
ANTENSKI NIZOVI U TELEKOMUNIKACIONIM SYSTEMIMA

(13M031ANT)

**Uvod u teoriju antenskih nizova – Primena u TK sistemima:
SA (*Smart antena*) i MIMO (*Multiple-Input-Multiple-Output*)
- Principi rada naprednih antenskih sistema**

Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu
Odsek za telekomunikacije i informacione tehnologije

Katedra za telekomunikacije

prof. Goran Marković

2024/2025



Motivacija

- ❖ **Moderni bežični telekomunikacioni sistemi:** veliki kapacitet sistema, velike brzine prenosa, poboljšanje kvaliteta prenosa, uvođenje novih korisničkih servisa.
- ❖ **Značajan razvoj tehnologija** za širokopojasan bežični pristup mobilnim i fiksnim korisnicima.
- ❖ **Dostupni frekvencijski opseg** za prenos je ***ograničen resurs !***
- ❖ U dosadašnjem razvoju bežičnih telekomunikacionih tehnologija ***u velikoj meri iskorišćene su mogućnosti*** obrade signala u ***vremenskom i frekvencijskom domenu.***

Tehnologije naprednih antenskih sistema
spadaju među ključne tehnologije za dalji uspešan razvoj
bežičnih telekomunikacionih sistema !!

Motivacija - Namena

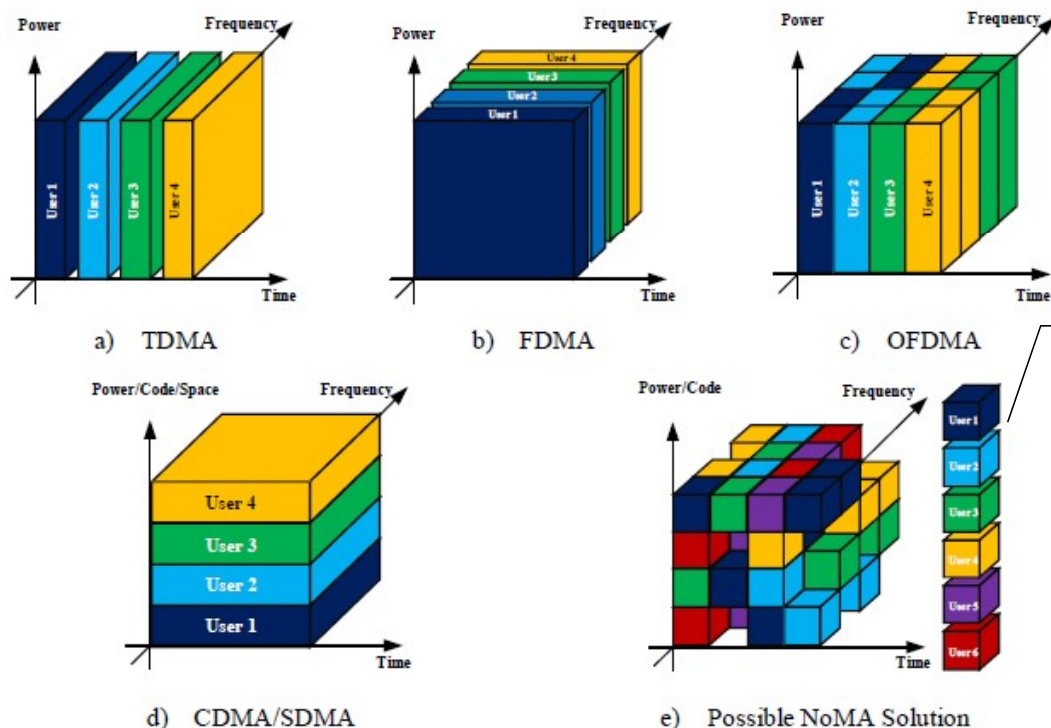
- ❖ **Smart Antenna (SA) tehnologije** – odlikuje ih složeni antenski sistemi i odgovarajuće tehnike obrade signala – omogućavaju korišćenje ***prostornog domena propagacije radio signala*** za potrebe obrade signala na predaji i prijemu, i poboljšanja kvaliteta prenosa i kapaciteta sistema.
 - Antenski sistemi u formi **adaptivnih antenskih nizova** ili **inteligentnih antena** - **efikasno rešenje za pouzdan i robustan bežični prenos podataka velikim brzinama.**
 - Predlažu se kao moguće rešenje u mnogim oblastima bežičnih telekomunikacija.
 - Poslednjih godina - **naglo interesovanje i razvoj u ovoj oblasti.**
 - Omogućava se prevazilaženje **nekih osnovnih problema** u mobilnim i fiksnim bežičnim telekomunikacionim sistemima:
 - **pojava fadinga pri propagaciji (najčešće usled višestruke propagacije radio signala),**
 - **rasejanje u vremenu (*delay spread*), i**
 - **istokanalna interferencija (*Co-Channel interference, CCI*).**

Motivacija - Istorijat

- ❖ **Najranija forma** upotrebe složenijih antenskih sistema predstavljala je upotreba **antenskog diversitija** u cilju **potiskivanja uticaja fedinga**. Ovakvi sistemi nalaze se u komercijalnoj upotrebi već dugi niz godina.
- ❖ U poslednjih 20-tak godina aktivno su razvijani **inteligenti antenski sistemi u formi Smart Antenna (SA) ili MIMO sistema**, sa ciljem **aktivnog potiskivanja CCI** – pristupnog uređaja bežičnih telekomunikacionih sistema ćelijskog tipa (npr. javni sistemi mobilne telefonije, WLAN, ...).
- ❖ U toku su opsežna istraživanja, razvoj i primena:
 - prijemnika sa združenim procesiranjem u vremenskom i prostornom domenu (*Space-Time Processing, STP*) – SIMO, MISO, MIMO.
 - vremensko-prostornih kodova (*Space-Time Codes, STC*);
 - antenskih sistema za prostorno multipleksiranje (*Space Division Multiplexing, SDM*).

Motivacija - SDMA

- ❖ Primena antenskih nizova u TK – **Nova dimenzija obrade: Prostorna**
- ❖ Moguća realizacija sistema višestrukog pristupa sa prostornim rasporedom korisnika – SDMA (*Spatial Division Multiple Access*).



Za 5G i naredne sisteme posmatraju se tehnike multipleksiranja u kojima pristup nije ortogonalan - NOMA (*Non-Orthogonal Multiple Access*)

Motivacija - SDMA

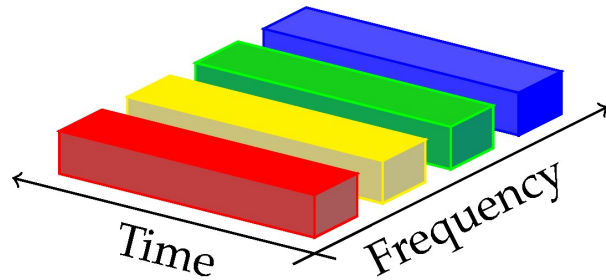
- ❖ Nekoliko osnovnih načina za povećanje efikasnosti korišćenja raspoloživih telekomunikacionih resursa:
 - povećanje predajne efektivno izračene snage ili smanjivanje sistemskih gubitaka, tako da se poveća odnos S/N na ulazu u prijemnik;
 - korišćenje veće širina propusnog opsega kanala (B), i
 - multipleksiranje, odnosno višestruki pristup TK resursima.
- ❖ FDM/FDMA (*Frequency Division Multiplex / Frequency Division Multiple Access*). Tehnika se zasniva na dodeli različitih (nepreklapajućih) opsega učestanosti svakom od korisnika. Razdvajanje filtrima na prijemu. U jednom vremenskom intervalu resursi sistema istovremeno su dodeljeni aktivnim korisnicima.
- ❖ OFDM/OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplex / Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Varijanta FDMA sa ortogonalnim nosiocima kada se dozvoljava preklapanje kanala. U jednom vremenskom intervalu resursi sistema istovremeno su dodeljeni aktivnim korisnicima.
- ❖ TDM/TDMA (*Time Division Multiplex / Time Division Multiple Access*). Tehnika koja se zasniva na dodeli različitih (nepreklapajućih) vremenskih intervala (slotova). U jednom vremenskom slotu svi resursi sistema dodeljeni su samo trenutnom korisniku - dodela slotova može biti periodična ili pseudoslučajna.

Motivacija - SDMA

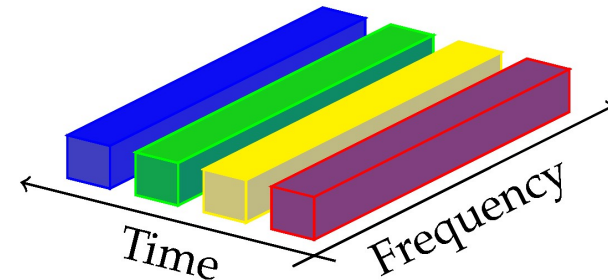
- ❖ **CDM/CDMA** (*Code Division Multiplex /Code Division Multiple Access*). Tehnika koja se koristi u sistemima sa prenosom u proširenom spektru - zasniva na alokaciji korisnika prema ortogonalnim pseudo-slučajnim sekvencama koje su im dodeljene. Svi resursi sistema u vremenskom i frekvencijskom domenu istovremeno mogu da budu dodeljeni svim aktivnim korisnicima - visoka spektralna efikasnost na nivou sistema (ne i na nivou linka).
- ❖ **SDM/SDMA** (*Space Division Multiplex/Space Division Multiple Access*). Tehnika koja se zasniva na prostornoj dislokaciji korisnika. Aktivni korisnici mogu istovremeno da koriste iste opsege učestanosti. Jedna od varijanti ove tehnike je korišćene vrlo usmerenih antena (sa različitim pravcima usmerenja) na istoj lokaciji i sa adaptacijom antenskom dijagrama zračenje prema položaju korisnika.
- ❖ **PDMA** (*Polarization Division Multiple Access ili Dual Polarization Frequency Reuse*). Tehnika se zasniva na korišćenju dve ortogonalne polarizacije EM signala pri bežičnoj komunikaciji za razdvajanje signala u istom opsegu učestanosti. Npr. u okviru satelitskih sistema i usmerenih radio veza.

Motivacija - SDMA

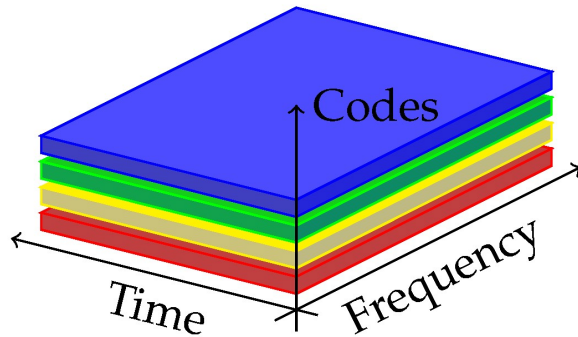
FDMA



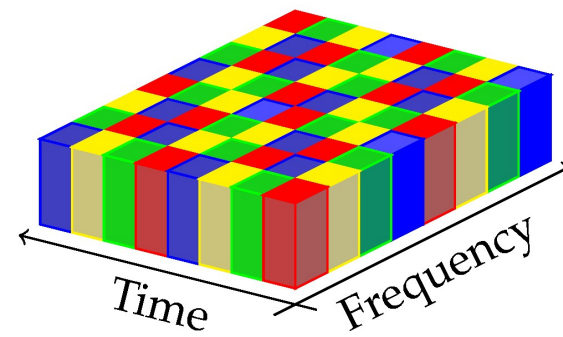
TDMA



CDMA

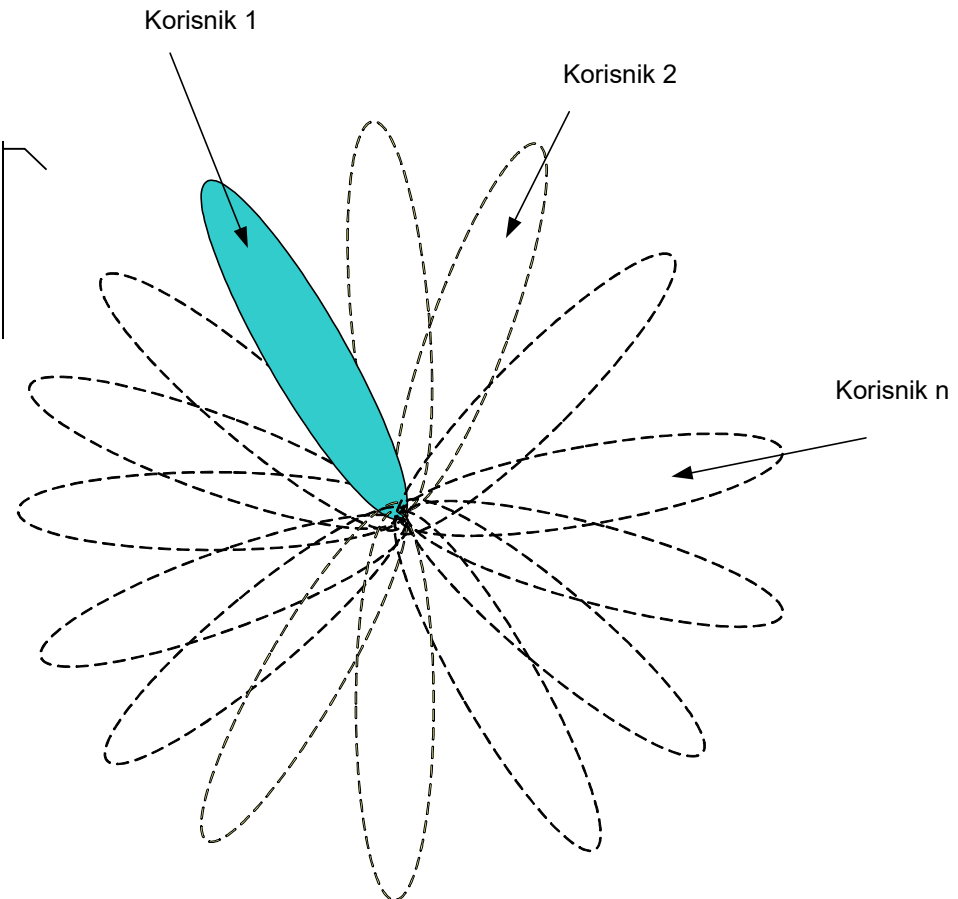


OFDMA



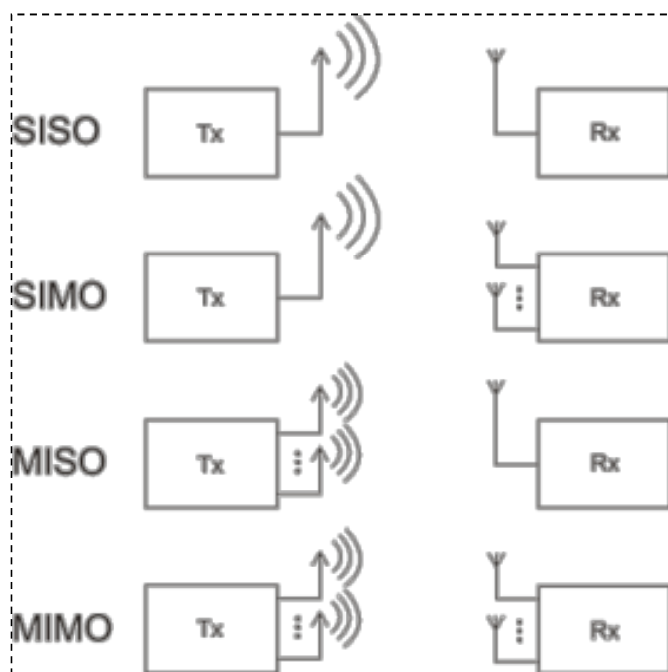
Motivacija - SDMA

Na koji način se obezbeđuje ortogonalnost signala različitih korisnika?



