

УДК 681.78

Р.С. Кочмарчик

Войсковая часть А2042

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦЕЛЕЙ В МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ МЕТОДОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Проведено математическое моделирование процесса распознавания целей в многоспектральных оптико-электронных системах воздушной разведки. Исследовано влияние цифровой обработки изображений целей методом восстановления элементов на достоверность их распознавания. Показано повышение достоверности распознавания изображений целей, обработанных методом восстановления их элементов.*

**Ключевые слова:** многоспектральные оптико-электронные системы, цифровая обработка изображений, восстановление элементов изображений целей, распознавание изображений целей.

### Введение

В работах [1, 2] изложен метод повышения пространственного разрешения изображений целей в многоспектральных оптико-электронных системах (ОЭС), который позволяет частично восстановить их элементы, утраченные в результате низкой пространственной разрешающей способности ОЭС.

Метод восстановления элементов изображений представляет собой их цифровую обработку в последдетекторной области ОЭС и основан на том, что естественный спектральный состав целей и фонов в многоспектральных ОЭС (МОЭС) обладает свойством пространственной близости спектральных составляющих, которые также имеют свойство группироваться вокруг центров однородных областей с близким спектральным составом [1].

В большинстве случаев, цели в многоспектральных ОЭС являют собою локальные неоднородности на более однородном фоне. Данное свойство проявляется в выходном изображении многоспектральной ОЭС в том, что неполные элементы изображения цели будут группироваться вокруг центров однородных областей, максимально занятых спектральным составом цели. Данные закономерности дают основания полагать, что в пределах неполного элемента изображения цели ее спектральный состав будет занимать подпространство данного элемента, расположенное на кратчайшем расстоянии к центру однородной области с близким спектральным составом. Пространственное положение данного подпространства в пределах элемента изображения можно рассматривать, как функцию его расстояния до центра однородной области и количественного содержания цели в ней. Априорная информация о количественном содержании спектрального состава цели в конкретном элементе изображения и ближайших окружающих его элементах (называемых кластером), позволяет рассчитать про-

странственное распределение спектрального состава цели в пределах элемента изображения и частично восстановить элементы изображений, утраченные в результате низкого пространственного разрешения многоспектральной ОЭС.

Оценка результатов предлагаемого метода обработки изображений показала, что по своим пространственным характеристикам восстановленные изображения становятся более близкими к эталонным изображениям. В работе [2] вычислен коэффициент корреляции исходного и восстановленного изображений для разных масштабов повышения пространственного разрешения, позволяющий произвести сравнительную оценку процесса восстановления изображений. Однако вопросы распознавания восстановленных изображений в работе не рассматривались.

**Целью** настоящей статьи является исследование влияния цифровой обработки изображений целей методом восстановления элементов на характеристики их распознавания в многоспектральных ОЭС.

### Постановка задачи

Известно, что основными задачами, решаемыми оптико-электронными системами воздушной разведки, являются задачи обнаружения и распознаваемых целей на фоне помех. На рис. 1 изображена структурная схема многоспектральной ОЭС, которая включает основные устройства, обеспечивающие спектральную фильтрацию при известных спектральных характеристиках объекта и фона, а также распознавание целей методом их сравнения с эталонными изображениями.

Анализируемое излучение (АИ) через оптическую систему (ОС) поступает на устройство согласованной фильтрации (УСФ), передаточная функция которого оптимизируется с целью увеличения отношения сигнал/фон (увеличения контраста изображения, компенсации атмосферной помехи) в соот-

ветствии с ожидаемыми спектральными характеристиками цели и фона [3 – 5]. Данные спектральные характеристики хранятся в библиотеке спектров (БС). После согласованной обработки сигнал поступает на матричный детектор (МД), преобразующий интенсивность излучения в каждом элементе изображения в электрический сигнал. Каждый элемент изображения проходит обработку в пороговом детекторе (ПД), порог срабатывания которого определяется на основе статистических характеристик распределения излучения сигнала и фона. После детектирования сигнал поступает в модуль цифровой обработки сигнала (МЦОС), где производится восстановление элементов изображения (модуль восстановления изображений МВИ) [2] и распознавание целей (модуль распознавания целей МРЦ). Результатом распознавания является решение о принадлежности цели к классу  $R_i$ . Эталонные сигнатуры классов целей хранятся в библиотеке эталонов (БЭ).

