

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ПРИЛОЖИМОСТТА НА ВЪЗДУШНОТО БЕЗПИЛОТНО ЗАСНЕМАНЕ В ГЕОДЕЗИЯТА И КАДАСТЪРА

Ивелина Христовова, студент, УАСГ, д-р инж. Иван Калчев, ГЕО ПЛЮС ЕООД

ABSTRACT

In this report are presented the results of performed activities for aerial photogrammetric survey on test object, using the Unmanned Aircraft System (UAS), scientific-applied analysing the results of processing the collected spatial data and appraisal of practical relevance of digital products, used in the aerophotogrammetry for collecting geospatial data for needs of surveying and cadastre. Implementation of all the activities is due to the team of GEO PLUS Ltd. and all the work is a part of an experimental program, proposed in March 2015 by initiative group of specialists. It is presented evaluation based on the quality of the end products, according to the requirements of the regulatory base in the field of cadastre.

With made conclusions and assessments for the results of applicability of UAS is given clear and realistic picture about their development and progress in technical plan as practical demonstration of the possibilities and limitations of the contemporary remote sensing methods as alternative to traditional surveying technology for the goals of geodetic works.

РЕЗЮМЕ

Представени са резултатите от изпълнения от екипа на „ГЕО ПЛЮС“ ЕООД комплекс от приложно-технически дейности за въздушно фотозаснемане на тестов обект чрез безпилотна летателна система (БЛС), извършения научно-приложен анализ на резултатите от обработката на събраните пространствени данни и оценка на практическата приложимост на числените продукти, създадени чрез въздушен фотограметричен метод за събиране на пространствена информация за нуждите на геодезията и кадастъра. Дейностите са извършени като част от експериментална програма, предложена през март 2015г. от инициативна група специалисти. Представена е оценка на съответствието на качествата на крайните продукти спрямо изискванията на действащата нормативна база в областта на кадастъра. Дава се по-ясна и реална представа относно развитието и напредъка при използване на БЛС в технологичен план, като практически се демонстрират възможностите и ограниченията за прилагане на съвременните въздушни фотограметрични методи като алтернатива на традиционните геодезически технологии за целите на геодезическото производство.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на безпилотните летателни системи (БЛС) и използването им за приложение на въздушни фотограметрични методи се разраства с все по-бързи темпове през последните няколко години. Това провокира интереса към извършване на експериментални въздушни фотограметрични заснемания с цел анализ и оценка на практическата приложимост на БЛС за нуждите на геодезията и кадастъра.

През март 2015г. от инициативна група български специалисти, заети в областта на фотограметрията и дистанционните методи, беше предложена програма за провеждане на експериментално въздушно фотозаснемане или лазерно сканиране чрез БЛС, анализ и оценка на приложимостта им в геодезията и кадастъра. Програмата е замислена да се осъществи като контролиран технически експеримент с участието на три групи професионалисти: **изпълнители** (фирми или физически лица, които предлагат специализирана апаратура и

софтуер или изпълняват услуги с професионални БЛС за въздушна фотограмметрия и лазерно сканиране за събиране на пространствена информация), **консултанти** (представители на заинтересовани висши учебни заведения), **институция** (представители на Агенция по Геодезия, Картография и Кадастър (АГКК), като единствената държавна институция, отговаряща за геодезията в Република България).

Като обект на експеримента беше предложен кв. Върба на гр. Радомир, намиращ се на 34 km югозападно от гр. София, тъй като е самостоятелно обособена част от урбанизираната територия на гр. Радомир, като същевременно площта на квартала е с подходяща големина за прилагането на различни БЛС за въздушно фотозаснемане или лазерно сканиране. Освен това територията на квартала е включена в процедура по изработване на кадастрална карта и кадастрални регистри, а за квартала не са съществували стари кадастрални карти и регулационни планове, т.е. числения модел на кадастралната карта е създаден въз основа единствено на преки геодезически измервания чрез GNSS приемници и тотални станции. Поради тези причини обекта е особено подходящ за сравнителен анализ за целите на експерименталната програма.

2. ИЗПЪЛНЕНИ ДЕЙНОСТИ ОТ ЕКИПА НА „ГЕО ПЛЮС“

Като участник в експерименталната програма екипът на „ГЕО ПЛЮС“ ЕООД със съдействието на колеги от „ГЕОМЕРА М+Р“ ЕООД, изпълни основната част от предвидените технически дейности, описани накратко както следва.

2.1. Предварително планиране на полетите за въздушно фотограметрично заснемане с БЛС

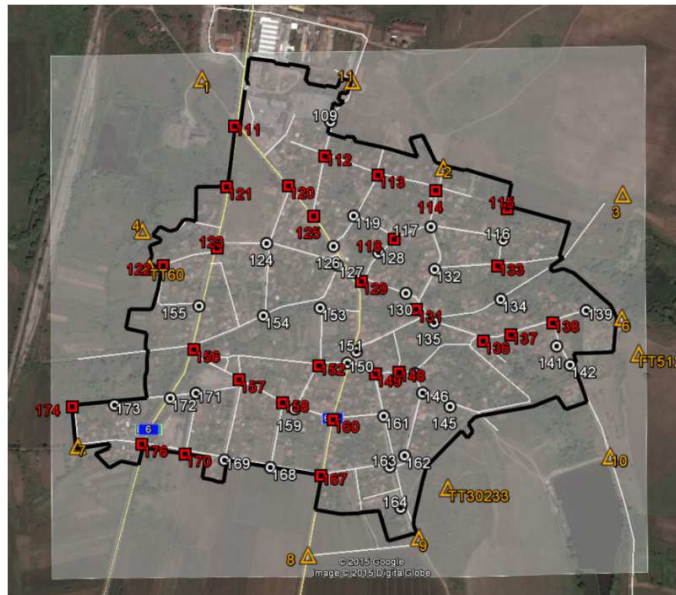
При предварителната подготовка за въздушно фотограметричното заснемане бяха определени границите на планираните полети. Зоната на интерес е определена така, че да обхваща изцяло урбанизираната територия на кв. Върба с обща площ 724290m^2 . Спазвайки определени критерии бяха проектирани два полета с БЛС Gatewing X100 със следните основни параметри:

- a) проектна височина над терена в точката на излитане 150m;
- b) застъпване между съседните снимки в надлъжно и напречно направление от 70%;
- c) предварително изчислена резолюция на дигиталните продукти $GSD=5\text{cm}$.

С цел получаване на по-голям брой въздушни фотоснимки с различна ориентация спрямо обектите от действителността е решено да се изпълнят два полета с взаимно перпендикулярни основни оси на плана за летене.

2.2. Маркиране и координиране на наземни опорни точки

С цел да се повиши точността на крайните дигитални продукти и геореферирването им в избрана координатна система бяха маркирани и координирани наземни опорни (контролни) точки (ground control points - GCP). За целта бяха избрани 38 точки от работната геодезическа основа (РГО) и ГММП на територията на обекта така, че да са равномерно разположени в обхвата на заснеманата територия (фиг. 1). Точките бяха избрани така, че да се гарантира добра видимост към тях от височината на фотокамерата на безпилотния летателен апарат и в същото време да има осигурен достъп до точките за маркиране и измерване на техните координати.



Фиг. 1. Схема с разположение на наземните опорни точки

Маркирането на наземните опорни точки е извършено с постоянни и временни фотограметрични марки и са координирани чрез измервания в реално време с геодезически двучестотни GNSS RTK приемници, както е показано на фиг. 2.



Фиг. 2. Маркиране и координиране на GCP с постоянни и временни марки

Получените географски координати на наземните опорни точки в система WGS-84 (ETRS-89) от GNSS измерванията са представени като правоъгълни в проекция UTM Зона 34N. За съвместяване на резултатите от въздушното фотограметрично заснемане с наличния числен модел на кадастралната карта на кв. Върба са извършени трансформационни изчисления за привеждане на измерените координати на наземните опорни точки в координатна система БГС2005 - кадастрална.

2.3. Въздушно фотограметрично заснемане с Gatewing X100

Въздушното фотограметрично заснемането е извършено с безпилотна летателна система Gatewing X100. Системата е оборудвана с дигитален фотоапарат RICOH GR DIGITAL 4 с

резолюция 10Мрiх (2736x3648) и фокусно разстояние $f=6.0$ mm (еквивалентно на 28 mm за 35 mm филмова аналогова камера).

