

УДК 621.396.96

В.А. Васильєв, І.І. Сачук, С.В. Селезньов, А.С. Чопенко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

РОЗПОДІЛЯЮЧІ ФУНКЦІЇ АЛГОРИТМУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ РУХУ ОБ'ЄКТА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАНЬ

Розглянута багатоальтернативна модель руху об'єкта та структура радіотехнічної слідкуючої системи, синтезованої на її основі. Отримані вирази для розподіляючих функцій алгоритму прийняття рішення по максимуму функції правдоподібності.

Ключові слова: модель руху об'єкта, багатоальтернативний підхід, ідентифікація, розподіляючі функції

Вступ

Згідно з теорією оптимальної фільтрації: чим адекватніша модель руху об'єкта його дійсному руху, тим точніше можна оцінити стан об'єкту [1]. Тому при розробці радіотехнічних слідкуючих систем значна увага приділяється вибору моделі руху об'єкта, що покладається в основу синтезу системи [2-6]. Основою для побудови моделі руху об'єкта є другий закон Ньютона та кінематичні рівняння, що пов'язують між собою вектори прискорення, швидкості та положення об'єкта. У зв'язку із складністю розрахунку результуючої сили, що діє на об'єкт, та залежності її для пілотуємих об'єктів від дій льотчика в більшості практичних випадків модель руху об'єкта будують на основі статистичної моделі прискорення об'єкта, що відображає особливості його можливого змінювання.

Найчастіше застосовується модель руху маневруючого об'єкта, у якій складові вектора прискорення припускаються взаємно незалежними експоненціально корельованими випадковими процесами з багатопіковою щільністю розподілу ймовірностей, що впливає з характеру руху об'єкта при подоланні системи протиповітряної оборони [7]. Синтез алгоритму оцінювання стану об'єкта при такій щільності розподілу ймовірностей складових вектора прискорення вимагає безпосереднього розв'язання рівняння Фоккера-Планка-Колмогорова для апостеріорної щільності розподілу ймовірностей стану об'єкта за результатами вимірювань і не може бути виконаний в рамках теорії оптимальної лінійної фільтрації [8]. Для розв'язання задачі синтезу в рамках теорії оптимальної лінійної фільтрації багатопікова щільність розподілу ймовірностей замінюється еквівалентним нормальним розподілом з нульовим середнім [7] або декількома нормальними розподілами з різними математичними сподіваннями [9]. У останньому випадку виникає необхідність ідентифікації моделі руху об'єкта: прийняття рішення про середні значення складових вектора прискорення об'єкта. Для здійснення цього необхідно отримати вирази для розподіляючих функцій алгоритму прийняття рішення.

Мета роботи – отримання виразів для розподіляючих функцій алгоритму прийняття рішення при ідентифікації моделі руху об'єкта.

Основний матеріал

1. Багатоальтернативна модель руху об'єкта. При багатоальтернативному підході багатопікова щільність розподілу ймовірностей μ -ї складової вектора прискорення w_μ (суцільна лінія рис. 1 та піки з ймовірностями відсутності маневру P_0 та маневрів максимальної інтенсивності P_1), яка достатньо добре висвітлює характер змінювання прискорення багатьох маневруючих об'єктів, замінюється еквівалентним нормальним розподілом (пунктир на рис. 1) з відомим середньоквадратичним відхиленням σ_{w_μ} та невідомим математичним сподіванням. При цьому вводиться фіксована кількість гіпотез H_i про математичне сподівання $m_{w_\mu i}$ складової вектору прискорення об'єкта. Отже у кожний момент часу для кожної складової вектора прискорення має місце одна з альтернатив і закон розподілу складової вектора прискорення є гаусовим.

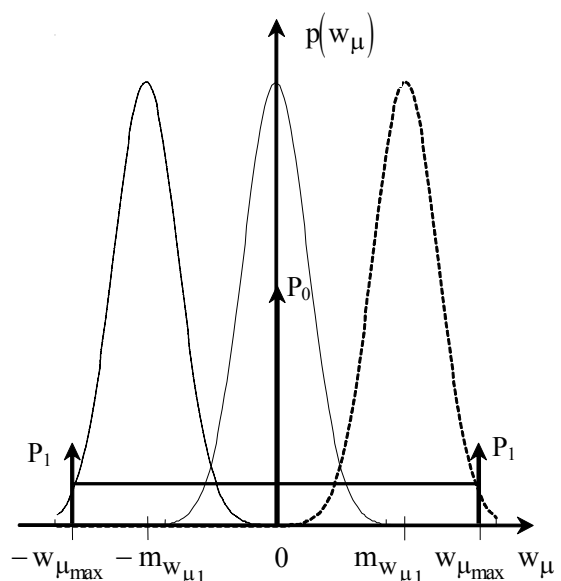


Рис. 1. Багатоальтернативний закон розподілу

2. Структура радіотехнічної слідкуючої системи. Розв'язання задачі синтезу радіотехнічної слідкуючої системи на основі багатоальтернативної моделі руху об'єкта [9] та стандартної моделі спостережень призводить до оптимального байєсовського алгоритму оцінювання

$$\hat{\bar{x}}(nT) = \sum_{i=1}^q P[H_i / \bar{Z}(nT)] \hat{\bar{x}}_i(nT), \quad (1)$$

