

УДК 681.396.96:681.32

В.Д. Карлов¹, Н.Н. Петрушенко², А.В. Челпанов¹, К.П. Квиткин¹¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков²Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница**СОПРОВОЖДЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

Рассматриваются возможности повышения эффективности селекции отметок от целей при радиолокационном сопровождении в условиях помех. Для этого предлагается использовать непараметрический метод анализа составляющих текущих ошибок фильтрации, в частности, значений невязок.

Ключевые слова: сопровождение целей, ошибки фильтрации, селекция отметок.

Введение

Постановка проблемы. При сопровождении целей в условиях воздействия активных и пассивных помех значительно возрастает число ложных отметок (радиолокационных измерений). Кроме того, ложные отметки могут появляться при превышении порога боковыми остатками сжатого широкополосного сигнала. Вследствие этого актуальной является задача правильной селекции отметок в стробе отождествления, что позволит повысить устойчивость сопровождения цели и точность построения параметров траектории.

Анализ литературы. Селекция отметок может быть осуществлена с использованием различных методов (критериев). К небайесовским критериям селекции следует отнести: значения коэффициентов правдоподобия принадлежности поступивших отметок сопровождаемым траекториям [1]; значения функций правдоподобия траекторий, разветвляющихся за счет ложных отметок, среди которых выбирается одна или несколько наиболее вероятных [2].

Оптимальное байесовское решение дает алгоритм расчета апостериорных вероятностей всех возможных вариантов (ветвей) построения траектории цели из полученных отметок [3]. Для отождествления отметок с траекторией сопровождения может быть использована сигнальная информация – измеренные значения параметров отметок: амплитуды и радиальной скорости [3, 4]. При этом отметки с большей амплитудой получают больший «вес», а измеренные значения радиальной скорости отметки учитываются по степени ее близости к скоростному параметру сопровождаемой траектории.

Цель статьи: рассмотрение возможности селекции отметок от сопровождаемых целей с использованием непараметрических методов анализа ошибок фильтрации радиолокационных измерений.

Основная часть

В задаче отождествления отметок с траекторией цели необходимо правильно выбрать величину корреляционного строба сопровождения, которая определяется ошибками измерения параметров от-

метки (δx), ошибками экстраполяции (δx_3) и возможным ускорением цели (a). Для одномерного случая для гауссовского закона распределения эти ошибки характеризуются соответствующими дисперсиями σ_x^2 , $\sigma_{x_3}^2$ и σ_a^2 . При этом дисперсия отклонения отметки от траектории цели в k -ом цикле сопровождения с периодом T будет определяться, как

$$S_k = \sigma_{xk}^2 + \sigma_{x_3k}^2 + \frac{1}{4} \sigma_a^2 T^4. \quad (1)$$

Степень отклонения отметки от траектории цели характеризуется величиной невязки Z_k – модулем разности между измеренным параметром отметки и экстраполированным значением параметра траектории в k -ом цикле сопровождения:

$$Z_k = |x_k - x_{3k}|.$$

Закон распределения величины невязки Z при этом может быть представлен, как

$$W_{(z)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{s}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2s}\right\}. \quad (2)$$

Тогда размер строба сопровождения определится как

$$\Delta s_k = c \cdot \sqrt{s_k}, \quad (3)$$

где c – некоторая константа, определяющая вероятность попадания отметки в строб ($c = 2 \dots 3$).

Для отождествления m_k отметок, попавших в строб сопровождения Δs_k оптимальный фильтр сопровождения должен выдавать оценку условного среднего параметра траектории для k -го цикла сопровождения [3]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k/k} &= M\{x_k / X^k\} = \\ &= \sum_{j=1}^L \beta^{k,j} \cdot M\{x_k / J^{k,j}, X^k\} = \sum_{j=1}^L \beta^{k,j} \cdot \hat{x}_{k/k}^j, \end{aligned} \quad (4)$$

где x_k – измеренный параметр i -й отметки (из m_k) в k -м цикле сопровождения; X^k – совокупность отметок за k циклов сопровождения, использованных для построения данной траектории; $J^{k,j}$ – событие, состоящее в том, что j -я последовательность (ветвь), составленная из j -го набора из k отметок за все цик-

лы сопровождения, не имеет ложных отметок; $\beta^{k,j}$ – вероятность данного события; $\hat{x}_{k/k}^j$ – оценка параметра j -й траектории на k -й цикл сопровождения.

С увеличением времени сопровождения количество возможных траекторий, составленных из полученных за k циклов сопровождения отметок, значительно возрастает (процесс разветвляется), и увеличиваются вычислительные затраты на обработку.

Поэтому необходимо рассмотреть возможность использования субоптимальных методов селекции отметок при реализации алгоритмов сопровождения в условиях воздействия помех.

В частности, можно ограничиться при селекции отметками из N последних циклов сопровождения – в пределах «скользящего окна» от $n = k - N + 1$ до k . При этом уменьшается количество возможных вариантов выборок отметок (ветвей), которые подвергаются анализу на принадлежность к траектории сопровождаемой цели.

Кроме того, при реализации приведенных методов селекции предполагается, что ошибки измерения и, соответственно, значения невязок распределены по нормальному закону, но при наличии помех это условие часто не выполняется. Поэтому более эффективными могут быть непараметрические методы анализа [5].

