

Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Seminar iz kolegija *Sustavi za praćenje i vođenje procesa*

SMART ANTENNAS

Student: Luka Levaj  
Matični broj: 0036400168

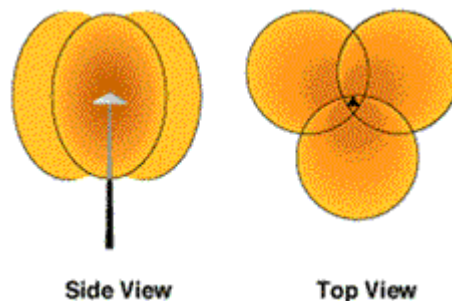
Zagreb, 30. svibnja 2007.

## Definicija

Smart antenna sustav kombinira više antena sa mogućnošću obrade signala kako bi optimizirala odašiljanje ili prijam automatski s obzirom na okolinu u kojoj se signal nalazi.

## Antene

Što čini antena u telekomunikacijskom sustavu? To su vrata kroz koja energija radiovalova se odašilje u vanjski svijet i/ili vrata kroz koja radiovalovi ulaze u elektronički sustav. Antene povezuju elektromagnetsku energiju iz jednog medija (npr. zračnog prostora) sa drugim (npr. žicom). Od početka razvoja bežičnih komunikacija koristila se obična bipolarna antena koja je odašiljala i primala jednako iz svih smjerova (omnidirectional). Ovakav nefokusirani pristup raspršuje signal, koji dolazi do krajnjih korisnika sa jako malim postotkom energije koja je odašiljana u okolinu. Očito ovakav pristup troši puno nepotrebne snage, te još uz to izaziva pojavu interferencije kod svakog korisnika u mreži kojem nije namjenjen taj signal. Danas se uglavnom koristi skup antena koje pokrivaju svaka svoj sektor, ali ni takav pristup ne donosi onakva poboljšanja kao što donose smart antene. Moglo bi se reći da je u razvoju bežičnih telekomunikacijskih sustava u prošlosti, antena bila komponenta koja se najviše zanemarivala. Ali zapravo način na koji se energija distribuira ili skuplja iz okolnog prostora ima veliko značenje kod optimalnog korištenja spektra, cijene uspostavljanja novih mreža, te same kvalitete usluge koje nudi pojedina mreža.



**Slika 1. Pokrivanje antene**

## Što je smart antena

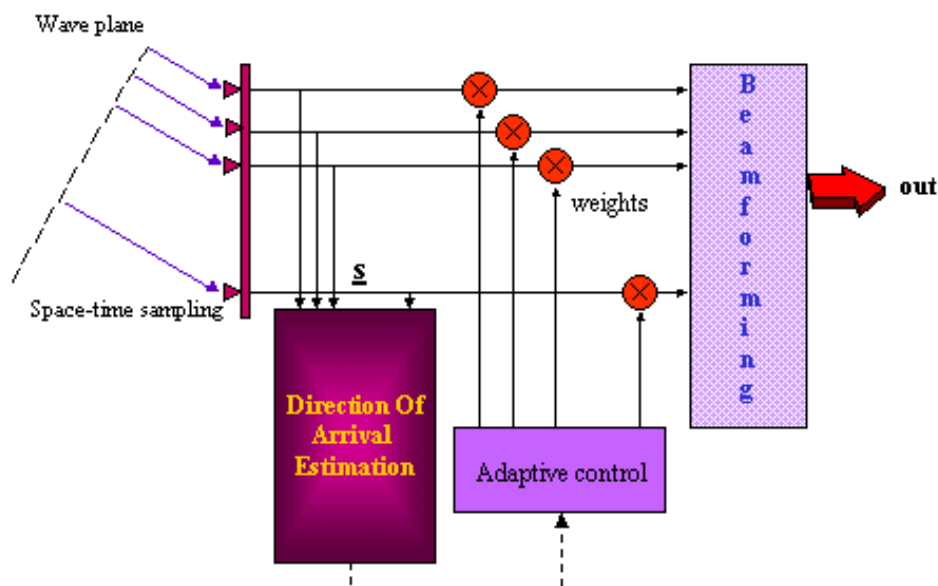
Slično kao što čovjek, kad ima zatvorene oči i čuje neki zvučni signal, zbog kašnjenja signala u jednom od uha, te mozga koji djeluje kao procesor signala, će znati iz kojeg smjera dolazi zvuk, tako rade i smart antene. Čak i ako počne dolaziti drugi zvuk iz nekog drugog izvora unutarnji procesor čovjeka ga može isključiti, te se koncentrirati samo na jedan izvor zvuka. Na tome se također temelje smart antene.

