

Tehnike brezžičnega sodostopa

Anton Umek, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

Povzetek — Članek podaja kratek pregled tehnik delitve prenosnih kapacitet radijskega kanala, ki omogočajo sodostop množice mobilnih uporabnikov.

Ključne besede — multipleksiranje, sodostop, razdeljevanje in dodeljevanje kapacitet, SDMA, FDMA, TDMA, CDMA in multi-carrier CDMA

Abstract — This paper gives a brief tutorial on wireless multiple access techniques.

Keywords — multiplexing, multiple access, resource division, sharing, SDMA, FDMA, TDMA, CDMA, multi-carrier CDMA

dela prenosne kapacitete medija je za uporabnika zagotovljena kvaliteta storitve prenosa podatkov. Statična rezervacija kapacitet je učinkovita le v primeru, če uporabniki dodeljene kapacitete tudi dejansko izkoristijo. Pri podatkovni komunikaciji, ki poteka v nepovezavno orientiranem načinu, se zahteve po prenosu podatkov s časom zelo spreminjajo, zato je dinamično dodeljevanje prenosnih kapacitet bistveno bolj učinkovito. Dinamično dodeljevanje kapacitet lahko poteka nekontrolirano z naključnim zaseganjem ali pa po protokolu dodeljevanja na zahtevo.

I. UVOD

Radijski spekter je omejen naravni vir, zato je njegova uporaba strogo nadzorovana. Za učinkovito izrabo prenosnega medija je nujna delitev razpoložljive kapacitete med več uporabnikov. Komunikacija množice uporabnikov po skupnem mediju zahteva uporabo različnih tehnik sodostopa.

Kapaciteto prenosnega medija lahko delimo z ločevanjem posameznih uporabnikov glede na različne lastnosti signalov. Ločimo časovni sodostop (TDMA), frekvenčni sodostop (FDMA), kodni sodostop (CDMA) in prostorski sodostop (SDMA). Pogosto se lahko uporablja kombinacija več različnih tehnik sodostopa. Frekvenčni spekter je najprej razdeljen na različna frekvenčna območja (FDMA), ki so dodeljena različnim storitvam oziroma večjim uporabnikom (operaterjem), znotraj teh frekvenčnih pasov pa se uporabljajo ostale tehnike sodostopa.

Po razdelitvi prenosne kapacitete medija pridobimo končno število komunikacijskih kanalov, ki jih po različnih postopkih dodelimo v uporabo različnim uporabnikom. Za boljše razumevanje področja so v nadaljevanju kratko opisani tudi protokoli dodeljevanja kapacitet uporabnikom, ki pa niso glavni predmet obravnave v tem članku.

Dodeljevanje prenosnih kapacitet lahko poteka po principu trajnih rezervacij, naključnega zaseganja ali pa rezervacij na zahtevo. V povezavno orientiranem omrežju poteka razdelitev prenosne kapacitete medija po principu statičnih rezervacij. Po vzpostavitvi zveze se uporabniku trajno dodeli del prenosne kapacitete medija v obliki enega od kanalov v sodostopu za ves čas do prekinitve zveze. Zaradi statične rezervacije

Protokoli naključnega sodostopa se razlikujejo po načinu zaseganja skupnega kanala in imajo vgrajeno različno stopnjo "uglajenosti" do drugih uporabnikov. Protokoli (Aloha, S-Aloha, CSMA, CSMA-CD, CSMA-CA) se razlikujejo po kompleksnosti implementacije in tudi po učinkovitosti uporabe prenosne kapacitete medija. Zaradi možnih konfliktov pri naključnem zaseganju medija zakasnitve pri prenosu niso točno določene. Kvaliteta storitve prenosa podatkov ni zagotovljena, pač pa je dana po najboljših zmožnostih glede na prometne obremenitve. Naključni sodostop lahko uporabljamo brez predhodne delitve prenosne kapacitete ali pa samo znotraj enega dodeljenega kanala.

Dinamično dodeljevanje kapacitet poteka po principu začasnih rezervacij glede na zahteve uporabnikov. Proces dogovarjanja uporabniških naprav kontrolira rezervacijski protokol, ki ima vgrajen algoritem za razporejanje kapacitete. Pri dinamičnem dodeljevanju se upošteva različnost zahtev za različne vrste prometa, zato je kvaliteta storitve lahko mnogo boljše kot pri naključnem zaseganju.

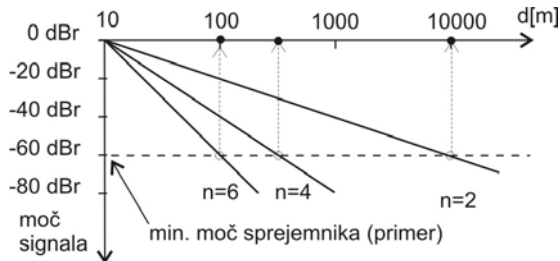
II. DOSEG RADIJSKE ZVEZE IN PROSTORSKO LOČEVANJE

Radijski medij za razliko od optičnih in žičnih kablov nima natančno definiranega dosega. Doseg radijske zveze je omejen z močjo signala oddajnika, frekvenco oddajanja, lego in vrsto anten in predvsem s

konfiguracijo terena in vrste ovir med oddajnikom in sprejemnikom. V primeru direktne usmerjene povezave med oddajnikom in sprejemnikom upada moč signala z drugo potenco razdalje $n=2$:

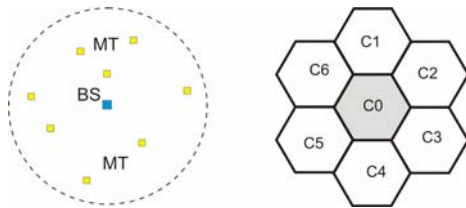
$$P_R(d) = P_T \cdot K \cdot d^{-n} \quad (1)$$

Pri širjenju signala po dveh poteh je zaradi presihov ekponent $n=4$, v okolju z množico odbitih valov brez direktne poti pa je ekponent lahko tudi večji ($n=6$). Zaradi strmega upadanja moči signala z razdaljo lahko smatramo, da je vplivno območje oddajnika omejeno, kot ponazarja slika 1 za tri modele slabljenja signala po enačbi (1).



Slika 1: Doseg radijske zveze za različne preproste modele razširjanja valovanja.

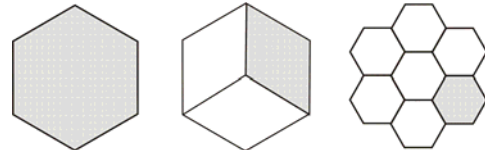
Preprosti model pokrivanja področja podaja slika 2. Oddajnik v sredini ima posebno vlogo v skupini komunikacijskih naprav, ki se nahajajo v njegovem dosegu. V mobilnem celičnem omrežju je to bazna postaja (BS), v radijskem lokalnem omrežju (WLAN) pa dostopovna točka (AP).



Slika 2: Levo: Območje delovanja bazne postaje. Desno: Model celičnega omrežja.

Območja dosega delovanja bazne postaje določajo navidezne meje celic, ki združene pokrivajo prostor. Idealizirani model celičnega omrežja sestavlja satovje, ki ga predstavlja desna slika 2. Pri načrtovanju prostorske razdelitve celic se določa vzorec ponavljanja istih frekvenčnih pasov, ki je odvisen tudi od načina sodostopa. Velikost celice je pogojena tudi z močjo oddajnika v bazni postaji. Po velikosti celice ločimo: makrocelice z radijem do 10km, mikrocelice v urbanem okolju imajo radij do 1000 metrov, najmanjše pikocelice znotraj zgradb pa imajo radij do nekaj deset metrov. Moči oddajnikov mobilnih terminalov se morajo prilagajati oddaljenosti od bazne postaje.

Kapaciteto celičnega omrežja je mogoče povečati z deljenjem celic, kot ponazarja srednja slika 3. Pri sektorizaciji celice ostaja lega bazne postaje nespremenjena, prostorsko delitev celice pa dosežemo s tremi ločenimi antenami in radijskimi moduli. Drobitev celice na množico manjših celic zahteva enako število novih baznih postaj, kar ponazarja desna slika 3. V manjših celicah delujejo oddajniki baznih postaj z manjšo močjo, vsota kapacitet razdrobljene celice pa je večja kot pred delitvijo.



