

УДК 681.325

Д.Б. Жуйков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ НА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАСКИРУЮЩИХ ПОМЕХ

В работе предлагается использовать коэффициент подавления помехи для оценки качества обработки оптико-электронных изображений в условиях воздействия маскирующих помех. Предлагается методика расчета указанного коэффициента.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, маскирующая помеха, качество обработки, коэффициент подавления помехи.

### Введение

**Постановка проблемы в общем виде.** Известно [1 – 5], что эффективность обнаружения объектов наблюдения при дешифрировании оптико-электронных изображений в условиях воздействия маскирующих помех существенно зависит от качества обработки изображений при воздействии маскирующих помех. В работе предлагается для оценки эффективности обработки оптико-электронных изображений использовать хорошо зарекомендовавший себя в теории помехозащиты применительно к радиолокационным сигналам коэффициент подавления помехи [6, 7].

**Цель статьи** – оценить коэффициент подавления помехи при обработке оптико-электронного изображения в условиях воздействия маскирующих помех.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Эффективность использования общепринятых методов обработки изображений зависит от большого числа управляющих параметров, которые в большинстве случаев выбираются эмпирически [4, 5, 8, 9]. При этом субъективные оценки являются не всегда удовлетворительными, так как в результате обработки могут маскироваться важные особенности изображения и, наоборот, привноситься 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 [10].

### Основной раздел

В литературе [4, 5, 9 – 14] 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 (laplasian mean square error):

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

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):

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

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

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

9. Нормированная абсолютная погрешность (normalized absolute error):

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

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

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

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):

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

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

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 [15 – 17]. При этом наиболее употребительными являются следующие меры информативности изображения  $r(x, y)$  [17 – 22]:

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 выбирают по максимуму меры качества восстановленного изображения, определяемые выражениями (14-16).

**Постановка задачи и изложение материалов исследования.** В настоящее время задача обработки изображений при воздействии маскирующих помех в прямой постановке не ставится и решается как общая задача улучшения качества изображения путём восстановления изображения [17, 23]. Поэтому, в задачах обработки изображений отсутствуют такие понятия, как «помехозащита», «показатели качества помехозащиты» и т.д.

Введем и в дальнейшем будем использовать показатели качества обработки оптико-электронных изображений, разработанные для случая воздействия аддитивных помех для временных (одномерных) сигналов, применительно к случаю воздействия мультипликативных помех для двумерных изображений [7, 24].

В качестве показателей эффективности обработки выберем хорошо зарекомендовавший себя в теории помехозащиты применительно к радиолокационным сигналам коэффициент подавления помехи [7, 25].

Дадим трактовку указанного показателя помехозащиты применительно к решению задачи обработки изображений при воздействии маскирующих помех. При этом для удобства расчетов введем дополнительно обозначения:  $g_1$  – неискаженная область регистрируемого изображения  $g$ ;  $g_2$  – искаженная область регистрируемого изображения  $g$ ;  $r_1$  – результат восстановления неискаженной области. Учитывая то, что при обработке мало изменяется неискаженная область изображения, очевидно, что  $r_1 \approx g_1$ ;  $r_2$  – результат восстановления искаженной области.

Известно [24], что коэффициент подавления помехи  $K_{\text{пп}}$  определяется как частное от деления мощности помехи на входе к мощности помехи на выходе:

$$K_{\text{пп}} = \frac{(P_{\text{п}})_{\text{вх}}}{(P_{\text{п}})_{\text{вых}}}, \quad (17)$$

где  $P_{\text{п}}$  – мощность помехи.

Формулу (17) можно переписать в виде

$$K_{\text{пп}} = \frac{\langle s_2 \rangle}{\langle s_1 \rangle}, \quad (18)$$

где  $s_1 = \frac{r_1}{g_1}$ ;  $s_2 = \frac{r_2}{g_2}$  – значения помехи для неискаженной и искаженной областей соответственно.