Двата планирани полета бяха реализирани последователно на 16.04.2015г. между 10:30 и 13:30 часа в присъствието на представители на АГКК:



Фиг. 3. Подготовка на безпилотна летателна система Gatewing X100 за полет в присъствието на представители на АГКК

Полетите са извършени на планираната височина от 150 m над мястото на излитане, което се намира в източният край на заснеманата територия. Схема на действителната траектория на изпълнените два полета е представена на следната фигура:



Фиг. 4. Траектории на изпълнените два полета с безпилотна летателна система Gatewing X100

Продължителността на всеки от полетите е под 40 min със средна скорост 80 km/h. В Таблица 1 са представени основните характеристики на изпълнените полети с БЛС за въздушно фотозаснемане на експерименталния обект:

Таблица 1

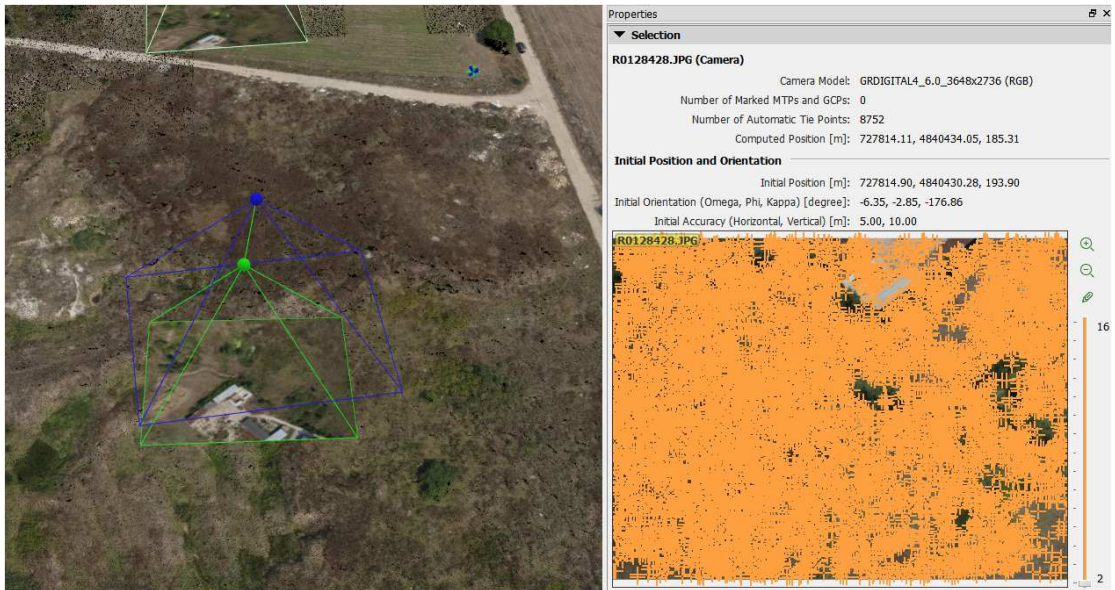
Полет	Време на заснемането (час)		Дължина (km)	Брой снимки при 70% застъпване	Покрита площ (ha)
	от	до			
1	10:48	11:20	51.3	439	182.256
2	12:53	13:23	49.6	450	203.737

2.4. Автоматична обработка на въздушните фотоснимки

Снимките от фотокамерата и данните от навигационната система на безпилотната летателна система Gatewing X100 са обработени автоматично чрез специализирания софтуер за дигитална фотограметрия Pix4Dmapper. Автоматичната фотограметрична обработка по използваната в този софтуер Computer Vision технология преминава през три основни етапа: първоначална обработка, съгъстяване на облака от точки, генериране на цифров модел на повърхнина (DSM) и ортофото мозайка.

