

ВПЛИВ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ НА ТОЧНІСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЦІЛІ

М.М. МІНЕРВІН, О.Л. КУЗНЕЦОВ

У статті надано вирази для розрахунку середньоквадратичної помилки вимірювання радіального прискорення цілі з урахуванням випадкових фазових викривлень радіоімпульсів прийнятого пачкового радіосигналу. Проведено чисельний аналіз впливу статистичних характеристик фазових флукутацій радіоімпульсів прийнятої пачки на точність оптимального вимірювання радіального прискорення цілі.

Ключові слова: радіальне прискорення, точність, пачка радіоімпульсів, фазові флукутації.

ВСТУП

Сучасні РЛС виконують завдання за призначенням в умовах впливу атмосферних неоднорідностей та земної (морської) поверхні. Зазначені фактори є причинами виникнення випадкових викривлень фазової структури радіолокаційного сигналу, які здатні суттєво знизити точність вимірювання координат цілі та їх похідних за часом [1].

У РЛС супроводження здійснюється оцінювання першої, другої, а в деяких випадках й третьої похідної дальності за часом. Тому, становить практичну користь проведення чисельного аналізу впливу статистичних характеристик фазових флукутацій прийнятого радіосигналу на точність оптимального вимірювання радіального прискорення цілі.

У роботі [2] проведено оптимізацію вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок врахування фазових флукутацій прийнятого радіолокаційного сигналу. Оцінювання ефективності запропонованої оптимізації проведено у роботі [3].

Метою статті є проведення чисельного аналізу залежності точності оптимального вимірювання радіального прискорення цілі від статистичних характеристик фазових флукутацій радіосигналу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Припускається, що фазові флукутації розподілені за нормальним законом з кореляційною матрицею виду [2, 3]

$$K = \left\| \sigma_{\varphi}^2 a^{|i-j|} \right\| \quad i, j \in 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де σ_{φ}^2 – дисперсія фазових флукутацій; a – коефіцієнт кореляції фазових флукутацій сусідніх радіоімпульсів пачки; i, j – номери радіоімпульсів пачки; n – кількість радіоімпульсів у пачці.

Середньоквадратична помилка оптимального вимірювання радіального прискорення цілі може бути оцінена згідно з виразом

$$\sigma_a = \lambda \sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}} / 4\pi, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі; $\sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}$ – середньоквадратична помилка (СКП) оптимального вимірю-

вання швидкості зміни кругової частоти пачки з урахуванням фазових флукутацій її радіоімпульсів.

Вираз для дисперсії помилки оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки [3] має вигляд

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}^2 = & \{q^2 T^4 [\sum_{k=2}^m \sum_{i=1}^{k-1} \xi_k \xi_i (k^2 - k - i^2 + i)^2 - \\ & - \frac{1}{|\Theta|} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m (-1)^k \xi_k \xi_l (k^2 - k - l^2 + l) \times \\ & \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (-1)^i \xi_i \xi_j (i^2 - i - j^2 + j) |\Theta_{k,i}| \}^{-1}, \quad (3) \end{aligned}$$

де q^2 – відношення сигнал/шум за потужністю; T – період слідування радіоімпульсів пачки; m – кількість пар радіоімпульсів симетричних відносно центру пачки; $\xi_k = \frac{Z_k}{Z_{\Sigma}}$;

$Z_k = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Y}_k(t) \dot{X}_k^*(t) dt \right|$ – модуль сигнальної частини комплексного кореляційного інтегралу для k -го радіоімпульсу; $\dot{Y}_k(t)$ – комплексна амплітуда прийнятого k -го радіоімпульсу; $\dot{X}_k^*(t)$ – комплексно спряжена амплітуда k -го опорного радіоімпульсу; $Z_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n Z_k$.

