

PROTOKOLI I TEHNOLOGIJE BEŽIČNIH SISTEMA

Vežba 3

Antenske tehnologije u bežičnim sistemima



Uvod

Zbog uticaja sredine, mobilnosti korisnika, promenljivih faktora na koje ne možemo uticati... na mestu prijema se javlja slabljenje signala, izraženo kroz fading odnosno opadanje nivoa signala na mestu prijema.

Fading može biti dugotrajni i kratkotrajni.

Mnogo je softverskih simulatora i matematičkih modela koji predviđaju propagaciju signala i slabljenje signala (Rejlijeva raspodela, Rajsova raspodela, Hata model, Suzuki model...) i zaključaj je da se fading može predvideti i u velikoj meri poništiti.

Često korišćen način su diverziti tehnike



Diverziti tehnike

Diverziti (*diversity*) tehnike su tehnike prenosa gde se isti signal prenosi preko više nezavisnih putanja ili načina, čime se uticaj slabljenja smanjuje. Statistički gledano, mala je verovatnoća da smetnje isto utiču na dva nezavisne putanje i da istovremeno oslabe oba signala. Na ovom principu se zasnivaju sve diverziti tehnike.

Mera koliko su signali isti naziva se korelacija, i praktično gledano nije neophodno da signali budu potpuno nekorelisani i stepen korelacije ispod 50% sasvim je prihvatljiv.

Osnovna podela diverziti tehnika je:

1. mikrodiverziti
2. makrodiverziti



Diverziti tehnike

Makrodiverziti je tehnika zaštite od fedinga gde se prikupljaju signali (koji dolaze različitim putanjama) pomoću antena koje se nalaze na udaljenim lokacijama.

Namena makrodiverzitija je sprečavanje dugotrajnog fedinga. Jedan od razloga nastanka LSF (*large scale fading*) su velke prepreke i tada je signal duži vremenski period oslabljen. U ovakvim uslovima, statistički gledano, moguće je da više (ako ne i sve) komponenti signala bude oslabljeno i jedini način prijema ispravnog signala je postavljanje prijemnih antena na udaljene lokacije.

Ovaj tip diverzitija često se koristi i na predajnoj i na prijemnoj strani.

Na mestu prijema se vrši kombinovanje odnosno sabiranje ili izbor jače komponente.



Diverziti tehnike

Mikrodiverziti je tehnika gde se prijem signala (koji dolaze po više različitih putanja) vrši pomoću jedne ili više antena koje se nalaze na jednom mestu.

Ova tehnologija se koristi za sprečavanje kratkotrajnog odnosno SSF (*Small Scale Fading*). Kod ovog fedinga nivo opadanja signala je veliki ali su vremenski intervali kratki, pa se pokazala kao ispravna pretpostavka da dva ili više signala nisu mnogo oštećena u istom (kratkom) trenutku.

U praksi mnogo češće se sreću mikrodiverziti tehnike jer makrodiverziti sistemi su teško izvodljivi i skupi. Da bi bili ispunjeni svi potrebni zahtevi makrodiverziti sistema korisnici gube na mobilnosti...



Diverziti sistemi

Diverziti sistemi se dele na:

1. prostorni diverziti – znači razdvajanje predajnih i/ili prijemnih antena tako da signali budu nekorelisani. Teoretski gledano dovoljno je razmaći antene za $\lambda/2$.
2. frekvencijski diverziti – propagaciona sredina različito utiče na signale različitih frekvencija pa je ova osobina iskorišćena kod frekvencijskog diverzitija – signali se prenose pomoću dve (retko više od toga) frekvencija. Frekvencije moraju biti dovoljno „razmaknute“ i duplira se broj primopredajnih sklopova (za svaku frekvenciju po jedan)
3. polarizacioni diverziti – znamo da refleksija signala o neke sredine može da promeni polarizaciju signala, pa da bi na mestu prijema slabljenje bilo minimalno koristi se fazni diverziti – signal se prenose sa horizontalnom i vertikalnom polarizacijom



Diverziti sistemi

4. vremenski diverziti – statistički je utvrđeno da je različit uticaj fedinga na signale koji su vremenski pomereni. Teoretski, dovoljno je da vremenski pomeraj bude $1/2f_M$.

Vremenski pomeraj se ostvaruje tako što signal putuje različitim putanjama i svaka putanja ima drugačije kašnjenje. Kombinovanjem primljenih signala na mestu prijema poništava se uticaj kratkotrajnog fedinga.

Vremenski feding je moguće ostvariti slanjem istog signala u različitim trenucima ali to je komplikovna metoda za predajnu stranu.

Kod vremenskog fedinga stravi dodatno pogoršava što se prijemik (ili predajnik) kreću pa zavisno od brzine kretanja menja se i nivo signala na prijemu.



Diverziti sistemi

Zajedničko za sve prijemne diverziti sisteme je da prikupljaju više signala i da je potrebno na izlazu da obezbede što jači signal sa što manjom greškom.

Kombinovanje signala može biti:

- izbor najjače komponente – svi signali na prijemu se mere ali se uzima samo najjači. Prelaz sa jednog na drugi ne sme biti trenut an jer nije isto kašnjenje među signalima
- sabiranje signala – ovde se uzimaju svi signali i sabiraju, s tim da sabiranje nije jednostavno jer potrebno je uskladiti sve signale (oni koji su došli ranije potrebno je zakasniti) kako ne bi došlo do neželjene interferencije. Ovaj metod unosi malo kašnjenje zbog baferovanja.



MIMO sistemi

MIMO (*multiple input multiple output*) su tehnologije koje za cilj imaju poboljšanje kvaliteta prenosa (bolje pokrivanje potiskivanjem fadinga) i povećanje kapaciteta bežičnih prenosa.

Počeci MIMO sistema su nastali sa razvojem bežičnih telekomunikacija, s tim da je pojam prostornog diverzitija podrazumevao jednostavnije načine kombinovanja signala (npr. izbor jačeg signala).

