

УДК 621.396

А.Н. Маковейчук

ООО «Бюро Информационных Технологий», Львов

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ВИДОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТЯЖЁННЫХ МАСКИРУЮЩИХ ПОМЕХ

В работе дан обзор методов защиты видовых изображений от воздействия протяжённых маскирующих помех. Результаты обработки продемонстрированы на реальных снимках.

Ключевые слова: видовое изображение, методы защиты, протяжённая маскирующая помеха, космический снимок.

Постановка проблемы в общем виде

В работе рассмотрены изображения, полученные от космических систем видового наблюдения – оптико-электронного и радиолокационного. При этом рассматриваются *протяжённые* естественные помехи типа дыма или дымки, *уменьшающие* среднюю яркость искаженной области (эффекты затенения). При формировании изображений видовой разведки атмосфера является возмущающей средой, которая искажает спутниковые данные, а в некоторых участках электромагнитного диапазона, например в дальнем инфракрасном с длиной волны около 100 мкм, вообще препятствует получению информации [1 – 6].

Анализ результатов решения задачи защиты изображений

Модель формирования и регистрации изображения. Все методы устранения помех основываются на известной модели формирования и регистрации изображения [7, 8]. При этом считается, что *модель формирования изображения* представима в виде

$$f(x, y) = I(x, y) \cdot g(x, y), \quad (1)$$

где для каждой точки (x, y) введены функции: $f(x, y)$ – наблюдаемая освещенность в точке; $I(x, y)$ – внешняя освещенность, изменение которой (затенение) и создает эффект протяжённой маскирующей помехи; $g(x, y)$ – коэффициент отражения от подстилающей поверхности. Предполагается, что функция $I(x, y)$ пространственно изменяется существенно медленнее, чем $g(x, y)$.

Аналогично, *модель регистрации изображения* может быть записана как

$$g(x, y) = \alpha(x, y) \cdot f(x, y) + \beta(x, y) + n(x, y), \quad (2)$$

где $g(x, y)$ – регистрируемая освещенность в точке (x, y) ; $\alpha(x, y)$ – коэффициент изменения контраста; $\beta(x, y)$ – коэффициент изменения яркости; $n(x, y)$ – шум.

Таким образом, в принятых обозначениях, поставленная перед нами задача формулируется как

нахождение *истинного* изображения – функции, пропорциональной $g(x, y)$ – по *регистрируемому* изображению $f(x, y)$.

Как было указано в работе [9], для решения данной задачи наиболее распространенными являются методы: гистограммные, ранговые, разностные, методы растяжения и методы преобразования локальных контрастов. При этом основной акцент в указанной работе делается на кусочно-нелинейный метод растяжения. Тем не менее, там же указано, что на данный момент не существует теоретического решения проблемы оптимальности преобразования изображений путем усиления их локальных контрастов.

Методы поэлементной обработки. Подавляющее большинство процедур обработки для получения результата в каждой точке изображения привлекает входные данные из некоторого множества точек, окружающих обрабатываемую точку. Однако имеется группа процедур, где осуществляется так называемая поэлементная обработка. Здесь результат обработки в любой точке изображения зависит только от значения входного изображения в этой же точке. Очевидным достоинством таких процедур является их предельная простота. Вместе с тем, многие из них приводят к очевидному субъективному улучшению визуального качества. Этим определяется внимание, которое уделяется поэлементным процедурам. Не преувеличивая их роли, отметим, что очень часто поэлементная обработка применяется как заключительный этап при решении более сложной задачи обработки изображения.

1. Линейное контрастирование [8 – 10].

При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование вида:

$$g(x, y) = a \cdot f(x, y) + b, \quad (3)$$

параметры которого a и b определяются значениями минимальной ($r_{\min} = 0$) и максимальной ($r_{\max} = 1$) выходной яркости.