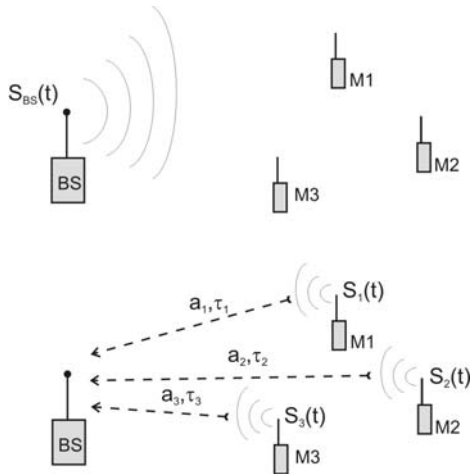
Slika 3: Levo: celica pred delitvijo. Sredina: Delitev celic s 120deg. sektorizacijo. Desno: Delitev celice z drobitvijo v omrežje manjših celic.

Primer prostorskega ločevanja signalov znotraj celice je tudi uporaba adaptivnih antenskih polj, ki omogočajo prostorsko usmerjeno komunikacijo s prilagajanjem na trenutno lego mobilne naprave. Tehnologija "pametnih"-adaptivnih anten omogoča prilagajanje sevalnih karakteristik anten trenutni legi mobilnega terminala. Bazna postaja z usmerjenim antenskim poljem pošilja različne signale v različnih smereh proti mobilnim postajam in po smeri tudi loči sprejete signale različnih mobilnih postaj.

Samo uporaba tehnike prostorskega sodostopa (SDMA) zaenkrat zaradi omejene prostorske ločljivosti signalov v mobilnih komunikacijah ne zadošča, pač pa prostorsko ločevanje signalov dopolnjuje ostale načini sodostopa. Prostorska raznolikost se izkorišča v smislu povečanja prenosnih kapacitet. Kadar se signal razširja po več neodvisnih poteh, je mogoče to dejstvo izkoristiti z upoštevanjem množice sprejetih signalov. Sistemi z več oddajnimi in sprejemnimi antenami (MIMO) omogočajo v določenih primerih tudi večkratno povečanje prenosnih kapacitet.

III. MULTIPLEKSIRANJE IN SODOSTOP

Dvosmerna narava komunikacij zahteva delitev kapacitete prenosnega medija tudi po smeri izmenjave informacij. V celičnih omrežjih vloga vozlišč ni enakovredna in komunikacija poteka dvosmerno med bazno postajo in mobilnimi terminali, kot ponazarja slika 4. Bazna postaja oddaja združeni (multipleksirani) signal za vse mobilne postaje. Pri multipleksiranju so vsi signali lokalno razpoložljivi v bazni postaji in imajo definirane amplitude in faze.

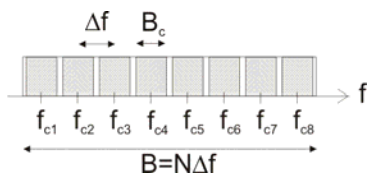


Slika 4: Bazna postaja oddaja multipleksirani signal . Mobilne postaje na dogovorjeni način sodostopajo do bazne postaje. Signali posameznih mobilnih terminalov M_i so različno oslajbljeni in različno zakasnjeni .

Signali mobilnih terminalov se seštevajo na radijskem kanalu na poti proti bazni postaji . Mobilni terminali morajo z bazno postajo komunicirati na usklajeni način s čim manj medsebojnih motenj, kar imenujemo tudi usklajeni sodostop do skupnega medija. Multipleksirani sodostop poteka med mobilnimi terminali na geografsko razpršenih lokacijah. Razlike v amplitudah in fazah signalov lahko povzročijo interferenco in odvisno od načina sodostopa je potrebna kompenzacija razlik med signali mobilnih terminalov.

A. Frekvenčni sodostop - FDMA

Frekvenčni sodostop je uveljavljeni globalni način razdelitve radijskega spektra. Radijski spekter je administrativno že razdeljen na frekvenčne pasove, ki so namenjeni različnim vrstam uporabnikov. Dodeljeni frekvenčni pas določa razpoložljivo prenosno kapaciteto, ki se lahko na različne načine deli naprej med množico uporabnikov. Frekvenčni sodostop je tehnično najbolj preprost način razdeljevanja kapacitete radijskega kanala. Nizka zahtevnost komunikacijskih naprav je bila tudi glavni razlog za uporabo FDMA v mobilnih sistemih prve generacije (NMT, AMPS) [1].

