

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ
Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ
Том 109

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY
Book 2 – GEOGRAPHY
Volume 109

ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНА ЛЕТАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА ФОТОГРАМЕТРИЧНИ ЦЕЛИ

АНТОН ФИЛИПОВ

Катедра Картография и ГИС
e-mail: fil@gea.uni-sofia.bg

Антон Филипов. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Автор анализирует возможности современных средств для получения пространственной информации. На основе алгоритма, разработанного итальянскими исследователями, представлено применение беспилотных систем в качестве индивидуальной платформы, используемой для дистанционного наблюдения, в частности для целей фотограмметрии.

Ключевые слова: беспилотная летательная система, дистанционные исследования, фотограмметрия.

Anton Filipov. APPLYING UNMANNED AIR SYSTEMS FOR PHOTOGAMETRIC GOALS

The author analyzes the possibilities of modern tools for spatial information. Based on the algorithm developed by Italian researchers, the use of unmanned systems as individual platform used for remote sensing, particularly for purposes of photogrammetry is discussed.

Keywords: unmanned aerial system, remote sensing, photogrammetry.

През последните години беспилотните летателни системи (БЛС) демонстрират значителни възможности с потенциал за приложения в много области. Едно от последните им приложения е в областта на фотограмметрията като нискобюджетна алтернатива

на класическото въздушно ортофото-заснемане. В редица случаи, когато е необходимо бързо организиране и изпълнение на заснемането, например в случаите на природни или техногенни бедствия, БЛС се оказват единствен вариант за реализиране на т. нар. бързо картографиране. Разбира се, важно е веднага да се спомене значителната неопределеност на регулационната рамка, позволяваща изпълнението на научни, търговски и приложни мисии с БЛС, но поради сериозността и отговорността, този проблем ще бъде разгледан в самостоятелно изследване. Като летателни системи, носещи сензорите за заснемане, се експериментират апарати с разнообразни решения на поддържане на полета както „фиксирано“, така и с „ротиращо“ крило. БЛС са способни да изпълняват функции по придобиване на фотограметрични данни чрез носените от тях компактни цифрови фотоапарати, цифрови фотоапарати със сменяема оптика или огледални-рефлексни цифрови фотоапарати както в ръчен режим на полет, така и в полуавтоматичен или напълно автоматичен режим на полет.

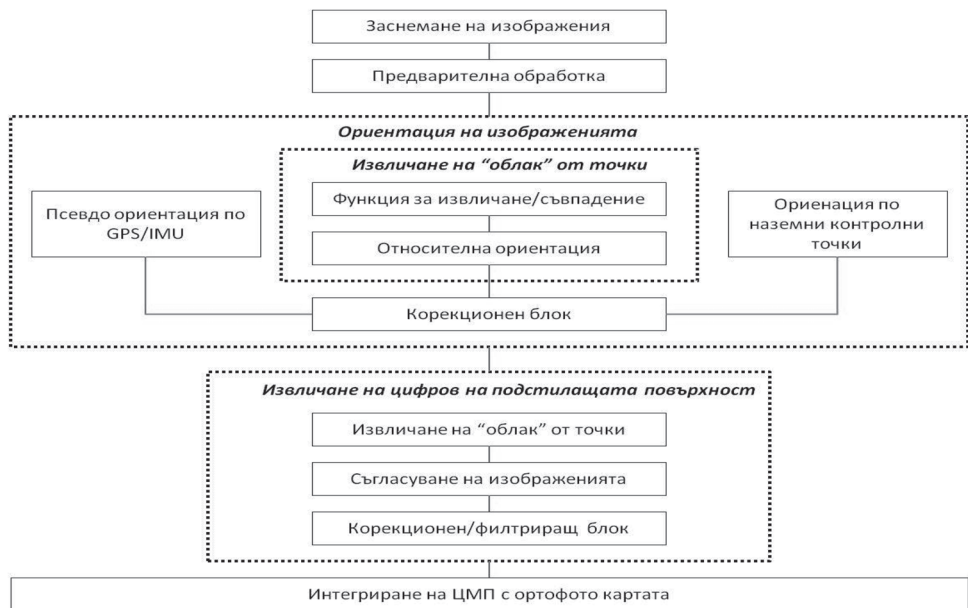
Една от основните разлики между дистанционно управляемите летателни апарати и безпилотните летателни системи е наличието на навигационна апаратура, позволяваща следването на определен летателен курс и оценка на позицията на летателния апарат в момента на включване на камерата. Това теоретично може да позволи директно геореферирание на заснетите от борда на летателния апарат изображения. За по-голяма прецизност се прилага корекционен пакет, включващ параметрите на ориентация, записани от интегрираните на борда GPS/INS сензори. За някои приложения, където не се изисква висока точност на позициониране, например за приложения, свързани с бързото картографиране, точността на позициониране, получено от GPS/INS сензорите, може да бъде достатъчна. В останалите случаи пространственото ориентирание на ортофото мозайките, генерирани от заснетите изображения, се реализира чрез предварително изграждане на мрежа от достатъчен брой наземни контролни точки.

МЕТОДИКА НА ЗАСНЕМАНЕТО

Използването на БЛС като инструмент за генериране на прецизен модел на повърхността се базира на алгоритъм, разработен от изследователска група от Политехническият университет в Торино (Lingua, Margenchino, Nex, 2009). и включва фотограметричен процес, който може да бъде разделен на няколко стъпки (фиг. 1).

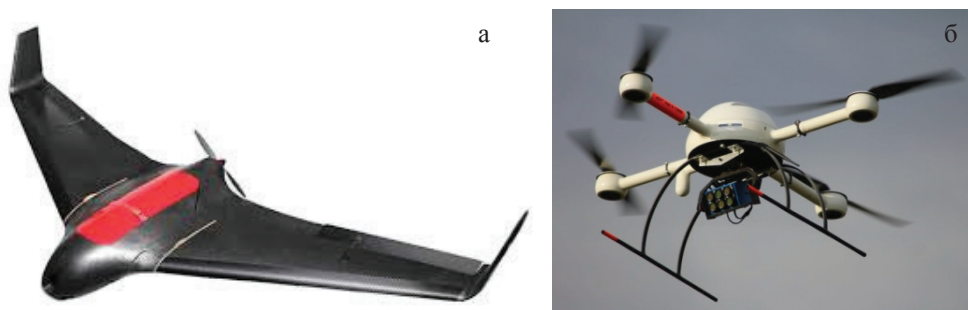
1. *Заснемане на частично (до 80%) припокриващи се изображения.* Придобиването на изображения се извършва от БЛС в автоматичен режим на полет. За заснемане на относително малки територии (до 1 km²) препоръчваме използването на летателни апарати с „ротиращо крило, а при заснемане на по-големи територии – използване на летателни апарати с „фиксирано крило“ (фиг. 2).

БЛС са оборудвани с автопилот за следване на плана на полета, включване на фотокамерата в определените позиции, както и двупосочна радиовръзка. Това позволява проследяването на полета и получаването на телеметрична информация за параметрите на полета в реално време. В същото време данните от полета се записват и впоследствие се използват за уточняване на позицията на летателния апарат и на камерата в момента на заснемане.



Фиг. 1. Схема на процеса на извличане на цифров модел на подстилящата повърхност от припокриващи се ортофото изображения от малка височина (по Lingua, Marenchino, Nex, 2009)

2. *Предварителна обработка на изображенията.* Техниките за предварителна обработка на изображенията (общо за дистанционните изследвания) са насочени към подобряване на визуализирането им (за по-добро съгласуване с индивидуалните изисквания на изследователя) и отстраняване на някои дефекти от заснемането. Във фотограметричната практика се използват алгоритми, позволяващи подобряване на



Фиг. 2. Мини-безпилотни летателни системи: *а* – тип „фиксирано крило“; *б* – тип „ротиращо крило“

качеството на изображенията, за да се намали ефектът на радиомертичния шум и да се увеличи контрастът на изображението. Една от предпочитаните техники е прилагането на филтър Wallis, реализиран като нискочестотен или високочестотен филтър. Целта на прилагането му е да се оптимизира визуалното представяне, без да се променят пикселните стойности.

3. *Ориентация на изображението.* Правилната ориентация на изображението в пространството позволява извличане на 3D-точки за ръбове на обекти, попаднали в заснетата територия и е в основата на прилагането на допълнителните автоматични алгоритми. Математическият модел за изчисляване на ориентация на изображения се осъществява по метода Bundle Block Adjustment (ББА). Прилагането му е възможно чрез интегриране на информация за изображения (автоматично извличане позицията на определена точка) относно наземните контролни точки (предварително заснети чрез високоточен GPS) и позицията, отчетената от навигационната система на летателния апарат за центъра на изображението.

4. *Генериране на цифров модел на подстилицата повърхност (ЦМПП).* Извличането на ЦМПП е възможно чрез получаване на информация за една и съща точка в пространството, заснета на 3 или повече изображения. В този случай се прилага подходът на отчитане на съвпадения на отделни пиксели в изображенията, известен като Multi-Image Geometrically Constraint Cross-Correlation (MIGC3). Този подход се основава на площно съвпадение и взаимна корелация (Zhang, 2005). Процедурата по прилагане на MIGC3 се основава на идеята за отчитане на съвпадение в пространството по няколко изображения, следователно могат да бъдат съчетавани едновременно произволен брой изображения. Заедно с адаптивно определения параметър на съответствието, тази техника има способността да ограничи проблемите, причинени от прекъсвания на повърхността и появата на повтарящи се структури, както и да позволи генерирането на гъста мрежа от точки в 3D-пространството с надеждно съвпадение.

Методът се прилага по следния начин: едно от изображенията, в което се отчитат минимални изкривявания (предполага се, че всички изображения са предварително деформирани), се избира като референтно за стереоскопична двойка, а останалите се използват като изображения за търсене на съвпадения (Forstner, 1986). С цел да се определят възможно най-голям брой пространствено обособени точки, описващи ръбове на изпъкнали обекти, се изчислява нормализирана взаимна корелация (Normalized Cross Correlation – NCC):

$$NCC_i(p_o, Z) = \frac{\sum_{x,y \in W} (I_o(x_o, y_o) - \bar{I}_o) \cdot (I_i(x_i(Z), y_i(Z)) - \bar{I}_i)}{\sqrt{\sum_{x,y \in W} (I_o(x_o, y_o) - \bar{I}_o)^2} \cdot \sqrt{\sum_{x,y \in W} (I_i(x_i(Z), y_i(Z)) - \bar{I}_i)^2}}, \quad (1)$$

където: W определя прозореца (брой пиксели) на корелация около точка p_o в двойката (групата) изображения; $I_o(x_o, y_o)$ е яркостната стойност на всеки пиксел от референтното изображение. $I_o(x_o(Z), y_o(Z))$ обозначава радиометричните стойности на съответните пиксели в изображението на търсене на определена височина Z .

Нормализираната взаимна корелация между всички отделни стерео-двойки са определени в уникална рамка, която може да се изрази математически от функцията SNCC (Stereo NCC):

$$SNCC(p_0, Z) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NCC(p_0, Z). \quad (2)$$

РЕЗУЛТАТИ

Възможността за генериране на триизмерен модел на повърхността от двуизмерни изображения в настоящата разработка е демонстриран чрез заснемане в района на къмпинг Смокиня през ноември, 2015 г. като елемент от по-широка природногеографска оценка на този район. Територията на заснемане обхваща около 22 дка, разположени на 340 m от морския бряг. За осъществяване на заснемането бе използвана безпилотна летателна система на Университетския център за въздушно наблюдение (УЦВН), разработена на основата на летателен апарат Skywalker X8. Летателният апарат на тази система има разпереност 2120 mm, задвижва се от безчетков електромотор, с мощност 1000 W, излита чрез ластичен катапулт, приземява се чрез парашут. Контролът на полета се осъществява от автопилот, модел APM 2.7, снабден с радиокомуникационен модул за двустранна връзка на честота 433 MHz. Колекционирането на изображения се осъществява от цифров фотоапарат SONY NEX5R, монтиран на едноосна система за компенсиране на страничния наклон (*Roll angle*).

Първата процедура от заснемането е изграждането на мрежа от наземни контролни точки, която да послужи при последващото привързване на изображенията към топографската основа. Предвид формата на предвидената за заснемане територия, бяха установени три контролни точки: в северната, централната и южната му част. За маркер на наземна контролна точка е използван квадратен маркер в бял цвят, с размери 40×40 cm. (фиг. 3), който еднозначно се разпознава на отделните изображения. След прецизно заснемане на позицията на маркерите, координатите им бяха привързани към опорната геодезична мрежа в района. При заснемане на територия с по-сложен релеф е препоръчително установяване на по-плътна мрежа от наземни контролни точки.



Фиг. 3. Прецизно заснемане на координатите на наземна контролна точка

Съставянето на адекватен летателен план е от съществено значение за осъществяване на заснемането. Неговата структура отразява формата на заснеманата територия, както и на преобладаващата посока на вятъра в момента на полет (фиг. 4).

Полетният план предвижда 3 надлъжни прелитания на височина от 200 m, със странично и надлъжно презастъпване на изображенията от 80%. Всяко единично изображение от полетната височина покрива територия с размери 192×117 m.

В резултат на осъществения летателен план и заснемане бяха придобити 66 индивидуални изображения (фиг. 5) с пространствена разделителна способност 0,064 m.



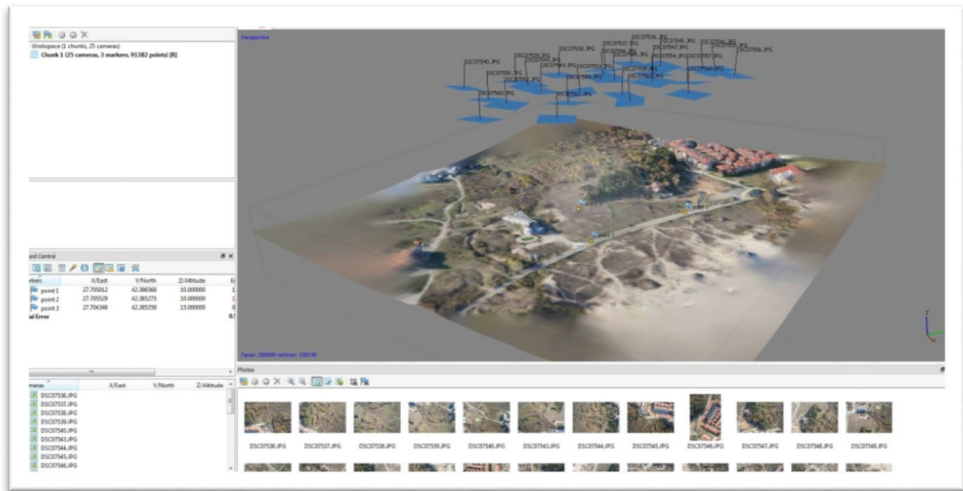
Фиг. 4. Полетен план при заснемането на къмпинг „Смокиня“



Фиг. 5. Подготовка на летателния апарат (а) и индивидуална сцена от заснемането (б)

Компютърната обработка се осъществява в три последователни стъпки по алгоритъма, описан по-горе, за подравняване, съединяване и геопривързване на заснетите сцени (фиг. 5). При всяка стъпка се въвеждат съответни корекции за постигане на модел с минимални геометрични изкривявания.

Главният стандартен продукт при обработката е ортогонална цифрова фотокарта на заснетата територия. Обикновено фотокартата се изработва като единен продукт, но при необходимост (например заснемане на значителна по площ територия) е възможно да се генерират отделни фрагменти (блокове) с правилна геометрична форма (фиг. 6).



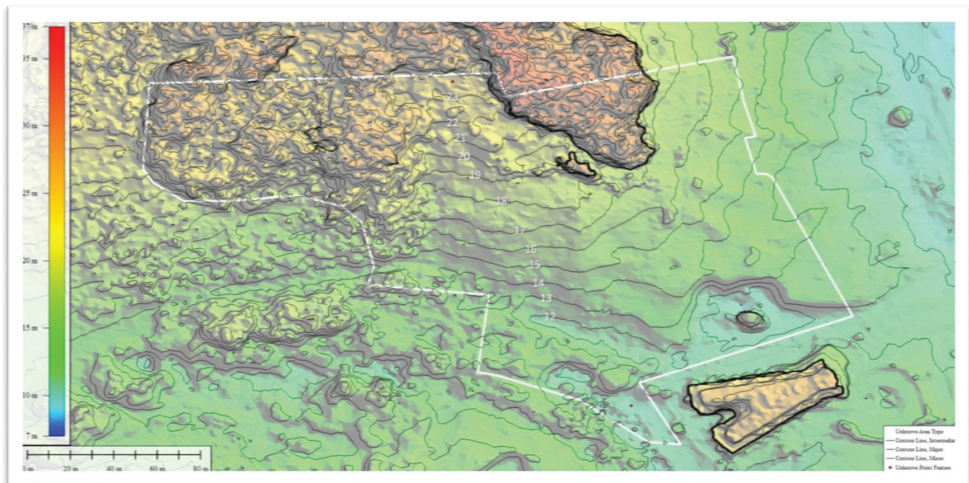
Фиг. 6. Етап от компютърната обработката на заснетите сцени със специализиран софтуер

Едно от значителните предимства на заснемането с безпилотна летателна система и последваща обработка на резултатите е възможността за генериране на прецизен модел на подстилящата повърхност. Това е възможно поради свободата при конструиране на полетния план да се предвижда значително презастъпване на заснеманите изображения – 70–80%, и в последващата обработка да се прилага специално разработения за това алгоритъм (фиг. 7, 8)

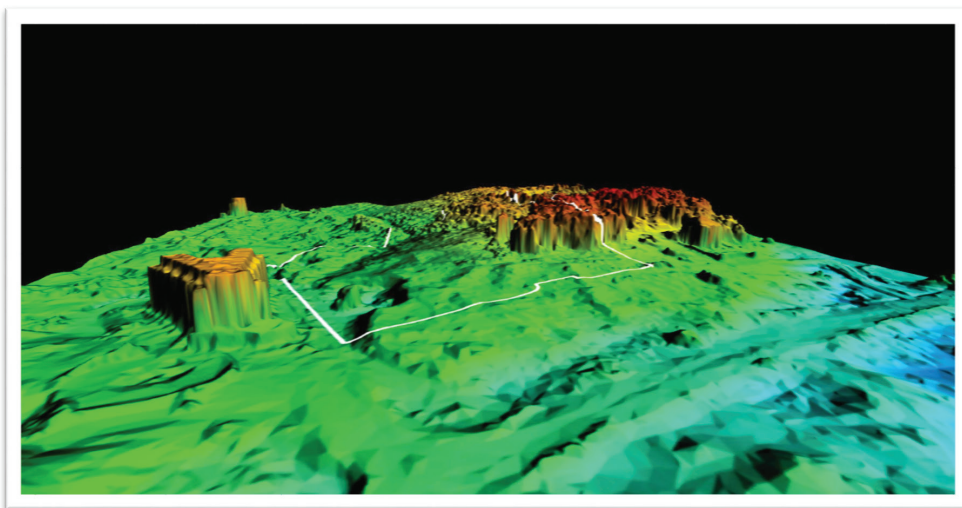
Трябва да се има предвид, че генерираният цифров модел (фиг. 9) описва подстилящата повърхност, до която достига (и се отразява) електромагнитна радиация – земна/водна повърхност, растителност и др. В повечето случаи при необходимост от цифров модел на релефа е нужно генерирането на повърхност, описваща земната повърхност. В този случай е необходима допълнителна обработка по отстраняване на индивидуално стоящи обекти, като сгради, отделни дървета и др.



Фиг. 7. Ортофото-карта на изследваната територия с пространствена разделителна способност 0,07 m



Фиг. 8. Цифров модел на подстиращата повърхност, генериран от заснетите изображения



Фиг. 9. 3Д-поглед от югоизток

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологичното развитие предостави уникална възможност на изследователите в областта на анализ на пространствено обособени обекти за произвеждане на собствени наблюдения и генериране на високотехнологични продукти, като например цифров модел на подстилащата повърхност. Тази възможност разширява значително аспектите на приложение на географските изследвания чрез методите на дистанционни изследвания и географски информационни системи.

ЛИТЕРАТУРА

- Colomina, I., Blázquez, M., Molina, P., Parés, M.E. and Wis, M. 2008. Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing. – In: IAPRS&SIS, Vol. 37, Part B1, Beijing, China, 1201–1206.
- Eisenbeiss, H. 2008. The autonomous mini helicopter: A powerful platform for mobile mapping. XXI ISPRS Congress, Beijing, China, 03–11 July 2008.
- Forstner, W. 1986. A feature based correspondence algorithm for image matching. – In Proceedings of Symposium from Analytical to Digital. Rovaniemi, Finland, 150-166.
- Grenzdörffer, G.J., Engel, A. and Teichert, B. 2008. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. – In: IAPRS&SIS, Vol. 37, Part B1, Beijing, China, 1207–1213.
- Lingua, A., Marenchino, D., Nex, F. 2009. Automatic digital surface model (DSM) generation procedure from images acquired by Unmanned Aerial Systems. Proceedings of GeoCad, 2009, Alba Iulia, Romania.
- Zhang L. 2005. Automatic digital surface model (DSM) generation from linear array images. Thesis Diss. ETH No. 16078, Technische Wissenschaften ETH Zurich, 2005, IGP Mitteilung N. 90.
- Zhou, G. 2009. Near real-time orthorectification and mosaic of small UAV video flow for time-critical event response. – *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 739–747.

Постъпила май 2016 г.