де $P[H_i / \bar{Z}(nT)]$ – апостеріорні ймовірності гіпотез;

$$\bar{Z}(nT) = (\bar{z}(T) \ \bar{z}(2T) \ \dots \ \bar{z}(nT))^T - \quad (2)$$

сукупність результатів n вимірювань;

$\bar{z}(nT)$ – результати вимірювань у момент часу nT ;

$$\hat{\bar{x}}_i(nT) = \int_{\Delta} \bar{x}(nT) p[\bar{x}(nT) / \bar{Z}(nT), H_i] d\bar{x} - \quad (3)$$

оптимальна умовна оцінка вектора стану об'єкта по результатам вимірювань за умови справедливості i -ї гіпотези про складові вектора прискорення об'єкта.

У випадку, коли виконується

$$P[H_m / \bar{Z}(nT)] \gg P[H_i / \bar{Z}(nT)], \quad \forall i \neq m, \quad (4)$$

байєсовський алгоритм оцінювання трансформується у алгоритм прийняття рішення за максимумом апостеріорної ймовірності гіпотез

$$\hat{\bar{x}}(nT) = \hat{\bar{x}}_k(nT), \quad (5)$$

якщо $P[H_k / \bar{Z}(nT)] > P[H_i / \bar{Z}(nT)], \quad \forall i \neq k,$

який за умови апіорної рівномірності гіпотез еквівалентний алгоритму прийняття рішення за максимумом функції правдоподібності

$$\hat{\bar{x}}(nT) = \hat{\bar{x}}_m(nT), \quad (6)$$

якщо $p[\bar{Z}(nT) / H_m] > p[\bar{Z}(nT) / H_i], \quad \forall i \neq m.$

З виразів (1), (5), (6) випливає структура радіотехнічної слідкуючої системи (РТСС), що містить (рис. 2): q фільтрів умовної оцінки (ФУО), які формують оцінки вектора стану для кожної моделі руху об'єкта згідно з виразом (3), та блок формування результуючої оцінки (БФРО), який безпосередньо реалізує обраний алгоритм оцінювання (1), (5) або (6). Така структура системи не містить пеленгаційного пристрою і часового та частотного дискримінаторів. Це є наслідком того, що стандартна модель спостережень не відповідає моделі реальних дискримінаторів

$$\bar{n}_d(nT) = K_d [\bar{z}(nT) - H\bar{x}_e(nT)], \quad (7)$$

де K_d – діагональна матриця, ненульові елементи якої дорівнюють крутизні відповідних дискримінаторів та, при необхідності, оцифровування сигналу розузгодження; H – матриця спостережень; $\bar{x}_e(nT)$ – екстрапольоване на момент nT значення вектора стану об'єкта.

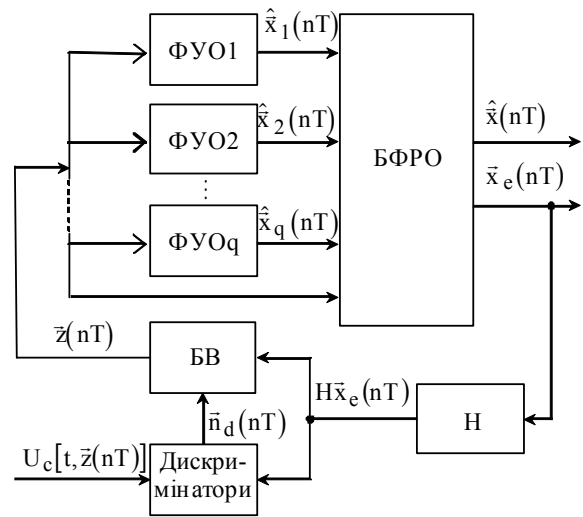


Рис. 2. Структурна схема РТСС

Введення до структури РТСС дискримінаторів, а також необхідність знання результатів поточних вимірювань $\bar{z}(nT)$ для функціонування фільтрів умовної оцінки, розрахунку вагових коефіцієнтів алгоритму (1) та розполюючих функцій алгоритмів (5) і (6), вказує, що до складу РТСС (окрім дискримінаторів) повинний входити блок відновлення (БВ), який відновлює за вихідними сигналами дискримінаторів результати поточних вимірювань $\bar{z}(nT)$.

