

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССА ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ

В.А. Дорощук, канд. техн. наук, В.Ж. Яценюк, И.И. Брык

Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

В данной статье рассматриваются методы и устройства обработки радиолокационной информации при формировании радиолокационного дальностного портрета цели в РЛС, использующей ЛЧМ-сигналы с ограниченным спектром. Предложена структурная схема радиолокатора с каналом распознавания с использованием адаптивных алгоритмов цифрового спектрального анализа.

* * *

У даній статті розглядаються методи і пристрої обробки радіолокаційної інформації при формуванні радіолокаційного дальнісного портрету мети в РЛС, що використовує ЛЧМ-сигнали з обмеженим спектром. Запропоновано структурну схему радіолокатора з каналом розпізнавання з використанням адаптивних алгоритмів цифрового спектрального аналізу.

* * *

In given clause the methods and devices of processing of the radar-tracking information are considered(examined) at formation radar-tracking range of a portrait of the purpose in RLS, using LFV-signals with the limited spectrum. The block diagram of RLS with the channel of recognition with use of adaptive algorithms of the digital spectral analysis is offered.

Постановка проблемы. Обеспечение надежной обороноспособности Украины требует качественно новых, эффективных систем вооружения на основе последних достижений науки и техники.

Ограниченная пропускная способность современных наземных и бортовых РЛС становится одним из решающих факторов при оценке эффективности этих систем. Одним из способов решения данной проблемы является введение режима распознавания класса цели в радиолокационные средства целеуказания, работающих при потере управления в автономном режиме. Повышение эффективности обусловлено тем, что при наличии информации распознавания можно оптимизировать алгоритмы целераспределения, исключить их воздействие по ложным целям, а также назначать приоритетное уничтожение наиболее опасных целей.

Анализ известных достижений. В активной радиолокации основным источником информации о распознаваемых объектах являются характеристики создаваемого целями поля вторичного излучения в дальней зоне РЛС. Эти характеристики зависят от размеров, ориентации и параметров движения цели, типов установленных на ней двигателей и режимов

их работы, параметров вибрации корпуса, характеристик зондирующих сигналов, способа обработки принимаемых сигналов и т.д.

Возможно несколько подходов к классификации методов радиолокационного распознавания (РЛР). Наиболее широко используется классификация методов распознавания в зависимости от типа зондирующего сигнала, используемого в РЛС. Это такие методы как распознавание по узкополосным сигналам, по широкополосным сигналам (ШПС) и сверхширокополосным сигналам (СШПС) [1].

В качестве признаков распознавания целей при узкополосном зондировании используют эффективные площади целей, поляризационные и модуляционные признаки [2].

При многочастотных сигналах для распознавания целей используется импульсная характеристика цели, либо ее передаточная характеристика, полученная путем Фурье-преобразования импульсной характеристики, собственные резонансы цели, поляризационные характеристики отраженных многочастотных сигналов, флуктуации эффективной площади рассеяния (ЭПР), интенсивность принимаемых сигналов на разных частотах.

Методы распознавания целей с помощью ШПС и СШПС основаны на использовании:

- импульсной характеристики цели, полученной излучением импульса малой длительности;
- передаточной характеристики, полученной Фурье-преобразованием импульсной характеристики;
- структуры сжатого сигнала, представляющего собой одномерное радиолокационное изображение цели;
- одновременной информации о "турбинной" модуляции, структуре сжатого сигнала и флуктуациях ЭПР [3].

Данным методам как наиболее информативным, как правило, отдают предпочтение при сравнительной оценке различных методов РЛР [4]. Высокая вероятность правильного распознавания при использовании ШПС и, особенно, СШПС обеспечивается лишь при условии высокой стабильности комплексных частотных характеристик приемопередающих трактов РЛС, а также достаточно высокого отношения сигнал-шум на выходах приемных каналов. Наиболее просто данные условия удовлетворяются при корреляционной обработке ШПС. Однако, ширина спектра сигналов у существующего парка РЛС, как правило, не превышает 5-10 МГц, что не обеспечивает требуемое разрешение блестящих точек (БТ) цели по дальности. Решением проблемы ограниченной широкополосности могло бы стать применение современных так называемых адаптивных методов обработки сигналов, отраженных от множества БТ цели. Данные методы, известные как методы адаптивного цифрового спектрального анализа (ЦСА), при достаточно большом отношении сигнал-шум обеспечивают существенное повышение разрешающей способности и точности измеряемых параметров [5].