Smart antena se sastoji od nekoliko elemenata (antena) čiji se signali obrađuju adaptivno kako bi se dobila prostorna dimenzija komunikacijskog kanala. To znači da

smart antene uvode u sustav novi stupanj slobode – prostornu raznolikost koja koegzistira sa postojećim frekvencijskim, vremenskim i kodnim modulacijskim tehnikama. U najjednostavnijem slučaju, signali primljeni na različitim elementima antenskog sustava se množe sa nekim kompleksnim koeficijentima, te se zbroje. Koeficijenti se određuju adaptivno. Zato je taj cijeli sustav adaptivan odnosno pametan. Smart antene ostvaruju mnoga poboljšanja. Najvažnije je veći kapacitet mreže tj. mogućnost posluživanja više korisnika po jednoj baznoj postaji.

Sve do zadnjih nekoliko godina, zbog visokih cijena smart antene su se koristile isključivo u vojsci. Dolazak snažnih i jeftinih DSP-a (digital signal processor) te inovativnih softverskih tehnika obrade signala, smart antene počele su polako ulaziti na tržište mobilnih komunikacija.

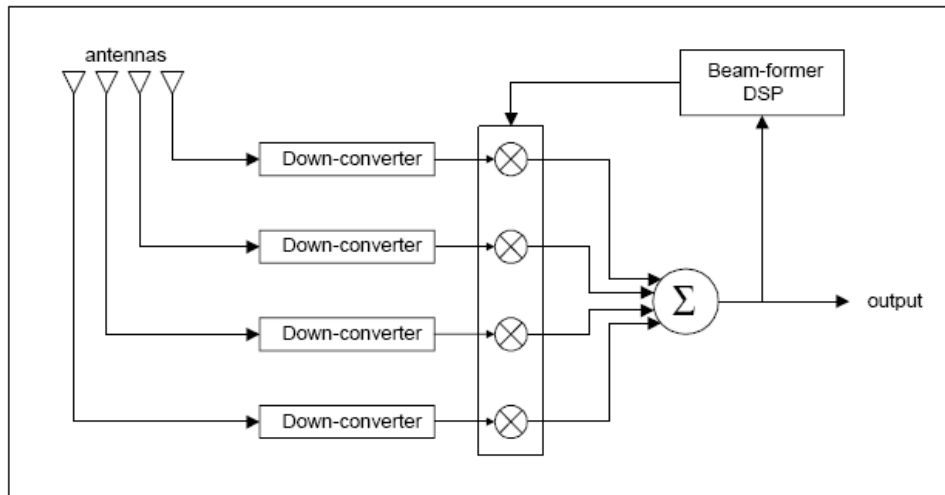
## Kako radi smart antena



Slika 2. Princip rada Smart antene

Glavna dva zadatka smart antene su: DOA (Direction of Arrival Estimation) i Beamforming.

**DOA** - Smart antena sustav estimira smjer dolaska signala koristeći neke od tehnika kao što su MUSIC (Multiple Signal Classification) ili ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Techniques) algoritmi, Matrix Pencils metodu ili neke izvedenice toga. Zadaća im je naći prostorni spektar (spatial spectrum) sa niza elemenata antene, te izračunati DOA-u iz vrhova dobivenog spektra. Ti su proračuni vrlo zahtjevni.