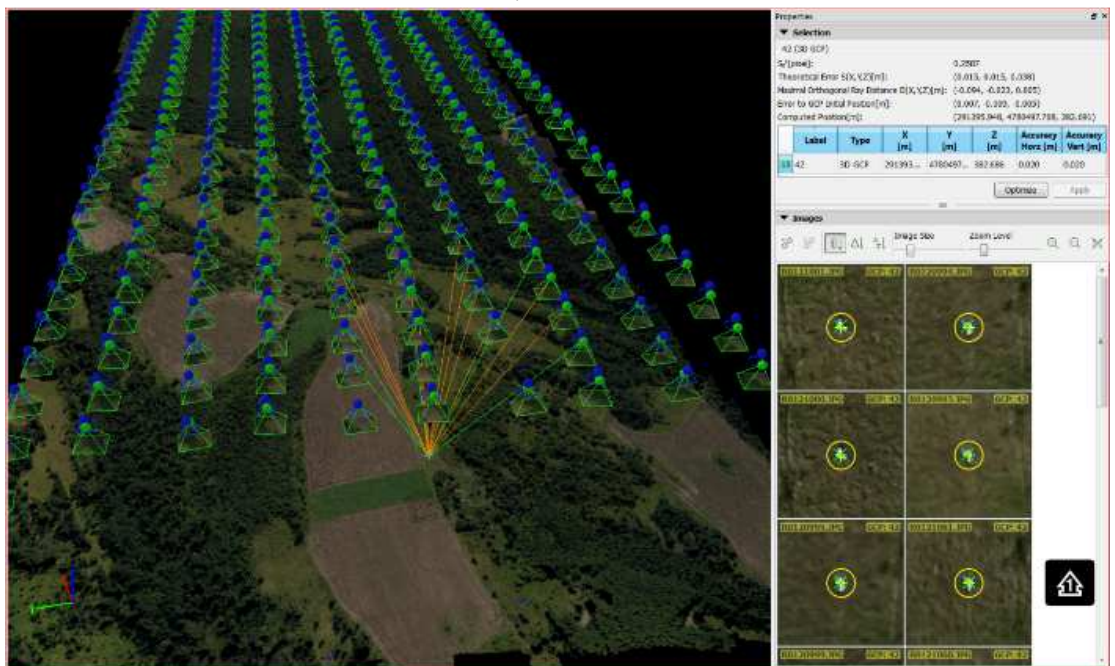
При първоначалната автоматична обработка софтуерът разпознава голям брой уникални точки в отделните снимки. Поради голямото застъпване между съседни снимки (в случая 70%) тези точки се разпознават в повече от една снимка. Това дава възможност да се изчислят връзките между уникалните точки в съседните снимки. Получава се система от определен брой връзки, които се описват с уравнения. Решаването на тези уравнения се извършва чрез автоматична аеро триангулация (automatic areal triangulation - ААТ), като се прилага пакетно (ивично) блоково изравнение (bundle block adjustment - ВВА). В резултат на тази строга математическа обработка на снимките се получават прецизно определени елементите на тяхното вътрешно ориентиране и калибриране (фокусно разстояние, основна точка, коефициенти на симетрична и тангенциална дисторзия на лещите на обектива) и външно ориентиране (X , Y , Z , ω , ϕ и κ). След това се определят прецизно пространствените координати на свързващите уникални точки, като се получава 3D облак от тези точки, който е основа за получаване на всички дигитални продукти от автоматичната обработка.

След завършване на първоначалната обработка е възможно да се визуализира изчисления облак от точки в режим `rayCloud` редактор, заедно с първоначалните (показани със сини сфери) и изравнени (представени със зелени сфери) местоположения на центровете на камерата, както и самите снимки с тяхната пространствена ориентация по време на въздушното фотозаснемане. Когато бъде избрана дадена снимка се визуализират нейните основни характеристики за начална позиция и ориентация заедно с автоматично разпознатите в нея свързващи точки (оранжевите кръстове в дясно на фиг. 5):



Фиг. 5. Характеристики на снимка и отчитане на разпознатите в нея свързващи точки

При избиране на точка от облака (cloud) се визуализират лъчите (ray) от точката до центровете на снимките, както и самите снимки, в които се съдържа нейният образ заедно с данни за точността на изчисление на точката:



