

С.В. Ковбасюк, О.О. Писарчук

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ЗГЛАДЖУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ ЛІТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ НАЯВНОСТІ АНОМАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Розглянуто алгоритм згладжування траєкторії руху літального об'єкту на базі методу найменших квадратів, який адаптується до кількості аномальних вимірювань, що йдуть підряд. Наведені результати математичного моделювання.

При спостереженні літальних об'єктів з балістичною траєкторією руху (далі – ЛО) радіолокаційними станціями (РЛС) необхідним є дотримання вимог щодо характеристик точності вихідної інформації. Точність радіотехнічної системи визначається конструктивними можливостями, алгоритмами обробки вхідної інформації, а також якістю останньої.

Під якістю вхідної інформації слід розуміти підтримання у визначених межах допустимих значень вимірювань. Для РЛС вхідною інформацією є радіолокаційні вимірювання параметрів траєкторії руху ЛО, а обробка вхідної інформації, зокрема згладжування, є розв'язком статистичної задачі. Тоді під якістю вхідної інформації слід розуміти підтримання по всій вибірці у визначених межах статистичних характеристик отриманих значень.

Практика статистичної обробки вимірювальної інформації показує, що серед великої кількості вимірювань можуть бути окремі, значення яких різко відрізняються від решти. Такі вимірювання називають аномальними (АВ) [1]. Причинами появи АВ можуть бути:

- зміна умов розповсюдження радіохвиль;
- збій в роботі апаратури РЛС;
- збій при математичній обробці результатів вимірювань;
- збій при передачі даних по мережах зв'язку.

Аномальні вимірювання порушують статистичний характер траєкторної інформації, тобто знижують її якість, що призводить до погіршення характеристик точності РЛС.

Таким чином, при обробці вимірювальної інформації слід зменшувати вплив АВ. Розв'язок цієї задачі містить у собі розв'язок двох підзадач, а саме:

- вияв АВ;
- боротьба з АВ.

Будемо вважати, що розв'язок першої підзадачі отримано з використанням будь-якого алгоритму, що наведені у роботах [1, 3, 5]. Можливі варіанти розв'язку другої підзадачі будуть розглянуті у запропонованій роботі.

Метою статті є розробка алгоритму згладжування параметрів траєкторії на базі методу найменших квадратів (МНК), що адаптується до аномальних вимірів, які йдуть підряд.

Згладжування параметрів траєкторії взагалі може бути здійснене з використанням ітераційних алгоритмів (наприклад, фільтр Калмана [2]) або з використанням алгоритмів згладжування по усьому обсягу вибірки вимірювань (наприклад, МНК [4]). Всі алгоритми, що будуть розглянуті, орієнтовані на використання МНК як більш точного метода в порівнянні з ітераційними.

З метою зниження впливу АВ на точність згладжування традиційно прийнято усувати їх з поточної обробки [1, 3, 5]. Тобто виявлені АВ вилучаються з експериментальної вибірки, після чого здійснюється згладжування з дотриманням відповідності масштабу часу. Такий метод зниження впливу АВ використовується як для ітераційного згладжування, так і для згладжування по усьому обсягу вимірювань.

Однак відкидання АВ зменшує обсяг експериментальної вибірки, що знижує точність вихідної інформації.

Усунути недоліки традиційного методу можна, використовуючи додаткові оцінки вимірювань замість аномальних.

Отримання додаткових оцінок вимірювань ускладнюється імовірністю появи декількох АВ, які йдуть підряд, що трапляється нерідко. Тому слід розглядати окремо ситуації:

- 1) нема АВ, що йдуть підряд;
- 2) є АВ, що йдуть підряд.

З метою отримання додаткових оцінок вимірювань замість аномальних в умовах першої ситуації розроблено низку алгоритмів.

Нехай отримано три вимірювання, одне з яких, наприклад, друге, аномальне (рис. 1).

