

REDUKOVANJE SOPSTVENE INTERSIMBOLSKE INTERFERENCIJE U ČIRP SISTEMIMA SA PROŠIRENIM SPEKTROM

Igor S. Simić, VP - 4522 Beograd, e-mail: igors@igaleb.etf.bg.ac.yu
Aleksa J. Zejak, Institut IMTEL, B. Lenjina 165B, 11070 N. Beograd

Sadržaj—U radu se predlaže novi metod za redukovanje sopstvene intersimbolske interferencije u čirp sistemima sa proširenim spektrom. Metod se zasniva na projektovanju kompresionog filtera sa uskom bočnim snopovima i sačuvanom širinom glavnog snopa.

1. UVOD

Radio prenos digitalnih informacija u zatvorenim prostorima zgrada i poslovnih prostora limitiran je karakteristikama komunikacionog kanala. Signal koji se prostire kroz komunikacioni kanal obično na određite stiče preko više različitih puteva (multipath) koji nastaju zbog raspršenja, refleksije, refrakcije ili difrakcije radio talasa od okolnih objekata. Višestruko prostiranje dovodi do izobličenja signala u vremenskom (delay spread), frekvencijskom (Doppler spread) i prostornom (angle spread) domenu. Takođe, elektromagnetske emisije drugih korisnika radio sistema i industrijski, kancelarijski i kućni uređaji unose značajne smetnje u komunikacioni kanal. U takvim uslovima signali proširenog spektra imaju značajnih prednosti.

Ključna osobina sistema proširenog spektra jeste otpornost na smetnje, a naročito u prisustvu Doplerovog pomaka i fedinga nastalog zbog efekata višestrukog prostiranja. Kritične operacije u sistemima proširenog spektra su širenje u predajniku i kompresija spektra u prijemniku. Tehnike frekvencijskog skakanja i direktne sekvence zahtevaju složenije sklopove za kodnu sinhronizaciju. Primenom čirp modulacije, prvi put predložene u [1], eliminišu se sklopovi za sinhronizaciju [2].

Čirp modulacija se koristi u mnogim aplikacijama: radarima, sonarima, prenosu podataka na KT opsegu, multi-korisničkim čirp sistemima proširenog spektra [3], digitalnim bežičnim mrežama (RNET) [4] i bežičnim LAN komunikacijama [5-9].

Tehnika čirp proširenog spektra (čirp SS) predložena je kako bi se povećala robusnost komunikacionog sistema u industrijskim i

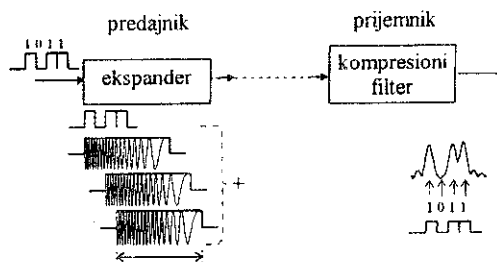
poslovnim okruženjima. Predstavljene strukture čirp SS sistema [2-9] ograničene su zbog sopstvene intersimbolske interferencije (ISI) koja nastaje usled bočnih snopova u vremenskom odzivu kompresionog čirp filtera.

U ovom radu predložen je način za redukovanje sopstvene ISI u čirp SS sistemima.

U drugom poglavlju opisan je čirp komunikacioni sistem sa proširenim spektrom. U trećem poglavlju opisan je problem sopstvene ISI i novi način za njeno smanjenje. Rezultati su dati u četvrtom poglavlju, a zaključak u petom.

2. ČIRP SISTEMI SA PROŠIRENIM SPEKTROM

U radarskim sistemima signal mora, s jedne strane, što duže trajati kako bi se za datu vršnu snagu postigla što veća energija, a sa druge strane imati što širi spektar radi što bolje rezolucije. Drugim rečima, potrebno je imati što veći proizvod trajanja signala (T) i širine spektra (B) (TB proizvod). Ovakvi zahtevi se mogu ispuniti uvođenjem unutarimpulsne frekvencijske ili fazne modulacije, tj. uvođenjem talasnih oblika koji za datu širinu impulsa T imaju širinu spektra veću od $B=1/T$ ($TB>1$). Prvi primenjen postupak širenja spektra u radarima bio je unutarimpulsna modulacija signalom linearnog čirpa. Ovaj postupak kasnije je predložen za primenu i u komunikacijama [1].



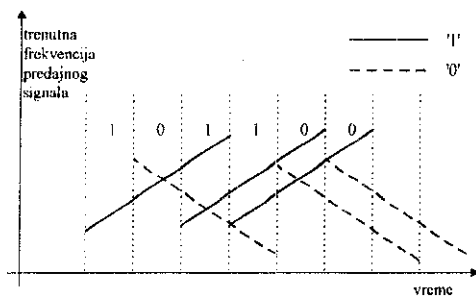
Slika 1. Čirp SS komunikacioni sistem.