Решив систему уравнений:

$$\begin{cases} 0 = a \cdot g_{\min} + b; \\ 1 = a \cdot g_{\max} + b, \end{cases}$$

относительно параметров преобразования a и b , нетрудно привести (3) к виду:

$$r(x, y) = \frac{g(x, y) - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}, \quad (4)$$

где g_{\min} и g_{\max} – соответственно значения минимальной и максимальной яркости регистрируемого изображения. Данная формула достаточно чувствительна к выбросам (наличие всего нескольких сбойных пикселей существенным образом может изменить значения минимальной и/или максимальной яркости), поэтому чаще используется обобщенная формула, задаваемая в виде:

$$r(x, y) = \begin{cases} 0, & g(x, y) < g_1; \\ \frac{g(x, y) - g_1}{g_2 - g_1}, & g_1 \leq g(x, y) \leq g_2; \\ 1, & g(x, y) > g_2, \end{cases} \quad (5)$$

где пороговые значения яркости g_1 и g_2 определяются из условия $\int_0^{g_1} h(c)dc = \int_{g_2}^1 h(c)dc = \theta$; $\int_0^1 h(c)dc = 1$ – нормировка; $h(c)$ – гистограмма исходного изображения; θ – некоторый порог.

На рис. 1 приведено исходное изображение и его гистограмма. На рис. 2 представлено изображение, обработанное по формуле (4) и его гистограмма. На рис. 3 приведено изображение, обработанное по формуле (5) и его гистограмма, значение параметра $\theta = 0,01$.

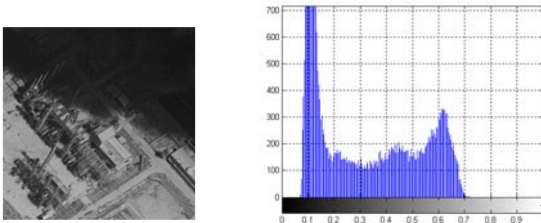


Рис. 1. Исходное изображение и его гистограмма

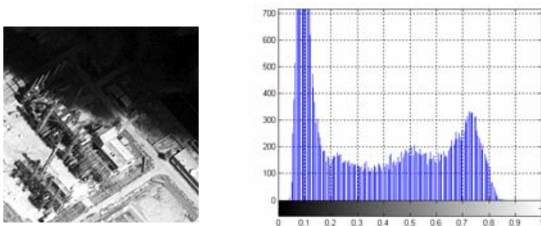


Рис. 2. Изображение, обработанное по формуле (4) и его гистограмма

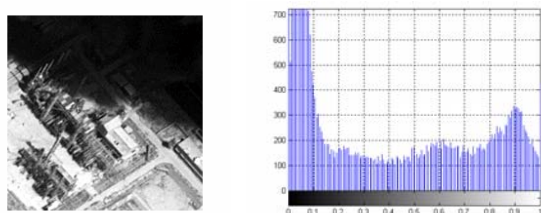


Рис. 3. Изображение, обработанное по формуле (5) и его гистограмма

Заметим, что методы линейного контрастирования, вообще говоря, *не позволяют* получить решение поставленной задачи – затененные участки не освещаются, однако данные преобразования широко применяются в качестве стандартного метода *постобработки* изображений для нормализации динамического диапазона яркости.

2. Выравнивание гистограмм [9 – 11].

В практике цифровой обработки изображений часто к полезному результату приводит преобразование изображения к равновероятному распределению [10]. В этом случае частота появления каждого значения яркости c в преобразованном изображении r есть

$$w_r(c) = \text{const},$$

где значение константы определяется из нормировки

$$\int_0^1 w_r(c)dc = 1,$$

т.е. $\text{const} = 1$, а значит

$$w_r(c) = 1. \quad (6)$$

Определим характеристику преобразователя, решающего задачу. Пусть значения яркостей исходного и преобразованного изображений g и r в каждой точке (x, y) связаны функционально $r(x, y) = f(g(x, y))$,

а $F_g(c) = \int_0^c w_g(c)dc$ и $F_r(c') = \int_0^{c'} w_r(c)dc$ – интегральные законы распределения.

