

EXPERIMENTAL EXPLORATION OF THE ACCURACY OF PRIMARY PHOTOGRAMMETRIC INFORMATION, OBTAINED BY UAVS²⁰

Eng. Monika Bedzheva, PhD

Department of Geodesy,
Konstantin Preslavsky University of Shumen, Bulgaria
Tel.: 054-830 495/208
E-mail: m.bedzheva@shu.bg

Eng. Stefan Dobrev, PhD student

Department of Geodesy,
Konstantin Preslavsky University of Shumen, Bulgaria
Tel.: 054-830 495/394
E-mail: s.dobrev@shu.bg

***Abstract:** The accuracy of primary photogrammetric information influences essentially on the quality of geospatial data models, prepared by the means of unmanned aerial vehicles (UAVs). Accounting this situation in the paper the results from practical exploration of the correlation interval of the pseudo stationary errors, accompanying the performance of UAV board global navigation satellite system receivers, are presented. These results can be used for improvement of UAV mission planning and thus – the final result from image processing.*

***Keywords:** Unmanned aerial vehicles, Photogrammetry, Global navigation satellite system (GNSS)*

ВЪВЕДЕНИЕ

Безпилотните летателни апарати (БЛА) днес намират широко приложение във фотограметрията, тъй като те намалява многократно трудоемкостта на процеса на получаване на първичните данни и дават възможност за изследване на трудно достъпни или дори на практически недостъпни зони в реално време. В резултат на това времето за разработване на географски информационни системи се съкращава значително (Petrov, D., Mihaylov, P., 2014), (Petrova, P., 2014), (Bedzheva, M. 2020), (Bedzheva, M., Ignatova, T., 2020). Същевременно БЛА са относително ново технологично средство, поради което влиянието на точността на получената от тях първична фотограметрична информация върху точността на създаваните триизмерни цифрови модели на местността (ЦММ) все още не е изследван достатъчно детайлно (Bedzheva, M. 2020). Предвид на тази ситуация, в настоящия доклад е представено експериментално изследване на интервала на корелация на стационарните случайни грешки при определяне координатите на проекционните центрове на снимките чрез бордовите приемници на БЛА, обработващи сигналите на глобалните спътникови навигационни системи (ГНСС). Получените резултати в доклада допълват и конкретизират изводите от теоретичния анализ, направен в (Bedzheva, M., Ignatova, T., 2020). Освен това, те дават възможност да се подобри планирането и провеждането на фотограметричното заснемане с БЛА.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Теоретични постановки, използвани при планирането на експерименталното изследване

²⁰ Докладът е представен on-line сесия на 13 ноември 2020 с оригинално заглавие на български език: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ОЦЕНКА НА ТОЧНОСТТА НА ПЪРВИЧНАТА ФОТОГРАМЕТРИЧНА ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛУЧЕНА ОТ БЛА

Както е показано в (Bedzheva, M. 2020), (Bedzheva, M., Ignatova, T., 2020) в най-обща ситуация прецизността на триизмерните ЦММ, генерирани въз основа на първичната информация, получена от БЛА, се определя основно от грешките, съпътстващи определенията на бордовия ГНСС приемник. Тези грешки могат да се опишат аналитично по следния начин.

Първо, бордовият ГНСС приемник на БЛА определя времената $\tau_{mi}, i = 1, 2, \dots, N_{sat} \geq 4$, за които навигационните съобщения от поне четири навигационни спътника (НС) на някоя ГНСС (NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS) достигат до него (Petrov, D., Mihaylov, P., 2014), (Andreev, A., Mihaylov, P., Stoykov, E., 2016). Това позволява на ГНСС приемника да изчисли т. нар. псевдоразстояния $R_i, i = 1, 2, \dots, N_{sat} \geq 4$ до всеки от НС:

$$R_i = c\tau_{mi} = \rho_i + \Delta\rho_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_{sat}. \quad (1)$$

Тук c ($c = 299\,792\,458 \pm 1,2 \left[\frac{m}{s}\right] \approx 3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s}\right]$) е скоростта на разпространение на електромагнитните вълни в свободното пространство, ρ_i е истинското разстояние между i -тия НС и ГНСС приемника, а $\Delta\rho_i$ е допуснатата грешка.