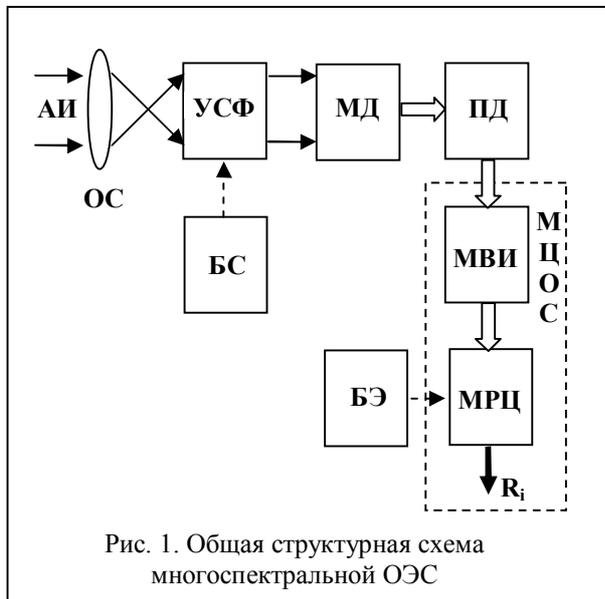


Рис. 1. Общая структурная схема многоспектральной ОЭС

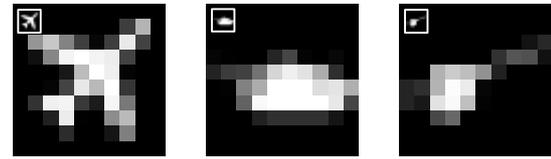
Обработка сигнала в тракте ОЭС до модуля распознавания целей (МРЦ) рассмотрена в работах [1 – 5]. Для исследования влияния цифровой обработки изображений целей методом восстановления элементов на достоверность их распознавания будем считать, что в библиотеке эталонов (БЭ) хранятся эталонные сигнатуры трех классов целей: «самолет», «танк» и «орудие», которые являют собой черно-белые изображения размером  $110 \times 110$  пикселей. Яркостные свойства цели и фона данных изображений соответствуют следующим значениям: цель - 255 единиц; фон - 0 единиц (рис. 2). Обозначим эталонные цели  $T_{1E}$ ,  $T_{2E}$ ,  $T_{3E}$  соответственно.

Пусть, в результате оптимальной обработки сигнала в ОЭС с ограниченной разрешающей способностью, после матричного детектора (МД) получены изображения распознаваемых целей размерности  $10 \times 10$  пикселей (рис. 3).



$T_{1E}$   $T_{2E}$   $T_{3E}$

Рис. 2. Эталонные сигнатуры целей размером  $110 \times 110$  пикселей



$T_{1D}$   $T_{2D}$   $T_{3D}$

Рис. 3. Изображения целей размером  $10 \times 10$  пикселей в последдетекторной области МОЭС с низким пространственным разрешением

Модели данных изображений целей с низким пространственным разрешением получены методом разбиения исходных изображений на кластеры  $11 \times 11$  пикселей и замены их единственным пикселем с усредненной яркостью всех пикселей кластера [1, 2]. (Приведенные на рис. 3 изображения увеличены в 10 раз в графическом редакторе, а исходные изображения представлены в левом верхнем углу). Обозначим модели протектированных изображений целей  $T_{1D}$ ,  $T_{2D}$ ,  $T_{3D}$  соответственно. Для приведения размеров протектированных изображений к размерам эталонных, создадим заполненные фоном изображения с размерами эталонных, а в их центре разместим протектированные изображения.

В результате восстановления элементов изображений целей по методу, обсуждаемому в работе [2], получены их изображения (рис. 4), равные по размерам эталонным изображениям. Обозначим изображения целей с восстановленными элементами  $T_{1S}$ ,  $T_{2S}$ ,  $T_{3S}$  соответственно.



$T_{1S}$   $T_{2S}$   $T_{3S}$

Рис. 4. Изображения целей, обработанных методом восстановления элементов (размером  $110 \times 110$  пикселей)

При исследовании влияния повышения пространственного разрешения целей на достоверность их распознавания будем полагать, что пространственное положение в плоскости кадра и ракурс эталонных и распознаваемых целей соответствуют друг другу.

### Исследование достоверности распознавания целей в МОЭС

Подход к задачам распознавания образов с позиции теории решений основан на использовании решающих (дискриминантных) функций [7]. Пусть  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  – N – мерный вектор образа объекта и существует W классов образов  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_W$ . Тогда задача распознавания образов сводится к поиску W дискриминантных функций  $d_1(x), d_2(x), \dots, d_W(x)$ , таких, что если образ X принадлежит к классу  $\omega_j$ , то:

$$d_i(x) > d_j(x) \quad j = 1, 2, \dots, W; \quad j \neq i. \quad (1)$$

Если значения дискриминантных функций нескольких классов равны, то решение об их распознавании не может быть достоверным и, как правило, принимается произвольно.