Спектральные функции $S(\Omega)$ процесса, заданного M -мерным вектором $Y = \{y_i\}_{i=1}^M$ отсчетов комплексных амплитуд y_i для адаптивных алгорит-

мов ЦСА определяются по формулам: алгоритм Кейпона (1), теплового шума (2), Борджотти-Лагунаса (3), максимума энтропии (4):

$$S_{МП}(\Omega) = [X^*(\Omega)\Psi X(\Omega)]^{-1}; \quad (1)$$

$$S_{ТШ}(\Omega) = [X^*(\Omega)\Psi^2 X(\Omega)]^{-1}; \quad (2)$$

$$S_{БЛ}(\Omega) = \frac{X^*(\Omega)\Psi X}{X^*(\Omega)\Psi^2 X(\Omega)}; \quad (3)$$

$$S_{МЭ}(\Omega) = \frac{f_{11}}{(E_1^T \Psi X(\Omega))^2}, \quad (4)$$

где

$$x(\Omega) = [1, e^{-j\Omega\Delta t}, e^{-j2\Omega\Delta t}, \dots, e^{-j(N-1)\Omega\Delta t}] = \{x_i(\Omega)\}_{i=1}^M$$

- M -мерный измерительный вектор обзора,

$$\Psi = \{\varphi_{ij}\}_{i,j=1}^M = \Phi^{-1} - M \times M - \text{эрмитова матрица,}$$

обратная корреляционной матрице (КМ)

$$\Phi = \{f_{i,j}\}_{i,j=1}^M = \overline{Y Y^*} - M\text{-мерного вектора отсчетов}$$

комплексных амплитуд $Y = \{y_i\}_{i=1}^M$ - анализирующего процесса, E_1 - первый столбец единичной матрицы I_M ;

* и черточка сверху – символы эрмитового сопряжения и статистического усреднения соответственно.

Выделение нерешенной проблемы. Разнообразие алгоритмов обработки на практике затрудняет выбор конкретного метода для конкретно разрабатываемой РЛС, либо приводит к необходимости использования в ней различных устройств и методов, учитывающих многофункциональность РЛС и меняющиеся условия ее работы.

Целью статьи является анализ возможностей применения адаптивных алгоритмов ЦСА, путей технической реализации методов и устройств адаптивной обработки радиолокационной информации (РЛИ) при решении задач распознавания в перспективных и существующих системах РЛС. Предложена структурная схема радиолокатора с каналом рас-

познавания, использующим в блоке обработки алгоритм максимума энтропии, предложены различные варианты построения блока спектрального анализа.

Основной материал. На рис. 1 показана структурная схема радиолокатора, позволяющего получить РДП объектов в спектральной области, а также обеспечить сравнение полученного РДП с эталонными, и тем самым решить задачу распознавания классов воздушных целей. В состав основных блоков РЛС входят приемопередающее устройство со своими антеннами, блок обработки выходных сигналов приемного устройства, реализующий ЦСА по одному из алгоритмов (1-4), а также канал распознавания и индикатор.

Устройство формирования ЛЧМ-сигнала формирует периодическую последовательность зондирующих и первых гетеродинных сигналов. Зондирующий ЛЧМ-сигнал с начальной частотой f_n и девиацией частоты Δf_c излучается в пространство с помощью передающей антенны. Девиация частоты зондирующего сигнала и первого гетеродина в соответствии с рис.2 определяется по формуле [6]:

$$\Delta f_c = \Delta F \cdot c \cdot T / 2r_m, \quad (5)$$

где ΔF - ширина полосы спектрального анализа блока обработки;

c - скорость света;

T - период модуляции;

r_m - максимальная дальность однозначного обнаружения цели.

