

## МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА НАБЛЮДАЕМОГО РАДИОЛОКАТОРОМ ОБЪЕКТА

Кутепов В.Е., Стрижов Е.А.

Всероссийский Научно-исследовательский Институт Радиотехники (ВНИИРТ)

В настоящее время ВНИИРТ разрабатывает ряд радиолокационных станций (РЛС) для различных областей применения. Среди обязательных элементов каждой из разрабатываемых РЛС обязательно присутствует функциональный блок идентификации типа наблюдаемого радиолокатором объекта.

В данном докладе описывается методика и алгоритмы распознавания типа радиолокационной цели по параметрам эхо-сигнала и траекторным признакам.

Радиолокационная станция, для которой разработан программный модуль, имеет в своём составе многопроцессорный комплекс цифровой обработки сигналов на базе процессоров ADSP21062 SHARC. Три процессора этого комплекса занимаются идентификацией типа объекта.

Входные данные для модуля распознавания типа цели представляют собой выборку сигнала, полученного из области пространства около экстраполированной точки нахождения цели. Экстраполированные координаты цели поступают от модуля обработки трассовой информации, как и данные о путевой скорости, дальности и высоте цели.

Выходные данные представляют собой кодограмму, содержащую данные о классе цели.

Распознавание происходит по совокупности признаков, являющихся численными характеристиками эхо-сигнала цели и трассы цели. Это:

1. Путевая скорость;
2. Высота;
3. Энергетический признак (вычисляется из амплитуды эхо-сигнала);
4. Спектральный признак (различение широко-/узкополосного эхо-сигнала).

Таблица 1. Классы распознаваемых целей и признаки распознавания

Название класса цели	Признаки для распознавания
Самолет	Энергетический, спектральный,
Вертолет	Энергетический, спектральный, скорость, высота
Низкоскоростной малоразмерный объект (легкомоторный летательный аппарат), беспилотный летательный аппарат (БПЛА))	Энергетический, скорость, высота
Высокоскоростной малоразмерный объект (БПЛА)	Энергетический, скорость, высота
Крупный малоподвижный наземный объект (наземные конструкции, корабли)	Энергетический, скорость, высота

От известных авторов работ в этой области описываемая работа отличается анализом по спектральному критерию.

Распознаваемые классы целей и признаки, по которым производится принятие решений о принадлежности цели к данному классу, приведены в таблице 1.

### Алгоритмы вычисления признаков

Значения высоты и скорости цели приходят в явном виде и в дальнейшей обработке не нуждаются. Модуль идентификации типа наблюдаемого радиолокатором объекта занимается вычислением последних двух признаков в соответствии с приведёнными алгоритмами.

Описанные ниже алгоритмы дают корректный результат в случае отношения сигнал/шум не менее 20 дБ. Отношение сигнал/шум оценивается программным модулем РТЦ в первую очередь. В случае отношения менее 20 дБ возвращается результат «отказ от распознавания».

#### 1. Алгоритм вычисления энергетического признака.

Алгоритм вычисления энергетического признака основан на оценке величины ЭПР цели в зависимости от амплитуды эхо-сигнала.

В соответствии с основной формулой радиолокации, амплитуда эхо-сигнала цели зависит от ЭПР цели и расстояния до цели следующим образом:

$$a = \frac{a_0 * \text{ЭПР}^{1/2}}{d^2}, \quad [1]$$

где:  $a_0$  – константа – амплитуда эхо-сигнала объекта с  $\text{ЭПР} = 1\text{м}^2$ , находящегося на расстоянии 1м от ФАР. Эта константа характеризует энергетику РЛС и вычисляется путем анализа регистраций эхо-сигналов эталонных объектов, чьи ЭПР и удаления известны.  $d$  – расстояние до цели в метрах.

Для улучшения достоверности оценивается средняя амплитуда сигнала по пачке импульсов. Исходя из значений амплитуды и дальности, оценивается ЭПР объекта.

В таблице 2 приведены значения ЭПР, соответствующие типам распознаваемых целей.