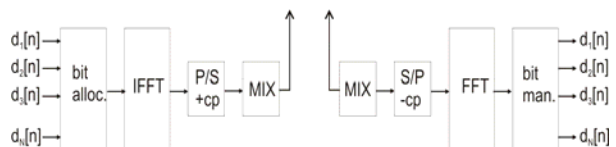


Slika 5: FDM - enakomerna delitev razpoložljivega frekvenčnega pasu

Razpoložljivi frekvenčni pas B se enakomerno deli na množico N radijskih kanalov. Kanali se ločijo med seboj po različnih nosilnih frekvencah, ki določajo sredino frekvenčnega pasu, kot ponazarja slika 5.

V baznih postajah celičnih omrežij nastopajo zaradi presihov in različno oddaljenih oddajnikov zelo velikih razlike v moči sprejetih signalov. Kljub veliki selektivnosti sprejemnika je interferenčni signal bližnjega oddajnika na sosednem kanalu lahko prevladujoč (near-far effect). Problem se rešuje z adaptivno kontrolo moči oddajnikov in z ustreznim načrtovanjem vzorca ponavljanja frekvenc v sosednjih celicah. Razlike v zakasnitvah signalov od različno oddaljenih mobilnih postaj ne povzročajo težav. Na frekvenčno ozkih kanalih je učinek disperzije zaradi razširjanja signalov po več poteh praktično zanemarljiv. V širokopasovnih komunikacijah je tudi pri FDMA nujna uporaba izravnalnikov.

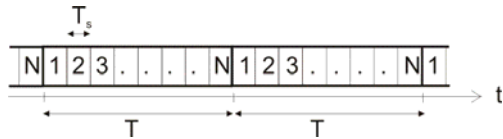
Oddajanje in sprejem N signalov se zelo poenostavi, če je razmik med kanali enak znakovni frekvenci. Proces modulacije in demodulacije se poenostavi z računanjem diskretnega Fourierovega transformata, kot ponazarja slika 6. Učinkoviti FFT algoritem omogoča uporabo zelo velikega števila kanalov, posledica pa je podaljšanje simbolnega časa in s tem majhna intersimbolna interferenca (ISI). Ortogonalni FDMA (OFDMA) se prilagaja razmeram mobilnega kanala in omogoča najboljše izkoriščanje prenosne kapacitete. OFDMA je izbran kot standardni način sodostopa za 802.16e-mobile WiMAX. Fleksibilni OFDMA (SOFDMA) omogoča uporabo ožjega frekvenčnega pasu z uporabo manjšega števila nosilcev.



Slika 6: OFDM: implementacija z IFFT

B. Časovni sodostop - TDMA

Delitev prenosne kapacitete poteka v periodičnem zaporedju časovnih rezin. Slika 7 podaja primer razdelitve časovnih okvirjev T na $N=8$ uporabnikov. Prenosni medij je v znotraj časovne rezine T_s rezerviran za enega uporabnika, zato je nujna sinhronizacija vseh aktivnih naprav. Znotraj vsake časovne rezine je rezerviran varnostni interval, ki omogoča kompenzacijo razlik v zakasnitvah med različno oddaljenimi uporabniki. Časovna rezina je razdeljena na polja prometnih podatkov in različna režijska polja, ki so namenjena za sinhronizacijo in označevanje začetka ter konca časovne rezine.



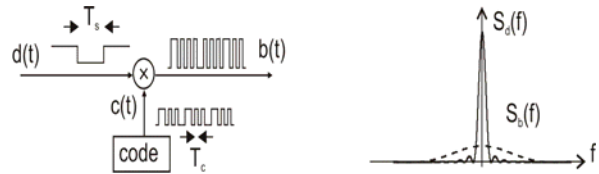
Slika 7: TDM - delitev časovnega okvirja T na časovne rezine T_s .

