

POTISKIVANJE ŠIROKOPOJASNE SMETNJE PRIMENOM VOLTERINOG FILTRA U PSDS PRIJEMNIKU

Vesna Zeljković, Zoran Dobrosavljević
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Sadržaj - U radu je predstavljena analiza karakteristika prijemnika signala sa proširenim spektrom i direktnom sekvencom u kome se potiskivanje širokopojasne smetnje ostvaruje Volterinim filtrom. Dobijeni rezultati, izraženi u obliku verovatnoće greške, pokazuju da prijemnik sa Volterinim filtrom pokazuje bolje karakteristike u odnosu na prijemnik sa adaptivnim transversalnim filtrom.

1. UVOD

U savremenim mobilnim telekomunikacionim sistemima vrlo je atraktivna mogućnost višestrukog korišćenja frekvencijskog opsega u kome već postoji neki snažni ometački signal. Sistemi za prenos signala proširenog spektra sa direktnom sekvencom (PSDS) pružaju mogućnost kvalitetnog rada u prisustvu snažnog ometačkog signala ukoliko je vrednost procesnog pojačanja dovoljno velika. Međutim u slučaju da procesno pojačanje posmatranog PSDS sistema ima malu vrednost ili ukoliko je smetnja izrazito jaka, neophodna je primena neke dodatne metode potiskivanja smetnje u PSDS prijemniku.

Predložene metode potiskivanja smetnje se uglavnom zasnivaju na primeni adaptivnih transversalnih filtera (ATF), [1,2]. Međutim efikasnost ATF značajno opada u slučaju kada je ometani frekvencijski opseg uporediv sa frekvencijskim opsegom koji zauzima korisni signal, te se u takvom slučaju bolji rezultati mogu očekivati primenom nekog nelinearnog postupka potiskivanja smetnji.

U radu [3] su prikazani dobri rezultati koje pokazuje Volterin filter u potiskivanju uskopojasne smetnje u sistemima sa višestrukim kodnim pristupom (CDMA). U ovom radu je stoga izvršena analiza mogućnosti potiskivanja širokopojasne smetnje u PSDS sistemu prenosa primerom Volterinog filtra trećeg stepena. Dobijeni rezultati, izraženi preko verovatnoće greške po bitu (BER), ukazuju na superiornost Volterinog filtra u odnosu na ATF.

Rad se sastoji iz četiri glave. Nakon uvoda u drugoj glavi je prikazana konfiguracija predloženog prijemnika i dat je matematički model ulaznog signala. Treća glava sadrži dobijene rezultate koji podrazumevaju ostvarenu verovatnoću greške po bitu. Izvršeno je poređenje performansi predloženog prijemnika i prijemnika koji sadrži ATF. U zadnjoj, četvrtog glavi su izloženi zaključci koji su doneseni na osnovu dobijenih rezultata.

2. KONFIGURACIJA PRIJEMNIKA

Na slici 1 je prikazana blok šema analiziranog PSDS prijemnika koji sadrži Volterin filter.

Primenjen Volterin filter je trećeg stepena koji sarži liniju za kašnjenje sa dve ćelije. Na njegov ulaz se dovodi diskretizovani ukupni primljeni signal $x(n)$. Signal na izlazu iz Volterinog filtra $y(n)$ je definisan sledećim izrazom,

$$y(n) = \sum_{m_1=-1}^1 a_1(m_1)x(n-m_1) + \sum_{m_1=-1}^1 \sum_{m_2=m_1}^1 a_2(m_1, m_2)x(n-m_1)x(n-m_2) + \sum_{m_1=-1}^1 \sum_{m_2=m_1}^1 \sum_{m_3=m_2}^1 a_3(m_1, m_2, m_3)x(n-m_1)x(n-m_2)x(n-m_3)$$

gde $a_1(m_1)$, $a_2(m_1, m_2)$ i $a_3(m_1, m_2, m_3)$ predstavljaju koeficijente Volterinog filtra prvog, drugog i trećeg stepena. Respektivno, koji se podešavaju RLS adaptivnim algoritmom. [4]. Ovaj algoritam je primenjen zbog svoje robustnosti i brze konvergencije koju je ispoljio u primeni kod adaptivnih transversalnih filtera, [5]. RLS adaptivni algoritam je pokazao ista pozitivna svojstva i pri primeni u Volterinom filtru.