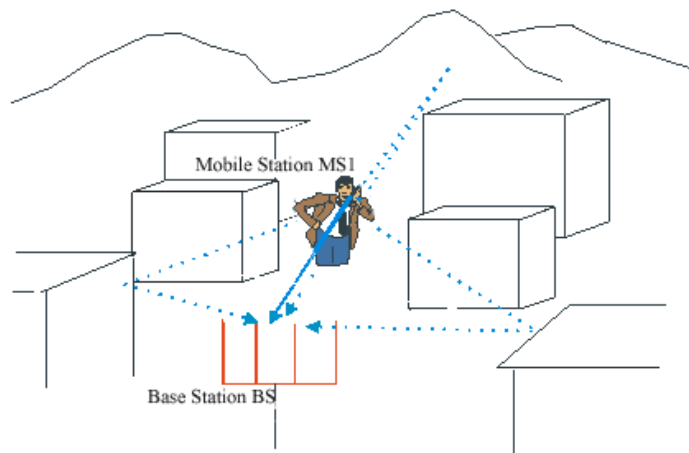


**Slika 3. Beamforming**

**Beamforming** - Beamforming je izraz koji opisuje primjenu raznih težinskih koeficijenata na ulazima niza antena (antenna array) kako bi se fokusirale na prijem signala iz određenog pravca. Još važnije je da se signali sa istom frekvencijom nosioca mogu potisnuti. Ti se efekti ostvaruju elektronski i nikakva fizička pomicanja antena se ne rade. Štoviše, mnogo takvih «beamformers-a» fokusiranih u raznim smjerovima mogu dijeliti jedan niz antena tj. jednu smart antenu. Kod digitalnog beamforming-a, signali sa antene se pojedinačno transliraju sa RF(Radio Frequencies) na IF(Intermediate Frequencies), digitaliziraju, te prebace u baseband I i Q komponente. Zatim algoritam u DSP-u određuje vrijednosti težinskih koeficijenata za ulazne signale. Adaptivan beamformer pouzdano obnavlja skup koeficijenata kako bi u svakom trenutku na najbolji način pratilo SOI (signal of interest).

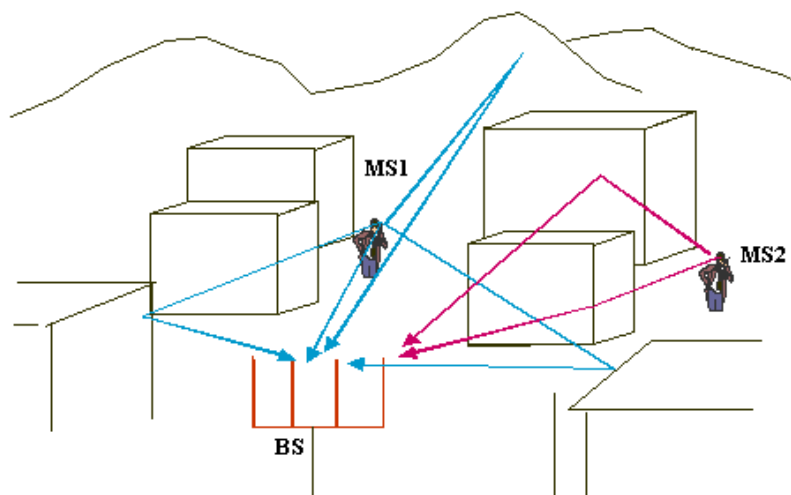
### Smart antene u mobilnim komunikacijama

Smart antene su među najvažnijim metodama za povećanje kapaciteta druge i treće generacije mobilnih sustava. Oni koriste prostornu (ili kutnu) domenu mobilnih radio kanala, nastavljajući dobro poznat koncept sektorizacije ćelija. U tradicionalnim sustavima, bazna stanica (BS – Base Station) samo može odrediti da li je neka pokretna stanica (MS – Mobile Station) unutar sektora neke ćelije. Nasuprot tome, bazna stanica opremljena smart antenom može odrediti u kojem smjeru je mobilna stanica smještena i koristiti to znanje. Slično tome, mobilna stanica sa pametnom antenom može razlikovati signal iz željene i neke interferentne udaljene bazne stanice. Smart antene mogu se koristiti za prijem i odašiljanje na baznoj stanici ali i na korisničkom terminalu, ali ipak zbog praktičnih ograničenja koriste se samo na baznoj stanici.



