

ПРИЛАДИ. РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 681.518

І.В. Зімчук, к.т.н.

В.І. Іщенко, к.т.н., доц.

*Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова***АЛГОРИТМ ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ
АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ В ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ**

Синтезовано алгоритм підвищення динамічної точності адаптивної системи оцінювання в перехідному режимі за нульових початкових умов. Наводяться результати цифрового моделювання.

В задачах оцінювання параметрів руху літальних об'єктів (ЛО) за даними радіолокаційних вимірювачів в умовах апріорної невизначеності широке розповсюдження отримав адаптивний підхід [1]. В адаптивних системах оцінювання апріорна невизначеність статистичних характеристик вхідних впливів долається оцінюванням їх в процесі фільтрації та використанням отриманої інформації для оптимізації параметрів алгоритму оцінювання [4]. Переваги адаптивних алгоритмів в тому, що при ефективній адаптації апріорна невизначеність усувається повністю і точність фільтрації у всьому діапазоні можливих умов функціонування стає максимальною.

Алгоритмам адаптивного оцінювання присвячена велика кількість публікацій, наприклад [1–4,7]. Однак у переважній більшості робіт алгоритми адаптивного оцінювання наводяться для режиму, коли є достатньо вимірювальної інформації для здійснення адаптації. При цьому не розглядаються питання якості фільтрації під час захвату ЛО на супроводження при нульових початкових умовах (в період адаптації). Тому велику зацікавленість викликають питання оптимізації перехідного процесу адаптивних систем оцінювання параметрів руху ЛО [7].

В роботі [3] синтезовано адаптивний алгоритм оцінювання параметрів руху ЛО для умов, якщо статистичні характеристики помилок вимірювань апріорно невизначені, а модель руху ЛО на інтервалі спостереження може змінюватись. Адаптація алгоритму здійснюється шляхом підстройки вагового коефіцієнта $K(n)$, який розраховується в контурі адаптації [3]. Функціонування алгоритму передбачає наявність початкових даних про параметри руху ЛО. Але на практиці такі дані можуть бути відсутніми, що погіршує якість фільтрації на початковому етапі роботи алгоритму.

Метою даної роботи є підвищення динамічної точності адаптивної системи оцінювання [3] в перехідному режимі.

Припустимо, що вхідна дія описується виразом:

$$\begin{aligned} x(n) &= x_0, n = 0, \\ x(n) &= 0, n > 0. \end{aligned} \quad (1)$$

При оцінюванні процесу $x(n)$ забезпечимо якість перехідного процесу за критерієм [6]:

$$I_{\min} = V_{1\min} + V_{2\min} + \dots, \quad (2)$$

де $V_{1\min} = \min \tilde{u}_n^2(1)$, $V_{2\min} = \min \tilde{u}_n^2(2)$ і т.ін.;

$\tilde{u}_n^2(n)$ – перехідна складова помилки спостереження.

Відомо, що в замкнених системах оцінювання, в яких використовуються для згладжування та управління тільки одні й ті ж вагові коефіцієнти, існує протиріччя між умовами зменшення флюктуаційних помилок (умовами фільтрації) та умовами підвищення динамічної точності в перехідному режимі. Це протиріччя може бути розв'язане за допомогою введення додаткових вагових коефіцієнтів по каналу управління. Тоді можна добитися високої якості перехідного процесу як по каналу управління, так і по каналу оцінювання, не збільшуючи випадкової помилки.

Алгоритм оцінювання синтезується методом, викладеним в роботі [5]. Відповідно до цього методу алгоритми оцінювання та управління визначаються виразами:

$$\begin{aligned} A(z, n)x(n) &= [C(z, n) - B(z, n)]\tilde{u}(n), \\ x_c(n) &= F_c(z, n)x(n). \end{aligned} \quad (3)$$

У співвідношеннях (3) $A(z, n)$ та $B(z, n)$ – поліноми чисельників передаточних функцій за розузгодженням управління $\tilde{u}(n) = x(n) - x_c(n)$ та оцінювання $\tilde{e}(n) = x(n) - x(n)$, що визначають точність системи; $C(z, n)$ – характеристичний поліном замкненої системи, який визначає її стійкість:

$$C(z, n) = \frac{A(z, n) - F_c(z, n)B(z, n)}{1 - F_c(z, n)} \quad (4)$$

де $F_c(z, n)$ – передаточна функція алгоритму управління;

z – часовий оператор.

