

6. Kokorovtsev VV, AA Trots The physical aspects of the theory of the Dirac-Realiuma. Nats.tehn. University of Ukraine "Kyiv.politehn. Inst "- Kyiv, 1995. - 50 p. : ill. - Ref. : 6 items. - Ross. - Dep DNTB in Ukraine 20.12.95 № 129-Uk96.
7. Talanchuk PM, Ostafieva VA, AA Trots, Makhmudov KG, Myrzaev AA Glushenko YB Dyfferentsyonalnoe equation of cause and sledstvennyh relationships. K. : Journal KPI. Pryborostroenye - 1995 - B 25 - P. 3-19.
8. TrotsA.A., Beet VG Glushenko YB Cause-sledstvennyye aspects Designing equipment. Perspektivnyye technologies, tools and Methodology Preparation of production. Scientific and tehnycheskyy sbornik / Ed. prof. Rumbeshty VA, Globa AV - C. : LLC "Mezhdunar.fyn. agency ", 1997. - P. 64-66.
9. Druzhynyn VV Kondorov DS Systemotekhnika. - M. : Radio and Communications, 1985. - 200 pp, Ref.
10. Rosenthal IL Elementarnyye particles and the structure of the universe. - M. : Nauka, 1984. - 112 p.
11. Boyarynov VA, VT Ruschenko Synthesis Mathematical models funds ynduktyvnyim measurements by self-organization on computers // Vestn. Kiev. polytehn. in-and out. Pryborostroenye. - K., 1985. - Vol. 15. - P. 37.

Рецензія/Peer review : 21.1.2015 р.

Надрукована/Printed :24.1.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**УДК 681.7**

**В.Г. КОЛОБРОДОВ, О.М. ЯВДОЩАК**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## **МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ МОДУЛЯЦІЙНОЇ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ КАМЕРИ З МАТРИЧНИМ ПРИЙМАЧЕМ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

*Метою статті є удосконалення методу похилої півплощини для вимірювання модуляційної передавальної функції (МПФ) цифрової камери. Метод похилої півплощини полягає в формуванні зображення границі перепаду інтенсивності, напрямком якої складає невеликий кут з напрямком стовпців матричного приймача випромінювання. Таким чином вертикально орієнтований край (вздовж стовпців приймача) дозволяє отримати горизонтальну функцію розсіювання лінії на приймачі випромінювання. В такому випадку відзук кожного рядка формує різні величини функції розсіювання краю через різні значення фази. Визначено, що метод похилої півплощини дозволяє швидко отримати МПФ камери з матричним приймачем випромінювання, використовуючи одне зображення.*

*Ключові слова:* цифрова камера, модуляційна передавальна функція, функція розсіювання краю

V.G. KOLOBRODOV, O.M. YAVDOSCHAK

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

## **MODULATION TRANSFER FUNCTION MEASUREMENT FOR DIGITAL CAMERAS WITH MATRIX ACTIVE PIXEL SENSOR**

*Abstract - The article's subject is to review and analysis of the slanted edge method for the digital camera's modulation transfer function. The inclined half-plane method consists of modeling image of intensity difference edge. Direction of this edge is a small angle with the direction of the columns of the camera's matrix detector. Thus vertically oriented edge (along the column receiver) provides a horizontal line spread function on the receiver. In this case, the results of each line will provide various edge spread functions because of different phase values. The analysis result is that the slanted edge method allows to perform quickly measurement of modulation transfer function by a single image.*

*Keywords:* digital camera, modulation transfer function, edge scattering function.

### **Вступ**

Якість зображення є однією з найголовніших характеристик сучасних камер. Модуляційна передавальна функція (МПФ) традиційно найчастіше вживається для оцінювання якості отриманого зображення, оскільки є прямим і найбільш точним параметром якості [1]. МПФ відображає контраст зображення камери на різних просторових частотах. Традиційні методи вимірювання МПФ спочатку були розроблені для приладів з формуванням безперервних зображень. У випадку застосування цих методів для сучасних цифрових камер виникають значні похибки вимірювання [2]. Також результати МПФ можуть залежати від обраного методу (використання синусоїдальної або штрихової міри, щілини або методу Фуко). Перед застосуванням методу вимірювання МПФ потрібно всебічно розглянути, проаналізувати його переваги і недоліки та порівняти з іншими методами.

### **Постановка задачі**

Метою статті є удосконалення методу вимірювання МПФ цифрової камери за допомогою похилої півплощини шляхом аналізу методу, оцінки його переваг і недоліків, можливістю застосування для отримання МПФ камери з матричним приймачем зображення, порівняння з іншими методами вимірювання МПФ.