Početak 90-ih godina XX veka procesorska snaga je bila dovoljna da podrži prostorno multipleksiranje pa su 1993. *Arogyaswami Paulraj* i *Thomas Kailath* patentirali MIMO sisteme a u Bell laboratoriji je 1998. napravljen prvi prototip



MIMO sistemi

Postoji nekoliko varijanti MIMO sistema

- SISO (*single input single output*) – jedna antena na predaji i jedna na prijemu, i ovo zapravo i nije MIMO sistem
- SIMO (*single input multiple output*) – prijem kratkih talasa i poništavanje jonosferskih smetnji. Nekada je na prijemniku teško implementirati više antena (prostor, baterija...)
- MISO (*multiple input single output*) – uobičajeno kod fiksnih predajnika i mobilnih prijemnika, npr. u sistemima mobilne telefonije
- MIMO (*multiple input multiple output*) – ovo su pravi višeantenski sistemi (i na predaji i na prijemu), najskuplji ali i najefikasniji



MIMO sistemi

MIMO sistemi se definišu kao sistemi koji imaju više predajnih i više prijemnih antena, a sve sa idejom da se signali kombinuju tako da kvalitet (*bit error rate*) i brzina prenosa podataka (*data rate*) budu povećani.

MIMO sistemi koriste prostorno-vremenske tehnike obrade signala. Mogu se svrstati u SAS (*smart antenna systems*) s tim da najveći problem i nedostatak SAS – višestruku propagaciju MIMO sistemi koriste kao pogodnost.

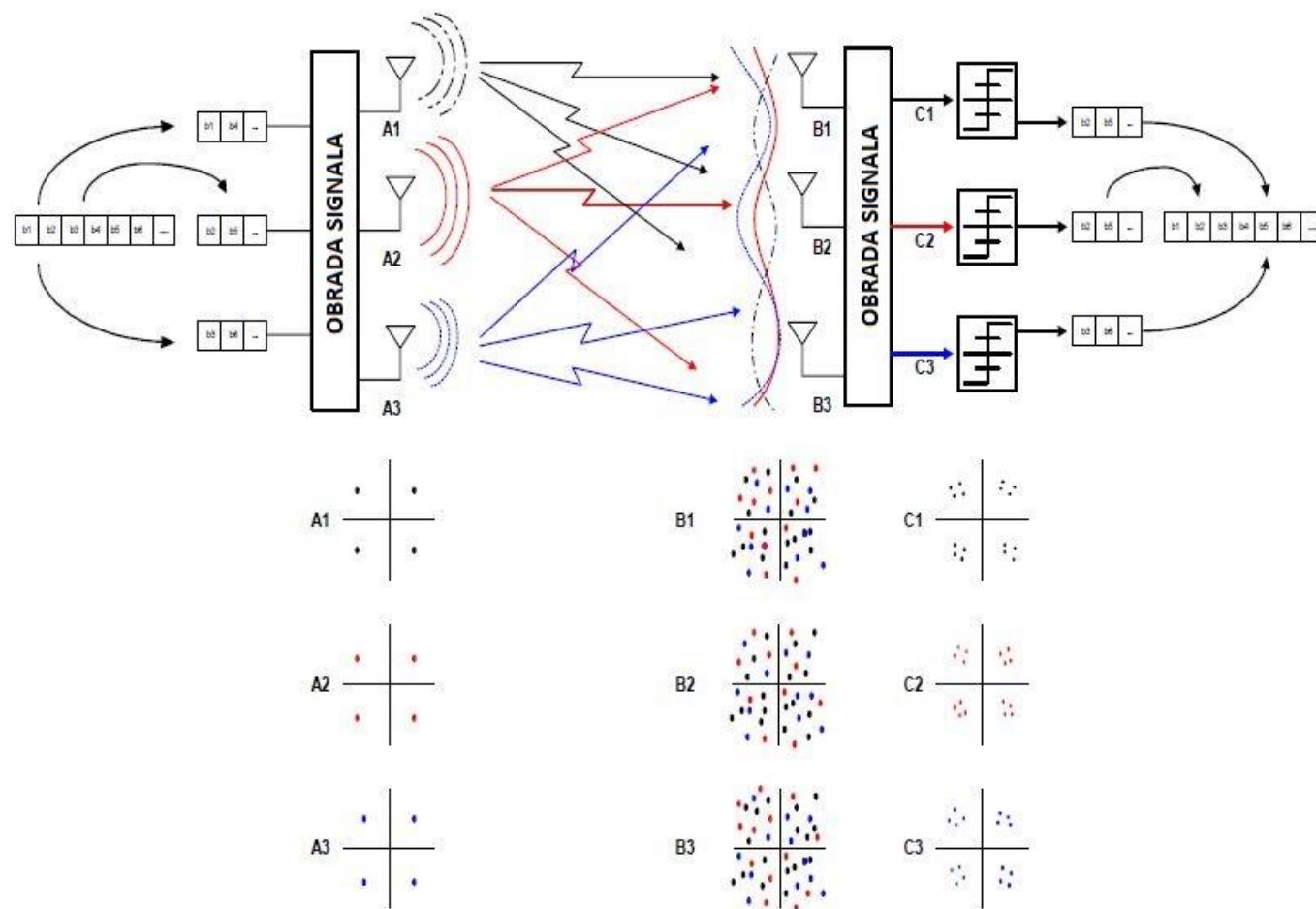
Smart antene po potrebi (trenutnoj prostornoj raspodeli korisnika) fokusiraju snop zračenja tako da se poveća odnos signal-šum (SNR). Osnovna prednost MIMO sistema je da formiranjem matrice (broj predajnih antena x broj prijemnih antena) moguće je istovremeno prenositi nekoliko nezavisnih signala, bez dodatnog ulaganja snage.



MIMO sistemi

Važnu ulogu ima obrada signala, odnosno tehnologija koja se naziva „trening simbola“ gde se sekvenca simbola deli na podnizove i šalje se preko zajedničkog frekvencijskog kanala.

