

УДК 681.325

А.Н. Маковейчук<sup>1</sup>, И.Н. Бутко<sup>2</sup>, Д.Б. Жуйков<sup>3</sup>, Г.В. Худов<sup>3</sup><sup>1</sup> Львовский филиал Национального транспортного университета, Львов<sup>2</sup> Военная часть К1410, Киев<sup>3</sup> Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФРАКТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОТЯЖЕННЫХ МАСКИРУЮЩИХ ПОМЕХ

*В работе проведен анализ показателей качества обработки изображений фрактальным методом при воздействии протяженных маскирующих помех.*

**Ключевые слова:** показатель качества, обработка изображений, фрактальный метод обработки, протяженная маскирующая помеха.

### Введение

**Постановка проблемы в общем виде.** Известно [1 – 6], что эффективность координатной привязки и обнаружения объектов наблюдения при дешифрировании оптико-электронных изображений в условиях воздействия маскирующих помех существенно зависит от качества обработки изображений. В настоящее время одним из эффективных методов обработки оптико-электронных изображений является фрактальный метод обработки [7 – 10]. Применение фрактального метода обработки изображений в условиях воздействия протяженных маскирующих помех рассмотрено в работе [11]. В настоящей статье проводится анализ показателей качества обработки изображений фрактальным методом при воздействии протяженных маскирующих помех.

**Цель статьи** – проанализировать показатели качества обработки изображений фрактальным методом при воздействии протяженных маскирующих помех.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Качество обработки изображений в системах оптико-электронного наблюдения существенно зависит от воздействия различного рода помех и, в первую очередь, протяженных маскирующих помех, под которыми понимаются задымленности, обусловленные постановкой дымовых завес, пожарами при применении высокоточного оружия (ВТО), пожарами, обусловленными природными явлениями [12 – 16].

Примеры изображений, подверженных воздействию протяженных маскирующих помех, приведены на рис. 1 – 4. Существующие методы обработки изображений, подверженных воздействию маскирующих помех [17 – 25], направлены в основном на повышение контраста изображения и эффективны только для определенных спектральных диапазонов, а их использование с другими типами данных не всегда даёт хороший результат.



Рис. 1. Пример изображения, подверженного воздействию протяженных маскирующих помех (применение ВТО, Ирак, 2003 год)



Рис. 2. Пример изображения, подверженного воздействию протяженных маскирующих помех (применение ВТО, Ливия, 2011 год)

К тому же, существующие методы компенсации дымки на изображениях [17 – 25] не решают задачу устранения линии раздела задымленной и незадымленной областей изображения. Это, в свою очередь, оказывает негативное влияние на последующие этапы обработки изображения, особенно на этапы координатной привязки изображений и обнаружения объектов разведки на изображениях.



Рис. 3. Пример изображения, подверженного воздействию протяженных маскирующих помех (пожары при землетрясении, Япония, 2011 год)



Рис. 4. Пример изображения, подверженного воздействию протяженных маскирующих помех (лесные пожары, Россия, 2010 год)

Задача устранения линии раздела задымленной и незадымленной областей изображения решена в работах [26 – 28] за счет использования методов математической морфологии второго порядка. Однако при использовании результатов, полученных в работах [26 – 28], существенно увеличивается аддитивный шум и подчеркиваются артефакты блочной структуры изображения, которые возникают вследствие потери части информации при ее сжатии. Вследствие предварительного оценивания коэффициентов отражения и поглощения, а также использования двухпроходных морфологических операций первого и второго порядка, алгоритмам обработки изображений [26 – 28] присуща значительная вычислительная сложность и, как следствие, недопустимо большое время обработки.

В работе [11] предложен фрактальный метод обработки изображений в условиях воздействия протяженных маскирующих помех.

