

І.О. Канкін, ад'юнкт,
В.Б. Ревенко, к.т.н.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОЦІНЮВАННЯ З ПІДВИЩЕНОЮ ДИНАМІЧНОЮ ТОЧНІСТЮ СУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розроблено алгоритм оцінювання стану динамічного об'єкта, який дозволяє підвищити точність супроводження в радіотехнічних слідкуючих системах. Наведено результати досліджень.

На практиці часто виникають задачі визначення параметрів руху об'єктів різних типів за даними координатних вимірювачів. У цих випадках задача визначення параметрів руху об'єкта формулюється, як задача оцінювання вектора стану динамічної системи [1]. Характерними ознаками цієї задачі є припущення, які приймають стосовно математичної моделі руху об'єкта під час синтезу алгоритмів. Однак, реальні характеристики вектора стану динамічної системи, як правило, не відповідають детермінованій моделі. Це зумовлено як умисним маневруванням спостережуваного об'єкта, так і випадковими відхиленнями цілі від заданої траєкторії через непередбачені фактори, які пов'язані, наприклад, з нерівномірною густиною середовища, неточністю системи управління тощо [2]. Неврахування маневру та збурень призводить до погіршення точнісних характеристик оцінювання параметрів траєкторії руху об'єкта. Остання обставина ставить за необхідне необхідним врахування помилки сталого та перехідного режимів каналу спостереження радіотехнічної слідкуючої системи (РТСС), інше можливе підвищення ймовірності зриву – супроводження за рахунок невлучання чергової відмітки від цілі в строби супроводження.

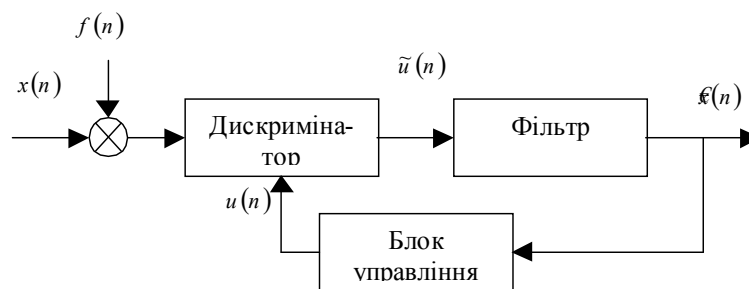


Рис. 1. Функціональна схема РТСС

У роботі розв'язується задача синтезу алгоритму оцінювання, який забезпечує підвищення динамічної точності супроводження маневруючого об'єкта. Це досягається завдяки використанню методу синтезу, заснованого на теорії інваріантності, який дозволяє підвищувати точність каналу спостереження як в сталому, так і в перехідному режимах.

Постановка задачі

Припустимо, що модель руху спостережуваного об'єкта має такий вигляд:

$$x(n) = x_0 + x_1 n + x_2 \frac{n^2}{2!} + \dots, \quad (1)$$

де $x(n)$ – поліном відносно дискретного часу n з невідомими коефіцієнтами x_0, x_1, x_2, \dots . Процес $x(n)$ спостерігається за наявності адитивного “білого шуму” $f(n)$ з нульовим середнім, дисперсією $R(n) = M[f^2(n)]$ та $M[f(n)f(n-1)] = 0, M[x(n)f(n)] = 0$. Рівняння спостереження має такий вигляд: $g(n) = x(n) + f(n)$. Критерій якості при синтезі представлено мінімумом дисперсії помилки оцінювання: $M[\varepsilon^2(n)] \rightarrow \min$, де $\varepsilon(n) = x(n) - \tilde{x}(n)$ – помилка оцінювання.

Функціональна схема РТСС розглядається на рис. 1, де $\tilde{x}(n) = g(n) - u(n)$ – нев'язка спостереження, $u(n)$ – управління на дискримінатор.

Синтез алгоритмів оцінювання та управління

Згідно з вибраним методом синтезу [4] алгоритми оцінювання та управління визначаються як:

$$\tilde{x}(n) = \frac{C(z) - B(z)}{A(z)} \varpi(n); \tag{2}$$

$$u(n) = F_e(z) \tilde{x}(n), \tag{3}$$

де $F_e(z)$ – передавальна функція алгоритму управління, яка визначається з рівняння для характеристичного полінома: $C(z) = \frac{A(z) - F_e(z)B(z)}{1 - F_e(z)}$; $A(z), B(z)$ – поліноми чисельників передавальних функцій нев’язок спостереження та оцінювання $\tau(n) = g(n) - \tilde{x}(n)$.