Na mestu prijema svaka antena „sluša“ svog para sa predaje (iako „čuje“ sve ostale antene) i procesira sekvencu bita, koji se nakon toga spaja sa ostalim sekvencama



MIMO sistemi

Kapacitet MIMO sistema je približno linearna zavisnost broju antena na predaji i prijemu M :

$$C = BM \log_2(1 + SNR)$$

C – kapacitet kanala

M - broj antena, ako nije isti na predaji i prijemu M je manji broj

SNR – odnos signal-šum (*signal-to-noise ratio*)

Teoretski, povećanjem broja antena mogli bi da napravimo kanal beskonačnog kapaciteta.

Praktično, kapacitet je ograničen transmissionim algoritmima, karakteristikama kanala i razumnom broju antena.



MIMO sistemi

Filozofija projektovanja MIMO sistema se, generalno govoreći, deli na dva pravca:

- maksimizacija brzine prenosa
- minimizacija greške

Ova dva principa su u međusobnoj suprotnosti pa su idelani modeli kombinacija ova dva principa. Da bi povećali kapacitet idelano bi bilo da sve tokove prenosimo nezavisno. S druge strane, da bi smanjili grešku idealno bi bilo da sve tokove kodujemo zajedno.

Kompromisno rešenje su novi kodni algoritmi, kao što su STBC (*Space Time Block Codes*) i V-BLAST (*Vertical Bell Labs Layered Space Time*)



MIMO sistemi

Realni MIMO sistemi su zasnovani na sledećim principima:

1. Optimalan broj antena i razmak između antena (barem $\lambda/2$)
2. Optimalna procesorka snaga na predaji i prijemu
3. Korišćenje dodatnih kontrolnih kanala RRC (*Radio Resource Control*)
4. Optimizacija sistema za predviđeni kanal



MIMO sistemi



MIMO sistemi

Dva specifična MIMO sistema

- MU-MIMO (*multi user*) – do sada je razmatrano da je jedan predajnik i jedan prijemnik, ali potpuno ispravno i poželjno je da jedan predajnik pokriva više prijemnika kao što je to slučaj u sistemima mobilne telefonije
- *Massive* MIMO – „normalni“ MIMO sistemi su sa 4 (najviše 8) antena dok *Massive* MIMO podrazumeva nekoliko desetina pa čak i nekoliko stotina antena. Ovde veliki broj antena opslužuje velika procesorska snaga (uglavnom centralizovani sistemi upravljanja)



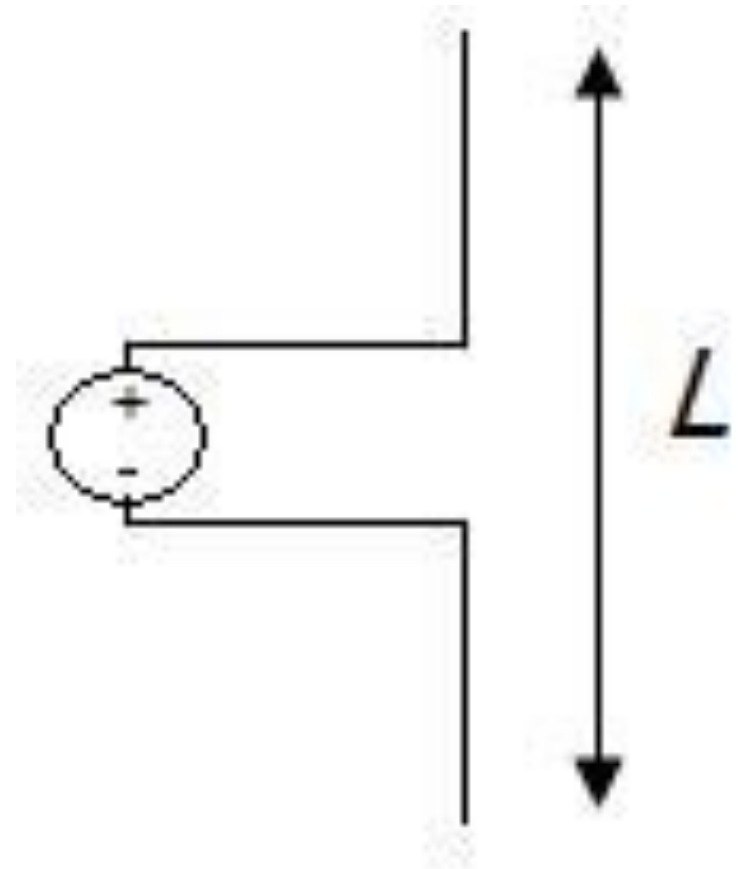
Osnovni tipovi antena

Kratka dipol antena (*short dipole antenna*)
najjednostavnija antena, i to je zapravo
parče žice sa napajanjem na sredini.

Pojam „kratka“ se ne odnosi na stvarnu
dužinu već na dužinu u odnosu na talasnu
dužinu. Kod ovog tipa antena zadovoljen je
uslov:

