

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.96

О.Г. Болотний, к.т.н., доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

Ю.В. Журавський, курсовий офіцер

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки імені С.П. Корольова

ДОДАТКОВІ ПОХИБКИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕКУРЕНТНОГО АЛГОРИТМУ ФІЛЬТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ НЕЗБУРЕНОЇ ПОЛІНОМІАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ВНАСЛІДОК НЕРІВНОДИСКРЕТНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Розглянуто причини виникнення, методику розрахунку та кінцеві вирази для додаткових похибок рекурентного алгоритму фільтрації параметрів незбуреної поліноміальної траєкторії.

У рекурентному алгоритмі фільтрації параметрів незбуреної поліноміальної траєкторії, вимірювання параметрів передбачаються рівнодискретними з періодом T_0 [1]. Але на практиці (в РЛС послідовного та паралельно-послідовного огляду) вимірювання ніколи не будуть рівнодискретними внаслідок руху цілі у площині сканування. І нехай ця зміна періоду вимірювань ΔT_0 буде відносно невеликою, але всезростаючі вимоги до точності радіотехнічних систем зобов'язують враховувати ці додаткові похибки при оцінюванні параметрів траєкторії.

Розглянемо найбільш простий випадок – РЛС з паралельно-послідовним оглядом (в кутомістній площині ширина діаграми спрямованості дорівнює висоті зони огляду). Таким чином, сканування діаграми спрямованості відбувається тільки в азимутальній площині:

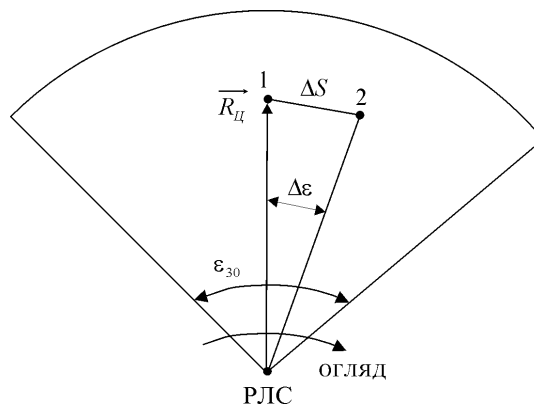


Рис. 1

І якщо ціль в одному з циклів огляду знаходилась у точці 1 (рис. 1) із радіусом-вектором у системі координат РЛС $\vec{R}_{ц}$, то внаслідок руху цілі на наступному циклі огляду вона вже буде знаходитись в точці 2, змістившись в азимутальній площині на кут $\Delta\epsilon$ (рис. 1). При постійній кутовій швидкості огляду $\dot{\epsilon}_{Обз}$ вимірювання в точці 2 буде проведено не через період огляду T_0 , як це передбачалось раніше, а через $T_0 + \Delta T_0$, де $\Delta T_0 = f(\Delta\epsilon)$.

Максимальна зміна періоду вимірювань $\Delta T_{0МАКС}$ буде у тому випадку, коли ціль рухається з максимальною швидкістю по нормалі до діаграми спрямованості. При чому, ця зміна періоду вимірювань буде також залежати від відстані до цілі $R_{ц}$. Максимальне лінійне переміщення таке:

$$\Delta S_{МАКС} = V_{МАКС} \cdot T_0, \tag{1}$$

де $V_{МАКС}$ – максимальна швидкість цілі, м/с.

Лінійне переміщення приводить до зміни кутового положення цілі в азимутальній площині $\Delta\epsilon_{МАКС}$:

$$\Delta\epsilon_{МАКС} = \arcsin\left(\frac{V_{МАКС} \cdot T_0}{R_{ц}}\right). \tag{2}$$

Щоб перевести дане кутове переміщення цілі в азимутальній площині у зміну періоду вимірювань необхідно розділити вираз (2) на кутову швидкість сканування в азимутальній площині $\dot{\epsilon}_{Обз}$:

$$\Delta T_{O_{МАКС}} = \frac{1}{\dot{\varepsilon}_{ОБЗ}} \arcsin\left(\frac{V_{МАКС} \cdot T_O}{R_{Ц}}\right) \quad (3)$$

або

$$\Delta T_{O_{МАКС}} = \frac{T_O}{\varepsilon_{30}} \arcsin\left(\frac{V_{МАКС} \cdot T_O}{R_{Ц}}\right), \quad (4)$$

де ε_{30} – зона огляду за азимутом, град.

Вирази (3) і (4) дають змогу вирахувати максимальну зміну періоду вимірювань. На кожному вимірюванні реальне значення зміни періоду вимірювань ΔT_O можна вирахувати і компенсувати, використовуючи оцінку параметрів (похідних азимутальної координати, починаючи з першої) попереднього вимірювання:

$$\Delta T_O = \frac{T_O}{\varepsilon_{30}} \sum_{a=1}^S \mathcal{E}_{n-1}^{(a)} \frac{T_O^a}{a!}, \quad (5)$$

де S – степінь поліноміальної функції, яка визначається прийнятою гіпотезою руху цілі;

$\mathcal{E}_{n-1}^{(a)}$ – похідна азимутальної координати a -порядку на $n - 1$ вимірюванні.

Таким чином, задавши гіпотезою руху цілі (визначивши степінь поліному S), вираз (5) надає можливість вирахувати зміну періоду вимірювань на n -ому вимірюванні за результатами оцінок деяких параметрів, що отримані на $n - 1$ вимірюванні.

На прикладі рекурентного алгоритму фільтрації незбуреної лінійної траєкторії виведемо вираз для додаткових похибок оцінювання параметрів:

$$\Delta \hat{V}_n = \left\| \begin{matrix} \hat{X}_n[T_O + \Delta T_O] - \hat{X}_n[T_O] \\ \hat{X}'_n[T_O + \Delta T_O] - \hat{X}'_n[T_O] \end{matrix} \right\|, \quad (6)$$

де $\Delta \hat{V}_n$ – вектор додаткових похибок оцінювання параметрів на n -ому вимірюванні; $\hat{X}_n[T_O + \Delta T_O]$ – оцінка координати на n -ому вимірюванні за умови нерівнодискретності вимірювань; $\hat{X}_n[T_O]$ – оцінка координати на n -ому вимірюванні за умови рівнодискретності вимірювань; $\hat{X}'_n[T_O + \Delta T_O]$ – оцінка швидкості зміни координати на n -ому вимірюванні за умови нерівнодискретності вимірювань; $\hat{X}'_n[T_O]$ – оцінка швидкості зміни координати на n -ому вимірюванні за умови рівнодискретності вимірювань.

Згідно з [2], додаткові похибки екстраполяції дорівнюють:

$$\begin{aligned} \Delta \hat{V}_{\mathcal{E}n} &= \left\| \begin{matrix} \hat{X}_{\mathcal{E}n}[T_O + \Delta T_O] - \hat{X}_{\mathcal{E}n}[T_O] \\ \hat{X}'_{\mathcal{E}n}[T_O + \Delta T_O] - \hat{X}'_{\mathcal{E}n}[T_O] \end{matrix} \right\| = \\ &= \left\| \begin{matrix} \hat{X}_{n-1} + \hat{X}_{n-1}(T_O + \Delta T_O) - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1}T_O \\ \hat{X}'_{n-1} - \hat{X}'_{n-1} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} \hat{X}_{n-1} \Delta T_O \\ 0 \end{matrix} \right\|. \end{aligned} \quad (7)$$

Вирахувавши за результатами $n - 1$ -го вимірювання додаткову похибку екстраполяції (7), її можна врахувати при екстраполяції на n -не вимірювання і усунути додаткову похибку екстраполяції $\Delta \hat{V}_{\mathcal{E}n}$.

Але це все одно не дасть змоги виключити додаткові похибки далі при оцінюванні параметрів.

Підставляючи вирази для розрахунків оцінок параметрів лінійної траєкторії [1], маємо:

$$\hat{X}_n = \hat{X}_{\mathcal{E}n} + A_n (X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{\mathcal{E}n}); \quad (8)$$

$$\hat{X}'_n = \hat{X}'_{n-1} + \frac{B_n}{T_O} (X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{\mathcal{E}n}) \quad (9)$$

та вираз (7) у вираз (6), отримаємо вираз для визначення додаткової похибки оцінювання координати $\Delta \hat{X}_n$ на n -ому вимірюванні:

$$\begin{aligned} \Delta \hat{X}_n &= \hat{X}_{n-1} + \hat{X}'_{n-1}(T_O + \Delta T_O) + A_n (X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}'_{n-1}(T_O + \Delta T_O)) - \\ &- \hat{X}_{n-1} - \hat{X}'_{n-1}T_O - A_n (X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}'_{n-1}T_O) = \hat{X}'_{n-1} \Delta T_O (1 - A_n). \end{aligned} \quad (10)$$

Аналогічно для додаткової похибки оцінювання швидкості зміни координати $\Delta \hat{X}'_n$ на n -ому вимірюванні:

$$\begin{aligned} \Delta \hat{X}_n &= \hat{X}_{n-1} + \frac{B_n}{T_O + \Delta T_O} \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1}(T_O + \Delta T_O) \right) - \hat{X}_{n-1} - \\ &- \frac{B_n}{T_O} \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1} T_O \right) = \frac{B_n}{T_O + \Delta T_O} \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1}(T_O + T_O) \right) - \\ &- \frac{B_n}{T_O} \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1} T_O \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Підставляючи в (5) параметри для лінійної траєкторії ($S = 1$), отримуємо:

$$\Delta T_O = \frac{T_O}{\varepsilon_{30}} \cdot \hat{\varepsilon}_{n-1} T_O = \frac{T_O^2 \hat{\varepsilon}_{n-1}}{\varepsilon_{30}}. \quad (12)$$

Підставляючи (12) в (10) і (11), отримуємо остаточні вирази:

$$\Delta \hat{X}_n = \frac{T_O^2 \hat{\varepsilon}_{n-1}}{\varepsilon_{30}} \hat{X}_{n-1} (1 - A_n); \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta \hat{X}_n &= \frac{B_n}{T_O + \frac{T_O^2 \hat{\varepsilon}_{n-1}}{\varepsilon_{30}}} \cdot \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1} \left(T_O + \frac{T_O^2 \hat{\varepsilon}_{n-1}}{\varepsilon_{30}} \right) \right) - \\ &- \frac{B_n}{T_O} \left(X_{n_{ИЗМ}} - \hat{X}_{n-1} - \hat{X}_{n-1} T_O \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Висновки

1. Додаткові похибки не можна розрахувати заздалегідь, внаслідок рекурентності алгоритму і входження до остаточних виразів результатів n -го або $n - 1$ -го вимірювання.
2. Додаткова похибка оцінювання координати збільшиться зі збільшенням кількості вимірювань (13) і її можна вирахувати після попереднього ($n - 1$ -го) вимірювання.
3. Додаткову похибку оцінювання швидкості зміни координати можна вирахувати тільки після вимірювання параметрів (на n -ому вимірюванні).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 429 с.

БОЛОТНИЙ Олександр Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- обробка сигналів і зображень;
- мікропроцесорні системи;
- радіолокаційна інфрачервона та лазерна техніка.

ЖУРАВСЬКИЙ Юрій Володимирович – курсовий офіцер Житомирського військового інституту радіоелектроніки імені С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- обробка радіолокаційної інформації;
- психологія та педагогіка.

Подано 18.05.2001