Širina čirp signala limitira brzinu prenosa ovakvim sistemom. Da bi se izbeglo ovo

ograničenje u [2,5-9] predložen je način za povećanje brzine prenosa u čirp SS sistemu vremenskim preklapanjem čirp signala.

Generator čirpa, najčešće SAW linija za kašnjenje, pobuđuje se nizom impulsa koji potiču od izvora binarne informacije (Slika 1). Na izlazu generatora dobija se suma vremenski zakasnelih čirp signala. Nakon prolaska kroz komunikacioni kanal prijemni signal se detektuje kompresionim filterom. Spektralne komponente se sumiraju tako da se na izlazu kompresionog filtera dobija impuls trajanja $1/B$ i amplitude koja je $(TB)^{1/2}$ puta veća od amplitude čirp signala. Važno je napomenuti da trajanje bita informacije T_i mora biti veće ili jednako od trajanja impulsa na izlazu kompresionog filtera, tj. $T_i \geq (1/B)$. Brzina prenosa je, tako, ograničena trajanjem komprimovanog impulsa, a ne trajanjem generisanog čirpa T .

Prethodna šema čirp SS sistema podrazumeva da se čirp generiše samo u trenutku kada se šalje logička jedinica. U radovima [2, 5-9] predloženo je da se koristi par čirp signala jednake strmine i različitih predznaka koji odgovaraju različitim logičkim stanjima na ulazu (BOK - binary orthogonal keying). Stanje '1' generiše na izlazu čirp signal čija trenutna frekvencija linearno raste (up chirp), a logička '0' proizvodi čirp čija trenutna frekvencija linearno opada (down chirp), što je na slici 2 prikazano.



Slika 2. Modulaciona šema u BOK čirp SS komunikacionom sistemu.

Na prijemnoj strani koristi se par prilagođenih čirp kompresionih filtera.

Kompleksna ovojnica linearnog čirpa data * je izrazom

$$\mu(t) = e^{j\pi k t^2} \quad \text{za } |t| < \frac{T}{2}, \quad (1)$$

a ovojnica odziva prilagođenog kompresionog filtera biće

$$g(\tau) = \sqrt{TB} \frac{\sin[\pi B \tau (1 - |\tau|/T)]}{\pi B \tau} \quad \text{za } |\tau| \leq T. \quad (2)$$

U izrazu (2) ovojnica je oblika $\sin(x)/x$ sa nivoom maksimalnih bočnih snopova -13.46 dB.

3. REDUKOVANJE SOPSTVENE ISI

Visok nivo bočnih snopova na mestu odlučivanja o prethodnom ili narednom simbolu može dovesti do pogrešne detekcije. Čak i u odsustvu šuma posledica neadekvatnog filtriranja u sistemu jeste pojava ISI. Sopstvena interferencija simbola u čirp sistemima proširenog spektra može značajno degradirati performanse komunikacije pa se primenjuju različiti metodi za njeno potiskivanje.

U dostupnim radovima amplitudsko ponderisanje (weighting) impulsnog odziva ili funkcije prenosa primenjuje se kako bi se umanjila ISI. Međutim, na taj način proširuje se glavni snop odziva kompresionog filtera (izlazni impuls). Ako se sa w označi indeks širine izlaznog impulsa, tako da je $w=1$ za čirp filter, a $w>1$ za ponderisan čirp filter. Ulazni impuls mora biti širi od w/B , odnosno $T_i \geq w/B$. Drugim rečima, maksimalna brzina prenosa manja je w puta.

Ako se za ponderisanje koristi Hemingov prozor bočni snopovi se potiskuju na nivo -42.8 dB. Pri tome se glavni snop na 3 dB od vrha proširuje 1,4 puta ($w=1,4$).

Problem sopstvene ISI u čirp sistemima proširenog spektra ekvivalentan je problemu sopstvenog klatera (self clutter) u radarima. U ovom radu predložen je postupak kojim se projektuje kompresioni filter tako da njegov odziv ima što niže bočne snopove.

Minimaksnom modifikacijom zatvorene forme LS (Least Square) filtera primenom "prozora greške" razvijen je algoritam kojim se potiskuju maksimalni bočni snopovi kompresionog filtera [10]. Kao kriterijum za minimizaciju uvedena je ponderisana kvadratna greška

$$\varepsilon = \mathbf{e}^T \mathbf{R} \mathbf{e}, \quad (3)$$

gde je matrica $\mathbf{R} = \text{diag}(r)$, a r je težinski vektor.

$$\mathbf{r}_n = \mathbf{r}_{n-1} \cdot \mathbf{e}_{n-1}. \quad (4)$$

Rešenje koje daje procenu koeficijenata filtera $\hat{\mathbf{x}}$, a koje minimizuje grešku \mathbf{e}_n može se dati u obliku

$$\hat{\mathbf{x}}_n = (\mathbf{S}^T \mathbf{R}_{n-1} \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \mathbf{R}_{n-1} \mathbf{d}, \quad (5)$$

gde je matrica odbiraka signala \mathbf{S} data u formi Toplicove matrice, a \mathbf{d} je željeni odziv filtera. Prethodna relacija predstavlja osnovnu formulaciju ponderisanog (retežinovanog - reweighted) LS algoritma.