Девиация и скорость изменения частоты в зависимости от режима работы радиолокатора изменяются с помощью формирователя управляющих сигналов (ФУС).

В соответствии с (5) расширение полосы ΔF , необходимое при фиксированном времени наблюдения для повышения разрешающей способности радиолокатора по дальности, может быть достигнуто только путем изменения девиации частоты Δf_c . С выхода первого смесителя сигнал разностной частоты F поступает на вход второго смесителя, который

обеспечивает преобразование сигнала разностной частоты на частоту спектрального анализа. Для просмотра выбранного участка дальности разрешением $\Delta F_p \sim 1/tc$ используется второй гетеродинный сигнал, вырабатываемый синтезатором частот в соответствии с кодовым сигналом, поступающим на его управляющий вход с выхода ФУС. При этом обеспечивается частотное смещение полосы анализа блока обработки на величину:

$$\Delta F_{см} = 2 \Delta f_c r_1 / c \cdot T, \quad (6)$$

где r_1 - расстояние до выбранного участка дальности.

Одновременно изменяется и управляющий сигнал, поступающий с третьего выхода ФУС на вход индикатора, который необходим для изменения масштаба развертки по дальности. В блоке цифровой обработки происходит преобразование аналогового сигнала в цифровую форму и получение РДП в спектральной области. Дальность до объекта и его РДП в спектральной области $S(f)$ определяется с помощью индикатора. В результате радиолокатор измеряет расстояние до наблюдаемого объекта и его разрешающая способность по дальности определяется по формуле:

$$\Delta r = \frac{\Delta F'_p c T}{2 \Delta f_c}, \quad (7)$$

где $\Delta F'_p$ - разрешающая способность блока цифровой обработки.

Спектральная оценка осуществляется в блоке цифровой обработки в соответствии с алгоритмом максимума энтропии (4). Известно [7], что при наличии достаточно большого отношения сигнал/шум метод получения такой оценки обеспечивает высокую разрешающую способность измерения частоты (дальности) $\Delta F'_p < \Delta F_p$.