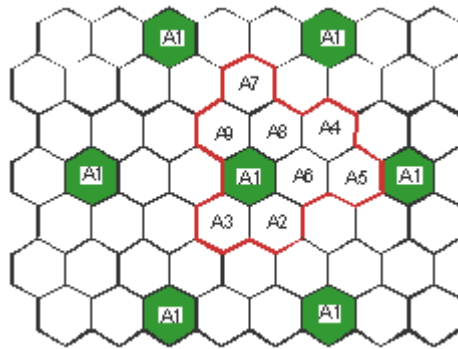
**Slika 4. Višesmjerna propagacija signala**

Jedan od velikih problema mobilnih komunikacija je višesmjerna propagacija signala od odašiljača do prijemnika. Kod konvencionalnih antena sve jeke signala, sa raznim faznim kutovima se zbroje na prijemniku, što dovodi do poništenja i slabljenja signala i veće vjerojatnosti pogreške. Operacija smart antene može se gledati na dva načina. Prvo, može procesirati sve komponente iz raznih smjerova odvojeno, ali sa ispravljenim fazama i tako izbjeći slabljenje signala, te čak dobiti željeni signal s većom snagom. Ali isto tako može izabrati samo jedan smjer signala i potisnuti sve ostale putove, kao što prikazuje gornja slika. To znači da mobilna stanica može odašiljati signal manje snage i tako npr. povećati trajanje baterije.



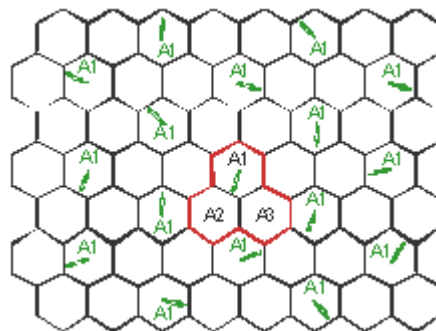
**Slika 5. Međukanalna interferencija**

Smart antene osiguravaju potiskivanje međukanalne interferencije, drugog najvećeg problema mobilnih komunikacija. Korištenjem modela adaptivnog prostornog uzorka koeficijenata, smart antena može ostvariti nulti prijem u smjeru komponenti signala koje dolaze iz nekog interferentnog izvora, što bi teoretski eliminiralo svu interferenciju. U stvarnosti, poboljšanja u omjeru signal-interferencija su negdje oko 20 dB, što je veliki dobitak.



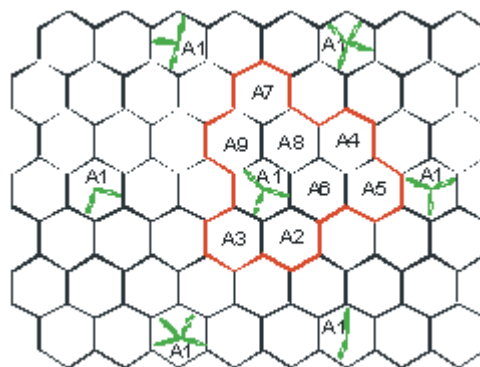
**Slika 6. Konvencionalni raspored ćelija**

U konvencionalnim TDMA ili FDMA mobilnim sustavima frekvencija nosioc koja se koristi u jednoj ćeliji ne može se opet koristiti u nekoj susjednoj ćeliji jer bi međukanalna interferencija bila prejaka. Zato se iste frekvencije mogu koristiti tek na udaljenim ćelijama, kao što gornja slika pokazuje.



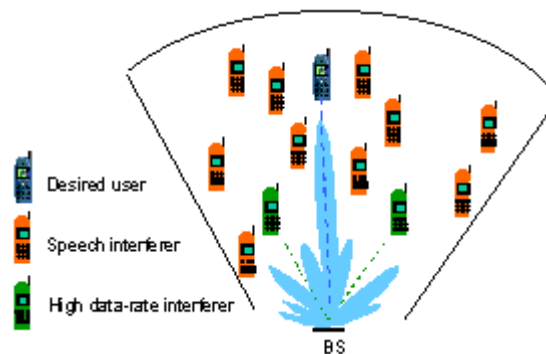
**Slika 7. Spatial filtering**

Jedna od tehnika koja se koristi zove se "spatial filtering for interference reduction" (SFIR). Na gornjoj slici vidi se kako je prijem/odašilljanje usmjeren prema jednom korisniku, a signali iz ostalih smjerova se poništavaju. Na taj način možemo bazne stanice sa istom frekvencijom nosioca staviti bliže bez da pokvarimo omjer signal-interferencija. Simulacija su pokazale da bi se na taj način clusteri ćelija mogli zapravo svesti na jedan. U realnosti se zapravo pokazalo da se bez dodavanja baznih stanica u postojećim sustavima može dvostruko povećati kapacitet mreže.



**Slika 8. SDMA**

Alternativni pristup je takozvani "space division multiple access" (SDMA). Ovom metodom se ne mijenja broj ćelija u klasteru s obzirom na konvencionalne sustave, već se omogućuje da više korisnika u jednoj ćeliji se može staviti na istu frekvenciju nositelja kod FDMA, odnosno na isti vremenski odsječak kod TDMA. Korisnici se razlikuju samo po svojoj poziciji. Tipično, tri korisnika se na taj način mogu posluživati u jednoj ćeliji. Ako se oni približe jedan drugome, obavlja se prebacivanje na drugu frekvenciju ili vremenski odsječak. SDMA povećava kapacitet čak i više od SFIR-a.

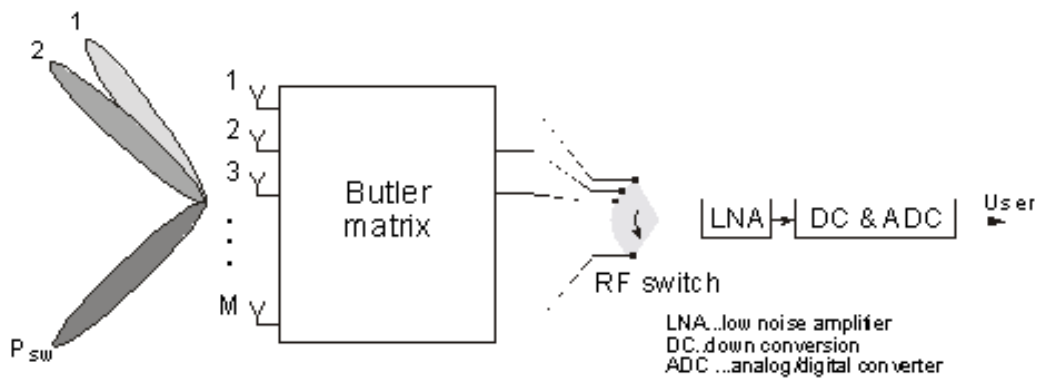


**Slika 9. Princip kod CDMA sustava**

Kod CDMA(Code Division Multiple Access) sustava povećanje kapaciteta se ostvaruje na nešto drugačiji način. Sve ćelije koriste istu frekvenciju, a korisnici se razlikuju po različitim kodovima kojih ima velik broj. Broj korisnika unutar jedne bazne stanice je ograničen interferencijom koju svaki korisnik generira prema drugim korisnicima, te maksimalnom snagom koju bazna stanica može odašiljati. Usmjeravanjem glavne "zrake" prema željenom korisniku, smart antene povećavaju SNIR(signal-to-noise-and-interference-ratio) za svakog korisnika. S druge strane poništavanje interferencija kutnom metodom tj. blokiranjem svih ostalih smjerova nije efikasno jer je broj izvora interferencija prevelik.

