

УДК 623.618.2

ПАВЛІЙ В.О., викладач,

ХУДОВ Г.В., д.т.н., професор (Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба)

Функція розмиття точки дефокусованих оптико-електронних зображень

У статті проаналізовано основні складові функції розмиття точки дефокусованих оптико-електронних зображень та вплив цих складових на якість зображень. Отримані аналітичні залежності для функції розмиття точки, що обумовлені оптичною системою, детекторними датчиками, електронною схемою та зсувом зображення. Встановлено, що результуюча функція розмиття точки є згортою указаних компонент.

Ключові слова: обробка зображень, дефокусоване зображення, оптична система, детектор, зсув зображення, функція розмиття точки.

Вступ

Відомо [1-4], що оптико-електронні зображення знаходяться під впливом різномірних спотворюючих факторів, таких як неправильна експозиція, дисторсія, поворот, зсув, зміна масштабу зображення та інших. Найбільш складними для виправлення є спотворення оптико-електронних зображень, що зумовлені розмиттям із-за неправильного фокусування, що пов'язано з роботою оптики, детекторів та електроніки оптико-електронних датчиків [1, 2].

Мета статті - проаналізувати функцію розмиття точки дефокусованих оптико-електронних зображень, обумовлених роботою оптичного тракту, детекторів та електроніки датчиків.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Відомо [1, 2, 5], що модель процесу спотворення оптико-електронного зображення може бути представлена у наступному вигляді:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

де $f(x, y)$ – вихідне неспотворене зображення;

$h(x, y)$ – функція спотворення;

$n(x, y)$ – адитивний шум;

$g(x, y)$ – спотворене зображення;

$$a = \frac{M-1}{2}, \quad b = \frac{N-1}{2};$$

($M \times N$) - розмір зображення;

* - оператор звертання.

Закон розмиття пікселів оптико-електронного зображення є функцією розмиття точки (ФРТ) (інші синоніми – функція спотворення, PSF (Point spread function)) [1, 2, 5]. Розмірність цієї функції, як правило, менше розмірності самого зображення. Типові функції спотворення наведені на рис. 1, 2. На рис. 1 наведена гаусова ФРТ, на рис. 2 – лінійна ФРТ.

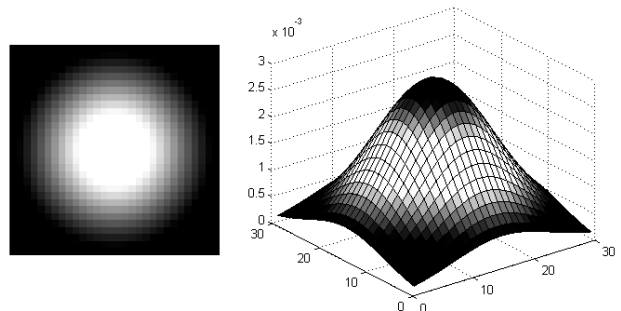


Рис. 1. Гаусова функція спотворення

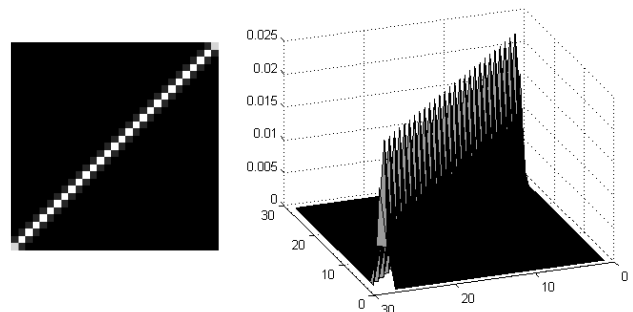


Рис. 2. Лінійна функція спотворення

Однак на практиці ФРТ $h(x, y)$ складається з декількох компонент, які не можуть бути описані функціями спотворення, наведеними на рис. 1, 2. Проаналізуємо основні складові компоненти функції спотворення $h(x, y)$.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

ФРТ, як правило, складається з декількох компонент, першою з яких є оптична складова ФРТ, яка описує розмиття, що викликане оптичними пристроями [6]. Оптична ФРТ визначається як просторовий енергетичний розподіл на зображенні точкового джерела. ФРТ обумовлена не ідеальністю оптичної системи та розсіюванням і розподілом енергії джерела у фокальній площині у межах деякої невеликої області. Ступінь розсіювання залежить від таких факторів, як дифракція, аберація та якість механічної збірки датчика.

Оптична система, у якої немає ніяких спотворень, окрім дифракції, є системою з «дифракційним розходженням» [6]. ФРТ такої системи утворює типову дифракційну картинку, що складається з центрального диску Ейрі, що оточений концентричними кільцями з меншою яскравістю [6]. Математично ФРТ, яка описує розмиття, що викликане оптичними пристроями $h_{oc}(x, y)$ описується виразом (2)

$$h_{oc}(x, y) = \left[2 \frac{J_1(x, y)}{r'} \right]^2, \tag{2}$$

де $J_1(x, y)$ - функція Бесселя першого роду;

r' - нормований радіус, що визначається за виразом (3)

$$r' = \frac{\pi D}{\lambda f} r = \frac{\pi r}{\lambda N}, \tag{3}$$

де D - діаметр отвору;

f - фокусна відстань;