### Постановка задачи и изложение материалов исследования

Предлагаемый в [11] метод фрактальной обработки изображений при воздействии протяженных маскирующих помех состоит в следующем:

1) рассчитываются суммы  $S_k$  пикселей по

окрестностях точки изображения с координатами  $(x, y)$  размером  $w_k \times w_k$ :

$$S_k = \sum_{m=0}^{w_k-1} \sum_{n=0}^{w_k-1} g(x+m, y+n),$$

при этом  $w_k = 2^k$ , а степень  $k$  принимает значения в диапазоне от 0 до некоторого заданного числа  $K$ ;

2) методом наименьших квадратов находим параметры  $D$  и  $C$  аппроксимирующей кривой

$$\ln S_k = D \cdot \ln w_k + C,$$

а локальная емкостная размерность в точке с координатами  $(x, y)$  определяется угловым коэффициентом  $D$  этой прямой и сохраняется в матрице  $d$ :

$$d(x, y) = D.$$

Рассчитанная матрица  $d(x, y)$  определяет изображение локальных фрактальных размерностей, соответствующих заданному изображению  $g(x, y)$ .

3) проводится нормировка значений матрицы  $d(x, y)$  для приведения динамического диапазона к интервалу  $[0..1]$ :

$$r(x, y) = \frac{d(x, y) - \min d}{\max d - \min d},$$

где  $r(x, y)$  – обработанное изображение.

Исходное и обработанное фрактальным методом обработки изображения приведены на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Из анализа рис. 5 и 6 видно, что на изображении рис. 6 присутствуют мелкие детали (обведены кружком), не обнаружимые на рис. 5 (например, тени от труб нефтеперерабатывающего комплекса, падающие на проходящую рядом дорогу). Однако в работе [11] не проводится оценка качества обработки изображений фрактальным методом обработки при воздействии протяженных маскирующих помех.

Эффективность использования общепринятых методик обработки изображений зависит от большого числа управляющих параметров, которые в большинстве случаев выбираются эмпирически [17 – 21, 29].



Рис. 5. Исходное изображение [11]



Рис. 6. Изображение, обработанное фрактальным методом [11]

При этом субъективные оценки являются не всегда удовлетворительными, так как в результате обработки могут маскироваться важные особенности изображения и, наоборот, привносятся артефакты. Последнее – субъективность восприятия – сильно усложняет применение формализованного подхода в достижении цели обработки изображений. Поэтому, при обработке изображений получили распространение методы, в которых часто отсутствуют строгие математические критерии оптимальности. Их заменяют качественные представления о целесообразности той или иной обработки, опирающиеся на субъективные оценки результатов [29].

В литературе [17 – 21, 29 – 32] предложены следующие меры качества обработки, которые определяются как расстояние в некоторой метрике между исходным  $g(x, y)$  и обработанным  $r(x, y)$  изображениями размером  $M \times N$ .

1. Средняя разность (absolute difference):

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]. \quad (1)$$

2. Нормированная корреляция (normalized cross-correlation):

$$NCC = \frac{\sum_x \sum_y r(x, y)g(x, y)}{\sum_x \sum_y [r(x, y)]^2}. \quad (2)$$

3. Качество корреляции (correlation quality):

$$CQ = \frac{\sum_x \sum_y r(x, y)g(x, y)}{\sum_x \sum_y r(x, y)}. \quad (3)$$

4. Верность изображения (image fidelity):

$$IF = 1 - \frac{\sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]^2}{\sum_x \sum_y [r(x, y)]^2}. \quad (4)$$

5. Максимальная разность (maximum difference):

$$MD = \max_{x, y} [r(x, y) - g(x, y)]. \quad (5)$$

6. Среднеквадратичная лапласианова погрешность (laplasiyan mean square error):

$$LMSE = \frac{\sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)] * L}{\sum_x \sum_y [r(x, y)]^2}, \quad (6)$$

где \* – оператор свертки;  $L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$  – дискретный (3×3) оператор Лапласа.

7. Среднеквадратичная погрешность (mean square error):

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]^2. \quad (7)$$

8. Максимальная среднеквадратичная погрешность (peak mean square error):

$$PMSE = \frac{\frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]^2}{\left[ \max_{x, y} r(x, y) \right]^2}. \quad (8)$$

9. Нормированная абсолютная погрешность (normalized absolute error):

$$NAE = \frac{\sum_x \sum_y |r(x, y) - g(x, y)|}{\sum_x \sum_y |r(x, y)|}. \quad (9)$$

10. Нормированная среднеквадратичная погрешность (normalized mean square error):

$$NMSE = \frac{\sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]^2}{\sum_x \sum_y [r(x, y)]^2} = 1 - IF. \quad (10)$$

11. Норма Минковского:

$$L_p = \left\{ \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y |r(x, y) - g(x, y)|^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad (11)$$

где параметр  $p$  определяет относительную значимость ошибки при различных значениях яркости.