Для забезпечення другого порядку астатизму системи оцінювання та додаткового вагового коефіцієнта каналу управління визначим поліноми [5]:

$$\begin{aligned} A(z, n) &= (1 - z^{-1})^2(1 + a_1(n)z^{-1}), \\ B(z, n) &= b_0(1 - z^{-1})^2(1 + a_1(n)z^{-1}), \end{aligned} \quad (5)$$

де $a_1(n), b_0(n)$ – вагові коефіцієнти.

З умови [5]:

$$A(z, n) = 1 - F_c(z, n)$$

розраховується передаточна функція алгоритму управління:

$$F_c(z, n) = (2 - a_1(n))z^{-1} + (2a_1(n) - 1)z^{-2} - a_1(n)z^{-3}. \quad (6)$$

На підставі виразу (4) визначається характеристичний поліном замкненої системи:

$$C(z) = 1 - b_0(n)(2 - a_1(n))z^{-1} - b_0(n)(2a_1(n) - 1)z^{-2} + b_0(n)a_1(n)z^{-3}. \quad (7)$$

Підставивши співвідношення (5)–(7) в рівняння (3) отримаємо алгоритми оцінювання та управління відповідно:

$$\begin{aligned} x(n) &= K(n)\tilde{u}(n) + x_c(n), \\ x_c(n) &= (2 - a_1(n))x(n-1) + (2a_1(n) - 1)x(n-2) - a_1(n)x(n-3), \end{aligned} \quad (8)$$

де $x(n)$ – оцінка вхідної дії;

$x_c(n)$ – екстрапольоване значення вхідної дії.

Для розрахунку оптимальних значень коефіцієнтів $a_1^{opt}(n)$ звернемося до виразу для помилки спостереження [5]:

$$C(z, n)\tilde{u}(n) = A(z, n)x(n). \quad (9)$$

Звідси маємо:

$$\tilde{u}_n(n) = C_{(-1)}(z, n)\tilde{u}_n(n) + A(z, n)x(n), \quad (10)$$

де поліном $C_{(-1)}(z, n)$ – це поліном $C(z, n)$ без вільного доданку.

З рівняння (10) визначаються вільна $\tilde{u}_n(n)$ та примусова $\tilde{u}_{np}(n)$ складові динамічної помилки в перехідному режимі:

$$\begin{aligned} C_{(-1)}(z, n)\tilde{u}_n(n) &= \tilde{u}_n(n), \\ A(z, n)x(n) &= \tilde{u}_{np}(n). \end{aligned} \quad (11)$$

Обидві складові залежать від коефіцієнтів $a_1(n)$, але суперечним чином. Тому існують оптимальні значення коефіцієнтів $a_1^{opt}(n)$, що задовольняють критерію (2).

Для розрахунку мінімальних значень V_{min} критерія якості I вводяться вагові коефіцієнти G та F за вільною та примусовою складовими відповідно.

Із (10), з урахуванням (5) та (7), отримаємо таке різницеве рівняння:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_n(n) &= l_1\tilde{u}_n(n-1) + l_2\tilde{u}_n(n-2) - l_3\tilde{u}_n(n-3) + \\ &+ x(n) - (2 - a_1(n))x(n-1) - (2a_1(n) - 1)x(n-2) + a_1(n)x(n-3), \end{aligned} \quad (12)$$

де $l_1 = 2b_0(n) - a_1(n)b_0(n)$;

$l_2 = 2a_1(n)b_0(n) - b_0(n)$;

$l_3 = b_0(n)a_1(n)$.

