

*И. В. Токаревский**

аспирант, начальник лаборатории отдела 98 АО «Котлин-Новатор»

*А. А. Сенцов***

к.т.н., доцент

*В. А. Ненашев***

к. т. н., доцент

*АО «Котлин-Новатор» Санкт-Петербург, Россия

**Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЕМАСКИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрен вопрос выбора критериев оценки качества демаскированных радиолокационных изображений для возможности разрешения противоречий между требованиями к полноте, достоверности и точности, с одной стороны, и ко времени обработки радиолокационных данных воздушного мониторинга, с другой стороны.

Ключевые слова: радиолокационные изображения, маскирование, оценка качества, демаскирование.

*I. V. Tokarevskiy**

graduate student,

*A. A. Sentsov***

Ph.D. Tech., Associated Prof

*V. A. Nenashev***

Ph.D. Tech., Associated Prof

*JSC "Kotlin-Novator" Saint-Petersburg, Russia

**St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

EVALUATION OF THE QUALITY OF MASKING RADAR IMAGES

The most common criteria for assessing the quality of masked radar images are described in order to resolve contradictions between the requirements for completeness, reliability and accuracy, on the one hand, and the processing time of radar data, on the other hand.

Keywords: radar images, masking, quality assessment, unmasking, image fidelity, SSIM.

По информационным и тактическим характеристикам современные РЛС дают возможность осуществлять непрерывное наблюдение объектов и местности независимо от времени суток и метеорологических условий, а высокая проникающая способность электромагнитных волн радиодиапазона позволяет с помощью РЛС наблюдать искусственные и естественные объекты через облака, туманы, дымовые завесы, растительные покровы, снег и лед, рыхлые почвы, песок. При радиолокационном наблюдении используется информация, заключенная не только в интенсивности отраженных сигналов, но и в их фазовой структуре, поляризации, доплеровском смещении частоты.

Тем не менее производительность формирования и маскирования РЛИ в современных РЛС, может составлять $10^6 \dots 10^7$ элементов (пикселей) изображений в секунду и выше, а производительность оператора-дешифровщика при визуальной обработке демаскированных РЛИ характеризуется величиной порядка $10^3 \dots 10^4$ пикс/с [1]. Кроме того, при визуальном анализе РЛИ практически невозможно учесть ряд вторичных признаков объектов мониторинга, информация о которых заключена в радиолокационном сигнале (в динамическом диапазоне амплитуды сигнала, составляющем 60...120 дБ, поляризации, фазовой структуре, статистических характеристиках и др.) [2, 3].

Обеспечение компромисса между требованиями к полноте, достоверности, точности, с одной стороны, и к срокам представления демаскированных РЛИ, с другой, можно обеспечить только на пути автоматизации процесса обработки радиолокационной информации с использованием современных высокопроизводительных средств цифровой вычислительной техники в составе бортовой аппаратуры радиолокационных систем. В перспективе в качестве основы для реализации автоматического процесса распознавания воздушных объектов может быть реализована вычислительная система с самообучением. Тем не менее допустимость использования ассоциативных элементов для реализации когнитивных методов обработки информации в задаче автоматического распознавания должна быть подтверждена дополнительными исследованиями [4]. Задача распознавания движущегося объекта на радиолокационном изображении является трудно формализуемой, модели «ситуаций» оцениваются уровнем «схожести», что позволяет получать решение для поставленной задачи в рамках нечеткой логики и технологий искусственного интеллекта [4].

Но проблема полной автоматизации процесса дешифрирования и оценки визуальной информации (в том числе РЛИ) несмотря на интенсивные исследования, проводимые на протяжении многих лет (начиная с середины 50-х годов) широким кругом отечественных и зарубежных специалистов, до настоящего времени не решена в полном объеме [5–8].

В радиолокационных комплексах в настоящее время на технические средства обработки можно возложить решение задач по оценке качества демаскированного РЛИ [9]. Качество РЛИ снижается при передаче по открытым каналам связи, под влиянием внешних постановщиков помех: подмены или модификации передаваемых данных, потери информационных пакетов данных.