Motivacija – *Space-time* obrada (MIMO)

Space-time komunikacije (obrada) – novi koncepti u telekomunikacijama



Kapacitet:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{\sigma^2} \right) \quad \text{Shanon}$$

$$C = W \log_2 \left(1 + n_R \frac{P}{\sigma^2} \right) \quad > \text{Shanon}$$

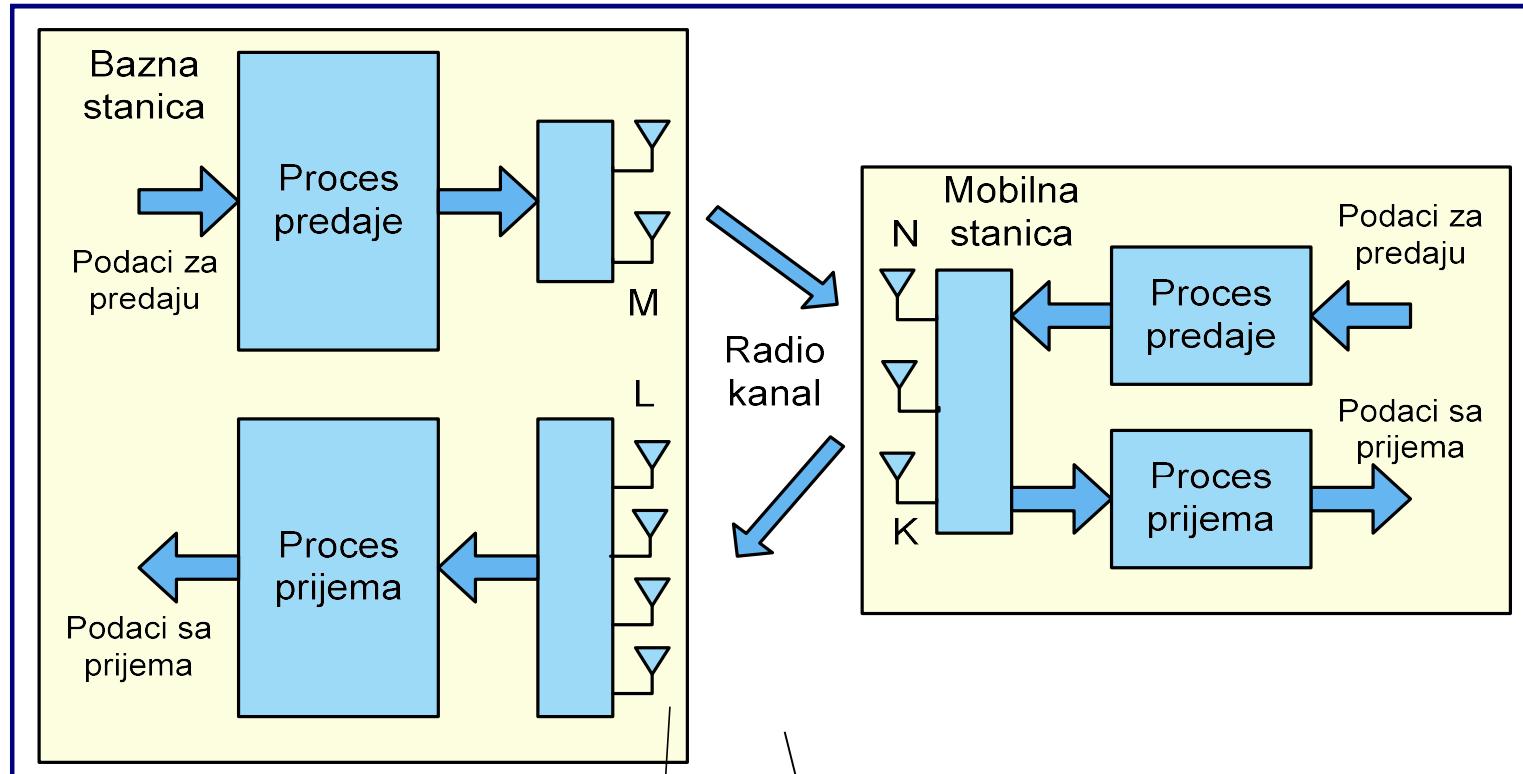
$$C = W \log_2 \left(1 + n_T \frac{P}{\sigma^2} \right) \quad > \text{Shanon}$$

$$C = W \log_2 \left(1 + n_{RN} \frac{P}{\sigma^2} \right) \quad > \text{Shanon}$$

Osnovni pojmovi i principi

- ❖ *Jedno rešenje inteligentne (smart) antene obuhvata fizičku realizaciju antenskog sistema (antenski niz – niz antena), koji se sastoji iz određenog broja usmerenih ili omnidirekcionih antenskih elemenata, kao i proces, ili algoritam, kojim se vrši kontrola dijagrama zračenja ovog sistema (u užem smislu) ili kompletan proces obrade signala (u širem smislu) - u cilju automatske optimizacije i prilagođenja predajnog i/ili prijemnog dijagrama zračenja antenskog niza na konkretan scenario signala.*
 - **Smart** karakteristike antene su predefinisane njenom konstrukcijom - antenski nizovi su *smart* zahvaljujući algoritmima za obradu signala
 - Fizička realizacija antenskog sistema izuzetno je bitna: **Mora biti fleksibilna i mora da omogući primenu modernih algoritama za formiranje dijagrama zračenja i drugih algoritama za obradu signala.**
 - Razvoj i unapređenje karakteristike procesa obrade signala predstavljaju drugu bitnu komponentu u razvoju SA tehnologije.

Osnovni pojmovi - Arhitektura sistema!



U opštem slučaju postoje 4 antenska sistema, po jedan za prijem i predaju na BS i MS.

MS - najčešće jedan antenski element (osim MIMO sistema), dimenzije, napajanje, cena ..

Osnovni pojmovi – Princip rada

- ❖ **Pri prijemu signala** - cilj je da se formira takav prostorni odziv (“dijagram zračenja”) antene koji bi imao maksimalnu vrednost (dobitak) u pravcu dolaska korisnog signala, i što manju vrednost (dobitak) u pravcu izvora interferencije.
 - **Izvore interferencije** predstavljaju drugi korisnici u sistemu, signali višestruke propagacije ili neki drugi signali iz okruženja;
 - Primenom antenskog niza od M elemenata moгу se u potpunosti potisnuti (poništiti) signali iz $M-1$ prostornih pravaca (tzv. *Null-steering*);
 - Ako je broj interferirajućih signala veći od broja antena SA sistema, potpuno poništavanje interferencije nije moguće – tada je moguća primena **optimalnog kombinovanja** (npr. adaptivni antenski niz).
- ❖ **Pri predaji signala** - cilj je da se formira prostorni odziv (“dijagram zračenja”) antene koji će što više energije usmeriti ka prijemniku željenog korisnika, uz što manje rasipanje energije signala u drugim pravcima, npr. pravcima ostalih korisnika sistema – smanjuje se interferencija emitovana ka drugim korisnicima sistema ili drugim sistemima koji rade u istom opsegu na datom području.

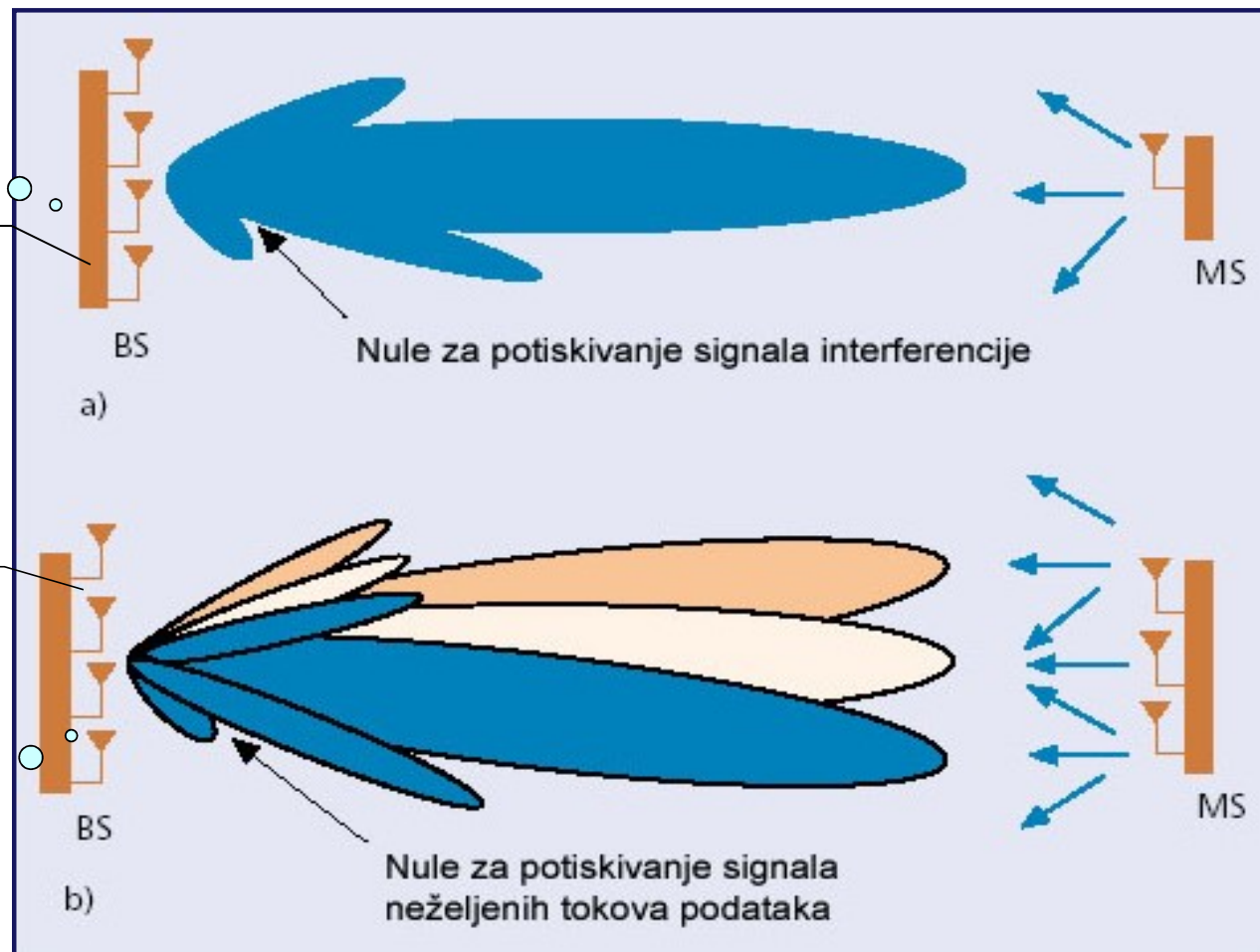
Osnovni pojmovi – Princip rada

**SIMO
sistem!**

U slučaju pojave
višestruke
propagacije signala
može se formirati
više maksimuma za
svaki pravac
prostiranja signala

Potpuno razdvajanje
tokova podataka –
multiplikacija
kapaciteta.

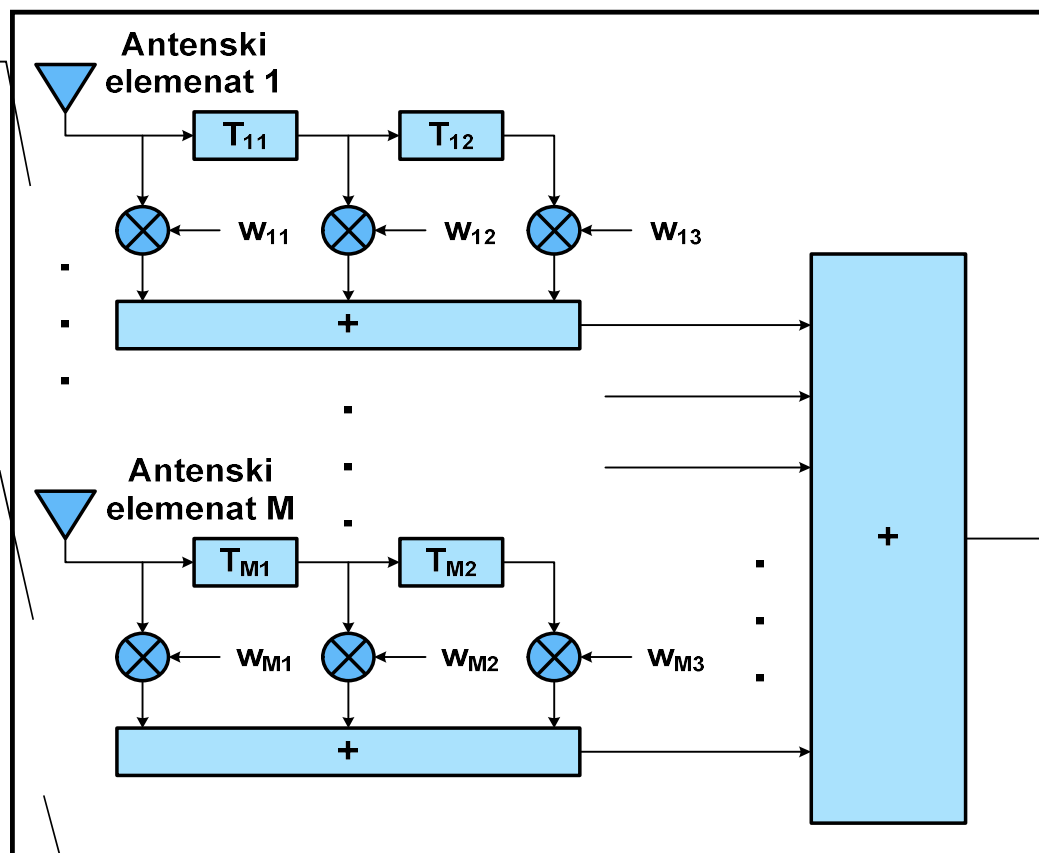
**MIMO
sistem!**



Osnovni pojmovi - *Space-time* procesiranje

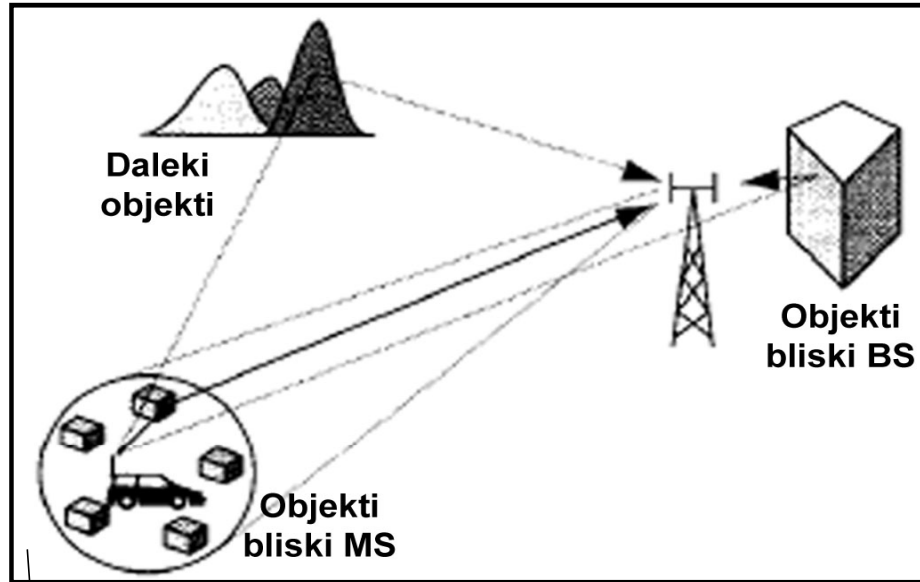
Istovremena ekvalizacija u prostornom i vremenskom domenu, tj. združeno procesiranje - značajne mogućnosti poboljšanja karakteristika sistema.

Adaptivni algoritmi za određivanje težinskih koeficijenata, dva tipa: zasnovani na korišćenju pilot sekvenci, i *blind* algoritmi, zasnovani na korišćenju osobina signala - kodna sekvenca, osobine modulacije, ...



MIMO sistemi - specifična forma združenog procesiranja.

Osnovni pojmovi - Propagaciono okruženje



Tri osnovna parametra kanala:

- Rasipanje po kašnjenju (*delay spread*, *multi-path spread*)
- Rasipanje po učestanosti (*Doppler spread*)
- Rasipanje po uglu (*angular spread*).

❖ Efekti u propagaciji:

- Slabljenje;
- *Shadow Fading* - izaziva varijacije srednje snage na prijemu;
- Višestruka propagacija - izaziva ravan ili frekvencijski selektivan fading;
- Šum okoline;
- *Doppler*-ov pomak;
- Istokanalna interferencija (CCI) – često predstavlja ograničavajući faktor.

Osnovni pojmovi - Propagaciono okruženje

- ❖ **Rasipanje po uglu** - posebno važan za sisteme sa antenskim diversitetom i SA sisteme - neophodan razvoj metoda za modelovanje kanala i propagacije koje u koriste ovaj parametar.
 - **Objekti u blizini MS u pokretu** izazivaju rasipanje po učestanosti zavisno od brzine vozila - tipično je manje od 200Hz, rasipanje u vremenu i po uglu obično manja.
 - **Objekti bliski BS**, izazivaju višestruku propagaciju sa malim rasipanjem u vremenu, ali sa znatnim rasipanjem po uglu.
 - **Udaljeni objekti**, izazivaju međusobno nezavisnu višestruku propagaciju, sa velikim vrednostima rasipanja u vremenu i po uglu.
 - **Makroćelija** - promena rasipanja po uglu uglavnom zavisi od udaljenosti i brzine MS, a **brzina promene određuje brzinu ažuriranja u adaptivnom algoritmu za formiranje dijagrama zračenja**, veliki problem za korisnike koji se kreću velikom brzinom.
 - **Mikroćelija** - veliki broj objekata u blizini MS i BS koji izazivaju **veće rasipanje po uglu, manje rasipanje u vremenu i malo ili srednje rasipanje po učestanosti**. **Nema LOS (Line-of-Sight) komponente** - koristi se prostorna signatura korisnika (optimalno kombinovanje).

Osnovni pojmovi – CSI

- ❖ Bitna karakteristika za rad SA sistema je **poznavanje stanja kanala** (*Channel State Information, CSI*) kroz koji se vrši propagacija signala.
 - Kod primene SA sistema na prijemu signala - moguće je odrediti parametre kanala sa dovoljnom tačnošću.
 - Kod primene antenskog sistema na predaji - CSI nije uvek dostupna pri obradi signala.
 - Tehnike obrade signala moraju se prilagoditi ovakvoj situaciji (da ne zahtevaju CSI ili da se koristi neki oblik estimacije (procene) trenutnog stanja radio kanala).
 - Posledica: slabije performanse pri primeni tehnologija naprednih antenskih sistema na predaji u odnosu na prijem signala.
- ❖ Na osnovu toga da li se CSI na predaji dobija od sagovornika (druge strane komunikacije), tj. njegova procena stanja kanala na starni prijema, sisteme možemo podeliti na sisteme koji rade u:
 - otvorenoj petlji (*Open-Loop, OL*);
 - zatvorenoj petlji (*Closed-Loop, CL*).

Osnovni pojmovi - Višestruki pristup

- ❖ Većina bežičnih telekomunikacionih sistema (mobilni sistemi, WLAN, FWA) koristi neke od tehnika višestrukog pristupa.
- ❖ Najzastupljeniji su sistemi sa višestrukim pristupom na bazi vremenskog (*Time Division Multiple Access*, TDMA) i kodnog multipleksa (*Code Division Multiple Access*, CDMA).
- ❖ Osnovne karakteristike sistema sa CDMA:
 - RAKE prijemnik – **imamo inherentan vremenski diversiti u sistemu;**
 - Antenskim sistemom **vrši se potiskivanje istokanalne interferencije, CCI, i interferencije drugih korisnika (MUI, Multiuser Interference).**
- ❖ Osnovne karakteristike sistema sa TDMA:
 - Antenski sistem treba da obezbedi **vremenski i ostale vrste diversitija;**
 - Neophodno je izvršiti što je moguće bolje **potiskivanje CCI**, koja je često jedan od glavnih ograničavajućih faktora u ovim sistemima.

Osnovni pojmovi - Povećanje kapaciteta

- ❖ **Primenom SA tehnologije** povećava se odnos S/N+I u zavisnosti od broja antenskih elementa za približno $10 \times \log_{10} M$. Teorijski porast kapaciteta u slučaju interferencija kao glavnog faktora ograničenja definisan je izrazom:

$$C_{bezSA} = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Rightarrow C_{SA} = B \log_2 \left(1 + M \frac{S}{N} \right)$$

- ❖ **Kod MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)** sistema, prenos signala se razdvaja na ortogonalne tokove podataka koji se prenose istovremeno korišćenjem istog opsega učestansoti, teorijski porast kapaciteta sistema je veći nego kod SA sistema.

$$C_{bezMIMO} = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Rightarrow C_{MIMO} \approx BM \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Oba tipa sistema omogućavaju **višestruki porast kapaciteta sistema** što predstavlja **revolucionarni skok u tehnologiji bežičnih telekomunikacionih sistema !**

Osnovni pojmovi - Podela tehnika

❖ Jedna od mogućih podela tehnika u kojima se koriste napredi (složeni) antenski sistemi može se izvršiti na tri klase sistema:

- Sistemi koji obezbeđuju neki oblik diversitija:
 - diversiti na prijemu.
 - diversiti na predaji.
- Inteligentni (SA) antenski sistemi – antenski niz postoji samo u centralnom uređaju (BS). Antenski elementi sistema su na rastojanju manjem od polovine talasne dužine. Oblikuje se prostorni odziv antenskog sistema na prijemu i/ili na predaji:
 - SBA – *Switched Beam Array*.
 - BSA – *Beam Steering Array*.
 - AAA – *Adaptive Array Antenna*.
- MIMO sistemi – antenski elementi na rastojanju većem od 10 talasnih dužina (za nekorelisan prijem/predaju), i u BS i u MS:
 - Sistemi sa obradom samo u prijemniku.
 - Sistemi sa obradom samo u predajniku.
 - Sistemi sa obradom i u prijemniku i u predajniku.

Osnovni pojmovi - Podela tehnika

❖ Array processing u SA konceptu:

- Procena smeru dolaska signala (DOA estimation)
- Prostorno filtriranje (*beamforming*)

❖ Array processing u MIMO konceptu:

- DOA estimation i *Beamforming* + Prostorno multipleksiranje (SDM, *Spatial Division Multiplexing*)
- *Diversity* kodiranje (*Space-Time* kodiranje)

❖ U literaturi se pojam MIMO sistema često tretira kao nova definicija smart antena.

❖ MIMO sistemi su širi pojam od *smart* antena.

❖ Zašto se koriste SA i MIMO – koje probleme rešavaju:

- Potiskivanje uticaja fedinga (naročito *multipath* fedinga)
- Rasipanje kašnjenja signala pri višestrukome prostiranju - *delay spread*
- Međukanalna interferencija - *co-channel interferences*

Osnovni pojmovi – Efekti primene

Osobina

Povećanje nivoa prijemnog signala (signal gain):

Prostornim filtriranjem (*beamformingom*) povećava se nivo prijemnog signala i odnos signal/šum i time obezbeđuje traženi nivo snage za zahtevanu pokrivenost

Efekat

Veći domet i bolja pokrivenost sa istom predajnom snagom.

Isti domet i pokrivenost sa **manjom predajnom snagom**

Povećanje pouzdanosti linka za istu pred. snagu.

Osnovni pojmovi – Efekti primene

Osobina

Potiskivanje interferencije

Adaptivnim antenskim nizovima formira se maksimum dijagrama usmerenost antene prema izvoru korisnog signala i u isto vreme nula(e) dijagrama usmerenosti prema izvoru interferencije (medjukanalna interferencija, ometač, nenamerna interferencija)

Efekat

Povećanje kapaciteta

(povećanje ukupnog broja korisnika bez degradacije kvaliteta servisa - QoS)

Povećanje brzine prenosa za istu predajnu snagu

Osnovni pojmovi – Efekti primene

Osobina

Prostorni Diversity:

Kombinovanje signala sa više antena na predaji (*transmit diversity*) ili na prijemu (*receiving diversity*) u cilju smanjenja efekata višestrukog prostiranja (*multipath-a*) u kanalu

Efekat

Smanjenje efekata višestrukog prostiranja u cilju postizanja što veće brzine prenosa sa istom snagom bez primene ekvalizacije kanala

Osnovni pojmovi – Efekti primene

Osobina

Efekat

Space-time processing (MIMO)

- *beamforming*
- *space-time* kodiranje
- prostorno multipleksiranje

Povećanje spektralne efikasnosti linka izražene u bit/s/Hz

Povećanje kapaciteta kanala iznad *Shanon*-ove granice

Osnovni pojmovi – Efekti primene

Osobina

Određivanje smera dolaska signala mobilnog korisnika od interesa

Efekat

Implementacija geolokacionih servisa u zoni pokrivanja bežične celularne mreže

Osnovni pojmovi – Čelijski sistemi

- ❖ 2G: Selekcija sektorskih antena na predaji na baznim stanicama (elementarni *beamforming*)
- ❖ 3G: *Beamforming* na predajnoj strani na baznim stanicama
- ❖ 4G: MIMO *beamforming*, delimično SDMA
- ❖ 5G: MIMO tehnike *beamforming*-a i puni SDMA (*Space Division Multiple Access*)

Osnovni pojmovi – Primena u TK sistemima

- ❖ Tehnike prostornog *diversity*-ja
- ❖ Tehnike sektorskog pokrivanja prostora
- ❖ Tehnike adaptivnog prostornog filtriranja (*beamforminga*) sa formiranjem nule dijagrama usmerenosti prema izvoru interferencije (*null-steering*)
- ❖ Tehnike prostorne raspodele korisničkih signala - *Space Division Multiple Access*

Osnovni pojmovi – Primene: *Diversity*

- ❖ U telekomunikacijama pod diversiti tehnikama podrazumevaju se metode za poboljšanje pouzdanosti prenosa informacija korišćenjem dva ili više komunikacionih kanala sa različitim karakteristikama.
- ❖ Ista informacija se šalje preko više kanala
- ❖ Cilj primene diversiti tehnika: borba protiv fadinga, međukanalne interferencije i paketizovanih (burst) grešaka pri prenosu.
- ❖ Diversiti pojačanje (*Diversity gain*) – dobitak usled primene diversitija (dB)

Osnovni pojmovi – Primene: Diversiti

❖ Tipovi diversitija:

- Vremenski diversiti (npr. bit-interleaving),
- Frekvencijski diversiti (OFDM, DS-CDMA),
- Prostorni (*space*) diversiti (*antenna diversity, wire diversity*),
- Polarizacioni diversiti,
- Višekorisnički (*Multiuser*) diversiti
- Antenski (*antenna*) diversiti - tehnika prenosa informacije korišćenjem više različitih propagacionih putanja – prijemni (više antena na prijemu) i/ili predajni (više antena na predaji)
- Kooperativni diversiti
- Multi-path diversity (RAKE, 2-D RAKE prijemnik)

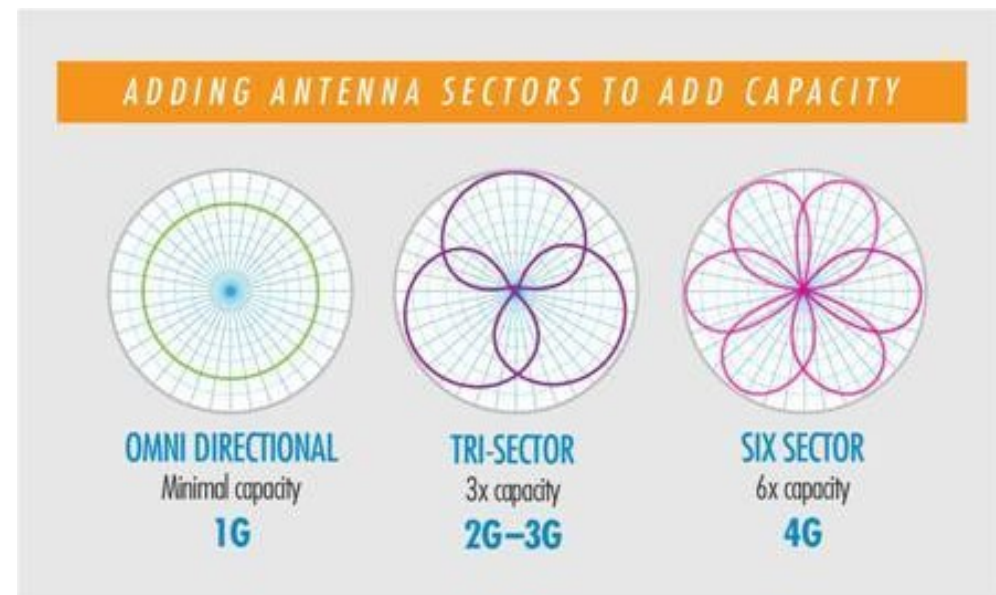
Osnovni pojmovi – Primene: Diversiti

- ❖ ***Diversity combining*** – logika za kombinovanje prijemnih signala sa više antena u cilju poboljšanja kvaliteta prijemnog signala
- ❖ ***Microdiversity*** – antene su na rastojanju reda talasne dužine (SA)
- ❖ ***Macrodiversity***- antene su na rastojanju većem od talasne dužine (MIMO)

- ❖ ***Macroscopic diversity*** – izbor signala sa više baznih stanica. Borba protiv efekta senke (*shadowing*) u kanalu sa višestrukim prostiranjem.
- ❖ ***Mikroscopic diversity*** – kombinovanje signala sa više antena na strani bazne stanice ili mobilnog korisnika. Antene su postavljene na rastojanju za koje je prostorna korelacija prijemnog signala manja od jedinice. Borba protiv *Rayleigh*-ovog fadingsa koji je posledica relativnog doplerovog pomaka i vremenskih kašnjenja signala različitih putanja

Osnovni pojmovi – Primene: Sektorizacija

- ❖ Pokrivanje celijskih sektora usmerenim antenama na baznoj stanici
- ❖ Primer *Personal Communication Services* (PCS) system. (3 sektora po 120 ili 6 sektora po 60 stepeni).