Учитывая условие (6), найдем

$$F_r(c') = \int_0^{c'} dc = c'.$$

Подставляя это выражение в условие вероятностной эквивалентности

$$F_r(c') = F_g(c),$$

после преобразований получаем соотношение

$$c' = F_g(c)$$

или

$$r(x, y) = F_g(g(x, y)). \quad (7)$$

Уравнение (7) представляет собой характеристику преобразования в решаемой задаче. Согласно (7) исходное изображение проходит нелинейное преобразование, характеристика которого $F_g(c)$ определяется интегральным законом распределения самого исходного изображения. После этого результат приводится к заданному динамическому диапазону при помощи операции линейного контрастирования (рис. 4). При этом вместо неизвестного истинного интегрального распределения используется его оценка, основанная на гистограмме. С учетом этого все методы поэлементного преобразования изображений, целью которых является видоизменение законов распределения, получили название *гистограммных методов*. В частности, преобразова-

ние, при котором выходное изображение имеет равномерное распределение, называется *эквализацией* (выравниванием) *гистограмм*.

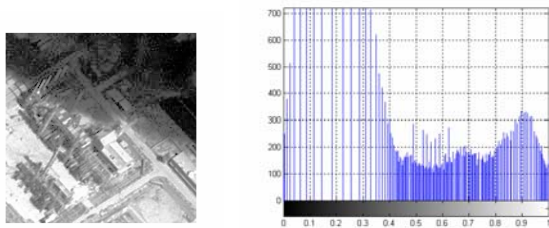


Рис. 4. Изображение, обработанное по формуле (7) и его гистограмма

Методы обработки скользящим окном. Основываясь на представленной модели формирования и регистрации изображения (1)-(2), для оценки истинного изображения $r(m, n)$ различными авторами предлагаются следующие методики:

1. *Линейная фильтрация* [8, 10, 12]:

$$r(x, y) = g(x, y) - h(x, y) * g(x, y) + \text{const}, \quad (8)$$

где $*$ – оператор свертки; $h(x, y)$ – сглаживающая функция.

В качестве сглаживающей функции данной фильтрации обычно выбирается гауссиан

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \quad (9)$$

или функция усреднения по квадратному окну

$$h(x, y) = \frac{1}{(2\sigma + 1)^2} \begin{cases} 1, & |x| \leq \sigma \ \& \ |y| \leq \sigma; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (10)$$

здесь σ – параметр (масштабный фактор) фильтра (рис. 5, 6).

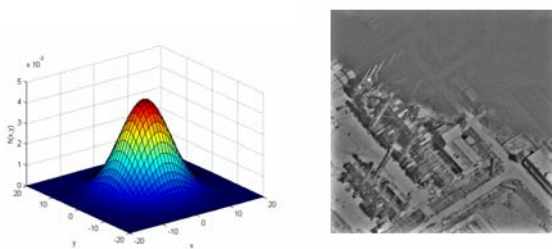


Рис. 5. Пример линейной фильтрации изображения: график гауссового ядра и результат обработки

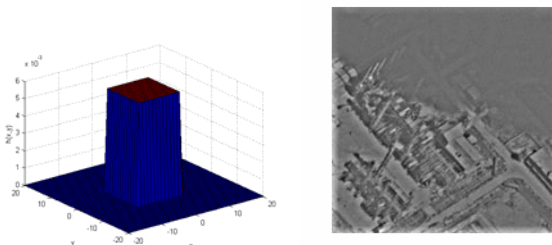


Рис. 6. Пример линейной фильтрации изображения: график усредняющего ядра и результат обработки

2. *Гомоморфная фильтрация* [8, 13].

Принимается, что в уравнении (2) коэффициент изменения яркости $\beta(x, y) \approx 0$.

В этом случае

$$g(x, y) = \alpha(x, y) \cdot I(x, y) r(x, y),$$

логарифмируя, получаем

$$\log g(x, y) = \log[\alpha(x, y)I(x, y)] + \log r(x, y),$$

при этом первое слагаемое есть быстро меняющаяся функция, а второе – медленно. Поэтому применим фильтр высоких частот, например, в виде $H(x, y) = \delta(x, y) - h(x, y)$, где $\delta(x, y)$ – дельта-функция Дирака, $h(x, y)$ определено выше выражениями (9), (10). Таким образом

$$H(x, y) * \log g(x, y) \approx \log r(x, y),$$

откуда

$$r(x, y) = \exp\{H(x, y) * \log g(x, y)\}. \quad (11)$$

Полученное выражение (11) определяет результат гомоморфной фильтрации (рис. 7, 8).