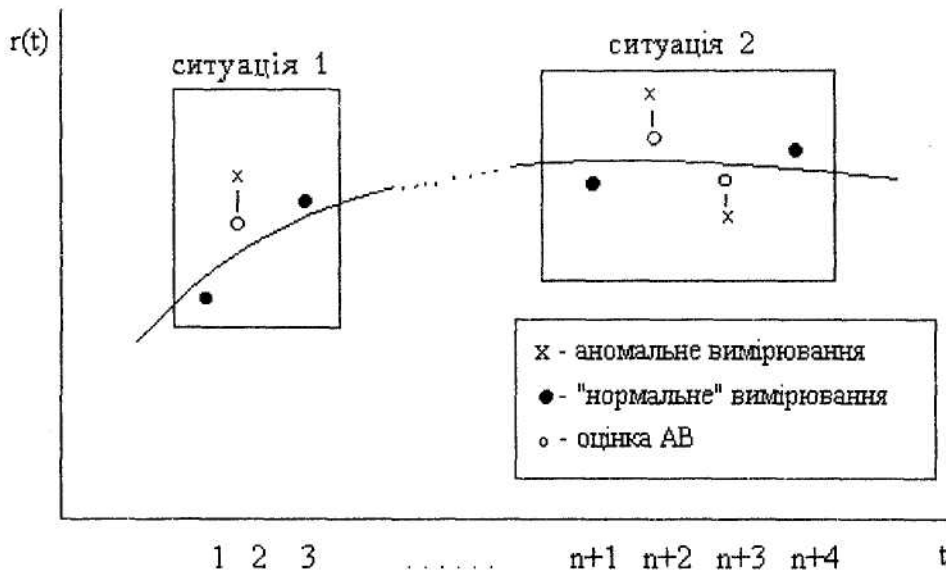


Рис. 1

Знайдемо оцінку другого вимірювання без використання його виміряного значення, застосувавши метод середньозважених [2]:

$$\hat{X}_{аві} = \frac{X_{нві-1} + X_{нві+1}}{2}, \tag{1}$$

де $\hat{X}_{аві}$ – оцінка аномального вимірювання;

$X_{нві}$ – «нормальне» вимірювання.

Можна використовувати МНК [4] для згладжування всієї вибірки вимірювань за винятком АВ, котрі вилучаються із обробки. Компенсувати їх відсутність має збільшення ваги сусідніх вимірювань у 1,5 раза (рис. 1, виміри 1, 3).

МНК оцінка може бути отримана згідно таких рівнянь:

$$\begin{aligned} \hat{C} &= (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} \bar{Z}, \\ \hat{Y} &= H \hat{C}, \end{aligned} \tag{2}$$

де \bar{Z} – вектор отриманих вимірювань;

H – матриця значень ортогональних поліномів;

R – вагова матриця;

\hat{C} – вектор коефіцієнтів згладжуючого полінома;

\hat{Y} – вектор згладжених параметрів траєкторії.

Результати досліджень показали, що більшу ефективність має алгоритм, який описаний першим, він і буде використаний далі.

При появі декількох АВ, що йдуть підряд (ситуація 2), описані алгоритми не можуть бути використані. В цьому разі слід використовувати алгоритм, в якому здійснюється оцінка АВ без урахування їх виміряних значень з використанням МНК (рис. 2). При цьому модель траєкторії приймається лінійною завдяки малому інтервалу згладжування, а вимірювальна сітка має вигляд:

X_i	$-n$	$-(n-1)$...	0
-------	------	----------	-----	---

де X_i – моменти часу, в які отримані вимірювання;

n – загальна кількість вимірювань у вибірці.

Проводились дослідження щодо використання квадратичної моделі траєкторії, які показали, що ефективність алгоритму при цьому знижується.

Після отримання додаткових оцінок замість АВ здійснюється середньозважене згладжування ковзним вікном та використовується МНК по всій вибірці вимірювань. При цьому використовується вимірювальна сітка у вигляді:

X_i	$-(n-1)/2$...	0	...	$(n-1)/2$
-------	------------	-----	---	-----	-----------

Модель траєкторії приймається квадратичною.

Враховуючи, що АВ виявлені, а також є імовірність присутності двох описаних ситуацій, алгоритм, що розробляється, повинен бути адаптивним та мати вигляд, зображений на рис.2.