$$L < \frac{\lambda}{10}$$

Prema dijagramu zračenja kratka dipol
antena spada u omni antene



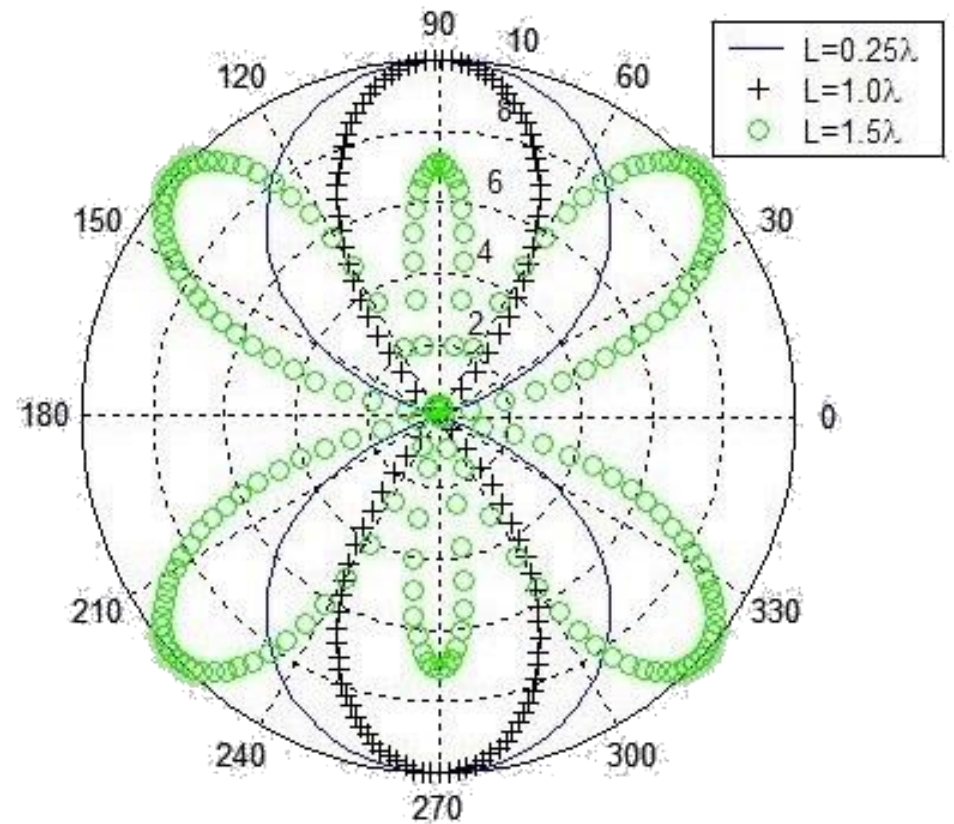
Osnovni tipovi antena

Dipol antena (*dipole antenna*) je parče žice koje se napaja na sredini, i dužina žice je jednaka talasnoj dužini.

Postoji nekoliko varijanti dipol antena:

- $\lambda/4$
- $\lambda/2$
- λ
- $1,5\lambda$

i sve imaju omni dijagram zračenja ali se razlikuje ulazna impedansa antene i direktivnost



Osnovni tipovi antena

Širokopojasni dipol (*wideband dipoles*)

eksperimentalno je dokazano da povećanjem širine žice povećava se frekventno područje antene

Kružnom konstrukcijom (kao na slici) dobija se dijagram zračenja sličan dijagramu izotopnog radijatora.

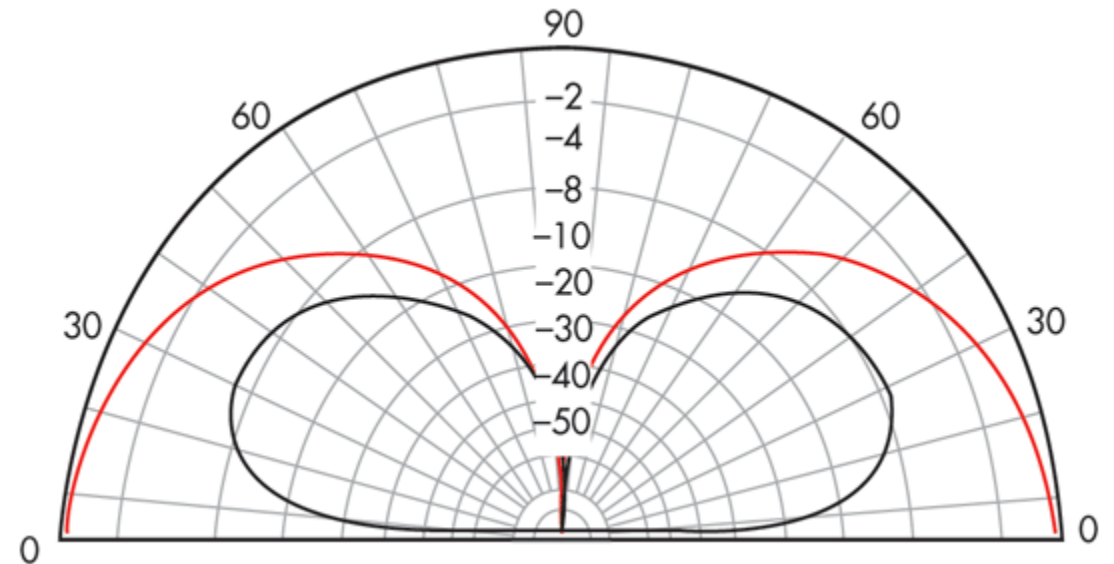
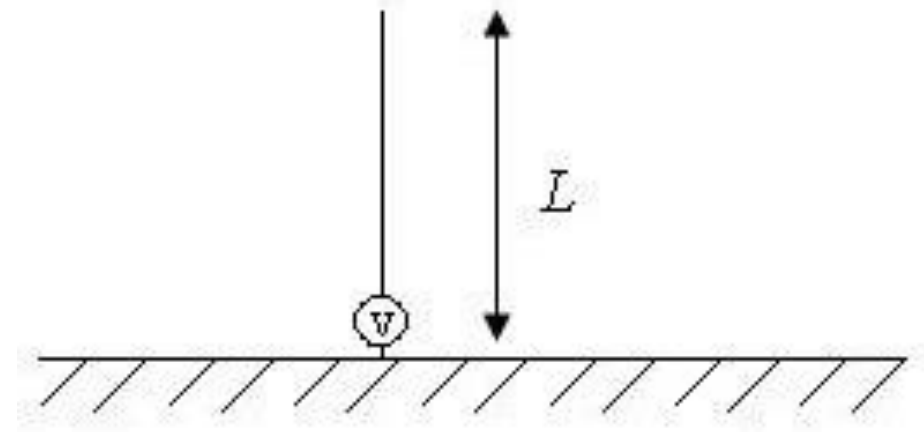
Frekventni dijagram ovih zračenja ima nagli pad, sličan fedingu