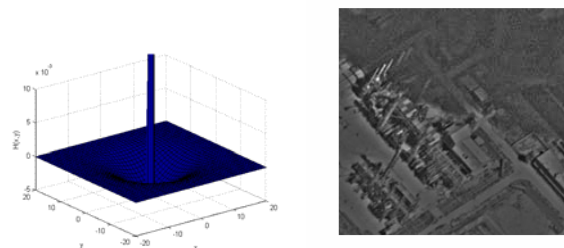


Рис. 7. Пример гомоморфной фильтрации изображения: график гауссового ВЧ-ядра фильтра и результат обработки

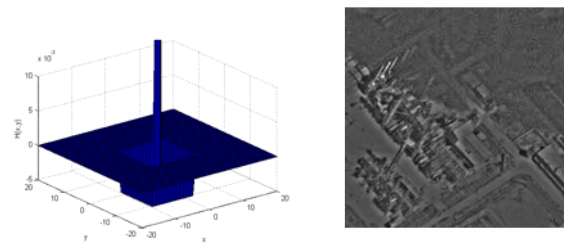


Рис. 8. Пример гомоморфной фильтрации изображения: график усредняющего ВЧ-ядра фильтра и результат обработки

3. *Retinex (RETINA+cortEX)* [14 – 21].

Retinex – это семейство алгоритмов, моделирующих яркостное и цветовое восприятие человеческого зрения.

Основные модификации:

а) SSR (Single Scale Retinex – одномасштабная модель Retinex) [14, 15]:

$$r(x, y) = \log g(x, y) - \log(h(x, y) * g(x, y)), \quad (12)$$

где в качестве сглаживающей функции также обычно используется гауссиан;

б) MSR (Multiply Scale Retinex– многомасштабная модель Retinex) [16 – 19]

$$r(x, y) = \sum_k \omega_k \cdot [\log g(x, y) - \log(h_k(x, y) * g(x, y))], \quad (13)$$

где индекс k нумерует используемые параметры σ_k , от которых зависят функции h_k ; ω_k – весовые коэффициенты (рис. 9).

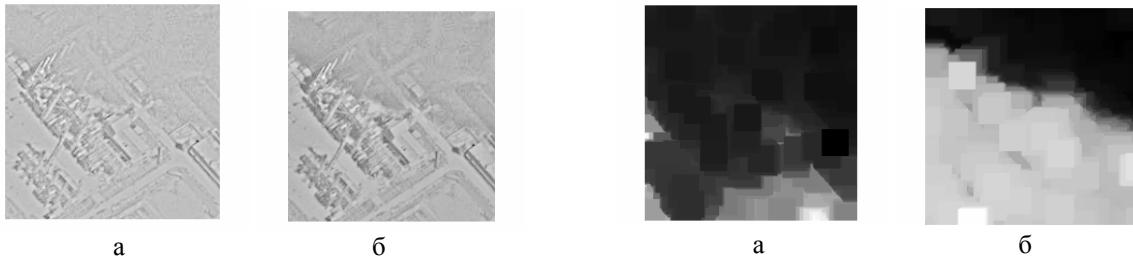


Рис. 9. Примеры RETINEX-фильтрации изображений:
а – результат обработки SSR-алгоритмом;
б – результат обработки MSR-алгоритмом

Кроме того, предложены алгоритмы Retinex для обработки цветных изображений [20], известны и другие модификации данного метода [21].

4. Морфологическая фильтрация [8, 22, 23].

