

Koncepcija UVF radio-uređaja koji koristi tehniku proširenog spektra

Branislav M. Todorović, Nenad V. Popović, Milan M. Šunjevarić

Sadržaj — U ovom radu je predložena koncepcija radio-uređaja koji je namenjen za prenos upravljačkih signala do bespilotne letilice. Prenos se odvija u frekventijskom opsegu 432-438 MHz, a zaštita poruka se ostvaruje primenom tehnike proširenog spektra metodom direktne sekvence.

Ključne reči — direktna sekvenca, prenos u proširenom spektru, radio-uređaj, UVF opseg.

I. UVOD

RADIO-UREĐAJI sa prenosom signala u proširenom spektru (PPS) predstavljaju posebnu klasu radio-uređaja koju karakterišu dve osnovne osobine [1-4]:

- (1) Prenošeni signal zauzima znatno širi frekventijski opseg od minimalno potrebnog da bi se prenela poruka.
- (2) Proširenje frekventijskog spektra se u predajniku ostvaruje korišćenjem pomoćnog, pseudoslučajnog signala koji je nezavisan od poruke, a poznat je prijemniku. S obzirom da je pseudoslučajni signal, po pravilu, izražen u digitalnom obliku, u literaturi se sreće pod nazivom pseudoslučajna sekvenca ili kodna sekvenca [5].

Korišćenje PPS tehnike omogućava brojne prednosti; pomenimo neke od njih:

- (a) Poboljšana zaštita od uticaja smetnji;
- (b) Otežano radio-izviđanje;
- (c) Otežana neovlašćena detekcija (prisluškiavanje);
- (d) Omogućen višestruki pristup na bazi kodnog multipleksa.

Postoji nekoliko metoda za primenu PPS tehnike, ali se danas u praksi najčešće koriste sledeća dva:

- Frekventijsko skakanje (FS),
- Direktna sekvenca (DS).

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije.

Branislav M. Todorović, Institut za mikrotalasnu tehniku i elektroniku „IMTEL-Komunikacije“ a.d., Bulevar Mihaila Pupina 165b, 11070 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-7719522; faks: 381-11-3115884; e-mail: todorovic@insimtel.com).

Nenad V. Popović, Institut za mikrotalasnu tehniku i elektroniku „IMTEL-Komunikacije“ a.d., Bulevar Mihaila Pupina 165b, 11070 Beograd, Srbija (telefon: 381-64-8236509; faks: 381-11-3115884; e-mail: nenad@insimtel.com).

Milan M. Šunjevarić, Institut za mikrotalasnu tehniku i elektroniku „IMTEL-Komunikacije“ a.d., Bulevar Mihaila Pupina 165b, 11070 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-8876897; faks: 381-11-3115884; e-mail: sunjevaric@insimtel.com).

Frekventijsko skakanje se zasniva na diskretnoj promeni frekvencije nosioca u vrlo širokom opsegu, a pod kontrolom kodne sekvence. Nasuprot tome, kod direktne sekvence frekvencija nosioca je nepromenljiva, a proširenje spektra se ostvaruje operacijom sabiranja po modulu dva nad binarnim ekvivalentima poruke i kodne sekvence. Važan sistemski parametar svakog PPS radio-uređaja je procesno pojačanje. To je količnik

$$\eta = B_{PPS} / B_m, \quad (1)$$

gde je sa B_{PPS} označena širina spektra signala pri PPS-DS prenosu, a sa B_m širina spektra signala u slučaju da se ne koristi tehnika proširenog spektra. S obzirom na to da procesno pojačanje uzima vrednosti u vrlo širokim granicama, najčešće se izražava u dB:

$$\eta_{dB} = 10 \log \eta. \quad (2)$$

Procesno pojačanje je mera efikasnosti PPS-DS radio-uređaja. Ono direktno određuje stepen zaštite od uticaja smetnji. U realnim radio-uređajima njegova vrednost se kreće u granicama od 20-60 dB [6].

Tehnika proširenog spektra je prvi put primenjena i još uvek se dosta koristi u vojnim telekomunikacijama [6]. Do prve značajnije civilne primene dolazi tokom 1990-ih godina kada je američko Udruženje telekomunikacione industrije (Telecommunications Industry Association - TIA) objavilo standard IS-95 koji se odnosi na primenu tehnike proširenog spektra u celularnim mobilnim radio-sistemima. Nekoliko godina kasnije ova tehnika nalazi novu civilnu primenu u lokalnim mrežama (Local Area Networks – LAN) nakon što je američko udruženje inženjera elektrotehnike usvojilo standard IEEE 802.11. Prvobitna verzija standarda iz jula 1997. godine specifikovala je karakteristike modema proširenog spektra za brzine prenosa 1 Mb/s i 2 Mb/s na frekvenciji nosioca u opsegu 2.4 GHz. Kasnije verzije ovog standarda, objavljene u oktobru 1999. i junu 2003. godine, specifikuju karakteristike modema i za brzinu prenosa 11 Mb/s, kao i za frekvenciju nosioca u opsegu 5 GHz [1].

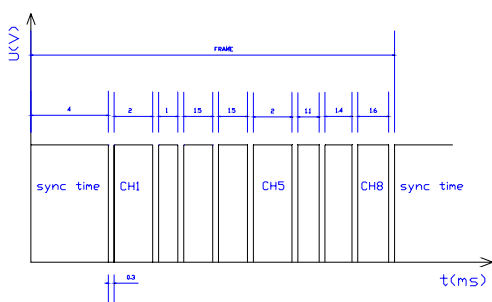
Iako su se najobimnija istraživanja u oblasti tehnike proširenog spektra u svetu odvijala tokom 1980-ih i 1990-ih godina, treba reći da se i poslednjih nekoliko godina u ovoj oblasti dosta radi [7]. U Srbiji su najobimnija istraživanja vršena krajem 1980-ih godina, rađena su za potrebe tadašnje JNA, a odnosila su se kako na metod

direktne sekvence [8], tako i na metod frekvencijskog skakanja.

Ovaj rad je nastao u okviru projekta „Primena tehnike proširenog spektra za zaštitu signala koji prenose podatke i upravljačke komande“. U delu II je dat predlog koncepcije radio-uređaja koji je namenjen za prenos upravljačkih komandi do bespilotne letilice u frekvencijskom opsegu od 432-438 MHz. Odabrano je da se koristi metod direktne sekvence.

II. KONCEPCIJA RADIO-UREĐAJA

Da bismo odredili pogodne karakteristike pojedinih blokova PPS-DS predajnika i prijemnika neophodno je da se upoznamo sa strukturom poruke koja se prenosi: u našem slučaju to je upravljački signal bespilotne letilice, prikazan na slici 1 [9].



Sl.1. Upravljački signal bespilotne letilice

Klasičan ram upravljačkog signala obrazovan je od sinhronizacionog impulsa na početku i osam komandnih impulsa kanala koji slede iza njega. Učestanost ponavljanja upravljačkog rama je tipično 50Hz (25ms), dok je širina komandnih impulsa promenljiva i kreće se od 1 do 2ms. Ovde se radi o primeni impulsno-širinske modulacije. Svaki komandni impuls nosi u sebi informaciju o poziciji jednog od servo-motora koji upravlja nekom od upravljačkih površina na bespilotnoj letilici, a vezana je za promenu širine impulsa. Impulsi u ramu su međusobno odvojeni signalima pauze u fiksnoj trajanju od 0.3 ms. Trajanje sinhronizacionog impulsa je promenljivo i kreće se od 6.3 ms do 14.3 ms. Primitimo dve činjenice:

- trajanje sinhronizacionog impulsa je znatno duže od trajanja najdužeg komandnog impulsa u ramu,
- trajanje impulsa (komandnog, sinhronizacionog ili pauze) se kreće u širokim granicama od 0.3 do 14.3 ms, što odgovara protocima od 3300 do 70 chip/s.

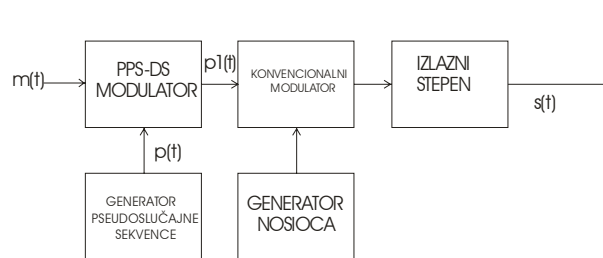
Struktura upravljačkog signala utiče na izbor pojedinih parametara PPS-DS predajnika i prijemnika, o čemu će biti reči u tekstu koji sledi.

