

6. Хуанг Т.С. и др. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 221 с.

7. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. – М.: Мир, 1978. – 672 с.

8. Кононов В.И., Федоровский А.Д., Дубинский Г.П. Оптические системы построения изображений. – Киев: Техника, 1981. – 134 с.

Комаров Александр Евгеньевич, майор, старший эксперт отдела Военно-научного комитета (Воздушно-космических сил), sanek_k@mail.ru

Буцев Сергей Васильевич, д.т.н., с.н.с. ФГБУ «ЦНИИ ВКС» Минобороны России

УДК 621.396.96:004.932

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРАВДОПОДОБИЯ ИМИТАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

А.В.Келлер, С.В.Буцев, А.А.Зебзеев

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Воздушно-космических сил» Министерства обороны Российской Федерации, г. Тверь

В настоящее время в рамках комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на защиту радиолокационных средств от самонаводящегося на радиолокационное излучение (РЛИ) оружия и средств радиотехнической разведки (РТР) применяют имитаторы излучения. Основным недостатком применяемых имитаторов является отсутствие возможности воспроизведения сигналов имитируемых радиолокационных станций (РЛС) с требуемым уровнем правдоподобия, в связи с неспособностью имитатора симитировать индивидуальные демаскирующие признаки (ИДП), обусловленные нестабильностью генератора, искажениями внутриимпульсной модуляции, формой диаграммы направленности антенны (ДН). Также, важно учитывать факт непрерывного совершенствования возможностей РТР по обнаружению, распознаванию и идентификации РЛС по их излучению [1].

Это обуславливает на необходимость разработки методики, направленной на установление наличия и выявление ИДП современных РЛС, имеющих сложную изменяющуюся структуру сигналов, с целью дальнейшего учета ИДП при синтезе излучения в имитаторах для повышения защищенности РЛС от средств РТР и самонаводящегося на РЛИ оружия.

Эффективным инструментом для изучения тонкой структуры излучения является вейвлет-преобразование, благодаря способности к локальному частотно-временному анализу сложных сигналов [2].

Реальный сигнал РЛС может быть представлен в виде трёхуровневой структуры:

1. Несущее колебание с частотой f_0 , которое в реальных условиях содержит фазовые шумы и кратковременную нестабильность частоты. Демаскирующим признаком является дисперсия мгновенной частоты σ_f^2 .

2. Внутримпульсная модуляция, определяющая форму одиночного зондирующего импульса. Для линейной частотной модуляции (ЛЧМ), сигнал описывается выражением:

$$s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \pi \frac{B}{T} t^2 + \varphi(t)), \quad 0 < t < T, \quad (1)$$

где $B = f_1 - f_0$ - девиация частоты, T - длительность импульса, $\varphi(t)$ - фазовый шум. Демаскирующими признаками являются параметры B, f_1, f_0 , а также нелинейность закона изменения частоты.

3. Пачечная структура, обусловленная сканированием антенны. Амплитуда импульсов в пачке модулируется ДН $F(\theta)$:

$$S_N(t) = \sum_{k=1}^N F(\theta) \cdot s(t - kT_{\Pi}), \quad (2)$$

где T_{Π} - период повторения, N - число импульсов в пачке. Демаскирующим признаком является форма огибающей пачки, уровни боковых лепестков.

Для анализа таких сигналов может применяться непрерывное вейвлет-преобразование (CWT) с вейвлетом Добеши 4-го порядка (db4), обладающим компактным носителем, ортогональностью и достаточной гладкостью [3]. Коэффициенты CWT вычисляются как

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

где a - масштаб (связан с частотой соотношением $f = \frac{f_c}{a\Delta t}$,

f_c - центральная частота вейвлета), b - сдвиг по времени.

Для каждого момента времени определяется масштаб, соответствующий максимуму модуля коэффициентов (гребень преобразования). После сглаживания гребня медианным фильтром получается мгновенная частота $f(t)$. Аппроксимация полиномом первой степени даёт оценки начальной $\hat{f}_0$ и конечной $\hat{f}_1$ частот. Коэффициент нелинейности может быть получен при аппроксимации полиномом второй степени.

