

УДК 621.396.96

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИНЫ АВТОМОБИЛЯ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДАТЧИКЕ С ОБРАЩЕННЫМ СИНТЕЗОМ И ПОЛНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Т.В. ФАМ, С.Р. ГЕЙСТЕР, 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 вопросы статистического синтеза измерителя радиолокационного датчика, использующего обращенный синтез апертуры антенны. Входной информацией алгоритма распознавания является азимутально-дальностный радиолокационный портрет автомобиля, формируемый при полной фокусировке апертуры антенны датчика.

*Ключевые слова:* радиолокация, распознавание, измеритель

### Введение

В основу формирования радиолокационного портрета (РЛП) наземного объекта (НО) положен обращенный синтез апертуры антенны, обеспечивающий высокое разрешение объекта в азимутальной плоскости. В этом случае при обработке отраженного сигнала в частотной области каждая точка объекта формирует отраженный сигнал на определенной доплеровской частоте. Значение этой частоты соответствует угловому положению точки относительно радиолокационного датчика (РЛД) с учетом радиальной скорости движения объекта. Азимутально-дальностный радиолокационный портрет (АДРЛП) формируется в результате перемножения отраженного сигнала и ряда компенсации набега фаз. В РЛД с полной фокусировкой синтезированной апертуры портрет представляет собой совокупность комплексных амплитуд сигналов, отраженных от различных точек объекта, и характеризует распределение отражающей способности объекта в азимутальной плоскости.

### Статистический синтез измерителя длины автомобиля

Параметры портрета в основном определяются размерами, вектором скорости движения и геометрическим расположением объекта относительно датчика, а также длиной волны и в общем случае шириной ДНА физической антенны датчика. Априорной информацией для классификации объектов являются ковариационные матрицы  $\mathbf{R}^k(\theta)$  [1] портретов, зависящие от количества и отражающих свойств узловых точек объектов каждого класса.

В результате экспериментальных исследований установлено, что многомерная плотность вероятности распределения комплексных амплитуд АДРЛП является нормальной. Для наземных объектов, коэффициент корреляции комплексных амплитуд сравнительно небольшой, и, следовательно, ковариационную матрицу  $\mathbf{R}^k(\theta)$  можно полагать диагональной. Тогда совместная плотность вероятности распределения комплексных амплитуд АДРЛП описывается выражением [2]

$$P_k(\xi_1, \xi_1^*, \dots, \xi_N, \xi_N^*) = \frac{I}{(2\pi)^N \det \mathbf{R}^{k0}(\theta)} \exp \left[ - \sum_{n=1}^N \frac{|\xi_n|^2}{2(\sigma_{nk}^2(\theta) + \sigma_{n0}^2(\theta))} \right], \quad (1)$$

где  $\sigma_{nk}^2(\theta)$  и  $\sigma_{n0}^2(\theta)$  — мощности (дисперсии) сигнальной и помеховой компонент соответственно в  $n$ -м элементе АДРЛП объекта  $k$ -го класса, которые зависят от вектора априорно неизвестных малоинформативных параметров  $\theta$ .

Задача уточнения статистической модели и определения характеристик АДРЛП НО может быть решена экспериментальным путем. Для статистических моделей АДРЛП наземных объектов малоинформативными параметрами являются скорость движения объекта, угловая ориентация автомобиля относительно РЛД, удаление датчика от дороги.

Параметры АДРЛП определяются размерами самого объекта. Длина НО закодирована в протяженности портрета. Следовательно, измерение длины объекта сводится к обработке АДРЛП в многоканальном устройстве распознавания-измерения с последующим сравнением результатов обработки, а задача измерения в данном случае может быть интерпретирована, как задача распознавания.

Выбор решающих правил в задаче распознавания, как и в задаче обнаружения, основан на формировании отношения правдоподобия. В основу синтеза измерителя может быть положен байесовский критерий минимума среднего риска. Согласно этому критерию решающее, правило измерителя имеет вид:

$$\text{если } \Lambda_{kl} = \frac{P_k(\xi_1, \dots, \xi_N)}{P_l(\xi_1, \dots, \xi_N)} > 1 \text{ для всех } l \neq k, \text{ то } A_k^*, \quad (2)$$

где  $\Lambda_{kl}$  — отношение правдоподобия портрета  $k$ -го класса на фоне портрета  $l$ -го класса;  $P_k(\xi_1, \dots, \xi_N)$  — многомерная плотность вероятности комплексных амплитуд портрета объекта  $k$ -го класса.