Таблица 2. Диапазоны ЭПР типов целей

Тип объекта	ЭПР (м <sup>2</sup> )
Самолет	>=1
Вертолет	>= 1
Крупный малоподвижный наземный объект	>= 100
Низкоскоростной малоразмерный объект	< 1
Высокоскоростной малоразмерный объект	< 1

**2. Алгоритм вычисления спектрального признака.**

Задачей алгоритма вычисления спектрального признака является решение о классификации сигнала: широкополосный сигнал / узкополосный сигнал. Широкополосный сигнал свойственен вертолету и схожим с ним летательным аппаратам вследствие отражений от несущего винта. Ширина спектра эхо-сигналов вертолетов составляет 5-9 кГц.

В рамках решаемой задачи основной сложностью было то, что количество отсчетов для анализа составляет 6 ÷ 12. Кроме того, Δt между отчетами в общем случае неодинаково. При этих условиях анализ с помощью дискретного преобразования Фурье малоинформативен.

Наиболее эффективен оказался следующий алгоритм:

$$1.) \text{ Вычисление: } y_i = \sum_{n=0}^{N-1} b_n * x_n * \frac{4 * \pi * \Delta t * i}{\lambda} * i \quad [2],$$

где i = -150 ÷ 150, |x| – сигнал, |b| – цифровой фильтр.

АЧХ, типичная для используемых фильтров, представлена на рис. 1.

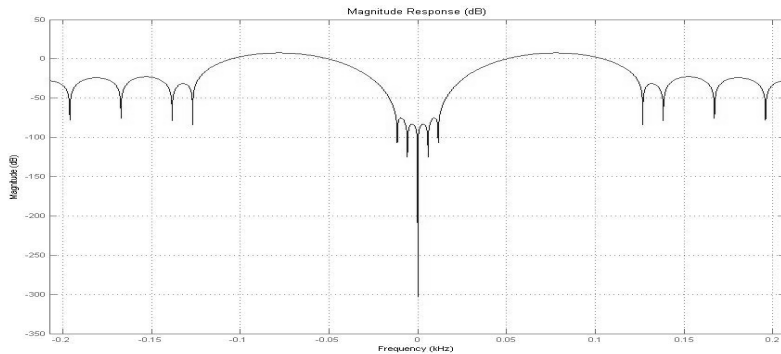


Рис. 1. АЧХ типичного фильтра

В формуле [2] элемент:  $\frac{4 * \pi * \Delta t}{\lambda} * i$  - является сдвигом сигнала на частоту, соответствующую доплеровскому смещению при скорости объекта i м/с. Таким образом, |y| - набор результатов фильтрации сигнала при смещениях частоты, соответствующим скоростям: -150 ÷ 150 м/с.

Вид |y| показан на рисунке 2. Сплошной линией показан результат обработки узкополосного сигнала, пунктиром – широкополосного. Отношение сигнал/шум в обоих случаях: 40 дБ.

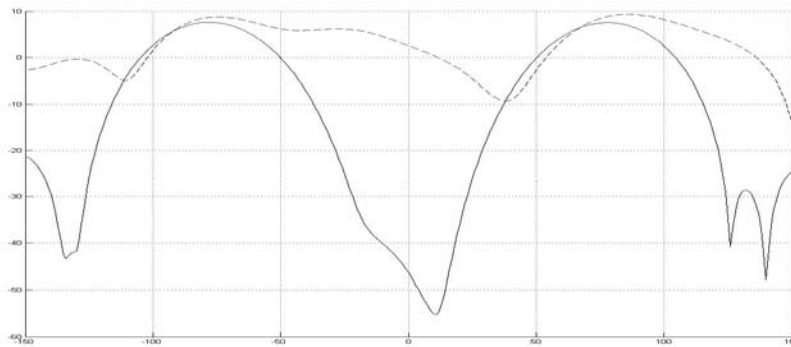


Рис. 2. Результаты обработки широко- и узкополосного сигнала

2.) Сортировка  $|y|$  по возрастанию. Вид сортированного сигнала  $|y|$  показан на рис. 3.

