

УДК 681.5.03.033

А.А. Ковальчук, К.В. Садовый, А.А. Сосунов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

УТОЧНЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРИМИНАТОРА

Для эквивалентной флуктуационной характеристики дискриминатора проведена оценка одного из параметров – уровня дисперсии ошибки экстраполяции за пределами апертуры. Аналитическое выражение для оценки параметра получено исходя из условия, что вероятностью возвращения ошибки экстраполяции в пределы апертуры за характерное время функционирования следящих систем можно пренебречь.

Ключевые слова: эквивалентная статистическая характеристика дискриминатора, вероятность устойчивого сопровождения.

Введение

Постановка проблемы. При анализе и синтезе радиотехнических следящих систем широко используется понятие эквивалентных статистических характеристик дискриминатора – эквивалентной дискриминационной и эквивалентной флуктуационной характеристик [1, 2]. Для такого вида статистических характеристик в работе [1] предложен показатель качества – вероятность устойчивого сопровождения p_n . Этот показатель представляет собой вероятность нахождения ошибки экстраполяции к следующему радиоконтакту с воздушным объектом (ВО) в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора (рис. 1) и при отсутствии систематической ошибки может быть рассчитан аналитически [1]:

$$p_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \int_{-\frac{L_x}{2}}^{\frac{L_x}{2}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma_3^2}} dt, \quad (1)$$

где L_x – ширина апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора;

$\sigma_3^2 = D_3$ – дисперсия ошибки экстраполяции координаты Δx_3 воздушного объекта.

Для определения ширины эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора L_x необходимо проведение объемного статистического исследования.

Главным критерием при подборе зависимости эквивалентного размера апертуры L_x от отношения сигнал/шум q , что гарантирует возможность использования формулы (1) для оценки вероятности отсутствия срыва сопровождения, должно быть совпадение результатов статистических испытаний на устойчивость сопровождения системы с реальным дискриминатором (рис. 1) и аналитических расчетов по формуле (1).

Таким образом переход от реальных статистических характеристик дискриминатора к эквивалентным трудоемкий и по возможности его следует избегать.

Тем не менее такая работа компенсируется главным удобством при использовании эквивалентных характеристик в исследованиях – чрезвычайной простотой определения момента срыва сопровождения [3, 4, 5]. Если ошибка экстраполяции в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики, то ВО сопровождается, если за пределами апертуры – происходит срыв сопровождения.

В исходной работе по эквивалентным характеристикам [1] уровень дисперсии ошибки V_f за пределами апертуры не использовался и определялся косвенно.

Предполагалось, что он достаточно большой, и возможностью повторного возвращения ошибки в пределы апертуры можно пренебречь. Для исследования срыва сопровождения по одной из систем этого может быть и достаточно, однако совершенно недостаточно при моделировании совместного функционирования всех следящих систем.

Целью данной статьи и является получение количественного значения уровня дисперсии ошибки V_f за пределами апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики.

Результаты исследований

Для получения количественных оценок будем использовать аппарат конечных цепей Маркова с дискретным временем. Определим состояния S_j , $j = 1, 2$:

S_1 – ошибка экстраполяции в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики;

S_2 – ошибка экстраполяции за пределами апертуры.

Граф переходов модели представлен на рис. 2.

Вероятность p_2 остаться в состоянии S_2 подлежит определению, так как через нее рассчитыва-

ється уровень дисперсии $V_f = \sigma_f^2$. Значение этой вероятности должно быть таким, чтобы за характер-

ное время $T_{хар}$ функционирования следящих систем возвратом в состояние S_1 можно было пренебречь.

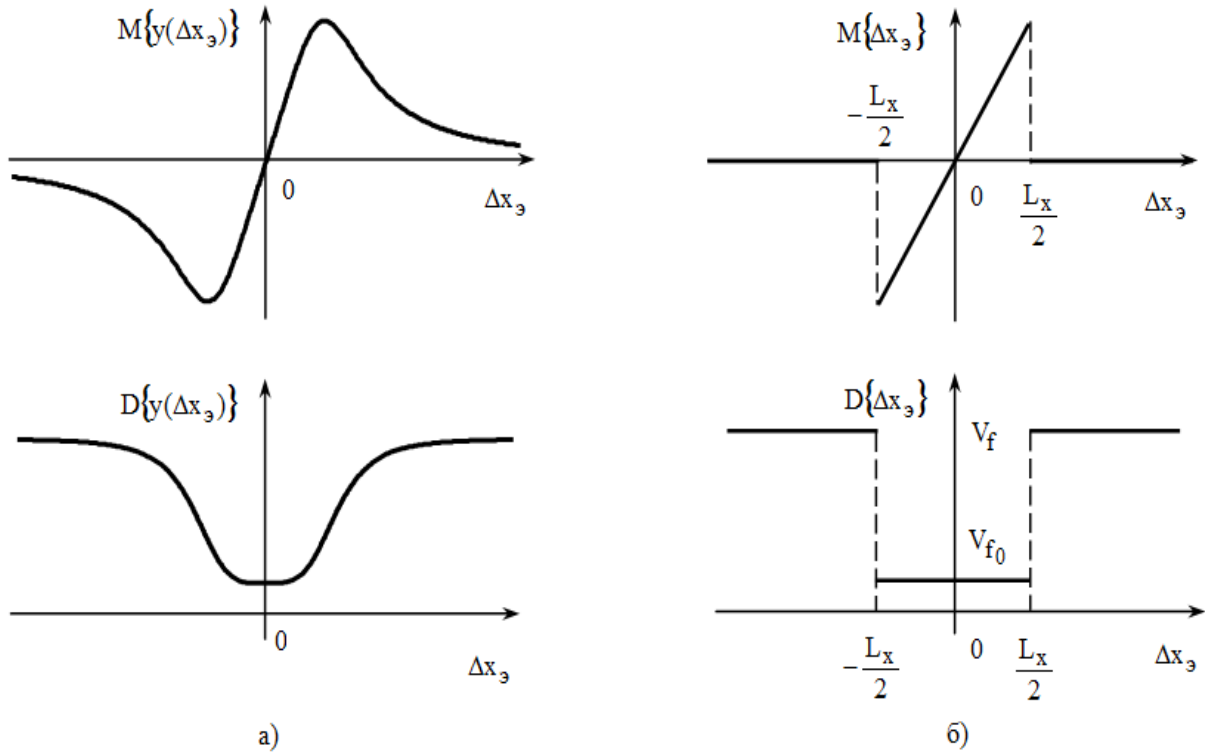


Рис. 1. Флуктуационні характеристики: а – реальні дискримінаційна і флуктуационні характеристики дискримінатора; б – еквівалентні дискримінаційна і флуктуационна характеристики дискримінатора

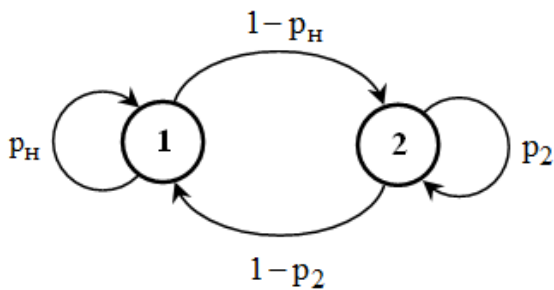


Рис. 2. Граф переходов модели

Для этого адаптируем известное правило "3σ" для случайной величины с геометрическим распределением.

Полагаем, что вероятность нахождения в состоянии 2 характерное время $T_{хар}$ [6] такая же как и вероятность $p_{±3σ}$ попадания нормальной случайной величины в пределы интервала $±3σ$ от среднего:

$$(p_2)^{T_{хар}/T} = p_{±3σ} \approx 0,997, \quad (2)$$

где T – интервал времени экстраполяции.

Другое уравнение для вероятности p_2 находим из условия невыхода ошибки экстраполяции с дисперсией $V_f = \sigma_f^2$ в пределы апертюры [7]:

$$p_2 = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_f}\right), \quad (3)$$

где $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ – функция ошибок.

Используя (2) – (3), находим:

$$(p_{±3σ})^{T/T_{хар}} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_f}\right) \quad (4)$$

После математических преобразований выражения (4) получаем окончательное выражение для уровня дисперсии $V_f = \sigma_f^2$ за пределами апертюры эквивалентной флуктуационной характеристики дискриминатора:

$$V_f = \sigma_f^2 = \left(\frac{L_x}{2\sqrt{2} \cdot \operatorname{erf}^{-1}\left(1 - (p_{±3σ})^{T/T_{хар}}\right)} \right)^2. \quad (5)$$

Следует отметить, что уровень дисперсии V_f за пределами апертюры зависит от отношения сигнал/шум, так как от этого отношения зависит эквивалентный размер L_x дискриминационной характе-

ристики дискримінатора. По результатам статті можна зробити ряд висновків.