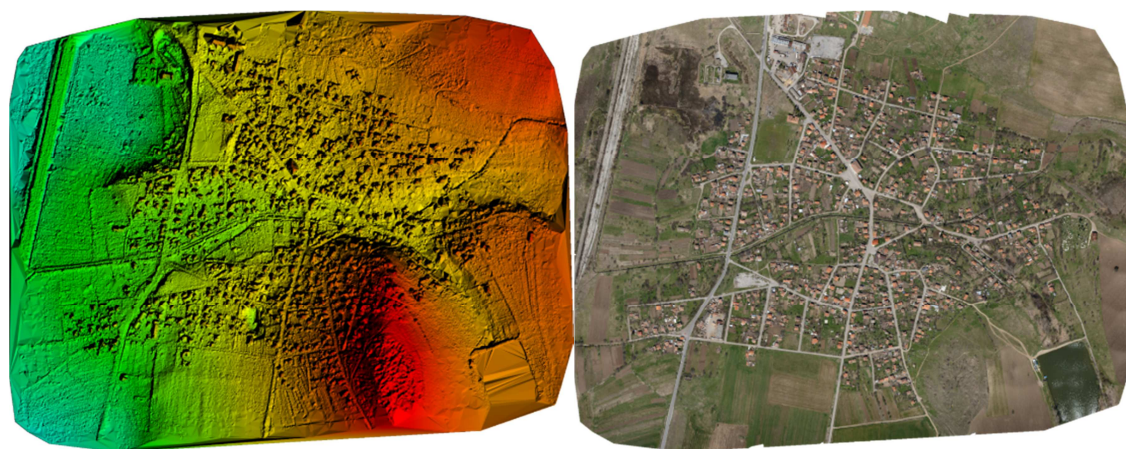
Фиг. 6. Визуализация в Pix4DMapper на местоположението на центровете на камерата, снимките с тяхната пространствена ориентация и проекция на свързващите лъчи на избрана точка и снимките, в които е разпозната на фона на изчисления облак от точки

Тази техника на визуализация и редактиране в RayCloud режим позволява комбиниране на облака от 3D точките и техните 2D образи, разпознати в отделните снимки. Полезно и важно е, че този метод на работа дава добър контрол върху изчислителната точност и възможност за проверка за разпознаване на точките от облака.

При фотограметричната обработка на снимките с Pix4DMapper се получава подробен отчет за извършените изчисления и оценки за качеството на получените резултати. Важна характеристика на дигиталните продукти е стойността на разделителната способност (ground sample distance – GSD), която представлява разстоянието между два центъра на последователни пиксели, изчислено между техните проекции на земната повърхност. В конкретния случай стойността на GSD е 0.053m, което означава, че един пиксел в снимката се проектира като квадрат със страна 5.3cm върху земната повърхност. Друг важен показател в резултатите от обработката е обобщената средната квадратна грешка при геореферирание на цялостния модел, която за експеримента е със средна стойност 0.015 m чрез използвани 11 опорни точки.

От особен интерес са получените данни за точността на геореферирание чрез избраните 11 опорни точки, както и данните за оценката на точността на използваните 27 контролни точки. В конкретния случай точността на геореферирание е значително по-добра от разделителната способност на въздушното фотозаснемане (0.053m) – средните квадратни грешки на координатните разлики между координатите на точките, получени от преките GNSS RTK измервания и от реконструирания модел при фотограметричната обработка са съответно по X: 0.019m; по Y: 0.020m и по Z: 0.005m или пространствената точност е 0.028m. Оценката на точността на използваните 27 контролни точки (които не са включени в геореферирането на дигиталните продукти) показва, че реалната точност на модела съвпада с резолюцията на въздушното фотозаснемане (GSD) - средните квадратни грешки на координатните разлики са съответно по X: 0.050m; по Y: 0.049m и по Z: 0.065m или пространствената точност е 0.095m.

С извършената автоматична фотограметрична обработка на въздушните фотоснимки и информацията от полетите са получени като резултат разнообразни дигитални продукти от изчисления модел на действителния обект: пространствени облак от точки, числен модел на повърхността (DSM) и ортофото мозайка.