Osnovni tipovi antena

Monopol antena (*monopole antenna*) je dipol antena postavljena tako da je jedna polovina postavljena iznad savršeno provodne površine

Ove antene su se koristile kod starih mobilnih telefona (gde je provodnik bilo kućište telefona) a danas se koristi u broadcast industriji

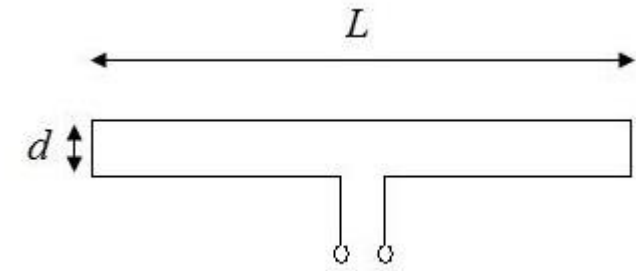


Osnovni tipovi antena

Savijeni dipol (*folded dipole antenna*) je žica koja je savijana, obično u pravougaoni oblik, gde je d manje od L

Savijeni dipol ima rezonantnu frekvenciju kada je dužina L jednaka neparnom umnošku $\lambda/2$

Po dijagramu zračenja ove antene spadaju u omni antene, s tim da im je dobitak nešto veću u odnosu na „obične“ dipol antene



Osnovni tipovi antena

Kružne antene (*loop antenna*) su antene koje imaju slične karakteristike kao dipol antene ali zbog izraženih induktivnih i kapacitivnih karakteristika (zavisno od dužine) imaju veliku impedansu

U praksi nemaju veliku primenu (naročito ne na predajnoj strani) ali se koriste na mernim uređajima i u eksperimentalne svrhe



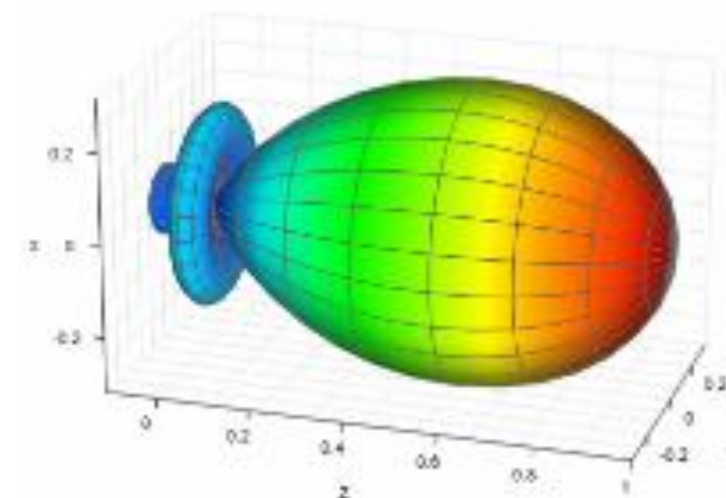
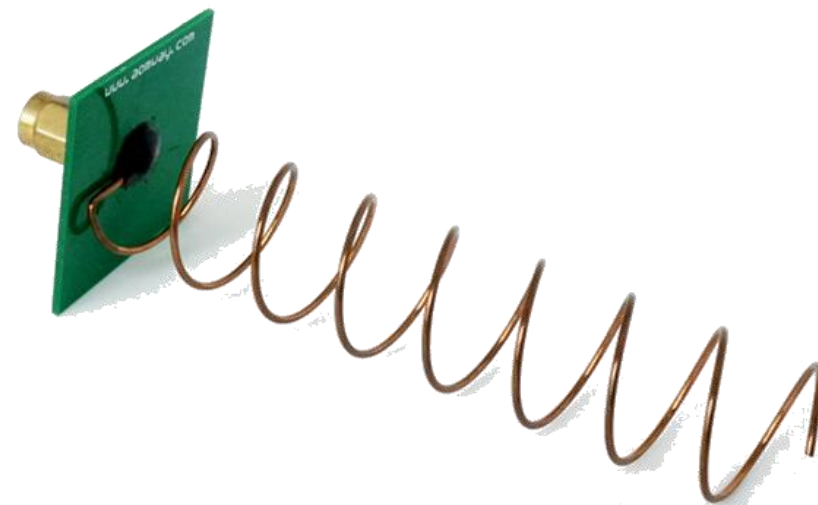
Osnovni tipovi antena

Spiralne antene (*helical antenna*) imaju karakterističan oblik uvijene spirali.

Osnovna karakteristika ovih antena je kružna polarizacija.

U osnovi ovo su antene usmerenog dijagrama zračenja.

Promenom parametara (broj navoja, gustina...) menjaju se karakteristike antena

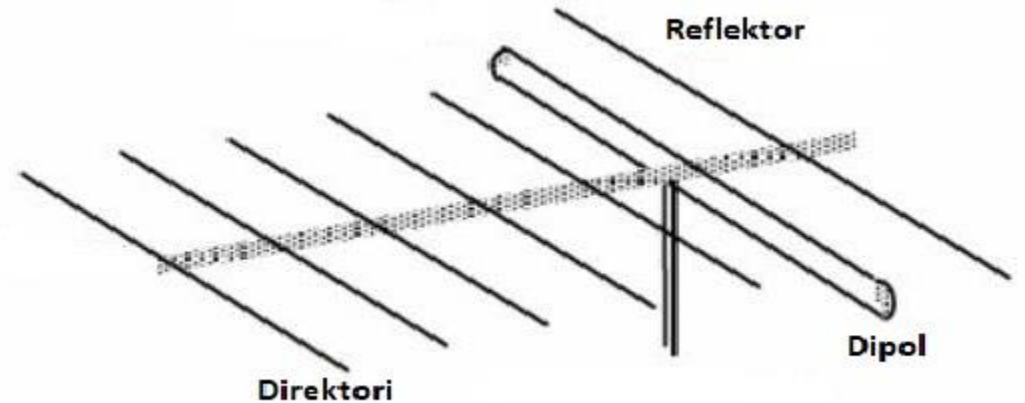


Osnovni tipovi antena

Jagi antene (*Yagi antenna*) su dobile naziv po svojim pronalazačima i ispravan naziv bi bio Yagi–Uda antene (student *Uda* objavio rad na japanskom a profesor *Yagi* predstavio antene u Americi na engleskom)