Для получения векторов образов эталонных, протектированных и сверхразрешенных изображений представим их, как дискретные пространственные сигналы из  $m \times n$  элементов. Сформируем из них построчно векторы образов в многомерном пространстве, в котором число пространственных координат N соответствует числу элементов в изображении [6].

Одним из возможных и широко распространенных методов сравнения изображений является корреляционное сопоставление, основанное на расчете коэффициента корреляции между векторами образов распознаваемого изображения и эталонных изображений [7, 8]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где  $N = m \cdot n$  – размерность векторов изображений;  $x_i, y_i$  – i –ые элементы сравниваемых векторов изображений;

$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$  – средние значения сравниваемых векторов изображений.

Поскольку значения яркости пикселей всех рассматриваемых изображений являются положительными числами, то коэффициент корреляции будет изменяться в диапазоне  $0 \leq r \leq 1$  и достигать максимального значения для тех пар изображений, в которых распределения яркостей по площади кадра максимально соответствуют.

Результаты расчета коэффициента корреляции (ф-ла 2) попарно между всеми эталонными, протектированными и обработанными методом повышения пространственного разрешения изображениями целей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между исследуемыми изображениями целей

	T <sub>1E</sub>	T <sub>1D</sub>	T <sub>1S</sub>	T <sub>2E</sub>	T <sub>2D</sub>	T <sub>2S</sub>	T <sub>3E</sub>	T <sub>3D</sub>	T <sub>3S</sub>
T <sub>1E</sub>	1,00	0,09	0,85	0,33	0,09	0,34	0,23	0,07	0,25
T <sub>1D</sub>	0,09	1,00	0,09	0,10	0,58	0,11	0,08	0,46	0,13
T <sub>1S</sub>	0,85	0,09	1,00	0,33	0,08	0,35	0,21	0,07	0,25
T <sub>2E</sub>	0,33	0,10	0,33	1,00	0,09	0,82	0,37	0,08	0,38
T <sub>2D</sub>	0,09	0,58	0,08	0,09	1,00	0,01	0,04	0,56	0,11
T <sub>2S</sub>	0,34	0,11	0,35	0,82	0,01	1,00	0,35	0,08	0,39
T <sub>3E</sub>	0,23	0,08	0,21	0,37	0,04	0,35	1,00	0,07	0,79
T <sub>3D</sub>	0,07	0,46	0,07	0,08	0,56	0,08	0,07	1,00	0,11
T <sub>3S</sub>	0,25	0,13	0,25	0,38	0,11	0,39	0,79	0,11	1,00

### Обсуждение полученных результатов

1. На рис. 5 приведен график зависимости коэффициентов корреляции «протектированные – эталонные изображения целей». Приведенные на графике результаты моделирования процесса распознавания целей позволяют сделать следующие выводы:

1.1. При распознавании цели T<sub>1D</sub> получен наибольший коэффициент корреляции  $r = 0,10$  с эталонным изображением T<sub>2E</sub>, что свидетельствует об ошибке распознавания цели.

1.2. При распознавании цели T<sub>2D</sub> получен наибольший коэффициент корреляции  $r = 0,09$  одновременно с эталонными изображениями T<sub>1E</sub> и T<sub>2E</sub>, поэтому однозначное распознавание цели становится невозможным.

1.3. При распознавании цели T<sub>3D</sub> получен наибольший коэффициент корреляции  $r = 0,08$  с эталонным изображением T<sub>2E</sub>, поэтому цель T<sub>3D</sub> будет ошибочно распознана, как цель T<sub>2E</sub>.

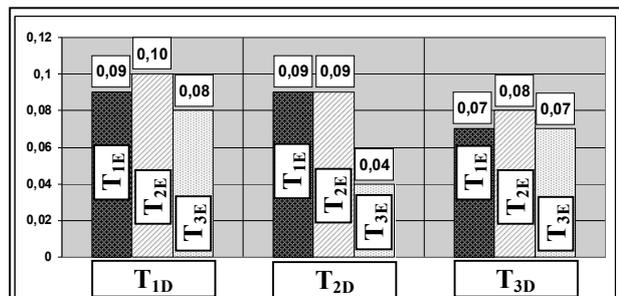


Рис. 5. Коэффициенты корреляции «протектированные – эталонные изображения целей»

Таким образом, рассматриваемая дискриминантная функция приводит к ошибкам распознавания целей классов «самолет» ( $T_{1D}$ ) и «орудие» ( $T_{3D}$ ), а также к неоднозначности распознавания цели класса «танк» ( $T_{2D}$ ).

2. На рис. 6 приведен график зависимости коэффициентов корреляции «обработанные методом повышения пространственного разрешения – эталонные изображения».

