

УДК 629.7.021:528.831.1:519.652

Підвищення просторової розрізненності аерознімання з квадрокоптеру на основі субпіксельної обробки зображень

С. А. Станкевич¹, М. С. Лубський¹, А. Р. Лисенко^{2*}¹ ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна² Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", факультет інформатики та обчислювальної техніки, Київ, Україна

Недостатність просторової розрізненності одержуваних аерознімків — поширена проблема. Запропоновано підхід до підвищення просторової розрізненності шляхом поєднання декількох зображень зміщених одне відносно одного, та відновлення нового зображення підвищеної розрізненності. Подано демонстраційний приклад підвищення просторової розрізненності тестових аерозображень цифрової камери 4К, встановленої на борту квадрокоптера DJI Phantom 4.

Ключові слова: аерознімання, субпіксельна обробка, підвищення просторової розрізненності

© С. А. Станкевич, М. С. Лубський, А. Р. Лисенко. 2017

Вступ

На сьогодні аерозйомка є надзвичайно поширеною: її використовують у будівництві, військовій галузі, картографії, у рекламних цілях, екології, а також як хоббі. Для задоволення будь-якої з перелічених вище потреб використовують різні технічні засоби, в тому числі і квадрокоптери, які набули великої популярності завдяки їхнім можливостям та відносно дешевизні.

Однією з головних характеристик будь-якого зображення є його просторова розрізненність, підвищення якої вимагає потужної апаратури. У зв'язку з розмірами квадрокоптера постає проблема підвищення просторової розрізненності зображення, яка полягає, крім підвищення вартості квадрокоптеру при встановленні додаткових фотоелементів, так і в фізичних обмеженнях носія оптичної системи [6].

Вирішенням даної проблеми може бути субпіксельна обробка послідовності зображень, одержуваних з квадрокоптера [1].

Попередні дослідження

Головна ідея полягає в отриманні кількох послідовних зображень, геометрично зміщених одне відносно одного на певну частку пікселя по рядках та стовпцях, після чого за допомогою їх спільної обробки відновлюється єдине результуюче зображення підвищеної розрізненності. Це досягається завдяки переходу від індивідуальної піксельної сітки кожного окремого зображення, до спільної субпіксельної сітки, яка їх поєднує [5].

Відновлення зображень

Нехай модель зображення має наступний вигляд:

$$g(x, y) = b(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y),$$

де $b(x, y)$ — це функція розподілу точок, $f(x, y)$ — вхідне зображення, $g(x, y)$ — вихідне зображення та $n(x, y)$ — шум.

Перетворенням Фур'є даної моделі є:

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v).$$

Задача відновлення розрізнювальної здатності полягає в аналітичному подовженні сигналу до $F(u, v)$ за допомогою попередньої інформації про об'єкт і певної технології пост-обробки та отриманні нової функції розподілу точок $H(u, v)$.

Отже, треба здійснити розрахунок субпіксельних значень x_{ij} , $i = \overline{1, n_x + p - 1}$, $j = \overline{1, n_y + q - 1}$, де n_x — кількість пікселів осі x , n_y — кількість пікселів по осі y , p — субпіксельне зміщення по осі x , а q — субпіксельне зміщення по осі y відповідно.

Значення пікселів виражаються через таку систему рівнянь:

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^{i+p-1} \sum_{l=1}^{j+q-1} x_{kl}, \quad i = \overline{1, n_x}, \quad j = \overline{1, n_y}. \quad (1)$$

Маємо систему з $n_x \times n_y$ рівнянь та $(n_x + p - 1) \times (n_y + q - 1)$ невідомими. Розв'язком системи (1) є рекурентна формула:

$$x_{ij} = y_{(i-p+1)(j-q+1)} - \sum_{k=i-p+1}^{i-1} \sum_{l=j-q+1}^{j-1} x_{kl} - \sum_{k=i-p+1}^{i-1} x_{kj} - \sum_{l=j-q+1}^{j-1} x_{il},$$

$$i = \overline{p, n_x + p - 1}, \quad j = \overline{q, n_y + q - 1}.$$

* E-mail: mercennarius94@gmail.com

Систему (1) можна переписати у матричну форму:

$$T_1 \times X \times T_2 = Y, \quad (2)$$

де $X = \{x_{ij}\}$ — матриця невідомих розмірності, $(n_x + p - 1) \times (n_y + q - 1)$, $Y = \{y_{ij}\}$ — матриця вхідних зображень розмірності $n_x \times n_y$, T_1 — p -діагональна матриця розмірності з одиницями на діагоналях, T_2 — q -діагональна матриця розмірності $n_y \times (n_y + q - 1)$ з одиницями на діагоналях.

