi dovoljnu jačinu prijemnog signala, odnosno da prijem bude takav da zadovolji neke unapred definisane norme.

Međutim, u slučaju dvosmerne komunikacije stvari se malo komplikuju.

U igri su dve antene, dva predajnika i dva prijemnika. Očigledno je da kombinovanjem njihovih karakteristika možemo dobiti veliki broj kombinacija, pa se postavlja pitanje koji su to kriterijumi po kojima ćemo odabrati optimalnu konfiguraciju. Drugim rečima, čemu jedan dvosmerni komunikacioni sistem treba da teži da bi se približio nekom optimalnom rešenju? Na nekoliko vrlo jednostavnih primera pokazaćemo u kom pravcu treba ići u potrazi za odgovorom na ovo pitanje.

Uzećemo uobičajeni slučaj dvosmerne komunikacije na 2.4GHz i to između jednog Access Point-a (AP) i jednog klijenta.

Za kvalitetnu dvosmernu vezu potrebno je da na obe strane bude obezbeđena dovoljna jačina prijemnog signala. Da bi se ovo ostvarilo za date uslove (rastojanje, snage oba predajnika i osetljivosti oba prijemnika), neophodno je postići **minimum ukupnog pojačanja antena, tj. potreban zbir decibela obe antene.**

Međutim, tu ima jedan mali problem. Obe tačke na kojima se nalaze uređaji za vezu, AP i klijent, nemaju istu namenu, pa se karakteristike njihovih pokrivanja razlikuju. AP ima tendenciju da pokrije što veći ugao i tako obezbedi vezu sa što većim brojem klijenata, često raštrkanih u svim pravcima, ponekad u svih 360 stepeni azimuta. Ovo je slično sa predajnikom kod jednosmernih komunikacija, ali se tu i završava svaka dalja sličnost između njih.

Sa druge strane, klijent ima potrebu da bude usmeren samo u AP sa kojim je u vezi. Njega ne samo da ne zanimaju veze sa drugim klijentima, već, naprotiv, on

od drugih klijenata može da trpi i smetnje, pa je bolje da ih je što manje u vidnom polju njegove antene.

Dakle, AP i klijent vrlo često mogu imati različite dijagrame antena, a time i pojačanja.

Primeri veze za različite antene i snage predajnika

Uzmimo najjednostavniji primer koji nam sugerise logika: **na obe strane imamo približno iste uređaje i antene.**

U svim primerima ćemo zadržati istu **efektivnu izračenu snagu** u odnosu na izotropni radijator ili skraćeno **EIRP**, koja predstavlja proizvod snage predajnika i pojačanja predajne antene u odnosu na izotropni radijator.

Recimo, za snagu od **P= 20 mW** i pojačanje antene od **Gi= 10 puta**, dobijamo da je **EIRP=P*Gi=20mW*10= 200 mW**, ili ako se računa u decibelima onda se decibeli sabiraju, pa je tada **efektivna izračena snaga** u decibelima **EIRP=Pt+Gt=13dBm+10dBi= 23 dBm**. Od ove vrednosti, tzv. *instalirane* snage, moramo oduzeti sve gubitke u kablovima, priključcima, itd.

Održavanje konstantnog EIRP-a AP-a je važno, jer to omogućava iste prijemne uslove svim klijentima, tako da možemo da vršimo poređenja pod istim uslovima.

EIRP kao proizvod snage i pojačanja antene može se održavati konstantnim i pored promene oba ova činioca, što nam je i cilj, jer želimo da pokažemo uticaj ovih činilaca na ukupan kvalitet veze. I pored toga što naizgled nema nikakve promene jer je EIRP AP-a ostao isti u svim slučajevima, međusobni odnos činilaca (snage predajnika i pojačanja antene) u EIRP-u kao njihovom proizvodu pokazaće ogroman uticaj na kvalitet veze.

Primer za isti EIRP, sa jednakim snagama i antenama na obe strane

Ako je frekvencija **f= 2400 MHz**, rastojanje između AP i klijenta **d= 1 km**, slabljenje u slobodnom prostoru je

$$L_s = 32.4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 32.4 + 67.6 + 0 = 100 \text{ dB.}$$

Uzeli smo da je snaga predajnika **Pt=13 dBm (20 mW)**, prag osetljivosti prijemnika **Np= -85 dBm**, gubici u kablovima po **1 dB** na svakoj strani **Lc=1+1= 2 dB** i pojačanje predajne i prijemne antene **Gt=Gr= 10 dBi**.