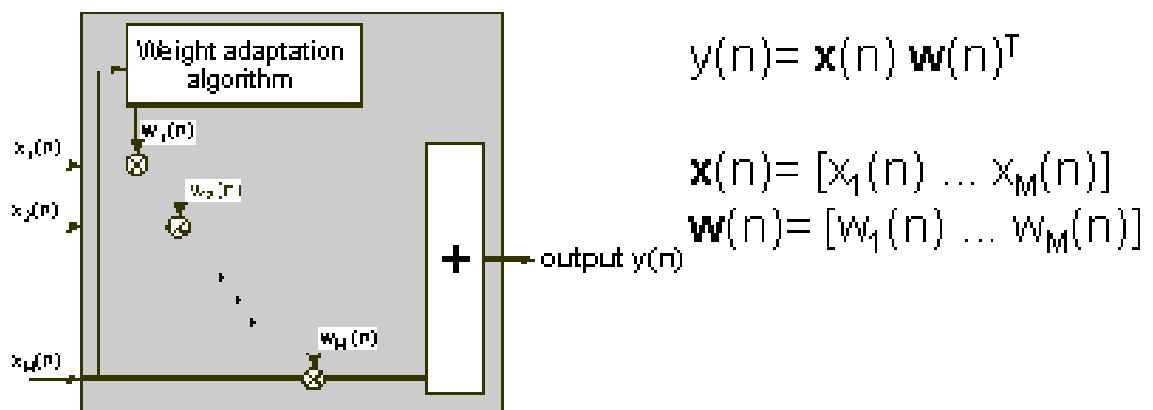
## Strukture prijmnika smart antene

Postoje razne strukture prijmnika, koje se temelje na jednom od slijedećih principa: "switched-beam antennas," spatial-processing, space-time processing, space-time detection. Dok prvi navedeni princip nudi fiksni uzorak koeficijenata, zadnja tri spadaju u tzv. adaptive array systems koji omogućuju praktički beskonačan broj modela ovisno o vrijednostima koeficijenata koji se mogu mijenjati u realnom vremenu.



Slika 10. Switched-beam

Switched-beam metoda je najjednostavnija. Linearna RF mreža, koja se zove "Butler-matrix," kombinira signale sa M prijamničkih elemenata koji svaki "gleda" u poseban predodređen smjer. Na izlazu imamo dostupno M RF signala, jedan za svaki smjer. Sada jednostavnom RF sklopkom izabiremo najbolji od tih signala za daljnu obradu sa standardnim prijemnikom. Najboljim signalom se može smatrati onaj sa najvećom snagom, najvećim BER-om (bit-to-error-ratio) ili nekom trećom karakteristikom. Glavno ograničenje ovakvog sustava je konačan i relativno mali broj smjerova antene.