A. PPS-DS predajnik

Blok šema predajnog dela radio-uređaja sa direktnom sekvencom prikazana je na slici 2. Sa ove slike se vidi da se predajni deo sastoji od: generatora pseudoslučajne

sekvence, PPS-DS modulatora, sintezatora frekvencije nosioca, konvencionalnog modulatora i izlaznog stepena.

Generator pseudoslučajne sekvence je ključni blok u PPS-DS predajniku. Njegov zadatak je da generiše binarni signal veoma duge periode $p(t)$, koji je nezavisan od poruke koja se prenosi $m(t)$.



Sl.2. PPS-DS predajnik

Pošto minimalna širina impulsa upravljačkog signala bespilotne letilice $m(t)$ iznosi 0.3 ms, tj. njegova maksimalna brzina signaliziranja je 3.3 kb/s, da bismo imali solidno procesno pojačanje od 25 dB, brzina signaliziranja pseudoslučajne sekvence treba da bude 1 Mchip/s. To znači da bi u slučaju primene BPSK modulacije, širina kanala bila 2 MHz. Dakle, unutar dozvoljenog frekvencijskog opsega širine 6 MHz imamo prostora za 3 kanala koji se ne preklapaju.

Izbor procesnog pojačanja od 25 dB sugerise da koristimo pseudoslučajnu sekvencu dužine ~ 300 chip, da bismo izbegli efekat parcijalne korelacije pri uspostavljanju kodne sinhronizacije [10,11]. Kada je reč o strukturi same pseudoslučajne sekvence, pogodno je koristiti linearne sekvence maksimalne dužine jer one imaju najbolje autokorelacione osobine [5]. Kao generator pseudoslučajne sekvence može da se koristi pomerački registar sa odgovarajućim povratnim vezama. Budući da nivo signala na izlazu iz svakog memorijskog elementa uzima vrednost iz skupa $\{0,1\}$, kao i da je stanje „sve nule“ zabranjeno stanje, jer linearni generator iz njega ne može da izađe, maksimalna dužina linearne pseudoslučajne sekvence generisane pomeračkim registrom koji ima K memorijskih elemenata iznosi

$$L = 2^K - 1. \quad (3)$$

U našem slučaju opredelili smo se da bude $K=8$, pa je dužina pseudoslučajne sekvence $L=255$.

PPS-DS modulator je blok karakterističan za PPS-DS predajnik. Njegov zadatak je da prvo sinhroniše poruku koja se prenosi sa pseudoslučajnom sekvencom, a zatim da izvrši operaciju sabiranja po modulu dva nad ova dva signala. Za poruku kažemo da je sinhronizovana sa pseudoslučajnom sekvencom ukoliko se svaka promena vrednosti bita događa sinhrono sa taktom pseudoslučajne sekvence.

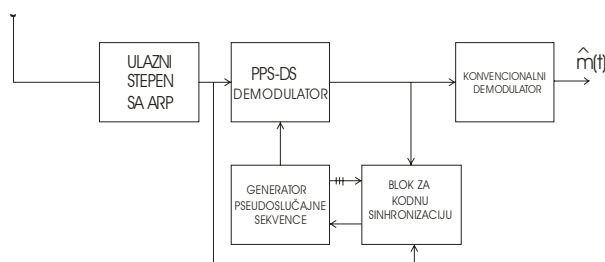
Signal sa izlaza PPS-DS modulatora $p_1(t)$ se vodi na konvencionalni modulator. To može biti bilo koji amplitudski ili ugaoni modulator koji se koristi u konvencionalnim, uskopojasnim radio-predajnicima, ali se u praksi najčešće koristi BPSK modulator [2, Vol.II, p.5].

Na kraju, modulirani signal se vodi na izlazni stepen.

B. PPS-DS prijemnik

Kada je reč o izboru optimalne strukture PPS-DS prijemnika, osnovno pitanje jeste da li će se sinhronizacija pseudoslučajne sekvence uspostavljati na radiofrekvenciji (RF) ili na međufrekvenciji (MF). Teorijski, povoljnije rešenje je da se kodna sinhronizacija uspostavi na RF, jer se tako procesno pojačanje ostvaruje ranije. Međutim, često praktični tehnološki razlozi opredeljuju da se sinhronizacija uspostavlja na MF.

Blok dijagram prijemnog dela radio-uređaja sa direktnom sekvencom kod koga se kodna sinhronizacija uspostavlja na RF je prikazan na slici 3.



Sl.3.PPS-DS prijemnik sa kodnom sinhronizacijom na RF

Sa ove slike se vidi da se prijemni deo sastoji od: ulaznog stepena sa automatskom regulacijom pojačanja (ARP), generatora pseudoslučajne sekvence, PPS-DS demodulatora, bloka za kodnu sinhronizaciju i konvencionalnog demodulatora.

Ulazni stepen se sastoji od filtra propusnika opsega 6 MHz i širokopojasnog kola za automatsku regulaciju pojačanja.

Proces demodulacije primljenog PPS-DS signala odvija se u dve etape:

- PPS-DS demodulacija,
- Konvencionalna demodulacija.

Iako redosled ovih etapa, teorijski posmatrano, može biti proizvoljan, u realnim sistemima se uvek prvo vrši PPS-DS demodulacija jer se njome ostvaruje procesno pojačanje. Time se poboljšava odnos signal/šum, čime se stvaraju uslovi da se izvrši konvencionalna demodulacija.

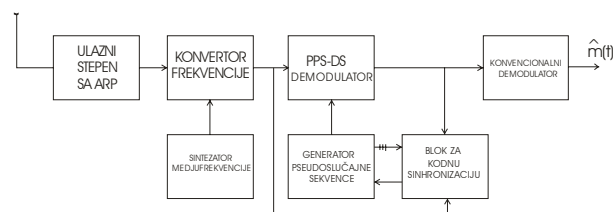
Potreban uslov da bi se mogla izvršiti PPS-DS demodulacija je da bude uspostavljena kodna sinhronizacija. Pod kodnom sinhronizacijom se podrazumeva usklađenost faze lokalno generisane pseudoslučajne sekvence sa fazom pseudoslučajne sekvence sadržane u dolazećem korisnom signalu.

Uspostavljanje kodne sinhronizacije je moguće izvršiti postupkom sekvencijalne estimacije [12] ili serijskog pretraživanja [13, 14]. Da bi se efikasno primenio postupak sekvencijalne estimacije, potrebno je da na ulazu bloka za kodnu sinhronizaciju bude znatno bolji odnos signal/šum nego što je to slučaj kada se primenjuje postupak serijskog pretraživanja. Kada se ova činjenica uzme u obzir, logičan izbor je da se uspostavljanje kodne sinhronizacije vrši postupkom serijskog pretraživanja. S obzirom na to da smo se iz praktičnih razloga opredelili da koristimo relativno kratku pseudoslučajnu sekvencu, to

podrazumeva da se domen neodređenosti prostire na celu periodu sekvence [15]. Srednje vreme potrebno da bi se na taj način kodna sinhronizacija uspostavila, pod pretpostavkom da je razdešenost taktova generatora pseudoslučajnih sekvenci predajnika i prijemnika $\Delta f = 1\text{kHz}$, iznosi $T_{acq} = \frac{1}{2} 255 \frac{1}{1000} \approx 128\text{ms}$.

Što se tiče strukture kola za održavanje kodne sinhronizacije, pogodno je koristiti petlju sa diferencijalnim kašnjenjem [16, 17]. Optimizacija parametara ove petlje je od velikog značaja za minimizaciju verovatnoće greške pri prenosu poruke [18].

Blok dijagram prijemnog dela radio-uređaja sa direktnom sekvencom kod koga se kodna sinhronizacija uspostavlja na MF je prikazan na slici 4.



Sl.4.PPS-DS prijemnik sa kodnom sinhronizacijom na MF

Sa ove slike se vidi da se prijemni deo sastoji od: ulaznog stepena, sintezatora međufrekvencije (MF), konvertora frekvencije, generatora pseudoslučajne sekvence, PPS-DS demodulatora, bloka za kodnu sinhronizaciju i konvencionalnog demodulatora.

Ova konfiguracija jeste složenija, jer sadrži dodatni nivo obrade signala: translaciju sa RF na MF. Prednost ove konfiguracije leži u tome što je na MF moguće obezbediti bolju selektivnost. Naime, u ulaznom stepenu je filter širine 6 MHz koji propušta sva tri kanala, dok je u konvertoru frekvencije na MF moguće koristiti filter širine 2 MHz, što odgovara širini jednog kanala. Kada je reč o izboru vrednosti MF, uobičajeno je da se koristi 70 MHz. Na toj frekvenciji postoje standardni filtri sa površinskim akustičkim talasom (Surface Acoustic Wave – SAW) širine 2 MHz, koji imaju veoma dobre karakteristike u pogledu strmene.