Proračunom dobijamo da je snaga prijemnog signala

$$Pr = Gt + Gr + Pt - Ls - Lc = 10 + 10 + 13 - 100 - 2 = -69 \text{ dBm,}$$

a odnos signal/šum

$$S/N = Pr - Np = -69 - (-85) = 16 \text{ dBm,}$$

što je taman dovoljno za obostranu vezu, jer je na obe strane ista situacija.

Primer za isti EIRP AP-a, ali sa većom snagom i slabijom antenom

Uzmimo sada primer da na strani AP-a stavimo za **10 dB** veću snagu predajnika, tj. **13dBm+10dB= 23 dBm (200 mW)**, a da smanjimo pojačanje antene za **10 dB**, tj. da koristimo neusmerenu antenu od **0 dBi** (izotropna antena).

Na strani klijenta se ništa neće promeniti, jer je **EIRP** AP-a ostao isti, tj. **10 dB** manje pojačanje antene AP-a kompenzovano **10 dB** većom snagom predajnika AP-a i **S/N** je ostao **16 dB**.

Međutim, u prijemniku AP-a, stvar stoji drugačije:

$$S/N = G_t + G_r + P_t - L_s - L_c - N_p = 10 + 0 + 13 - 100 - 2 - (-85) = 6 \text{ dB},$$

što je za **10 dB** slabije nego u prethodnom slučaju i već **ispod potrebne margine za vezu (S/N > 10 dB)**!

Dakle, klijent ima i dalje dobar signal, ali AP nema! Veza ne može da funkcioniše jer mora da bude dobra u oba smera!

Ovo nam pokazuje da se kod dvosmernih veza sa povećanjem snage predajnika *ne može* kompenzovati slaba antena, jer se javlja problem manjka zbira decibela u antenama i lošeg prijema signala od korespondenta!

Takva kompenzacija je moguća samo kod jednosmernih veza, i to se čini pomoću velikih i snažnih predajnika za radio i TV!

To i jeste, pored izvesnih sličnosti, glavna razlika između uobičajenih jednosmernih predajnika i dvosmernog AP-a! Odatle proizilaze i sve pogreške u načinu na koji se o AP-u razmišlja sa stanovišta njegovog optimalnog korišćenja u pokrivanju što većeg područja i ostvarivanju što kvalitetnije i pouzdanije veze sa klijentima!

Primer za isti EIRP AP-a, ali sa manjom snagom i većom antenom

Probajmo sada da kod AP-a umesto 10 puta veće snage stavimo **10 puta manju snagu** predajnika od one kod klijenta **P_t=13-10=3 dBm (2 mW)**, ali ujedno stavimo i **10 dB** veće pojačanje antene u odnosu na onu kod klijenta **G_t=10+10=20 dBi**.

Klijent opet ima istu situaciju, jer je **EIRP** AP-a ostao isti, pošto je **10 dB** manja snaga predajnika zamenjena **10 dB** jačom antenom:

$$S/N = G_t + G_r + P_t - L_s - L_c - N_p = 20 + 10 + 3 - 100 - 2 - (-85) = 16 \text{ dB}.$$

Međutim, kod AP-a se prijemni signal popravio:

$$S/N = G_t + G_r + P_t - L_s - L_c - N_p = 10 + 20 + 13 - 100 - 2 - (-85) = 26 \text{ dB}.$$

Dakle, veza je opet moguća!

I ne samo to, nego je čak na strani AP-a ostvarena rezerva od **10 dB** za slučaj da se pojavi neki slabiji klijent, povećani šum i smetnje ili dodatno slabljenje signala usled atmosferskih i drugih uslova na trasi!

Dakle, kod dvosmernih veza jačom antenom se može kompenzovati manja snaga, jer ostaje ispunjen uslov da za uspešnu vezu sa datim uređajima

mora da postoji minimalno ukupno potrebno pojačanje antena, odnosno minimalno potreban zbir decibela u antenama.

Statistički gledano, dvosmerna veza je onoliko dobra koliko je velika rezerva u decibelima na onoj strani koja ima lošiji odnos signala i šuma.

Dakle, slabija strana određuje ukupan kvalitet i pouzdanost veze!

Nema nikakve koristi da signal AP-a kod klijenta dolazi sa velikom snagom (rezervom decibela), ako je istovremeno klijentov signal kod AP-a slab i ima malu rezervu decibela za dobar prijem. Isto važi i obrnuto.

