

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЦІЛІ З УРАХУВАННЯМ ФАЗОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

М.М. МІНЕРВІН, О.Л. КУЗНЕЦОВ

У статті наведено вирази для розрахунку середньоквадратичної помилки вимірювання радіального прискорення цілі при впливі випадкових фазових викривлень радіоімпульсів пачкового радіосигналу та з урахуванням цього впливу. Оцінено ефективність алгоритму оптимального вимірювання радіального прискорення цілі, що враховує фазові флуктуації радіоімпульсів прийнятої пачки.

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

ВСТУП

Підвищення точності вимірювання радіального прискорення цілі в РЛС з когерентно-імпульсним випромінюванням є актуальною радіолокаційною задачею. Атмосферні неоднорідності та умови відбиття радіосигналу є причиною виникнення його фазових флуктуацій, які здатні суттєво знизити якість обробки радіолокаційної інформації.

У роботі [1] наведено вирази для середньоквадратичної помилки вимірювання швидкості зміни частоти прийнятої пачки, обумовленої фазовими флуктуаціями її радіоімпульсів та показано необхідність урахування цих флуктуацій під час вимірювання радіального прискорення цілі. У роботі [2] проведено відповідну оптимізацію вимірювання радіального прискорення цілі.

Метою статті є оцінювання ефективності оптимізації вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок урахування фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятого пачкового радіосигналу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Радіальне прискорення цілі \hat{a}_r можна оцінити згідно з виразом

$$\hat{a}_r = \lambda \hat{\Omega} / 4\pi, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі; $\hat{\Omega} = 2\pi \hat{F}_d$; \hat{F}_d – оцінка швидкості зміни доплерівського зсуву частоти радіосигналу.

Для оцінки потенційних можливостей підвищення точності радіолокаційного вимірювання радіального прискорення цілі доцільно скористатися відношенням виду

$$B_{\Omega} = \sigma_{\Omega}^2 / \sigma_{\Omega_{\text{опт}}}^2, \quad (2)$$

де σ_{Ω}^2 – дисперсія помилки вимірювання швидкості зміни частоти пачки за відсутності врахування фазових флуктуацій її радіоімпульсів; $\sigma_{\Omega_{\text{опт}}}^2$ – дисперсія помилки оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки з урахуванням фазових флуктуацій її радіоімпульсів.

Припускається, що фазові флуктуації розподілені за нормальним законом з кореляційною матрицею виду

$$K = \|\sigma_{\phi}^2 a^{i-j}\| \quad i, j \in 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де σ_{ϕ}^2 і a – дисперсія і коефіцієнт міжімпульсної кореляції фазових флуктуацій відповідно; i, j – номери імпульсів пачки; n – кількість імпульсів у пачці.

Таким чином, при $a > 0$ зі збільшенням інтервалу між імпульсами пачки кореляція спадає монотонно, а при $a < 0$ – зі зміною знаку.

Помилка вимірювання швидкості зміни частоти радіосигналу обумовлена двома незалежними причинами: власними шумами приймального пристрою і фазовими флуктуаціями радіосигналу [3]. Тому, дисперсія помилки вимірювання швидкості зміни частоти радіосигналу визначається сумою дисперсій шумової складової помилки $\sigma_{\text{ш}}^2$ та дисперсії помилки $\sigma_{\text{фл}}^2$, яка викликана фазовими флуктуаціями радіоімпульсів пачки

$$\sigma_{\Omega}^2 = \sigma_{\text{ш}}^2 + \sigma_{\text{фл}}^2. \quad (4)$$

Відповідно до виразів, наведених у роботі [1], можна показати, що дисперсія помилки вимірювання швидкості зміни частоти прямокутної пачки радіоімпульсів σ_{Ω}^2 за відсутності врахування фазових флуктуацій має вигляд

$$\sigma_{\Omega}^2 = \frac{180}{q^2 T^4 (4m^2 - 1)(m^2 - 1)} + \frac{4050 \sigma_{\phi}^2}{m^2 T^4 (4m^2 - 1)^2 (m^2 - 1)^2} \times \\ \times \left[\sum_{k=1}^m \left(k^2 - k - \frac{1}{3}(m^2 - 1) \right)^2 (1 + a^{(2k-1)}) + 2 \sum_{k=1}^{m-1} a^k \times \right. \\ \left. \times \sum_{i=1}^{m-k} \left(k^2 - k - \frac{1}{3}(m^2 - 1) \right) ((k+i)^2 - (k+i) - \right. \\ \left. - \frac{1}{3}(m^2 - 1)) (1 + a^{(2k-1)}) \right]. \quad (5)$$

де q^2 – відношення сигнал/шум за потужністю; T – період слідування радіоімпульсів пачки; m – кількість пар радіоімпульсів симетричних відносно центру пачки; k і i – номери пар симетричних радіоімпульсів.

Дисперсія помилки оптимального вимірювання швидкості зміни частоти може бути знайдена згідно з виразом

$$1/\sigma_{\Omega_{\text{опт}}}^2 = -\partial^2 \bar{\ell}(\Omega) / \partial \Omega^2 \quad \text{при} \quad \hat{\Omega} = \hat{\Omega}, \quad (6)$$

де $\partial^2 \bar{\ell}(\dot{\Omega}) / \partial \dot{\Omega}^2$ – друга похідна відношення правдоподібності, усередненого за флукуаційними складовими фаз імпульсів прийнятої пачки, вираз для якого отримано у роботі [2].