Nakon što se izvrši translacija spektra sa RF na MF, obrada signala se odvija na isti način kao u slučaju PPS-DS prijemnika sa kodnom sinhronizacijom na RF.

III. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predloženo konceptijsko rešenje UVF radio-uređaja koji koristi tehniku proširenog spektra metodom direktne sekvence, a namenjen je za zaštitu upravljačkog signala bespilotne letilice. U toku realizacije radio-uređaja pojedina tehnička rešenja će biti detaljno razrađena, što će predstavljati teme za naredne radove.

LITERATURA

- [1] R.E. Ziemer, *Fundamentals of Spread Spectrum Modulation*. Colorado Springs: Morgan & Claypool Publishers, 2007.
- [2] M.K. Simon, J. Omura, R.A. Scholtz and B. Levitt, *Spread Spectrum Communications*. Rockville: Computer Science Press, 1985.

- [3] R.E. Ziemer and R.L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum*. New York: MacMillan, 1985.
- [4] G. R. Cooper and C.D. Mc Gillem, *Modern Communications and Spread Spectrum*. New York: McGraw-Hill, 1986.
- [5] S. Golomb, *Shift Register Sequences*, San Francisco: Holden-Day, 1967.
- [6] B. M. Todorović, *Radio-uređaji za prenos u proširenom spektru*, VTI, Podaci o naoružanju, Sveska 86, 1987.
- [7] G. Marubayashi, "Recent research and development activities on spread spectrum communication systems", *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications)*, Vol. 75, Mart 2007, pp.54-61.
- [8] B.M. Todorović, M.D. Delević, O.P. Pantović i A.M. Živanović, "Realizacija i eksperimentalna analiza radio-uređaja sa prenosom u proširenom spektru tehnikom direktne sekvence", *Naučno-tehnički pregled*, Vol.XL, No.8-9, 1989, str.85-91.
- [9] Technical Note The Model Electronics Company, MTN004, Issue 1.1, 2007.
- [10] D.V. Sarwate and M.B.Pursley, "Crosscorrelation properties of pseudorandom and related sequences", *Proc. of the IEEE*, Vol. 68, May 1980, pp. 593-619.
- [11] E.W.Siess and C.L.Weber, "Acquisition of direct sequence signals with modulation and jamming", *IEEE Journal.*, Vol. SAC-4, Mart 1986, pp. 254-272.
- [12] R.B.Ward, "Acquisition of pseudonoise signals by sequential estimation", *IEEE Trans.*, Vol. COM-13, Dec. 1965, pp. 475-483.
- [13] G.F. Sage, "Serial synchronization of pseudonoise systems", *IEEE Trans.*, Vol. COM-12, Dec. 1964, pp. 123-127.
- [14] A.Polydoros and C.L.Weber, "A unified approach to serial search spread spectrum code acquisition", part I and II, *IEEE Trans.*, Vol. COM-32, May 1984, pp. 542-560.
- [15] A. Weinberg, "Generalized analysis for the evaluation of search strategies effects on PN acquisition performance", *IEEE Trans.*, Vol. COM-31, January 1983, pp. 37-49.
- [16] J.J. Spielker, Jr., "Delay-lock tracking of binary signals", *IEEE Trans.*, Vol. SET-9, March 1963, pp. 1-8.
- [17] A.Polydoros and C.L.Weber, "Analysis and optimization of correlative code-tracking loops in spread spectrum systems", *IEEE Trans.*, Vol. COM-33, January 1985, pp. 30-43.
- [18] B.M. Todorović, "The Impact of Imperfect Code Synchronization on Bit Error Rate in DS-SS Systems: Upper and Lower Bound", *Proc. of IEEE MELECON Conference*, Lisboa (Portugal), April 1989, pp.524-527.

ABSTRACT

In this paper conceptual level of radio-unit for unmanned aerial vehicle remote control is proposed. Frequency band of 432-438 MHz is used, while the signal protection is achieved by using direct sequence spread spectrum technique.

CONCEPTUAL LEVEL OF UHF SPREAD SPECTRUM RADIO-UNIT

Branislav M. Todorović, Nenad V. Popović,
Milan M. Šunjevarić