Враховуючи те, що канал спостереження описується виразом $\tilde{e}_n(n) = x(n) - x_c(n)$, отримаємо перехідну складову помилки в початковий момент часу:

$$\tilde{u}_n(0) = x(0) - x_c(0) = x_0.$$

Через те, що в праву частину рівняння (12) входить множник $x(n) = 0$ при $n = 1, 2, 3$, то з даного виразу отримаємо таких три рівняння:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_n(1) &= l_1 x(0) + [a_1(1) - 2] x(0), \\ \tilde{u}_n(2) &= l_1 \tilde{u}_n(1) + l_2 \tilde{u}_n(0) + [1 - 2a_1(2)] x(0), \\ \tilde{u}_n(3) &= l_1 \tilde{u}_n(2) + l_2 \tilde{u}_n(1) - l_3 x(0) + a_1(3) x(0). \end{aligned}$$

Доданки, що вміщують $\tilde{u}_n(n)$, в правій частині утворюють вільну складову помилки, а $x(0)$ – примусову.

Для квадратів помилок маємо:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_n^2(1) &= [l_1 \tilde{u}_n(0)]^2 + [a_1(1) - 2]^2 x^2(0) F_1, \\ \tilde{u}_n^2(2) &= \{ [l_1 \tilde{u}_n(1)]^2 + [l_2 \tilde{u}_n(0)]^2 \} \Gamma_2 + [1 - 2a_1(2)]^2 x^2(0) F_2, \\ \tilde{u}_n^2(3) &= \{ [l_1 \tilde{u}_n(2)]^2 + [l_2 \tilde{u}_n(1)]^2 + [l_3 \tilde{u}_n(0)]^2 \} \Gamma_3 + a_1^2(3) x^2(0) F_3. \end{aligned}$$

Далі розв'язання задачі ґрунтується на принципі оптимальності Белмана, згідно з яким кожне наступне оптимальне значення коефіцієнта $a_i(n)$ визначається відносно попереднього стану, що отримано оптимальним чином [6]. Кількість кроків оптимізації визначається порядком характеристичного полінома.

На першому кроці оптимізації маємо:

$$V_1 = \min \{ \tilde{u}_n^2(1) \}.$$

З рівняння:

$$\frac{dV_1}{da_1(1)} = 0,$$

за умови:

$$F_i + \Gamma_i = 1,$$

маємо:

$$a_1^{opt}(1) = 2. \tag{13}$$

Тому

$$\tilde{u}_n^2(1)^{opt} = [2b_0(1) - a_1^{opt}(1)b_0(1)]^2 x^2(0)\Gamma_1 + [a_1^{opt}(1) - 2]^2 x^2(0)F_1.$$

Другий крок:

$$V_2 = \min \{ \tilde{u}_n^2(2) \}.$$

З рівняння:

$$\frac{dV_2}{da_1(2)} = 0$$

визначаємо:

$$a_1^{opt}(2) = \frac{2b_0^2(2)\tilde{u}_n^2(1)^{opt}\Gamma_2 + 2x^2(0)[b_0^2(2)\Gamma_2 + F_2]}{b_0^2(2)\tilde{u}_n^2(1)^{opt}\Gamma_2 + 4x^2(0)[b_0^2(2)\Gamma_2 + F_2]}. \tag{14}$$

Третій крок:

$$V_3 = \min \{ \tilde{u}_n^2(3) \}.$$

З рівняння

$$\frac{dV_3}{da_1(3)} = 0$$

визначаємо :

$$a_1^{opt}(3) = \frac{2b_0(3)\Gamma_3 [\tilde{u}_n^2(2)^{opt} + \tilde{u}_n^2(1)^{opt}]}{b_0^2(3)\Gamma_3 [\tilde{u}_n^2(2)^{opt} + 4\tilde{u}_n^2(1)^{opt}] + x^2(0)[b_0^2(3)\Gamma_3 F_3]}. \tag{15}$$

Таким чином, з метою покращення якості перехідного процесу системи оцінювання [3] під час захвату ЛО на супроводження оптимальні значення коефіцієнтів $a_1(1), a_1(2), a_1(3)$ розраховуються за виразами (13)–(15). При цьому ваговий коефіцієнт основного блоку

фільтрації приймає значення, що відповідає найкращій фільтрації. При $n > 3$ коефіцієнт $a_1(n)$ приймає значення, яке належить області стійкості, а $K(n)$ розраховується за алгоритмом, розробленим в [3].