### **Визначення МПФ**

Зображення окремої точки ніколи не може бути нескінченно малою точкою. Навіть якщо оптична система не має аберацій, зображення точки представляє собою пляму розсіювання через дію дифракції на діафрагмі, що обмежує апертуру оптичної системи [1]. Математично розподіл інтенсивності в зображенні ізольованої точки описується функцією розсіювання точки  $A(x', y')$ .

Поняття функції розсіювання поширюють і на розподіл освітленості  $A(y')$  в зображенні лінії. Зображення нескінченно довгої лінії може бути отримано сумуванням нескінченної кількості точок, розташованих уздовж неї і називається функцією розсіювання лінії (ФРЛ)

$$A_{\text{л}}(x') = \int_{-\infty}^{\infty} A(x', y') dy'.$$

У випадку формування зображення півплощини розподіл освітленості в напрямку, перпендикулярному до краю, описується сумуванням функцій розсіювання ліній у межах півплощини [3]. Крива розподілу освітленості в зображенні краю (об'єкт, що представляє собою границю світлого й темного поля) називається граничною кривою або функцією розсіювання краю (ФРК).

$$E_{\Pi}(x') = \int_{-\infty}^{x'} A_{\Pi}(x' - x'_1) dx'_1.$$

Для того щоб визначити освітленість  $E(x')$  у деякій точці  $x'$  зображення, потрібно просумувати ординати функцій розсіювання, отриманих не тільки для точки предмета, що має те ж значення координати  $x$ , але й для сусідніх точок об'єкта.

Довільний об'єкт можна представити як сукупність елементарних складових, інтенсивність яких змінюється за синусоїдальним законом і котрі відрізняються між собою по частоті, амплітуді й фазі. Саме такий підхід дозволяє ввести поняття оптичної передатної функції (ОПФ). Частота кожної синусоїдальної складової - це величина, зворотна періоду синусоїди. Частота просторового розподілу інтенсивності в об'єкті і в зображенні, наприклад, число максимумів синусоїдальної міри на 1 мм її довжини називається просторовою частотою. ОПФ є перетворенням Фур'є від імпульсного відгуку системи, тобто від ФРТ. ОПФ визначає здатність оптичної системи розрізняти контраст на заданих просторових частотах.

Модуль ОПФ називають частотно-контрастною характеристикою, тому що вона показує залежність коефіцієнта передачі контрасту від просторової частоти, або просторово-частотною характеристикою, тому що вона розглядається у двовимірному просторі, а також модуляційною передавальною функцією або функцією передачі модуляції (ФПМ) за аналогією з передачею електричних сигналів. Можна показати, що значення модуля ОПФ для кожної просторової частоти дорівнює відношенню модуляції в зображенні гармонічної складової до модуляції в об'єкті [3].

МПФ камери в цілому є добутком МПФ приймача випромінювання та МПФ оптичної системи [4,5], кожна з яких погіршує роботу приладу. МПФ матричного приймача випромінювання визначається в першу чергу розміром пікселя.

#### Методи вимірювання МПФ

Метод синусоїдальної міри полягає в формуванні зображення синусоїдальних мір різної просторової частоти на приймачі. Для отримання МПФ використовується нормований контраст зображення для кожної частоти. Такий метод дозволяє отримати прямий результат. Але він потребує формування окремого зображення для кожного значення частоти, що суттєво збільшує час вимірювання [6]. Метод Фуко полягає в формуванні зображення різкого перепаду інтенсивності, чітко зорієнтованому по стовпцях або рядках матричного приймача випромінювання. По лінії, перпендикулярній краю, знімаються значення функції розсіювання краю (ФРК). Похідною від ФРК є функція розсіювання лінії (ФРЛ), з якої шляхом одновимірного перетворення Фур'є отримують МПФ. З метою зменшення залежності результату від зсуву фаз необхідно зміщувати край у перпендикулярному напрямку. Зміщення повинні бути малими у порівнянні з розміром пікселя, тому кількість зображень для побудови МПФ збільшується.

Описані вище методи вимірювання МПФ широко розповсюджені, але мають певні недоліки. Одним із принципових недоліків є значна тривалість вимірювань [6]. З метою забезпечити швидкий метод вимірювання МПФ на основі одного зображення було розроблено стандарт ISO 12233. Завдяки стандартизованому підходу до вимірювання МПФ дані з різноманітних цифрових приладів можна легко порівнювати.