Амплитуды импульсов в пачке выделяются путём детектирования максимумов огибающей (например, с помощью согласованной фильтрации). Полученная последовательность амплитуд нормируется и

интерполируется для заполнения пропусков (если некоторые импульсы не обнаружены). Дискретное вейвлет-преобразование (DWT) с вейвлетом db4 позволяет сгладить огибающую и выделить её аппроксимирующую составляющую, соответствующую форме ДН. Локальные максимумы сглаженной огибающей за пределами главного лепестка дают уровни боковых лепестков в дБ.

По наиболее мощному импульсу вычисляется аналитический сигнал (преобразование Гильберта), мгновенная фаза и мгновенная частота. Дисперсия мгновенной частоты σ_f^2 служит количественной мерой нестабильности генератора. Полученные на этапе анализа параметры образуют вектор ИДП $P = \{\hat{f}_0, \hat{f}_1, k_2, \hat{F}(\theta), \hat{\sigma}_f^2\}$.

При работе имитатора для формирования правдоподобного излучения выполняется параметрический синтез с использованием ранее полученного в ходе анализа вектора индивидуальных признаков:

1) генерация несущей с частотой $\hat{f}_0$ и внесением фазовых шумов с дисперсией $\hat{\sigma}_f^2$;

2) формирование одиночного импульса с внутриимпульсной модуляцией, соответствующей оценённому закону;

3) построение пачки путём повторения импульса с периодом T_{II} .

Амплитуда каждого импульса модулируется восстановленной огибающей ДН $\hat{F}(\theta)$, что обеспечивает учёт главного и боковых лепестков.

Эффективность методики была подтверждена численным моделированием в среде MATLAB. Для ЛЧМ сигнала с отношением сигнал/шум = 30 дБ средняя ошибка оценки начальной и конечной частот составила около 6%. Восстановление огибающей ДН с точностью до 2-3 дБ позволяет корректно воспроизводить угловую структуру излучения.

Предложенная методика позволяет повысить правдоподобие имитационного излучения за счёт учёта индивидуальных особенностей конкретного экземпляра РЛС.

Список использованных источников

1. Черноусов А.В., Кузовников А.В., Сомов В.Г. Оценка имитостойкости широкополосных сигналов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2013. № 4. С. 81–84.
2. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 628 с.

Келлер Александр Владиславович, старший лейтенант, адъюнкт ФГБУ «ЦНИИ ВКС» Минобороны России, a_kell3r@yandex.ru

Буцев Сергей Васильевич, д.т.н., с.н.с. ФГБУ «ЦНИИ ВКС» Минобороны России
Зебзеев, Антон Александрович к.т.н., майор, начальник НИО ФГБУ «ЦНИИ ВКС»
Минобороны России.

УДК 621.396.96

ПАССИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА: ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

И. М. Берестов, М. Д. Лучин

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», ООО «КВАДРО КОД», г. Самара

Стремительно развиваются беспилотные системы, в частности беспилотные летательные аппараты (БПЛА), задача их обнаружения и локализации становится необходимым компонентом механизмов обеспечения безопасности воздушного пространства. Очевидно, что решение проблемы обнаружения и локализации востребовано не только в сфере гражданского применения. Перспективным направлением решения поставленной задачи являются пассивные радиолокационные системы.

Распределённая сеть пассивных детекторов – возможный инструмент решения задачи локализации, использующий сигнал бортового передатчика. Для локализации при помощи сети пассивных детекторов применяют методы, основанные на мощностных, временных, угловых и доплеровских принципах:

1. Методы, основанные на мощности принятого сигнала (RSSI), такие как алгоритм ближайшего, поиска среднего, взвешенного поиска среднего, круговой и гиперболической латерации [1], обладают низкой вычислительной сложностью, простотой аппаратной реализации, возможностью развёртывания в существующей инфраструктуре, выгодны с экономической точки зрения, однако они зависимы от модели затухания, обладают сравнительно малой точностью [1, 2].

2. Методы, основанные на временных характеристиках (Time Of Arrival/Time Difference Of Arrival) заключаются в анализе времени отправления и прихода сигнала и разнице во времени прихода соответственно. Сложны в реализации, требуют точной синхронизации, дороги, но обладают высокой точностью [2].

3. Методы, основанные на угле прихода сигнала (направлении на источник) требуют системы направленных антенн и заключаются в анализе сигналов, полученных антенными решётками, вычислительно сложными алгоритмами, такими как MUSIC и ESPRIT [3, 4]. Обладают высокой точностью, но накапливают ошибку.