В результате предварительной обработки принятого сигнала должен быть сформирован АДРЛП в виде матрицы-строки совокупности  $N$  комплексных амплитуд  $\xi = \{\xi_1, \dots, \xi_N\}$  сигналов, относящихся к различным элементам разрешения по азимуту и являющихся случайными величинами. При отсутствии объекта портрет состоит из фоновой составляющей  $\xi = \xi_f = \{\xi_{1(f)}, \dots, \xi_{N(f)}\}$ , а при наличии объекта  $k$ -го класса,  $k = \overline{1, M}$ , — из аддитивной смеси сигнальной  $\xi_k = \{\xi_{1(k)}, \dots, \xi_{N(k)}\}$  и фоновой  $\xi_f$  составляющих, т.е.  $\xi = \xi_k + \xi_f$ .

Найдем более приемлемый для технической реализации алгоритм работы системы распознавания. Для этого разделим обе части (2) на многомерную плотность вероятности комплексных амплитуд портрета при отсутствии отраженного сигнала  $P_0(\xi_1, \dots, \xi_N)$  и прологарифмируем левую и правую части неравенства (2). В результате решающее правило может быть преобразовано к простому виду:

$$\text{если } z_k > z_l \text{ для всех } l = \overline{0, M}, l \neq k, \text{ то } A_k^*. \quad (3)$$

В решающем правиле (3) величины  $z_k$  и  $z_l$  являются результатом обработки портрета  $\xi_N$  в  $k$ -м и  $l$ -м канале устройства распознавания-измерения.

С учетом некоррелированности элементов портрета наземных объектов многомерная плотность вероятности портрета при отсутствии отраженного сигнала определяется выражением [3]:

$$P_0(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N) = \prod_{n=1}^N \frac{I}{4\pi\sigma_{n0}^2} \exp \left( - \frac{|\xi_n|^2}{2\sigma_{n0}^2} \right), \quad (4)$$

где  $\sigma_{n0}^2$  — дисперсия (мощность) помеховых составляющих принятого сигнала по элементам распознавания  $|\xi_{n0}|^2 = 2\sigma_{n0}^2$ . Многомерная плотность вероятности совокупности комплексных амплитуд портрета при наличии объекта  $k$ -го класса

$$P_k(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N) = \prod_{n=1}^N \frac{1}{4\pi(\sigma_{nk}^2 + \sigma_{n0}^2)} \exp\left(-\frac{|\xi_n|^2}{2(\sigma_{nk}^2 + \sigma_{n0}^2)}\right), \quad (5)$$

где  $\sigma_{nk}^2$  — дисперсия (мощность) составляющих  $k$ -го портрета по элементам распознавания  $|\xi_{nk}|^2 = 2\sigma_{nk}^2$ .

Согласно правилу (3), датчик с распознаванием и измерением должен включать в себя устройство пространственно-временной обработки, устройство автоматического обнаружения, устройство формирования АДРЛП, устройство оценки малоинформативных параметров и многоканальный измеритель длины. Структура радиолокационного датчика с распознаванием и измерением приведена на рис 1.

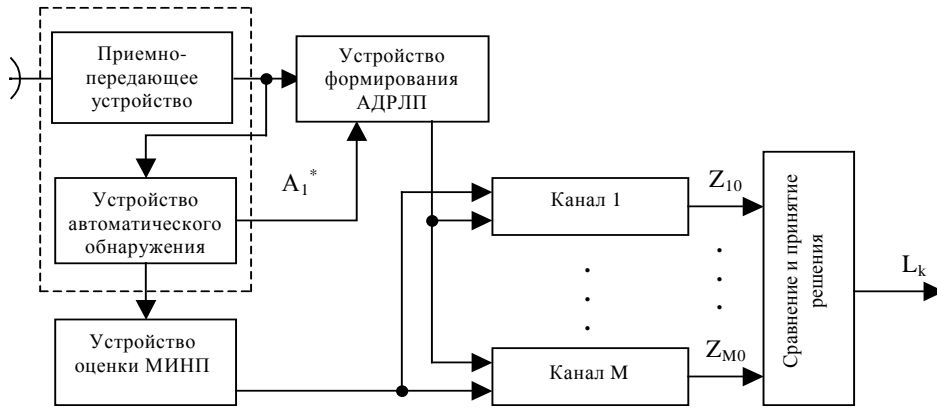


Рис 1. Обобщенная структурная схема РЛД с многоканальным устройством распознавания-измерения