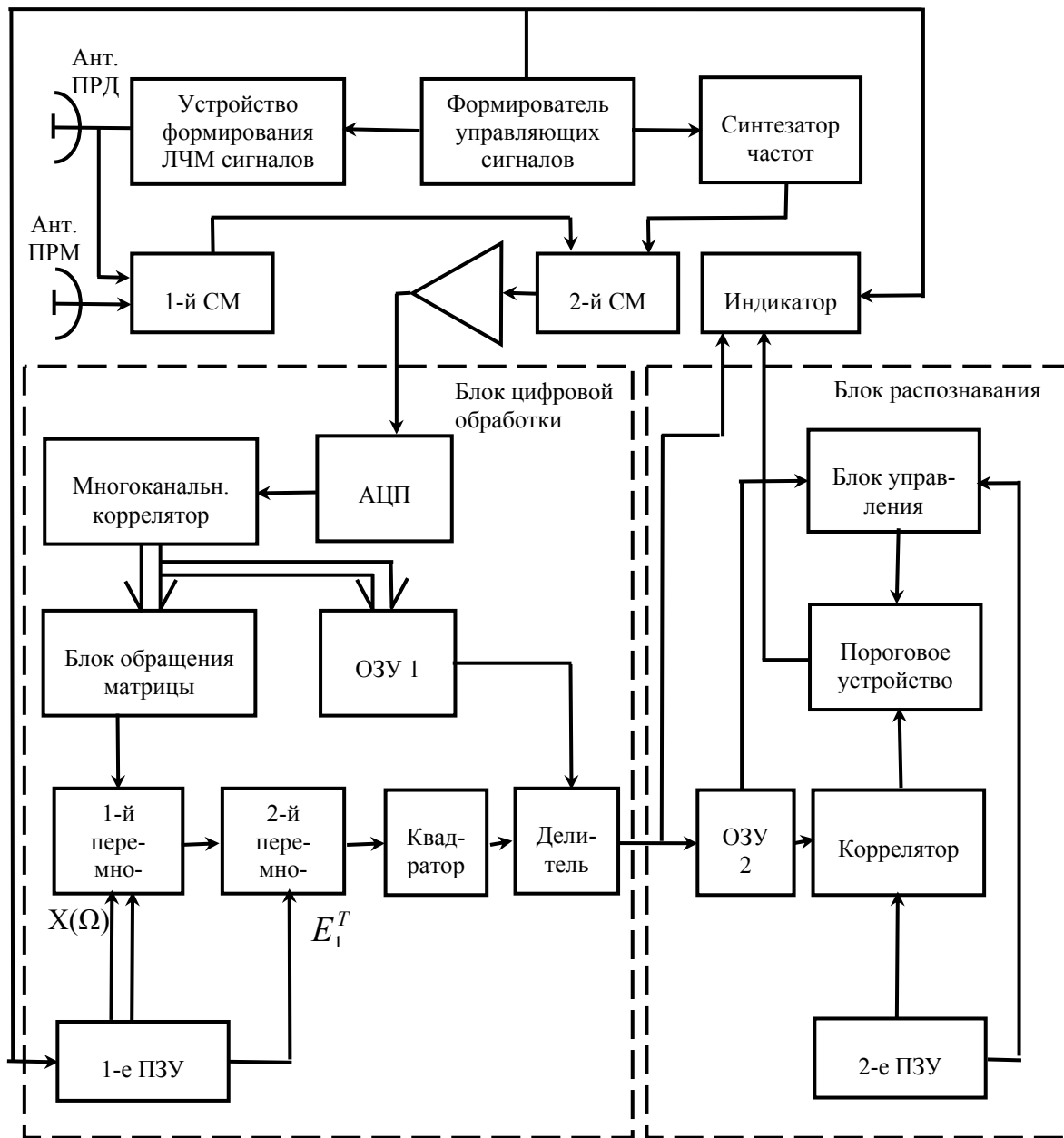


Рис. 1. Радиолокатор с каналом распознавания класса воздушной цели

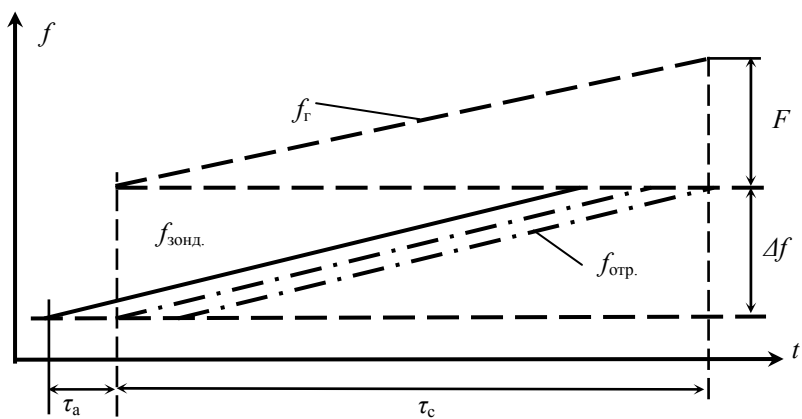


Рис. 2. Принцип получения РДП цели

Исходя из (4) блок обработки функционирует следующим образом. С выхода АЦП оцифрованный сигнал подается на многоканальный коррелятор, в котором формируется оценочная корреляционная матрица Φ . В блоке обращения матрицы происходит формирование обратной матрицы Φ^{-1} , и затем ее значения подаются на вход первого матричного множителя. На другие входы этого множителя подаются реальные и мнимые части векторов комплексных синусоид измерительного сигнала (вектора обзора) $X(\Omega)$ из первого ПЗУ. Результат перемножения поступает на вход второго (векторного) множителя, на другие входы которого подаются элементы единичного вектора E . На вход первого ПЗУ подается управляющий сигнал с выхода ФУС, который определяет выбор из первого ПЗУ необходимых значений вектора обзора при изменении выбранного участка обзора по дальности. Результат перемножения подается на квадратор, а затем на делитель, на выходе которого содержится спектральная оценка (4), которая позволяет измерять не только дальность до объекта, но и его РДП. ОЗУ1 предназначено для хранения и подачи на делитель первого элемента КМ Φ . С выхода делителя информация о дальности поступает на индикатор, а также на вход ОЗУ2, являющийся входом канала распознавания.

