

# Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, електроніка

УДК 623.462.22: 621.371.332.4

М.В. Бархударян, К.К. Кулагін, О.М. Мішуков, Б.О. Чумак

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЮВАЧІВ КООРДИНАТ ЛІТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розроблені оптимальні за методом мінімуму найменших квадратів структури обчислювачів координат літальних об'єктів. Зокрема, розроблена структура обчислювача для трьохпараметричної радіотехнічної системи. Визначена точність оцінок координат на виході обчислювача.

**Ключові слова:** мінімуму найменших квадратів, обчислювач, параметри траєкторії.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При проведенні навчань з бойовою стрільбою досить важливим є факт якнайточнішого визначення положення літального об'єкту в кожний момент реального часу. Дану задачу можна вирішити, якщо оптимізувати обчислення вимірюваних параметрів руху.

Якщо на структуру та алгоритми власне обчислювача координат об'єкту в наземній радіотехнічній системі (РТС) полігонного вимірювально-обчислювального комплексу (ПВОК) не накладаються попередньо ніякі обмеження, то задачу щодо оптимізації обчислень за методом мінімуму найменших квадратів можна сформулювати наступним чином.

### Основний матеріал

Нехай сукупність вимірюваних параметрів траєкторії уявляє собою безперервну вектор-функцію  $\hat{R}(t)$ . Тоді в якості оптимального можна вважати обчислювач, що мінімізує зважену суму квадратів різниці вимірюваних РТС ПВОК та вимірюваних засобами стріляючих підрозділів  $\tilde{R}(\lambda, t)$  значень параметрів траєкторії, що спостерігається, а саме:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^k G^{(ij)} \left[ \hat{R}^{(i)}(t) - \tilde{R}^{(i)}(\lambda, t) \right] \times \left[ \hat{R}^{(j)}(t) - \tilde{R}^{(j)}(\lambda, t) \right], \quad (1)$$

або у векторно-матричному запису:

$$\bar{J} = \frac{1}{2} \left[ \hat{R}(t) - \tilde{R}(\lambda, t) \right]^T \underline{G} \left[ \hat{R}(t) - \tilde{R}(\lambda, t) \right], \quad (2)$$

де  $\underline{G}$  – додатно визначена симетрична матриця, компоненти якої задані ваговими коефіцієнтами.

Обчислення похідної виразу (2) для отримання оптимального значення оцінки  $\hat{\lambda}$  приводить до трансцендентного рівняння, яке вирішується ітераційним

методом. При цьому оптимальна оцінка отримується:

$$\bar{\lambda}_{k(m+1)} = \bar{\lambda}_{k(m)} + \underline{k}_m \bar{V}_m, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

де  $m$  – номер ітераційного циклу на момент часу  $t_m$ ;  $\bar{\lambda}_{k(m)}$  – оцінка вектору координат об'єкту;  $\bar{V}_m$  – поправки для розрахунків вектору координат об'єкту;  $\underline{k}_m$  – матриця вагових коефіцієнтів.

Зокрема, для методу найшвидшого спуску (градієнтного):

$$\bar{V}_m = - \left. \frac{\partial \bar{J}}{\partial \bar{\lambda}} \right|_{\bar{\lambda}=\bar{\lambda}_m}. \quad (4)$$

При цьому маємо

$$\bar{\lambda}_{k(m+1)} = \bar{\lambda}_{k(m)} + \underline{k}_m \frac{\partial \bar{R}^T(\bar{\lambda}_m)}{\partial \bar{\lambda}_m} \underline{G} \left[ \bar{R}_m - \tilde{R}(\bar{\lambda}_m) \right], \quad (5)$$

Якщо перейти до безперервного часу, то отримаємо вираз:

$$\frac{\partial \hat{\lambda}}{\partial t} = K(t) \frac{\partial \bar{R}(t)}{\partial \hat{\lambda}(t)} \underline{G} \left[ \bar{R}(t) - \tilde{R}(\hat{\lambda}) \right], \quad \lambda_0, \quad (6)$$

де  $\lambda_0$  – початкове наближення оцінки.