Якщо $n_x + p - 1$ є кратним p , а $n_y + q - 1$ є кратним q , тоді розв'язком системи (2) з найменшою вибірковою дисперсією матриці X є:

$$X = \text{pinv}T_1 \times Y \times \text{pinv}T_2,$$

де $\text{pinv}(\cdot)$ є псевдооберненням матриці T [7].

Модель з шумом, в даному випадку, має наступний вигляд:

$$X = R \times Y + \varepsilon,$$

де X — зображення підвищеної розрізненності у векторній формі, Y — кортеж зображень низької розрізненності у векторних формах, R — матриця перемпльовання, ε — вектор похибок.

Найкраща лінійна оцінка зображення підвищеної розрізненності X за Y має вигляд:

$$X = \text{cov}X \times R^T \times (R \times \text{cov}X \times R^T + \text{cov}\varepsilon)^{-1} \times (Y - \bar{Y}) + \bar{X}, \quad (3)$$

де $\text{cov}X$ та $\text{cov}\varepsilon$ — апіорні коваріаційні матриці зображення підвищеної розрізненності та похибок, \bar{X} та $\bar{Y} = R \times \bar{X}$ — математичні очікування зображення підвищеної розрізненності та вхідних зображень [3]. Для того, щоб розв'язок (3) відповідав максимуму апостеріорної імовірності необхідно, щоб розподіли X та ε були гаусівськими.

Якщо зображення підвищеної розрізненності та похибки є стаціонарними у широкому розумінні, то матриці $\text{cov}X$ та $\text{cov}\varepsilon$ визначаються належними автоковаріаційними функціями, до того ж матриця є блоково-діагональною, так як похибки різних зображень низької розрізненності є некорельованими. Тоді розв'язок може бути отримано за допомогою гаусівської регуляризації [4].

Результати

Даний метод відновлення субпіксельно реєстрованих зображень досліджувався на реальних аерознімках (рис. 2), одержаних за допомогою камери 4К, встановленої на квадрокоптер *DJI Phantom 4* (рис. 1).

За допомогою функцій передачі модуляції (ФПМ) була отримана оцінка просторової розрізненності вхідних та відновленого зображень. Функції були експериментально визначені за допомогою



Рис. 1. Квадрокоптер *DJI Phantom 4* з камерою 4К

спеціального програмного забезпечення [2]. Результати оцінок ФПМ наведено на рис. 3.

Як видно з графіків, значення ФПМ на рівні 0.3 відповідають розрізненності 32 мм-1 для першого зображення (рис. 3 а), 31 мм-1 для другого зображення (рис. 3 б) та 54 мм-1 для відновленого зображення, що є близьким до теоретичної 60 мм-1. Отже, просторова розрізненність відновленого зображення краща приблизно на 70% за вхідні зображення.

Висновок

З допомогою даного методу було продемонстровано можливість підвищення просторової розрізненності зображень, але він, все ж таки, має недоліки.

По-перше, великі обчислювальні затрати, які залежать від розмірів вхідних зображень, ускладнюють роботу даного алгоритму в режимі реального часу. Тому варто розглянути більш економічні та ефективні методи відновлення.

По-друге, через стохастичні збурення неможливо досягнути строго лінійного субпіксельного зміщення зображень. Тому потрібно вживати певні заходи для просторової і кутової стабілізації зображень, одержаних квадрокоптерами. Разом з тим, даний підхід до підвищення просторової розрізненності є досить перспективним та вартим подальших досліджень та експериментів.