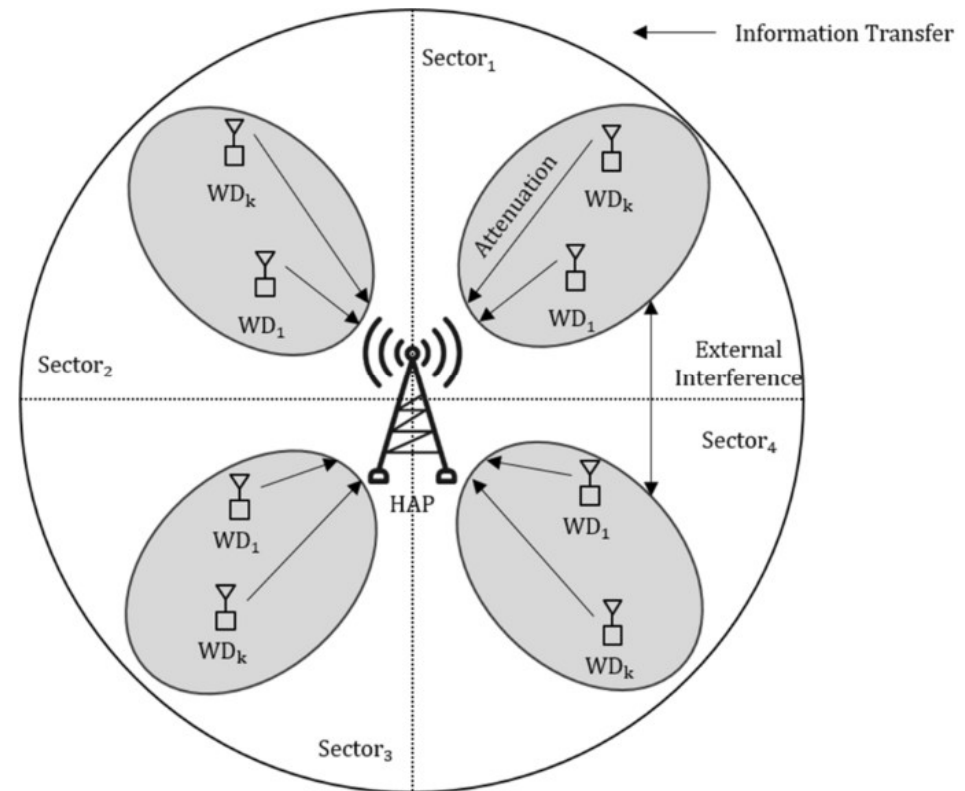


Osnovni pojmovi – Primene: Adaptivni BF

- ❖ Adaptivni antenski nizovi, 1959. godine, L.C.Van Atta
- ❖ Adaptivno formiranje maksimuma dijagrama antenskog niza prema izvoru korisnog signala i u isto vreme nule dijagrama prema izvoru interferencije/ometačkom signalu.
- ❖ Ograničenja primene smart antena sa adaptivnim *beamforming*-om
 - Povećanje složenosti
 - Povećanje cene
 - Gabariti antenskih nizova => primena na baznim stanicama
 - Sistemski problemi primene u celularnim sistemima

Osnovni pojmovi - Primene: SDMA

- ❖ Prostornom raspodelom kanala - SDMA pruža se mogućnost većem broju korisnika u istoj ćeliji da istovremeno koriste isti frekvencijski i vremenski slot - povećanje kapaciteta sistema
- ❖ SDMA se primera radi primenjuje u satelitskim komunikacijama.



SA tehnologija - Princip rada

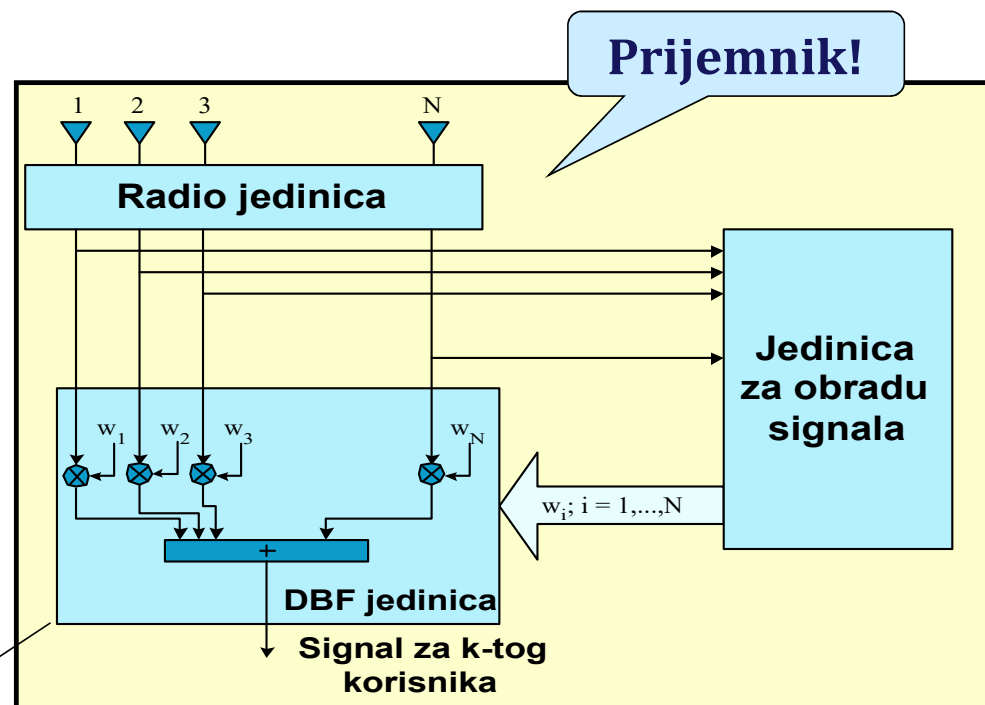


SA tehnologija - Princip rada

❖ **Princip rada SA** sistema zasniva se na oblikovanju dijagrama zračenja antenskog sistema:

- Maksimizira se dobitak u smeru korisnog signala.
- Minimizira se dobitak u pravcu signala interferencije.

❖ Antenski sistem koji se sastoji od M antenskih elemenata može da u potpunosti poništi signala interferencije koji dolaze iz $M-1$ prostornih pravaca.

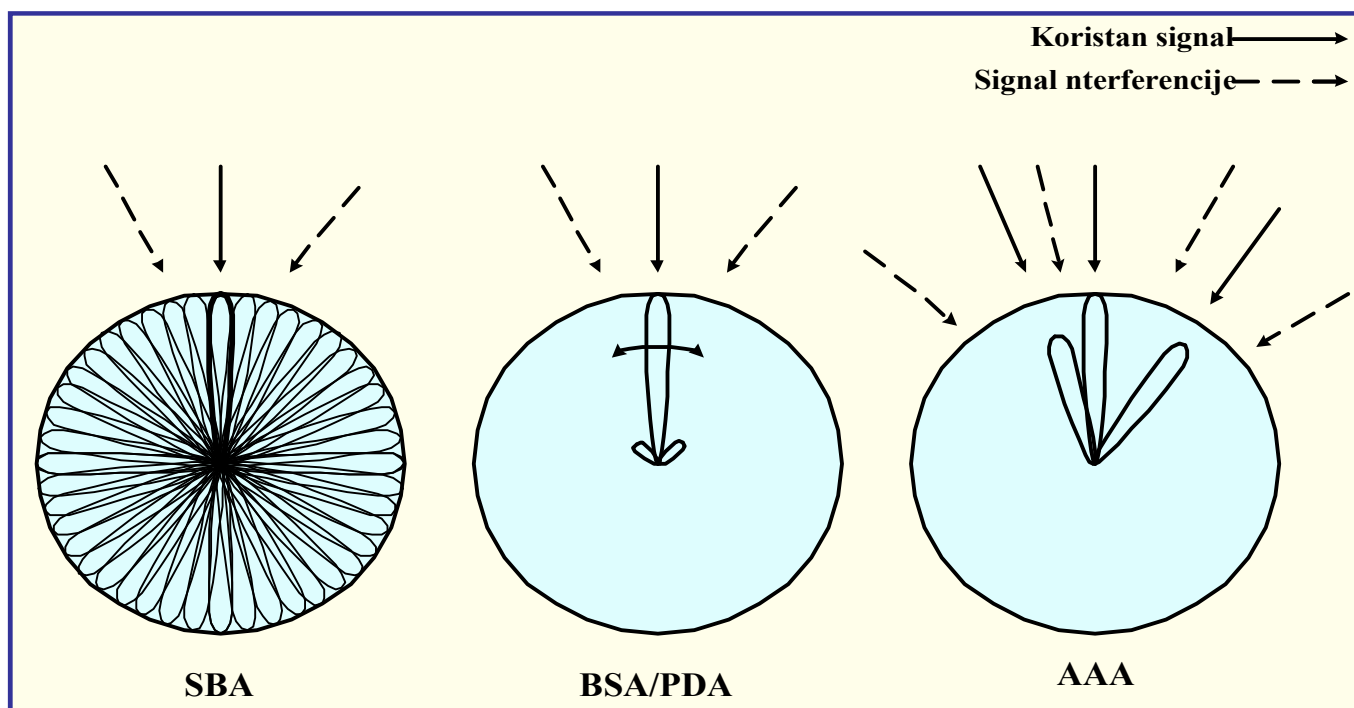


Koriste se dve bitne klase algoritama: za digitalno oblikovanje dijagrama zračenja, DBF (*Digital BeamForming*), i određivanje pravca dolaska (upada) radio signala, DoA (*Direction of Arrival*).

SA tehnologija - Moguće forme SA sistema

❖ Mogu se definisati tri osnovna koncepta u primeni SA tehnologije:

- *SBA* – *Switched Beam Array* (antenski niz sa izborom, promenom)
- *BSA* – *Beam Steering Array* (antenski niz sa praćenjem i usmeravanjem)
- *AAA* – *Adaptive Array Antenna* (adaptivan antenski niz)



SA tehnologija - SBA

- ❖ **SBA tehnika** - Tehnika sa izborom jednog od mogućih fiksnih dijagrama zračenja (*Switched Beam Antenna, SBA*) – ovo je najjednostavnija tehnika i sastoji se u jednostavnom izboru jedne iz mogućeg skupa usmerenih antenskih sistema predefinisano dijagrama zračenja (predefinisanih koeficijenata).
- ❖ Zbog veće usmerenosti u odnosu na konvencionalnu antenu ostvaruje se određeni dobitak, osim **u slučaju diskriminacije prostorno bliskih (po uglu) signala**, npr. korisnika istog sistema ili željenog signala i signala interferencije.
- ❖ **Prednost** je što se ovakva struktura lako realizuje u već postojećim sistemima bez značajnijih promena u sistemu.
- ❖ Postoji i mogućnost **kombinovanja više antena** čime se unosi diversiti i povećava efikasnost.

SA tehnologija – DPA, BSA

- ❖ **BSA/PDA tehnika** – Tehnika primene dinamički usmerenih antena (*Dynamically Phased Arrays, DPA*), ili antena sa usmeravanjem snopa (*Beam Steering Arrays, BSA*) – u okviru ove tehnike koristi se algoritam za određivanje pravca dolaska željenog/željenih signala (DoA algoritam), a zatim se ta informacija koristi kako bi se dijagram zračenja antene oblikovao (usmerio) u pravcu korisnog signala (DBF algoritam).
- ❖ Moguće je ostvariti kontinualno praćenje signala po uglu (u prostoru), i BSA tehnika se stoga može posmatrati kao generalizacija prethodne SBA šeme.
- ❖ Npr. na tržištu postoje dostupne realizacije ovog tipa SA sistema za GSM sisteme i 3G (UMTS) sisteme.