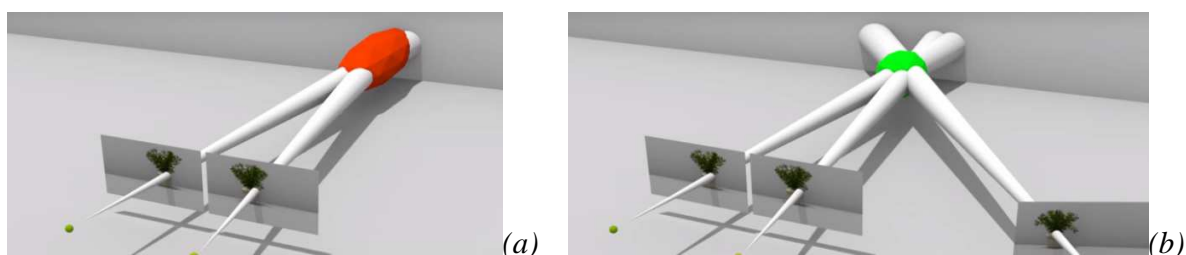
Фиг. 7. Пространствени цифрови продукти от автоматичната фотограметрична обработка - числен модел на повърхността и ортофото мозайка

2.5. Допълнителна обработка за картиране

Картирането по облак от точки е трудно изпълнимо независимо от мощността на използваните 3D редактори, а това чрез стереокартиране по двойки снимки е продължителен процес податлив на грешки [1]. Стереокартирането по начало изисква скъпо струващи софтуерни и хардуерни решения, като в същото време се явява доста неефективен метод за въздушни фотозаснемания с БЛС поради малкия обхват на снимките, заради ниската височина на полетите и характеристиките на използваните дигитални камери, например липса на

компенсатор срещу размазване – неяснота на образа, причинен от скоростта и височината на полета.

При традиционното стереокартиране се използват две снимки за да се изпълни възстановяване на модела за извършване на 3D измерване. Точността на определяне на координати на подробни точки зависи най-вече от разстоянието (базата) между двете снимки. С по-голяма база между снимките се получават по-точни резултати - пресичането и застъпването на лъчите е в по-малък диапазон. При използването на множество лъчи би могло да се редуцира грешката (фиг. 8), т.е. нужно е точката да бъде разпозната в повече снимки. Автоматичното разпознаване на идентични точки от отделните застъпени снимки чрез ComputerVision технологията позволява използването им за реконструкция на всяка от точките в модела чрез множество на брой лъчи, което подобрява точността на определяне на 3D координатите на точките.



Фиг. 8. Определяне на точка в две стерео снимки с широк диапазон на застъпване (а) и в три снимки, водещо до намаляване на диапазона и грешката на отчитане (източник [1])

Този значително по-ефективен подход се явява комбинация от използването на облак от точки и картиране по образи на точки в повече от две снимки. Именно в това се състои предлаганата rayCloud технология, реализирана в софтуера Pix4DMapper в който са на разположение инструменти за ръчно създаване на идентични свързващи точки. Когато една нова точка бъде дешифрирана в поне две снимки, тя автоматично се разпознава в останалите снимки, в които попада образа ѝ, като се посочва изчисленото ѝ местоположение.

При използването на традиционните въздушни фотограметрични продукти като ортофото мозайка за картиране на сгради се явява сериозният проблем с наличието на стрехи на покривите. Те възпрепятстват видимостта и дешифрирането на подробни точки по основите на сградите, които именно са предмет на отразяване в кадастъра. Ray Cloud техниката може да се съчетае с факта на перспективния образ на всяка една отделна снимка. Поради централната перспектива на снимките в сравнително голяма част извън централната им област образите не са ортогонални, а наклонени. Това дава възможност да се виждат и дешифрират в много снимки директно части от фасадите на сградите и по-точно основите им, както е показано на серията снимки от фиг. 9. Така се преодолява ограничението при използване на ортофото мозайка и се осъществява директно координиране на точки в основите на сградите за целите на кадастъра чрез RayCloud редактора.