Iz datih primera se mogu izvući neki korisni zaključci

Ako su uređaji, tj. snage predajnika i osetljivosti prijemnika približno isti na obe strane, a prostiranje je praktično najčešće bilateralno, onda bi i pojačanja antena trebalo da budu približno ista. Kao što je već rečeno, za uspešnu vezu mora da postoji minimalno ukupno potrebno pojačanje antena, pa je **najjednostavnije da obe stanice u vezi podele taj broj i imaju približno jednake antene. Time postizemo optimalnu situaciju da su nam na obe strane prijemni signali približnog istog kvaliteta.**

Ali ako dve strane nemaju približno jednake antene, da bi veza bila moguća, jedna od njih mora većim pojačanjem svoje antene da kompenzuje manjak pojačanja one druge! Osim toga, kao što smo već videli u računskim primerima, i nedostatak snage predajnika može da se kompenzuje većim pojačanjem antena.

Decibeli dobijeni iz antena su univerzalni i oni mogu da kompenzuju nedostatke decibela u antenama, nedostatke snaga (dBm) u predajnicima, slabe osetljivosti prijemnika, tj. njihov visok prag šuma (-dBm) i povećano slabljenje u prostiranju!

Dakle, decibeli iz antena mogu se koristiti za kompenzaciju **bilo kog** manjka decibela u sistemu veze!

Samo ih treba imati! 😊

Još jedna važna osobina antene je da je **efikasna antena jedini pojačavač koji pojačava signal, a praktično ne dodaje šum.** Čak naprotiv, često svojim usmerenim dejstvom **smanjuje ukupan šum i smetnje** koje bi iz različitih pravaca bile primljene neusmerenom antenom.

Okolo tog dodatnog šuma dosta se spekulise. Probaću samo ukratko i bez ulaženja u neke detalje da objasnim koji su zapravo problemi sa tim šumom.

Pošto živimo na planeti koja je zagrejana u proseku na oko **17** stepeni Celzijusa ili **290** stepeni Kelvina onda je apsolutni prag termičkog šuma određen upravo tom fizičkom temperaturom naše planete. Po fizičkom zakonu o zračenju "**crnog tela**" spektralna gustina snage termičkog šuma jednaka je proizvodu iz

Boltzmanove konstante i apsolutne temperature $T_0=290$ K i iznosi **-174 dBm/Hz**. Pošto je potrebna širina kanala za WiFi **B= 22 MHz**, snaga termičkog šuma (prag termičkog šuma) iznosi oko **-100.5 dBm**. Za uobičajene WiFi kartice faktor (sopstvenog) šuma (**NF**) je oko **3-4 dB**. To nam daje prag šuma od oko **-97 dBm**. Dakle to je minimalni šum našeg prijemnog sistema, pod uslovom da antena ne prima nikakav dodatni šum ili smetnje. Da bi WiFi sistem mogao da radi sa **BER \leq 10⁻⁵** potreban je odnos signala i šuma na detektoru od **S/N \geq 12dB**. To daje minimalno potrebnu snagu signala na ulazu od **oko -85 dBm**. I to je ono što proizvođači kartica deklarišu kao **minimalnu osetljivost kartice**.

Međutim, pošto antena pored korisnog signala prima i dodatni šum, ne samo termičkog zračenja zemlje i okolnih objekata, već i razne druge industrijske i ostale "man-made" šumove i smetnje to je za vezu potreban jači koristan signal da bi se održala margina od **S/N=12dB**. Ukoliko su prisutne i smetnje sa istog i susednih WiFi kanala, stvar je još gora, jer i te smetnje utiču na to da se opšti nivo smetnji i šuma poveća, što za posledicu ima dalje sniženje odnosa signal/šum, tj. **odnosa signal/(smetnje+šum)**. Ukoliko je antena usmerenija (ima veće pojačanje) ona "vidi" manju površinu i prima samo one šumove koji dolaze sa te "vidne" površine.

Dakle u tom pogledu, (i u većini ostalih pogleda!) odgovor na pitanje "Da li je tačno to da što je antena većeg pojačanja to je bolje?", bar kada je odnos **S/N** u pitanju, sigurno je **DA!**

Upravo zbog situacije da se kanali frekvencijski preklapaju, jer je na **2.4GHz** raster WiFi kanala oko **5-6 MHz** a potrebna širina kanala je oko **22 MHz**, i da se kartice već grade sa faktorom šuma **NF** oko **3-4dB**, **nema nikakvog smisla stavljati pretpojačavač ispred kartice**, osim ako je koaksijalni kabl dugačak i lošeg kvaliteta! Međutim, to je onda mnogo veći problem za predajnu stranu nego za prijemnu!