3. Розподілюючі функції алгоритму прийняття рішення по максимуму функції правдоподібності. Для практичної реалізації алгоритму оцінювання (1) необхідно розраховувати апостеріорні ймовірності гіпотез, а алгоритмів оцінювання (5) і (6) – знаходити розподілюючі функції алгоритму прийняття рішення. В алгоритмах оцінювання (5) і (6) рішення приймається за результатами n вимірювань $\bar{Z}(nT)$, починаючи з першого. При цьому розмірність простору ознак, яка визначається розмірністю вектору $\bar{Z}(nT)$, з часом збільшується. Функції правдоподібності, являють собою умовні щільності розподілу ймовірностей результатів n вимірювань за умови справедливості відповідних гіпотез про середні значення складових вектора прискорення об'єкта. Вони можуть бути записані через умовні щільності розподілу ймовірностей результатів поточних вимірювань на кожному кроці:

$$\begin{aligned} p[\bar{Z}(nT) / H_i] &= p[\bar{z}(nT), \bar{Z}(nT - T) / H_i] = \\ &= p[\bar{z}(nT) / \bar{Z}(nT - T), H_i] p[\bar{Z}(nT - T) / H_i] = \quad (8) \\ &= \dots = \prod_{j=1}^n p[\bar{z}(jT) / \bar{Z}(jT - T), H_i], \end{aligned}$$

де $p[\bar{z}(jT) / \bar{Z}(jT - T), H_i]$ – умовна щільність розподілу ймовірностей результатів вимірювань у мо-

мент часу jT за умови, що результати попередніх вимірювань $\bar{Z}(jT-T)$ відомі та гіпотеза H_i має місце (далі умовна апіорна щільність розподілу ймовірностей результатів поточних вимірювань).

В силу лінійності моделі спостережень стандартної постановки задачі синтезу оптимального спостерігача стану об'єкта і гаусовості початкового стану об'єкта та шумів вимірювань умовна апіорна щільність розподілу ймовірностей результатів поточних вимірювань є гаусовою

$$p[\bar{z}(jT) / \bar{Z}(jT-T), H_i] = (2\pi)^{-\frac{\lambda}{2}} (|V_z(jT)|)^{-1/2} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} [\bar{z}(jT) - \bar{m}_{z_i}(jT)]^T \times [V_z^{-1}(jT) [\bar{z}(jT) - \bar{m}_{z_i}(jT)]] \right\}, \quad (9)$$

де λ – кількість компонентів вектора стану, що вимірюються;

$$\bar{m}_{z_i}(jT) = H\bar{x}_{e_i}(jT) - \quad (10)$$

умовне апіорне математичне сподівання поточних вимірювань;

$$V_z(jT) = H V_{\bar{x}_e}(jT) H^T + V_f^*(jT) - \quad (11)$$

коваріаційна матриця умовних апіорних вимірювань;

$V_{\bar{x}_e}(jT)$ – коваріаційна матриця помилок екстаполяції;

$V_f^*(jT)$ – матриця діагональні елементи якої дорівнюють дисперсіям шумів спостережень.

Відзначимо, що умовні щільності розподілу ймовірностей $p[\bar{z}(jT) / \bar{Z}(jT-T), H_i]$ різних гіпотез про середні значення складових вектора прискорення об'єкта відрізняються значеннями математичних сподівань $\bar{m}_{z_i}(jT)$, а значення коваріаційних матриць однакові.

Підставляючи (9) у (8), отримаємо вираз для функції правдоподібності

$$p[\bar{Z}(nT) / H_i] = (2\pi)^{-\frac{\lambda n}{2}} \prod_{j=1}^n (|V_z(jT)|)^{-1/2} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [\bar{z}(jT) - \bar{m}_{z_i}(jT)]^T \times [V_z^{-1}(jT) [\bar{z}(jT) - \bar{m}_{z_i}(jT)]] \right\}, \quad (12)$$

згідно з яким функції правдоподібності є гаусовими з математичним сподіванням

$$\bar{M}_{z_i}(nT) = \begin{pmatrix} \bar{m}_{z_i}(T) \\ \bar{m}_{z_i}(2T) \\ \vdots \\ \bar{m}_{z_i}(nT) \end{pmatrix} \quad (13)$$

та коваріаційною матрицею, що задається у блочному вигляді:

$$V_z(nT) = \begin{pmatrix} V_z(T) & O_\lambda & \dots & O_\lambda \\ O_\lambda & V_z(2T) & \dots & O_\lambda \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_\lambda & O_\lambda & \dots & V_z(nT) \end{pmatrix}, \quad (14)$$

де O_λ – нульова матриця розмірності $\lambda \times \lambda$.