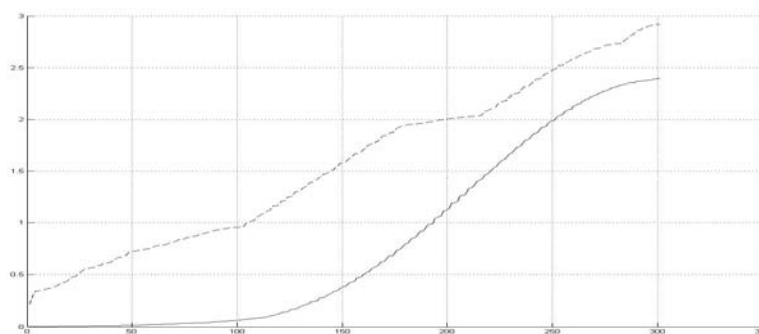


Рис. 3

3.) Вычисление сумм:  $s1 = \sum_{i=1}^{10} y_i, s2 = \sum_{i=N-9}^N y_i$  [3]

4.) Сравнение  $\frac{s2}{s1}$  с числом  $\gamma$ .  $\gamma$  - эмпирическая константа. Диапазон значений  $\gamma$ : 10÷20.

Анализ сигнала по спектральному критерию производится, если путевая скорость цели  $\leq 100$  м/с (мировой рекорд скорости для вертолета: 356 км/ч). В случае узкополосного сигнала неминуемо попадание его в зону режекции фильтра на определенном участке. В случае широкополосного сигнала такового не случится, т.к.  $\Delta f_{\text{сигнала}} \gg \Delta f_{\text{зоны режекции}}$ , как это видно на *рисунке 2*. Очевидно, что соотношение  $\frac{s2}{s1}$  в случае узкополосного сигнала будет велико, в случае широкополосного сигнала – мало (рис. 3). Грань велико/мало определяется порогом -  $\gamma$ .

Разработка и отладка программного модуля производилась с использованием имитатора радиолокационных сигналов. Также была произведена предварительная оценка вероятности правильной идентификации с использованием зарегистрированных эхо-сигналов реальных объектов. Вероятность правильного определения типа наблюдаемого радиолокатором объекта составила 0.8-0.9 при соотношении сигнал/шум 20 дБ.

#### Литература

1. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М. «Мир» 1978.
3. П.А. Бакулев. Радиолокационные системы. М. «Радиотехника», 2003.

## METHODS AND ALGORITHMS OF RECOGNITION OF RADAR OBJECT

Kutepov V., Strizhov E.

All-Russia Science-Research Institute of Radio Engineering (ARRIRE)

This time ARRIRE is developing a set of radars for different fields of application. Necessary element of each of radars is functional block of recognition of radar-seen object type.

In this report methods and algorithms of recognition of radar-seen object type is described, and also described its program realization.

Radar, for what the program block of radar-seen object type recognition is developed, includes multiprocessor digital signal processing complex based on ADSP21062 SHARC processor. Task of radar-seen object type recognition occupies three of these processors.

Input data for the program block of radar-seen object type recognition is extract from receiving from antenna system data flow, includes signal from region of space near extrapolated position of object. Extrapolated position of object comes from module of target lane processing as so as target speed, altitude and distance.

Output data is a pattern that includes object type information and subservient information.

Type recognition executes with set of signal characteristics, which are numerical results of processing of signal and lane information. They are:

1. Speed;
2. Altitude;
3. Energy characteristic (characteristic of signal amplitude);
4. Spectral characteristic (characteristic of signal frequency width).

Speed and altitude is given by module of target lane processing and needs no more processing.

Energy characteristic is computed by the way of analyzing amplitude of signal and object distance. If we know power of radar pulse, phase-array gain factor, amplitude of signal and object distance we can estimate effective square of dispersion of the object.

Spectral characteristic is computed by the way of analyzing results of filtering the signal by set of digital filters. Gain-frequency characteristics of these filters have thin and deep stop band (about 60-80 dB). Gain-frequency characteristics of different filters of the set crossing each other in stop band so as any narrowband signal would be in stop band of at least one of the filters. If signal band is more then stop band of filters from the set, there will not be considerable attenuation in any filter. By analyzing the results of filtration in different filters we can estimate signal band.

Set of recognizable types of objects of air situation (airplane, helicopter, ground object and so on), each of which has corresponding set of characteristics values. By comparing estimating characteristics values with predefined values set decision of type of object.

Algorithms work correctly when signal/noise ratio is not less then 20 dB. In other case recognition will not be done.

Programs was developed and debugged using radio-locating signal simulator. Preliminary estimation of probability of true recognition using recorded signals of material objects was also done. Estimated probability of true recognition is 0.8-0.9 with signal/noise ratio 20 dB.