Pretpojačavač uvek mora biti odmah pored antene inače nema nikakve svrhe! Prijemni pretpojačavači koji postoje u raznim pojačavačima snage (booster-ima), imaju takođe **NF** oko **3-4 dB** i nemaju neku praktičnu svrhu sniženja faktor šuma prijemnika, već da iskompenzuju enormne gubitke u kablju na nekim neekonomičnim ili prinudnim rešenjima gde se **2.4 GHz** signal vodi dugačkim ili nekvalitetnim kablom.

Dakle, ni tada pretpojačavači ne poboljšavaju prijem (kao što se veruje!) tako što eventualno snize faktor šuma prijemnog sistema ispod onog kada se prijemnik koristi sa kratkim i kvalitetnim kablom do antene!

U dvosmernim vezama, investicija u svaki decibel pojačanja antene vraća nam se dvostruko, jer se koristi dva puta – jednom pri predaji, a drugi put pri prijemu!

Nekoliko saveta za one koji podižu AP

Kao što smo videli u računskim primerima, **nema nikakve potrebe da AP ima veću snagu predajnika od prosečne snage klijenata koji se na njega kače! Ako klijent i AP koriste antene sa istim pojačanjem, onda je prijemni signal kod AP-a slabiji nego kod klijenta. Razlika je onoliko decibela koliko AP ima veću snagu predajnika nego klijent.** Zbog toga, veća snaga predajnika može samo da stvori iluziju kod klijenata da je prijemni signal obostrano dobar, što objašnjava njihove česte žalbe da imaju dobar signal od AP-a, ali im veza slabo ide ili ne mogu da se konektuju!

Iako zvuči paradoksalno, sasvim je tačno da je bolje imati nešto manju snagu AP-a od prosečne snage kod klijenata. Tu razliku treba nadoknaditi većim pojačanjem antene AP-a i time održati isti EIRP!

Dakle, kod AP-a je bolje imati onoliko decibela veće pojačanje antene za koliko je manja snaga predajnika od prosečne snage kod klijenata!

Ovo ima nekoliko važnih prednosti

Pre svega, 'primoravaju' se klijenti da postave bolje antene da bi i sami imali dobar prijemni signal od AP-a. Kada to ostvare, tada automatski kod AP-a postižu i dodatnu rezervu decibela, koja iznosi tačno onoliko kolika je razlika u snagama AP-a i klijenta, tj. razlika u antenama. Osim toga, povećava se pouzdanost rada celokupne mreže, jer svi klijenti imaju rezervu decibela koju im je omogućila antena AP-a. Sada su klijenti *slabija strana* u vezi jer imaju manji odnos S/N i svaki od njih će individualno morati da poboljša svoje uslove prijema sve dok ne ostvari dobar prijem. Automatski, čim ga ostvari, kod AP-a će tada prijem biti još bolji i imaće rezervu!

Ovo je veoma važan faktor zbog bitne činjenice o kojoj se ne vodi dovoljno računa: da prijemnik AP-a radi u mnogo težim uslovima i da ima daleko teži zadatak nego prijemnik klijenta. Naime, prijemnik AP-a mora da se izbori sa velikim brojem signala svojih (i tuđih) klijenata i mnogo jačim smetnjama, jer ima manje usmerenu antenu i obično je na istaknutijoj poziciji gde su smetnje jače. S druge strane, klijentov prijemnik ima manje-više samo problem sa svojim sopstvenim pragom šuma.

Antena AP-a praktično treba da bude što većeg pojačanja, kako bi svojim pojačanjem kompenzovala i povećani šum od smetnji i po nekog slabašnog klijenta i ostvarila neophodnu rezervu decibela za sve klijente. Rekli smo već da se svaki uloženi decibel u pojačanje antene klijenta vraća dvostruko: jednom na prijemu i drugi put na predaji.

Ali, svaki uloženi decibel u pojačanje antene AP-a se vraća pomnožen sa dvostrukim brojem klijenata u mreži, jer svakom klijentu obezbeđuje rezervu decibela i na prijemu i na predaji!

Međutim, tu postoji i jedan mali problem. Veliko pojačanje antene podrazumeva i veliku usmerenost, pošto antena, kao pasivni sklop, ne može da izvuče pojačanje ni od kuda, osim iz svog dijagrama usmerenosti. S druge strane, AP ima funkciju da pokrije što veći ugao i tako obezbedi vezu sa što većim brojem klijenata, i obično koristi neusmerene antene u horizontalnoj ravni.