Idealni TDMA je brez upoštevanja varnostnih intervalov in režijskih polj spektralno enako učinkovit kot idealni FDMA brez upoštevanja varnostnih frekvenčnih pasov. Prav tako ni razlik v povprečni porabi energije. Zaradi združevanja množice podatkovnih pretokov in velikega obsega režijskih podatkov je čas trajanja znaka več kot N-krat krajši od trajanja znaka pri FDMA. Zaradi razširjanja signalov po več poteh je nujno izločanje intersimbolne interference. Pri časovnem sodostopu je potrebno kompenzirati razlike v zakasnitvah signalov, ki potujejo od različno oddaljenih oddajnikov, sicer nastopi interferenca med kanali. Razlike v moči signalov signalov različnih mobilnih postaj pri TDMA ne pozročajo interferenc med kanali. V TDMA sistemu en sam sprejemnik sprejema N signalov hkrati, v klasičnih FDMA sistemih pa je bilo za sprejem signalov iz N frekvenčnih pasov potrebno uporabiti N sprejemnikov. Prednost TDMA pred FDMA je tudi v preprostem povečanju dodeljenih kapacitet mobilnim postajam. Implementacija TDMA sistema je mnogo zahtevnejša od implementacije FDMA sistema predvsem zaradi potrebe po sinhronizaciji. Po premagovanju tehnoloških ovir je bil prehod na TDMA naslednji evlucijski korak v razvoju sistemov mobilnih komunikacija (GSM, DECT, CT3, itd.) [2].

C. Kodni sodostop - CDMA

Kodni sodostop uporablja komunikacijo z razširjenim spektrom, ki poteka za množico uporabnikov sočasno v istem frekvenčnem pasu. Z merjenjem signalov v frekvenčnem in časovnem prostoru je zelo težko ugotoviti prisotnost oddajnika in za uspešno motenje sprejemnika potrebujemo velike moči. Komunikacijski sistemi z razširjenim spektrom so bili zato najprej načrtovani za vojaške namene. Postopek frekvenčnega skakanja (FH) omogoča učinkovito izogibanje motnjam na kanalu, zato se tudi dopolnjuje z različnimi vrstami sodostopa. V sistemu GSM omogoča počasno frekvenčno skakanje (slow-FH) izogibanje ozkopasovnim motnjam in tudi presihu pri razširjanju radijskih signalov po več poteh.

Najbolj pogosto se uporablja postopek kodnega sodostopa z direktnim razširjanjem DS-CDMA. Oddajniki uporabljajo različna razširjevalna binarna pseudo-šumna (PN) zaporedja. Primer DSSS oddajnika v osnovnem pasu podaja slika 8.



Slika 8: DS-SS

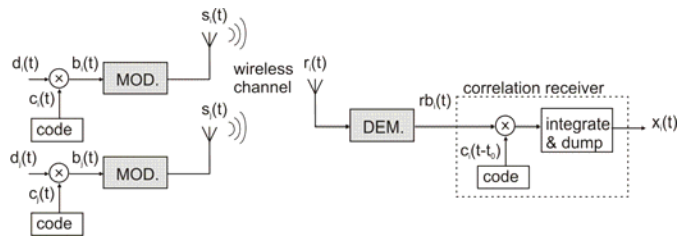
Levo: Razširjanje spektra bipolarnega signala z PN nizom

Desno: Močnostni spekter bipolarnega signala $S_d(f)$ in močnostni spekter razširjenega signala $S_b(f)$.

Signali različnih CDMA oddajnikov so generirani z različnimi kodami, kar omogoča njihovo ločljivost v sprejemnikih. Podatkovni signal $d(t)$ je niz binarnih znakov pravokotne oblike, čas trajanja znaka je T_s . Razširjevalni signal $c(t)$ je pseudonaključni niz (PN) bipolarnih impulzov s širino T_c (chip time). Razširjeni podatkovni signal $b(t)$ ima za faktor razširjanja G_s širši frekvenčni spekter kot originalni signal:

$$G_s = \frac{T_s}{T_c} \quad (2)$$

Slika 9 podaja poenostavljeni model oddajnika, sprejemnika in motečega sosednega oddajnika. Sprejemnik je naravn na sprejem podatkovnega signala $d_i(t)$, ki je bil razširjen z PN nizom $c_i(t)$. Signal na izhodu demodulatorja $rb_i(t)$ vsebuje informacijo o podatkovnih signalih vseh aktivnih oddajnikov. V sprejemniku bazne postaje nastopajo signali z bistveno različnimi močmi in zakasnitvami, v sprejemnikih mobilnih terminalov pa so vse komponente multiplesiranega signala enako slabljene in zakasnjene.



