

Х. Бурштинська, О. Береза, Б. Поліщук
Національний університет “Львівська політехніка”

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАВАННЯ МОДУЛЯЦІЇ АЕРОЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ

© Бурштинська Х., Береза О., Поліщук Б., 2007

Представлена методика определения интегрального значения размытости изображений, полученных цифровыми аэрокамерами UltraCam D, 3-DAS-1 и ADS-40. Установлена неоднородность изображений одинаково экспонированных участков.

This article presents a method to determine an integral blur value for images that were obtained by the UltraCam D, 3-DAS-1 and ADS-40 aerial digital cameras. Nonuniformity of images with the same exposure for various enlargements was studied.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. В теорії лінійних систем, яку широко використовують, в теорії зв'язку, кібернетиці та теорії інформації, кожен елемент системи незалежно від її фізичної природи представляють у вигляді лінійної ланки, яка має вхід і вихід [4, 5, 6]. Властивості системи повністю описуються її передавальними характеристиками. Звичайно розглядають три передавальні функції: імпульсну або вагову характеристику як реакцію системи на δ -функцію; перехідну характеристику – реакцію системи на одиничний стрибок і частотну передавальну функцію – реакцію системи на набір синусоїдальних сигналів безмежної довжини з різною частотою та однаковою амплітудою. Ці три функції несуть однакою інформацію про передавальні властивості системи і однозначно перераховуються одна в одну.

Стосовно знімальних систем, сигнали яких є двомірними функціями просторових координат, аналогами передавальних функцій є:

- функція розсіювання точки $g(x,y)$, як реакція системи на безконечно малу світляну точку, або для одномірного випадку – функція розсіювання лінії $g(x)$;
- межева крива $E(x)$ – реакція системи на різкий край;
- просторово-частотна передавальна функція $\Pi(N)$, де N – просторова частота [2].

Аналіз досліджень і публікацій, постановка завдання. На якість зображення, отриманого знімальною системою, впливають такі основні чинники: атмосфера, рух літального апарата, оптична система, яка будує зображення, та приймач інформації [2, 6].

$$T_{\Sigma}(N) = T(N)_a T(N)_w T(N)_o T(N)_n \dots, \quad (1)$$

де $T_{\Sigma}(N)$ – результувна функція передавання модуляції;

$T(N)_a$ – функція передавання модуляції за вплив атмосфери;

$T(N)_w$ – функція передавання модуляції за зсув зображення;

$T(N)_o$ – функція передавання модуляції оптичної системи;

$T(N)_n$ – функція передавання модуляції приймача електромагнітних сигналів.

Для врахування цих всіх чинників знаходять просторово-частотні передавальні функції (функції передавання модуляції) кожної із ланок, синтезуючи їх на кінцевому етапі дослідження знімальної системи [2, 6]. Однак, можна скористатись наближеним методом знаходження функції передавання модуляції для конкретних знімальних систем, що подано в [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Як було вказано, результувна функція передавання модуляції (ФПМ) залежить від ФПМ багатьох ланок, насамперед, оптичної системи, фотоматеріалу, впливу зсувів зображення, атмосфери та інших чинників. Кожна із окремих

функцій передавання модуляції є складною. З певним наближенням можемо вважати, що результат добутку окремих спадних кривих наближається до закону Гаусса. Тому можливо апроксимувати результівну ФПМ аерознімальної системи, використовуючи нормальний закон Гаусса.

$$T_{\Sigma}(N) = \exp[-2\pi^2 \sigma^2 N^2], \quad (2)$$

де N – частота, σ – стала закону Гаусса [мм].

Таким чином, задача визначення результівної ФПМ зводиться до визначення постійної величини σ .

Запишемо вираз для функції розсіювання лінії, вважаючи, що розподіл освітленостей виражається нормальним законом:

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення вимірювання щільності.

Межова крива, яка передає зміни контрасту в зображенні напівплощини записується через функцію розсіювання лінії:

$$E(x) = \int_{-\infty}^x g(x) dx. \quad (4)$$

Нижня границя $-\infty$ означає відстань від краю, де розсіяне світло не впливає на процес формування зображення. Враховуючи (3), межова крива, яка представляє розподіл освітленості на межі напівплощини, буде мати вигляд:

$$E(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx. \quad (5)$$

Для нормованої функції розсіювання лінії

$$g(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

Графік функції подано на рис. 1. При $x = \sigma$, $g_{\text{нор}}(x) = e^{-0.5} = 0,606$.