Второ, в (1) грешката $\Delta\rho_i$ при измерване на разстоянието между i -тия НС и ГНСС приемника е сума от грешки, които от гледна точка на техните статистически свойства, могат да се класифицират като: систематични (постоянни, константни) грешки, стационарни (бавно флуктоиращи) и бързо флуктоиращи случайни функции (Bedzheva, M. 2020). По тази причина $\Delta\rho_i$ в (1) може да се представи във вида

$$\Delta\rho_i = \sum \Delta\rho_{i,const} + \sum \Delta\rho_{i,s} + \sum \Delta\rho_{i,q}. \quad (2)$$

В (2) $\sum \Delta\rho_{i,const}$ е сумата на всички систематични грешки, а $\sum \Delta\rho_{i,s}$ и $\sum \Delta\rho_{i,q}$ са сумите на бавно и бързо флуктоиращите случайни функции съответно. При това, в резултат на голям брой експериментални изследвания е установено, че:

$$\left| \sum \Delta\rho_{i,const} + \sum \Delta\rho_{i,s} \right| \leq 20 [m], \quad \left| \sum \Delta\rho_{i,q} \right| \leq 0,5 [m]. \quad (3)$$

Трето, в (Bedzheva, M. 2020), (Bedzheva, M., Ignatova, T., 2020) е показано, че ако всички снимки са направени за времеви интервал τ_D по-малък от интервала на корелация τ_{corr} на сумата $\sum \Delta\rho_{i,s}$ на бавно флуктоиращите случайни функции (т.е. ако $\tau_D \leq \tau_{corr}$), тогава големите грешки ($\sum \Delta\rho_{i,const} + \sum \Delta\rho_{i,s}$) в (3) взаимно ще се компенсират. От друга страна, вредният ефект от бързо флуктоиращите грешки $\sum \Delta\rho_{i,q}$ в (3) може да бъде намален чрез подходящо планиране на полета на БЛА и използване на по-голям коефициент на застъпване на снимките.

Предвид на тези изводи, в (Bedzheva, M., Ignatova, T., 2020) е обоснована Методика за теоретична оценка на интервала на корелация на стационарните случайни грешки при определяне координатите на проекционните центрове на снимките от бордовите ГНСС приемници на БЛА. Тя беше реализирана под формата на универсална компютърна програма в средата на MATLAB при използване на следните стойности за средната височина на йоносферния слой и средния радиус на Земята:

$$h_i = 350 [km], \quad R_E = 6371 [km]. \quad (4)$$

С програмата при:

- максимална стойност на йоносферната зенитна задръжка $I_{Zm} = 10 [m]$ за деня на полевия експеримент,

- максимално изменение на йоносферната задръжка $\Delta\rho_{iond} = 0,1 [m]$ в резултат на движението на НС,

за интервала на корелация $\tau_{ioncorr}$ на йоносферната грешка беше получен следният резултат:

$$\tau_{ioncorr} = 2446 [s] \approx 41 [min]. \quad (5)$$

Резултати от експерименталното изследване на точността на първичната фотограметрична информация, получена от БЛА

Тъй като йоносферната грешка е максималната от външните грешки, то оценката (5) всъщност е горна граница на интервала на корелация τ_{corr} . Ето защо беше планирано полевият експеримент да бъде с продължителност 30 [min].

Експериментът беше осъществен с БЛА Phantom 3 Professional на китайската фирма DJI. Това е един от най-популярните модели на пазара, както сред любители, така и сред професионалисти, заради много доброто съотношение между цена и качество.