Оценку коэффициента подавления помехи будем проводить по результатам обработки изображения, подвергнутого воздействию маскирующей помехи.

Исходное изображение представлено на рис. 1. Это – изображение территории Ирака во время боевых действий 2003 года «Свобода Ираку», взятое с сайта компании Space Imaging [26]. Данное изображение получено с помощью космической системы оптико-электронного наблюдения «Ikonos».



Рис. 1. Исходное изображение

Рассмотрим две характерные области на исходном изображении  $g$ : указанные области отмечены на исходном изображении (рис. 1) цифрой 1 – неискаженная и цифрой 2 – искаженная и в увеличенном виде представлены на рис. 2 и рис. 3.



Рис. 2. Неискаженная область изображения

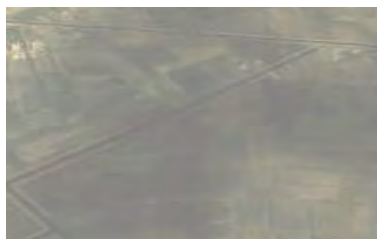


Рис. 3. Искаженная область изображения

В процессе восстановления по методике обработки изображений при воздействии протяженных маскирующих помех, рассмотренной в [23], получено восстановленное изображение (рис. 4).

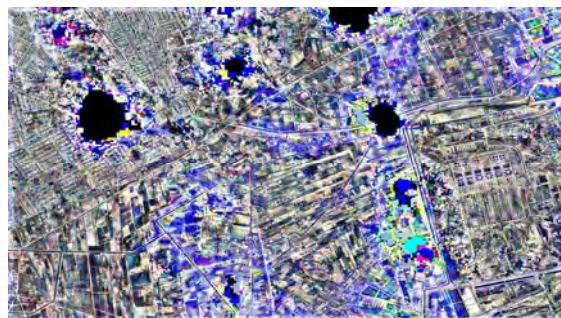


Рис. 4. Восстановленное изображение

Зависимость коэффициента подавления помехи от полуширины квадратного окна обработки  $w$  приведена на рис. 5. При этом пунктирная кривая соответствует зависимости коэффициента подавления помехи при использовании для обработки изображения методики, разработанной в [23], а сплошная кривая – зависимости коэффициента подавления помехи при использовании известного метода априорного оценивания [4, 5, 27].

### Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, в работе для оценки эффективности обработки оптико-электронных изображений в условиях воздействия маскирующих помех предложено использовать хорошо зарекомендовавший себя в теории помехозащиты применительно к радиолокационным сигналам коэффициент подавления помехи. Произведена оценка коэффициента подавления помехи при обработке оптико-электронного изображения в условиях воздействия маскирующих помех.

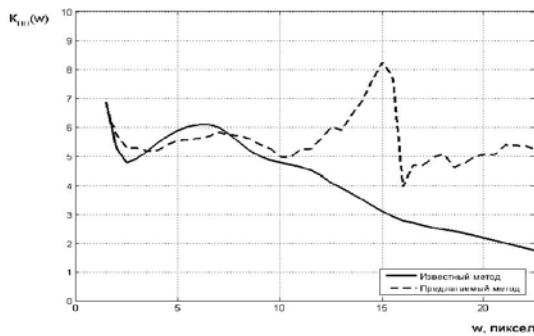


Рис. 5. Зависимость коэффициента подавления помехи  $K_{п}(w)$  от полуширины окна обработки

В дальнейших исследованиях необходимо обратить внимание на расчет показателей качества обнаружения малоконтрастных объектов на оптико-электронных изображениях в условиях воздействия маскирующих помех.

### Список литературы

1. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності / [Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'яковський, В.Б. Толубко] – К.: НАОУ, ЖВІРЕ, 2002. – 207 с.
2. Мосов С.П. Аерокосмическая разведка в современных военных конфликтах: Монография / С.П. Мосов. – К.: Изд.дом «Румб», 2008. – 248 с.
3. Карпович И.Н. Военное дешифрирование аэроснимков / И.Н. Карпович. – М.: Воениздат, 1990. – 544 с.
4. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Защита от радиопомех / [М.В. Максимов, М.П. Бобнев, Б.Х. Кривицкий]. – М.: Сов.радио, 1976. – 278 с.
7. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – 2-е изд., доп. и перераб. / А.А. Харкевич. – М.: Наука, 1965. – 276 с.
8. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / [Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.] под ред. Т.С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
9. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэнтт. – М.: Мир, 1982. – кн.2. – 480 с.
10. Воробель Р.А. Повышение контраста изображений с помощью модифицированного метода кусочного растяжения / Р.А. Воробель, Г.М. Журавель // Отбор и обработка информации. – 2000. – № 14(90). – С. 116-121.
11. Журавель Г.М. Локально-адаптивні методи підвищення контрастності зображень / Ігор Миколайович Журавель: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Львів, 2001. – 154 с.
12. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику / Л.П. Ярославский. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.
13. Опенгейм А.В. Цифровая обработка сигналов / А.В. Опенгейм, Р.В. ШАФЕР: пер. с англ. / под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
14. Land E. An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory of color vision // E.Land // Proc. Nat. Acad. Sci. – 1986. – Vol. 83. – P. 3078-3080.
15. Терещиж В.Ю. Восстановление изображений при минимальной априорной информации / В.Ю. Терещиж // УФН. – 1995. – Т. 165. – № 2. – С. 165-176.
16. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт. – М.: Издательство ЭКОМ, 1997. – 336 с.
17. 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.
18. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн. – М.: Физматлит, 1960. – 392 с.
19. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд. ин. лит., 1963. – 829 с.
20. Климонтович Ю.Л. Энтропия и информация открытых систем / Ю.Л. Климонтович // УФН. – 1999. – 169. – С. 443-452.
21. Яглом А.М. Вероятность и информация: 5-е изд. / А.М. Яглом, И.М. Яглом. – М.: КомКнига, 2007. – 512 с.
22. Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. – М.: Спутник+, 2004. – 111 с.
23. Маковейчук А.Н. Теоретическое обоснование методики защиты видовых изображений от воздействия маскирующих помех / А.Н. Маковейчук, В.А. Подлипаев, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.:ХУПС, 2005. – Вип. 6. – С. 62-71.
24. Маковейчук О.М. Оцінка коефіцієнту використання енергії при захисті видових зображень від маскуючих перехід / О.М. Маковейчук, Г.В. Худов // Наука і техніка ПС ЗС України. – Х.: ХУПС, 2010. – № 2 (4). – С. 75-77.
25. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
26. Сайт американской компании Space Image. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.spaceimaging.com/gallery/default.htm>.
27. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.

Поступила в редколлегию 15.11.2011

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

### ОЦІНКА КОЕФІЦІЕНТУ ПРИДУШЕННЯ ПЕРЕШКОДИ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ОБ'ЄКТІВ НА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕННЯХ В УМОВАХ ДІЇ МАСКУЮЧИХ ПЕРЕШКОД

Д.Б. Жуйков

У роботі пропонується використовувати коефіцієнт придушення перешкоди для оцінки якості обробки оптико-електронних зображень в умовах дії маскуючих перешкод. Пропонується методика розрахунку вказаного коефіцієнту.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, маскуюча перешкода, якість обробки, коефіцієнт придушення перешкоди.

### ESTIMATION OF COEFFICIENT OF SUPPRESSION OF HINDRANCE AT FINDING OUT OBJECTS ON ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ІЗОБРАЖЕННЯХ IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF MASKING HINDRANCES

D.B. Zhuykov

It is in-process suggested to utilize the coefficient of suppression of hindrance for the estimation of quality of processing of optical-electronic images in the conditions of influence of masking hindrances. The method of calculation of the indicated coefficient is offered.

**Keywords:** optical-electronic image, masking hindrance, quality of treatment, coefficient of suppression of hindrance.