Mr Branislav Todorović,
dipl. inž.

ANALIZA UTICAJA OMETAČKIH SIGNALA NA RADIO-SISTEME ZA PRENOS U PROŠIRENOM SPEKTRU METODOM DIREKTNE SEKVENCE

Uvod

Radio-sistemi za prenos signala u proširenom spektru (PS) metodom direktne sekvence (DS) predstavljaju jednu klasu telekomunikacionih sistema koju karakterišu sledeće osobine:

— prenošeni signal u svakom trenutku zauzima znatno širi frekvencijski opseg od minimalno potrebnog da bi se prenela poruka,

— proširenje frekvencijskog opsega ostvaruje se u predajniku korišćenjem pomoćnog, pseudoslučajnog signala koji je nezavisan od poruke, a poznat je prijemniku. Ovaj pomoćni signal mora biti izražen u digitalnom obliku, pa se zbog toga naziva pseudoslučajna sekvenca.

Osnovne prednosti radio-sistema za prenos signala u PS-DS u odnosu na konvencionalne radio-sisteme su:

— povećana otpornost na ometanje;

— povećana otpornost na izviđanje i prisluškivanje;

— mogućnost rada u kodnom multipleksu.

Nedostaci ovih radio-sistema u odnosu na konvencionalne radio-sisteme su:

— relativno složena sinhronizacija,
— problem blizu-daleko.

Ovaj rad je posvećen analizi uticaja ometačkih signala na prijem signala sa PS-DS. Generalno, ometački signali mogu se podeliti na kontinualne, impulsne i repetitivne.

Kontinualni ometači neprestano emituju ometački signal, impulsni rade na principu uključivanja i isključivanja ometačkog signala, a repetitivni ometači najpre detektuju signal koji će ometati, zatim ga obrade, pojačaju, pa ponovo emituju kao ometački signal.

U ovom radu će se analizirati uticaj različitih tipova kontinualnih ometačkih signala na prijem signala sa PS-DS.

Model radio-sistema sa PS-DS

Analiza uticaja različitih tipova kontinualnih ometačkih signala na prijem radio-signala sa PS-DS biće izvršena u slučaju radio-sistema sa dvonijskom faznom modulacijom i koherentnim prijemnikom koji je prikazan na sl. 1.

Signal na ulazu PS-DS prijemnika može se prikazati sledećim izrazom:

$$r(t) = \sqrt{2S} d(t) p(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi) + n(t) + i(t), \quad (1)$$

Sl. 1 — PS—DS radio sistem sa dvonivoskom faznom modulacijom i koherentnim prijemnikom

gde je:

- S — snaga korisnog signala;
 $d(t)$ — informacioni signal $\langle \pm 1 \rangle$;
 $p(t)$ — pseudoslučajna sekvenca $\langle \pm 1 \rangle$;
 F_0 — učestanost nosioca;
 Φ — slučajna faza nosioca;
 $n(t)$ — beli Gausov šum;
 $i(t)$ — ometački signal.

Trajanje simbola informacionog signala je T_b , a trajanje simbola pseudoslučajne (PS) sekvence je T_c , pri čemu količnik $\eta = T_b/T_c$, koji se naziva faktor proširenja, zadovoljava uslov $\eta \gg 1$.

Pod pretpostavkom da je sinhronizacija PS sekvenci savršena, a imajući u vidu da je $p(t)p(t)=1$, signal na ulazu u drugi množak može se prikazati izrazom:

$$r_1(t) = \sqrt{2S} d(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi) + n(t) p(t) + i(t) p(t). \quad (2)$$

Množenjem sa $p(t)$ energija ometačkog signala je raširena preko opsega koji je najmanje jednak B_{ds} , pri čemu je $B_{ds} = 2/T_c$. Pod pretpostavkom da je sinhronizacija nosioca savršena ($\hat{F}_0 = F_0$, $\hat{\Phi} = \Phi$), signal na ulazu integratora može se opisati relacijom:

$$r_2(t) = 1/2 \sqrt{2S} d(t) [1 + \sin(4\pi F_0 t + 2\Phi)] + n(t) p(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi) + i(t) p(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi), \quad (3)$$

Pod pretpostavkom da je bitska sinhronizacija savršena, kao i da je ispunjen uslov $F_0 \gg 1/T_c \gg 1/T_b$, signal na izlazu integratora u trenutku kT_b , $k=1, 2, \dots$, može se prikazati relacijom:

$$r_3(kT_b) = 1/2 \sqrt{2S} d(t) T_b + R_n + R_i. \quad (4)$$

gde je:

$$R_n = \int_{(k-1)T_b}^{kT_b} n(t) p(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi) dt,$$

$$R_i = \int_{(k-1)T_b}^{kT_b} i(t) p(t) \sin(2\pi F_0 t + \Phi) dt. \quad (5)$$

Analiza i rezultati

Odnos signal/šum (S/N) na izlazu integratora može se opisati relacijom:

$$S/N = \frac{E^2[r_3(kT_b)]}{\text{VAR}[r_3(kT_b)]}, \quad (6)$$

gde su sa E i VAR označeni matematičko očekivanje i varijansa, respektivno.

Pod pretpostavkom da je $i(t)$ stacionaran slučajni signal nezavisan od $p(t)$ i Φ , pri čemu je njegova srednja vrednost jednaka nuli, matematičko očekivanje od $r_3(kT_b)$ je:

$$E[r_3(t)] = 1/2 \sqrt{2S} d(t) T_b. \quad (7)$$

Varijansa od $r_3(t)$ jednaka je zbiru varijansi R_n i R_i ,

$$\text{VAR}[r_3(t)] = \text{VAR}(R_n) + \text{VAR}(R_i). \quad (8)$$

Ukoliko sa N_0 označimo jednostranu spektralnu gustinu snage šuma, onda je:

$$\text{VAR}(R_n) = N_0 T_b. \quad (9)$$

Verovatnoća greške na izlazu prijemnika sa PS-DS može se odrediti na osnovu relacije:

$$P_b = Q \left[\sqrt{\frac{E_b T_b}{N_0 T_b + \text{VAR}(R_i)}} \right] \quad (10)$$

gde je sa Q označena Gausova funkcija greške definisana relacijom:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (11)$$

pri čemu je $E_b = \frac{S T_b}{2}$ energija jednog bita.

Na osnovu relacija (6), (8) i (10) možemo zaključiti da odnos S/N , odnosno verovatnoća greške, na izlazu PS-DS prijemnika direktno zavise od $\text{VAR}(R_i)$. Zbog toga ćemo u narednim razmatranjima izvršiti analizu ove veličine.

Označimo sa I snagu ometačkog signala i pretpostavimo da ovaj signal posle množenja sa $p(t)$ ima ravan spektar unutar opsega B_{ds} . Tada je spektralna snaga ometačkog signala na ulazu u drugi množač:

$$S_i(f) = \begin{cases} \frac{I}{B_{ds}}, & |f - F_i| < \frac{B_{ds}}{2} \\ 0, & \text{drugde,} \end{cases} \quad (12)$$

pri čemu je sa F_i označena centralna učestanost u spektru ometačkog signala.

Imajući to u vidu, dobijamo:

$$\text{VAR}(R_i) = K_i \frac{I}{B_{ds}} T_b, \quad (13)$$

gde je sa K_i označen koeficijent efikasnosti ometačkog signala (KEOS) koji izražava uticaj širine spektra ometačkog signala i relativnog položaja ometačkog signala u spektru PS-DS signala, na odnos S/N na izlazu PS-DS prijemnika.

Imajući u vidu da je $B_{ds} = 2/T_c$, relacija (13) postaje:

$$\text{VAR}(R_i) = K_i \frac{I}{2\eta} T_b^2. \quad (14)$$

Na osnovu relacije (14) zaključujemo da pri $T_b = \text{const}$, $\text{VAR}(R_i)$ raste sa porastom snage ometačkog signala, a opada sa porastom faktora proširenja. Drugim rečima, povećanje faktora proširenja je efikasan način borbe protiv ometačkih signala kada je I fiksno. Ukoliko I raste proporcionalno sa η , povećanje faktora proširenja nije efikasno.

Ostaje nam da analiziramo uticaj KEOS na $\text{VAR}(R_i)$. KEOS se približno može izraziti relacijom [1]:

$$K_i = \frac{1}{B_{ds}} \int_{F_i - B_{ds}/2}^{F_i + B_{ds}/2} \text{sinc}^2[(F_0 - f)T_c] df, \quad (15)$$

gde je:

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{x}. \quad (16)$$

S obzirom na to da je $\text{sinc}(x) < 1$, primećujemo da mora biti $K_i < 1$.

Pretpostavimo da je $i(t)$ oblika:

$$i(t) = \sqrt{2I} q(t) \sin(2\pi F_i t + \beta), \quad (17)$$

gde je $q(t)$ stacionarni signal jedinične snage, F_i — učestanost nosioca ometačkog signala, a β — slučajna faza.

U zavisnosti od oblika $q(t)$ razlikujemo dva slučaja.

Prvi slučaj: $i(t)$ je sinusoidalni ometački signal $q(t)=1$. Može se pokazati da je tada:

$$K_i = \text{sinc}^2 \left[\frac{2(F_i - F_o)}{B_{ds}} \right] \quad (18)$$

Kada je sinusoidalni ometački signal na centralnoj učestanosti spektra prenošenog PS-DS signala, $F_i = F_o$, imamo:

$$K_i = 1 \quad (19)$$

Drugi slučaj: $i(t)$ je pojasni ometački signal širine B_i $q(t)$ je slučajni signal širine $B_i/2$, nezavisan od $p(t)$.