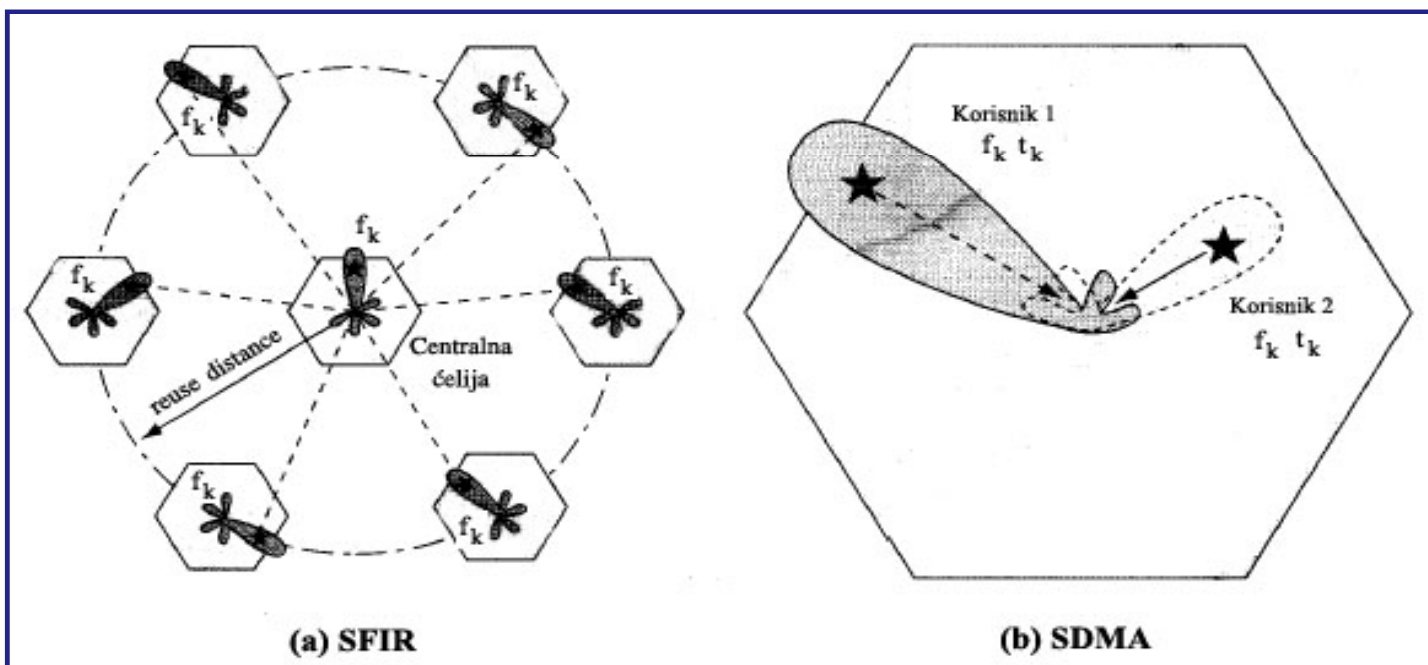
SA tehnologija - AAA

- ❖ **Adaptivni antenski nizovi (*Adaptive Antenna Arrays, AAA*)** - najslabija varijanta koriste se DoA algoritmi za određivanje *pravca nailaska korisnog i interferirajućih signala* na osnovu se formira prostorni odziv (dijagram zračenja) antenskog sistema koji će maksimalno potisnuti interferirajuće signale tj. *ostvariti maksimalni odnos S/I*.
 - **Generisanje nula u dijagramu zračenja** u pravcu interferirajućih korisnika (ako je broj tih korisnika manji od broja antenskih elemenata), tzv. *nullforming* - problemi se javljaju u okruženju sa jakim **višestrukom propagacijom** i kada **ne postoji direktna linija vidljivosti (*Non Line-of-Sight, NLOS*)**.
 - **Optimalno kombinovanje signala (*Optimal Combining, OC*)** - zadovoljenje željenog kriterijuma, najčešće maksimiziranje S/I. **Ovim pristupom postiže se maksimalan dobitak kako u LOS, tako i u NLOS uslovima rada sa izraženom višestrukom propagacijom.**

SA tehnologija – SFIR i SDMA pristup

❖ Definišu se dva pristupa u korišćenju SA sistema:

- Prostorno filtriranje u cilju potiskivanja interferencije – SFIR (*Spatial Filtering Interference Rejection*);
- Višestruki pristup na bazi prostornog multipleksiranja – SDMA (*Space Division Multiple Access*).



SA tehnologija – SFIR i SDMA pristup

- ❖ **Kod SFIR pristupa** - podržava se rad korisnika u svakoj istokanalnoj ćeliji korišćenjem šeme prostornog rasporeda (*reuse pattern*).
 - **Smanjivanjem nivoa interferencije** putem prostornog filtiranja omogućava se **smanjivanje minimalnog rastojanja** pri korišćenju konačnog skupa radio-kanala ćeliskog sistema koji koriste iste resurse (*reuse distance*);
 - **Manji broj u ćelija u klasteru** za šemu prostornog rasporeda (struktura ćeliskog sistema biće obrađena u predmetima **Radio sistemi i Javni mobilni sistemi** – ovde je to iskorišteno samo kao direktan primer povećanja kapaciteta putem primene SFIR).
- ❖ **Kod SDMA pristupa**, AAA se koristi na takav način da se omogućava rad više korisnika u **istoj ćeliji u isto vreme i na istoj učestanosti** korišćenjem prostornog razdvajanja korisnika
 - može se posmatrati kao dinamički pristup u kome svaki mobilni terminal definiše svoj sopstveni sektor tokom kretanja.

SA tehnologija – SFIR i SDMA pristup

Poredjenje SDMA i SFIR pristupa		
	Prednosti	Mane
SDMA	<p>Nije potrebna revizija frekvencijskog planiranja.</p> <p>Lokalno povećanje kapaciteta u pojedinim celijama (ne mora se primeniti u svim celijama već gde ima potrebe)</p>	<p>Potrebna je diskriminacija između korisnika u istoj celiji.</p> <p>Kompleksnije upravljanje radio resursima (ugao i frekvencija)</p>
SFIR	<p>Nisu potrebne značajne promene radio interfejsa.</p> <p>Male ili nikakve izmene u upravljanju radio resursima.</p>	<p>Zasniva se na inteligentnom unutarcelijskom <i>handover</i>-u</p> <p>Potrebna je široka primena za postizanje punog dobitka u kapacitetu</p>

SA tehnologija – Uticaj primene FDD i TDD

- ❖ **Parametri kanala** se u BS procenjuju samo na osnovu signala korisnika iz *uplink* pravca.
- ❖ **Kod frekvencijskog dupleksa (FDD)** nije moguće pouzdano proceniti parametre kanala za *downlink* pravac:
 - smanjuje se efikasnost primene SA u downlink pravcu.
 - ovo je ozbiljan problem u primeni SA u sistemima sa FDD.
- ❖ **Kod vremenskog dupleksa (TDD)** mogu se pouzdanije proceniti parametri kanala za *downlink* na osnovu estimacije za *uplink* pravac.
- ❖ **TDD način rada je pogodniji za primenu SA tehnologije.**
- ❖ **Sistemi druge generacije (npr. GSM) koriste FDD, dok je kod novijih standarda (cdma2000, IMT-2000, UMTS) predviđen osim FDD i TDD način rada.**

SA tehnologija – Uticaj TDMA/CDMA šema

- ❖ **TDMA sistemi** – mali broj jakih interferirajućih signala.
 - Optimalan je AAA princip rada sa *nulforming-om*.
 - BSA i SBA tehnike su znatno manje efikasne u *uplink-u*.
 - Kod FDD načina rada za *downlink* se predlaže BSA tehnika.
 - Može se primeniti i SFIR i SDMA pristup.

- ❖ **CDMA sistemi** – veliki broj slabih interferirajućih signala (MUI – *Multiuser Interference*).
 - Optimalan je AAA princip rada sa maksimiziranjem S/I.
 - *Nulforming* pristup ovde nije podesan već se koristi optimalno kombinovanje.
 - Zbog upotrebe RAKE prijemnika SBA tehnika je konkurentna AAA tehnici.
 - SDMA pristup sa ponavljanjem kodnih sekvenci nije preporučljiv.

SA tehnologija – Primena u postojećim sistemima

- ❖ Postoje određeni problemi za primenu SA u postojećim sistemima – ranije su formirani standardi, protokoli i sl.
- ❖ Veliki broj studija, simulacija i eksperimentalnih rezultata potvrđuju opravdanost primene SA tehnologije u već postojećim sistemima sa stanovišta tehničkih karakteristika sistema – pitanje je samo u kojoj meri je to isplativo operaterima postojećih sistema.
- ❖ Primena SA tehnologije u postojećim, aktivnim sistemima povećala bi kapacitete, kvalitet prenosa, a samim tim i vek trajanja i eksploatacije ovih sistema.
- ❖ Kod novijih generacija sistema koristi se ili je omogućena primena TDD, odnosno postoje i druga rešenja koja su prilagođena mogućoj primeni SA i MIMO sistema – očekuje se značajna primena u formi SA tehnologije ili još verovatnije MIMO sistema u daljem razvoju bežičnih telekomunikacionih sistema.

SA tehnologija - Tehnološki aspekti primene

- ❖ **Primena SA tehnologije u mnogome zavisi od same tehnologije izrade antenskih sistema.**
- ❖ **Bitan tehnološki aspekt predstavlja razvoj platformi za digitalnu obradu signala (DSP, *Digital Signal Processing*).**
 - Sve SA tehnike imaju velike zahteve u pogledu računске složenosti, odnosno neophodne procesorske snage platforme.
 - Na osnovu sadašnjeg stepena razvoja tehnologije DSP procesora očekuje se da će procesorska snaga biti u stanju da zadovolji potrebe SA tehnologije za primenu u postojećim i budućim telekomunikacionim sistemima.
- ❖ **Treći, takođe, veoma važan aspekt buduće primene SA tehnologije je mogućnost integracije ovakvog sistema u rešenja predajnika i prijemnika na bazi softverski definisanog radia (*Software Defined Radio, SDR*).**

SA tehnologija - Rezultati primene

❖ Primenom SA:

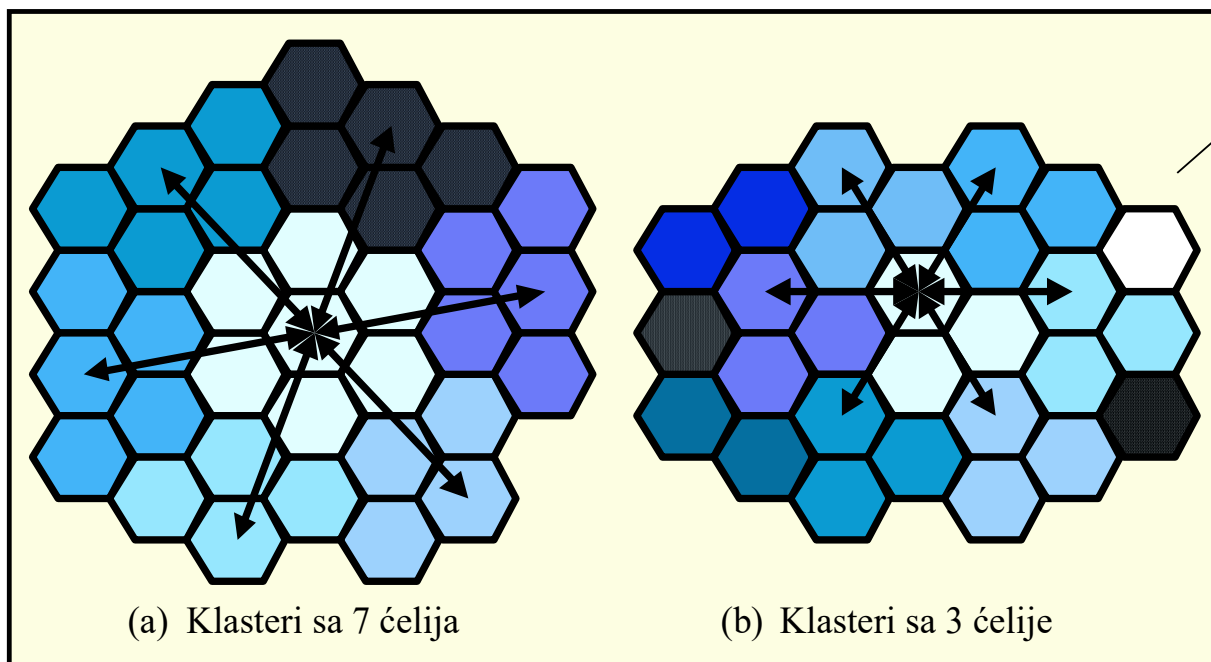
- Potiskuje se istokanalna interferencija;
- Smanjuje se rasipanje u vremenu;
- Povećava se energetska i spektralna efikasnost;
- Putem prostornog diversitija smanjuje se uticaj fedinga.

❖ Povećanje kapaciteta i spektralne efikasnosti sistema:

- U gusto naseljenim područjima intenzitet saobraćaja izuzetno je visok - karakteristike sistema pretežno su ograničene uticajem interferencije koja potiče od velikog broja korisnika.
- SA utiču na povećanje odnosa $S/N+I$ - na osnovu porasta $S/N+I$ ostvaruje se povećanje kapaciteta i spektralne efikasnosti posmatranog sistema.

SA tehnologija - Kapacitet TDMA

- ❖ **Povećanje S/I** moguće je iskoristiti za smanjenje minimalnog rastojanja između ćelija kojima se dodeljuje isti skup frekvencija.
- ❖ **Primenom SDMA** moguće je ostvariti povećanje kapaciteta, većem broju korisnika u istoj ćeliji dodeljuje se isti vremenski i frekvencijski kanal - unutarćelijski *handover*-a.



Primer za povećanje kapaciteta TDMA sistema primenom SA tehnologije.

SA tehnologija - Kapacitet CDMA

- ❖ **Kod CDMA sistema** performanse su inherentno ograničene interferencijom od drugih korisnika (MUI, *Multi-User Interference*, MAI – *Multi-Access Interference*), iz razloga neortogonalnosti kodova korisnika.
- ❖ Primenom SA tehnologije u skladu sa **SFIR konceptom** smanjuje se MUI/MAI i CCI – to omogućava značajno povećanje kapaciteta sistema.
- ❖ Za CDMA sisteme se primenom SA tehnike očekuje još ***veće povećanje kapaciteta*** u odnosu na TDMA sisteme.
- ❖ U teorijskim razmatranjima može se naći podatak o ***petostrukom povećanju kapaciteta***, dok je u mnogim studijama, prikazan značajan porast broja korisnika, tj. ***kapaciteta sistema, primenom SA tehnike.***

SA tehnologija - Povećanje dometa

- ❖ **Povećanje dometa** - ostvaruje se povećanje dobitka antene, srazmerno broju antena M - povećava domet veze sa faktorom $M^{1/g}$, gde je g propagacioni faktor (tipično $g = 4$).
 - **U ruralnim i slabo naseljenim** oblastima ovo se može iskoristiti za **povećanje rastojanje između BS** (približno $M^{2/g}$ puta), čime se mogu ostvariti znatne uštede na nivou sistema.
 - Povećanje dometa se, osim zbog dobitka antene, ostvaruje i zbog antenskog diverzifikacija, pri čemu poboljšanja veoma zavise od rasipanja po uglu, tj. okruženja u kome se obavlja komunikacija.
- ❖ **Smanjivanje snage predajnika** - ostvaruju se uštede, smanjuje nivo štetnog zračenja na okolinu i produžava trajanja baterije mobilnog korisnika.