U svakoj novoj iteraciji težine se inoviraju na osnovu greške iz prethodne iteracije i problem se rešava ponovo. Ovaj proces sukcesivnih aproksimacija naziva se *iterativni ponderisani algoritam najmanjih kvadrata* ili IRLS algoritam. Početni uslov je $\mathbf{R}(0) = \mathbf{I}$, gde je \mathbf{I} jedinična matrica.

Greška estimacije na kraju n -te iteracije izračunava se kao

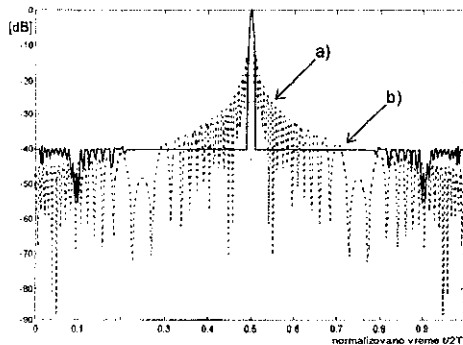
$$e_n = \zeta - |\chi_{n-1}|, \quad (6)$$

gde je χ_n odziv filtera u n -1 iteraciji, i ζ je maska greške definisana kao pravougaoni prozor jednake širine kao i glavni snop odziva prilagođenog kompresionog filtera. Na ovaj način u postupku projektovanja filtera vodi se računa da širina glavnog snopa ostane nepromenjena.

Da bi minimizovao varijansu belog Gausovog šuma kompresioni filter treba da zadovolji uslove za prilagođeni filter. Ako ti uslovi nisu ispunjeni mera razdešenosti između čirpa na predaji i kompresionog filtera izražava se gubitkom razdešavanja (mismatching loss). Gubitak razdešavanja uslovljen je povećanjem varijanse belog gausovog šuma u odnosu na sistem sa prilagođenim kompresionim filterom.

4. REZULTATI

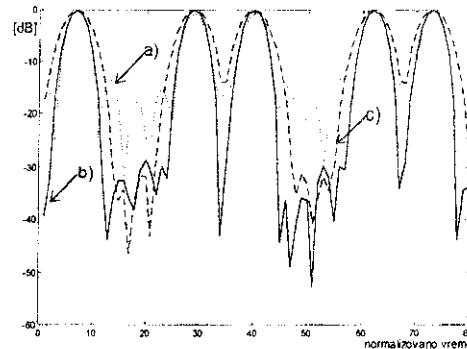
Da bi se pokazala efikasnost predloženog metoda projektovan je kompresioni filter za čirp strmine $k=64$ i trajanja $T=1$.



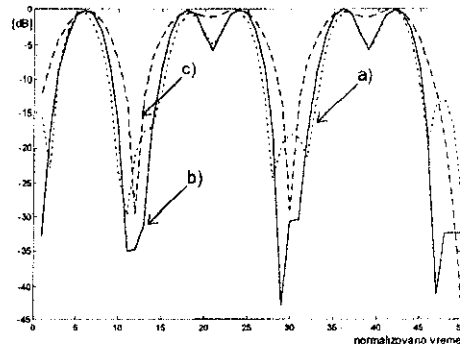
Slika 3. Odziv kompresionog a) čirp b) IRLS filtera na jedan ulazni impuls.

Ako se kompresioni filter pobudi jednim impulsom čirpa njegov odziv biće kao na slici 3. Odziv čirp kompresionog filtera prikazan je na slici 3 isprekidanom linijom, dok je punom linijom dat odziv projektovanog filtera sa potisnutim bočnim snopovima. Na slici je pokazano da se predloženim algoritmom značajno potiskuju bočni snopovi.

Ako se na ulaz dovede niz impulsa bočni snopovi će se sumirati i na mestima odlučivanja verovatnoća pogrešne detekcije biće veća. Ovaj efekat je izraženiji što je brzina prenosa veća.



Slika 4. Odziv a) čirp b) IRLS c) Hemingovim prozorom ponderisanog kompresionog filtera na sekvencu bita 101101 i $T_c=2/B$.



Slika 5. Odziv a) čirp b) IRLS c) Hemingovim prozorom ponderisanog kompresionog filtera na sekvencu bita 101101 i $T_c=1,5/B$.