Ovo su usmerene antene sa velikim dobitkom i relativno uske frekvencijske karakteristike. Ovde se napaja dipol a reflektor i direktori usmeravaju talas

Često zastupljene antene i koriste se u VHF i UHF frekventnom području



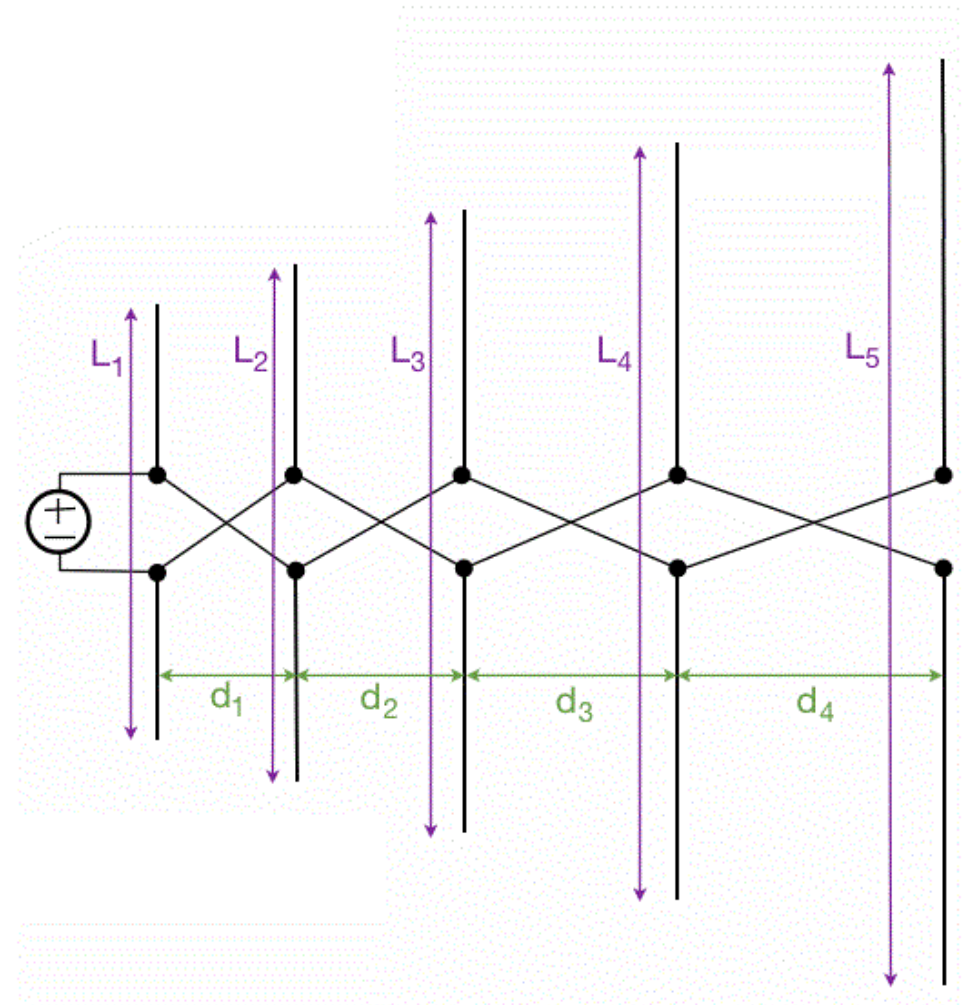
Osnovni tipovi antena

Log-periodične antene (*log-periodic antenna*) su antene čiji je gradivni element dipol.

Više dipola za koje važi pravilo:

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = k$$

daju usmerenu antenu sa širokim frekventnim opsegom, i često se mogu sresti za prijem terestrialnog televizijskog signala. k je faktor ekspanzije i zavisno od frekvencije imamo aktivnu i pasivnu oblast antenskog niza