Структура обчислювача відповідно виразу 6 наведена на рис. 1.

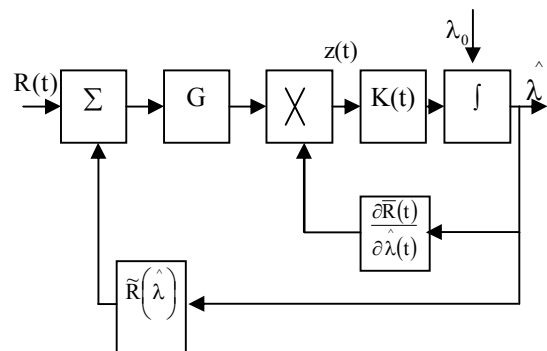


Рис. 1. Структура обчислювача

Обчислювач, що розглядається уявляє собою замкнену автоматичну систему. При цьому сигнал

$$z(t) = \frac{\partial \bar{R}(t)}{\partial \lambda(t)} G \left[ \bar{R}(t) - \hat{R}(\lambda) \right], \quad (7)$$

можна розглядати як вихідний сигнал безінерційного дискримінатору.

$$z^{(q)}(t) = \sum_{i,l=1}^M G^{(i,l)} \left[ \frac{D(t) - D(t - \Delta t)}{\Delta t} - \frac{\tilde{D}(t) - \tilde{D}(t - \Delta t)}{\Delta t} \right] \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[ \dot{D}(t) - \tilde{\dot{D}}(t - \Delta t) \right], \quad (8)$$

де  $\Delta t$  – дискрет вимірювання далькості (стала інтегрування в каналі далькості РТС).

Як бачимо, для визначення сигналу дискримінатору необхідно мати оціночні значення радіальної швидкості об'єкту. Скористуємось кінцевими різницями при  $\Delta t \rightarrow 0$ . При цьому одержимо:

$$R(t) = \frac{D(t) - D(t - \Delta t)}{\Delta t}; \quad (9)$$

$$\tilde{D}(\lambda, t) = \dot{D}(\lambda, t - \Delta t) + \ddot{D}(\lambda, t - \Delta t) \cdot \Delta t; \quad (10)$$

$$\ddot{D}(\lambda, t - \Delta t) = \frac{\dot{D}(\lambda, t) - \dot{D}(\lambda, t - \Delta t)}{\Delta t}; \quad (11)$$

$$\tilde{\lambda}(t) = \lambda(t - \Delta t) + \dot{\lambda}(t - \Delta t) \cdot \Delta t; \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}(t) = \frac{\lambda(t) - \lambda(t - \Delta t)}{\Delta t}. \quad (13)$$

З урахуванням виразу (3) узагальнена структура обчислювача оцінок похідних від далекомірних

Уточнимо структуру такого обчислювача в умовах формування оцінок параметрів руху об'єктів за допомогою вимірювальних засобів ПВОК. Як відзначено, в основному в якості таких засобів застосовуються трьохпараметричні РТС, які вимірюють похилу далькість та кутові координати. При цьому вираз (7) для визначення похідних від далекомірних вимірювань можна записати в такому вигляді:

$$\Sigma_{\tilde{\lambda}_{k(m)}}^{-1} = C_k^{-1} N_{k\Sigma} C_k^{-1T}, \quad (14)$$

вимірювань буде мати вид, наведений на рис. 2, де ЛЗ – лінія затримки;  $\Sigma$  – суматор. Точність оцінок, одержаних згідно (3) визначається з виразу [2]:

де  $N_{k\Sigma}$  – матриця сумарних похибок вимірювальних РТС, у тому числі траекторних, геодезичних та за рахунок засобів єдиного часу.

При цьому, оскільки зменшуються похибки  $N_{k\Sigma}$ , то і загальні похибки, тобто складові матриці  $\Sigma_{\tilde{\lambda}_{k(m)}}^{-1}$  будуть також зменшуватись.

Особливістю побудови визначеної структури є той факт, що її можна застосовувати для забезпечення високої точності існуючих вимірювальних засобів ПВОК в реальному масштабі часу при їх застосуванні в ході проведення навчань з бойовою стрільбою та/або випробувань нової техніки.

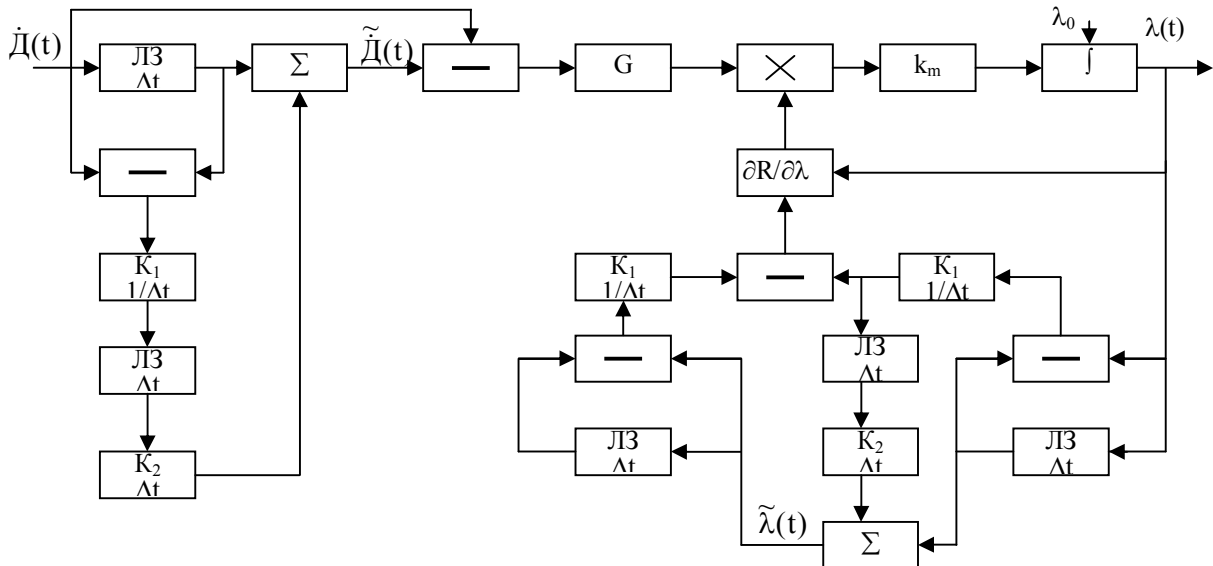


Рис. 2. Обчислювач оцінок похідних від далекомірних вимірювань

### Список літератури

1. Фалькович С.Е. Статистическая теория измерительных радиосистем / С.Е. Фалькович, Э.Н. Хомяков. – М.: Р и С, 1981. – 288 с.
2. Перспективний метод обробки вимірювальної інформації при полігонних випробуваннях / М.В. Бархударян,

К.К. Кулагін, О.М. Мішуков, Б.О. Чумак // Системи озброєння і військова техніка. Х.: ХУПС. – 2011. – № 2(26). – С. 15-18.

Надійшла до редколегії 14.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.В. Бархударян, К.К. Кулагин, А.М. Мишуков, Б.А. Чумак

*Разработаны оптимальные по методу минимума наименьших квадратов структуры вычислителей координат летательных объектов. В частности, разработана структура вычислителя для трехпараметрической радиотехнической системы. Определена точность оценок координат на выходе вычислителя.*

**Ключевые слова:** минимум наименьших квадратов, вычислитель, параметры траектории.

### OPTIMIZATION OF CALCULATORS OF CO-ORDINATES OF FLYING OBJECTS

N.V. Burkhudaryan, K.R. Kulagin, O.M. Mishukov, B.O Chumak

*The optimum are developed on the method of a minimum of leastsquares of structure of calculators of co-ordinates of flying objects. In particular, the structure of calculator is developed for the three-self-reactance radio engineering system. Exactness of estimations of co-ordinates is certain on the output of calculator.*

**Keywords:** a minimum of the least squares, calculator, parameters of trajectory.