Наиболее употребительными являются следующие нормы Минковского:

- $L_1$  – среднее абсолютное отклонение;
- $L_2$  – среднее квадратическое отклонение;
- $L_\infty$  – максимальное абсолютное отклонение.

12. Отношение сигнал/шум (signal to noise ratio):

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_x \sum_y [r(x, y)]^2}{\sum_x \sum_y [r(x, y) - g(x, y)]^2}. \quad (12)$$

13. Максимальное отношение сигнал/шум (peak signal to noise ratio):

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{\left[ \max_{x,y} r(x,y) \right]^2}{\frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [r(x,y) - g(x,y)]^2}. \quad (13)$$

Оценки качества, представленные выражениями (1) – (13), удобны в использовании, тем не менее, они не всегда позволяют объективно оценить качество обработки изображения в условиях воздействия протяженных маскирующих помех, в особенности с точки зрения его визуального восприятия. Основным недостатком рассмотренных методов является некорректная оценка качества зашумленных изображений. Этот недостаток присущ всем методам, которые при оценке качества изображения используют ту или иную меру контраста. Это связано с тем, что метод оценки качества не обеспечивает идентификации резких перепадов яркостей – по шуму или высококонтрастному участку. Более предпочтительными являются информационные меры качества [29, 33 – 38]. При этом наиболее употребительными являются следующие меры информативности изображения  $r(x, y)$  [29, 33 – 38]:

1. Дисперсия изображения:

$$D = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [r(x,y) - \bar{r}]^2, \quad (14)$$

где  $\bar{r} = \langle r \rangle$  – среднее значение  $r(x, y)$ .

2. Энтропия изображения:

$$H = - \sum_c p_c \log_2 p_c, \quad (15)$$

где  $p_c$  – вероятность появления в изображении цвета  $c$ , обычно вычисляется по гистограмме

$$p = \frac{1}{MN} \text{hist}(r).$$

3. Энтропия источника:

$$H = - \sum_x \sum_y r(x,y) \log_2 r(x,y), \quad (16)$$

где  $r(x, y) \in [0 - 1]$ .

Параметры обработки изображения выбираются по максимуму меры качества восстановленного изображения, определяемые выражениями (14 – 16).

В известных работах [17 – 25, 33 – 38] задача обработки изображений при воздействии протяженных маскирующих помех в прямой постановке не ставится и решается как общая задача улучшения качества изображения путём восстановления изображения [17 – 25, 29]. Поэтому, в задачах обработки изображений отсутствуют такие понятия, как «помехозащита», «показатели качества помехозащиты» и т.д.

В работах [30 – 32] введены показатели качества обработки оптико-электронных изображений, разработанные для случая воздействия аддитивных помех для временных (одномерных) сигналов, применительно к

случаю воздействия протяженных маскирующих помех для двумерных изображений [30 – 32, 39].

В качестве показателей эффективности обработки оптико-электронных изображений в работах [30 – 32] выбраны хорошо зарекомендовавшие себя в теории помехозащиты применительно к радиолокационным сигналам коэффициенты подавления помехи, использования энергии, подпомеховой видимости.

В работах [30 – 32] дана трактовка указанных коэффициентов применительно к решению задачи обработки изображений при воздействии протяженных маскирующих помех.

### Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, при использовании фрактального метода обработки изображений качество обработки можно оценивать с использованием различных показателей, учитывающих энергетические и информационные характеристики оптико-электронных изображений при воздействии протяженных маскирующих помех. В дальнейших исследованиях необходимо провести оценку показателей эффективности обработки изображений при воздействии протяженных маскирующих помех и использовании фрактального метода их обработки.

### Список литературы

1. Попов М.О. Стан і перспективи розвитку гіперспектральних систем аерокосмічної розвідки / М.О. Попов, С.В. Гринюк, П.М. Понтьківський // Наука і оборона. – К., 2012. – № 2. – С. 39-47.
2. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності / [П.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'яковський, В.Б. Толубко] – К.: НАОУ, ЖВІРЕ, 2002. – 207 с.
3. Мосов С.П. Аерокосмічна розвідка в сучасних воєнних конфліктах: Монографія / С.П. Мосов. – К.: Изд. дом «Румб», 2008. – 248 с.
4. Станкевич С.А. Аналіз завдань видової космічної розвідки, які можуть бути вирішені за допомогою гіперспектрального знімання / С.А. Станкевич, О.Б. Захаров // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 4 (20). – С. 57-61.
5. Попов М.О. Гіперспектральна аерокосмічна інформація у виявленні та спостереженні об'єктів / М.О. Попов, С.А. Станкевич, В.Д. Молдован // Наука і оборона. – 2006. – № 3. – С. 25-35.
6. Попов М.О. Геопросторова розвідка в операціях збройних сил / М.О. Попов // Наука і оборона. – 2010. – № 2. – С. 30-39.
7. Потапов А. А. Новейшие методы обработки изображений / А.А.Потапов, А.А.Пахомов, С.А.Никитин, Ю.В.Гуляев. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
8. Потапов А.А. Фракталы в дистанционном зондировании / А.А. Потапов // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – № 6. – С. 3-65.
9. Иванов В.К. Фрактальный анализ изображений лесных массивов / В.К. Иванов, Р.Э. Пащенко, А.М. Стадник, С.Е. Яцевич // Успехи современной радиоэлектроники. – 2005. – № 12. – С. 55-62.
10. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография / Под ред. Р.Э. Пащенко. – Х.: ХООО «НЭО «ЭкоПерспектива», 2006. – 348 с.
11. Жуйков Д.Б. Метод определения локальной фрактальной размерности изображения в условиях воздействия маскирующих помех / Д.Б. Жуйков, А.Н. Мако-

вейчук, Г.В. Худов // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 3 (27). – С. 37-41.

12. Льяшов О.А. Роль і місце розвідки в інформаційному протиборстві / О.А. Льяшов, Н.Б. Мезенцева // Наука і оборона. – 2011. – № 3. – С. 26-34.

13. Волков С. Космос как поле битвы / С. Волков // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 3 (40). – С. 46-53.

14. Волков С. Космос как поле битвы / С. Волков // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 4 (41). – С. 34-40.

15. Путьшева Н.В. Ежедневный спутниковый мониторинг пожарной обстановки в России / Н.В. Путьшева, В.В. Морозов // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. – № 9. – С. 65-71.

16. Гриб Д.А. Використання супутникових даних в інтересах оцінки пожежної обстановки при бойовому застосуванні Повітряних Сил Збройних Сил України / Д.А. Гриб, Г.В. Худов, А.М. Маковейчук, Д.В. Карлов, Д.Б. Жуйков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 3 (23). – С. 176-179.

17. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений: пер. с англ. / Р. Бейтс, М. Мак-Доннелл. – М.: Мир, 1989. – 336 с.

18. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.

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

20. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику / Л.П. Ярославский. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.

21. Оппенгейм А.В. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. под ред. С.Я. Шаца / А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер. – М.: Связь, 1979. – 416 с.

22. Маслов А.А. Программный пакет Scanex Image Processor и его применение в лесоустройстве и мониторинге / А.А. Маслов, А.В. Соноушкин // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (Москва, 17-19 апреля 2007 г.). – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – С. 64-67.

23. Кичигин А.Г. Аппаратно-программный комплекс для оперативного космического мониторинга территорий / А.Г. Кичигин // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – М.: ООО «Сити принт», 2009. – Вип. 1. – С. 49-53.

24. Гершензон В.Е. Сетевые технологии ScanNet в оперативном спутниковом мониторинге / В.Е. Гершензон, А.А. Кучейко // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – М.: ООО «Сити принт», 2009. – Вип. 3. – С. 14-17.

25. Лоцинин А.А. «Триатерра» – система управления данными о пространственных объектах / А.А. Лоцинин, С.И. Михайлов, Д.Г. Зегебарт // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – М.: ООО «Сити принт», 2009. – Вип. 3. – С. 59-63.

26. Маковейчук А.Н. Методы улучшения качества изображений по результатам натурных экспериментов / А.Н. Маковейчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №2 (8). – С. 38-41.

27. Маковейчук О.М. Алгоритмы реставрации дефокусированных изображений / О.М. Маковейчук, В.О. Подліпаев //

Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2005. – № 3-4. – С. 99-103.

28. Маковейчук А.Н. Теоретическое обоснование методики защиты видовых изображений от воздействия маскирующих помех / А.Н. Маковейчук, В.А. Подліпаев, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 6. – С. 62-71.

29. Маковейчук О.М. Об'єктивна оцінка якості обробки зображень / О.М. Маковейчук // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2008. – № 3 (15). – С. 135-137.

30. Маковейчук О.М. Оцінка коефіцієнту використання енергії при захисті видових зображень від маскуючих перешкод штучного походження / О.М. Маковейчук, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2010. – № 2 (4). – С. 75-77.

31. Жуйков Д.Б. Оценка коэффициента подавления помехи при обнаружении объектов на оптико-электронных изображениях в условиях воздействия маскирующих помех / Д.Б. Жуйков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 1 (30). – С. 63-66.

32. Жуйков Д.Б. Оценка коэффициента подпомеховой видимости при обнаружении объектов на оптико-электронных изображениях в условиях воздействия маскирующих помех / Д.Б. Жуйков, А.Н. Маковейчук, Г.В. Худов // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 4 (28). – С. 62-66.

33. Андреев Г.А. О классификации изображений по их текстурным признакам / Г.А. Андреев, А.А. Потанов, Т.В. Галкина, А.И. Колесников, Т.И. Орлова, Я.Л. Хлявич // Исследование Земли из Космоса. – 1990. – №2. – С. 91-96.

34. Гринченко В.Т. Введение в нелинейную динамику. Хаос и фракталы; изд. 2 / В.Т. Гринченко, В.Т. Мацьпура, А.А. Снарский. – М.: УРСС, 2007. – 263 с.

35. Jobson D.J. Retinex processing for automatic image enhancement / D.J. Jobson, Z. Rahman, G.A. Woodell // Human Vision and Electronic Imaging VII, SPIE Symposium on Electronic Imaging, Proc. SPIE 4662, (2002).

36. Rahman Z. Retinex Image Enhancement: Application to Medical Images presented at the NASA workshop on New Partnerships in Medical Diagnostic Imaging / Z. Rahman, G.A. Woodell, D.J. Jobson. – Greenbelt, Maryland, July 2001.

37. Jobson D.J. A Multi-Scale Retinex For Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes / D.J. Jobson, Z. Rahman, G.A. Woodell // IEEE Transactions on Image Processing: Special Issue on Color Processing, July 1997.

38. Rahman Z. A Comparison of the Multiscale Retinex With Other Image Enhancement Techniques / Z. Rahman, G.A. Woodell, D.J. Jobson // Proceedings of the IS&T 50th Anniversary Conference, May 1997.

39. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – 2-е изд., доп. и перераб. / А.А. Харкевич. – М.: Наука, 1965. – 276 с.

Поступила в редколлегию 30.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкин, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

#### АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ФРАКТАЛЬНИМ МЕТОДОМ ПРИ ВПЛИВІ ПРОТЯЖНИХ МАСКУЮЧИХ ПЕРЕШКОД

О.М. Маковейчук, І.М. Бутко, Д.Б. Жуйков, Г.В. Худов

У роботі проведено аналіз показників якості обробки зображень фрактальним методом при впливі протяжних маскуючих перешкод.

**Ключові слова:** показник якості, обробка зображень, фрактальний метод обробки, протяжна маскуюча перешкода.

#### ANALYSIS OF INDEXES OF ESTIMATION OF QUALITY OF PROCESSING OF IMAGES FRACTAL METHOD AT INFLUENCE OF EXTENSIVE MASKING HINDRANCES

A.N. Makoveychuk, I.N. Butko, D.B. Zhuykov, G.V. Khudov

The analysis of indexes of quality of processing of images a fractal method is in-process conducted at influence of extensive masking hindrances.

**Keywords:** index of quality, processing of images, fractal method of treatment, extensive masking hindrance.