В ОЗУ2 канала распознавания запоминаются значения спектральной функции (СФ) полученного РДП. Блок управления вырабатывает на своем выходе сигналы разрешения на выдачу цифрового кода измеренного РДП из ОЗУ2, а также синхронно разрешение на последовательную выдачу из второго ПЗУ значений РДП, соответствующих различным классам воздушных целей. С выхода ОЗУ2 значения СФ подаются на вход коррелятора, на второй вход которого подаются значения эталонных РДП. В корреляторе происходит вычисление коэффициента корреляции между полученным РДП и эталонным.

Значения этого коэффициента поступают на вход порогового устройства, на второй вход которого поступает пороговый уровень с выхода блока управления. При превышении заданного порога с порогового устройства выдается сигнал о классе воздушной цели, поступающий на вход индикатора и формирователя сигналов управления параметрами для выдачи управляющих сигналов используют ФУС.

Аналогичным образом может быть построен радиолокатор с каналом распознавания с использованием других адаптивных алгоритмов ЦСА. Отличие его будет заключаться в различном построении блока цифровой обработки, который претерпит изменения в соответствии с тем алгоритмом адаптивного ЦСА, который будет использоваться.

Заслуживает внимания также вариант построения универсального блока обработки. Необходимость в этом обусловлена результатами экспериментальных исследований [5], где показано, что при произвольном объеме выборки единого метода, обеспечивающего наилучшее разрешение БТ цели нет. В связи с этим целесообразно предусмотреть возможность достаточно простого перехода от одного алгоритма ЦСА к другому, например, использование перечисленных методов в зависимости от складывающихся условий. Актуальной с этой точки зрения является задача построения универсальных систем, на основе которых возможно решение широкого круга задач адаптивной обработки сигналов. В качестве основы, позволяющей существенно унифицировать аппаратуру РЛС, могут рассматриваться адаптивные решетчатые фильтры (АРФ). При использовании АРФ открываются новые возможности повышения эффективности спектрального анализа за счет модификации известных и разработки новых методов оценки спектра.

Выводы

Для формирования РДП с помощью методов адаптивного ЦСА при решении задачи распознавания класса воздушной цели целесообразно использование радиолокаторов с длинноимпульсным либо когерентной пачки короткоимпульсных ЛЧМ-сигналов. При построении блока спектрального анализа целесообразно предусмотреть возможность достаточно простого перехода от одного алгоритма ЦСА к другому в зависимости от режима работы РЛС.

Литература

1. Небабин В.Г., Сергеев В.В. Методы и техника радиолокационного распознавания. - М.: Радио и связь, 1984. – 121 с.
2. E.K. Walojn, F.D. Garber, D.L. Moffat, "Radar target classification studies", Final Report 717220-1, The Ohio State University, Department of Electrical Engineering, Electro-Science Laboratory, November 1986.
3. F.D. Garber, N.F. Chamberlain, O. Shorrason, "

Time-domain and frequency-domain feature selection for reliable radar target identification", Processing of the IEEE, National Radar Conference 1988, pp.79-84.

4. Селекция и распознавание на основе локационной информации / Под ред. А.А. Горелика. - М.: Радио и связь, 1990.

5. Кудряшев В.Е., Дорошук В.А., Побережный А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование статистических характеристик современных алгоритмов квазигармонического спектрального оценивания. // Сборник докладов МНТК " Теория и техника передачи, приема и обработки информации". - Туапсе, 1995. 21 с.

6. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1991. – 103 с.

7. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. / Пер. с англ.- М.: 1990. – 584 с.

Поступила в редакцию 28.07.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Лахно В.И., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков