УДК 621.396

І.В. Баришев, О.А. Коршець, О.В. Висоцький

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

СИНТЕЗ АЛГОРИТМІВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ДИСКРЕТНОЇ СТОХАСТИЧНОЇ СИСТЕМИ САМОНАВЕДЕННЯ ВИНИЩУВАЧІВ

В роботі запропоновано алгоритм оптимального управління винищувачами у просторі станів із використанням оптимізації за критерієм Льотова-Калмана для дискретної стохастичної системи самонаведення винищувачів в зону застосування зброї.

алгоритм оптимального управління винищувачами

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Синтез оптимальних систем управління у просторі станів базується на основі математичного апарата статистичної теорії оптимального управління (СТОУ) [1]. Оптимальне управління можливе за оптимальної обробки інформації про стан системи, тому складовою частиною теорії оптимального управління є теорія оптимального оцінювання.

Оптимізація методами СТОУ може проводитися на підставі різних критеріїв [1 – 3]. Для рішення енергоємних задач доцільно використовувати такі критерії, як функціонал Летова-Каламана або його модифікації, зокрема локальний функціонал якості [1, 2]. Оптимізація за такими критеріями дає можливість одержати радіоелектронні системи управління, спільно найкращі по точності й економічності, оскільки вони враховують реальні обмеження на швидкодію системи, величини сигналів управління й енергії, що витрачається. **Метою статті** є одержання алгоритму оптимального управління літаками із розробкою зовнішнього котуру системи оптимального самонаведення винищувачів.

Основний матеріал

Задача оптимального управління формулюється в такий спосіб: за результатами спостережень всіх або деяких компонентів поточного стану системи $x(t)$, а також необхідних станів системи $x_H(t)$ вибором вектора управлінь $u(t)$ необхідно найкращим (оптимальним) чином на виході системи управління сформувати необхідний (управляємий) стан системи $\dot{x}(t)$. Як критерій оптимальності виберемо функціонал Летова–Каламана [2]. Для задач з дискретним часом відповідні моделі стану і спостережень для самонаведення винищувачів визначаються рівняннями [4, 5]:

$$\begin{aligned} x(i+1) = \Phi(i+1,i)x(i) + Y(i+1,i)u(i) + \\ + \Gamma(i+1,i)\omega(i); \end{aligned} \qquad (1)$$

$$Z(i+1) = H(i+1)X(i+1) + \nu(i+1), \qquad (2)$$

а функціонал якості – співвідношенням [1, 2]:

$$I = M\left\{ \left[x_H(t) - x_y(t)\right]^T Q\left[x_H(t) - x_y(t)\right] + \\ + \int_0^t u^T(t)K_u(t)dt \right\}. \qquad (3)$$

Задача синтезу оптимального самонаведення формулюється в наступному вигляді: для багатоконтурної системи управління винищувачами при наявності вимірів усіх перемінних поточних станів системи $x(i)$ і значень перемінних необхідного стану системи $x_H(i)$, отриманих відповідно до обраного методу управління, потрібно знайти сигнал управління $u(i)$, який мінімізує функціонал (3) [5, 6]. Даний функціонал якості кількісно визначає ступінь важливості сигналів управління за допомогою коефіцієнтів матриці штрафів K_u за величину сигналів управління.

При отриманні інформації про параметри стану системи потрібно врахувати наявність збурювань, що обумовлює випадковий характер $x(i)$, $x_H(i)$. При формуванні сигналів управління в реальному масштабі часу оцінки змінних станів повинні обчислюватися на основі теорії оптимальної фільтрації. Найкращим за критерієм мінімуму СКО наближенням оцінки $\hat{x}$ до випадкового процесу x є умовне математичне очикування [7, 8]:

$$x = M\{x|_Z\}. \qquad (4)$$

У процесі рішення задачі проектування оптимальної системи управління в загальному випадку необхідно одночасно синтезувати алгоритми обчислень оптимальних сигналів управління (регулятор) і оптимальної фільтрації усіх фазових координат системи (фільтр). Рішення цієї задачі, особливо для багатомірних систем в умовах впливу збурювань є досить складним.