$$y(n) = \mathbf{x}(n) \mathbf{w}(n)^T$$

$$\mathbf{x}(n) = [x_1(n) \dots x_M(n)]$$

$$\mathbf{w}(n) = [w_1(n) \dots w_M(n)]$$

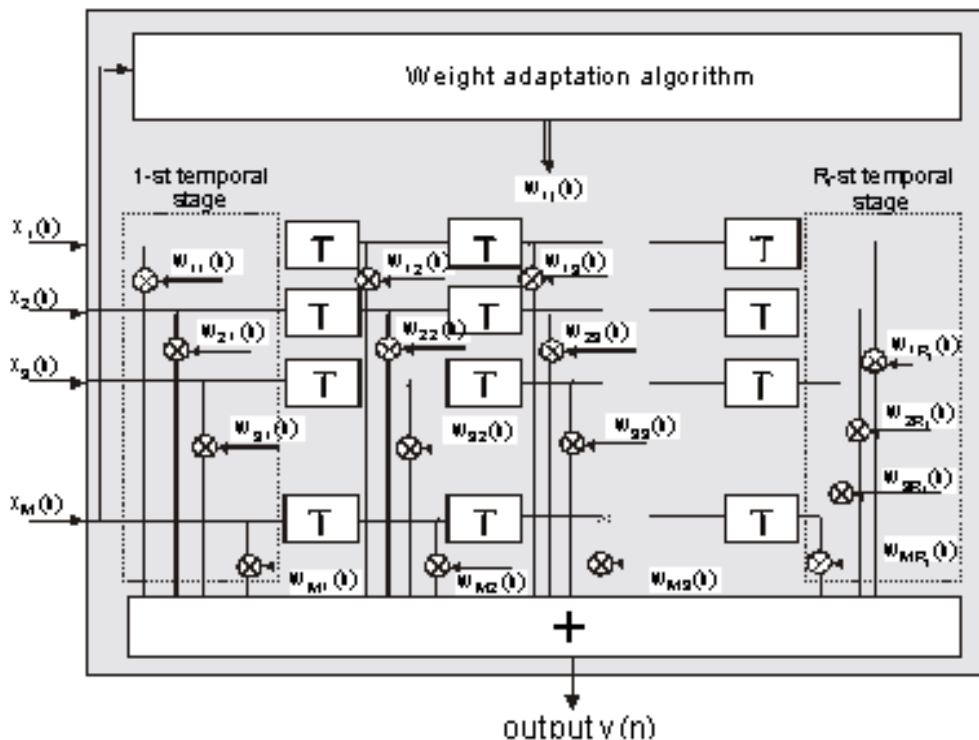
$x_m(n)$ ...m-th antenna signal

$w_m(n)$ ...antenna weight for m-th antenna element

Slika 11. Space-only processing

Nešto sofisticiraniji pristup je prostorni filter (spatial filter) ili tzv. space-only processing. Primljeni signali se prvo prebacuju u baseband te se uzorkuju. Ovakva procedura zahtjeva M prijamnih lanaca. Zatim se uzorci množe sa kompleksnim težinama  $w$ , te se zbroje. Rezultantni signal na izlazu se zatim može obrađivati kao bilo koji signal sa normalne antene. U širokopojasnim sustavima  $y(n)$  ide odmah na ulaz običnog equalizera koji kombinira komponente signala za različitim vremenima kašnjenja.





Slika 12. Space-time processing

Space-only processing radi najbolje ako svaki element antene daje signal sa istom vremenskom disperzijom tj. istim oblikom impulsnog odziva. Općenito, ovaj uvjet nije zadovoljen. Zato se radi poseban equalizer za svaki element antene. Ako koristimo linearan equaliser dužine  $L$ , cijela struktura će imati  $M \cdot L$  kompleksnih težinskih koeficijenata. Umjesto da računamo prostorne i vremenske težinske vektore sekvencijalno, možemo ih izračunati zajedno koristeći težinsku matricu veličine  $M \cdot L$ . Izlazni signal  $y(n)$  se tada dovodi na uređaj koji obnavlja niz bitova. Takvi prijemnici se zovu 'joint space-time receivers'.

## Zaključak

Kod beamforming-a glavno pitanje je kako izračunati težinu  $w$  za svaki element antene za svakog korisnika. Jedinica za obradu signala zadužena je za identifikaciju korisnika, separaciju korisnika te za beamforming. Prvo mora odrediti smjer dolaska (DOA – direction of arrival) komponenta signala iz više smjerova. Zatim treba odrediti da li preslušavanje dolazi od istog korisnika ili nekog interferentnog. Konačno, treba izračunati težinske koeficijente na način da smanji SNIR (signal-to-noise-and-interference-ratio) što je više moguće. Adaptivni algoritmi su dizajnirani tako da procesiraju sve gornje zahtjeve.

## Literatura

1. [www.techonline.com/learning/course/communications/](http://www.techonline.com/learning/course/communications/)
2. [www.iec.org/online/tutorials/smart\\_ant/](http://www.iec.org/online/tutorials/smart_ant/)
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_antenna](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_antenna)
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Beamforming>
5. [www.wtec.org/loyola/wireless/06\\_02.htm](http://www.wtec.org/loyola/wireless/06_02.htm)