N - оптичне діафрагмене число, яке визначається як відношення фокусної відстані f до діаметру отвору D ;

λ - довжина хвилі випромінювання;

r - ненормований радіус диску Ейрі, що визначається виразом (4)

$$r = 1,22 \left[\frac{\lambda f}{D} \right] = 1,22 \lambda N. \tag{4}$$

Загальною базовою моделлю для виміру ФРТ, яка описує розмиття, що викликані оптичною системою, є двомірна функція Гауса [6]

$$h_{oc}(x, y) = \frac{1}{2\pi ab} e^{-\frac{x^2}{2a^2}} e^{-\frac{y^2}{2b^2}}, \tag{5}$$

де параметри a і b визначають ширину ФРТ оптичної системи (для правильно спроектованої оптичної системи $a = b$).

Наступною складовою ФРТ $h(x, y)$ є функція, яка описує просторове розмиття зображення, яке пов'язано з ненульовими розмірами детекторних елементів датчика. ФРТ детектора може бути представлена у наступному вигляді:

$$h_{дет}(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{w}\right) \text{rect}\left(\frac{y}{w}\right). \tag{6}$$

Функція $\text{rect}\left(\frac{x}{w}\right)$ є відомою функцією прямокутника шириною w , яка визначається співвідношенням (7)

$$\text{rect}\left(\frac{x}{w}\right) = \begin{cases} 0, & \text{при } \left| \frac{x}{w} \right| > 0,5; \\ 0,5, & \text{при } \left| \frac{x}{w} \right| = 0,5; \\ 1, & \text{при } \left| \frac{x}{w} \right| < 0,5. \end{cases} \tag{7}$$

Наступною складовою ФРТ $h(x, y)$ є ФРТ, яка пов'язана з зсувом зображення (змазом). Розмиття зображення виникає в тому випадку, якщо з часом, поки йде інтегрування сигналу для даного пікселя, зображення зміщується від одного детекторного елемента до іншого. Такий зсув моделюється за допомогою одномірної функції розсіювання по двом координатам:

$$h_{зсув_x}(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{s_x}\right), \tag{8}$$

$$h_{зсув_y}(x, y) = \text{rect}\left(\frac{y}{s_y}\right), \tag{9}$$

де s_x, s_y - просторовий змаз зображення по відповідним координатам:

$$s_x = v_x t_{\text{інт.}}, s_y = v_y t_{\text{інт.}},$$

де v_x , v_y - швидкість зсуву зображення по відповідним координатам.

Іноді для зниження рівня шумів сигнал, що надходить від детектора, фільтрується за допомогою електронної схеми [6]. Електронні компоненти працюють на протязі інтервалу часу, коли відбувається сканування та зчитування даних з детекторів. При цьому виникають просторова дифузія фотоелектронів та переніс заряду у детекторній лінійці. Ці процеси можуть бути описані ФРТ електронної схеми $h_{ел}(x, y)$.

Висновки та напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі розглянуто основні складові ФРТ, що обумовлені особливостями побудови оптичних пристроїв, детекторними елементами датчиків, зсувом зображення та особливостями електронної схеми. Результуюча ФРТ є звіткою всіх указаних компонент

$$h(x, y) = h_{ос}(x, y) * h_{дет}(x, y) * h_{зсув}(x, y) * h_{ел}(x, y), \quad (10)$$

$$\text{де } h_{зсув}(x, y) = h_{зсув_x}(x, y) h_{зсув_y}(x, y).$$

Напрямок подальших досліджень є оцінка та порівняння ФРТ різних датчиків та оцінка ФРТ на реальних зображеннях.

Література

1. Новейшие методы обработки изображений / [А.А. Потапов, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, А.А. Пахомов, В.А. Герман] под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 456 с.
2. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н.Н. Красильников. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.
3. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Павлий В.А. Анализ известных методов восстановления оптико-электронных изображений, искаженных смазом / В.А. Павлий, Г.В. Худов // Системи обробки інформації, 2013. – Х.:ХУПС. – Вип. 6 (113). – С. 118-121.
6. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

Павлий В.А., Худов Г.В. Функция размытия точки дефокусированных оптико-электронных изображений. В статье проанализированы основные составляющие функции размытия точки дефокусированных оптико-электронных изображений и влияние этих составляющих на качество изображений. Получены аналитические зависимости для функции размытия точки, которые обусловлены оптической системой, детекторными датчиками, электронной схемой и смещением изображения. Установлено, что результирующая функция размытия точки является сверткой указанных составляющих.

Ключевые слова: обработка изображений, дефокусированное изображение, оптическая система, сдвиг изображения, функция размытия точки

Pavliy V.A., Hudov G.V. Point blurring function of defocused optoelectronic images. Basic constituents of point blurring function of defocused optoelectronic images and the influence of these constituents on the quality of images have been analysed in the article. Analytical dependences for point blurring function specified by optical system, detector sensors, electronic scheme and image shift have been received. It has been established that the resultant point blurring function is the convolution of the specified constituents.

Key words: processing of images, defocused image, optical system, image shift, point blurring function.

Рецензент д.т.н., професор Васюта К.С. (Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба)

Поступила 20.02.2014 г.