Література

1. Станкевич С.А. Підвищення просторової розрізненності аерознімання на основі субпіксельної реєстрації зображень / С. А. Станкевич, С. В. Шкляр, М. С. Лубський // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. — 2013. — Вип. 16. — С. 110–117.
2. 3-DAS-1 Digital Camera Geometry Calibration / Technical Report No.3. — Kiev: Scientific and Research Institute of Geodesy and Cartography, 2007. — 11 p.
3. Generalized Inverses: Theory and Applications / A. Ben



Рис. 2. Тестові аерозображення:

а, б – вхідні аерозображення низької розрізненості, в – відновлене аерозображення підвищеної розрізненості

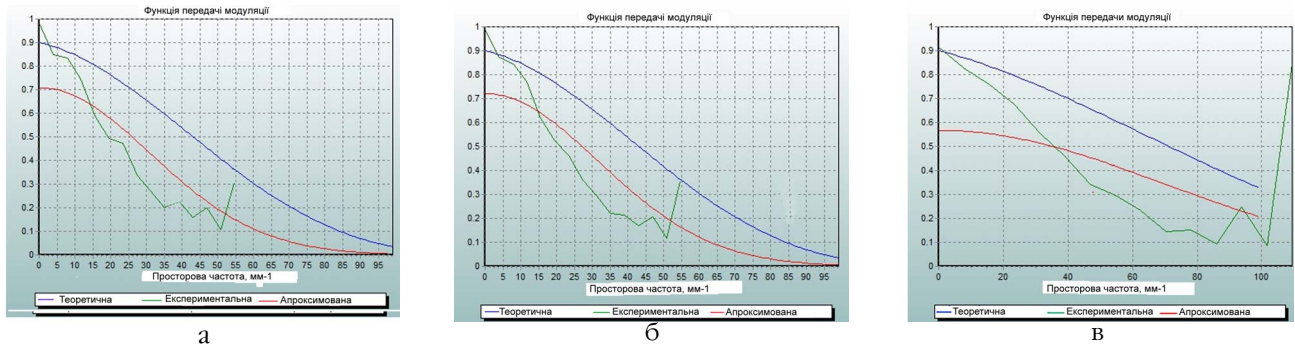


Рис. 3. Функції передачі модуляції тестових аерозображень: а, б – вхідних зональних зображень низької розрізненості, в – відновленого аерозображення підвищеної розрізненості

Israel, T.N.E. Greville // New York: Springer, Verlag, 2003. — 420 p.

4. Linear Statistical Inference and Its Application / C. R. Rao / New York: John Wiley, 2002. — 656 p.

5. Liu H. Y. Study on the methods of super-resolution image reconstruction / H. Y. Liu, Y. S. Zhang, S. Ji // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2008. — Vol. XXXVII. — Part B2. — P. 461–466.

6. Neumann K. J. Trends for digital aerial mapping cameras / K. J. Neumann // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2008. — Vol. XXXVII. — Part B 1. — P. 551–554.

7. Stankevich S. A. Subpixel resolution satellite imaging technique / S. A. Stankevich, S. V. Shklyar, V. M. Tyagur // Proceedings of the 9th International Conference on Digital Technologies (DT²⁰¹³). — Žilina: University of Žilina. — 2013. — P. 81–84.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ АЭРОСЪЕМКИ С КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВЕ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. А. Станкевич, М. С. Лубский, А. Р. Лысенко

Недостаточность пространственного разрешения получаемых аэроснимков – распространенная проблема. Предложен подход к повышению пространственного разрешения путем объединения нескольких изображений совмещенных одно относительно другого, и восстановление нового изображения повышенного разрешения. Дан демонстративный пример повышения пространственного разрешения тестовых аэроснимков цифровой камеры 4K, установленной на борту квадрокоптера *DJI Phantom 4*.

Ключевые слова: аэросъемка, субпиксельная обработка, повышения пространственного разрешения

AERIAL IMAGING SUPERRESOLUTION BASED ON SUBPIXEL PROCESSING OF IMAGES ACQUIRED BY QUADCOPTER

S. A. Stankevich, M. S. Lubskey, A. R. Lysenko

Insufficient spatial resolution is a common problem in aerial imaging. An approach for spatial resolution enhancement using several images of low spatial resolution with relative subpixel displacement for the super-resolution is proposed. Demo example of superresolution of test aerial image acquired by 4K camera onboard *DJI Phantom 4* quadcopter is described.

Key words: aerial imagery, subpixel processing, spatial resolution enhancement