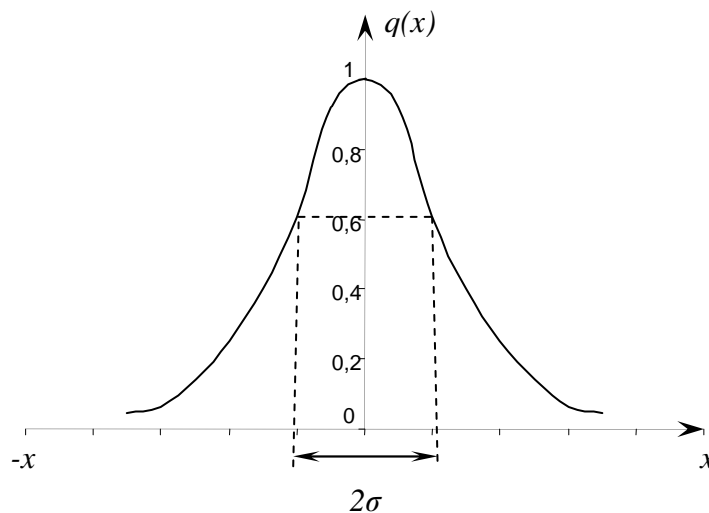


Рис. 1. Функція розсіювання лінії

При $\sigma = 1$ функція (5) переходить у функцію розподілу для нормально розподіленої випадкової величини $\Phi^*(x)$:

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \tag{7}$$

Задаючи $x_1 = \sigma = 1$ і $x_2 = -\sigma = -1$ отримаємо дві точки межевої кривої $E(x_1) = 0,16$ і $E(x_2) = 0,84$ (рис. 3).

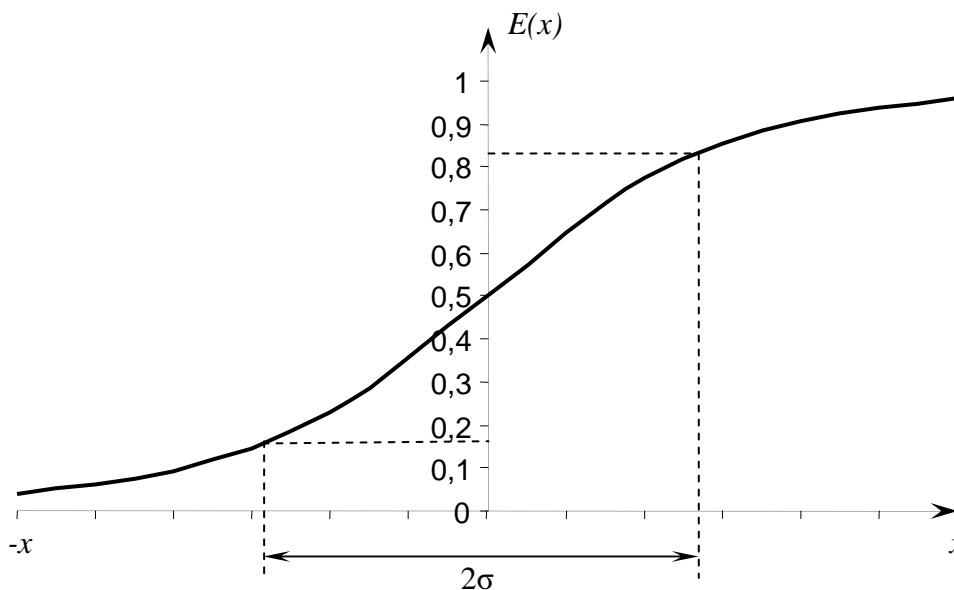


Рис. 2. Межова крива, побудована за функцією розподілу

Функція розсіювання лінії та межова крива дозволяють визначити сталу Гаусса для конкретних аерофотозображень. З цією метою використовують зображення різкого краю. Ним може слугувати, наприклад, зображення тіні від краю дахів будинків, різкий край дороги. Це зображення вимірюють у напрямку, перпендикулярному до лінії різкого краю.