#### Метод похилої півплощини

Міжнародний стандарт 12233 встановлює метод вимірювання роздільної здатності камер і визначає порядок тестування та вигляд об'єктів

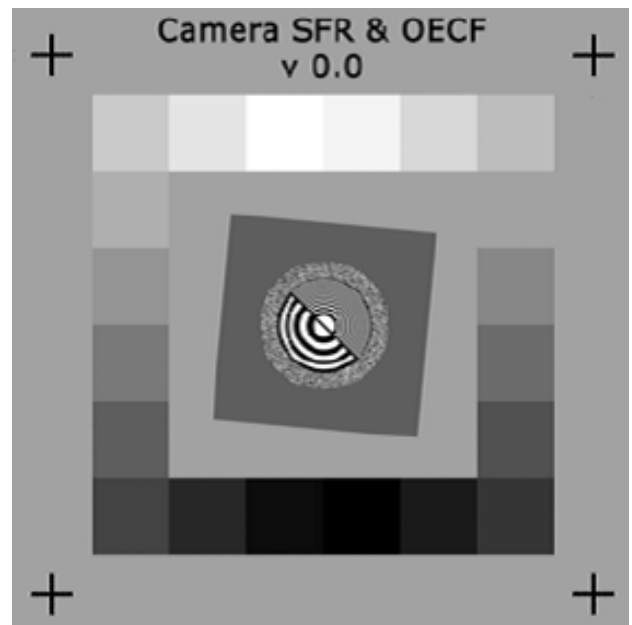


Рис. 1. Зразок об'єкту для вимірювання по методу похилої півплощини

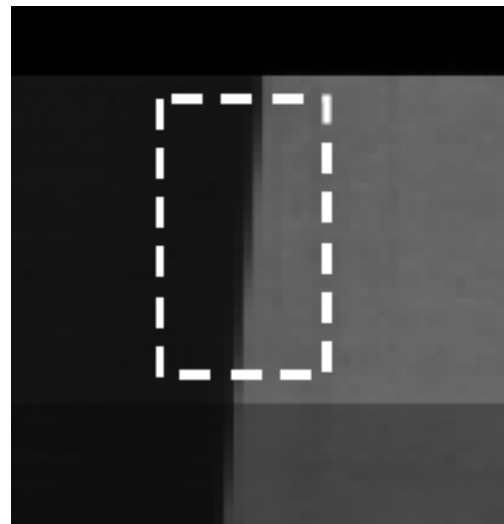


Рис. 2. Вибрана область для розрахунків

для здійснення вимірювань [2].

Метод похилої півплощини полягає в формуванні зображення границі перепаду інтенсивності, напрямком якої складає невеликий кут з напрямком стовпців матричного приймача випромінювання. Таким чином вертикально орієнтований край (вздовж стовпців приймача) дозволяє отримати горизонтальну ФРЛ на приймачі. В такому випадку відгук кожного рядка надасть різні ФРК через різні значення фази. На рис. 1 представлено зразок об'єкту, що використовується при вимірюванні МПФ по методу похилої півплощини [2]

Із отриманого з приймача зображення похилого краю спеціальне програмне забезпечення виділяє прямокутну область, в межах якої розраховується ФРК [2]. Вибрана прямокутна область приведена на рис. 2.

Оскільки край простягається на декілька рядків приймача, нахил можна визначити із зображення. Дані кожного рядка пікселів проєктуються вздовж напрямку краю, як схематично показано на рис. 3.

Шляхом розрахунку похідної з отриманої ФРК знаходиться ФРЛ. На рисунках 4 та 5 представлено приклади ФРК та ФРЛ відповідно.