За експеримента беше използвана една от работните площадки на катедра „Геодезия“ в района на Корпус 3 на ШУ „Еп. К. Преславски“. При това БЛА беше поставен върху дървена стойка с височина 1,5 [m] (фиг. 1), която предварително беше хоризонтирана. Материалът и височината на стойката бяха избрани така, че да се минимизира влиянието на околните предмети и на отразените от земята радио сигнали от НС, чиято дължина на вълната е от порядъка на 0,2 [m]. Със същата цел работната площадка беше засипана с окосена трева.

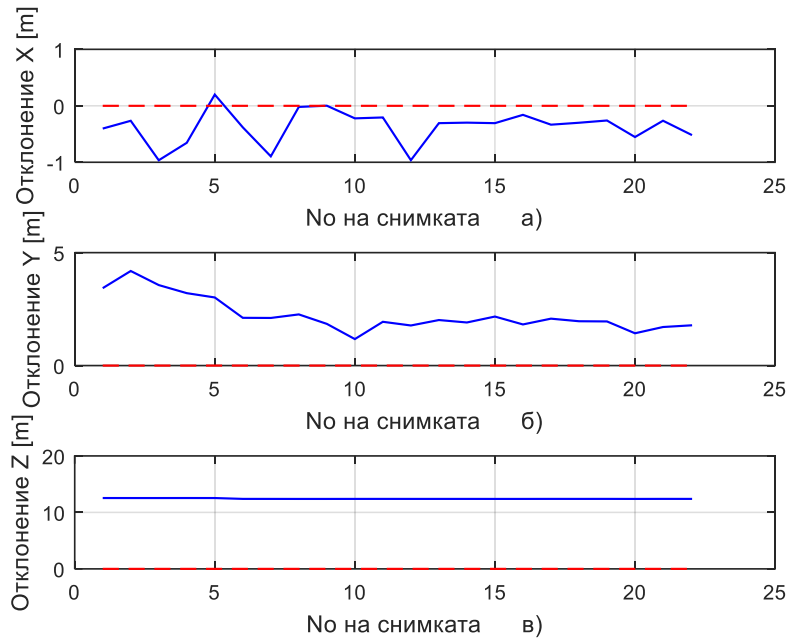


Фиг. 1. Общ вид на опитната постановка, използвана за оценка на интервала на корелация на стационарните случайни грешки при определяне координатите на проекционните центрове на снимките от бордовите ГНСС приемници на БЛА

В хода на експеримента ГНСС приемникът на БЛА проследяваше 15 спътника на ГНСС NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС. По команди от контролера за дистанционно управление цифровата камера направи 22 снимки през интервали от около 1 [min] на т. нар. „контролна точка № 103 на катедра „Геодезия““, тъй като стойката и дронът бяха поставени практически по надирната линия през нея.

Резултатите от експеримента бяха обработени и анализирани със специално разработена за целта компютърна програма в средата на MATLAB, която позволява да се изчисляват и представят графично отклоненията на координатите на проекционните центрове на снимките от координатите на използваната контролна точка, както и осреднените стойности и средната квадратна грешка на тези отклонения, но изчислени за групи от последователни снимки (в случая за групи от 12 последователни снимки

$(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}), (P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}), \dots,$
 $(P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{16}, P_{17}, P_{18}, P_{19}, P_{20}, P_{21}, P_{22}).$



Фиг. 2. Отклонения на координатите на проекционните центрове на снимките от координатите на контролна точка № 103

Както се вижда от фиг. 2, отклоненията на координатите на проекционните центрове на снимките (показани със сини непрекъснати линии) от координатите на използваната контролна точка (нулевите нива са показани с червени пунктирани линии) са значителни, като за координатата Z те достигат $12 [m]$.

На фиг. 3 а) е представено изменението на общата средна квадратна грешка (СКГ) по положение на отклоненията от фиг. 2, изчислена по следния начин.

