

УДК 519.688

Студент Наумов О.Д.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

АЛГОРИТМ З АДАПТИВНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ СУПРОВОДУ МАНЕВРУЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ

Abstract

Oleksiy Naumov, student

Algorithm with adaptive structure for tracking maneuvering objects

This paper describes an optimized interacting multiple model algorithm for high maneuvering objects tracking. A new approach to combining the filter feedback data for analysis proposed allows to decrease the estimated position error. The comparison of the proposed algorithm with classical interactive multiple model algorithm and Kalman filtering algorithm is provided.

Вступ

Алгоритми супроводу об'єктів широко використовуються у сфері радіолокації для спостереження та передбачення траєкторії повітряних, наземних чи підводних об'єктів. Процес супроводу складається з таких етапів: формування списку потенційних треків (траєкторій), оновлення цього списку в кожен момент часу з урахуванням останніх даних спостереження, відображення нових треків та видалення існуючих, які не відповідають оновленим даним [1]. Одним із найважливіших є етап оновлення або фільтрації треку об'єкта, який розглянутий в даній статі.

Існує широкий спектр алгоритмів фільтрації треків об'єктів, що відрізняються складністю та обчислювальним навантаженням. Найбільш використовуваними є алгоритми на основі фільтра Калмана та його багатомодельної модифікації - інтерактивного багатомодельного фільтра [2].

В даній статі запропоновано алгоритм з адаптивною структурою для супроводу маневруючих об'єктів. Його суть полягає у виборі найкращої моделі, тобто характеру руху об'єкту, фільтра по критерію мінімізації функцій правдоподібності. Тобто, обираються ті моделі, у яких різниця між найкращою функцією правдоподібності та обраною не вийшла за межі заданого діапазону.

Постановка задачі

Створення модифікованого алгоритму фільтрації на основі інтерактивного багатомодельного фільтра, який даватиме меншу похибку визначення позиції супроводжуваного об'єкта, ніж стандартний алгоритм та алгоритм на основі одномодельного фільтра Калмана у випадку, коли режими руху об'єкта лежать в певних заданих межах.

Опис алгоритму

Припустимо, що рух об'єкта в кожен момент можна описати однією із декількох заданих моделей. Динаміка руху та вимір положення цілі задаються такими формулами:

$$x(k) = F[M(k)]x(k-1) + v[k-1, M(k)], \quad (1)$$

$$z(k) = H[M(k)]x(k) + w[k, M(k)]. \quad (2)$$

де $M(k) \in \{M^1, M^2, \dots, M^r\}$ – модель дійсна в інтервалі часу k ; r – кількість моделей у фільтрі.

$F[M(k)]$, $H[M(k)]$ – модель руху та матриця виміру системи для режиму $M(k)$ відповідно;

$v[k-1, M(k)]$, $w[k, M(k)]$ – шум системи та виміру відповідно.

Переключення між моделями відбувається згідно Марківського ланцюга із відомою імовірністю переходів [3]

$$p_{ij} = P\{M(k) = M_j | M(k-1) = M_i\}. \quad (3)$$

Вектор імовірності появи моделі визначається як

$$\mu_{k,l} = P\{M_{k,l} | Z_k\}. \quad (4)$$

Тоді алгоритм складається з наступних етапів:

1. Змішування початкових умов. Перед початком k -тої фільтрації виконується генерація початкових даних для кожного фільтра. Комбінована імовірність того, що модель M_i була активна в момент часу $k-1$ та перейшла в режим M_j , обчислюється за формулою

$$\{p_{ij}, \mu_i(k-1)\} \rightarrow \{\mu_{i|j}(k-1|k-1)\}, \quad i, j = 1, \dots, r. \quad (5)$$

Початкові вектори стану фільтрів та їх коваріаційні матриці знаходяться за співвідношенням:

$$\begin{aligned} & \{\hat{x}^{0i}(k-1|k-1), P^i(k-1|k-1), \mu_{i|j}(k-1|k-1)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{x^{0j}(k-1|k-1), P^{0j}(k-1|k-1)\}, \quad i, j = 1, \dots, r. \end{aligned} \quad (6)$$

2. Багатомодельна фільтрація. Отримані початкові дані з (6) використовуються як вихідні дані для кожної моделі фільтра зіставленої із режимом $M_j(k)$. Кожний фільтр генерує оновлену оцінку стану системи

$\hat{x}^j(k|k)$ та $\hat{P}^j(k|k)$, використовуючи отриманий вимір положення об'єкту $z(k)$.