За отриманими даними будують нормовану межову криву. Значення подвійної сталої Гаусса σ знаходять на осі x між значеннями, які відповідають відлікам 0,16 і 0,84. Підставляючи значення σ в рівняння (2), можна визначити ФПМ аерофотосистеми в польоті.

В [3] подано результати досліджень аерофотозображень, отриманих аерокамерами RMK та АФА ТЭС.

Запропоноване дослідження стосується цифрових аерокамер: UltraCam D (Vecel Imaging GmbH, Австрія), 3-DAS-1 (Геосистема) та ADS-40 (Leica, Швейцарія).

Вимірювання зображень здійснено попіксельно на 100 профілях для кожної цифрової аерокамери. Краєм напівплощини слугували краї дахів будівель.

Залежність між нормованою щільністю і кількістю пікселів, які характеризують лінію розмитості, отримано за усередненими результатами і подано на рисунках 3-5.

Як видно із рисунків, величина 2σ для аерокамери UltraCam D складає 4 пікселя, для аерокамери 3-DAS-1 – 2 пікселя і для аерокамери ADS-40 – дещо більше 1 пікселя (табл. 1).

Таблиця 1. Розмитість зображень різних знімальних систем

Камери	2σ , піксели	Кількість пікселів n	Розмір пікселя, мм	σ , мм
UltraCam D	4	3750/5750	0,028	0,046
3-DAS-1	2	16032/8002	0,009	0,009
ADS-40	1	56457/12607	0,0028	0,0014

Візуально зауважено нерівномірність щільностей для зображень з однаковою експозицією, спричинену втратами світла в об'єктиві, дискретною побудовою зображення приймачем [1]. Нерівномірність виявляється за збільшень $n = 8^*$.

Проведено вимірювання на 100 пікселях. Результати вимірювань складають: камера UltraCam D – на світлих ділянках $\sigma^2 = 1,4$, на темних ділянках $\sigma^2 = 3,9$; камера 3-DAS-1 – на світлих ділянках $\sigma^2 = 1,0$, на темних ділянках $\sigma^2 = 0,5$; камера ADS-40 – на світлих ділянках $\sigma^2 = 0,2$, на темних ділянках $\sigma^2 = 0,3$ (Табл. 2). Це свідчить про високі вимірні можливості аерозображень, отриманих аерокамерами 3-DAS-1 і ADS-40.

Таблиця 2.

Результати вимірювань неоднорідності зображення однаково експонованих ділянок

Камери	σ_D^2	
	Темні ділянки	Світлі ділянки
UltraCam D	3,931	1,413
3-DAS-1	0,472	1,003
ADS-40	0,284	0,151

На рис. 6 і 7 подано гістограми неоднорідності вимірювання щільностей однаково експонованих світлих ділянок зображень, отриманих для аерокамер 3-DAS-1 і ADS-40 відповідно.

Висновки.

1. Запропоновану методику наближеного визначення функції передавання модуляції аерознімальних систем можна використовувати для порівняння якості зображень, отриманих різними знімальними системами.
2. Проведені експериментальні дослідження трьох цифрових аерокамер UltraCam D, 3-DAS-1 та ADS-40 свідчать про високі вимірні можливості цифрових аерокамер 3-DAS-1 і ADS-40, при цьому аерокамера ADS-40 має вищу інформативність зображень.

1. Бирюков В. С. *Цифровые съемки в фотограмметрии* // *Геодезия и картография*. – 2000. – № 10. – С. 33-36; 2. Буришинська Х. *Аерофотографія*. – АГАТ, Львів. – 1999. – 356 с.; 3. Буришинська Х., Береза О. *Наближене визначення функції передавання модуляції аерознімальних систем* // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів: Ліга-Прес, 2006. – С. 155-160; 4. Живичин А. Н., Соколов В. С. *Дешифрование фотограмметрических изображений*. – М.: Недра, 1980. – 254 с.; 5. Кононов В. И. *Связь информационных и вероятностных оценок систем формирования изображений (иконических систем)* // *Оптико-механическая промышленность (оптический журнал)*, 1991, № 11, С. 13-18; 6. Кононов В. И. *Розрахунок роздільної здатності аерофотосистеми із врахуванням впливу факторів польоту* // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, вип. 63, 2003. – С. 135-139.