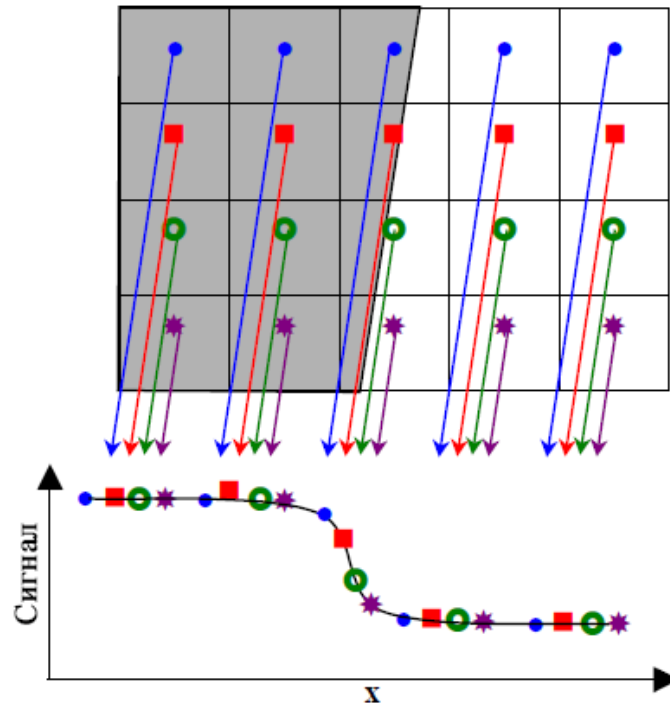


Рис. 3. Проектування даних вздовж краю

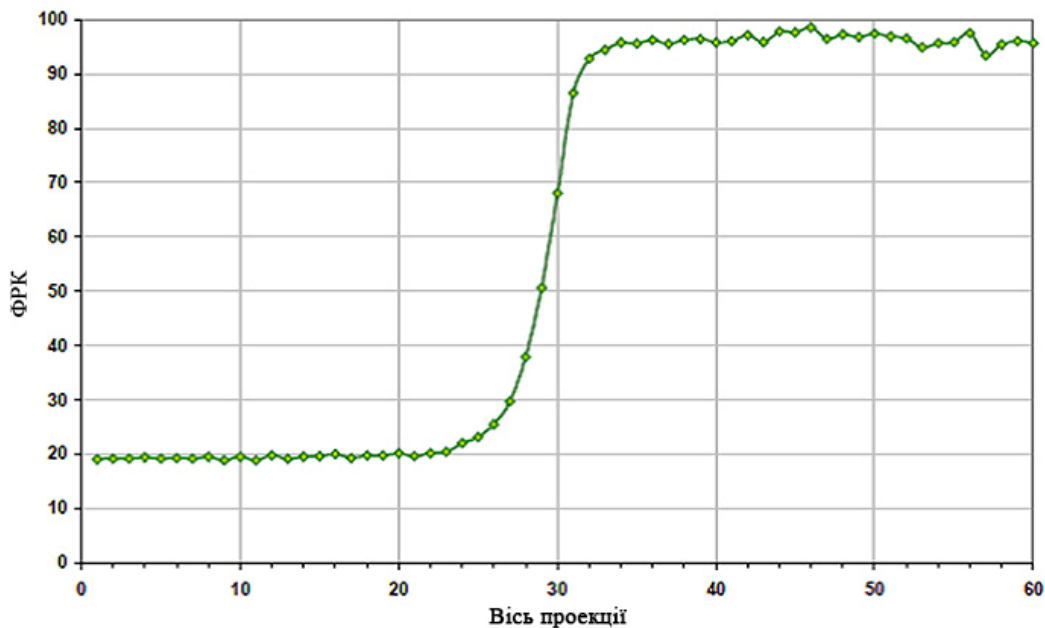


Рис. 4. Приклад ФРК, отриманої проектуванням даних вздовж краю

### Порівняння методів вимірювання МПФ цифрової камери

Головною перевагою методу похилої півплощини у порівнянні з іншими методами є те, що вистачає одного зображення для його реалізації. Як результат зміщення стають не потрібними, а результат отримується швидше. Використання синусоїдальної міри потребує формування щонайменше одного зображення на кожну просторову частоту. А при використанні метода Фуко кількість зображень залежить від бажаної дискретизації. Крім того, після кожного зміщення втрачається час на необхідне фокусування. Ключовим моментом при використанні методу похилої півплощини є відсутність вимоги великої кількості пікселів. Їх кількість лише повинна бути достатньою для коректного розрахунку ФРК. Так, чим менше кут нахилу краю, тим більше має бути область для обробки (рис. 2). При використанні синусоїдальної міри зображення щонайменше одного періоду синусоїди має вміщуватися в розмір пікселя для розрахунку контрасту. Для низьких просторових частот вимоги до кількості пікселів підвищуються. Крім того, стендове обладнання для вимірювання МПФ камер методом похилої площини майже не відрізняється від обладнання для вимірювання МПФ прямим методом.

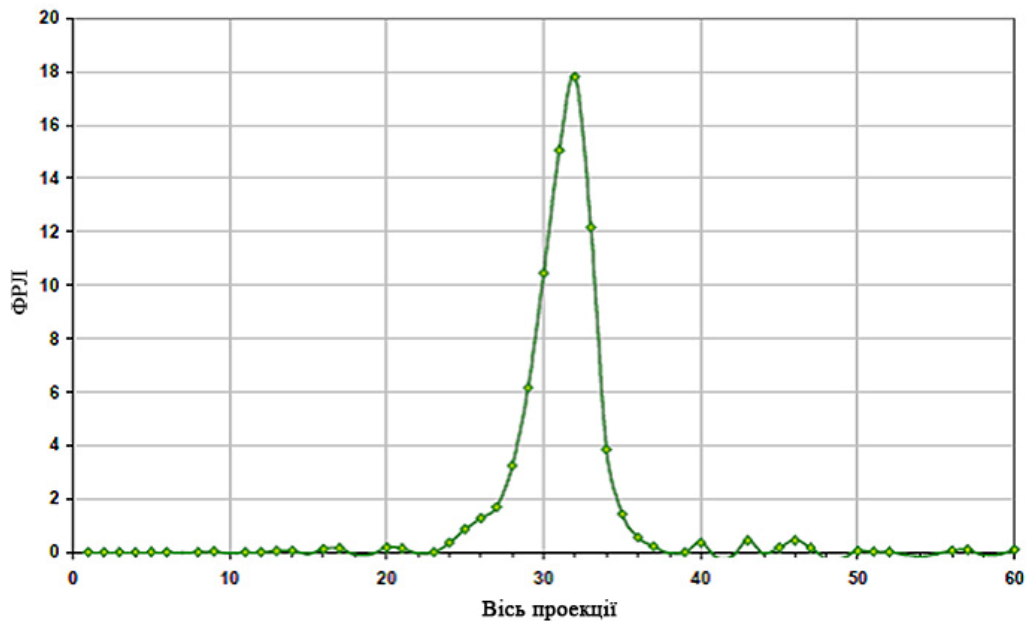


Рис. 5. Приклад ФРЛ, отриманої з ФРК

### Висновки

МПФ є найбільш універсальною та зручною мірою якості зображення, що формується камерою. Традиційний прямий метод вимірювання МПФ з використанням синусоїдальних мір має багато недоліків. Серед них необхідність великої кількості зображень для розрахунку МПФ, що суттєво збільшує час вимірювання МПФ. Аналіз переваг та недоліків методу похилої півплощини дозволив удосконалити метод вимірювання МПФ. В результаті порівняння визначено, що метод похилої півплощини дозволяє швидко отримати МПФ камери з матричним приймачем випромінювання, використовуючи одне зображення. Перевагою методу над іншими також є можливість отримання бажаної дискретизації результату без збільшення кількості пікселів.

### Література

1. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 4. Оценка качества оптического изображения и измерение его характеристик / В.К. Кирилловский . – СПб ГУ ИТМО. – 2005. – 67 с.
2. Etribea M., Magnan P. Fast MTF measurement of CMOS imagers using ISO 12233 slanted-edge methodology, Proc. of SPIE Vol. 5251. - 2001.
3. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 6. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем / В.К. Кирилловский . – СПб ГУ ИТМО. – 2008. – 131 с.
4. Колобродов В.Г. Проективання тепловізійних і телевізійних систем спостереження. / В.Г. Колобродов, М.І. Лихоліт. – НТУУ «КПІ». 2007. – 364 с.
5. Колобродов В.Г. Проективання оптичної системи медичного тепловізора на мікроболометричній матриці / В.Г. Колобродов, А.І. Косолапова, А.М. Лазім // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №1. – С. 39–43.
6. Hui J., Huilin J. Modulation transfer function measurement technique for image sensor arrays, Proc. of SPIE Vol. 7544, SPIE. - 2010.

### References

1. V.K. Kyryllovskiy Opticheskiye yzmereniya. Volume 4. Otsenka kachestva opticheskoho yzobrazheniya y yzmereniye ego kharakterystyk. SPb HU YTMO. 2005. – 67p.
2. M. Etribea, P. Magnan Fast MTF measurement of CMOS imagers using ISO 12233 slanted-edge methodology, Proc. of SPIE Vol. 5251. - 2001.
3. V.K. Kyryllovskiy Opticheskiye yzmereniya. Volume 6. Ynnovatsyonnye napravleniya v opticheskyykh yzmereniyakh y yssledovaniyakh opticheskyykh system. SPb GU YTMO. 2008. – 131p.
4. Kolobrodov V.H., Lykholit M.I. Proektuvannia teploviziinykh i televiziinykh system sposterezhenia. NTUU «KPI». 2007. – 364 p.
5. Kolobrodov V.H., Kosolapova A.I., Lazim A.M. Proektuvannia optichnoi systemy medychnoho teplovizora na mikrobolometrychnii matrytsi, *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*. – 2012. – Issue 1. – pp. 39–43.
6. J. Hui, J. Huilin Modulation transfer function measurement technique for image sensor arrays, Proc. of SPIE Vol. 7544, SPIE. - 2010.

Рецензія/Peer review : 11.1.2015 р.

Надрукована/Printed :24.1.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Міхеєнко Л.А.