

**Volodymyr I. Mykytenko, Nataliia O. Balakhonova, Rostyslav A. Pashkov***National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine***EVALUATION OF THE NOISE REDUCTION FILTERS FOR THERMAL IMAGING CHANNEL OF SURVEILLANCE OPTOELECTRONIC DEVICES**

Optoelectronic devices for remote sensing are becoming more common in various fields of science and technology. Taking into account significant reduction in the cost of infrared detectors, thermal imager is increasingly being introduced into the composition of such systems. It essentially increases the functionality of the entire surveillance system, and allows you to work without external lighting and in smoke. Temperature contrasts on an object are often higher than contrasts in the visible range of the spectrum. But the sensitivity of infrared detectors is less than in visible range. Therefore, thermal images have a small signal-to-noise ratio. An obligatory stage of signal processing in a thermal imager is noise reduction. A standard way to increase the signal-to-noise ratio is to use digital filtering. An obvious simple filtering method is the use of standard filters that have been developed for conventional visible images. But there is a question of the effectiveness of the use of such filters for thermal imaging. The possibility of using standard digital filters to reduce the noise of thermal images is investigated. Filters are implemented by embedded functions in the Mathcad software environment: medfilt (M), wiener2d (M), gausconv (M), orthosmooth (M), orthosmooth5 (M), centsmooth (M). To evaluate the effectiveness of using filters based on real thermal imaging, statistical metrics MSE, PSNR, SSIM, CC were calculated. Filtered images with additive, pulsed and multiplicative types of noise are considered. Recommendations are given on the use of the considered digital filters for various types of noise. None of the considered filters is recommended to eliminate periodic noise. To eliminate the “salt and pepper” impulse noise, the median filter is most effective. To eliminate the multiplicative noise and noise distributed according to the Gauss law, it is more efficient to use a 3x3 convolution kernel filter. Comparison of filter operation can be applied when designing adaptive filters on microcontrollers to reduce image noise of a thermal imaging channel of surveillance optoelectronic devices.

**Keywords:** thermal imager; digital image processing; Mathcad; median filter; Wiener filter; mask; Daubechi wavelet transform; metrics: MSE, PSNR, SSIM, CC.

*Надійшла до редакції  
22 березня 2019 року*

*Рецензовано  
04 квітня 2019 року*

УДК 621.384.3

**ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РЕГИСТРАЦИИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ С БОЛЬШИМ ДИАПАЗОНОМ ЯРКОСТИ  
НА МОДУЛЯЦИОННУЮ ПЕРЕДАТОЧНУЮ ФУНКЦИЮ  
РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Пивторак Д. А.**Национальный технический университет Украины**“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина**E-mail: [p\\_diana@i.ua](mailto:p_diana@i.ua)*

*Получено выражение для модуляционной передаточной функции результирующего изображения, сформированного с использованием комбинированного способа регистрации изображений объектов фотографирования с большим диапазоном яркости. Проанализировано влияние параметров процесса регистрации изображения комбинированным способом на модуляционной передаточной функции результирующего изображения. Выражение может быть использовано при проведении теоретических исследований влияния процесса комбинированного способа регистрации изображений на эффективность съёмки.*

**Ключевые слова:** МПФ; динамический диапазон; изображение.

**Введение**

Для снижения потерь информации, вызванных несоответствием динамического диапазона входного сигнала (интервала яркости объектов

фотографирования) динамическому диапазону регистратора изображения, в современных фотокамерах широко используется предварительная пространственно-частотная фильтрация оптиче-

ского сигнала. Функции простейших фильтров обычно выполняют экспонометрические устройства, обеспечивающие подавление низких пространственных частот изображения, в основном не несущих полезной информации. При съёмке в условиях большого интервала яркостей в пределах кадра, экспонометрические устройства должны обеспечивать управление экспозицией каждого элементарного участка кадра, то есть, обеспечивать локальное управление экспозицией. В фотоаппаратах, оснащённых известными экспонометрическими устройствами с локальным управлением экспозицией используется мультипликативный, аддитивный или комбинированный способ регистрации изображений [1, 2, 3].