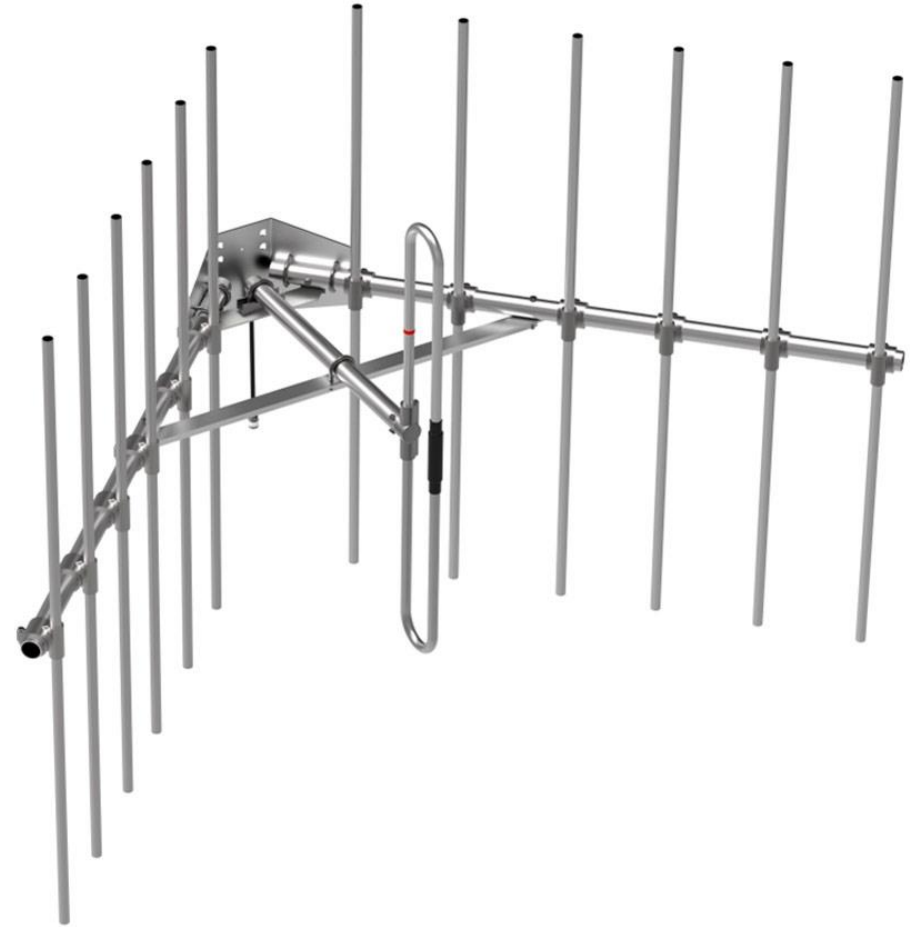


Osnovni tipovi antena

Ugaone reflektorske antene (*corner reflector antenna*) su antene sa reflektorom koji oblikuju dijagram zračenja.

Obično je reflektor pasivni element dok dipol zrači energiju. Reflektorom se povećava usmerenost približno za 10dB.

Da ne bi došlo do poništavanja udaljenost reflektora mora biti umnožak talasne dužine.

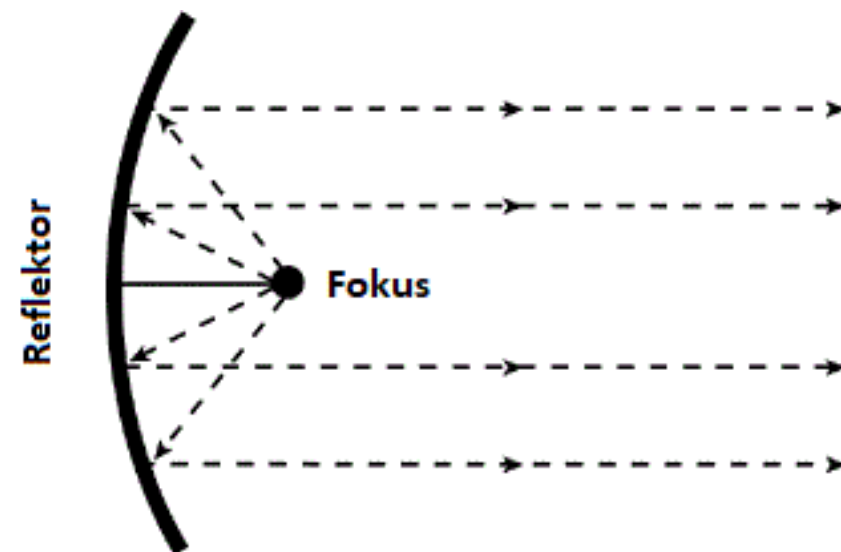
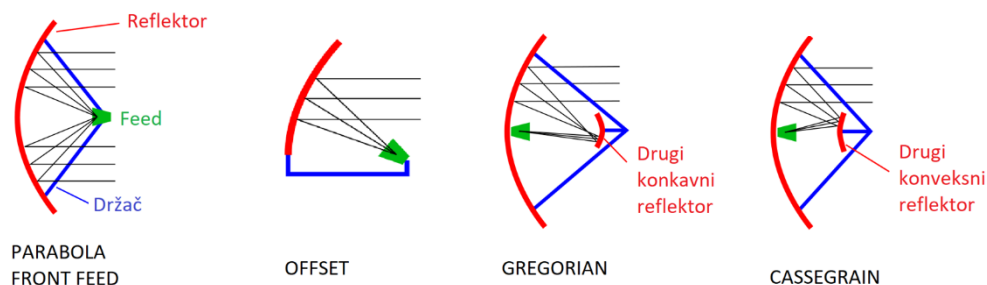


Osnovni tipovi antena

Parabolične reflektorske antene (*parabolic reflector antenna*) ili „satelitski tanjiri“ imaju usmereni dijagram zračenja.

Parabolični reflektor fokusira EM talase u jednu žižnu tačku.

Dobitak antene se povećava sa površinom reflektora. Postoji nekoliko načina izrade:

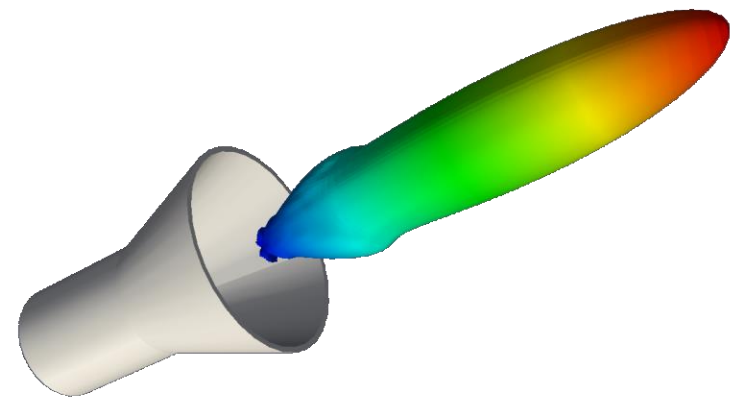
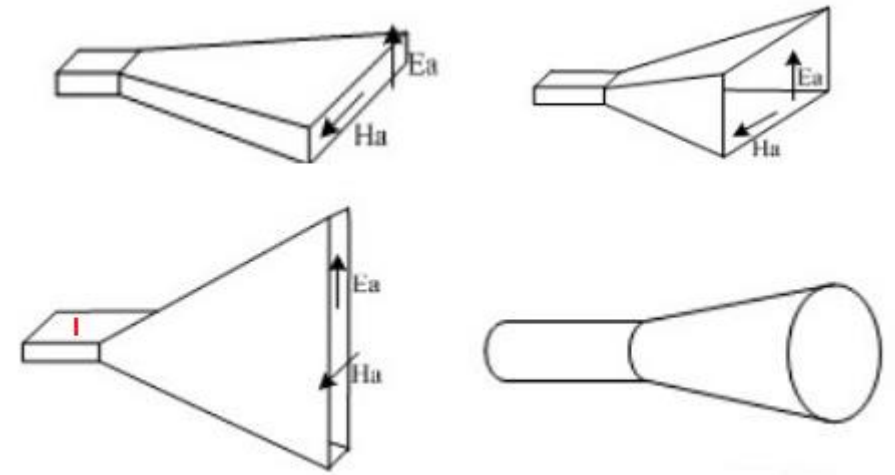