Висновки

1. Перехід від реальних статистичних характеристик дискримінатора до еквівалентних потребує об'ємного статистичного дослідження і тому не завжди бажаний.

2. При дослідженні явища сльому супроводження такої перехід компенсується незвичайною простотою визначення моменту сльому супроводження.

3. В вихідних роботах передбачалося, що рівень дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури еквівалентної характеристики дискримінатора достатньо високий і можливістю повторного входження помилки в межі апертури можна пренебрати.

4. При дослідженні сльому супроводження по одній з координат цього, можливо, і достатньо, однак абсолютно недостатньо при моделюванні спільного функціонування слідючих систем по всім координатам.

5. В роботі отримано аналітичне вираження для рівня дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури еквівалентної характеристики дискримінатора, виходячи з того, що ймовірністю повернення помилки екстраполяції в межі апертури за характерний час функціонування слідючих систем можна пренебрати.

Список літератури

1. Хисматулін В.Ш. Оцінка ймовірності надійного супроводження аеродинамічних цілей багатоканаліювальною радіолокаційною станцією / В.Ш. Хисматулін, І.І. Сачук, А.А. Ковальчук // *Авіаційно-космічна техніка і технологія. Державний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського "ХАІ"*. – 2001. – Вип. 22. – С. 259 – 262.

2. Хисматулін В.Ш. Оцінка стійкості супроводження цілей з допомогою еквівалентного розміру апертури характеристики дискримінатора. / В.Ш. Хисматулін, А.А. Ковальчук, А.А. Сосунів, І.І. Сачук // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 125 – 132.

3. Ковальчук А.А. Постановка задачі оптимізації пропускної спроможності багатоканаліювальної РЛС з фазованою антенною решіткою шляхом управління довжиною інтервала часу між радіоконтактами / А.А. Ковальчук, Ю.Є. Парфенов, А.А. Сосунів, В.Ш. Хисматулін // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 76 – 83.

4. Ковальчук А.А. Оцінка потенціальної пропускної спроможності багатоканаліювальної РЛС з фазованою антенною решіткою для підсистеми автосупроводження по кутовій координаті / А.А. Ковальчук, І.І. Сачук, А.А. Сосунів // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2005. – Вип. 5. – С. 35 – 37.

5. Клівець С.І. Порівняльна оцінка показника якості підсистеми автосупроводження за дальністю багатоканаліювальної РЛС з фазованою антенною решіткою двома моделями. / С.І. Клівець, О.В. Коломійцев, О.О. Сосунів // *Системи озброєння і військової техніки*. – Х.: ХВУ, 2008. – Вип. 3 (15). – С. 116 – 118.

6. Боровков А.А. Теорія ймовірностей / А.А. Боровков. – М.: Наука, 1986. – 432 с.

7. Ширяєв А.Н. Вероятность / А.Н. Ширяев. – М.: Наука, 1980. – 320 с.

Надійшла в редакцію 26.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Бараннік, Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

УТОЧНЕНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРИМІНАТОРА

А.О. Ковальчук, К.В. Садовий, О.О. Сосунів

Для еквівалентної флуктуаційної характеристики дискримінатора проведена оцінка одного з параметрів – рівня дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури. Аналітичний вираз для оцінки параметра отриманий виходячи з умови, що ймовірністю повернення помилки екстраполяції у межі апертури за характерний час функціонування слідючих систем можливо знехтувати.

Ключові слова: еквівалентна статистична характеристика дискримінатора, ймовірність стійкого супроводження.

IMPROVED PARAMETER ESTIMATION OF DISCRIMINATOR EQUIVALENT FLUCTUATION RESPONSE

A.A. Kovalchuk, K.V. Sadoviy, A.A. Sosunov

For discriminator equivalent fluctuation response the estimation of one of parameters – level of dispersion of extrapolation error is obtained outside an aperture. Analytical expression of parameter estimation is got by means a condition that the probability of returning of extrapolation error in aperture borders for characteristic time of functioning of tracking systems is negligible.

Keywords: equivalent statistical discriminator response, probability of steady tracking