Отримаємо цифровий фільтр, еквівалентний за оцінюванням відомому $\alpha - \beta$ фільтру, але який буде мати більш високі можливості за точністю спостереження.

З метою усунення динамічної помилки оцінювання та управління поліноми $A(z), B(z)$ вираховуються, виходячи з умов $A(z)x(z) = 0$ та $B(z)x(z) = 0$. Для підвищення якості перехідного процесу задамо поліном $A(z)$ у такому вигляді: $A(z) = (1 - z^{-1})(1 + a_1z^{-1} + \dots + a_mz^{-m})$. Змінюючи коефіцієнти $a_j, j = 1, m$, можна добитись зменшення перехідної складової помилки, не використовуючи для цього коефіцієнти полінома $B(z)$, які вираховуються із умов компенсації перешкод на виході системи [3].

Для другого порядку астатизму задамо:

$$A(z) = (1 - z^{-1})^2(1 + a_1z^{-1}); B(z) = (1 - z^{-1})^2b_0; C(z) = 1 + (a_1 + kb_0)z^{-1} + b_0z^{-2}.$$

Поліном $C(z)$ отримано із умов незалежності управління процесом спостереження від коефіцієнтів оптимального фільтра b_0, k , що сприяє більш широкому вибору умов якості управління.

Підставивши поліноми у вирази (2, 3), після перетворень отримаємо алгоритми оцінювання та управління:

$$\tilde{x}(n) = v_3\tilde{x}(n-1) + v_4\tilde{x}(n-2) + v_5\tilde{x}(n-3) + v_1\varpi(n) + v_2\varpi(n-1); \tag{4}$$

$$u(n) = v_6\tilde{x}(n-1) + v_7\tilde{x}(n-2) + v_8\tilde{x}(n-3) + v_9u(n-1), \tag{5}$$

де $v_1 = 1 - b_0; v_2 = a_1 + b_0(k - 2); v_3 = 2 - a_1; v_4 = 2a_1 - 1; v_5 = -a_1; v_6 = \frac{kb_0 + 2}{1 - b_0};$

$$v_7 = \frac{b_0 + 1 + 2a_1}{1 - b_0}; v_8 = \frac{a_1}{b_0 - 1}; v_9 = \frac{a_1 + b_0(k + 2)}{b_0 - 1}.$$

Таким чином, синтезовано фільтр другого порядку $(ab)^2$ з підвищеними точнісними характеристиками.

Аналіз результатів

Завдяки використанню методу Z-перетворення [2], отримано перехідну характеристику запропонованої системи при дії на її вхід одиничного перепаду швидкості.

Порівняльний аналіз графіків перехідного процесу (рис. 2) $(ab)^2$ фільтра (штрихова крива) з відомим $\alpha - \beta$ фільтром (суцільна крива) показує, що при однакових значеннях вагових коефіцієнтів показники якості перехідного процесу запропонованого фільтра вище.

Важливою характеристикою якості алгоритмів оцінювання є динамічні помилки, які виникають під час руху цілі по криволінійному курсу. Для цифрових фільтрів із корекцією завбачення динамічна помилка в сталому режимі згідно з [2] визначається так:

$$\varepsilon_{дин}(nT) = D_0x(nT) + D_1\Delta x(nT) + D_2\Delta^2x(nT) + \dots,$$

де D_j – коефіцієнти помилок, $\Delta x(nT), \Delta^2x(nT)$ – перша та друга різниці від функції, що описує координату. Показник ефективності, який визначається як відношення помилок $\alpha - \beta$ та запропонованого фільтрів в сталому режимі по каналу управління, дорівнює :

$$K_{эф}^u = \frac{\varepsilon_{дин}^{\alpha\beta}}{\varepsilon_{дин}^{(ab)^2}} = \frac{1}{a_1 + 1}. \tag{6}$$

Із виразу (6) бачимо, що змінюючи значення коефіцієнта a_1 можна підвищити динамічну точність по каналу управління та при цьому управління процесом спостереження не залежить від коефіцієнтів

оптимального фільтра. Коефіцієнти помилок по каналу оцінювання $\alpha - \beta$ та запропонованого фільтрів однакові.