Рішення в алгоритмі оцінювання (6) може прийматися не лише за максимумом функції правдоподібності, а й за максимумом будь якої розподіляючої функції, яку отримують монотонним перетворенням функції правдоподібності

$$\hat{x}(nT) = \hat{x}_m(nT), \quad (15)$$

якщо $L[\bar{Z}(nT) / H_m] > L[\bar{Z}(nT) / H_i], \forall i \neq m$.

Відбросив у виразі (11) неінформативні з точки зору прийняття рішення члени та співмножники, остаточно отримаємо такий вираз для розподіляючих функцій алгоритму оцінювання

$$L[\bar{Z}(nT) / H_i] = \sum_{j=1}^n \bar{m}_{z_i}^T(jT) \times V_z^{-1}(jT) \left[\bar{z}(jT) - \frac{\bar{m}_{z_i}(jT)}{2} \right]. \quad (16)$$

Важливою особливістю отриманих розподіляючих функцій є їх лінійність відносно результатів вимірювань $\bar{z}(jT)$, $j=1, 2, \dots, n$, за якими приймається рішення.

Висновки

Розглянута багатоальтернативна модель руху об'єкта та алгоритми оцінювання, що впливають з результатів синтезу радіотехнічної слідкуючої системи на основі цієї моделі. Пояснено структуру радіотехнічної слідкуючої системи, що реалізує байєсовський алгоритм оцінювання та алгоритми оцінювання за максимумом апостеріорної щільності гіпотез та за максимумом функцій правдоподібності. Отримані вирази для функцій правдоподібності та розподіляючої функції алгоритму оцінювання за максимумом функції правдоподібності. Встановлено, що вони є лінійними відносно результатів вимірювань. Отримані вирази можуть бути використані для аналізу структури простору ознак та розробки методики розрахунку ймовірності правильного прийняття рішення при ідентифікації моделі руху об'єкта.

Список літератури

1. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: пер. с англ. / Э. Сейдж, Дж. Мелс – М.: Связь, 1976. – 496 с.
2. Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, С.Т.Багдасарян, А.С. Маляренко и др.; Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Бочкарев А.М. Цифровая обработка радиолокационной информации при сопровождении целей / А.М. Бочкарев, А.Н. Юрьев, М.Н. Долгов, А.В. Щербини // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 3. – С. 40-57.

4. Гриценко Н.С. Оценивание параметров движения маневрирующих объектов / Н.С. Гриценко, А.А. Кириченко, Т.А. Коломойцева, В.П. Логинов, М.Г. Тихомирова // Зарубежная радиоэлектроника. – 1983. – № 4. – С. 3-30.

5. Гриценко Н.С. Адаптивное оценивание. Часть 1. / Н.С. Гриценко, А.И. Гусаров, В.П. Логинов, К.К. Севастьянов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1983. – №7. – С. 3-27.

6. Гриценко Н.С. Адаптивное оценивание. Часть 2 / Н.С. Гриценко, В.П. Логинов, К.К. Севастьянов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 3. – С. 3-26.

7. Зингер Р.А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р.А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – № 8. – С. 40-57.

8. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Советское радио, 1977. – 432 с.

9. Хисматулин В.Ш. Многоальтернативная модель движения маневрирующей цели / В.Ш. Хисматулин, И.И. Сачук // Збірник наукових праць ХУПС – Вип. 21. – Х.: ХВУ, 1998. – С. 71-75.

Надійшла до редколегії 18.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАЗДЕЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИИ АЛГОРИТМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ

В.А. Васильев, И.И. Сачук, С.В. Селезнев, А.С. Чопенко

Рассмотрена многоальтернативная модель движения объекта и структура радиотехнической следящей системы, синтезированной на ее основе. Получены выражения для разделяющих функций алгоритма принятия решения по максимуму функции правдоподобия.

Ключевые слова: модель движения объекта, многоальтернативный подход, идентификация, разделяющие функции.

SEPARATION FUNCTIONS OF DECISION MAKING ALGORITHM FOR IDENTIFYING THE OBJECT MOVEMENT MODEL BY MEASUREMENT RESULTS

V.A. Vasilyev, I.I. Sachuk, S.V. Seleznev, A.S. Chopenko

Multi-alternative model of the object movement is considered together with radiotechnical tracking system structure synthesized on its basis. Expressions are received for separation functions to be used in decision making algorithm based on the likelihood function maximum.

Keywords: object movement model, multi-alternative approach, identification, separation function.