Signal koji je prisutan na ulazu u prijemnik se sastoji iz tri komponente. Prva komponenta predstavlja željeni PSDS signal koji je definisan izrazom,

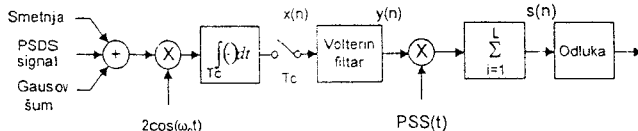
$$u(t) = U \text{PSS}(t) d(t) \cos(\omega_0 t)$$

Amplituda nosioca PSDS signala je U , a njegova ugaona učestanost je ω_0 . Pseudoslučajna sekvenca je $\text{PSS}(t)$ sa trajanjem čipa T_c . Ulazna snaga željenog signala iznosi P_u , a zauzeti opseg učestanosti iznosi B_u . Signal poruke $d(t)$ uzima vrednosti iz skupa $d(t) \in \{-1, 1\}$ sa jednakom verovatnoćom.

Druga komponenta ulaznog signala je smetnja modelirana kao širokopojasni 2- Φ M signal. Smetnja je predstavljena sledećim izrazom,

$$i(t) = U_s d_s(t + \tau) \cos\left\{(\omega_0 + 2\pi f_\Omega)t + \theta\right\}$$

gde U_s i f_Ω označavaju amplitudu smetnje i frekvencijski offset njenog nosioca u odnosu na nosilac PSDS signala. Slučajno



Slika 1. Blok šema predloženog prijemnika. T_c -trajanje čipa; Σ -integrator po bitu poruke.

početno kašnjenje bita poruke τ je uniformno raspodeljeno na intervalu $[0, T)$. Početna faza nosioca θ je takođe uniformno raspodeljena na intervalu $[0, 2\pi)$. Niz bita poruke smetnje uzima vrednosti iz skupa $d_i(t) \in \{-1, 1\}$ sa jednakom verovatnoćom. Snaga signala smetnje na ulazu u prijemnik iznosi P_s , a zauzeti opseg učestanosti iznosi B_s .

Treća komponenta ulaznog signala predstavlja aditivni beli Gausov šum čija je jednostrana spektralna gustina srednje snage na ulazu u prijemnik η .

Sve tri komponente primljenog signala su međusobno nezavisne i stacionarne u širem smislu.

3. REZULTATI

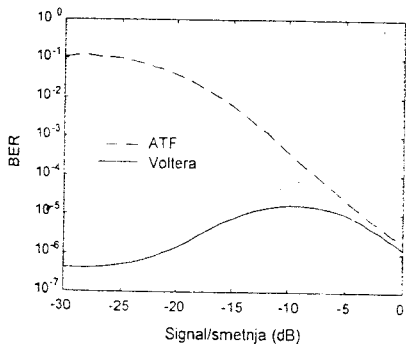
Kao kriterijum performansi Volterinog filtra u potiskivanju širokopoljsne smetnje izabrana je verovatnoća greške po bitu (BER). Pretpostavljajući da odbirci $s(n)$ na osnovu kojih se vrši odlučivanje o primljenom bitu poruke imaju Gausovu statistiku, BER je dat sledećim izrazom,

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{E\{s(n)\}}{\sqrt{2 \operatorname{var}\{s(n)\}}} \right), \quad (4)$$

gde $E\{s(n)\}$ predstavlja srednju vrednost signala $s(n)$, a $\operatorname{var}\{s(n)\}$ predstavlja njegovu varijansu.

