

УДК 528.711.1:519.688:004.424

Програмний модуль оцінки субпіксельного зміщення знімків, отримуваних з квадрокоптеру

С. А. Станкевич^{1*}, С. В. Шкляр¹, А. Р. Лисенко²¹ ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна² Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

Описано математичну модель та програмний модуль для автоматичної оцінки субпіксельного зміщення аерознімків, що отримуються з квадрокоптеру. Вказані зміщення надалі потрібні для субпіксельного підвищення просторової розрізненості аерозображень.

Ключові слова: програмний модуль, субпіксельне зміщення зображень, квадрокоптер

© С. А. Станкевич, С. В. Шкляр, А. Р. Лисенко. 2018

Вступ

Враховуючи широке впровадження квадрокоптерів в практику аерознімання, підвищення просторової розрізненості одержуваних аерозображень — досить актуальна задача сьогодення [5]. Придбання більш потужної апаратури, яка задовольнить потреби певних тематичних задач, може бути недоцільним або неможливим як через її значну вартість, а в деяких випадках — через фізичні обмеження носія аерознімальної системи.

З стрімким набуттям популярності квадрокоптерів за їх можливості та відносно дешевизну, виникла необхідність у застосуванні традиційних методів вирішення даної проблеми, одним з яких є субпіксельна обробка послідовності зображень [3].

Постановка задачі

Субпіксельна обробка проводиться над геометрично зміщеними одне відносно одного на певну частку пікселя зображеннями. Результатом даної обробки є відновлене єдине результуюче зображення підвищеної розрізненості. Так як на процес реєстрації зображень з квадрокоптеру впливають стохастичні збурення, то необхідно розрахувати субпіксельний зсув між всіма зображеннями, що приймають участь у відновленні результуючого зображення. Перед початком оцінювання треба прив'язати вхідні зображення одне до одного, обрати одне з них як базове, а інші трансформувати для досягнення піксельної точності суміщення [2]. Оскільки сучасні квадрокоптери обладнуються виключно кадровими цифровими камерами, зображення в яких будується по законах центральної проекції, то домогтися такого суміщення можливо шляхом

афінного перетворення за системою опорних точок знімків [1].

Модель розрахунку субпіксельного зсуву

Нехай X — матриця першого зображення розмірності $m \times n$, Y — матриця другого зображення також розмірності $m \times n$, а x_{ij} та y_{ij} — значення пікселів в i -му рядку та j -му стовпці матриць X та Y відповідно.

Означимо необхідні матриці розмірностей $(m-2) \times (n-2)$: D — матриця зсуву по рядках, E — матриця зсуву по стовпцях та F — матриця різниць інтенсивностей оцінюваного пікселя. Їх елементи мають наступний вигляд:

$$d_{ij} = x_{lk} + y_{lk} - x_{(l-2)k} - y_{(l-2)k},$$

$$e_{ij} = x_{(l-1)(k+1)} + y_{(l-1)(k+1)} - x_{(l-1)(k-1)} - y_{(l-1)(k-1)},$$

$$f_{ij} = y_{(l-1)k} - x_{(l-1)k},$$

$$i=1:(m-2), j=1:(n-2), l=3:m, k=2:(n-1).$$

Тоді субпіксельний зсув можна розрахувати із $AC = B$, де матриця A розмірності 3×3 має вигляд

$$A = \begin{bmatrix} \langle D \circ D \rangle & \langle D \circ E \rangle & \langle D \rangle \\ \langle D \circ E \rangle & \langle E \circ E \rangle & \langle E \rangle \\ \langle D \rangle & \langle E \rangle & 1 \end{bmatrix},$$

де $X \circ Y$ — добуток Адамара, $\langle \cdot \rangle$ — оператор середнього арифметичного, а B — вектор розмірності 3×1 :

$$B = \begin{bmatrix} \langle F \circ D \rangle \\ \langle F \circ E \rangle \\ \langle F \rangle \end{bmatrix}.$$

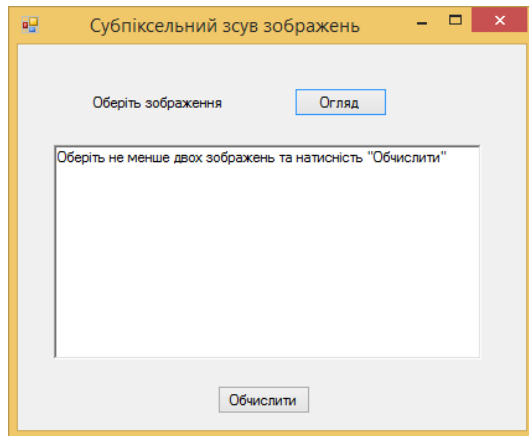
Вектор-стовпець $C = (u \ v \ z)^T$ містить результат, де u і v — величини субпіксельного зсуву по вертикалі та по горизонталі відповідно.

* E-mail: st@casre.kiev.ua. Тел./факс: +38 (044) 482 01 66

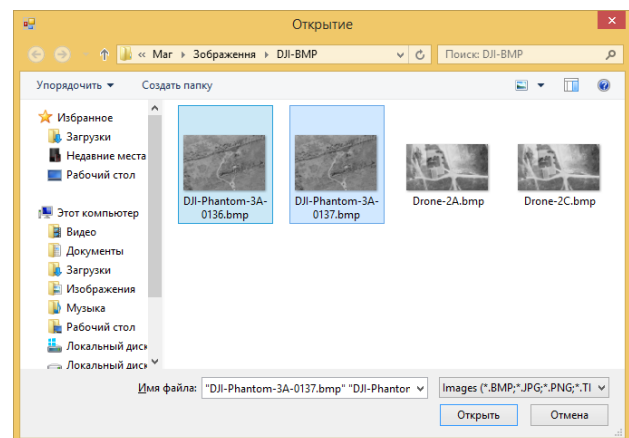
Програмний модуль

Викладену модель розрахунку субпіксельного зсуву реалізовано окремим програмним модулем оцінки субпіксельного зміщення аерознімків. Модуль виконано мовою програмування C++ у середовищі розробки Visual Studio 2017 із залученням відкритих бібліотек комп'ютерного зору, об-

робки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення OpenCV. Модуль складається з головного діалогового вікна з інтерфейсом обрання зображень для оцінки їх субпіксельного зсуву, та підсистеми обчислювальної обробки наданих вхідних зображень. Головне діалогове вікно та інтерфейс обрання зображень показано на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Графічний інтерфейс модулю оцінки субпіксельного зміщення знімків: а – головне діалогове вікно, б – інтерфейс обрання вхідних зображень

Подальша субпіксельна обробка зображень для підвищення розрізненості виконується над їх яскравостями [3], але більшість знімальних камер сучасних квадрокоптерів є кольоровими. Тому вхідні кольорові аерозображення перетворюються програмним модулем на чорно-білі в градаціях сірого. Відомо багато алгоритмів такого перетворення [6], в основному лінійних. Попередні дослідження стверджують, що для візуального сприйняття дрібнодетальних зображень більш придатні перетворення сімейства Luminance [4], отже в програмному модулі було застосовано розповсюджену формулу

$$X_{\text{gray}} = 0.2989 X_{\text{red}} + 0.587 X_{\text{green}} + 0.1141 X_{\text{blue}},$$

де X_{red} , X_{green} , X_{blue} — піксельні значення в червоному, зеленому та синьому компонентах вхідного кольорового зображення, X_{grey} — піксельне значення інтенсивності перетвореного зображення.

Результат

Працездатність розробленого програмного модуля досліджено на аерознімках, отриманих з квадрокоптерів DJI Phantom 4 Pro (рис. 2 а, б) і DJI Phantom 3A (рис. 2 в, г). Вхідні зображення, зняті з інтервалом 2 с, попіксельно суміщалися за наборами опорних точок.

Оцінка субпіксельного зміщення кожної пари

знімків була отримана за допомогою розробленого програмного модуля. Результати виконання модуля ілюструються рис. 3.

Одержані оцінки субпіксельних зміщень тестових зображень добре погоджуються з визначеними візуально з великим збільшенням, а також виміряними для окремих пікселів детальних ділянок сцени.

Висновок

За допомогою розробленого програмного модулю продемонстровано можливість автоматичного визначення субпіксельного зміщення зображень, отримуваних з квадрокоптеру. Такі оцінки необхідні для подальшої субпіксельної обробки пар чи серій аерознімків з метою підвищення просторової розрізненості результуючих зображень.

Певним недоліком модулю можна вважати необхідність вживання додаткових заходів задля досягнення попіксельної ко-реєстрації зображень, що є непростю задачею, яка погано піддається автоматизації. Отже в подальшому програмний код модулю доцільно вбудувати в програмне забезпечення, що використовується для автоматизованої чи автоматичної ко-реєстрації зображень.

Разом з тим, розроблений програмний модуль є корисним та вартим застосування для підвищення просторової розрізненості знімків, отримуваних з квадрокоптеру.

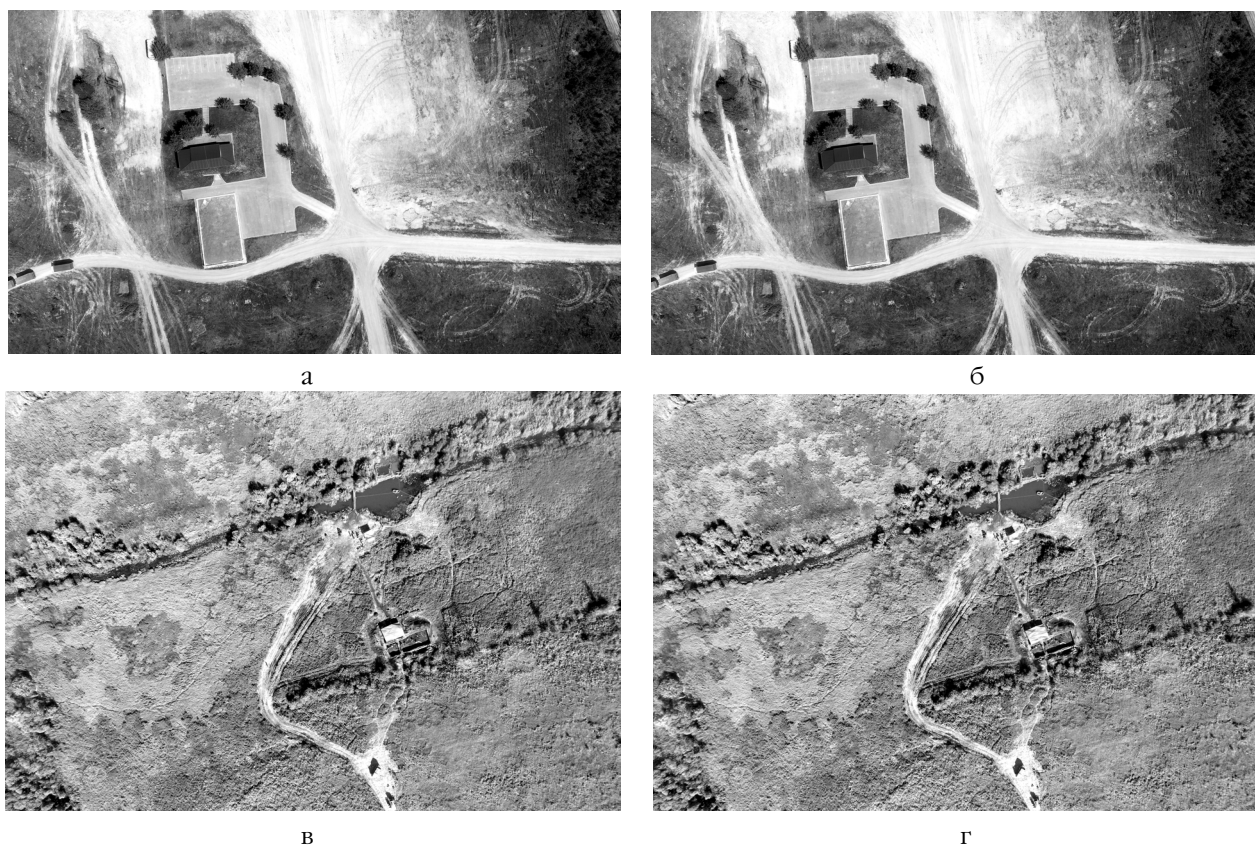
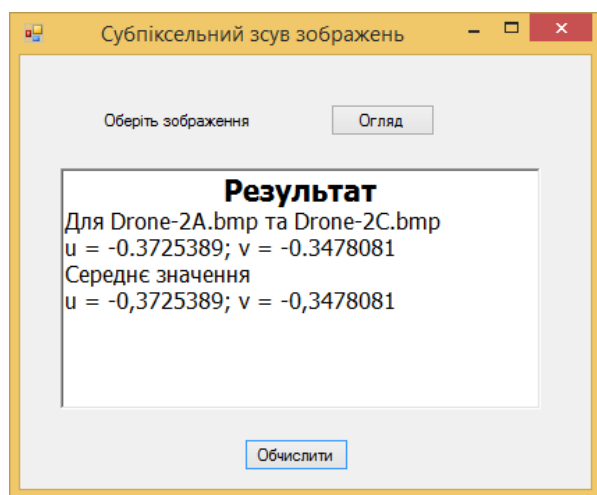
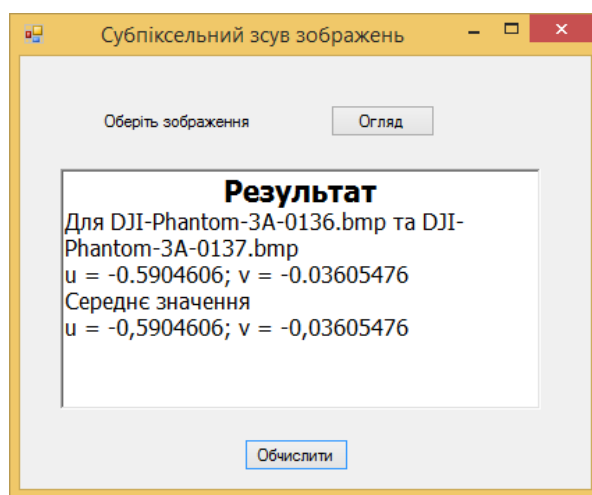


Рис. 2. Суміщені тестові аерозображення: а, б — пара вхідних аерозображень з квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro; в, г — пара вхідних аерозображень з квадрокоптера DJI Phantom 3A



а



б

Рис. 3. Результати оцінки субпіксельного зміщення: а – тестових аерозображень рис. 2 а, б; б – тестових аерозображень рис. 2 в, г

Література

1. Дорожинський О. Л. Фотограмметрія / О. Л. Дорожинський, З. Тукай. — Львів: Львівська політехніка, 2008. — 330 с.
2. Козлов А. А. Совмещение растровых изображений в системах технического зрения / А. А. Козлов, М. Ю. Литвинов, Н. В. Соловьев // Информационно-управляющие системы. — 2007. — № 6. — С.7–10.
3. Станкевич С. А. Підвищення просторової розрізненості аерознімання з квадрокоптеру на основі субпіксельної обробки зображень / С. А. Станкевич, М. С. Лубський, А. Р. Лисенко [Електронний ресурс] // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2017. — № 15. — С.40–42. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>. — Назва з екрана.
4. Kanan C. Color-to-Grayscale: Does the method matter in

- image recognition? / C. Kanan, G.W. Cottrell // PLoS ONE. — 2012. — Vol.7. — No.1. — e29740.
5. Kang W. Multisensor super resolution using directionally-adaptive regularization for UAV images / W. Kang, S. Yu, S. Ko, J. Paik // UAV Sensors for Environmental Monitoring / E.G. Toro, A. Tsourdos (Eds). — Basel: MDPI, 2018. — P. 272–294.
6. Ware C. Information Visualization: Perception for Design / C. Ware. — Amsterdam: Elsevier, 2012. — 536 p.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОЦЕНКИ СУБПИКСЕЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ СНИМКОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С КВАДРОКОПТЕРА

С. А. Станкевич, С. В. Шкляр, А. Р. Лысенко

Описаны математическая модель и программный модуль для автоматической оценки субпиксельного смещения аэроснимков, получаемых с квадрокоптера. Указанные смещения в дальнейшем необходимы для субпиксельного повышения пространственного разрешения аэроизображений.

Ключевые слова: программный модуль, субпиксельное смещение изображений, квадрокоптер

SOFTWARE MODULE FOR ESTIMATING SUBPIXEL SHIFT OF IMAGES ACQUIRED FROM QUADCOPTER

Sergey A. Stankevich, Sergey V. Shklyar, Arthur R. Lysenko

Both mathematical model and software module for automatic estimating subpixel shift of aerial image acquired from quadcopter are described. The said shift henceforth will be required for super-resolution of fused aerial image.

Keywords: software module, image subpixel shift, quadcopter