Na slikama 4 i 5 prikazani su odzivi kompresionog filtera kada se na ulaz čirp SS sistema dovede sekvencu bita 1011011. Podrazumeva se da nema distorzije signala u komunikacionom kanalu. Ponom linijom prikazan je odziv projektovanog IRLS filtera, tačkicama

odziv prilagođenog čirp filtera, a isprekidanom linijom odziv čirp filtera ponderisanog Hemingovim prozorom. Trajanje informacionog bita na slici 4 je $2/B$, a na slici 5 $1,5/B$.

Može se uočiti da se Hemingovim prozorom i IRLS filterom postižu znatno niži bočni snopovi nego prilagođenim filtriranjem. Međutim, IRLS filterom ne narušava se širina izlaznog impulsa.

Primenom Hemingovog prozora razdešava se kompresioni čirp filter i gubitak je 2,7 dB, dok je razdešenim IRLS filterom ovaj gubitak 3,1 dB.

5. ZAKLJUČAK

Velika otpornost na efekte višestrukog prostiranja, mala snaga i niska cena, karakteristike su koje čine atraktivnim čirp sisteme proširenog spektra. Brzina prenosa ovim sistemom ograničena je, s jedne strane, trajanjem čirp signala, a sa druge, širinom glavnog snopa odziva kompresionog filtera i ISI izazvanom visokim bočnim snopovima. Amplitudskim ponderisanjem impulsnog odziva ili funkcije prenosa uspešno se potiskuju bočni snopovi, ali se i glavni snop proširuje. Maksimalna brzina prenosa, na taj način, dodatno se smanjuje.

Predložen je algoritam kojim se projektuje kompresioni filter sa nepromenjenom širinom glavnog snopa, a sa potisnutim bočnim snopovima. Cena koja se pri tome plaća jeste gubitak zbog razdešavanja.

LITERATURA

- [1] M. R. Winkler, "Chirp signals for communications," in *IEEE WESCONN Conf. Rec.*, 1962
- [2] A. Springer, M. Huemer, L. Reindl, C.C.W. Ruppel, A. Pohl, F. Seifert, W. Gugler, R. Weigel, "A Robust Ultra-Broad-Band Wireless Communication System Using SAW Chirped Delay Lines," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 46, pp. 2213 - 2219, December 1998.
- [3] S. E. El-Khamy, S.E.Shaaban and E.A.Thabet, "Efficient Multiple-Access Communications Using Multi-User Chirp Modulation Signals," in *Proc. of the IEEE ISSSTA'96*, Mainz, 1996, pp. 1209-1213 .
- [4] M. Chelouche, S. Hethuin and L. Ramel, "Digital Wireless Broadband Corporate and Private Networks: RNET Concepts and Applications," *IEEE Communications magazine*, Vol. 35, pp.42-51, January 1997
- [5] W. Gugler, M. Humer, A. Springer, A. Pohl, L. Reindl, R. Weigel and F. Seifert, "Simulation and Verification of a Spread Spectrum Wireless LAN Using SAW Chirped Delay Lines," *Proc. of the IEEE ISSSTA'98*, 1998, pp. 898-901.
- [6] A. Pohl, G. Ostermayer, R. Steindl, F. Seifert and R. Weigel, "Fine Tuning of Data Rate Enhances Performance of a Chirp Spread Spectrum Systems," *Proc. of the IEEE ISSSTA'98*, 1998, pp. 78-81.
- [7] A. Pohl, G. Ostermayer, R. Steindl, L. Reindl, F. Seifert and R. Weigel, "Fast Adaptive Interference Cancellation in Low Cost SAW Based Chirp Spread Spectrum Systems," *Proc. of the IEEE ISSSTA'98*, 1998, pp. 883-887
- [8] A. Springer, A. Pohl, W. Gugler, M. Huemer, L. Reindl, C.C.W. Ruppel, F. Seifert, R. Weigel, "A Robust Ultra Broadband Wireless Communication System Using SAW Chirped Delay Lines," *Proc. of the IEEE MTT-S Digest*, 1998, pp. 491 - 494.
- [9] M. Huemer, A. Pohl, W. Gugler, A. Springer, R. Weigel, and F. Seifert, "Design and verification of a SAW based chirp spread spectrum system," *Proc. of the IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, 1998, pp. 189-192.
- [10] A. J. Zejak, E. Zentner, P. B. Rapajić, "Doppler optimized mismatched filters," *Electronics letters*, Vol 21, No. 7, 1991, pp. 558-560

Abstract - A new method for self intersymbol interference reduction in chirp spread spectrum communication systems is proposed. Method is based on compression filter design with low sidelobes and preserved mainlobe width.

Self Intersymbol Interference Reduction in Chirp Spread Spectrum Communication Systems

I. S. Simić,
A. J. Zejak