Da bismo ispitali uticaj položaja pojasnog ometačkog signala i njegove širine spektra B_i na KEOS, uvedimo sledeće oznake:

$$\Delta = \frac{F_i - F_o}{B_{ds}} \text{ normalizovani frekven-}$$

cijski ofset;

$$\rho = \frac{B_i}{B_{ds}} \text{ relativna širina ometač-}$$

kog signala u odnosu na PS-DS signal.

Na slikama 2 i 3 prikazana je zavisnosti KEOS u funkciji Δ i ρ .

Sl. 2 — KEOS u funkciji normalizovanog frekvencijskog ofseta

Sl. 3 — KEOS u funkciji relativne širine ometačkog signala

Na osnovu slike 2 zaključujemo da KEOS opada sa porastom frekvencijskog ofseta centralnih frekvencija ometačkog i korisnog signala sa PS-DS, nezavisno od relativne širine ometačkog signala.

Sa slike 3 se vidi da KEOS opada sa porastom relativne širine ometačkog signala, ukoliko je $\Delta < 0,25$. Ukoliko je $\Delta > 0,25$, KEOS najpre raste, a zatim opada sa porastom ρ , pri čemu se maksimalna vrednost dobija za $\rho > 1,5$. Sa porastom Δ , maksimalna vrednost KEOS se pomera prema višim vrednostima ρ . Pri tome treba naglasiti da se maksimalna vrednost KEOS u apsolutnom iznosu dobija kada je $\Delta = 0$.

Ukoliko je prisutno M ometačkih signala, ($M > 1$), linearnost demodulacije omogućava izračunavanje ukupnog KEOS na sledeći način:

$$K_i = \frac{1}{I_{uk}} \sum_{m=1}^M K_{im} I_m \quad (20)$$

gde je I_{uk} ukupna snaga svih ometačkih signala, I_m je snaga m -tog ometačkog signala, a K_{im} — odgovarajući KEOS.

Zaključak

U ovom radu analiziran je uticaj različitih tipova kontinualnih ometač-

kih signala na prijem korisnog signala sa PS-DS. Rezultati analize pokazuju da uticaj ometačkog signala fiksne snage na izlaz PS-DS prijemnika opada:

— sa porastom faktora proširenja PS-DS sistema;

— sa porastom širine spektra ometačkog signala;

— sa udaljavanjem centralne frekvencije ometačkog signala od centralne frekvencije korisnog signala sa PS-DS.

Prema tome, sa aspekta efikasnosti PS-DS radio-sistema treba odabrati što veći faktor proširenja. Pri tome, treba imati u vidu ograničenja karakteristikama prenosnog medijuma. S druge strane, sa aspekta generisanja optimalnog ometačkog signala treba odabrati ometački signal što manje širine spektra, pri čemu njegova centralna frekvencija treba da bude što bliže centralnoj frekvenciji prenošenog signala sa PS-DS.

Literatura:

- [1] D. J., Torrieri: Principles of Military Communication Systems, Artech House, Dedham, 1981.
- [2] M. K., Simon et al: Spread Spectrum Communications, Computer Science Press, Rockville, 1985.
- [3] J. K., Holmes: Coherent Spread Spectrum Systems, John Wiley, New York, 1982.
- [4] G. R., Cooper i C. D., Mc Gillem: Modern Communications and Spread Spectrum, McGraw-Hill, New York, 1986.
- [5] S. G., Glišić: Prenos Signala sa Ekspandovanim Spektrom, UV GŠ JNA, Beograd, 1981.
- [6] B. M., Todorović: Radio-uređaj za prenos u prošinom spektru, II prerađeno i dopunjeno izdanje, VTI, Podaci o naoružanju, God. XI, Sveska 86, 1987. (Interno).
- [7] R. A., Scholtz: The Spread Spectrum Concept, IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-25, No. 8, August 1977, str. 748—755.
- [8] R. L., Pickholtz, D. L., Schilling i L. B., Milstein: Theory of Spread Spectrum Communications — Tutorial, IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-30, No. 5, May 1982, str. 855—883.
- [9] M. P., Ristenbat i J. L., Daws, Jr.: Performance Criteria for Spread Spectrum Communications, IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-25, No. 8, August 1977, str. 756—763.
- [10] P. F., Sass: Why is the Army Interested in Spread Spectrum, IEEE Communications Magazine, Vol. 21, No. 4, July 1983, str. 23—25.
- [11] E. W., Siess i C. L., Weber: Acquisition of Direct Sequence Signals with Modulation and Jamming, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-4, No. 2, March 1986, str. 254—272.
- [12] C. E., Cook: Modeling Interference Effects for Land-Mobile and Air-Mobile Communications, IEEE Trans. on Commun., Vol. COM-35, No. 2, February 1987, str. 151—165.