Рассмотрим работу  $k$ -го канала оптимальной обработки портрета. Отношение правдоподобия, определяющее структуру канала обработки портрета  $k$ -го класса, имеет вид

$$A_{k0} = \frac{P_k(\xi)}{P_0(\xi)} = \prod_{n=1}^N \frac{\sigma_{n0}}{\sigma_{nk}^2 + \sigma_{n0}} \exp\left[\frac{|\xi_n|^2}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{n0}^2} - \frac{1}{\sigma_{nk}^2 + \sigma_{n0}^2}\right)\right] = \prod_{n=1}^N \frac{1}{\mu_{nk} + 1} \exp\left[\frac{\mu_{nk}}{\sigma_{n0}^2(1 + \mu_{nk})} \cdot |\xi_n|^2\right], \quad (6)$$

где  $\mu_{nk} = \frac{\sigma_{nk}^2}{\sigma_{n0}^2}$  — относительная интенсивность  $n$ -й комплексной амплитуды  $k$ -го портрета.

Откуда монотонно связанная с отношением правдоподобия величина  $Z_{k0}$  отношения правдоподобия определяется выражением

$$Z_{k0} = \ln A_{k0} = \sum_{n=1}^N B_{nk} |\xi_n|^2 + A_k, \quad (7)$$

где  $B_{nk} = \frac{\mu_{nk}}{2\sigma_{n0}^2(1 + \mu_{nk})}$  — весовые коэффициенты;  $A_k = \sum_{n=1}^N \ln\left(\frac{1}{1 + \mu_{nk}}\right)$  — слагаемое смещения.

Из алгоритма обработки (7) следует, что оптимальная обработка некоррелированных портретов сводится к их взвешенному накоплению со смещением. Весовые коэффициенты и сла-

гаемые смещения определяются априорно известными сведениями об эталонных портретах, т.е. сведениями об относительной интенсивности их комплексных амплитуд  $\mu_{nk}$ . Структура устройства, реализующего обработку в соответствии с алгоритмом (7), представлена на рис. 2.

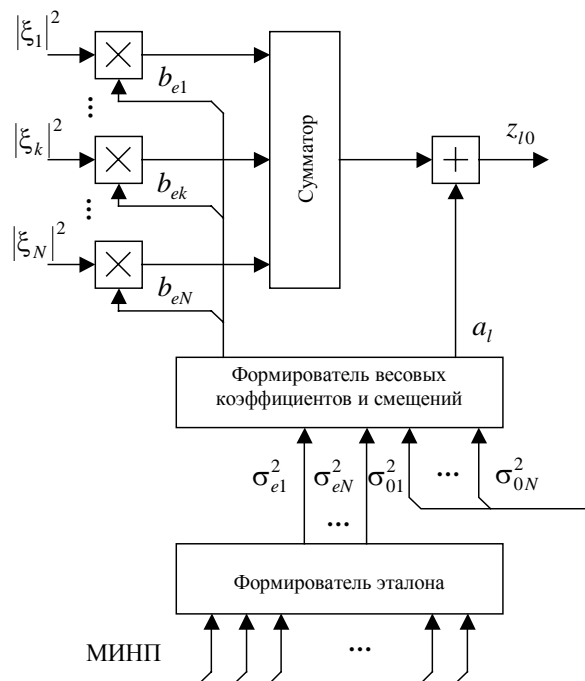


Рис 2. Структура  $k$ -го канала обработки портрета

### Заключение

Таким образом, рассмотрен процесс формирования АДРЛП наземного объекта, его статистическая модель. Предложена структура РЛД распознавания-измерения и решающее правило распознавания класса НО.

## STATISTICAL SYNTHESIS OF THE DEVICE OF MEASUREMENT OF LENGTH OF THE AUTOMOBILE IN THE RADIOLOCATION'S GAUGE WITH INVERSE SYNTHESIS AND COMPLETE FOCUS OF THE APERTURE OF THE ANTENNA

T.V. PHAM, S.R. GEYSTER, A.E. VINOGRADOV, A.P.KULPANOVICH

### Abstract

The questions of statistical synthesis of the device of meter of the radiolocation's gauge using inverted synthesis of the aperture of the aerial are considered. The entrance information of recognition algorithm is azimuth-range radiolocation's portrait of the automobile formed at complete focus of the aperture of the gauge antenna.

### Литература

1. Ретин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем. М., 1977.
2. Гейстер С.Р. Адаптивное обнаружение-распознавание с селекцией помех по спектральным портретам. Мн., 2000.
3. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1. Основы радиолокации. М., 1983.