

3. Чумаров С.Г., Лысов П.С. Сравнительный анализ алгоритмов сжатия аудиоданных с помощью вейвлет-функций // Нигматуллинские чтения: сб. докл. Междунар. науч. конф. Казань, 2023. С. 172-174.

4. Đuriš V., Semenov V. I., Chumarov S. G. Wavelet transform of signals with VBA applications. Ste-Con: Karlsruhe, GmbH, Germany, 2022, 1st. ed., 203 p.

5. Чумаров С.Г., Семенов В.И., Сас Д.Д. Улучшение точности реконструкции изображений с применением вейвлет-преобразования в частотной области // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2025. Т. 81. № 2. С. 102-109.

6. Семенов В.И., Чумаров С.Г. От конструирования вейвлетов на основе производных функции Гаусса к синтезу фильтров с конечной импульсной характеристикой // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 2. С. 306–313.

7. Семенов В.И., Чумаров С.Г. Уменьшение времени обратного вейвлет-преобразования изображения с применением симметричного ортогонального вейвлета. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023664790. 07.07.2023.

8. Đuriš V., Chumarov S.G., Semenov V.I. Increasing the speed of multiscale signal analysis in the frequency domain. Electronics 2023, 12, 745.

Чумаров Сергей Геннадьевич, к.т.н., доцент, зав. каф. радиотехники и радиотехнических систем, chumarov@chuvsu.ru.

Серейкин Сергей Юрьевич, студ. магистратуры каф. радиотехники и радиотехнических систем, sereykin3@gmail.com.

УДК 621.391:53.08

МЕТОДИКА СИНТЕЗА РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ВООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

А.Е.Комаров, С.В.Буцев

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт Воздушно-космических сил»
Министерства обороны Российской Федерации, г. Тверь

В системе иностранных технических разведок (ИТР) важная роль принадлежит средствам оптико-электронной разведки (ОЭР), добывающим разведывательные данные в виде изображений, и являющихся наиболее информативным видом разведок. Одним из методов предварительной оценки возможностей средств ОЭР противника по вскрытию демаскирующих признаков охраняемых сведений вооружения является синтез и последующий анализ разведывательных изображений вооружения с использованием компьютерной графики, позволяющий моделировать изображения, адекватные по информативности изображениям, получаемым средствами ОЭР противника.

В качестве исходных данных в методике используются: характеристики аппаратуры разведки R (линейное разрешение на местности ΔL_m , фокусное расстояние оптической системы $F_{о.с.}$, радиус

выходного зрачка оптической системы r_a , параметры фотопленки или матричного приемника); условия ведения разведки U (дата, время, высота H_p , наклонная дальность D_p , спектральные коэффициенты яркости подстилающей поверхности $r_n(\lambda_i)$, параметр турбулентности атмосферы); характеристики объекта разведки V (геометрические размеры, схема размещения элементов объекта на местности, спектральные коэффициенты яркости элементов объекта $r_o(\lambda_i)$).

Выходом методики является синтезированное изображение вооружения, разрешаемое на местности, адекватное по информативности изображению, получаемому средствами ОЭР противника. При этом показателем информативности изображения является вероятность вскрытия (обнаружения и распознавания [1]) объектов или охраняемых сведений на изображении. Декомпозиция этого показателя на показатели, являющиеся характеристиками изображения, позволила установить выходные показатели методики: разрешение изображения ΔL ; контраст каждого элемента разрешения изображения K .

Основным требованием к синтезируемым изображениям является их адекватность реальным объектам [2]. Синтез изображений вооружения, адекватных по информативности изображениям, получаемым средствами ОЭР противника по предлагаемой методике, включает следующую последовательность действий.

На первом этапе синтеза изображения создается неразмытое и незашумленное идеальное (по разрешению на местности) изображение $E_n(x, y)$, а на втором этапе осуществляется его размытие до требуемого разрешения на местности, соответствующего заданным характеристикам разведывательного изображения или исходя из определенных условий ведения разведки [3 - 5].

Создание окончательной модели разведывательного изображения $E_p(x, y)$ осуществляется на втором этапе моделирования путем фильтрации модели идеального изображения $E_n(x, y)$, полученной на первом этапе. Этот процесс описывается выражением [4]:

$$E_p(x, y) = \int_{-\infty - \infty}^{+\infty + \infty} \int E_n(x_1, y_1) f_{т.р}(x - x_1, y - y_1) dx_1 dy_1, \quad (1)$$

или в эквивалентном операторном виде:

$$E_p = E_n \otimes f_{т.р}, \quad (2)$$

где $f_{т.р}(x - x_1, y - y_1)$ – результирующая функция рассеяния точки (ФРТ), учитывающая все основные факторы размытия изображения; $\otimes$ – знак прямого произведения (автокорреляции); x, y – плоскостные прямоугольные координаты изображения.

Разрешение изображения определяется степенью его размытия [5]. При этом результирующая ФРТ определяется выражением [4]:

$$f_{т.р} = f_{т.ат} \otimes f_{т.о.с} \otimes f_{т.р.у} \otimes f_{ф.ш}, \quad (3)$$

где $f_{т.ат}$ – ФРТ атмосферы; $f_{т.о.с}$ – ФРТ точки оптической системы; $f_{т.р.у}$ – ФРТ регистрирующего устройства; $f_{ф.ш}$ – функция фильтрации шумов.

Для численного определения результирующей ФРТ целесообразно воспользоваться прямым $\bar{F}$ и обратным F преобразованиями Фурье. Тогда (3) можно представить в виде [6, 7]:

$$f_{т.р} = F \left[\bar{F}(f_{т.ат}) \bar{F}(f_{т.о.с}) \bar{F}(f_{т.р.у}) \bar{F}(f_{ф.ш}) \right]. \quad (4)$$

Входящие в (4) Фурье-преобразования ФРТ называются оптическими передаточными функциями. ФРТ и соответствующие им оптические передаточные функции приведены в [3, 5, 7 - 8].

Получив результирующую ФРТ можно определить разрешение изображения либо вычислительным методом. Предлагаемый вычислительный метод предполагает использование линейной штриховой меры и функции рассеяния линии (ФРЛ), связанной с ФРТ соотношением [3, 7]:

$$f_{л.р}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{т.р}(x, y) dy \quad (5)$$

Если ФРЛ известна, то ФРТ определяется путем решения интегрального уравнения (6) в виде, предложенном Х. Фризером в [7].

Для создания моделей изображений с использованием приведенной методики разработан комплекс программ, включающий базу данных трехмерных векторных изображений элементов сложных объектов; программу создания трехмерного векторного изображения сложного объекта и его двумерных растровых проекций; программу фильтрации растровых изображений с использованием быстрого преобразования Фурье [6]; подпрограмму расчета матрицы результирующей ФРТ по (4), определения разрешения на местности моделируемого изображения при известных параметрах ФРТ.

Список использованных источников

1. Живичин А.И., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических изображений. – М.: Мир, 1980. – 252 с.
2. Шевяков А.В. Повышение эффективности корреляционно-экстремальных систем наведения высокоточного оружия при поражении малоконтрастных целей // Вестник Военной академии Республики Беларусь № 2 (15), 2007.
3. Домненко В.М., Бурсов М.В. Моделирование формирования оптического изображения. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 128 с.
4. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
5. Зега Э.П., Иванов А.П., Кацев И.Л. Перенос изображения в рассеивающей среде. – Минск: Наука и техника, 1985. – 327 с.

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: