

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL PHASE AND MINIMUM TEMPERATURE DIFFERENCE PERCEIVED

**Background.** Nowadays commonly used with thermal matrix detector. A common feature of these thermal imagers have the opportunity to sample the signal in two directions, horizontal and vertical. These imagers are sampled. It is therefore very important is the issue of performance assessment of thermal imagers. This article examines the methods for determining criteria to help evaluate the effectiveness of the thermal imager.

**Objective** – to study methods for determining the optimal phase thermal imager to help define criteria to help evaluate the effectiveness of the thermal imager beyond the Nyquist frequency.

**Methods.** Based on the concept of minimum resolution temperature difference between the new concept of the minimum temperature difference perceived that helps fulfill the objective.

**Results.** The equation that allows you to calculate the optimal phase depending on the spatial frequency based MTF and angular size detector. **Conclusions.** The model thermal imaging system allows to calculate the optimal phase depending on the spatial frequency based MTF and angular size detector. The definition phase to determine optimum minimum temperature difference perceived, which in turn allows to evaluate the efficiency of sampled thermal imagers beyond the Nyquist frequency.

**Key words:** minimum temperature difference perceived, minimum resolution temperature difference, the Nyquist frequency, the optimal phase.

*Надійшла до редакції  
04 листопада 2015 року*

*Рецензовано  
19 листопада 2015 року*

© Колобродов В. Г., Луцюк М. М., Балінський Є. Г., 2016

УДК 621.384.3

## РОЗРОБКА ПРОСТОРОВО-ЧАСТОТНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ КОМБІНОВАНИМ СПОСОБОМ

*Півторак Д.О.*

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,  
м. Київ, Україна*

*E-mail: [p\\_diana@i.ua](mailto:p_diana@i.ua)*

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

*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.*

*Розроблена просторово-частотна модель процесу формування зображення в цифрових фотокамерах, що використовують комбінований спосіб локального управління експозиції. З моделі видно, що експонетрична система локального управління експозицією безпосередньо впливає на процес формування зображення, змінюючи свою модуляційну передатну функцію, і опосередковано, змінюючи параметри, що входять у вирази для модуляційних передавальних функцій більшості ланок, які приймають участь у формуванні даного зображення.*

**Ключові слова:** *зображення, експозиція, інтервал яскравості.*

### **Вступ**

Для зниження втрат інформації, які викликані не відповідністю динамічного діапазону вхідного сигналу (інтервалу яскравості об'єктів фотографування) динамічному діапазону

реєстратора зображення, в сучасних фотоапаратах широко використовується попередня просторово-частотна фільтрація оптичного сигналу. Функції найпростіших фільтрів зазвичай виконують експонетричні пристрої, що забезпечують

заглушення низьких просторових частот зображення, які в основному не несуть корисної інформації. При фотографуванні в умовах великого інтервалу яскравості в межах кадру, експонетричні пристрої повинні забезпечувати керування експозицією кожної елементарної ділянки кадру, тобто забезпечувати локальне керування експозицією. В фотоапаратах, які оснащені відомими експонетричними пристроями з локальним керуванням експозицією використовуються мультиплікативний, адитивний та комбінований спосіб реєстрації зображення [1].

Використання мультиплікативного способу (способу нерізкого маскування) [2] приводить до енергетичних втрат в оптичному каналі, що вимагає корекції регулюючих експозицій параметрів. Збільшення світлочутливості приведе до зростання шумів, а збільшення ефективної витримки – до появи зсуву зображення при зйомці з рухомих носіїв. Використання адитивного способу (способу віднімання) [3] дає можливість зменшити ефективну витримку затвору, але приведе до зниження контрасту зображення дрібних елементів.

Застосування комбінованого способу реєстрації зображення дозволяє подавити малоінформаційні низькочастотні складові спектру вхідного сигналу, знизив при цьому втрати від зсуву зображення та зменшення контрасту дрібних деталей [4].

#### Постановка задачі

Для визначення параметрів комбінованого способу локального управління експозиції необхідно розробити просторово-частотну модель процесу реєстрації зображення.

Метою даної статті є розробка просторово-частотної моделі процесу формування зображення у фотоапаратах, оснащених експонетричними пристроями при використанні комбінованого способу локального керування експозицією.

#### Просторово-частотна модель процесу формування зображення в фотоапарат при використанні комбінованого способу

Просторово-частотна модель процесу формування зображення в фотоапаратах, оснащених експонетричними системами з локальним управлінням експозицією комбінованим способом просторової фільтрації зображення, може бути розроблена на основі просторово-частотної моделі процесу формування зображення в фотографічних системах розглянутої в [5].

Формування зображення в фотографічній системі, оснащеної експонетричним пристроєм локального керування експозицією, має на увазі процес проходження інформаційного сигналу від елементу розділення до площини світлочутливого сенсору.

Структура фотографічної системи може бути визначена [6] за її імпульсним відгуку  $h(x, y)$ , що показує реакцію системи на точкове джерело випромінювання (вплив  $\delta$ -імпульсу):

$$L(x, y) = \delta(x - \xi, y - \eta),$$

де

$$\delta(x - \xi, y - \eta) = \begin{cases} 1, & x = \xi, y = \eta \\ 0, & x \neq \xi, y \neq \eta \end{cases}$$

Функція розсіювання точки  $h(x - \xi, y - \eta)$  показує, яка частина загального світлового потоку, що утворює зображення точки, падає на елементарну площадку  $dx \cdot dy$  кружка розсіювання в точці  $(x, y)$  [6].

При наявності оптико-електронного каналу у площині чутливої площадки оптико-електронного перетворювача спектру за допомогою об'єктива формується зображення, що описується інтегралом суперпозиції [7]:

$$E_{OEP}(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{+\infty} L(x, y) \cdot h_{OEP}(x - \xi, y - \eta) \cdot dx dy, \quad (1)$$

де  $h_{OEP}$  – функція розсіювання приймальної оптики оптико-електронного каналу.

При допущенні, що система є просторово-інваріантною (тобто відстань залежить тільки від відстані  $(x - \xi)$  і  $(y - \eta)$ ), вираз (1) можна представити у вигляді згортки [7]:

$$E_{OEP}(x, y) = L(\xi, \eta) * h_{PO}(\xi, \eta).$$

Далі сигнал обробляється в оптико-електронному перетворювачі спектру, основною функцією якого є перетворення освітленості на його чутливій площадці в розподіл яскравості на його екрані, при чому дані розподілу повинні перебувати в різних спектральних діапазонах. У загальному випадку вираз для яскравості на екрані оптико-електронного перетворювача спектру має вигляд:

$$L_{OEP}(\xi', \eta') = K_1 \iint_{-\infty}^{+\infty} E_{OEP}(\xi, \eta) \cdot h_{OEP}(\xi - \xi', \eta - \eta') d\xi d\eta,$$

де  $L_{OEP}(\xi', \eta')$  – просторовий розподіл яскравості на екрані оптико-електронного перетворювача;  $K_1$  – коефіцієнт переходу від освітленості до яскравості;  $h_{OEP}(\xi - \xi', \eta - \eta')$  – функція розсіювання оптико-електронного перетворювача.

Оптико-електронний перетворювач спектру може бути виконаний з використанням різних принципів, наприклад, з використанням сканування (аналогічно телевізійним системам) або паралельного перетворення (аналогічно електронно-оптичних перетворювачів).

Зображення з екрану оптико-електронного перетворювача спектру за допомогою проєкційного об'єктива проєктується на оптичну

пластину, створюючи в її площині розподіл освітленості:

$$E_{\text{оп}}(\xi'', \eta'') = K_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} L_{\text{оп}}(\xi', \eta') \cdot h_{\text{по}}(\xi' - \xi'', \eta' - \eta'') d\xi' d\eta', \quad (2)$$

де  $E_{\text{оп}}(\xi'', \eta'')$  – просторовий розподіл освітленості в площині оптичної пластини;  $K_2$  – коефіцієнт переходу від яскравості до освітленості;  $h_{\text{по}}(\xi' - \xi'', \eta' - \eta'')$  – функція розсіювання проекційного об'єктиву і ланки розфокусування.