U cilju analize rada PSDS prijemnika sa Volterinim filtrom za različite vrednosti parametara korisnog signala i smetnje, razvijen je simulacioni model u jeziku C. Kao rezultat niza simulacija dobijeni su srednja vrednost i varijansa odbiraka na osnovu kojih se vrši odlučivanje o poslatom bitu poruke, a koji učestvuju u izrazu (4). Na osnovu rezultata simulacije, izračunata je verovatnoća greške po bitu (BER). Svi rezultati su dobijeni za procesno pojačanje $L=128$ i odnos signal/šum na ulazu u prijemnik $A_n=12\text{dB}$.

Na slici 2 prikazan je dijagram verovatnoće greške na izlazu iz posmatranog prijemnika u funkciji odnosa signal/smetnja na ulazu u prijemnik. Ovaj odnos je menjan u opsegu od -30dB do 0dB . Posmatrana je širokopoljsna smetnja koja zauzima 37% opsega učestanosti korisnog signala i nalazi se na učestanosti njegovog nosioca. Radi



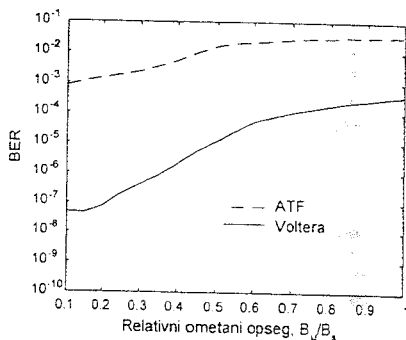
Slika 2 Verovatnoća greške za prijemnik sa Volterinim i adaptivnim transverzalnim filtrom (ATF) u funkciji odnosa signal/smetnja; $A_n=12\text{dB}$, $B_s/B_c=0.37$.

poređenja, na istom dijagramu prikazana je i verovatnoća greške ostvarena u prijemniku sa adaptivnim transverzalnim filtrom drugog reda. U podešavanju koeficijenata Volterinog i adaptivnog transverzalnog filtra primenjen je RLS adaptivni algoritam.

Sa slike 2 može se videti da je verovatnoća greške u prijemniku sa Volterinim filtrom generalno bolja u odnosu na verovatnoću greške za prijemnik sa ATF. S obzirom na činjenicu da je širokopoljsna smetnja gotovo u potpunosti potisnuta Volterinim filtrom, verovatnoća greške na izlazu iz prijemnika vrlo malo zavisi od ulazne snage smetnje.

Na slici 3 prikazan je dijagram verovatnoće greške na izlazu iz prijemnika sa Volterinim filtrom u zavisnosti od odnosa opsega učestanosti koji zauzimaju korisni signal i smetnja. Ovaj odnos je menjan u granicama od 10% do 100%. Smetnja se nalazi na učestanosti nosioca korisnog signala. Odnos signal/smetnja iznosi -15dB dok svi ostali parametri imaju iste vrednosti kao i na prethodnom dijagramu.

Na istom dijagramu prikazana je i verovatnoća greške ostvarena u prijemniku sa adaptivnim transverzalnim filtrom.

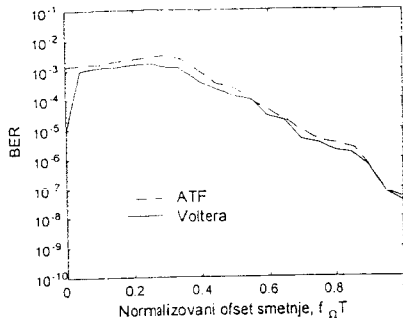


Slika 3. Verovatnoća greške za prijemnik sa Volterinim i adaptivnim transverzalnim filtrom (ATF) u funkciji relativne širine ometanog opsega učestanosti; $A_n=12\text{dB}$, $SIR=-15\text{dB}$

Sa slike 3 se može videti da se u prijemniku PSDS signala sa Volterinim filtrom ostvaruje relativno mala verovatnoća greške po bitu u prisustvu snažne smetnje koja ometa veliki deo opsega učestanosti korisnog signala. Prijemnik sa ATF pokazuje veću osetljivost na dejstvo širokopoljsne smetnje. Razlika u karakteristikama ova dva tipa prijemnika u manjoj meri zavisi od opsega učestanosti koji smetnja zauzima.