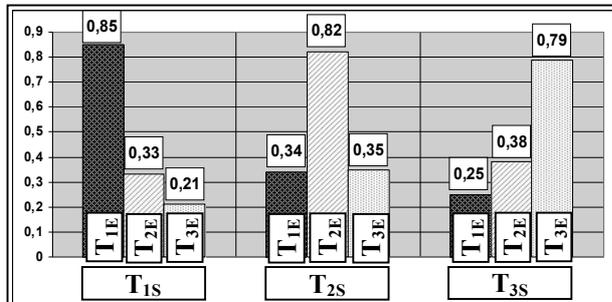


Рис. 6. Коэффициенты корреляции «обработанные методом повышения пространственного разрешения – эталонные изображения»

Результаты математического моделирования процесса распознавания целей, отображенных на данном графике, позволяют сделать следующие выводы:

2.1. Коэффициенты корреляции между эталонными и обработанными изображениями целей  $r(T_{iE}, T_{jS})$  при  $i = j$  изменяются в диапазоне 0,79 – 0,85;

2.2. Коэффициенты корреляции между эталонными и обработанными изображениями целей  $r(T_{iE}, T_{jS})$  при  $i \neq j$  изменяются в диапазоне 0,21 – 0,38;

2.3. Равные значения коэффициентов корреляции «обработанные методом повышения пространственного разрешения – эталонные изображения» в результате распознавания изображений не получены.

Следовательно, рассматриваемая дискриминантная функция позволяет однозначно и достоверно распознать цели классов «самолет» ( $T_{1D}$ ), «танк» ( $T_{2D}$ ) и «орудие»  $T_{3S}$ , которые были предварительно обработаны методом повышения их пространственного разрешения.

## ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ В БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ МЕТОДОМ ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ

Р.С. Кочмарчук

Проведено математичне моделювання процесу розпізнавання цілей в багато спектральних оптико-електронних системах повітряної розвідки. Досліджено вплив цифрової обробки зображень цілей методом відновлення елементів на достовірність їх розпізнавання. Показано підвищення достовірності розпізнавання зображень цілей, оброблених методом відновлення їх елементів.

**Ключові слова:** багатоспектральні оптико-електронні системи, цифрова обробка зображень, підвищення просторової роздільної здатності зображень цілей, розпізнавання зображень цілей.

## THE INCREASE OF TARGET RECOGNITION RELIABILITY IN MULTISPECTRAL OPTICAL-ELECTRONIC AIR INTELLIGENCE SYSTEMS BY THE USE OF IMAGES' ELEMENTS RECONSTRUCTION METHOD

R.S. Kochmarchuk

A mathematical modeling of target recognition process in the multispectral optical-electronic systems of aerial intelligence is conducted. An influence of target image digital processing on reliability of their recognition by the use of element recovery method is explored. An improvement of reliability of target image recognition processed by their element recovery method is shown.

**Keywords:** multispectral optical-electronic systems, image digital processing, target image spatial resolution enhancement, target image recognition.

## Выводы

В работе проведено математическое моделирование процесса распознавание целей в многоспектральной оптико-электронной системе. Из результатов моделирования следует, что применение метода корреляционного сопоставления для распознавания рассматриваемых в работе целей с низким пространственным разрешением (классов «самолет», «танк» и «орудие»), достоверного результата распознавания не дает. Показано, что применение метода восстановления элементов изображений целей в МОЭС позволяет повысить достоверность их распознавания.

## Список литературы

1. Subpixel Target Detection and Enhancement In Hyperspectral Images / KC Tiwari, M. Arora, D. Singh // Defence Science Journal. – Vol. 63, No. 1. – Jan. 2013. – P. 63-68.

2. Кочмарчук Р.С. Пространственное сверхразрешение целей в оптико-электронных системах воздушной разведки // Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України. – X.: ХУПС, 2011. – Вип. 3(12). – С. 52 – 57.

3. Купченко Л.Ф. Обнаружение объектов по спектральным признакам в оптико-электронных системах с использованием принципов динамической фильтрации // Прикладная радиоэлектроника. – X.: ХНУРЭ, 2011. – Т. 10, № 1. – С. 22 – 26.

4. Купченко Л.Ф. Динамическая спектральная фильтрация оптического излучения в оптоэлектронных системах / Л.Ф. Купченко, А.С. Рыбьяк // Электромагнитные волны и электронные системы. – М.: Радиотехника, 2011. – С. 32 – 43.

5. Купченко Л.Ф. Математическая модель устройства спектральной фильтрации изображений, учитывающая оптические свойства атмосферы / Л.Ф. Купченко, О.В. Ефимова, А.С. Рыбьяк // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС, 2007. – Вип. 2(60). – С. 44 – 47.

6. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 413 с.

7. Р. Гонсалес Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 464 с.

Поступила в редколлегию 2.12.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.