Далее рассмотрим возможности селекции отметок с использованием ранжирования выборок ошибок фильтрации (невязок или их квадратичных форм) в пределах скользящего окна из циклов сопровождения размером N :

$$z_{ni}^j = |x_{ni} - x_{эni}^j|,$$

где i – номер невязки (отметки) в n -м цикле сопровождения; $i = 1, 2, \dots, m_n$; $n = k - N + 1; \dots, k$; j – номер последовательности (выборки), составленной из невязок, полученных в N последних циклах сопровождения; $j = 1, 2, \dots, L$.

Максимальное число возможных выборок

$$L_{\max} = \prod_{n=1}^N (1 + m_n).$$

Число выборок можно уменьшить, если использовать для анализа отметки с минимальными невязками ($m_n \leq 3$).

Таким образом формируются L выборок модульных значений невязок (для $i = 1, 2, \dots, m_n$):

$$z_{ni}^j = \left\{ \begin{matrix} z_{1i}^1; z_{2i}^1 \dots z_{Ni}^1 \\ \dots \\ z_{1i}^j; z_{2i}^j \dots z_{Ni}^j \\ \dots \\ z_{1i}^L; z_{2i}^L \dots z_{Ni}^L \end{matrix} \right\}. \quad (5)$$

При реализации непараметрических методов анализа осуществляется ранжирование значений невязок в выборках:

$$R_i^j = \sum_{m=k-N+1}^k \operatorname{sgn}(z_i^j - z_m^j) + \sum_{l=1}^{N(L-1)} \operatorname{sgn}(z_i^j - z_l^j) = R1_i^j + R2_i^j. \quad (6)$$

В данном случае для ранжирования используется составная выборки значений невязок – в составе исследуемой j -й (ранги $R1$) и опорной, в составе всех остальных $(L - 1)$ выборок (ранги $R2$).

Для принятия решения о том, какая выборка невязок (т.е. отметок, по которым они получены) с номером $j = d$ относится к сопровождаемой траектории, можно использовать ранговые тесты вида:

$$G^j = \sum_{i=1}^N R_i^j, \quad (7)$$

$$\text{тогда } j = d \text{ при } G^d = \min_{j \in L} \{G^j\}. \quad (8)$$

При выполнении условия (8) обеспечивается минимум суммарного отклонения измеренных значений (параметров отметок) от параметров траектории сопровождаемой цели.

В качестве составляющих выборок могут быть использованы квадратичные формы невязок:

$$Q_{ki}^j = (Z_{ki}^j)^2 / (2S_k), \quad (9)$$

где S_k определяется в соответствии с (1).

Дополнительным показателем качества отождествления отметок с траекторией является отсутствие расходимости j -й выборки невязок. Если значения невязок выборки уменьшаются с течением времени, это означает повышение устойчивости сопровождения. Поэтому для исследуемой выборки целесообразно использовать тест ранговой корреляции:

$$G^j = H \sum_{i=1}^N i \cdot R1_i^j + \sum_{i=1}^N R2_i^j, \quad (10)$$

где H – нормирующий коэффициент.

В этом случае среди выборок с минимальными значениями невязок более достоверной считается та, у которой отклонение параметров отметок от параметров траектории за время сопровождения уменьшается, то есть устойчивость фильтра повышается.

Далее осуществляется фильтрация последовательности отметок x^j , соответствующей отселектированной выборки минимальных невязок и уточняются параметры траектории цели. Для этого может использоваться линейный фильтр Калмана.

Выводы

При сопровождении цели в условиях помех более эффективными могут быть непараметрические методы селекции отметок, на основе анализа текущих ошибок фильтрации – значений невязок или их квадратичных форм.

Список литературы

1. Войтович С.А. Траекторна обробка локаційної інформації / С.А. Войтович, Х.А. Турсунходжаев. – Х.: ХУ ПС, 2008. – 112 с.

2. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВІЦ, 2000. – 428 с.

3. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 340 с.

4. Цифровая обработка радиолокационной инфор-

мации при сопровождении целей / А.М. Бочкарев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 3. – С. 3-22.

5. Лапий В.Ю. Устройства ранговой обработки информации / В.Ю. Лапий, А.Я. Калюжний, Л.Г. Красный. – К.: Техника, 1986. – 120 с.

Поступила в редколлегию 26.05.2010

Рецензент: д-р техн наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

СУПРОВОДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ПЕРЕШКОД

В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, А.В. Челпанов, К.П. Квіткін

Розглядаються можливості підвищення ефективності селекції відміток від цілей при радіолокаційному супроводженні в умовах перешкод. Для цього пропонується використовувати непараметричний метод аналізу складових поточних похибок фільтрації, зокрема, значень нев'язок.

Ключові слова: супроводження цілей, похибки фільтрації, селекція відміток.

SUPPORT OF THE RADAR-TRACKING PURPOSES IN THE CONDITIONS OF HINDRANCES

V.D. Karlov, N.N. Petrushenko, A.V. Chelpanov, K.P. Kvitkin

Possibilities of increase of efficiency of selection of marks from the purposes are considered at radar-tracking support in the conditions of hindrances. For this purpose it is offered to use a nonparametric method of the analysis of making current errors of a filtration, in particular, values it is nonviscous.

Keywords: support of the purposes, filtration errors, selection of marks.