Оцінка ефективності синтезованого алгоритму здійснювалась шляхом математичного моделювання на ПЕОМ з темпом обробки інформації 0,1 с за вхідною дією $x_0 = 30$ умовних величин. Коефіцієнти $a_1(n)$ приймали значення: 2; 0,5; 0 відповідно. Результати моделювання у вигляді перехідних процесів неоптимального та оптимального алгоритмів наведені на рис. 1–2.

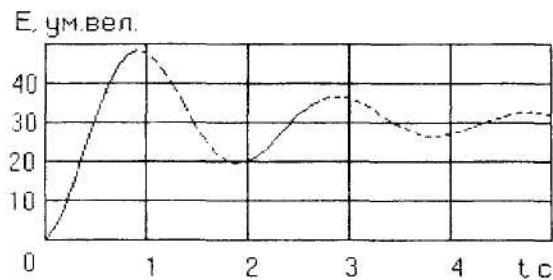


Рис. 1

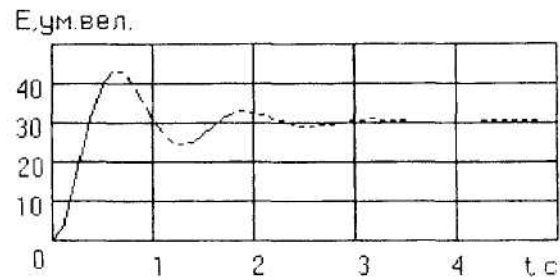


Рис. 2

З отриманих результатів видно, що час регулювання зменшився з 5 с до 2,5 с, а перерегулювання – з 60 % до 46 %. Середньоквадратичне значення помилки оцінки зменшилось з 8,9 до 5,6 умовних величин.

Таким чином, застосування додаткових вагових коефіцієнтів $a_1(n)$, що визначаються за виразами (13)–(15), дозволяє покращити показники якості перехідного процесу та підвищити динамічну точність в перехідному режимі в 1,6 раза, що важливо в системах обробки інформації, особливо при видачі цілепоказників системи оцінювання при захваті ЛО на супроводження.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гриценко Н.С., Гусаров А.І., Севастьянов К.К. Адаптивное оценивание. Часть 1 // Зарубежная радиоэлектроника. – 1983. – № 7. – С. 3–27.
2. Гриценко Н.С., Гусаров А.І., Логинов В.П., Севастьянов К.К. Адаптивное оценивание. Часть 2 // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 3. – С. 3–26.
3. Ищенко В.И., Зимчук И.В. Адаптивный алгоритм оценивания состояния динамических объектов // Радиоэлектроника. – 1999. – № 9. – С. 72–75.
4. Первачёв С.В., Перов А.И. Адаптивная фильтрация сообщений. – М.: Радио и связь. 1991. – 160 с.
5. Пушкарёв 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. 38–48.
6. Пушкарёв Ю.А. Анализ и синтез дискретных систем оценивания. – Житомир: ЖВУРЭ ПВО, 1989. – 326 с.
7. Шлома А.М., Волчков В.П. Синтез скользящих адаптивных алгоритмов фильтрации в условиях нестационарной параметрической неопределённости // Радиотехника и электроника. – 1985. – № 11. – С. 2184–2188.

ЗИМЧУК Ігор Валерійович – кандидат технічних наук, викладач Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– адаптивні алгоритми оцінювання для сучасних інформаційно-керуючих систем.

ИЩЕНКО Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– алгоритми оцінювання та управління для сучасних інформаційно-керуючих систем.