Ефективність розробленого алгоритму оцінювалась за поведінкою помилки супроводження за дальністю, порівнюючи з роботою $\alpha - \beta$ фільтра (рис. 3). Моделювання показало, що під час змінювання моделі руху вхідної дії помилка супроводження запропонованого алгоритму може бути в 1,5 – 2 рази менша, ніж у $\alpha - \beta$ фільтра.

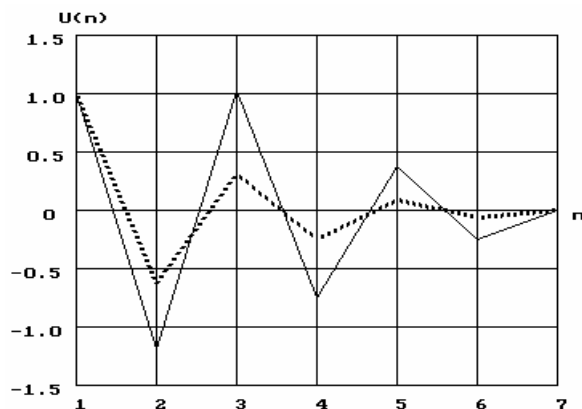


Рис. 2

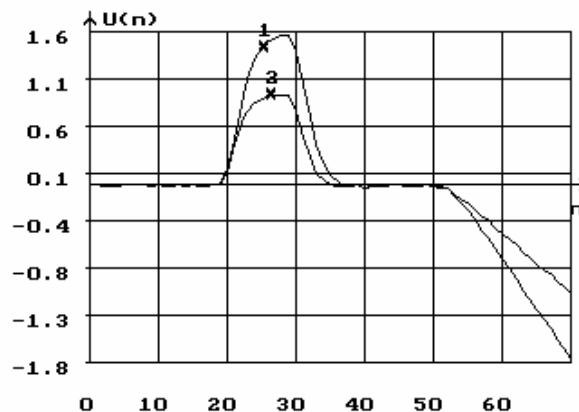


Рис. 3.

1 – $\alpha - \beta$ фільтр, 2 – $(ab)^2$ фільтр

Таким чином, аналіз та дослідження характеристик якості розробленого алгоритму показав, що цифровий фільтр, що отриманий на основі структурного методу синтезу, еквівалентний за якістю оцінювання відомому $\alpha - \beta$ фільтру і має більшу динамічну точність по каналу спостереження як в сталому, так і в перехідному режимах. При використанні отриманого фільтра в автоматичних слідкуючих системах є можливість підвищити точність супроводження маневруючих об'єктів, що зменшує ймовірність зриву супроводження.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Первачев С.В., Перов А.И. Адаптивная фильтрация сообщений. – М.: Радио и связь, 1991. – 160 с.
2. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 356 с.
3. Пушкарев Ю.А. Анализ и синтез дискретных систем оценивания. – Житомир: ЖВУРЭ ПВО, 1989. – 326 с.
4. Пушкарев Ю.А., Ревенко В.Б. Новый структурный метод синтеза эффективных цифровых фильтров обработки информации для автоматических следящих систем // Проблемы управления и информатики. – 1995. – № 1. – С. 138–148.

КАНКІН Іван Олегович – ад'юнкт кафедри комп'ютеризованих систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– адаптивні алгоритми оцінювання.

РЕВЕНКО Володимир Борисович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– алгоритми оцінювання для сучасних інформаційно-керуючих систем.

Подано 25.05.2001

Канкін І.О., Ревенко В.Б. Розробка алгоритму оцінювання з підвищеною динамічною точністю супроводження літальних апаратів

Канкин И.О., Ревенко Е.Б. Разработка алгоритма оценивания с повышенной динамической точностью сопровождения летательных аппаратов.

Kankin I.O., Revenko E.B. The development of estimation algorithm with increased dynamic accuracy of vehicles observation

УДК 621.396.96

Разработка алгоритма оценивания с повышенной динамической точностью сопровождения летательных аппаратов / И.О. Канкин, Е.Б. Ревенко

Разработан алгоритм оценивания состояния динамического объекта, который позволяет повысить точность сопровождения в радиотехнических следящих системах. Приведены результаты исследований.

УДК 621.396.96

The development of estimation algorithm with increased dynamic accuracy of vehicles observation / I.O. Kankin, E.B. Revenko

The estimation algorithm of the dynamic object state that makes it possible to increase accuracy in radioengineering tracking systems is developed. The results of researches are given.