Спрощення задачі синтезу оптимальних систем самонаведення визначаються фундаментальною теоремою поділу або статистичної еквівалентності. Для лінійних моделей (1), (2) в умовах дії гауссовских збурювань при оптимізації системи за квадратичним критерієм якості виду (3), алгоритми оцінювання і управління можна синтезувати незалежно (роздільно) [3]. При цьому алгоритм функціонування статистичного регулятора, що враховує вплив збурювань, буде аналогічний (статистично еквівалентний) алгоритмові функціонування детерминированного регулятора, отриманому для ситуації, коли збурювання відсутні, за умови заміни в останньому фазових координат x системи їх оптимальними оцінками $\hat{x}$.

Вимоги лінійності моделей, квадратичності функціоналів якості і гауссовості шумів називаються умовами лінійно-квадратично-гауссовскою (ЛКГ) задачі синтезу. Для такої задачі теорема поділу (статистичної еквівалентності) доводиться жорстко [3]. Якщо узагальнений об'єкт управління або вимірники апроксимуються нелінійними моделями, то теорема поділу не має жорсткого доказу. Однак при досить великому відношенні сигнал\шум, коли мають місце точні виміри, її також можна розділити на фільтр, що формує оптимальні оцінки фазових координат і параметрів системи, і регулятор, що обчислює сигнали управління [3, 9]. Необхідно відзначити, що отримане таким чином наближене рішення задачі роздільного синтезу фільтра і регулятора тим точніше, чим вище точність оцінювання.

Оскільки, система самонаведення, призначена для управління винищувачами по заданій траєкторії, може бути описана лінеарізованим рівнянням [4-6]:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_P(i+1) = \mathbf{\Phi}_P(i+1,i)\cdot\mathbf{X}_P(i) + Y_p(i+1,i)U_p(i) + \\ + \mathbf{\Gamma}_P(i+1,i)\mathbf{\Omega}_P(i), \end{aligned} \qquad (5)$$

де індекс p – визначає розширений вектор станів системи самоаведення по курсу і швидкості, а збурювання в окремому випадку представлені гауссовскими шумами, то структура оптимального управління може бути представлена з'єднанням оптимального регулятора і оптимального фільтра (рис. 1).

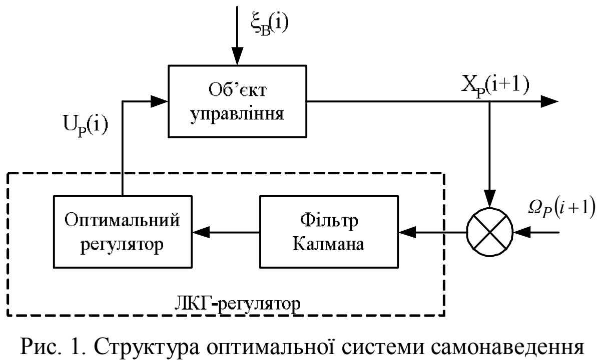

Рис. 1. Структура оптимальної системи самонаведення

Як оптимальний фільтр на практиці широко використовують алгоритм оптимальної лінійної фільтрації (фільтр Калмана). Одним з розповсюджених способів одержання алгоритму роботи оптимального регулятора є метод динамічного програмування Беллмана, заснований на принципі оптимальності, суть якого полягає в тому, що незалежно від вихідного стану системи, що оптимізується, всі наступні сигнали управління повинні бути оптимальними стосовно станів, що виникають у результаті впливу попередніх управлінь [1, 3, 10].

Скориставшись методом динамічного програмування для рішення ЛКГ-задачі, сформульованої вище, можна одержати в загальному вигляді [1, 3, 10] рівняння для алгоритму роботи оптимального регулятора у вигляді:

$$U_р = K^{-1} Y_р{}^T Q\left[X_{рн} - X_р\right], \qquad (6)$$

де $Y_р$ – матриця управлінь системи; $\left[X_{рн} - X_р\right]$ – вектор різностей необхідних $X_{рн}$ і поточних $X_р$ станів системи; Q – матриця штрафів за поточну точність управління; K – матриця штрафів за величину сигналів управління.

На підставі теореми статистичної еквівалентності можна затверджувати, що детермінований закон управління (6) буде адекватний статистичному за умови заміни в ньому фазових координат їх оптимальними оцінками, тобто

$$U_р = K^{-1} Y_р{}^T Q\left[\widehat{X}_{рн} - \widehat{X}_р\right]. \qquad (7)$$

Для задач дискретного часу алгоритм оптимального дискретного управління має вигляд [3]:

$$U_р(i) = \left[K + Y_р{}^T(i) \cdot Q \cdot Y_р(i)\right]^{-1} Y_р{}^T(i) \times \times Q_1 \cdot \Phi(i, i-1)\left[\widehat{X}_{рн}(i) - \widehat{X}_р(i)\right], \qquad (8)$$

де $Q_1 = \begin{bmatrix} Q & -Q \\ -Q & Q \end{bmatrix}$.

В окремому випадку для системи самонаведення винищувачів [5] вектор стану системи містить у собі три змінні, що відображають стан об'єкта управління – кутові швидкості обертання винищувачів $\omega_y(i)$ навколо вертикальної осі, кут ковзання $\beta(i)$ та швидкість винищувача. Виникнення явища ковзання, як уже було сказано вище, обумовлено зовнішніми збуреннями й інерційними властивостями винищувача, отже, кут ковзання $\beta(i)$ не може бути керованою величиною і задати його необхідне значення можна тільки виходячи з наступних міркувань. У найкращому випадку повинна виконуватись умова $\beta(i) = 0$. Виконання цієї умови можливо тільки тоді, коли відсутній обертальний рух об'єкта управління ($\omega_y(i) = 0$), об'єкт рухається прямолінійно, а це відповідає тривіальному випадку відсутності управління. Оскільки точне значення необхідного кута ковзання на кожному кроці дискретності по вказаним вище причинам визначити досить складно, то можна в якості такого задати гранично припустиме значення, що для різних типів винищувачів складає 1…2º. При цьому ми йдемо на свідоме погіршення показників якості системи, але спрощуємо вимоги до витрат для досягнення заданої мети управління. А заданою метою управління є досягнення необхідного значення $\omega_{ун}(i)$ кутової швидкості обертання, що задається виходячи з різницевого рівняння:

$$\omega_{ун}(i) = \psi_н(i+1) - \psi(i), \qquad (9)$$

де $\psi_н$ – необхідний кут курсу.

Значення необхідного курсового кута на кожнім кроці дискретності в залежності від обраного методу управління визначається в роботах [5, 6].

Таким чином, зовнішній контур системи оптимального дискретного самонаведения може бути представлений структурною схемою рис. 2.