SA tehnologija - Povećanje kvaliteta

- ❖ **Povećanje kvaliteta prenosa** - kao posledica smanjivanja istokanalne interferencije i fadinga usled višestruke propagacije javlja se smanjivanje verovatnoća greške po bitu (*Bit Error Rate, BER*) u TDMA i CDMA sistemim.
- ❖ Ostvaruje se povećanje kvaliteta prenosa, a dobitak se može iskoristiti u razne svrhe kao što su:
 - smanjivanje snage predajnika (manja potrošnja baterije);
 - povećanje kapaciteta;
 - povećanje zone pokrivanja i sl.
- ❖ **Optimalno planiranje sistema** - mogućnosti povećanja efikasnosti mreže na osnovu parametara dobijenih upotrebom SA u sastavu BS – optimalna dinamička dodela kanala, manja učestanost *handovera*-a, bolja dinamička raspodela resursa na nivou mreže.
- ❖ **Uvođenje novih servisa na osnovu poznavanja lokacije korisnika.**

SA tehnologija - Cena i složenost

❖ Povećanje složenosti BS

- Praktična rešenja BS sa SA tehnologijom su složenija i sa znatno većim energetskeim zahtevima - signal se emituje sa više antena, povećan obim obrade signala;
- Skuplji i osetljiviji antenski sistem;
- Skuplji i moćniji DSP procesori.

❖ Cena BS sa SA tehnologijom znatno je veća u odnosu na klasična rešenja bez primene SA tehnologije.

❖ Dobici koji se ostvaruju korišćenjem SA tehnologije su takvi da omogućavaju velike uštede u sistemu.

**Potrebno je naći pravi balans dobitaka
i cene primene SA tehnologije !!!**

SA tehnologija - Upravljanje resursima

❖ Upravljanje resursima

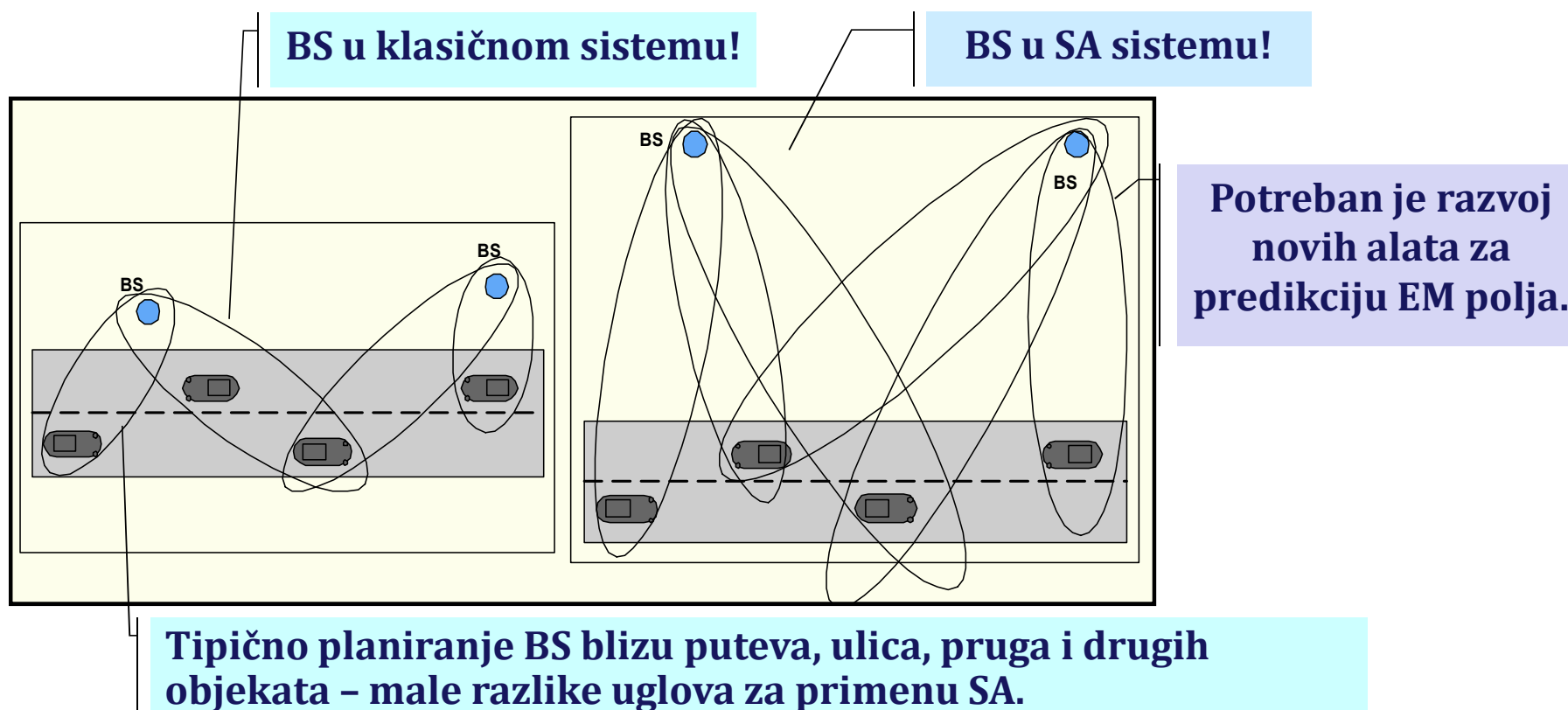
- Kako bi se uspešno koristile prednosti SA tehnologije potrebno je usavršiti i načine upravljanja resursima sistema.
- Prihvat novog korisnika u sistem, za koga nije poznata lokacija,
- Preuzimanje korisnika između ćelija sistema.
- Dinamička alokacija resursa u situacijama kada dva korisnika dođu u prostornu koliziju - pogotovu u slučaju korišćenja SDMA tehnike kod koje ovakav događaj uzrokuje promenu dodele resursa unutar posmatrane ćelije.

❖ Usložnjavanje procesa upravljanja resursima u znatnoj meri - ali omogućena je i veća sloboda, kao i veće mogućnosti optimizacije iskorišćenja resursa.

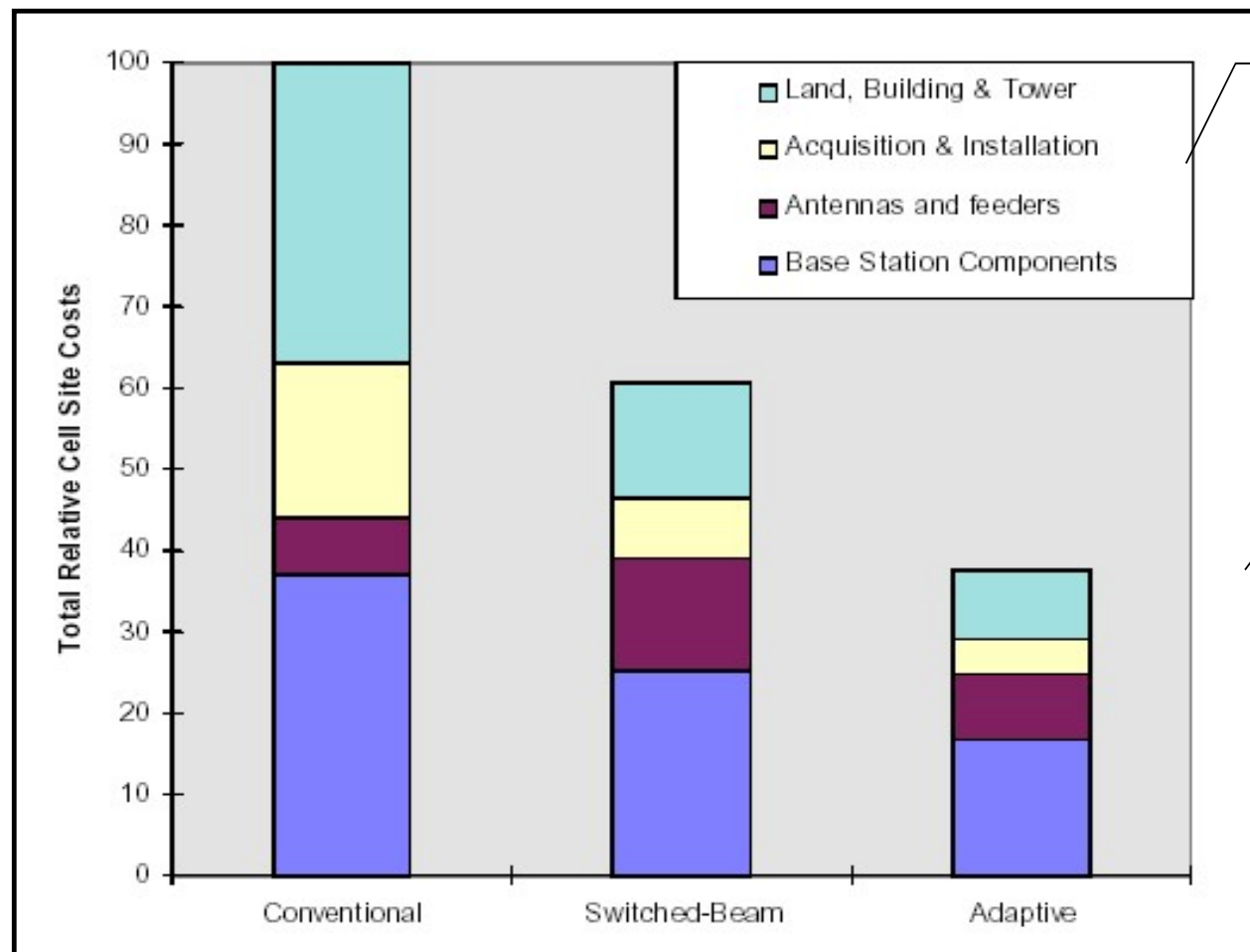
❖ Kod primene SDMA tehnologije u postojećim sistemima potrebno je u znatnoj meri korigovati već uspostavljene frekvencijske i druge planove što usložnjava proces uvođenja SDMA tehnologije.

SA tehnologija - Radio planiranje

- ❖ **Radio planiranje** - potrebno je prilagoditi postupke radio planiranja koji se sada koriste, pošto u njima nije razmatran uticaj prostornog rasporeda korisnika.



SA tehnologija – Troškovi izgradnje sistema



Primenom SA tehnologije moguće je povećati zonu pokrivanja jedne ćelije sistema.

Smanjuje se potreban broj ćelija za pokrivanje.

SA tehnologija – Primer *IntelliCell* sistem

Primer – Realizacija cdma2000 sistema u oblasti San Franciska

Zona pokrivanja	Urbana – gusto naselj.	704km ²	40% saobracaja
	Urbana – retko naselj.	4536km ²	60% saobracaja
Stanovnika	5.6 miliona		
Procena penetracija servisa	50%		
Procena penetracije operatera	20% tržišta		
Klasicna BS	3 sektora, 3 antene po sektoru		
IntelliCell BS	3 sektora, 4 antene po sektoru		

Cene po saobracajnom kanalu su iste za oba tipa BS

Ostvareni dobici

70% smanjen broj sajtova

30% smanjeni investicioni troškovi

Manji troškovi održavanja

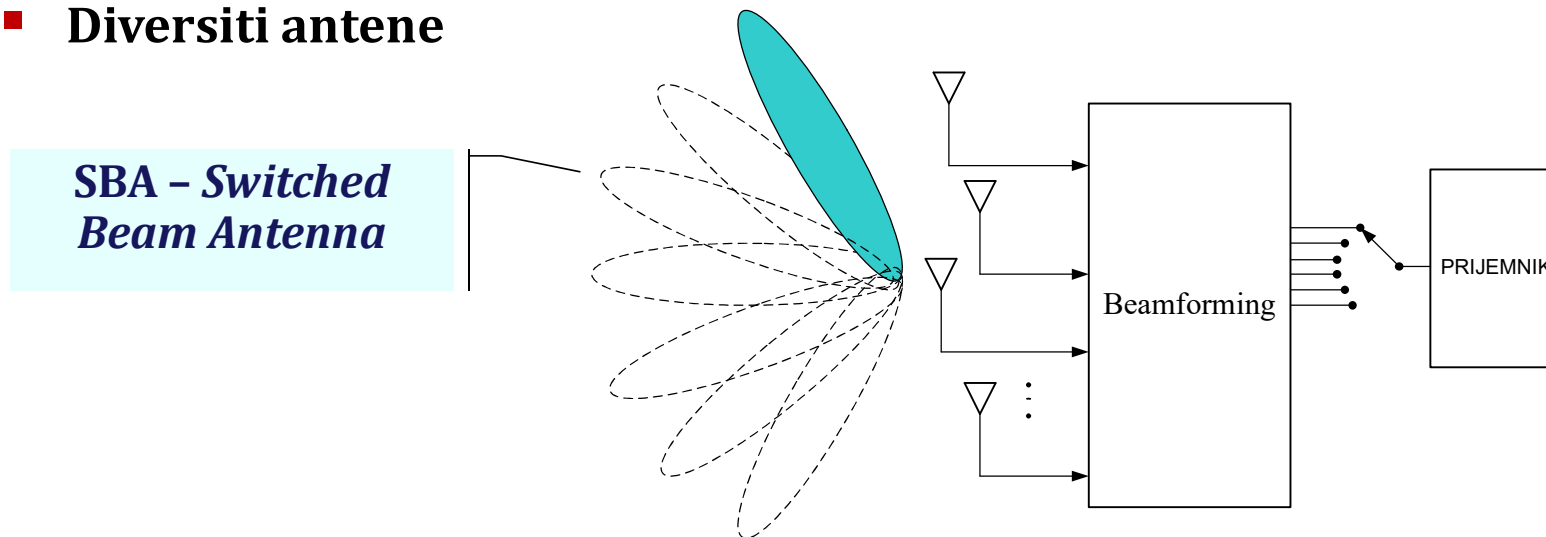
Brže postavljanje mreže i pocetak rada

Smanjenje snage sa 20W na 6W po BS

Velika ušteda u troškovima opreme i instalacije

SA tehnologija - Tipovi implementacije

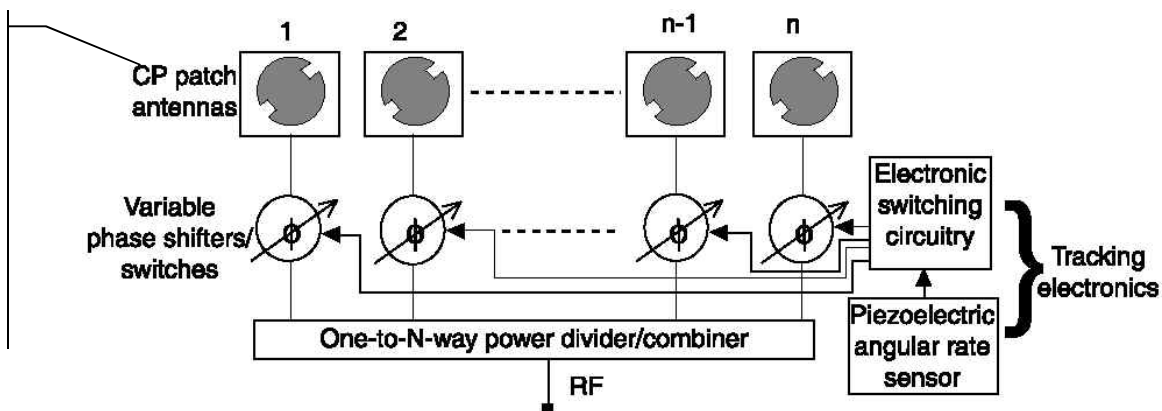
- ❖ Sa stanovišta implementacije imamo više tipova SA
 - Antenski nizovi sa izborom *beam*-a (*switched beam antenna*)
 - Fazirani antenski nizovi (*phased antenna array*)
 - Antenski nizovi sa digitalnim formiranjem dijagrama usmerenosti
 - Antenski nizovi sa parazitnim antenskim elementima (*parasitic antenna array*)
 - Diversiti antene