Пусть есть два РЛИ: $f(x, y)$ – эталонное, $\hat{f}(x, y)$ – демаскированное (восстановленное) изображение размером $A \times B$, тогда одним из критериев оценки потери качества является среднеквадратическое отклонение значений пикселей сжатого РЛИ от оригинала:

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_{x,y}^{A,B} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2}{A \cdot B}}. \quad (1)$$

По представленному критерию изображение будет считаться сильно искажено при изменении значений элементов пикселей всего на 5%. Таким образом применение меры оценки среднеквадратического отклонения рационально использовать при решении задач:

- классификации малоразмерных объектов по габаритам и вторичным признакам, например, по спектру доплеровских частот сигналов, отраженных от движущихся объектов или объектов с движущимися элементами, различать движущиеся объекты колесного или гусеничного типа, объекты со сканирующими антеннами и т. п.;
- определения факта движения и параметров движения наземных (морских) объектов;
- обнаружения движущихся подводных объектов по аномалиям в скоростном (доплеровском) портрете морской поверхности.

Другим критерием является максимальное отклонение от оригинала:

$$d(x, y) = \max_{x,y} |f(x, y) - \hat{f}(x, y)|. \quad (2)$$

Данная мера крайне чувствительна к биению отдельных пикселей, т.е. в изображении может измениться значение только одного пикселя, и данный критерий признает изображение сильно искаженным.

На практике часто используемой мерой качества изображения используют критерий соотношения сигнал/шум (PSNR)

$$d(x, y) = 10 \log_{10} \frac{2^k \cdot A \cdot B}{\sum_{x,y}^{A,B} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2}, \quad (3)$$

где k – количество бит на один пиксель РЛИ.

Логарифмический масштаб шкалы при оценке качества РЛИ дает преимущество в применении изображений, используемых для обнаружения, распознавания и определения координат пространственно-распределенных наземных и надводных целей, а также классификации земных покровов (водная поверхность, суша, поле, лес, сельскохозяйственные насаждения и их состояния, снежный покров и др.).

К другим наиболее употребляемым критериям оценки качества изображения относятся:

- средняя разность:

$$MD = \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B [f(x, y) - \hat{f}(x, y)] / (AB); \quad (4)$$

- метрика структурного подобия (SSIM):

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma, \quad (5)$$

где α, β, γ – экспоненты для компонент яркости, контрастности и элемента структуры,

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1},$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2},$$

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3},$$

где $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ и σ_{xy} – значения локального среднего, значения среднеквадратического отклонения и перекрестная ковариация изображения для пикселей с индексами (x, y) .

Метрика оценки структурного подобия основана на вычислении трех компонент, а именно компонент яркости, контрастности и структуры [10-12]. Общее значение оценки качества РЛИ представляет собой мультипликативную комбинацию трех членов выражения (5).

На рисунке 1 представлен результат оценки качества изображения с использованием метрики структурного сходства для определения качественных характеристик РЛИ.