Osnovni tipovi antena

Horna (rog) antene (*horn antenna*) su metalne konstrukcije, slične levku, i veoma su popularne u mikrotalansnom području od 300MHz do 3GHz, ali postoje antene koje zrače i preko 100GHz

Ove antene imaju veliki dobitak i veoma su usmerene.

U mikrotalasnom području karakteristike antena mogu se menjati pomeranjem izvora signa (obično je to dipol) s tim da promena od $\lambda/2$ menja impedansu od 0 do ∞

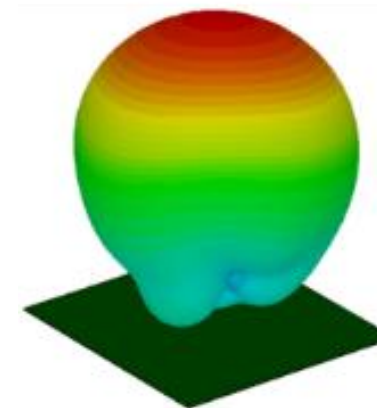
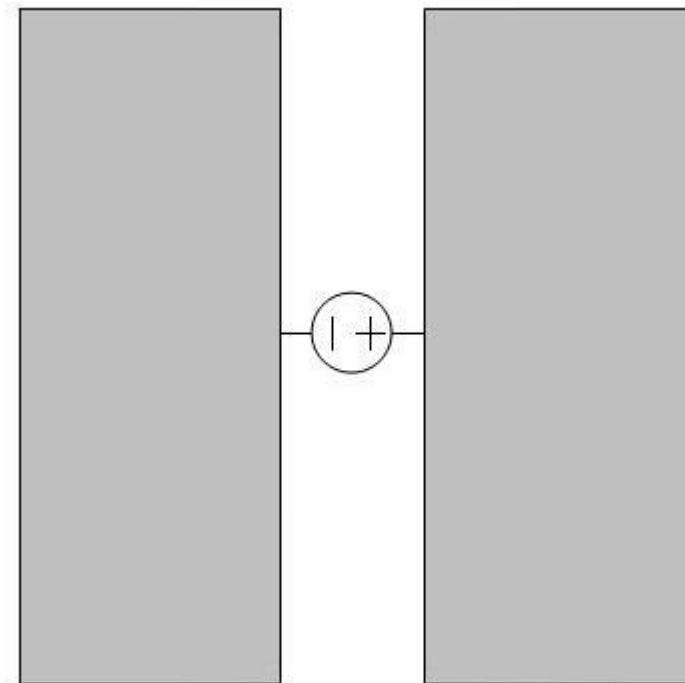


Osnovni tipovi antena

Antene sa prorezom (*slot antenna*) su antene za mikrotalasno područje (od 300MHz do 300GHz) i najčešće su to dva metalna provodnika, veoma preciznih dimenzija, spojena izvorom signala

Dijagram zračenja je sličan zračenju omni direkcionih antena.

Ovaj princip se primenjuje kod NFC antena, fraktalnih antena...



Antenski sistemi

Distributivni antenski sistem DAS (*distributed antenna system*) su sistemi od više antena koji se napajaju jednim centralnim izvorom. Antene su fizički udaljene jedna od druge i time se dobija veća oblast pokrivanja sa manjom izračenom snagom.

Prednost DAS je:

- veća pokrivenost
- pokrivanje rupa
- manja snaga u odnosu na jednu antenu
- niže antene u odnosu na jednu antenu

Nedostatak ovih sistema je komplikovana i skupa izrada centralnog sistema.

Ovaj princip se često koristi u terestrialnom *broadcast* emitovanju (DVB-T / DVB-T2)



Antenski sistemi

Pametne antenske tehnologije (*smart antenna technology*) su sistemi adaptivnih antena i pratećeg softvera (upravljačka logika) koji imaju mogućnost promene karakteristika zračenja kako bi zadovoljili trenutne potrebe

Smart antenski sistemi se zasnivaju na principima kongitivnog radija odnosno tehnologijama koje „osluškuju“ stanje u spektru i biraju frekvencije koje ne smetaju drugim korisnicima. Ove promene su brze i kao rezultat imaju dobro iskorišćenje dodeljenog frekventnog područja.

Jedan od osnovih zadataka upravljačke logike je da prati položaj korisnika i trenutne zahteve korisnika (preko povratnih kanala) i kada odredi iz kog smera dolaze zahtevi podešava dijagram zračenja da što bolje ispuni zadate zahteve



Antenski sistemi

Postoje dva načina promene dijagrama zračenja:

- antenski sistem ima nekoliko predefinisanih fiksnih dijagrama zračenja i na osnovu zahteva korisnika centralna upravljačka logika bira najoptimalniji dijagram zračenja (*switched beam smart antennas*)
- adaptivni antenski nizovi (*adaptive array smart antennas*) omogućavaju kontinualne promene snopa zračenja promenom konstrukcije antene

Prvi sistem je jeftiniji i jednostavniji a drugi ima bolje karakteristike i lakše može da isprati ekstremne vrednosti

Softverski definisani radio SDR (*software defined radio*) se zasniva na principima obrade signala i softverski menja raspoloživost usluga



Pitanja