Застосувавши до виразу (2) перетворення Фур'є, можна перейти в частотну область:

$$E_{\text{оп}}(\nu'_x, \nu'_y) = L(\nu_x, \nu_y) \cdot T_{\text{ОЕК}}(\nu_x, \nu_y),$$

де  $E_{\text{оп}}(\nu'_x, \nu'_y)$ ,  $L(\nu_x, \nu_y)$  – просторово-частотні спектри функцій  $E_{\text{оп}}(\xi'', \eta'')$  і  $L(x, y)$ ;  $T_{\text{ОЕК}}(\nu_x, \nu_y)$  – модуляційна передаточна функція оптико-електронного каналу.

Просторовий розподіл коефіцієнта пропускання  $\tau(\xi'', \eta'')$  оптичної пластини є фільтр-маска, яка впливає на просторово-частотний спектр вхідного сигналу. У загальному випадку, вираз для розподілу освітленості в площині світлочутливого сенсору буде мати вигляд:

$$E_{\text{ПЗЗ}}(\xi'', \eta'') = E_1(\xi'', \eta'') + E_2(\xi'', \eta''),$$

де

$$E_1(\xi'', \eta'') = K_3 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} L_{\text{оп}}(x, y) \cdot h_{\Sigma}(x - \xi'', y - \eta'') dx dy, \quad (3)$$

$$E_2(\xi'', \eta'') = K_4 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} L_{\text{КР}}(x, y) \cdot h_{\Sigma}(x - \xi'', y - \eta'') dx dy, \quad (4)$$

де  $K_3$ ,  $K_4$  – коефіцієнт переходу від яскравості до освітленості;  $h_{\Sigma}(x - \xi'', y - \eta'')$  – функція розсіювання процесу при фотозйомці.

Фур'є перетворення виразів (3) і (4) має вигляд:

$$E_1(\nu'_x, \nu'_y) = L(\nu_x, \nu_y) \cdot T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y),$$

$$E_2(\nu'_x, \nu'_y) = L_{\text{КР}}(\nu_x, \nu_y) \cdot T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y),$$

де  $E_1(\nu'_x, \nu'_y)$ ,  $E_2(\nu'_x, \nu'_y)$ ,  $L(\nu_x, \nu_y)$ ,  $L_{\text{КР}}(\nu_x, \nu_y)$  – просторово-частотні спектри функцій  $E_1(\xi'', \eta'')$ ,  $E_2(\xi'', \eta'')$  і  $L(x, y)$ ,  $L_{\text{КР}}(x, y)$ ;  $T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y)$  – модуляційна передаточна функція всього процесу фотографування зображення у фотографічній системі, оснащеної експонетричною системою локального керування експозицією.

Тоді просторово-частотний спектр функції  $E_{\text{ПЗЗ}}(\xi'', \eta'')$  має вигляд:

$$E_{\text{ПЗЗ}}(\nu'_x, \nu'_y) = (L(\nu_x, \nu_y) + L_{\text{КР}}(\nu_x, \nu_y)) \cdot T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y).$$

Процес реєстрації елемента розділення, сформованого у площині світлочутливого сенсору має вигляд:

$$N_{\text{ПЗЗ}}(\nu'_x, \nu'_y) = (L(\nu_x, \nu_y) + L_{\text{КР}}(\nu_x, \nu_y)) \times T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y) \cdot T_{\text{ПЗЗ}}(\nu_x, \nu_y),$$

де  $N_{\text{ПЗЗ}}(\nu'_x, \nu'_y)$  – просторово-частотний спектр функції  $N_{\text{ПЗЗ}}(\xi'', \eta'')$ .

Модуляційна передаточна функція всієї фотографічної системи, оснащеної експонетричним пристроєм локального керування експозицією, яка для малих вхідних сигналів при відомих припущеннях розглядається лінійною, може бути представлена як добуток модуляційних передаточних функцій його ланок [5]:

$$T_{\Sigma}(\nu_x, \nu_y) = \prod_{i=1}^n T_i(\nu_x, \nu_y, p_i), \quad (5)$$

де  $T_i(\nu_x, \nu_y, p_i)$  – модуляційна передаточна функція (МПФ)  $i$ -ої ланки;  $p_i$  – сукупність параметрів  $i$ -ої ланки передачі інформації, що впливають на МПФ.