Първо се пресмятат статистически поправените СКГ на отклоненията по координатите X, Y, Z за групи от по $N_g = 12$ последователни снимки

$$\sigma_{\Delta X}(i) = \frac{1}{N_g - 1} \sum_i^{i+N_g-1} \left[\Delta X(i) - \frac{\sum_i^{i+N_g-1} \Delta X(i)}{N_g} \right]^2, i = 1, 2, \dots, 23 - N_g, \quad (6)$$

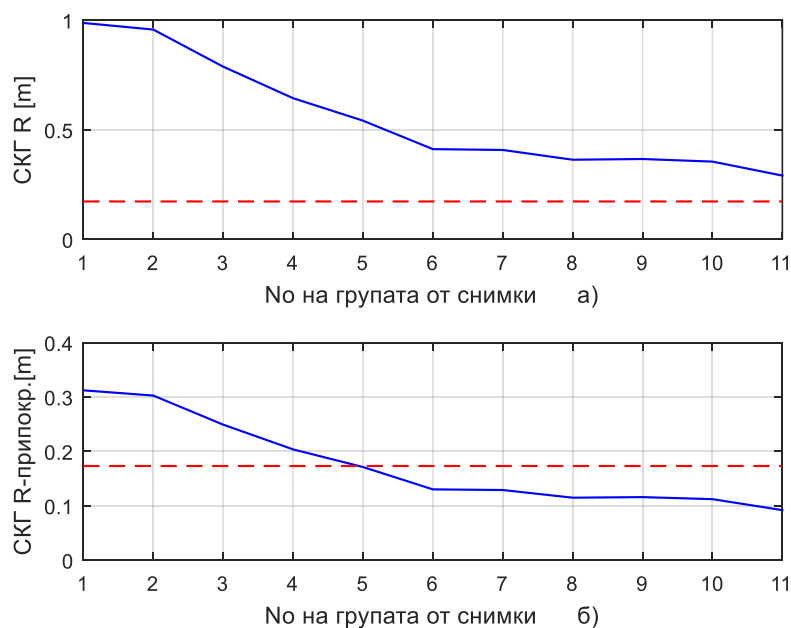
$$\sigma_{\Delta Y}(i) = \frac{1}{N_g - 1} \sum_i^{i+N_g-1} \left[\Delta Y(i) - \frac{\sum_i^{i+N_g-1} \Delta Y(i)}{N_g} \right]^2, i = 1, 2, \dots, 23 - N_g, \quad (7)$$

$$\sigma_{\Delta Z}(i) = \frac{1}{N_g - 1} \sum_i^{i+N_g-1} \left[\Delta Z(i) - \frac{\sum_i^{i+N_g-1} \Delta Z(i)}{N_g} \right]^2, i = 1, 2, \dots, 23 - N_g. \quad (8)$$

След това се формира общата СКГ по положение

$$\sigma_R(i) = \sqrt{\sigma_{\Delta X}^2(i) + \sigma_{\Delta Y}^2(i) + \sigma_{\Delta Z}^2(i)}, i = 1, 2, \dots, 23 - N_g. \quad (9)$$

На фиг. 3 а) общата СКГ по положение $\sigma_R(i), i = 1, 2, \dots, 23 - N_g$ е показана със синя непрекъсната линия, а с червена линия – нивото $\sigma_{0R} = 0,1732 [m]$. То е определено при предположение, че допустимите нива на СКГ по трите координати са $\sigma_{0X} = \sigma_{0Y} = \sigma_{0Z} = 0,1 [m]$, в резултат на което $\sigma_{0R} = \sqrt{\sigma_{0X}^2 + \sigma_{0Y}^2 + \sigma_{0Z}^2} = 0,1732 [m]$.



Фиг. 3. Обща СКГ по положение на отклоненията от фиг. 2, изчислена за групи от по 12 последователни снимки

Както се вижда от фиг. 3 а), общата СКГ по положение превишава допустимото ниво σ_{0R} за всички групи от по 12 последователни снимки. При облитанията обаче, БЛА правят застъпващи се снимки на земната повърхност. Например, ако коефициентът на застъпване на снимките е $N_{ov} = 80\%$, тогава всеки елемент от заснемания земен участък се вижда на 10 снимки. Ето защо след обработката на информацията общата СКГ по положение се редуцира до $\frac{\sigma_R(i)}{\sqrt{10}}$, $i = 1, 2, \dots, 23 - N_g$. Този факт се илюстрира на фиг. 3. б). Както се вижда, за $i = 5, 7, \dots, 11$ в групите от по 12 снимки ефектът от случайните грешки е потиснат в достатъчна степен при застъпване на снимките $N_{ov} = 80\%$ и на тяхна база могат да се изработят триизмерни ЦММ с точност, съответстваща на изискванията на създаваната географска информационна система.

Накрая следва да се отбележи фактът, че БЛА за време $\tau_{corr} = 11 [min] = 660 [s]$ при скорост $v = 10 [m/s]$ може да облети полоса с дължина $6600 [m]$. От този пример ясно се вижда, че използването на БЛА намалява съществено трудоемкостта на процеса на получаване на първичните данни за създаване на триизмерни ЦММ.

ИЗВОДИ

В доклада са представени резултатите от експериментално изследване на интервала на корелация на стационарните случайни грешки при определяне координатите на проекционните центрове на снимките от бордовите ГНСС приемници на БЛА. Тези резултати дават възможност да се подобри планирането на фотограметричното заснемане с БЛА, така че да се постигне точност на триизмерните ЦММ, съответстваща на изискванията на създаваната географска информационна система (Petrova, P., Andreev, A., 2014), (Petrova, P., 2014).

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад е подкрепен от Националната научна програма „Информационни и комуникационни технологии за единен цифров пазар в науката, образованието и сигурността (ИКТЕЦПНОС)“, финансиран от Министерството на образованието и науката на Р. България.

REFERENCES

Petrov, D., Mihaylov, P., (2014). Contemporary technical devices and technologies for collecting of geospatial data for the ground, Shumen: Bishop Konstantin Preslavsky University publishing house (**Оригинално заглавие:** Петров, Д., Михайлов, П., (2014). *Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността*. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“.)

Petrova, P., (2014). *Information systems for cadaster in Bulgaria and in abroad*. Proc. of Third international scientific conference Science, Education, Innovation, Vol. II, p. 196 – 205, 21-23 May 2014, Shumen, Bulgaria

Bedzheva, M. (2020), *Exploration of the infrastructure objects monitoring possibilities using unmanned aerial vehicles*, PhD dissertation, Shumen: Bishop Konstantin Preslavsky University publishing house (**Оригинално заглавие:** Беджева, М., (2020). *Изследване на възможностите за мониторинг на инфраструктурни обекти с използване на безпилотни летателни апарати, дисертация за получаване на ОНС „Доктор“*, Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“.)

Bedzheva, M., Ignatova, T., (2020) *A methodology for estimating the accuracy of primary photogrammetric information, obtained by UAVs*, Proc. of University of Ruse - 2020, vol. 59 (in press) (**Оригинално заглавие:** Беджева, М., Игнатова, Т., (2020) *Методика за оценка точността на първичната фотограметрична информация, получена от БЛА*. Научни трудове на Русенския университет – 2020, том 59 (под печат).)

Petrova, P., Andreev, A., (2014). *Systematic approach to evaluating the effectiveness of the information technology for cadaster*. Proc. of Third international scientific conference Science, Education, Innovation, Vol. II, p. 205 – 211, 21-23 May 2014, Shumen, Bulgaria

Petrova, P., (2014). *Analysis and validation of the effectiveness of the internal environment of the integrated information system for cadaster and estate registry*. Proc. of Third international scientific conference Science, Education, Innovation, Vol. II, p. 211 – 219, 21-23 May 2014, Shumen, Bulgaria