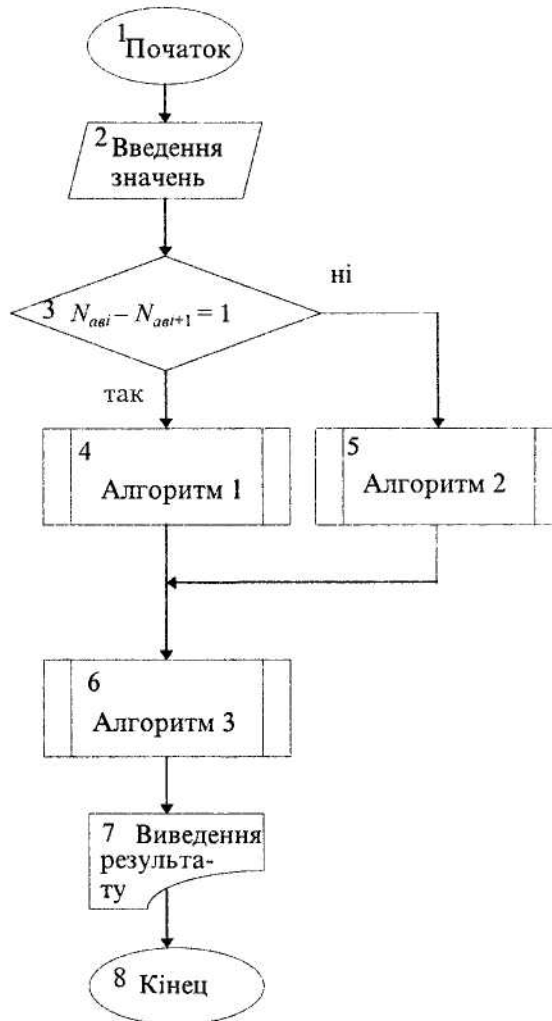


Рис. 2

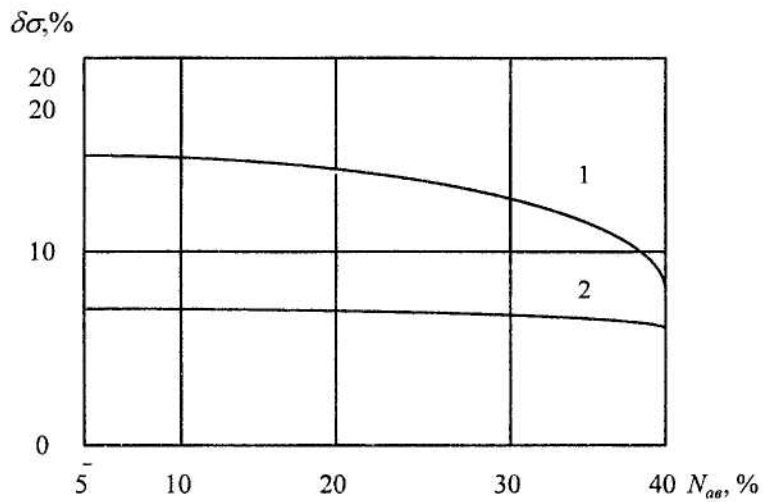


Рис. 3

При надходженні вимірювань параметрів руху ЛО, а також інформації про номери АВ у вибірці (блок 2) перевіряється виконання умови блоку 3, тобто є чи ні АВ, що йдуть підряд, де $N_{авi}$, $N_{авi+1}$ – їх номери у вибірці. При наявності АВ, що йдуть підряд, використовується алгоритм 2 (блок 5), інакше використовується алгоритм 1 (блок 4). До відновленої вибірки вимірювань застосовується обробка з використанням ковзного вікна та МНК по всій вибірці (алгоритм 3, блок 6). Робота всього алгоритма завершується виведенням вихідної інформації, тобто згладжених параметрів траєкторії.

Таблиця 1

$N_{ав}$, %	Інтервал згладжування	
	середина	кінець
5	7,4	15,4
10	7,2	15,0
20	7,0	14,1
30	6,7	11,6
40	6,0	7,6

Ефективність використання розробленого алгоритма оцінювалась за результатами математичного моделювання.

Порівняння проводилось із звичайним МНК при усуненні АВ з обробки. Результати досліджень наведені на рис. 3 і в табл. 1.

На рис.3 представлена залежність відносного виграшу у точності згладжування $\delta\sigma$ при використанні розробленого алгоритму від кількості АВ у вибірці $N_{ав}$. Цифрами позначено: 1 – крива, яка характеризує точність оцінки координат на кінцях інтервалу згладжування; 2 – крива, яка характеризує точність оцінки координат у середині інтервалу згладжування.

Числове значення відносного виграшу наведено у табл. 1.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок: розроблений алгоритм забезпечує підвищення точності згладжування за умов присутності АВ незалежно від їх розташування по отриманій вибірці значень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Жданюк Б.Ф.* Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Сов. радио, 1978. – 384 с.
2. *Кузьмин С.З.* Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1967. – 399 с.
3. *Саврасов Ю.С.* Алгоритмы и программы в радиолокации. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с.
4. *Сейдж Э., Мелс Дж.* Теория оценивания и её применение в связи и управлении / Пер. с англ. под ред. проф. Б.Р. Левина. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. *Чуров Е.П.* Спутниковые системы радионавигации. – М.: Сов. радио, 1977. – 392 с.

КОВБАСЮК Сергій Валентинович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– розробка та дослідження радіоелектронних інформаційних систем космічної інфраструктури.

ПИСАРЧУК Олексій Олександрович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– алгоритми обробки вимірювальної інформації однопунктними РЛС.