Использование мультипликативного способа (способа нерезкого маскирования) приводит к энергетическим потерям в оптическом канале, что требует коррекции регулирующих экспозицию параметров [4]. Увеличение светочувствительности ведёт к росту шумов, а увеличение эффективной выдержки – к появлению смазов при съёмке с подвижных носителей. Использование же аддитивного способа (способа вычитания) даёт возможность уменьшить эффективную выдержку затвора, но приводит к снижению контраста мелких изображений [5, 6, 7]. Применение комбинированного способа регистрации изображений позволит подавить малоинформативные низкочастотные составляющие спектра входного сигнала, снизив при этом потери от смаза изображения и уменьшения контраста изображений мелких деталей. Для получения качественных изображений комбинированным способом, требуется проведение экспонометрических расчётов, учитывающих как энергетические потери за счёт нерезкой маски, так и получение дополнительной энергии за счёт двойного экспонирования [8].

#### Постановка задачи

Целью данной статьи является оценка влияния комбинированного способа регистрации изображений объектов с большим диапазоном яркости на модуляционную передаточную функцию (МПФ) результирующего изображения.

#### Комбинированный способ регистрации изображений с большим диапазоном яркости

Реализация комбинированного способа регистрации изображений предполагает установку перед светочувствительным сенсором управляемой пространственно-частотной фильтр-маски. С помощью объектива фотоаппарата распределение яркости фотографируемого объекта  $L(x_0, y_0)$  проецируется на светочувствительный сенсор, создавая на нём (при отсутствии фильтр-маски) распределение освещённости  $E'(x, y)$ , где  $(x, y)$  – координаты на фотографическом сенсоре и частотно-избирательной фильтр-маске, соответст-

вующие координатам точки фотографируемого объекта  $(x_0, y_0)$ . Если установлен пространственно-частотный фильтр, то освещённость на светочувствительном сенсоре будет зависеть и от его коэффициента пропускания  $\tilde{\tau}(x, y)$  в рассматриваемой точке  $E'(x, y) \cdot \tilde{\tau}(x, y)$ . Распределение  $\tilde{\tau}(x, y)$  является нерезкой маской, представляющей собой негативное изображение фотографируемого объекта. В качестве носителя для построения маски может быть использован элемент из фотохромного материала. После отработки затвором эффективной выдержки  $t_{e1}(x, y)$  (которая в общем случае может быть не одинаковой по полю снимка), в светочувствительных элементах (слое) фотографического сенсора (фотоплёнки) будет сформировано промежуточное изображение в виде действующих экспозиций

$$H_M(x, y) = E'(x, y) \cdot \tilde{\tau}(x, y) \cdot t_{e1}(x, y) = \\ = \frac{E'(x, y)}{\tilde{E}(x, y)^g} \cdot H_i^g \cdot \frac{t_{e1}(x, y)}{t_{eM}(x, y)^g},$$

где  $t_{eM}(x, y)$  – эквивалентная эффективная выдержка в точке  $(x, y)$  при построении маски;  $H_i$  – точка инерции характеристической кривой фотоаппарата;  $g$  – градиент характеристической кривой используемого фотохромного материала в рассматриваемой точке;  $\tilde{E}(x, y)$  – распределение освещённости, создающее нерезкое изображение.

По существу, на первом этапе, полученные результаты аналогичны результатам применения мультипликативного способа регистрации изображения.

После получения промежуточного изображения, производится дополнительное экспонирование сенсора через уже построенную маску от источника равномерной подсветки, в результате чего фотографический сенсор (фотоплёнка) получает дополнительную экспозицию  $\tilde{H}_2(x, y)$ . Данное распределение экспозиций, по существу, является нерезким изображением, негативным по отношению к основному. Таким образом, на втором этапе комбинированного способа используются признаки аддитивного способа регистрации изображения

$$\tilde{H}_2(x, y) = E_{02} \cdot \tilde{\tau}(x, y) \cdot t_{e2}(x, y) = \\ = \frac{E_{02}}{\tilde{E}(x, y)^g} \cdot H_i^g \cdot \frac{t_{e2}(x, y)}{t_{eM}(x, y)^g},$$

где  $E_{02}$  – освещённость, создаваемая на фотосенсоре источником равномерной засветки при отсутствии маски;  $t_{e2}(x, y)$  – эффективная выдержка в точке  $(x, y)$  при дополнительном экспонировании.

В результате двойного экспонирования на светочувствительные элементы (слой) сенсора

(фотоплівки) действует экспозиция

$$H_{\Sigma}(x, y) = H_M(x, y) + \tilde{H}_2(x, y).$$

Таким образом, комбинированный способ регистрации изображений включает в себя элементы как мультипликативного, так и аддитивного способов [9].

**Влияние комбинированного способа регистрации изображений объектов фотографирования с большим диапазоном яркости на модуляционную передаточную функцию результирующего изображения**

Нерезкая маска, впечатанная на прозрачный носитель, расположенный непосредственно перед фотографическим сенсором, и пространственно-модулированное излучение дополнительного экспонирования, действуют как фильтр низких частот, оказывая существенное влияние на модуляционную передаточную функцию и функцию рассеивания фотографической системы.

На основании пространственно-частотной модели процесса формирования изображений, полученных комбинированным способом [10], можно записать выражение для диапазона экспозиций, создаваемых при отсутствии маски на фотохромном элементе малококонтрастных элементов объекта фотографирования с диапазоном яркости от  $L_{\min 0}$  до  $L_{\max 0}$ :

$$\frac{H'_{\max 0} - H'_{\min 0}}{H'_{\max 0} + H'_{\min 0}} = \frac{L_{\max 0} - L_{\min 0}}{L_{\max 0} + L_{\min 0}} T_{AM}(v),$$

$$\text{где } T_{AM}(v) = T_{am}(v) \cdot T_{ap}(v) \cdot T_{od1}(v) \times \\ \times T_{oa1}(v) \cdot T_{p\phi 1}(v) \cdot T_{zc}(v) \cdot T_{\partial n}(v)$$

– модуляционные передаточные функции звеньев передачи информации от объекта фотографирования до светочувствительного сенсора;  $T_{am}(v)$ ,  $T_{ap}(v)$ ,  $T_{od1}(v)$ ,  $T_{oa1}(v)$ ,  $T_{p\phi 1}(v)$ ,  $T_{zc}(v)$ ,  $T_{\partial n}(v)$  – модуляционные передаточные функция, соответственно, турбулентной атмосферы, рефракционной атмосферы, дифракционного объектива, абберационного объектива, звена расфокусировки, звена сдвига изображения, зеркала (дефлектора) в режиме пропускания.

В связи с малым контрастом объектов фотографирования, правомерно записать [4]:

$$\Delta \lg H'(v) = \Delta \lg L(v) \cdot T_{AM}(v),$$

где

$$\Delta \lg H'(v) = \lg \left( \frac{H'_{\max 0}}{H'_{\min 0}} \right), \quad (1)$$

$$\Delta \lg L(v) = \lg \left( \frac{L_{\max 0}}{L_{\min 0}} \right).$$

С помощью оптико-электронного канала на фотохромном элементе формируется маска, причем на основании частотно-информативной модели [10] и с учетом выражения (1) можно получить выражение для диапазона оптических плотностей в изображении объекта фотографирования на маске

$$\Delta D_M = \Delta \lg H_1'(v) \cdot T_{\phi xe}(v) \cdot g_{\phi xe},$$

где  $T_{\phi xe}(v)$  – модуляционная передаточная функция фотохромного элемента;  $g_{\phi xe}$  – средний градиент характеристической кривой фотохромного материала, соответствующий  $\Delta \lg H_1'(v)$ .

С учетом того, что

$$\Delta \lg H_1'(v) = \Delta \lg L(v) \cdot T_{AFE}(v) \cdot g_H,$$

где

$$T_{AFE}(v) = T_{am}(v) \cdot T_{ap}(v) \cdot T_{od1}(v) \cdot T_{oa1}(v) \times \\ \times T_{p\phi}(v) \cdot T_{zc}(v) \cdot T_{oa2}(v) \cdot T_{od2}(v) \cdot T_{p\phi 2}(v) \times \\ \times T_{oa2}(v) \cdot T_{OЕК}(v) \cdot T_{oa3}(v) \cdot T_{od3}(v) \cdot T_{\partial \delta}(v)$$

– модуляционные передаточные функции звеньев передачи информации от объекта фотографирования до фотохромного элемента;  $T_{am}(v)$ ,  $T_{ap}(v)$ ,  $T_{od1}(v)$ ,  $T_{oa1}(v)$ ,  $T_{p\phi}(v)$ ,  $T_{zc}(v)$ ,  $T_{oa2}(v)$ ,  $T_{od2}(v)$ ,  $T_{p\phi 2}(v)$ ,  $T_{oa2}(v)$ ,  $T_{OЕК}(v)$ ,  $T_{oa3}(v)$ ,  $T_{od3}(v)$ ,  $T_{\partial \delta}(v)$  – модуляционные передаточные функции, соответственно, абберационного объектива оптико-электронного канала, дифракционного объектива оптико-электронного канала, звена расфокусировки при экспонировании изображения маски, оптико-электронного канала, абберационного проекционного объектива, дифракционного проекционного объектива, зеркала (дефлектора) в режиме отражения;  $g_H$  – градиент кривой, характеризующий переход в оптико-электронном канале от логарифма экспозиций на его чувствительном элементе к логарифму экспозиций в плоскости фотохромного элемента.

$$\Delta D_M = \Delta \lg L(v) \cdot T_{AFE}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H,$$

Максимальная и минимальная экспозиции, создаваемые яркостью объекта фотографирования в плоскости чувствительных элементов фотографического сенсора

$$H''_{\max 0} = H'_{\max 0} \cdot \tau_{\min 0} = H'_{\max 0} \cdot 10^{-D_{\max 0}},$$

$$H''_{\min 0} = H'_{\min 0} \cdot \tau_{\max 0} = H'_{\min 0} \cdot 10^{-D_{\min 0}}.$$

$$\text{Прологарифмировав отношение } \left( \frac{H''_{\max 0}}{H''_{\min 0}} \right),$$

можно найти выражение для диапазонов экспозиций на светочувствительной площадке фотографического сенсора при фотографировании через маску

$$\begin{aligned} \Delta \lg H''(v) &= \Delta \lg H'(v) - \Delta D(v) = \Delta \lg L(v) \times \\ &\times T_{AM}(v) - \Delta \lg L(v) \cdot T_{A\Phi E}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H = \\ &= \Delta \lg L(v) \cdot (T_{AM}(v) - T_{A\Phi E}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H). \end{aligned} \quad (2)$$

Вместе с тем, в соответствии с частотно-информационной моделью

$$\Delta \lg H''(v) = \Delta \lg L(v) \cdot T_{\Sigma}(v). \quad (3)$$

Приравняв выражения (2) и (3), легко получить выражение для модуляционной передаточной функции процесса локального управления экспозиции с помощью частотно-избирательной фильтр-маски

$$T_M(v) = T_{AM}(v) - T_{A\Phi E}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H.$$

Дополнительное экспонирование светочувствительного сенсора пространственно-модулированным излучением существенно влияет и на частотные характеристики результирующего изображения.

После дополнительного экспонирования, выражения для максимальной и минимальной экспозиций модуляции примут вид

$$H''_{\max 0K} = K_{LHK} \cdot (L_{\max 0} + L_0) \cdot 10^{-D_{\max 0}},$$

$$H''_{\min 0K} = K_{LHK} \cdot (L_{\min 0} + L_0) \cdot 10^{-D_{\min 0}}.$$

После логарифмирования отношения  $\left(\frac{H''_{\max 0K}}{H''_{\min 0K}}\right)$ , можно найти выражение для диапазонов экспозиций на светочувствительной площадке фотографического сенсора после дополнительного экспонирования

$$\begin{aligned} \Delta \lg H''(v) &= \lg \left( \frac{L_{\max 0}(v) + L_0}{L_{\min 0}(v) + L_0} \right) - \Delta D(v) = \\ &= \lg \left( \frac{L_{\max 0}(v) + L_0}{L_{\min 0}(v) + L_0} \right) \cdot T_{AM} - \lg \left( \frac{L_{\max 0}(v)}{L_{\min 0}(v)} \right) \times \end{aligned}$$

$$\times T_{A\Phi E}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H = \lg \left( \frac{L_{\max 0}(v)}{L_{\min 0}(v)} \right) \times$$

$$\times \left( \frac{\lg \left( \frac{L_{\max 0}(v) + L_0}{L_{\min 0}(v) + L_0} \right) \cdot T_{AM}(v) - T_{A\Phi E} \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H}{\lg \left( \frac{L_{\max 0}(v)}{L_{\min 0}(v)} \right)} \right). \quad (4)$$

С учётом выражения (3), из (4), получается выражение для модуляционной передаточной функции процесса локального управления экспозиции комбинированным способом

$$\begin{aligned} T_{\Sigma}(v) &= \frac{\lg \left( \frac{L_{\max 0}(v) + L_0}{L_{\min 0}(v) + L_0} \right) \cdot T_{AM}(v) -}{\lg \left( \frac{L_{\max 0}(v)}{L_{\min 0}(v)} \right)} \cdot T_{AM}(v) - \\ &- T_{A\Phi E} \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H. \end{aligned} \quad (5)$$

Для удобства оценки влияния комбинированного способа локального управления экспозиции на частотные характеристики результирующего изображения, выражение (5) желательно записать через среднюю экспозицию анализируемого участка кадра и контраст (коэффициент модуляции):

$$L_{CP0}(v) = \frac{L_{\max 0}(v) + L_{\min 0}(v)}{2},$$

$$k_L(v) = \frac{L_{\max 0}(v) - L_{\min 0}(v)}{L_{\max 0}(v) + L_{\min 0}(v)}.$$

Относительный контраст и коэффициент модуляции связаны соотношением

$$\Delta_L(v) = \frac{1 + k_L(v)}{1 - k_L(v)}.$$

Соответственно, выражения для значения максимальной и минимальной яркости модуляции, могут быть представлены в виде

$$L_{\min 0}(v) = L_{CP0} \cdot (1 - k_L),$$

$$L_{\max 0}(v) = L_{CP0} \cdot (1 + k_L),$$

а выражение (19) представлено в виде

$$T_{\Sigma}(v) = K_{\gamma 0}(v) \cdot T_{AM}(v) - T_{A\Phi E}(v) \cdot g_{\phi xe} \cdot g_H,$$

где

$$K_{\gamma 0}(v) = \frac{\lg \left( \frac{L_{CP0}(v)}{L_0} (1 + k_L(v)) + 1 \right) - \lg \left( \frac{L_{CP0}(v)}{L_0} (1 - k_L(v)) + 1 \right)}{\lg(1 + k_L(v)) - \lg(1 - k_L(v))}.$$

Зависимость коэффициента  $K_{\gamma 0}$  от относительного уровня дополнительного экспонирования участка кадра при различных значениях контраста деталей объекта показана на рис. 1. Влияние пара-

метров процесса регистрации изображения комбинированным способом на модуляционную передаточную функцию проиллюстрировано фотографиями и графиками, приведенными на рис. 2 – рис. 6.

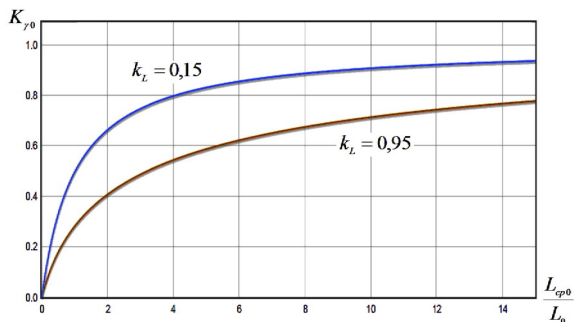


Рис. 1. Влияние яркости источника дополнительного экспонирования при комбинированном способе регистрации изображения на коэффициент  $K_{\gamma_0}$

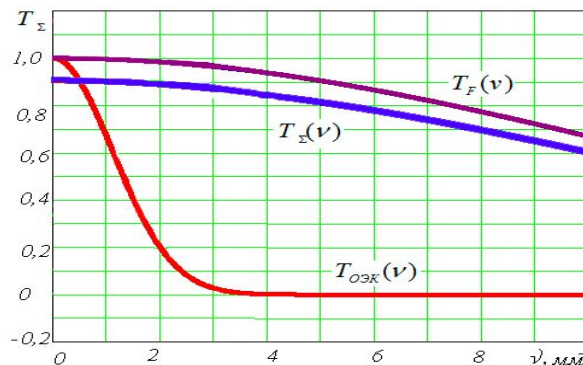


Рис. 2. Параметры процесса регистрации изображения комбинированным способом:  $K_{\gamma_0} = 0,8$ ;  $K_M = 1$ ;  $g_{\phi x e} \cdot g_H = 0$  (без фильтр-маски)

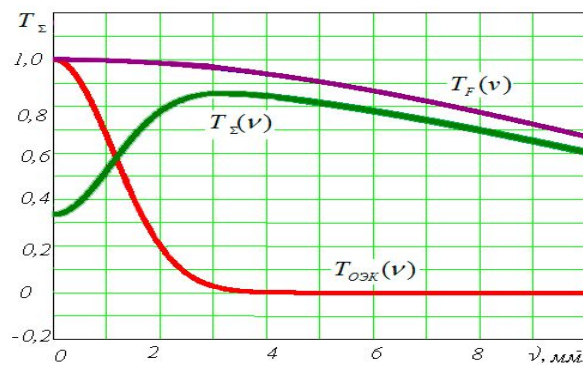
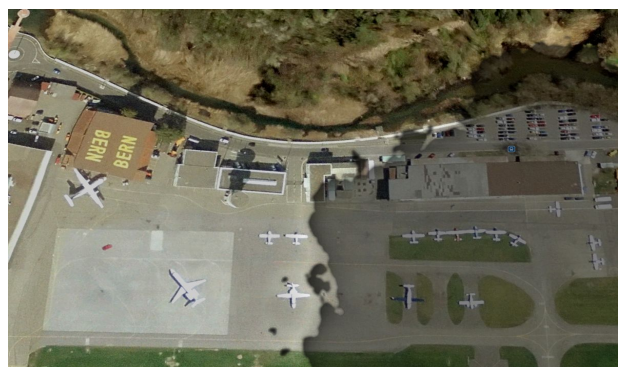


Рис. 3. Параметры процесса регистрации изображения комбинированным способом:  $K_{\gamma_0} = 0,8$ ;  $K_M > 1$ ;  $K_{\gamma_0} > g_{\phi x e} \cdot g_H > K_{\gamma_0} - 1$

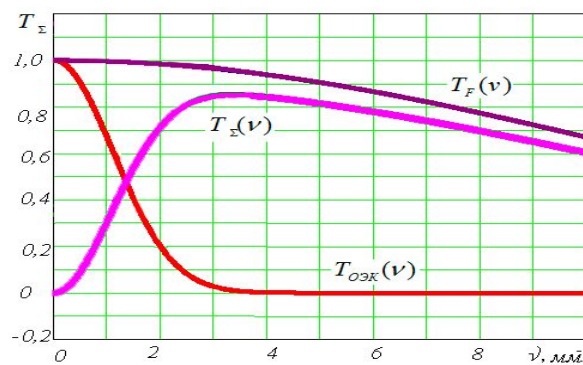
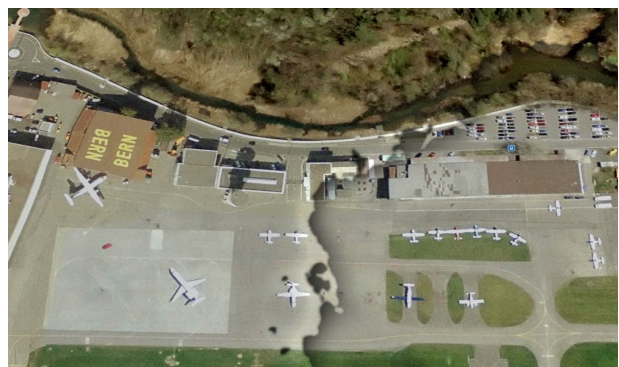


Рис. 4. Параметры процесса регистрации изображения комбинированным способом:  $K_{\gamma_0} = 0,8$ ;  $K_M \approx \infty$ ;  $g_{\phi x e} \cdot g_H \approx K_{\gamma_0}$



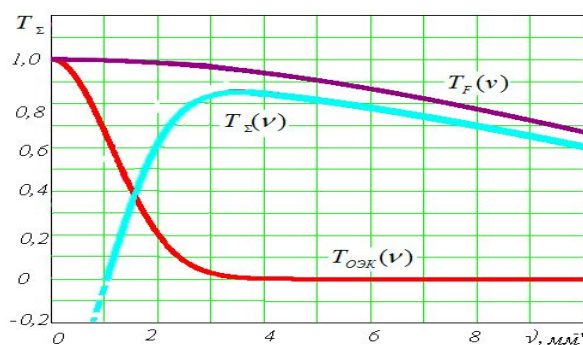


Рис. 5. Параметры процесса регистрации изображения комбинированным способом:  $K_{\gamma 0} = 0,8$ ;  $K_M < 0$ ;  $g_{\phi x e} \cdot g_H > K_{\gamma 0}$

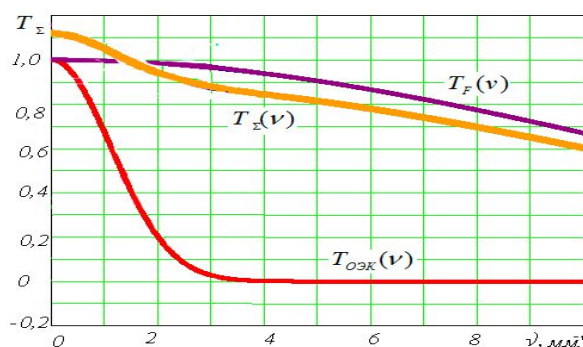


Рис. 6. Параметры процесса регистрации изображения комбинированным способом:  $K_{\gamma 0} = 0,8$ ;  $0 < K_M < 1$ ;  $g_{\phi x e} \cdot g_H < K_{\gamma 0} - 1$

Процесс регистрации изображений объектов с большим диапазоном яркости комбинированным способом оказывает существенное влияние на модуляционную передаточную функцию результирующего изображения.

При коэффициенте маскирования  $K_M = 1$  имеет место отсутствие сжатия динамического диапазона входного сигнала. При  $1 < K_M$  снижается контраст низкочастотных составляющих спектра сигнала, случаю  $K_M \approx \infty$  соответствует полное выравнивание их интенсивности. При отрицательных значениях  $K_M$  наблюдается реверс контрастов на низких пространственных частотах.

На высоких пространственных частотах форму модуляционной передаточной функции определяет яркость источника дополнительного экспонирования.

#### Выводы

Получено выражение для модуляционной передаточной функции результирующего изображения, сформированного с использованием комбинированного способа регистрации изображений объектов фотографирования с большим диапазоном яркости. Проанализировано влияние параметров процесса регистрации изображения комбини-

рованным способом на модуляционную передаточную функцию результирующего изображения. Выражение может быть использовано при проведении теоретических исследований влияния процесса комбинированного способа регистрации изображений на эффективность съёмки.

В дальнейшем планируется проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния комбинированного способа регистрации изображений с большим диапазоном яркости на эффективность съёмки.

#### Литература

- [1] В. Г. Колобродов, Д. О. Півторак, “Комбінований спосіб реєстрації зображення об’єкта з широким динамічним діапазоном яскравостей”, *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*, №4, с. 97-101, 2009.
- [2] А. П. Подолян, С. В. Пудрий, А. Н. Румянцев, “О влиянии локального управления экспозицией методом двойного экспонирования на эффективность воздушного фотографирования”, *Прикладные вопросы аэрокосмического мониторинга*, № 1, с.101-107, 1997.
- [3] С. В. Пудрий, А. П. Подолян, “Вплив локального керування експозицією методом подвійного експонування на ефективність по-

- вітряного фотографування”, *Повітряна розвідка*, с. 52-58, 1998.
- [4] Х. Фризер, *Фотографическая регистрация информации*, Москва: Мир, 1978.
- [5] Дж. М. Ллойд, *Системы тепловидения*: Пер. с англ., Москва: Мир, 1978.
- [6] С.В. Пудрий, “Изменение результирующей функции передачи модуляции фотографической системы в результате нерезкого маскирования способом двойного экспонирования”, *Информационные технологии получения и обработки данных воздушной разведки*, с. 59-64, 1994.
- [7] А. П. Подолян, С. В. Пудрий, “О влияние двойного экспонирования при градационном маскировании на частотные характеристики получаемого изображения”, *Сборник статей военно-научной конференции института*, с. 42-46, 1994.
- [8] В. Г. Колобродов, Д. О. Півторак, С. В. Пудрий, Ю.К. Ребрин, “Способ фотозйомки й пристрій для його здійснення”, *МПК G03 7/08, Пат. 87415 України*, опубл. 10.07.2009, Бюл. №13.
- [9] А.П. Подолян, “Сжатие динамического диапазона яркости аэроландшафта при аэрофотографировании”, *Научно-методические материалы по современным методам проектирования авиационных автоматических систем*, №1, с. 94-98, 1989.
- [10] Д. О. Півторак, “Розробка просторово-частотної моделі процесу формування зображення комбінованим способом”, *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Приладобудування”*, №51 (1), с. 37-41, 2016.

УДК 621.384.3

**Д. О. Півторак***Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна***ВПЛИВ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ РЕЄСТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ’ЄКТІВ З ВЕЛИКИМ ДІАПАЗОНОМ ЯСКРАВОСТІ НА МОДУЛЯЦІЙНУ ПЕРЕДАВАЛЬНУ ФУНКЦІЮ РЕЗУЛЬТУЮЧОГО ЗОБРАЖЕННЯ**

Для зниження інформаційних втрат при фотозйомці в умовах великого інтервалу яскравості в межах кадру, використовуються мультиплікативний, адитивний і комбінований способи реєстрації зображень.

Використання мультиплікативного способу приводить до енергетичних втрат в оптичному каналі, що вимагає корекції регулюючих експозицію параметрів. Використання адитивного способу дає можливість зменшити ефективну витримку затвору, але приводить до зниження контрасту дрібних зображень. Застосування комбінованого способу дозволяє подавити малоінформативні низькочастотні складові спектру вхідного сигналу, зменшити при цьому втрати від зсуву зображення та зменшити контраст зображень дрібних деталей.

При комбінованому способі реєстрації зображень проводиться експонування світлочутливого сенсора через заздалегідь побудовану частотно-вибіркову фільтр-маску оптичного зображення об’єкта фотографування і зображення екрану рівномірної яскравості.

Отримано вираз для модуляційної передавальної функції результуючого зображення, сформованого з використанням комбінованого способу реєстрації зображень об’єктів фотографування з великим діапазоном яскравості. Проаналізовано вплив параметрів процесу реєстрації зображення комбінованим способом на модуляційну передавальну функцію результуючого зображення.

При коефіцієнті маскувння  $K_M = 1$  має місце відсутність стиснення динамічного діапазону вхідного сигналу.

При  $1 < K_M$  знижується контраст низькочастотних складових спектра сигналу, випадку  $K_M \approx \infty$  відповідає повне вирівнювання їх інтенсивності. При негативних значеннях  $K_M$  спостерігається реверс контрастів на низьких просторових частотах. На високих просторових частотах форму модуляційної передавальної функції визначає яскравість джерела додаткового експонування.

Вираз для модуляційної передавальної функції результуючого зображення може бути використано при проведенні теоретичних досліджень впливу процесу комбінованого способу реєстрації зображень на ефективність зйомки.

**Ключові слова:** МПФ; динамічний діапазон; зображення.

**D. O. Pivtorak***National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine***THE EFFECT OF THE MULTIFUNCTION METHOD OF REGISTERING IMAGES OF OBJECTS WITH A LARGE RANGE OF BRIGHTNESS ON THE MODULATION TRANSFER FUNCTION OF THE RESULTING IMAGE**

When photographing of objects with large range of brightness, some information may be lost. The main reasons for the loss of information when photographing these objects are insufficient dynamic range of the input signal to the dynamic

range of the image detector. To reduce loss of the information when photographing in a large range of brightness within a frame used multiplicative, additive and multifunction methods of image registration are used.

If multifunction method of image registration is used exposing the photosensitive sensor through pre-built frequency selective filter-mask of optical image of the photographing object and images of uniform brightness screen is carried out.

An expression for the modulation transfer function of the resulting image formed using the multifunction method of registering images of photographing objects with a large range of brightness is obtained. The influence of the parameters of the image registration process using the multifunction method on the modulation transfer function of the multifunction image is analyzed.

With the masking coefficient  $K_M = 1$ , there is no compression of the dynamic range of the input signal. When  $1 < K_M$  the contrast of low-frequency components of the signal spectrum is reduced, the case  $K_M \approx \infty$  corresponds to a full equalization of their intensity. At negative values  $K_M$ , a reverse of contrasts is observed at low spatial frequencies. At high spatial frequencies, the shape of the modulation transfer function determines the brightness of the source of additional exposure.

The expression for the modulation transfer function of the resulting image can be used when conducting theoretical studies of the effect of the process of the multifunction method of registering images on the shooting efficiency.

**Keywords:** MTF; dynamic range; image.

*Надійшла до редакції  
29 березня 2019 року*

*Рецензовано  
09 квітня 2019 року*