SA tehnologija - Tipovi implementacije

- ❖ Antenski nizovi sa izborom *beam-a* (*switched beam antenna*)
 - *Beamforming* u *switched-beam* antenama: analogni ili digitalni, na RF frekvenciji ili na IF (MF) tj. međufrekvenciji
 - Primena *Battler*-ove matrica
- ❖ Fazirani antenski nizovi (*phased antenna array*)
 - Principi *beamforming-a*
 - Analogne realizacije (fazni šifteri, spliteri/kombiajneri),
 - Radari, vojne primene, satelitske komunikacije

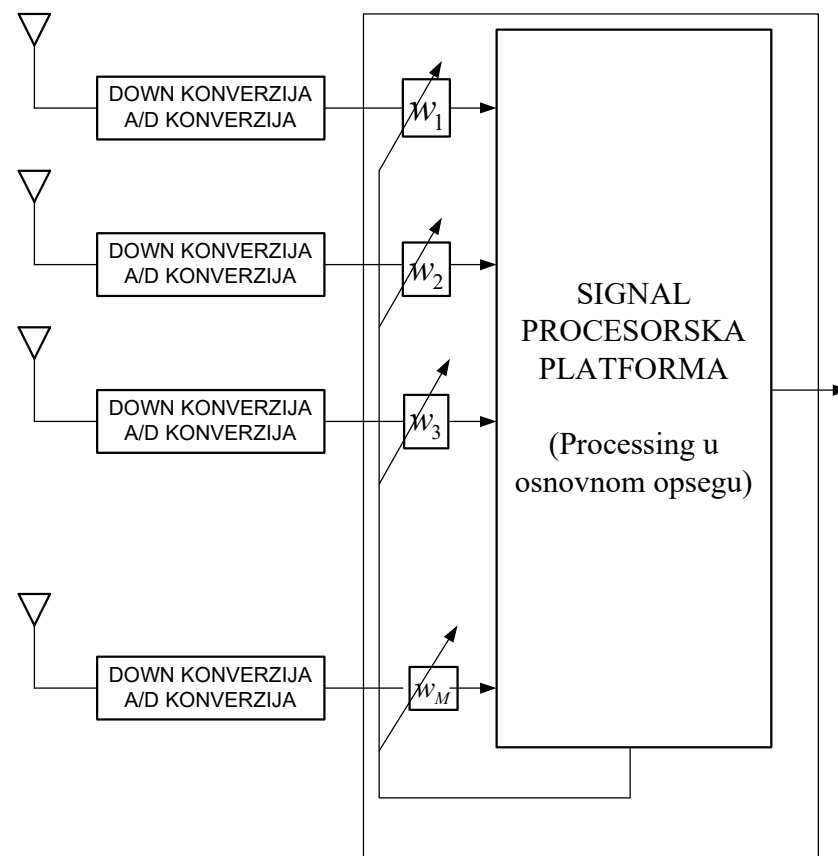
Blok dijagram
faziranog antenskog
niza za satelitski link
između mobilnog
učesnika na zemlji i
satelita



SA tehnologija - Tipovi implementacije

❖ Antenski nizovi sa digitalnim formiranjem dijagrama usmerenosti (AAA – adaptivni antenski nizovi):

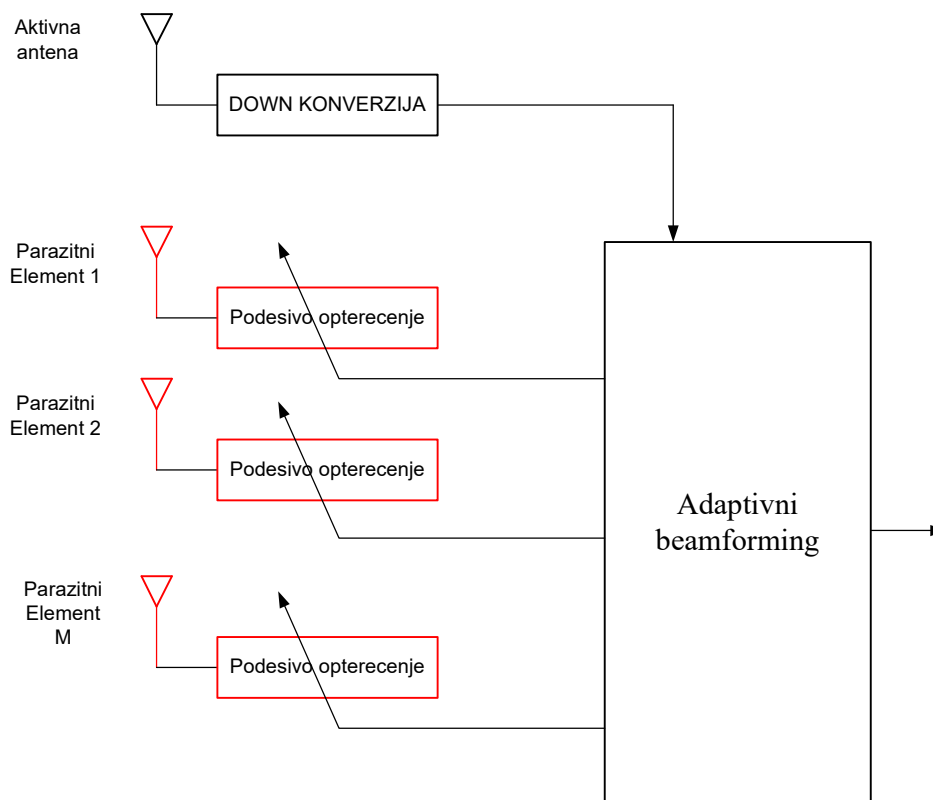
- Visokorezolucioni algoritmi
- *Down* konvertori i A/D konvertori povećavaju potrošnju
- Dinamički opseg A/D konvertora određuje dinamički opseg sistema
- Vojne i satelitske komunikacije, bazne stanice u celularnim sistemima, radio-goniometri



SA tehnologija - Tipovi implementacije

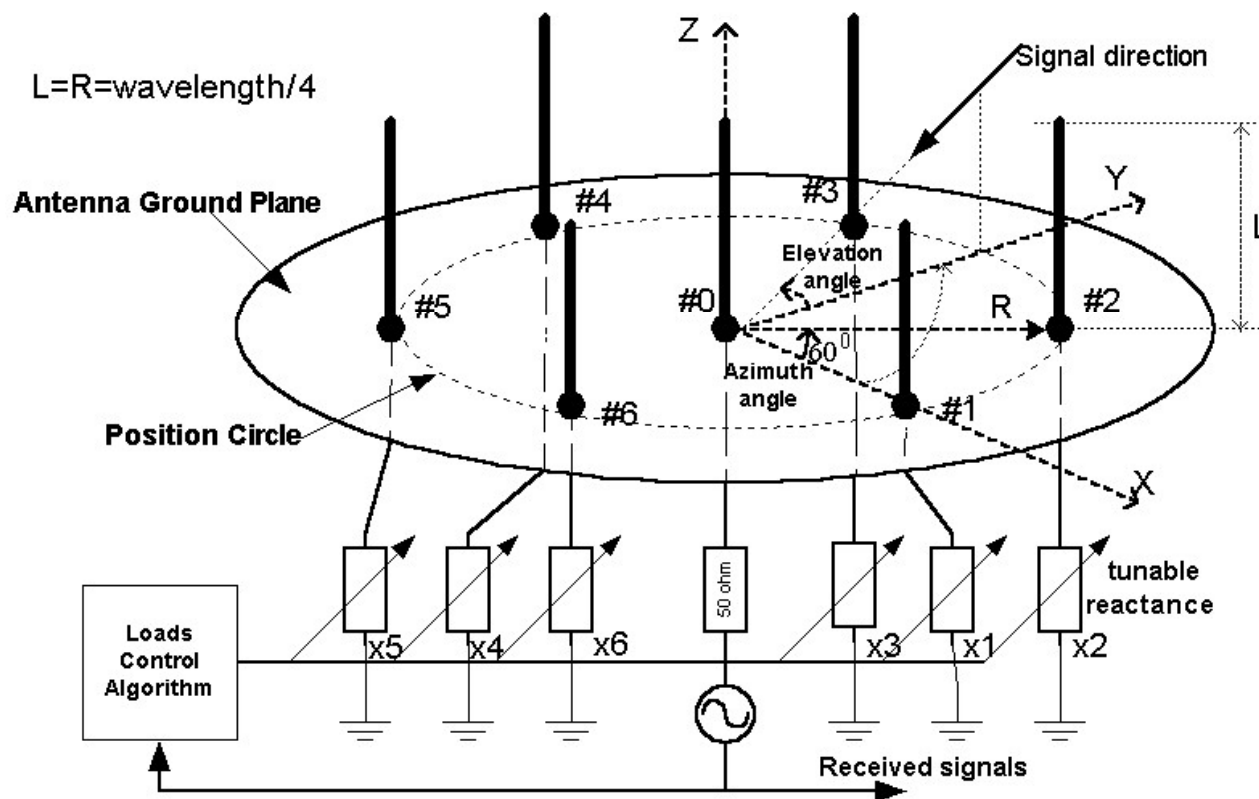
❖ Antenski nizovi sa parazitnim antenskim elementima (*parasitic antenna array*):

- Prijemni sistem jednokanalni (ne zahteva se kalibracija kao u slučaju višekanalnih sistema)
- *Yagi-Uda* antena (1926. godina) primer antene sa parazitnim elementima.
- Varijanta *Yagi-Uda* antene sa elektronskim upravljanjem dijagrama usmerenosti
- Tehnologije: *Switch*-ovanje parazitnih elemenata (PIN diode) ili upravljanje reaktansom parazitnih elemenata

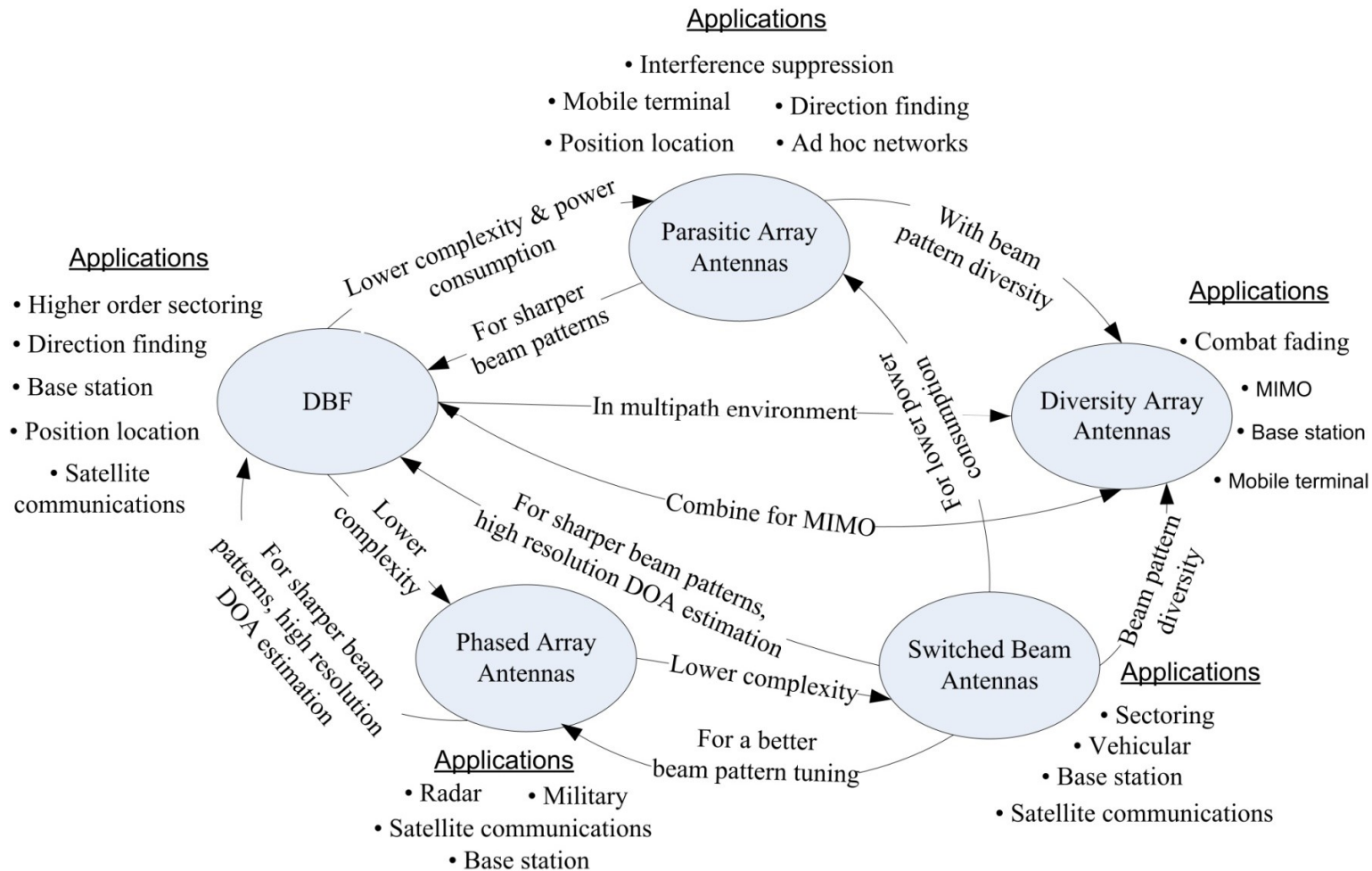


SA tehnologija - Tipovi implementacije

- ❖ Tehnologije: Switch-ovanje parazitnih elemenata (PIN diode) ili upravljanje reaktansom parazitnih elemenata