Konačno, na slici 4 prikazana je zavisnost verovatnoće greške na izlazu iz prijemnika sa Volterinim filtrom u zavisnosti od ofseta učestanosti nosioca smetnje normalizovanog na trajanje čipa T_c . Normalizovani ofset je menjan u opsegu od 0 do 2π . Širokopoljsna smetnja zauzima 37% opsega učestanosti korisnog signala sa PSDS. Svi ostali parametri imaju iste vrednosti kao i na slici 3.

Na istoj slici prikazana je i verovatnoća greške ostvarena u prijemniku sa ATF.



Slika 4. Verovatnoća greške za prijemnik sa Volterinim i adaptivnim transversalnim filtrom (ATF) u funkciji promene učestanosti nosioca smetnje, $A_n = 12\text{dB}$.

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 4 može se videti da je prijemnik PSDS signala koji sadrži Volterin filter neznatno bolji u potiskivanju širokopolasne smetnje u odnosu na PSDS prijemnik sa ATF. Izuzetak čini slučaj kada ofset učestanosti interferentnog signala iznosi nula i kada Volterin filter ostvaruje veliko poboljšanje u odnosu na ATF što se manifestuje preko manje verovatnoće greške po bitu za preko dva reda veličine. Sa prikazanog dijagrama se uočava da je potiskivanje interferencije povećava sa porastom ofseta nosioca smetnje.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predstavljene performanse prijemnika signala sa PSDS koji sadrži Volterin filter namenjen potiskivanju smetnje. Smetnja je modelovana kao širokopolasni 2- Φ M signal sa frekvencijskim ofsetom nosioca u odnosu na nosilac željenog signala. Primenjen je RLS adaptivni algoritam za podešavanje koeficijenata poredenih filtera. Izvršena je komparacija performansi prijemnika sa Volterinim filtrom i prijemnika koji sadrži dvostrani transversalni filter.

Prikazani rezultati izraženi preko verovatnoće greške po bitu ukazuju na superiornost Volterinog filtera u odnosu na adaptivni transversalni filter u procesu potiskivanja širokopolasne smetnje. Na ovaj način PSDS prijemnik sa Volterinim filtrom omogućava prijem korisnog signala čak i u prisustvu snažne smetnje. Dobljeni rezultati i doneseni zaključci ukazuju na mogućnost koegzistencije klasičnih širokopolasnih komunikacionih sistema i modernih sistema za prenos signala sa PSDS u istom frekvencijskom opsegu.

LITERATURA

- [1] L. Milstein, "Interference Rejection in Spread-Spectrum Communications", Proc. of the IEEE, vol. 76, no. 6, pp. 657-671, June 1988.
- [2] J. D. Laster and J. H. Reed, "Interference Rejection in Digital Wireless Communications", IEEE SP Magazine, vol. 14, no. 3, pp. 37-62, May 1997.
- [3] R. Tanner and D. G. M. Cruickshank, "Volterra Filter Structure for DS-CDMA", Vehicular Technology Conference VTC'96, Atlanta, 1996.
- [4] C. E. Davila, A. J. Welch and H. G. Rylander, II, "A Second Order Adaptive Volterra Filter with Rapid Convergence", IEEE Trans. On ASSP, vol. 35, no. 9, Sep. 1987.
- [5] S. Haykin, "Adaptive Signal processing", Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [6] QUALCOM, "Proposed EIA/TIA Wideband Spread Spectrum Standard", CDMA System Eng. Training Handbook, Draft Vers. X2, 1995.

Abstract: This paper presents the performance of the SS-DS receiver that contains the Volterra filter in the presence of the broadband BPSK interference. The coefficients of the filter are updated by recursive least square (RLS) adaptive algorithm. According to the obtained results it can be seen that the Volterra filter receiver exhibits the excellent interference suppression in comparison with the receiver containing the two-sided transversal filter.

BROADBAND INTERFERENCE SUPPRESSION IN DSSS RECEIVER BY VOLTERRA FILTERING

Vesna Zeljković, Zoran Dobrosavljević