

### Способ обнаружения сигналов режима опознавания Mode 5

Опознавание воздушных объектов является важнейшей задачей в процессе функционирования информационно-управляющей системы истребителя и актуальной для повышения эффективности его боевого применения. Ее решение обеспечивает предотвращение поражения своих объектов при применении оружия. Особенности сигналов имитостойкого режима Mode 5 (M5) являются наличие опорной группы импульсов (синхрогруппы) с времяимпульсной модуляцией, определяющей подрежим опознавания, и частотная модуляция с непрерывной фазой (ЧМНФ, MSK – Minimal Shift Keying) импульсов преамбулы и подавления боковых лепестков (ПБЛ) 16-разрядной последовательностью Уолша [1].

Для организации радиоэлектронного подавления (РЭП) актуальной задачей является разработка и реализация специализированных алгоритмов обнаружения сигналов имитостойких режимов работы M5 систем опознавания противника [2]. На основе разведанной структуры запросных сигналов (ЗС) возможна реализация провоцирующих запросов ответчиков системы опознавания противника из банка (каталога запросных сигналов) для скрытого сопровождения летательного аппарата противника (без включения на излучения РЛС обнаружения/наведения) и формирование имитационных сигналов с искаженной информационной группой (ИГ) для перегрузки системы обработки системы опознавания.

Предлагается алгоритм обнаружения ЗС имитостойкого режима опознавания (ИРО) M5 системы Mk-12A, предполагающий поэтапный анализ разведываемых запросных сигналов (обнаружение по циклу «преамбула – ПБЛ – ИГ»), приведенный на рис. 1.

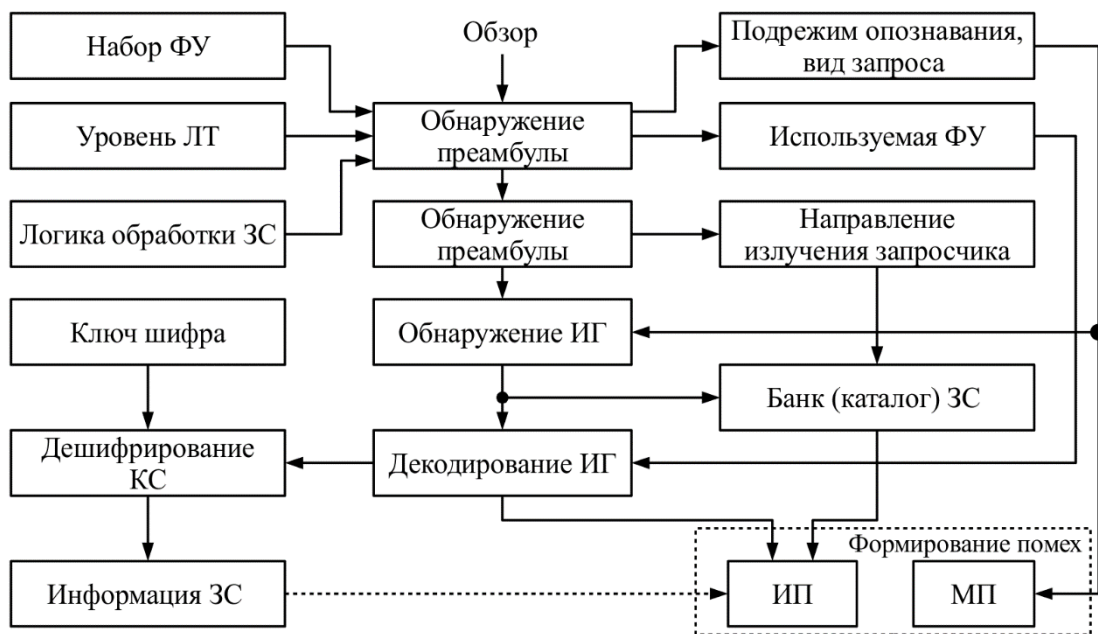


Рис. 1. Алгоритм обнаружения запросных сигналов режима M5

На рис. 1 введены обозначения: ФУ – функции Уолша; ЛТ – ложная тревога; КС – кодированное сообщение; ИП – имитирующая помеха; МП – маскирующая помеха. Основу алгоритма составляет методологический подход к обнаружению сигналов с модуляцией с непрерывной фазой в системах с кодовым разделением каналов [3, 4]. Алгоритм обнаружения ЗС Mode 5 включает прием и распознавание опорной группы (ОГ), состоящей из четырех импульсов преамбулы и импульса ПБЛ, из которых извлекается информация о подрежиме опознавания (M5L1 или M5L2), виде запроса, используемой функции Уолша и направлении излучения запросчика. Импульсы преамбулы представим в виде

