

УДК 621.396.96

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИНЫ АВТОМОБИЛЯ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДАТЧИКЕ С ОБРАЩЕННЫМ СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Т.В. ФАМ, А.Е. ВИНОГРАДОВ, А.П. КУЛЬПАНОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 января 2003

Рассматриваются плотность вероятности межканальной разности результатов обработки и полная матрица условных вероятностей распознавания-измерения. Основой для разработки методики анализа является закон распределения межканальных разностей устройства распознавания-измерения.

Ключевые слова: радиолокация, распознавание, измеритель

Введение

Критерием качества работы любого измерителя является точность его измерений. В данном измерителе оценивание длины объекта производится косвенным методом с одновременным распознаванием классов и типов транспортных средств. Измеритель представляет собой многоканальную систему распознавания-измерения. Точность измерения определяется характеристиками этой системы. В данном случае характеристики качества работы измерителя определяются вероятностями правильного и ложного распознавания-измерения. Следовательно, основные характеристики качества работы измерителя — это вероятности правильного и ложного измерения длины какого-либо объекта D_k и F_k . В результате измерения формируется следующая информация: объект принадлежит k -му классу, имеет длину L с вероятностью правильного измерения D_k , измерение производилось при определенном наборе малоинформативных параметров.

Методика анализа характеристик

Полная матрица условных вероятностей распознавания-измерения [1] содержит вероятности правильного измерения, вероятности тревоги о наличии объекта k -го класса $F_{k/0}$.

Воспользуемся вспомогательной величиной — межканальной разностью $Z_{kl} = Z_{k0} - Z_{l0}; k, l = \overline{0, M}$, тогда любой показатель качества распознавания-измерения может быть сведен к расчету условных вероятностей вида

$$P(A_k^* / A_g) = P(Z_{k1/g} > 0, \dots, Z_{kl/g} > 0, \dots, Z_{km} > 0); l \neq k, \quad (1)$$

где $Z_{kl/g}$ — случайная величина Z_{kl} при наличии объекта g -го класса.

Правило [2] состоит в принятии решения об истинности k -й гипотезы при наличии k -го портрета. Логика распознавания-измерения отражает результаты сравнения случайных величин

Z_{k0} и Z_{l0} на выходах каналов измерителя. Если выполняется условие $Z_{kl} > 0$ при проверке k -й гипотезы для всех $l \neq k$, то принимается решение о ее истинности. Это решение соответствует правильному измерению длины объекта k -го класса. Согласно этой логике, вероятность правильного распознавания-измерения объекта k -го класса равна:

$$D_k = P(A_k^*/A_k) = \prod_{l \neq k} \int_0^{\infty} p_k(Z_{kl}) dZ_{kl}, \quad (2)$$

где $p_k(Z_{kl})$ — плотность вероятности случайной величины Z_{kl} при условии наличия объекта k -го класса.

Вероятность ложного распознавания-измерения объекта k -го класса описывается выражением:

$$F_k = \sum_{g \neq k} P(A_k^*/A_g) = \sum_{g \neq k} \prod_{l \neq k} \int_0^{\infty} p_g(Z_{kl}) dZ_{kl}, \quad (3)$$

Случайная величина Z_{kl} может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Следовательно, закон распределения случайных величин Z_{kl} является двухсторонним. В силу независимости комплексных амплитуд ξ_n закон распределения случайных величин Z_{kl} нормализуется с ростом числа N [3]. Поэтому будем считать случайную величину Z_{kl} нормально распределенной:

$$p_g(Z_{kl}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{kl/g}} \exp \frac{-(Z_{kl} - \overline{Z_{kl/g}})^2}{2\sigma_{kl/g}^2}, \quad (4)$$

где $\overline{Z_{kl/g}}$ — среднее значение случайной величины Z_{kl} при наличии объекта g -го класса; $\sigma_{kl/g}$ — среднее квадратичное значение случайной величины Z_{kl} при наличии объекта g -го класса.

В нашем случае, когда распознавание-измерение производится по азимутально-дальному портрету (АДРЛП), вследствие некоррелированности портретов их оптимальная обработка сводится к некогерентному взвешенному суммированию комплексных амплитуд. Согласно (4), плотность распределения случайной величины Z_{kl} при наличии портрета k -го класса имеет вид

$$p_k(Z_{kl}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{kl/k}} \exp \frac{-(Z_{kl} - \overline{Z_{kl/k}})^2}{2\sigma_{kl/k}^2}, \quad (5)$$

Введем понятие дифференциальной контрастности:

$$\Delta_{kl}^n = \frac{1 + \mu_{nk}}{1 + \mu_{nl}} - 1, \quad (6)$$

где μ_{nk} , μ_{nl} — относительная интенсивность амплитуды изображения АДРЛП в n -й диаграмме синтезированной антенне k -го и l -го портрета соответственно. При формировании АДРЛП в радиолокационном датчике (РЛД) с обращенным синтезом и полной фокусировкой апертуры антенны число этих диаграмм определяется шагом между отражателями, расположенными по длине объекта, а также условием наблюдения. Тогда среднее значение случайной величины Z_{kl} при наличии портрета k -го класса определяется выражением:

$$\overline{Z_{kl}} = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (\Delta_{kl}^n)^2, \quad (7)$$

а ее дисперсия вычисляется следующим образом:

$$\sigma_{kl}^2 = \sum_{n=1}^N \left(\frac{1 + \mu_{nk}}{1 + \mu_{nl}} - 1 \right)^2. \quad (8)$$

Следовательно, условная вероятность правильного распознавания объекта k -го класса определяется формулой

$$D_k = \prod_{l \neq k} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{kl/k}} \exp \left(-\frac{(Z_{kl} - \overline{Z_{kl/k}})^2}{2\sigma_{kl/k}^2} \right) dZ_{kl}, \quad (9)$$

Заменяя переменную интегрирования $t = (Z - \overline{Z}) / \sigma$, получаем:

$$D_k = \prod_{l \neq k} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{\overline{Z_{kl/k}}}{\sigma_{kl/k}} \right) \right], \quad (10)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — интеграл вероятности.

Вероятность ложного срабатывания k -го канала при наличии объекта g -го класса определяется как

$$F_{k/g} = \prod_{l \neq k} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{\overline{Z_{kl/g}}}{\sigma_{kl/g}} \right) \right]. \quad (11)$$

Тогда условная вероятность ложного распознавания-измерения объекта k -го класса:

$$F_k = \frac{1}{M-1} \sum_{k \neq g} F_{k/g}. \quad (12)$$

Одним из важных элементов задачи синтеза измерителя и разработки методики анализа его характеристик является точность формирования эталонов. В простом варианте при обработке АДРЛП эталоны имеют прямоугольную форму, их амплитуды одинаковые для всех элементов разрешения и определяются максимальным значением сигнальных составляющих портретов объектов своего класса. Фон в этом случае является белым шумом, причем $\sigma_{nf}^2 = \sigma_0^2$. Дисперсия фона определяется из условия обеспечения требуемого отношения сигнал/помех. В общем случае эталоны формируются с ошибками, поэтому для исследования работоспособности измерителя при наличии ошибок в дисперсии сигнальных составляющих эталонов и фона вводятся множители ошибки k_s и k_f соответственно.

Заключение

Таким образом, разработана методика анализа характеристик измерителя длины наземных объектов в радиолокационном датчике с обращенным синтезом апертуры антенны. Необходимо отметить, что предложенная методика достаточно проста и при адаптации АДРЛП к малоинформативным параметрам позволяет рассчитать вероятности правильного и ложного распознавания-измерения широкого перечня классов (типов) наземных объектов в конкретных условиях наблюдения.

TECHNIQUE OF THE ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF THE AUTOMOBILE LENGTH MEASUREMENT DEVICE THE IN THE RADIOLOCATION'S GAUGE WITH INVERSE APERTURE ANTENNA SYNTHESIS

T.V. PHAM, A.E. VINOGRADOV, A.P. KULPANOVICH

Abstract

Density of probability of an interchannel difference of processing results and complete matrix of conditional probabilities of recognition-measurement are considered. The basis for development of a technique of the analysis is the law of distribution of interchannel differences of the recognition-measurement device.

Литература

1. *Гейстер С.Р.* Адаптивное обнаружение-распознавание с селекцией помех по спектральным портретам. Мн., 2000.
2. *Охрименко А.Е.* Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1. Основы радиолокации. М., 1983.
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1962.