Вираз для дисперсії помилки оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки, отриманий згідно з (6), має вигляд

$$\sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}^2 = \{q^2 T^4 [\sum_{k=2}^m \sum_{i=1}^{k-1} \xi_k \xi_i (k^2 - k - i^2 + i)^2 - \frac{1}{|\Theta|} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^m (-1)^k \xi_k \xi_i (k^2 - k - i^2 + i) \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (-1)^i \xi_i \xi_j (i^2 - i - j^2 + j) |\Theta_{k,i}| \}^{-1}, \quad (7)$$

де $\xi_k = \frac{Z_k}{Z_{\Sigma}}$; $Z_k = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Y}_k(t) \dot{X}_k^*(t) dt \right|$ – 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 , яка має вигляд

$$|\Delta| = \begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,m} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

де

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

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

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

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

$a_{k,i} = a_{i,k} = -\xi_k \xi_i$; $\gamma = q^2 \sigma_{\phi}^2 (1-a)$ – параметр, який дозволяє врахувати спільний вплив внутрішніх шумів і корельованих фазових флукуацій.

На рис. 1 наведено графіки залежності $B_{\dot{\Omega}}$ від коефіцієнта міжімпульсної кореляції фазових флукуацій для пачки з шести радіоімпульсів при монотонній (рис. 1, а) та знакозмінній (рис. 1, б) кореляційних функціях фазових флукуацій, дисперсія яких складає $\sigma_{\phi}^2 = 1$.

З графіків видно, що за рахунок урахування фазових флукуацій, які описуються монотонною кореляційною функцією, точність вимірювання радіального прискорення цілі може бути підвищена лише на одиниці відсотків.

З урахуванням фазових флукуацій, які описуються знакозмінною кореляційною функцією, вказане підвищення може складати до дев'яносто відсотків.

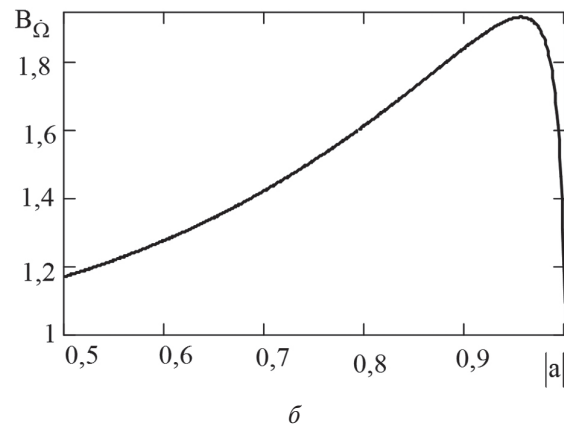
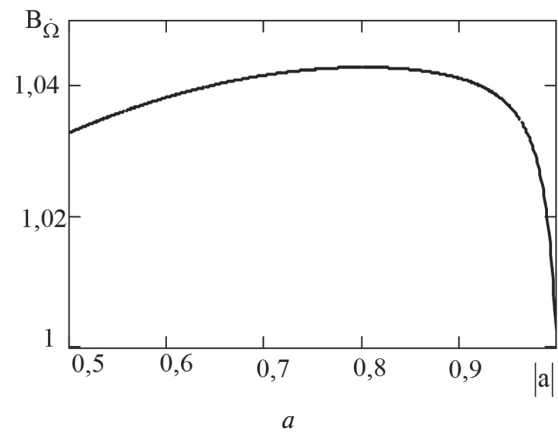


Рис. 1. Підвищення точності вимірювання радіального прискорення цілі

ВИСНОВКИ

Таким чином, підвищення точності вимірювання радіального прискорення цілі може складати від одиниць до десятків відсотків у залежності від закону зміни кореляції фазових флукуацій радіоімпульсів прийнятої пачки. Отримані результати можуть бути практично використані для підвищення якості траєкторної обробки радіолокаційної інформації в сучасних РЛС.

Литература

- [1] Ошибки измерения радиальной скорости и радиального ускорения цели, обусловленные неучетом флукуацій фаз импульсов пачки / Н.Н. Минервин, А.Л. Кузнецов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: ХАІ, 2001. – Вип. 22. – С. 288–294.
- [2] Оптимізація вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок врахування фазових флукуацій 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] *Радиоэлектронные системы. – Основы построения и теория.* / под. ред. Я.Д. Ширмана. – М.: З. А.О. «МАКВИС». – 1998. – 828 с.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

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

Повышение точности измерения радиального ускорения цели при учете фазовых флуктуаций радиолокационного сигнала / Н.Н. Минервин, А.Л. Кузнецов // Прикладная радиоэлектроника: науч.-техн. журнал. – 2013. – Том 12. – № 4. – С. 521–523.

В статье представлены выражения для расчета среднеквадратической ошибки измерения радиального ускорения цели при наличии случайных фазовых искажений радиоимпульсов пачечного радиосигнала и при учете этих искажений. Оценена эффективность алгоритма оптимального измерения радиального ускорения цели, учитывающего фазовые флуктуации радиоимпульсов принятой пачки.

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

Ил.: 1. Библиогр.: 3 назв.

UDC 621.391.26

Improving accuracy of measuring target radial acceleration when accounting for phase fluctuations of radar signal / N.N. Minervin, A.L. Kuznetsov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2013. – Vol. 12. – № 4. – P. 521–523.

Expressions for computing a RMS error of measuring target radial acceleration are given for the cases when radio pulses within a train radio signal are distorted by random phase noise and when such distortions are accounted for. The efficiency of the algorithm for optimal measurement of target radial acceleration that takes into account the random phase fluctuations of the received train radio pulses is estimated.

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

Fig.: 1. Ref.: 3 items.