У цьому виразі $|\Theta_{k,i}|$ – мінор елемента k, i матриці Θ [2, 3], визначник якої має вигляд

$$|\Theta| = \begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,m} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де $a_{1,1} = \frac{1-a+a^2}{2\gamma(1+a)} + \xi_1 \sum_{i=2}^m \xi_i$; $a_{m,m} = \frac{1}{2\gamma(1+a)} + \xi_m \times$

$$\times \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i$$
; $a_{k,k} = \frac{1+a^2}{2\gamma(1+a)} + \xi_k (\sum_{i=1}^{k-1} \xi_i + \sum_{i=k+1}^m \xi_i)$;

$$a_{k,k+1} = a_{k+1,k} = -\frac{a}{2\gamma(1+a)} - \xi_k \xi_{k+1}; \quad a_{k,i} = a_{i,k} = -\xi_k \xi_i,$$

$\gamma = q^2 \sigma_{\varphi}^2 (1-a)$ – параметр, який дозволяє врахувати спільний вплив внутрішніх шумів і корельованих фазових флукутацій.

На рис. 1 і 2 наведено графіки залежності квадрата добутку $(\sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}} \tau_c^2)^2$ СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки $\sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}$ і квадрата тривалості пачки з шести радіоімпульсів τ_c^2 від дисперсії фазових флуктуацій σ_φ^2 .

На рис. 1 наведено криву, що позначена літерою «а», відповідає пачці з рівномірним розподілом амплітуд радіоімпульсів, а крива, що позначена літерою «б», — пачці з розподілом амплітуд радіоімпульсів, який спадає від центру до її країв за законом $\xi_k/\xi_1 = 1 - (k-1)/m$ ($k=1,2,\dots,m$). Відношення сигнал/шум за потужністю приймається рівним $q^2 = 600$, а коефіцієнт кореляції фазових флуктуацій між крайніми радіоімпульсами пачки — $a_c = 0,5$.

На рис. 2 наведено аналогічні графіки для пачки з шести радіоімпульсів з рівномірним розподілом амплітуд при різних значеннях коефіцієнта кореляції фазових флуктуацій a_c .

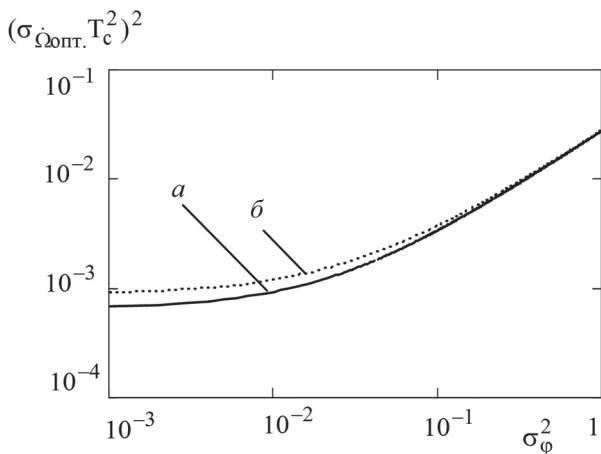


Рис. 1. Вплив статистичних характеристик фазових флуктуацій на СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки в залежності від амплітудного розподілу її радіоімпульсів

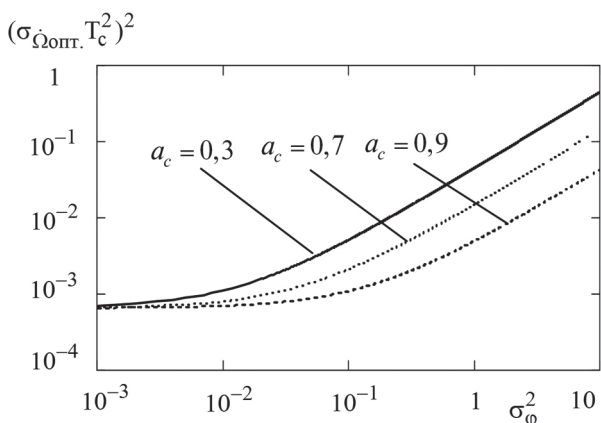


Рис. 2. Вплив статистичних характеристик фазових флуктуацій на СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки при рівномірному амплітудному розподілі її радіоімпульсів

З наведених графіків видно, що величина СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки радіоімпульсів зростає зі

збільшенням дисперсії та зменшенням коефіцієнта кореляції фазових флуктуацій.