Pošto je to već tako, onda **za AP treba koristiti antene koje su svoje pojačanje izvukle sužavanjem dijagrama u vertikalnoj ravni, dok im je horizontalni ostao relativno širok.** To su obično kolinearne antene, čiji su zračeci elementi poređani po vertikali. Veći broj elemenata po vertikali daje uži vertikalni dijagram, dok horizontalni ostaje isti kao dijagram jednog elementa.

Međutim, ukoliko su klijenti zbog nekih, recimo geografskih, razloga koncentrisani na manji prostor, neekonomično je rasipati emisionu snagu „po brdima i dolinama“ po kojima nema nikoga ko bi je primio, pa je ekonomičnije na AP koristiti usmereniju antenu. **Treba koristiti antene čiji je horizontalni ugao zračenja približno onoliki koliki je ugao koji želite da pokrijete,** tj. područje u kome se nalaze klijenti. **Vertikalni ugao treba uvek da bude što manji,** zato što su klijenti u liniji horizonta, pa nema potrebe rasipati emisionu snagu zračeci je u nebo. Ponekad se može koristiti nekoliko antena vezanih u jedan sistem i tako pokriti neophodni ugao. Iskustva govore da je to, objektivno posmatrano, retko kada baš svih 360 stepeni!

Ne zaboravite da, time što pokrivete veći ugao, primete i sve smetnje iz tog većeg ugla!

Saveti za klijente

Treba koristiti što usmereniju antenu koja obezbeđuje sigurnu i kvalitetnu vezu i daje dovoljno rezerve decibela za eventualne dodatne gubitke u prostiranju (usled atmosferskih i drugih uticaja). Time dobijate najsigurniju vezu i najmanje smetnji! **Koaksijalni kablovi treba da su deblji i naročito da su što je moguće kraći zbog slabljenja signala i na prijemu i na predaji! I tu važi da se svaki decibel dobijen skraćanjem koaksijalnog kabla dvostruko vraća – jednom na prijemu i drugi put na predaji!**

Antenu treba postaviti dovoljno visoko na čistom prostoru odakle je najbolja vidljivost sa AP, tako da u blizini, naročito ispred antene u pravcu zračenja, ne bude velikih metalnih i drugih provodnih površina. Ovo je važno da bi se izbegle refleksije, *multipath* prostiranje i *Brusterov* ugao.

Refleksije i *multipath* prostiranje (talasi koji su stigli u prijemnu antenu različitim putevima) prave probleme sa pravilnim dekodovanjem prijemnog signala **bez obzira na njegovu jačinu u prijemniku.** Obično u takvim situacijama imamo dovoljno jake prijemne signale na obe strane, ali je kvalitet veze slab, jer je protok mali usled čestih grešaka u prijemu i ponavljanja paketa. **Promena visine ili mesta jedne od antena ponekad može u velikoj meri da reši ovaj problem.**

Posebna osobina vertikalno polarisanih radio talasa je da kada padnu na neku reflektujuću površinu, na primer zemlju ili veću metalnu površinu, pod

određenim, relativno oštrim uglom koji se zove *Brusterov* (ili *polarizirajući*) ugao, polarizacija reflektovanog talasa biva okrenuta, tj. postaje horizontalna, i prijem je oslabljen za preko 20dB!

Veličina Brusterovog ugla zavisi uglavnom od elektromagnetnih karakteristika reflektujuće površine (sastava i vlažnosti zemljišta, zida zgrade, krova i sl.) i talasne dužine radio talasa, a kreće se obično **do petnaestak stepeni.**

Ovo je dosta važan fenomen o kome se mora voditi računa kada se koristi vertikalna polarizacija radio talasa. **I ovaj problem se može rešiti promenom mesta ili visine antene.**

Zaključak

Iz svega što je ovde izneto može se nedvosmisleno zaključiti da o Wi-Fi komunikacijama moramo uvek razmišljati kao o dvosmernim komunikacijama! Mora se napustiti pogrešan i poguban koncept da se sa povećanjem snage predajnika AP-a povećava sigurnost i rasprostranjenost mreže. To je moguće samo u jednosmernim komunikacijama, jer je tada svejedno da li se potrebna efektivna izračena snaga (EIRP) postiže povećanjem pojačanja antene ili snage predajnika.

Kod dvosmernih komunikacija, videli smo, potrebno povećanje EIRP-a u cilju poboljšanja kvaliteta komunikacija i povećanja područja pokrivanja mreže mora se postizati isključivo povećanjem pojačanja antene AP-a!

Povećanjem snage AP-a samo povećavamo smetnje i stvaramo iluzije kod klijenata da mogu sa neodgovarajućom opremom da imaju dvosmernu komunikaciju!

* * *

U Beogradu, aprila 2005.