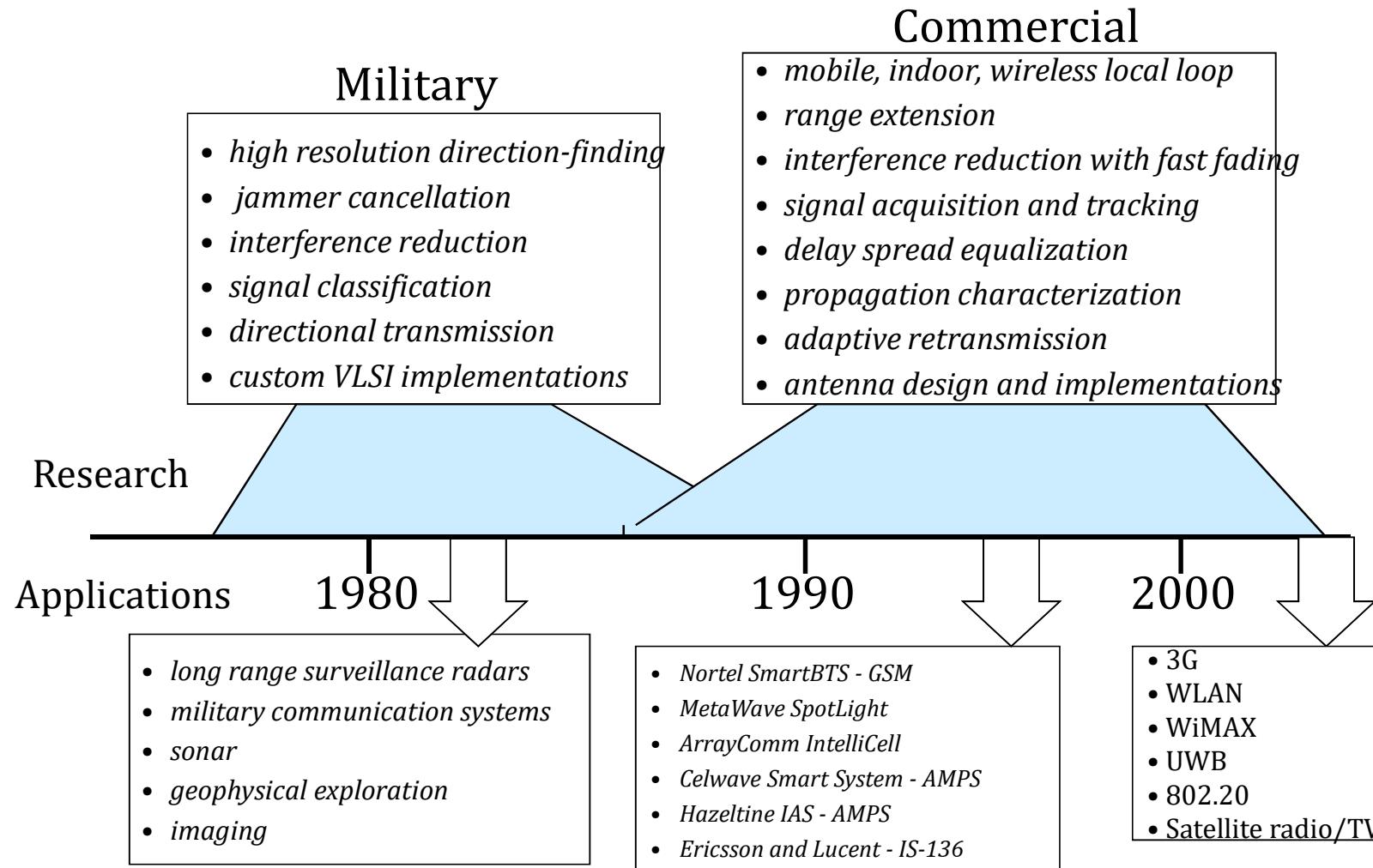
SA tehnologija - Pregled



SA tehnologija - Pregled

Arhitektura antenskih nizova	Gde se implementiraju	<i>Decision & Control Stage</i>	PRIMENE
<i>Switched beam</i> antenski nizovi	RF/IF	Base band/IF	<u>Bazne stanice</u> u celularnim sistemima, satelitske komunikacije
<i>Phased array</i> antene	RF	Base band	Vojne primene, radari, satelitske komunikacije
Antenski nizovi sa digitalnim <i>beamforming-om</i>	Osnovni opseg Base band DSP	Base band	<u>Bazne stanice</u> u celularnim sistemima, satelitske komunikacije radari, visokorezolucioni radio-goniometri
<i>Parasitic antenna array</i>	RF	Base band	<u>Mobilni terminali sa malom potrošnjom</u> , prenosni radio-goniometri
Diversiti antenski nizovi	RF Obrada nekorelisanih signala	Base band/IF	Mobilni terminali, MIMO sistemi

SA tehnologija - Pregled primena



MIMO sistemi - Uvod

- ❖ **MIMO sistemi** zbog svojih mogućnosti povećanja kapaciteta i spektralne efikasnosti predstavljaju **revolucionarni napredak u oblasti bežičnih telekomunikacija**.
- ❖ **Ključni razlog interesovanja** za MIMO sisteme ogleda se u mogućnosti da se preko **istog kanala veze vrši istovremeni prenos više tokova podataka** čime se omogućava **skokovito povećanje kapaciteta**.
 - **Dupliranje, tripliranje, pa i višestruko povećati kapacitet sistema**
- ❖ U dosada posmatrane MIMO tehnike svrstavaju se:
 - Detekcija na osnovu principa maksimalne verodostojnosti (MLD).
 - V-BLAST (*Vertical - Bell Lab. Layered Space-Time*) tehnologija.
 - Tehnike bazirane na SVD (*Singular Value Decomposition*).
 - Tehnike prostorno-vremenskog kodiranja (*Space-Time Coding*).
 - Razne tehnike sa obradom samo na prijemu (*Zerro Forcing, Filter Bank* ili MMSE na predaji).

MIMO sistemi - Podela

- ❖ **Po mestu na kome se obavlja procesiranje** MIMO tehnike možemo podeliti na:
 - tehnike sa obradom samo u predajniku;
 - tehnike sa obradom samo u prijemu (V-BLAST, MLD);
 - tehnike sa obradom i u predajniku i u prijemu (STC, SVD).
- ❖ **Kombinacija tehnika** koje imaju obradu samo u predajniku i onih koje imaju obradu samo u prijemu omogućava jednostavnu i jeftinu konstrukciju MS.
- ❖ MIMO tehnologije, mogu se uspešno koristiti u okviru višekorisničkih sistema na bazi TDMA i CDMA tehnologije, ali i u okviru modernijih OFDMA sistema.

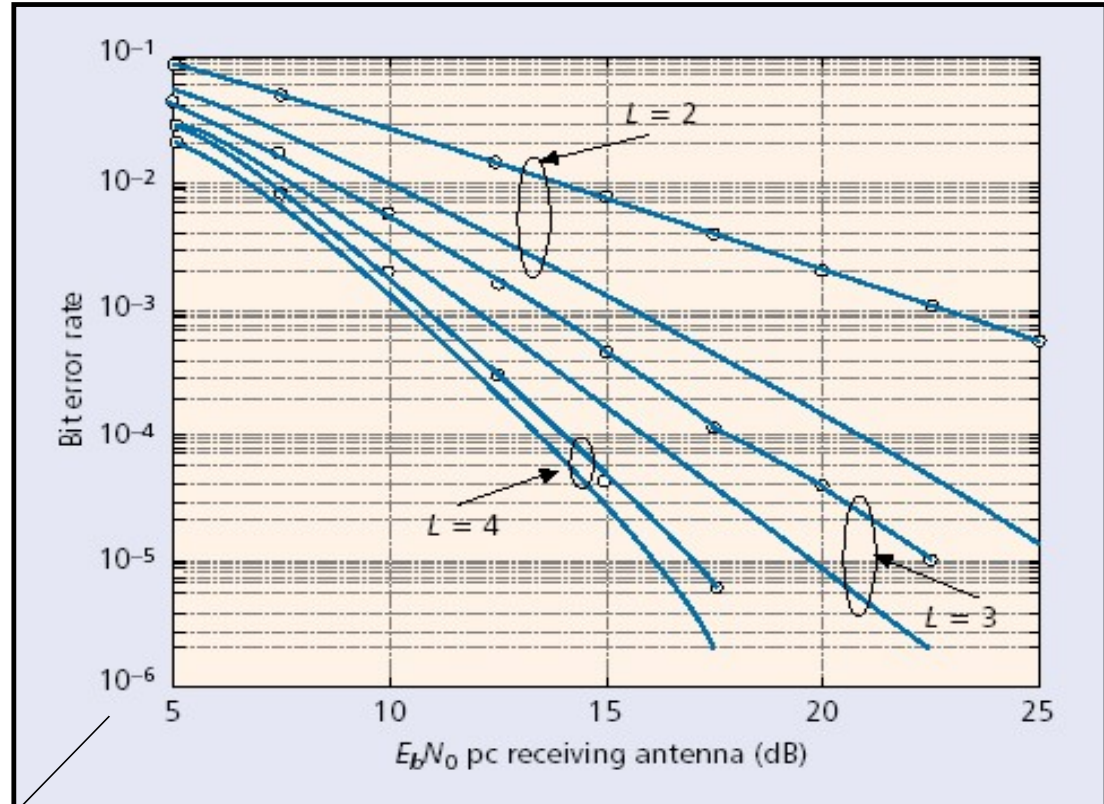
MIMO sistemi – Primer V-BLAST



- ❖ **V-BLAST** je tehnologija koja omogućava povećane kapaciteta linearno sa povećanjem broja antena.
- ❖ Podaci se prenose u paralelnim tokovima, a prijemni antenski niz razdvaja ove signale putem podešavanja antenskog sistema.
- ❖ Tehnologija je ispitana u urbanim i ruralnim okruženjima, a ostvareni su fenomenalna povećanja kapaciteta i do 10 puta i spektralna efikasnost od 30-40b/s/Hz u odnosu na 2-3b/s/Hz u trenutno korišćenim sistemima.
- ❖ Dobici se ostvaruju bez povećanja snage predajnika, i bez povratnog linka, tj. ne zahteva se CSI.
- ❖ Predložena je upotreba u WLAN, UMTS (3G), i FWA sistemima.

MIMO sistemi – Primer MLD

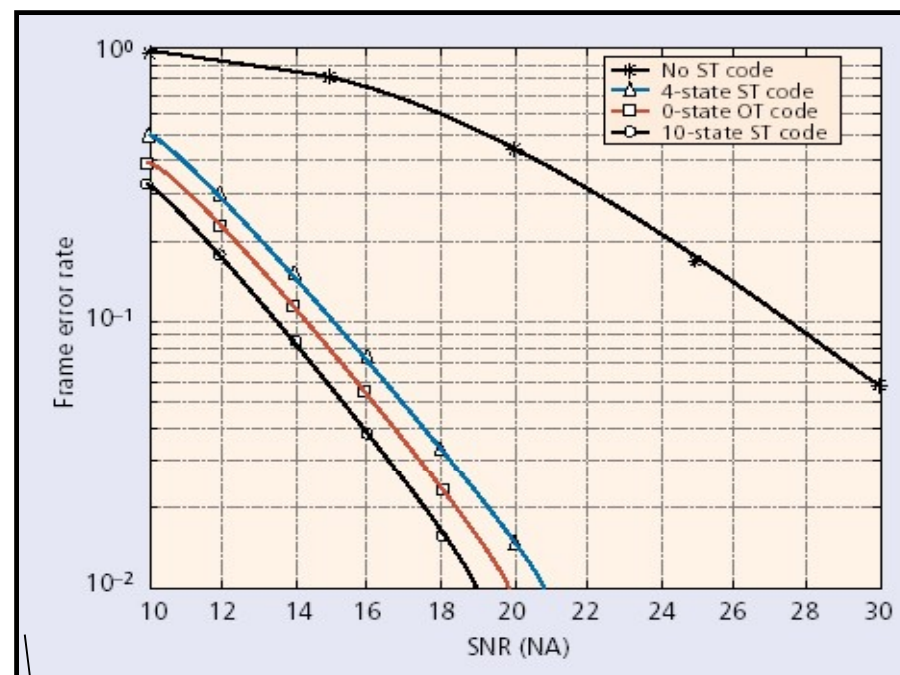
- ❖ MLD tehnika je optimalna tehnika prijema u MIMO sistemima.
- ❖ Posедуje bolje karakteristike od V-BLAST tehnologije ali joj je osnovna mana velika složenost.
- ❖ Može se koristiti za manji broj antena – od 2 do 3 antene.



Poređenje V-BLAST i MLD tehnologije u pogledu ostvarenog kvaliteta prenosa (BER)

MIMO sistemi – Primer *Space-Time Coding*

- ❖ **STC** je efikasan i praktičan način za ostvarivanje kapaciteta koje pružaju MIMO sistemi.
- ❖ Tehnika je prvenstveno posmatrana za predaju sa više antena, i može se koristiti kako za ostvarivanje povećanja kapaciteta kao u MIMO sistemima, ili za povećane protoka putem diversitija.
- ❖ Kodiranje se obavlja u vremenskom i prostornom domenu u cilju ostvarivanje korelacije između simbola koji se u različitim vremenskim periodima prenose sa više antena.



Performanse STC pri primeni QPSK modulacije sa 2 predajne i jednom prijemnom antenom.

Zaključak - Primene SA i MIMO sistema

- ❖ **Primena u praktično svim bežičnim telekomunikacionim sistemima - glavna primena u ćelijskim sistemima (mobilni ćelijski sistemi, WLAN i FWA).**
 - **U svim ovim sistemima moguće je primeniti razne forme inteligentnih antenskih sistema i MIMO sistema, kao i raznih drugih formi u smislu primene diversiti tehnika.**
 - **U FWA sistemima SA sistemi se mogu primeniti za formiranje usmerenih antenskih snopova od BS ka svakom od korisnika čime se postiže elegantno i vrlo efikasno povećanje kapaciteta ovih sistema.**
 - **Mobilni ćelijski sistemi su jedna od ciljnih grupa razvoja naprednih antenskih sistema, i u njima se mogu primeniti, razvijaju se, već se primenjuju ili su uključeni u standarde razne forme naprednih antenskih sistema – pogotovo MIMO sistema u kombinaciji sa OFDM.**
 - **U WLAN sistemima se predviđa upotreba različitih formi naprednih antenskih sistema, pri čemu su MIMO sistemi ovde od prevashodnog interesa (npr. u IEEE 802.16 standardu predviđena je primena STC šema u kombinaciji sa OFDM, V-BLAST je pogodan za ove primene)**

Primene SA – *Fixed Wireless Access*



Source: Wavion Ltd.

Primene SA – Funkcionalni sistemi (DF)



*Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Katedra za telekomunikacije*



10:36

*Antenski nizovi u TK sistemima (13m031ant)
2024/2025 #74*