## Секция 10. Мониторинг окружающей среды

$$g_k(t) = \sum_{n=0}^{L-1} a_k(n) p(t - nT), \quad (1)$$

где  $p(t)$  – импульс длительности;  $a_k(n)$ ,  $0 \leq n \leq L$  – кодовая последовательность ( $L = 16$ ), определяющая расстановку импульсов преамбулы во времени.

Последовательность Уолша длиной  $N$  для  $k$ -го адресного сигнала (импульсов преамбулы) определяется вектором  $\mathbf{b}_k = [b_k(1) \dots b_k(N)]^T$ . Эквивалентный сигнал имеет вид

$$s_k(t) = \sqrt{E_k} \sum_{i=0}^{N-1} b_k(i) g_k(t - iT), \quad (2)$$

где  $E_k$  – энергия сигнала на бит;  $N = 16$  – количество элементов в сигнале;  $T$  – длительность элемента (посылки) сигнала.

В соответствии с предложенным алгоритмом выбирается наиболее правдоподобная последовательность  $b_k(n)$ ,  $1 \leq n \leq N$ ,  $1 \leq k \leq K$  по принимаемой реализации  $r(t)$ . Функция правдоподобия в этом случае описывается выражением

$$\Lambda(\mathbf{b}) = \int_0^{NT+2T} \left[ r(t) - \sum_{k=1}^K \sqrt{E_k} \sum_{i=1}^N b_k(i) g_k(t - iT) \right]^2 dt. \quad (3)$$

Последовательность символов  $b_k(n)$  выбирается путем получения наилучшей линейной оценки величины  $\mathbf{b}_k$ , которая минимизирует логарифм функции правдоподобия [4]

$$\Lambda(\mathbf{b}_k) = (\mathbf{r}_k - \mathbf{R}_s \mathbf{b}_k)^T \mathbf{R}_s^{-1} (\mathbf{r}_k - \mathbf{R}_s \mathbf{b}_k), \quad (4)$$

где  $\mathbf{R}_s$  – матрица корреляции;  $\mathbf{r}_k = [r_1 \dots r]$  – вектор принятой реализации.

Программная реализация алгоритма обнаружения сигналов с расширением спектра чаще всего выполняется на основе вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) принятой реализации и опорного сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) [5]. Одним из условий при исследовании эффективности алгоритма обнаружения ЗС режима М5 является наличие банка опорных сигналов. При имитационном моделировании приемника, например, в программном комплексе МВТУ 3.5 [6], возможно создание банка преамбул опорных ЗС.

Предложенная реализация алгоритма обнаружения ЗС в ПК «МВТУ» (формирование преамбулы опорного ЗС режима М5, зависящей от номера функции Уолша, кода преамбулы и задержки формирования преамбулы во времени; аналогичное формирование импульсов ПБЛ и ИГ опорного ЗС), может быть использована при исследовании эффективности алгоритма обнаружения запросных сигналов имитостойкого режима М5 при различных вариантах построения приемников, в том числе квазиоптимальных, на основе вычисления ВКФ принятой реализации и опорного сигнала с помощью БПФ.

### Литература

1. Леньшин А.В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. – 590 с.
2. Леньшин В.В., Лебедев В.В. Характеристики обнаружения сигналов имитостойких режимов систем идентификации // Динамика сложных систем – XXI век. – 2015. – № 1. – т. 9. – С. 41-47.
3. Проксис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
4. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Шестопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / Под ред. В.И. Борисова. Изд. 2-е. – М.: Радиософт, 2011. – 550 с.
5. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е издание. Пер. с англ. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
6. Инструкция пользователя ПК «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ», версия 3.5) / О.С. Козлов и др. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2007. – 187 с.