

УСТРАНЕНИЕ РАСХОДИМОСТИ РАСШИРЕННОГО КАЛМАНОВСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ ПО ДАННЫМ ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКОЙ РЛС

Неуймин А.С., аспирант; Жук С.Я., д.т.н. профессор
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Для повышения эффективности обнаружения целей, замаскированными мешающими отражениями от поверхности земли, широкое применение находят импульсно-доплеровские РЛС (ИД РЛС), в которых кроме пространственных координат цели (дальность, азимут, угол места), также измеряется и радиальная скорость. Для сопровождения целей по данным ИД РЛС в декартовой системе координат используется расширенный фильтр Калмана, который часто является расходящимся, что обусловлено нелинейным характером уравнения измерения ИД РЛС. Поэтому актуальной является задача устранения расходимости расширенного фильтра Калмана.

Модель движения цели и уравнение измерения ИД РЛС в декартовой системе координат имеют вид [1]

$$u_k = F_{k,k-1}u_{k-1} + G_k\omega_k ; \quad (1)$$

$$u_k^u = h_k(u_k) + \mathcal{G}_k ; \quad (2)$$

где $u_k = (x_k, \dot{x}_k, y_k, \dot{y}_k, z_k, \dot{z}_k)^T$ - вектор состояния, включающий параметры движения цели; ω_k - некоррелированный гауссовский шум возбуждения с корреляционной матрицей Q_k ; \mathcal{G}_k - векторная гауссовская ошибка измерения с корреляционной матрицей R_k ; $h_k(u_k) = (x_k, y_k, z_k, x_k\dot{x}_k + y_k\dot{y}_k + z_k\dot{z}_k) / \sqrt{x_k^2 + y_k^2 + z_k^2}$ - векторнозначная функция измерения.

Расширенный фильтр Калмана описывается уравнениями, приведенными в [2].

На рис.1 (кривые 1) непрерывной линией показаны рассчитанные фильтром $p_x^{1/2}$ и штриховой линией - полученные методом Монте-Карло σ_x СКО ошибки оценки положения цели по оси X от дискретного времени k . Фактические ошибки значительно превышают рассчитанные фильтром, что свидетельствует о его расходимости. Это обусловлено наличием неучтенных ошибок, появляющихся в результате линеаризации уравнения измерения радиальной скорости.

Для устранения эффекта расходимости широкое распространение находят эвристические методы закругления объединенной дискретной динамической системы (1),(2) [3]. Предлагается выполнять увеличение дисперсии ошибки измерения радиальной скорости $R_{4,4}$ на величину, пропорци-

ональную дисперсии ошибки экстраполяции радиальной скорости $P_{\dot{r},k}^*$:

$$R'_{4,4} = R_{4,4} + \gamma P_{\dot{r},k}^*$$

где $P_{\dot{r},k}^*$ вычисляется по формуле

$$P_{\dot{r},k}^* = \sum_{j=1}^6 \left(\sum_{i=1}^6 H_{4,i} P_{i,j}^* \right) H_{j,4}^T$$

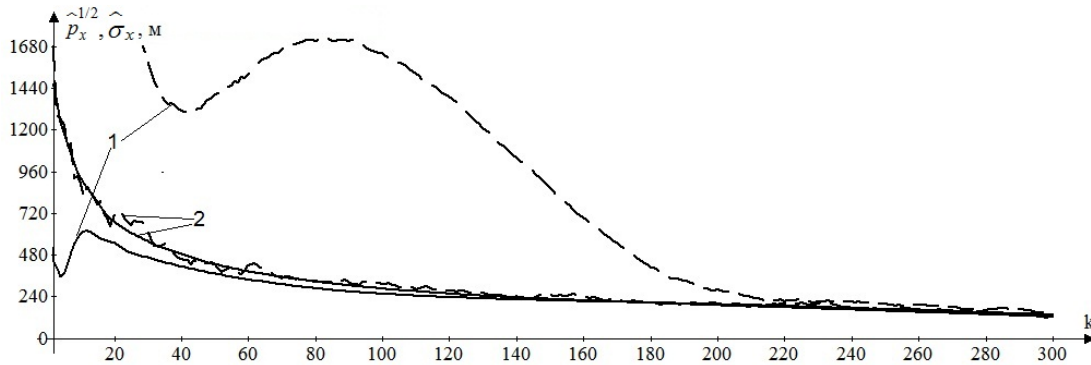


Рис.1

Значення коефіцієнта пропорциональності γ визначається з допомогою статистичного моделювання шляхом перевірки гіпотези про гауссовський закон розподілення помилок оцінки вектора параметрів руху цілі [3].

Для розглянутого прикладу отримано, що при $\gamma \geq 0.8$ помилки оцінки мають гауссовський властивість. На рис.1 (криві 2) неперервної ліній показані розраховані модифікованим фільтром $p_x^{1/2}$ і штриховою ліній — отримані методом Монте-Карло σ_x СКО помилки оцінки положення цілі по осі X від дискретного часу k при $\gamma = 0.8$. В модифікованому фільтрі відсутній ефект розходимості. При цьому на початковій частині роботи фільтра, СКО фактичної помилки оцінки положення цілі зменшуються в 3-5 раз, а оцінки швидкості цілі — на порядок, порівняно з аналогічними характеристиками розширеного фільтра Калмана.

Література

1. Duan Z. Sequential Nonlinear Tracking Filter with Range-rate Measurements in Spherical Coordinates / Zhansheng Duan, Chongzhao Han, X. Rong Li // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems.— 2007.— Vol. 43.— no.1.— pp. 239-250.
2. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс / Пер. с англ. / Под ред. проф. Б. Р. Левина. — М.: Связь, 1976.— 496 с.
3. Информационные технологии в радиотехнических системах : учеб. пособие для вузов / [Васин В.А., Власов И.Б., Егоров Ю.М. и др.]; под ред. И.Б. Федоров.— М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.— 671 с. — ISBN 5-7038-2263-7.