Slika 9: Koncept delovanja DS CDMA sistema. Levo: par oddajnikov z različnimi razširjevalnimi nizi c_i in c_j .

Desno: Korelacijski sprejemnik uporablja kodo c_i in je naravn na sprejem signala d_i .

Izbiri "pravega" signala opravlja korelacijski sprejemnik. Signal na izhodu korelacijskega sprejemnika $x_i(t)$ je popačen zaradi šuma na radijskem kanalu in tudi zaradi motenj ostalih CDMA oddajnikov. V sprejemniku bazne postaje je situacija manj ugodna, saj nastopajo signali z različnimi amplitudami in zakasnitvami.

Maksimalno amplitude želenega signala dosežemo z ustrežno sinhronizacijo PN niza v sprejemniku. Velikost interference je odvisna od moči signalov tujih kanalov in od križnih korelacij PN nizov. Pri izbiri kodnih nizov so

zato zelo pomemben podatek maksimalne vrednosti križnih korelacij nizov. Med signali različnih oddajnikov ni interference samo v primeru, če so vsi PN nizi pri vseh zakasnitvah med seboj nekorelirani. Nabori ortogonalnih nizov, kot na primer Walsh-Hadamard (WH), omogočajo kodni sodostop brez interference (OCDMA). Število kodnih zaporedij ortogonalnih nizov je enako faktorju razširjanja, zato so OCDMA sistemi omejeni na N kanalov enako kot FDMA in TDMA. V celičnih CDMA sistemih uporabljamo neortogonalne PN nize, ki omogočajo uporabo mnogo večjega števila kanalov v sodostopu kot pri TDMA ali FDMA.

Razmerje moči signalov različno oddaljenih oddajnikov direktno vpliva razmerje med želenim signalom in interferenco v sprejemniku bazne postaje. Near-far efekt ima pri CDMA zaradi velikih križnih korelacij večji vpliv na interferenco med uporabniki (MUI) kot pri FDMA, kjer nastopa izključno iz tehnoloških razlogov.

Interferenca med kanali je odvisna od izbire nabora razširjevalnih nizov. Dober nabor kodnih zaporedij mora zagotoviti zadosti veliko število nizov, imeti mora majhno maksimalno križno korelacijo in izrazito ostre poteke avtokorelacijskih funkcij. Med pogosto uporabljene nize, ki jih lahko tudi preprosto generiramo, štejemo kodna zaporedja maksimalne dolžine, Goldova in Kasamijeva zaporedja.

CDMA ima mnogo prednosti v mobilnih celičnih omrežjih. Zaradi razpršenosti spektra so signali manj občutljivi na ozkopasovne motnje. Motnjo zaradi širjenja radijskega signala po več poteh je CDMA sprejemnik sposoben izločiti, upoštevanje vseh zakasnenjenih komponent signala v sprejemniku (RAKE) pa lahko dodatno izboljša delovanje sistema. Kapaciteta celice v CDMA ni statično omejena s številom razpoložljivih kodnih zaporedij, pač pa s številom hkrati aktivnih kanalov. Signali različnih oddajnikov so statistično neodvisni in pri velikem številu predstavljajo Gaussov šum. Moč interference narašča linearno s številom aktivnih oddajnikov, ki se dinamično spreminja, zato neaktivni uporabniki ne zasedajo kapacitete omrežja. V CDMA sistemih ni potrebe po frekvenčnem ločevanju sosednjih celic, zato so prehodi med celicami "mehki" (soft handoff). Tudi izkoriščanje frekvenčnega spektra je zato najmanj trikrat bolj učinkovito kot pri TDMA. V sistemih s kodnim sodostopom ni potreb po varovalnih časih ali varovalnih pasovih, kot pri TDMA ali FDMA. Naštete prednosti so vplivale na odločitev pri izbiri načina sodostopa že v 2G sistemu IS-95 in kasneje tudi v 3G mobilnih sistemih: W-CDMA (UMTS) in CDMA2000.