Аналогично линейной фильтрации, можно использовать морфологический сглаживающий фильтр $\eta(\cdot)$. При этом уравнение (8) запишется как

$$r(x, y) = g(x, y) - \eta(g(x, y)) + \text{const}. \quad (14)$$

Как показано в работе [8], морфологический сглаживающий фильтр представим в виде:

$$\eta(g(x, y)) = \min_W \max_W \max_W \min_W g(x, y),$$

где W – окрестность точки (x, y) (рис. 10).

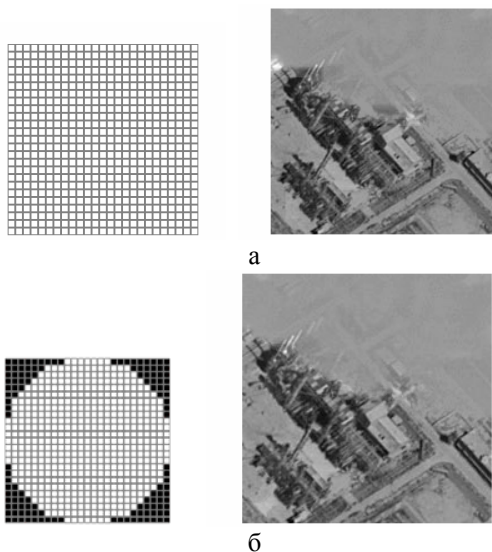


Рис. 10. Примеры морфологической фильтрации изображений: а – результат обработки прямоугольным окном; б – результат обработки круговым окном

5. Линейное контрастирование в окне [8, 10, 11].

Данный метод основан на линейном растяжении контраста в окне обработки, при котором

$$r(x, y) = \frac{g(x, y) - g_{\min}(x, y)}{g_{\max}(x, y) - g_{\min}(x, y)}, \quad (15)$$

где

$$g_{\min}(x, y) = \min_W g(x, y) \text{ и } g_{\max}(x, y) = \max_W g(x, y) -$$

соответственно *локальные* значения (рассчитанные по окрестности W) минимальной и максимальной яркости регистрируемого изображения (рис. 11).

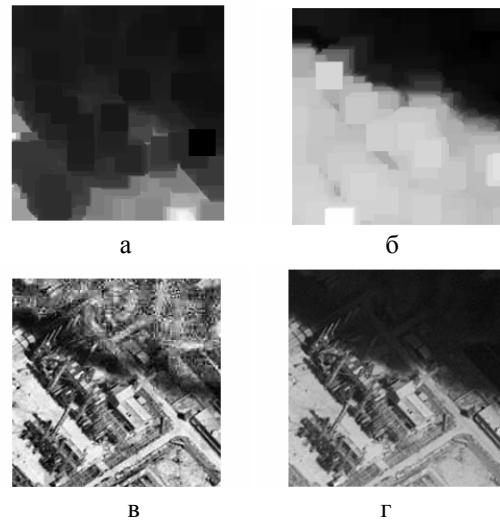


Рис. 11. Примеры линейного контрастирования в прямоугольном окне:
а – $b(x, y) = \min_W g(x, y)$; б – $w(x, y) = \max_W g(x, y)$;
в – результат обработки; г – исходное изображение

б. Априорная оценка [8].

В этом случае необходимо иметь 2 изображения: $b(x, y)$ («черное») и $w(m, n)$ («белое»), регистрирующие изображения при минимальной и максимальной освещенности соответственно. При этом результат обработки находится в виде:

$$r(x, y) = \frac{g(x, y) - b(x, y)}{w(x, y) - b(x, y)}. \quad (16)$$

Выводы и направления дальнейших исследований

В результате применения известных методов решения задач защиты изображений космических систем видовой разведки от воздействия естественных маскирующих помех установлено, что существующим методикам присущи следующие недостатки:

- недостаточное улучшение яркостных характеристик изображения в области действия протяженных маскирующих помех;
- ухудшение общего контраста изображения;
- увеличение высокочастотной составляющей изображения и, как следствие, увеличение уровня шумов;
- появление артефактов обработки, таких как: полосы на линии раздела искаженное/нормальное изображение, а также блочной структуры; ситуация усугубляется для мультиспектральных и цветных изображений;
- отсутствие объективных критериев выбора параметров алгоритмов обработки;
- отсутствие объективных критериев качества обработанного изображения;
- значительная вычислительная сложность алгоритмов обработки и, как следствие, недопустимо большое время обработки;

– неможливість паралельної обробки великих зображень, а також виборочної обробки вибраного фрагмента.

Таким образом, актуальними задачами, требующими дальнейших исследований, являются:

– разработка новой методики защиты изображений с нахождением оптимальных значений управляющих параметров;

– выбор объективных критериев оценивания качества обработки изображений;

– разработка методики и получение результатов натурного и полунатурного моделирования процессов защиты изображений от воздействия естественных маскирующих помех и количественной оценки качества восстановленного изображения.

Список литературы

1. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами / Г. ван де Хюлст. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 536 с.
2. Иванов В.В. Перенос излучения и спектры небесных тел / В.В. Иванов. – М.: Наука, 1969. – 472 с.
3. Депременджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами / Д. Депременджан. – М.: Мир, 1971. – 165 с.
4. Гарбук С.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с, ил.
5. Нагирнер Д.И. Лекции по теории переноса излучения: учеб. пособие / Д.И. Нагирнер. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 284 с.
6. Spatial statistics for remote sensing / A. Stein, F. van der Meer and B. Gorte ed. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 284 p.
7. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений: пер. с англ. / Р. Бейтс, М. Мак-Доннелл. – М.: Мир, 1989. – 336 с..
8. Young I.T. Image Processing Fundamentals / I.T. Young, J.J. Gerbrands, and L.J. v. Vliet // The Digital Signal Processing Handbook, V.K. Madisetti and D.B. Williams, Eds. Boca Raton. – Florida: CRC Press in cooperation with IEEE Press, 1998. – P. 51.1-51.81.
9. Журавель І.М. Локально-адаптивні методи підвищення контрастності зображень: дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Журавель І.М. – Львів, 2001. – 154 с.
10. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
11. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс.. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 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.: ил.

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

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. Jobson D.J. Properties and Performance of a Center/Surround Retinex / D.J. Jobson, Z. Rahman, G.A. Woodell // IEEE Transactions on Image Processing. – March 1997. – P. 1037-1041.

16. 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. – P. 2037-2041.

17. 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. – P. 47-51.

18. 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. – P. 141-145.

19. Thompson B. A Multi-scale Retinex for Improved Performance In Multi-Spectral Image Classification / B. Thompson, Z. Rahman, S. Park // SPIE International Symposium on AeroSense, Visual Information Processing IX. – April 2000. – P. 1021-1025.

20. 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. – P. 337-341.

21. Rahman Z. Retinex Image Enhancement: Application to Medical Images / Z. Rahman, G.A. Woodell, D.J. Jobson // Presented at the NASA workshop on New Partnerships in Medical Diagnostic Imaging, Greenbelt, Maryland. – July 2001. – P. 221-225.

22. Serra J. Image analysis and mathematical morphology / J. Serra. – London, Academic Press, Inc., 1982. – 621 p.

23. Mathematical morphology and its application to image and signal processing / J. Goutsias, L. Vincent, D.S. Bloomberg ed. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 446 p.

Поступила в редакцію 23.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. Г.В. Худов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВИДОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВІД ВПЛИВУ ПРОТЯЖНИХ МАСКУЮЧИ ПЕРЕШКОД

О.М. Маковейчук

У роботі надано огляд методів захисту видових зображень від впливу протяжних маскуючи перешкод. Результати обробки продемонстровано на реальних знімках.

Ключові слова: видове зображення, методи захисту, протяжна маскуюча перешкода, космічний знімок.

FROM INFLUENCE OF PROLONGED MASKING REVIEW OF BASIC METHODS OF DEFENCE OF SPECIFIC IMAGES OBSTACLES

A.M. Makoveychuk

The review of methods of defence of specific images is in-process given from influence of prolonged, masking obstacles. The results of treatment are shown on the real pictures.

Keywords: specific image, methods of defence, extensive masking hindrance, space picture.