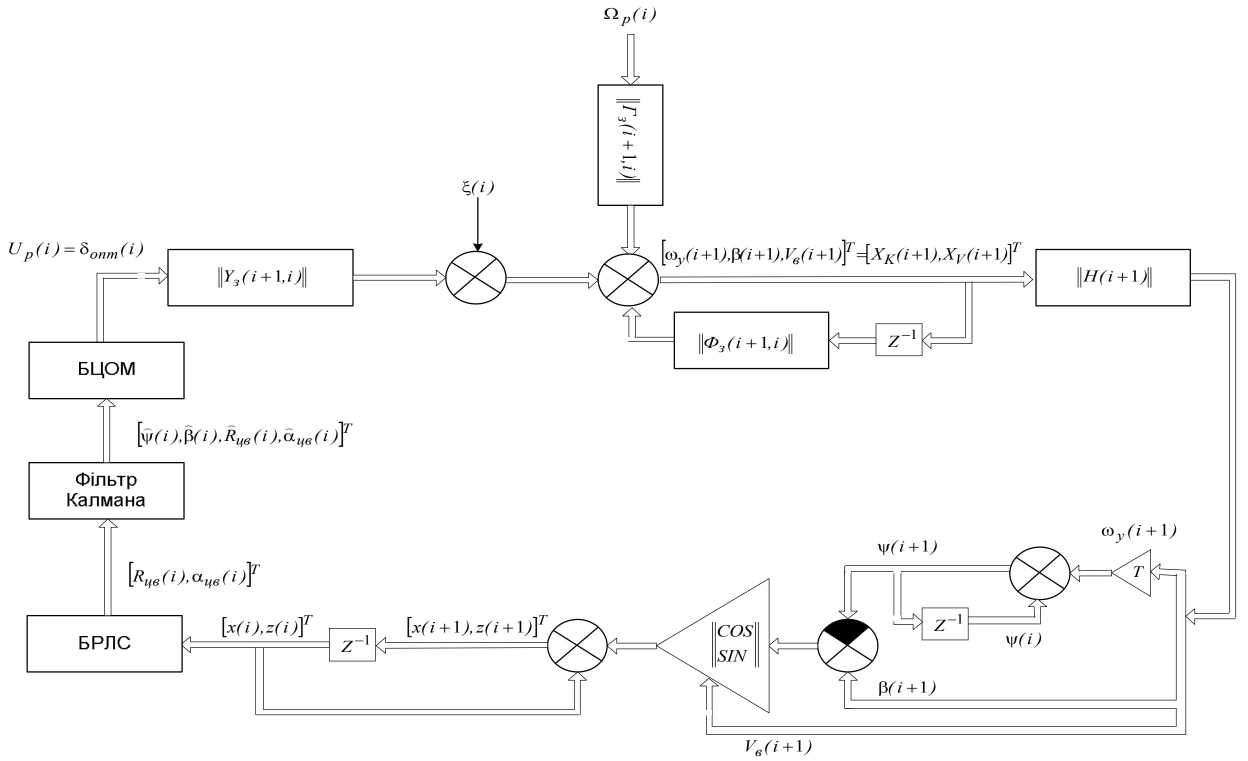

Рис. 2. Структурна схема зовнішнього контуру системи оптимального самонаведення винищувачів

Висновки

В розглянутій системі самонаведення при наявності сильних обмежень на управління мінімум критерію якості визначається початковим станом та параметрами формування програмних точок траєкторії самонаведення. При цьому помилка системи не залежить від алгоритму управління.

Дослідження критерію якості при самонаведенні винищувачів в екстремальних випадках для стохастичної задачі показали, що задача синтезу оптимального управління при неповній інформації визначається двома етапами: оптимальною оцінкою й синтезом оптимального управління, при цьому мінімум критерію якості залежить від невизначеності початкового стану, збурювань системи і помилок фільтрації.

Розроблена структура зовнішнього контуру системи оптимального самонаведення винищувачів дозволить визначити сучасні алгоритми оптимального управління по програмних траєкторіях, для їх подальшого впровадження в перспективній системі самонаведення.

Список літератури

1. Авиационные системы радиоуправления. Т.1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / В.И. Меркулов, В.В. Дрогалин, А.И. Канащенков, В.Н. Лепин, О.Ф. Самарин, А.А. Соловьев; Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.

2. Авиационные системы радиоуправления. Т.2. Радиоелектронные системы самонаведения / В.И. Меркулов, В.В. Дрогалин, А.И. Канащенков, В.Н. Лепин, О.Ф. Самарин, А.А. Соловьев; Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.

3. Меркулов В.И., Лепин В.Н. Авиационные системы радиоуправления. Ч.1. Теоретические основы синтеза и анализа авиационных систем радиоуправления. – М.: Радио и связь, 1997. – 187 с.

4. Торопчин А.Я, Коршець О.А., Поляков В.В. Сучасний стан та перспективи розвитку систем наведення у повітряних силах. Аналіз дискретних систем самонаведення винищувачів на надманеврені цілі у просторі станів // Збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 1 (1). – С. 23-26.

5. КоршецьО.А, Коваленко Р.В., Волобуєв А.П. Математична модель управління боковим рухом літака при груповому наведенні // Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ. – 2006. – Вып. 147. – С. 37-42.

6. Коршець О.А. Автоматизоване управління літаками в групі у просторі станів різницевих параметрів // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2006. – Вип. 32. – С. 38-46.

7.Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.

8. Калман Р.Е., Бьюси Р.С. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания // Труды американского общества инженеров-механиков. Техническая механика. – 1961. – Т. 83, серия Д1. – С.123-141.

9. Черноусько Ф.А., Колмановский Б.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях. – М.: Наука, 1978. – 239 с.

10. Максимов М.В., Меркулов В.И. Радиоэлектронные следящие системы. (Синтез методами теории оптимального управления). – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.