D. Napredni kodni sodostop - MC-CDMA

CDMA se lahko na različne kombinira s frekvenčnim multipleksiranjem. Kodni niz lahko uporabimo za vzporedno razprševanje v frekvenčnem prostoru (MC-CDMA), ali pa za serijsko razprševanje signalov v časovnem prostoru na vseh frekvenčno razdeljenih podkanalih (MC-DS-CDMA).

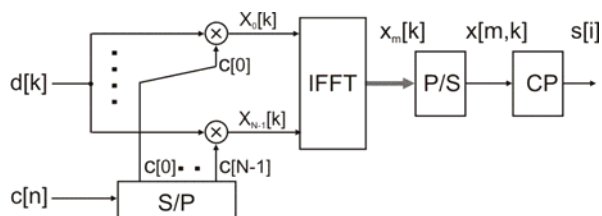
Modulacijo z več nosilci (multicarrier modulation) lahko kombiniramo s CDMA v proces razprševanja v frekvenčnem prostoru. Signal na izhodu MC-CDMA modulatorja je vsota množice frekvenčnih komponent, ki so modulirani z istim podatkovnim signalom in različnimi čipi kodnega zaporedja. Zelo poenostavljeni potek MC-CDMA signala podaja enačba (3) za primer množice BPSK signalov [3]. Vsota N signalov je modulirana s pravokotnimi impulzi $p_s(t)$, niz znakov $d[k]$ in kodni niz $c[n]$ sta binarna.

$$s_{MC-CDMA}(t) = \sqrt{\frac{2P}{N}} \sum_k \sum_{n=0}^{N-1} d[k] p_s(t - kT_s) c[n] \cos(2\pi n \cdot \Delta f) \quad (3)$$

Model MC-CDMA oddajnika s kodo dolžine N podaja slika 10. Proces multipleksiranja signalov poteka v bazni postaji še pred operacijo IFFT:

$$X_n[k] = \sum_{i=1}^I d_i[k] c_i[n] \quad (4)$$

Vzorci signala na izhodu oddajnika bazne postaje so vsota velikega števila nekoreliranih izvorov, zato imajo skoraj Gaussovo verjetnostno porazdelitev amplitude. Zelo velika razmerja med maksimalno in efektivno vrednostjo signala na izhodu povzročajo visoke zahteve pri načrtovanju linearnih oddajnih ojačevalnikov. Diskretnemu nizu vzorcev razpršenega signala $s[i]$ se dodaja tudi ciklično pripono (CP), ki je namenjena preprečevanju interference med bloki DFT nizov.

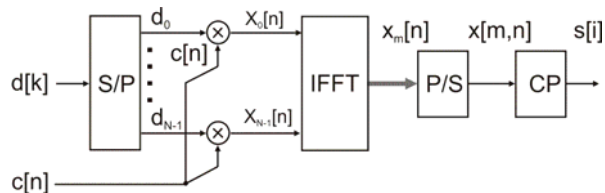


Slika 10: MC-CDMA oddajnik.

Število nosilcev je v danem primeru enako faktorju razširjanja in vsak blok znakov na izhodu oddajnika vsebuje informacijo enega znaka na vhodu. Pri velikem številu aktivnih kanalov nastopa zaradi presihov na kanalu močna interferenca med uporabniki, ki povečuje število napak pri prenosu. Vsak znak $d[k]$ se prenaša hkrati po vseh frekvenčno ločenih kanalih,

kar pomeni veliko prednost na kanalih s presihom predvsem pri majhni zasedenosti kanala. Interferenca med nosilci je manjša, če so podkanali zelo ozkopasovni. Število nosilcev lahko povečamo za faktor P , če podatovni niz $d[k]$ razdelimo v vzporedne bloke s P znaki.

OFDMA je samo poseben primer MC-CDMA za poseben nabor ortogonalnih kod $c_i[n] = \delta[n-i]$. Za enak kodni nabor dobimo pri časovnem razprševanju DS-CDMA časovni sodostop TDMA.



Slika 11: MC DS CDMA oddajnik.

DS-CDMA lahko splošimo na več nosilcev, kot ponazarja model MC-DS-CDMA oddajnika na sliki 11. Podatkovni niz se najprej razdeli v bloke in prenaša v vzporedne podkanale OFDM. Podatkovni znaki d_i se na vseh podkanalih razširjajo z enakim kodnim nizom $c[n]$. Za preprečevanje intereferenca med IFFT bloki se nizu vzorcev na izhodu dodaja tudi ciklična pripona (CP). Enačba (5) podaja potek signala na izhodu oddajnika za poenostavljeni primer vsote razširjenih BPSK signalov [3]. Parameter b določa zaporedno številko bloka, m je zaporedni znak v bloku, $p_c(t)$ pa določa obliko impulza čipa.

$$s_{MC-DS-CDMA}(t) = \sqrt{\frac{2P}{N}} \sum_b \sum_n^{N-1} d_m[b] c[n] p_c(t - bT_c) \cos(2\pi m \cdot \Delta f) \quad (5)$$

Presih signala na radijskem kanalu v MC-DS-CDMA sistemih ne povzroča interference med uporabniki, pač pa lahko povzroči izgubo tistih podatkov, ki se prenašajo po oslabiljenih podkanalih. Problem izgube podatkov se rešuje s prilagajanjem podatkovnega pretoka glede na kvaliteto podkanala (adaptive multicarrier modulation).

IV. ZAKLJUČEK

Radijski spekter je omejeni naravni vir, kar zahteva učinkovito uporabo razpoložljivih prenosnih kapacitet. Zaradi velikega števila uporabnikov in potreb po širokopasovnih mobilnih storitvah se zmanjšuje velikost celic. To omogoča delovanje naprav z zmanjšano močjo in v veliko širšem frekvenčnem pasu. Razvoj sistemov mobilnih komunikacij 1G-3.5G pomeni tudi evolucijo tehnik sodostopa od FDMA, TDMA do CDMA.

Med FDMA, TDMA in OCDMA ni razlik v številu razpoložljivih kanalov. Prednosti CDMA sistemov se pokažejo pri neortogonalnih kodah, kjer je število kanalov lahko mnogo večje kot pri TDMA ali FDMA. Moč interference raste linearno s številom aktivnih kanalov, zato je zasedanje kapacitete medija dinamično. Pri govornih komunikacijah je govorec v povprečju približno dve tretjini časa neaktiven, zato se kapaciteta CDMA sistema poveča skoraj trikrat. Število aktivnih kanalov v prostoru se zmanjša tudi pri sektorizaciji celic in pri 120 stopinjski razdelitvi je lahko število aktivnih uporabnikov CDMA sistema še 3-krat večje. V celičnih CDMA sistemih ni potrebe po menjavah frekvenc sosednjih celic, kar omogoča mehko prehajanje in večjo izkoriščenost radijskega spektra.

Način sodostopa na fizičnem kanalu se uporablja skupaj z določenim modulačijskim postopkom. Prenos z več nosilci po frekvenčno ločenih kanalih OFDM omogoča najboljše izkoriščanje prenosne kapacitete na kanalu s spremenljivim razmerjem signal-šum in ni občutljiv na intersimbolno interferenco. OFDM sistemi so manj občutljivi na ozkopasovne motnje in presih zaradi prenosa po več poteh. Napredni CDMA sistemi izkoriščajo prednosti frekvenčnega razdeljevanja kanala v dveh osnovnih konfiguracijah: MC CDMA in MC-DS-CDMA. Kombinacije prednosti kodnega sodostopa in modulačije z več nosilci sodijo v ožji izbor za sisteme 4G.

LITERATURA

1. A. Kucar, "Mobile Radio: An Overview", IEEE Com.Mag., Nov. 1991, pp.72-85.
2. D.D.Falconer, F. Adachi, B. Gudmunson, "TDMA Methods for Wireless Personal Communications", IEEE Com. Mag., Jan.1995, pp.50-56.
3. S.Hara, R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA", IEEE Com.Mag.,Dec. 1997,pp.126-133.
4. A. Jamalipour, T. Wada, T. Yamazato, "A Tutorial on Mobile Access Technologies for Beyond 3G Mobile Networks", IEEE Com.Mag., Feb. 2005, pp. 110-117.
5. Mischa Schwartz, Mobile Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005, pp.137-158.