Практичне застосування рівняння (5) вимагає урахування зв'язку між просторовими частотами в площині світлочутливого сенсору та об'єкта фотографування, що обумовлено коефіцієнтами масштабного перетворення  $m_x$ ,  $m_y$ :

$$\nu''_x = \frac{\nu_x}{m_{x2}} = \frac{\nu_x \cdot \bar{H}}{f'}, \quad \nu''_y = \frac{\nu_y}{m_{y2}} = \frac{\nu_y \cdot \bar{H}}{f'},$$

де  $\bar{H}$  – відстань до об'єкта фотографування;  $f'$  – фокусна відстань об'єктива фотоапарата.

Взаємозв'язок між просторовими частотами для оптико-електронного каналу:

$$\nu''_x = \frac{\nu_x}{m_{x2}} = \frac{\nu_x \cdot \bar{H}}{f'_{\text{екв}}}; \quad \nu''_y = \frac{\nu_y}{m_{y2}} = \frac{\nu_y \cdot \bar{H}}{f'_{\text{екв}}},$$

де  $f'_{\text{екв}}$  – еквівалентна фокусна відстань оптико-електронного каналу.

Для точного суміщення зображення необхідно виконання умови  $f'_{\text{екв}} = f'$ .

На рис. 1 представлена просторово-частотна модель фотографічної системи, яка оснащена експонетричним пристроєм локального керування експозицією, який використовує комбінований спосіб просторової фільтрації зображення, де  $T(\nu_x, \nu_y)$  – модуль цінні передаточні функції;  $S(\nu_x, \nu_y)$  – спектр шумів;  $a$  – атмосфера,  $m$  – турбулентна,  $p$  – рефракційна;  $o$  – приймальна оптика;  $oa$  – абераційний об'єктив;  $od$  – дифракційний об'єктив;  $sf$  – світлофільтр;  $rf$  – розфокусування;  $zc$  – зсув;  $vb$  – вібрації;  $DI$  – джерело інформації;  $OI$  – отримувач інформації.

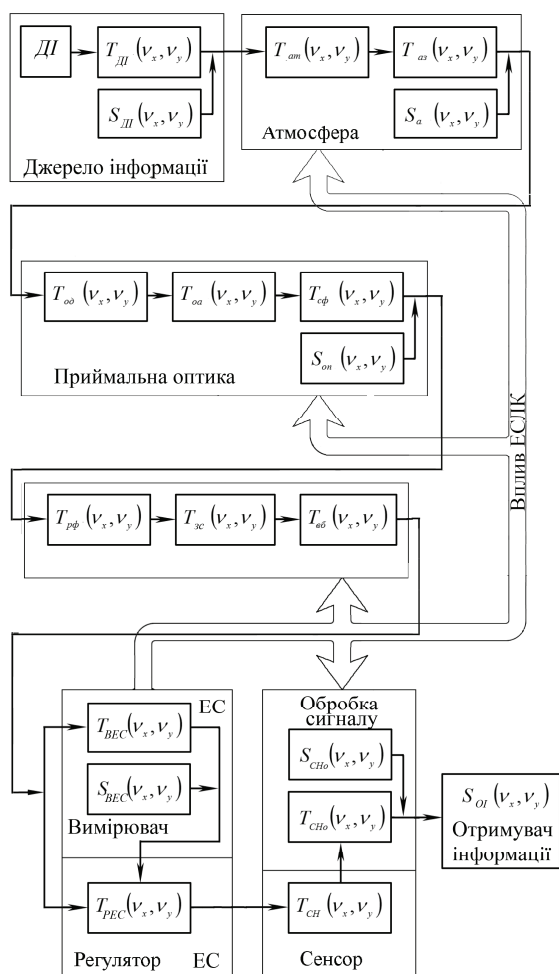


Рис. 1. Просторово-частотна модель процесу формування зображення в фотографічних системах, які оснащені експонетричними системами локального управління

**Висновок**

Розроблена просторово-частотна модель процесу формування зображення в фото, що

використовують комбінований спосіб локального управління експозиції. З моделі видно, що експонетрична система локального управління експозицією безпосередньо впливає на більшість ланок, які приймають участь у формуванні даного зображення.

В подальшому планується проведення теоретичних та експериментальних досліджень впливу комбінованого способу реєстрації зображення з великим діапазоном яскравості на ефективність зйомки.