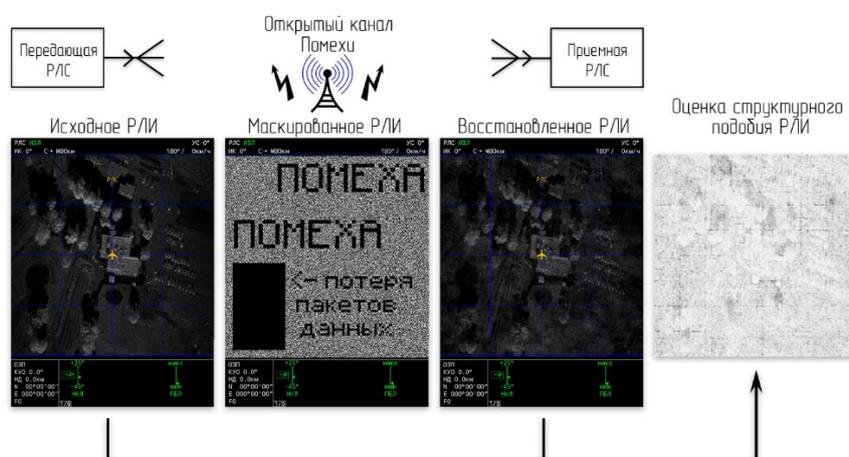


Рис. 1. Оценка структурного подобия РЛИ

Малые значения метрики структурного подобия отображаются в виде темных пикселей на локальной карте SSIM. Области с небольшими значениями SSIM соответствуют областям, где восстановленное изображение заметно отличается от эталонного. Большие локальные значения метрики SSIM отображаются в виде ярких пикселей (белого цвета). Области с большими значениями SSIM соответствуют однородным областям эталонного изображения, где внесенные искажения в изображение при передаче по радиоканалу оказывают меньшее влияние на РЛИ.

В настоящее время в задачах оценки качества восстановленного радиолокационного изображения среди критериев оценки качества изображения актуальными для программно-аппаратной реализации в современных проектах, связанных с разработкой перспективных радиолокационных станций, являются оценка среднеквадратического отклонения и соотношения сигнал/шум. Для визуальной оценки восстановленного радиолокационного изображения используется метрика структурного подобия и разностное изображение. Не менее актуальной является задача автоматизации процесса обработки радиолокационной информации на базе современных высокопроизводительных средств цифровой вычислительной техники в составе бортовой аппаратуры. Основой для реализации автоматического процесса распознавания воздушных объектов служат самообучающиеся системы, реализованные на базе когнитивных методов обработки информации.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-79-00303).

Библиографический список

1. Востриков А. А., Сергеев М. Б., Литвинов М. Ю. Маскирование цифровой визуальной информации: термин и основные определения // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 5. – С. 116–123.
2. I. V. Tokarevskiy, A. A. Sentsov and M. B. Sergeev, Features of Matrix Masking of Digital Radar Images, 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/WECONF55058.2022.9803393. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9803393>.
3. Чернышев, С. А. О выборе матриц для процедур маскирования и демаскирования изображений / С. А. Чернышев, А. А. Востриков, О. В. Мишура, А. М. Сергеев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–24. – С. 5335-5339.
4. Иванов С. А., Сенцов А. А. Применение когнитивных технологий в решении задачи распознавания. Труды XXV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», Том 1 – М.: ПАРАН, 2022. С. 267–274.
5. Верба В. С., Татарский Б. Г., Ильчук А. Р. и др. Радиолокационные системы авиационно-космического мониторинга земной поверхности и воздушного пространства. М.: Радиотехника, 2014. – 576 с.
6. Петров И. И., Шкодырев В. П., Сенцов А. А., Иванов С. А. Алгоритм распознавания малоразмерных воздушных объектов на основе анализа радиолокационных спектральных портретов // Т-Comm. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raspoznavaniya-malorazmernyh-vozdushnyh-obektov-na-osnove-analiza-radiolokatsionnyh-spektralnyh-portretov> (дата обращения: 15.01.2024).
7. D. A. Kostenko, A. A. Sentsov and S. A. Ivanov. Application of Cognitive Technologies in Solving the Recognition Task, 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/WECONF55058.2022.9803328.

8. Richard Klemm. Novel Radar Techniques and Applications. Vol. 1: Real Aperture Array Radar, Imaging Radar, and Passive and Multistatic Radar / eds by Richard Klemm, Ulrich Nickel, Christoph Gierull et al. London: SciTech Publishing, 2017. – 952 p.
9. Сенцов А. А. Методика проектирования специализированных радиолокационных средств. Метрологическое обеспечение инновационных технологий: V Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 131–132.
10. Zhou, W., A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity." IEEE Transactions on Image Processing. Vol. 13, Issue 4, April 2004, pp. 600–612.
11. Уханов Е. В. Статистические характеристики сигнала на выходе оптимальной радиолокационной системы распознавания подвижных воздушных объектов // Т-Comm. №4. 2023. – С. 26–31.
12. Иванов С. А. Сенцов А. А. Оценка точности определения координат объектов в локальном навигационном поле. Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации: Первая Всеросс. науч. конф. (СПб., 14–22 апреля 2020 г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2020. С. 18–22.