На основі результатів фільтрації отримується функція правдоподібності

$$\{z_i(k), \hat{z}_i(k), S_i\} \rightarrow \{\Lambda_i(k)\}, \quad i=1, \dots, r, \quad (7)$$

де $\hat{z}_i(k)$ - передбачена оцінка виміру положення об'єкта; S_i - передбачена фільтром коваріаційна матриця відхилення.

3. Вибір найкращої функції правдоподібності. Серед отриманих функцій правдоподібності, вибираються ті, що дають відхилення імовірності від найкращої не більше, ніж на 10%.

$$\{\Lambda_i(k)\} \rightarrow \{\Lambda_j(k)\}, \quad j=1, \dots, b, \quad i=1, \dots, r, \quad (8)$$

де b – кількість вибраних фільтрів.

4. Оновлення імовірності появи моделі. Апостеріорна імовірність появи моделі обчислюється на основі визначених функцій правдоподібності за формулою

$$\{\Lambda_j(k), p_{ij}, \mu_i(k-1)\} \rightarrow \{\mu_j(k)\}, \quad j=1, \dots, b. \quad (9)$$

5. Об'єднання результатів фільтрації. Загальним результатом фільтрації є оцінка стану системи та її матриця коваріації за співвідношеннями:

$$\{\hat{x}^j(k|k), \mu_j(k)\} \rightarrow \{\hat{x}(k|k)\}, \quad j=1, \dots, b. \quad (10)$$

$$\{P^j(k|k), \tilde{x}^j(k|k), \mu_j(k)\} \rightarrow \{P(k|k)\}, \quad j=1, \dots, b. \quad (11)$$

Алгоритм рекурсивно повторюється для кожного наступного моменту часу.

Оцінка результатів

Для порівняння результатів фільтрації алгоритмів розроблено програму в середовищі Matlab 7, яка моделює рух об'єкту за заданими моделями, здійснює фільтрацію за вибраним алгоритмом та виконує оцінювання фільтрації.

Для аналізу результатів фільтрації обраний об'єкт з наступними режимами руху: перші 3 секунди рухається прямолінійно (режим 1); протягом наступних 2-х секунд виконує поворот із доцентровим прискоренням 50 м/с^2 (2); далі виконує аналогічний поворот в

протилежний бік впродовж 4-х секунд (3); останні 2 секунди знову виконує протилежний поворот (4). Швидкість не змінюється і становить 300 м/с. Точність вимірювання координат об'єкту становить ± 0.5 м. Фільтрація виконується кожні 0.04 секунди.

Порівняння модифікованого алгоритму із інтерактивним багатомодельним фільтром та одномодельним фільтром виконується за допомогою параметра середньоквадратичного відхилення (СКВ) позиції та швидкості за кожним режимом руху об'єкта.

Таблиця 1

Порівняння похибки алгоритмів

Алгоритм	Мод. ИММ				ИММ				Калмана			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
СКВ позиції, м	0.124	0.127	0.132	0.130	0.137	0.131	0.132	0.131	0.142	17.8	37.0	44.2
СКВ швидкості, м/с	1.083	1.709	1.727	1.732	1.633	2.223	2.160	2.182	0.364	42.9	57.8	38.8

Висновки

В даній статі запропоновано алгоритм з адаптивною структурою для супроводу маневруючих об'єктів. В результаті порівняння алгоритму із класичним інтерактивним багатомодельним фільтром було отримано покращення результатів оцінки положення об'єкту в середньому на 0.01 м, та швидкості об'єкту на 0.5 м/с. Таку перевагу над класичним алгоритмом вдалося отримати завдяки жорсткому вибору найімовірніших моделей фільтра, та відкиданню малоімовірних.

В подальшому планується розвинути ідею алгоритму для фільтрів із динамічною зміною моделей.

Література

1. *I. Hwang, H. Balakrishnan, K. Roy, J. Shin, L. Guibas, and C. Tomlin.* Multiple-target Tracking and Identity Management algorithm // In Proceedings of IEEE. – Sensors. – 2003. – Vol. 1. – P. 36 – 41
2. *Y. Bar-Shalom, Li Xiao-Rong, T. Kirubarajan.* Estimation with applications to tracking and navigation. - JOHN WILEY & SONS, INC. - 2001. – P. 199-222, P. 421-480
3. *X. R. Li, and V. P. Jilkov.* Survey of maneuvering target tracking. Part V: multiple-model methods // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2005. – Vol. 41. - № 4. – P. 1255–1321