**Література**

1. Колобродов В. Г. Комбінований спосіб реєстрації зображення об'єкта з широким динамічним діапазоном яскравостей / В. Г. Колобродов, Д. О. Півторак // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – №4. – С. 97 – 101.
2. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. – М.: Мир, 1978. – 672 с.
3. Ллойд Дж. М. Системы тепловидения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
4. Пат. 87415 України, МПК G03 7/08. Спосіб фотозйомки й пристрій для його здійснення / В. Г. Колобродов, Д. О. Півторак, С. В. Пудрій, Ю. К. Ребрин; заявник та патентовласник «НПІП КиАТОН». – №а200805221; заявл. 22.04.2008; опубл. 10.07.2009, Бюл. №13.
5. Ребрин Ю. К. Оптико-електронное разведывательное оборудование летательных аппаратов / Ю. К. Ребрин. – Киев: КВВАИУ, 1988. – 450 с.
6. Мельканович А. Ф. Фотографические средства и их эксплуатация / А. Ф. Мельканович. – Л.: МО СССР, 1984. – 576 с.
7. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику: пер. с англ. / Дж. Гудмен. – М.: Мир, 1970. – 364 с

УДК 621.384.3

**Д. А. Півторак**

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ**

Для снижения информационных потерь при фотосъёмке в условиях большого интервала яркости в пределах кадра, используются мультипликативный, аддитивный и комбинированный способы регистрации изображений.

При комбинированном способе регистрации изображений проводится экспонирование светочувствительного сенсора через заранее построенную частотно избирательную фильтр-маску оптического изображения объекта фотографирования и изображения экрана равномерной яркости.

Разработана пространственно-частотная модель процесса формирования изображения в цифровых фотокамерах, использующих комбинированный способ локального управления экспозиции. Из модели видно, что экспонетрическая система локального управления экспозиции непосредственно влияет на процесс формирования изображения, изменяя свою модуляционную передаточную функцию, и



опосредовано, изменяя параметры, входящие в выражения для модуляционных передаточных функций большинства звеньев, участвующих в формировании изображения.

**Ключевые слова:** изображение, экспозиция, динамический диапазон.

**D. O. Pivtorak**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

## SPATIALLY-FREQUENCY MODEL OF IMAGING PROCESS BY MULTIFUNCTION METHOD

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.

Spatially-frequency model of imaging process in digital photocopiers that use the multifunction method of local exposure control is developed. From a model evidently, that the exposure system of local exposure control directly influences on the imaging process, changing the modulation transmission function, and mediated, changing parameters, that is included in expressions for the modulation transmission functions of most links that take part in forming of this image.

**Key words:** image, exposure, dynamic range.

*Надійшла до редакції  
27 січня 2016 року*

*Рецензовано  
10 лютого 2016 року*

© Півторак Д. О., 2016

УДК 681.7.067

## ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІЙНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ КОШІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄКТИВІВ

*Сокурєнко В. М., Буйлов І. С.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна*

*E-mail: [sokurenko2@meta.ua](mailto:sokurenko2@meta.ua), [enekotrade@gmail.com](mailto:enekotrade@gmail.com)*

*Автоматизований розрахунок оптичних систем об'єктивів потребує застосування відповідного програмного забезпечення. В основу такого спеціалізованого програмного забезпечення можуть бути покладені сучасні алгоритми глобальної оптимізації. В даній роботі чисельним моделюванням досліджується нещодавно опублікований адаптивний метод диференційної еволюції Коші, який вирізняється наявністю внутрішнього механізму адаптації двох параметрів-коефіцієнтів класичного методу диференційної еволюції та застосуванням розподілу Коші для генерування нових значень цих коефіцієнтів. Отримані результати підтверджують те, що адаптивний метод диференційної еволюції Коші дозволяє синтезувати довільну оптичну систему з заданими функціональними параметрами та прийнятним рівнем корекції монохроматичних та хроматичних аберацій. Продуктивність синтезу оптичної системи значно залежить від структури сформованої оціночної функції. Час, який потрібен для здійснення автоматизованого розрахунку оптичної системи з кількістю пошукових параметрів біля 20, не перевищує декілька годин. Якість зображення отриманих систем дозволяє використовувати їх з існуючими матричними приймачами випромінювання.*

**Ключові слова:** *об'єктив, оптична система, адаптивний метод диференційної еволюції Коші, автоматизований розрахунок, глобальна оптимізація.*