В області малих значень дисперсії фазових флуктуацій на величину СКП оптимального вимірювання радіального прискорення цілі переважний вплив здійснює співвідношення амплітуд пар симетричних радіоімпульсів пачки (рис. 1) і майже не впливають статистичні характеристики фазових флуктуацій (рис. 2).

В області великих значень дисперсії фазових флуктуацій СКП оптимального вимірювання радіального прискорення цілі переважно визначається статистичними характеристиками фазових флуктуацій. При $\sigma_\varphi^2 > 0,1$ дана залежність наближується до лінійної та збільшується внесок зниження кореляції фазових флуктуацій в збільшення СКП вимірювання радіального прискорення цілі.

Проведений аналіз дозволяє визначити умови, за яких урахування фазових флуктуацій радіолокаційного сигналу під час вимірювання радіального прискорення цілі, є доцільним.

ВИСНОВКИ

Отримані результати дозволяють визначити умови застосування алгоритму оптимального вимірювання радіального прискорення цілі [2] для конкретних зразків сучасних радіолокаційних станцій та отримувати відповідні оцінки показників якості вимірювання.

Література

- [1] Радиоэлектронные системы. — Основы построения и теория./ под. ред. Я.Д. Ширмана. — М: З.А.О. «МАКВИС»,1998. — 828 с.
- [2] Оптимізація вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок врахування фазових флуктуацій прийнятого радіолокаційного сигналу / О.Л. Кузнецов // Системи управління навігації та зв'язку. — К.: ЦНДІ навігації і управління, 2009. — Вип. 3 (11). — С. 53–55.
- [3] Підвищення точності вимірювання радіального прискорення цілі при врахуванні фазових флуктуацій радіолокаційного сигналу / О.Л. Кузнецов, М.М. Мінервін, В.А. Таршин, М.М. Петрушенко // Системи управління навігації та зв'язку. — К.: ЦНДІ навігації і управління, 2009. — Вип. 4 (12). — С. 39–41.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

Мінервін Микола Миколайович, фото та відомості про автора див. на стор. 486.

Кузнецов Олександр Леонідович, фото та відомості про автора див. на стор. 505.

УДК 621.391.26

Влияние статистических характеристик фазовых флуктуаций радиолокационного сигнала на точность оптимального измерения радиального ускорения цели/ Н.Н. Минервин, А.Л. Кузнецов // Прикладная радиоэлектроника: науч.-техн. журнал. — 2013. — Том 12. — № 4. — С. 524–526.

В статье представлены выражения для расчета среднеквадратической ошибки измерения радиального ускорения цели при учете случайных фазовых искажений радиоимпульсов пачечного радиосигнала. Проведен численный анализ влияния статистических характеристик фазовых флуктуаций радиоимпульсов принятой пачки на точность оптимального измерения радиального ускорения цели.

Ключевые слова: радиальное ускорение, точность, пачка радиоимпульсов, фазовые флуктуации.

Ил.: 2. Библиогр.: 3 назв.

UDC 621.391.26

Influence of phase fluctuations statistical characteristics of radar signal on the optimal measurement accuracy of target radial acceleration / N.N. Minervin, A.L. Kuznetsov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2013. — Vol. 12. — № 4. — P. 524–526.

Expressions for computing a RMS error of measuring target radial acceleration are given for the cases when random phase distortions of radio pulses within the train radio signal are accounted for. A numerical analysis of the influence of statistical characteristics of phase fluctuations of the said received train radio pulses on the optimum measurement accuracy of the target radial acceleration is done.

Keywords: radial acceleration, accuracy, radio pulse train, phase fluctuations.

Fig.: 2. Ref.: 3 items.