Фиг. 9. Дешифриране на идентични точки в определен брой снимки

Във всеки един момент след като една нова точка е проектирана в 3D модела по нейните образи в отделните снимки, позицията ѝ може да бъде прецизирана отново чрез уточняване на разпознатите ѝ образи в снимките. При всяко създаване и редактиране на нова точка в модела се отчитат различни оценки на точността, с което се дава възможност за контрол на качеството на модела от страна на оператора. По аналогичен начин на 3D точките, в RayCloud редактора могат да бъдат създавани и линии, повърхнини и обемни тела (депа или изкопи), като всички създадени обекти могат да бъдат изведени и използвани в различни CAD и GIS софтуерни продукти.

В средата на Pix4DMapper по описаната технология са обработени две трети от заснетата площ на експерименталния обект. Останалата една трета от територията на обекта е картирана чрез векторизиране от ортофото мозайката. В случая за векторизиране са използвани продуктите GlobalMapper и Pythagoras CAD+GIS. Поради споменатите ограничения от липсата на изглед под стрехите на сградите е преценено, че използването на ортофото мозайка за картиране на сградите е некоректно и неточно. За това този подход е използван за картиране само на материализирани граници на имоти (фиг.10).



Фиг. 10. Картиране на материализирани имотни граници от ортофото мозайка

3. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Резултатите от картирането чрез Ray Cloud технологията и чрез векторизиране на ортофото мозайката са подложени на сравнителен анализ. За целта са съвместени цифровия модел на кадастралната карта, създаден чрез традиционни геодезически методи за координиране на подробни точки и получените подробни точки при картиране с използване на въздушно фотозаснемане чрез БЛС. За анализ и оформяне на статистическия резултат е използвана среда на PUTHAGORAS CAD+GIS.

Избрания критерий за оценка е на базата на действащата нормативна уредба, а именно НАРЕДБА № 3 ОТ 28 АПРИЛ 2005 Г. ЗА СЪДЪРЖАНИЕТО, СЪЗДАВАНЕТО И ПОДДЪРЖАНИЕТО НА КАДАСТРАЛНАТА КАРТА И КАДАСТРАЛНИТЕ РЕГИСТРИ. В наредбата е посочено: „Чл. 18. (1) Точността на нанесените в кадастралната карта поземлени имоти и сгради се определя чрез изчисляване на стойностите на:

1. грешката в абсолютното положение на подробна точка (ΔS);

2. грешката в разстоянието между две подробни точки (∂S).“

„...Допустимите стойности на ΔS и ∂S за урбанизирани територии са:

1. когато координатите на точките са определени чрез геодезически измервания:

а) за точки от трайно материализирани граници на поземлени имоти и очертания на сгради от основното застрояване $\Delta S \leq 30$ см и $\partial S \leq 20$ см;...“

За изследването в настоящият анализ е избран критерия за грешка в абсолютно положение на подробна точка ΔS . За изчисляване на грешката в абсолютното положение на подробните точки е прието, че координатите на точките в кадастралната карта са достоверните стойности, с които се сравняват координатите на идентичните точки от дешифрирането по фотограметричния метод.

Чрез RayCloud метода и векторизиране от ортофото мозайката, използвани за картиране на елементите от кадастъра, са дешифрирани 2555 на брой точки, описващи основи на сгради и по материализирани имотни граници. Тези точки са разделени в две групи като е използван критерия за точност ΔS :

Група I: Точки, които попадат в критерия за допуск до 30см („полезни точки“) - 1680 на брой.

Група II: Точки, които са извън този критерии - 356 на брой.

Съществува трета група точки, които са картирани чрез фотограметричния метод, но на място не са измерени точки чрез традиционните геодезически методи, с които да бъдат сравнени. Тези 519 на брой точки са особения случай в експеримента. Те са демонстрация на разликата в методите и факторите, от които те зависят. Такива точки са получени най-вече на места, които в кадастралната карта те са изчислени чрез построения, т.е. на тези места с пряко геодезическо измерване е било невъзможно да се заснеме директно точката. Друга част от тези точки са определени от въздушното фотозаснемането по продължението на огради. Те могат да се използват за геометрични построения и по този начин да се координират точки, които не са дешифрирани в снимките поради различни препятствия, например наличие на висока растителност. Така би могло да се намали или отстрани недостатъка на въздушния фотограметричен метод поради зависимостта на приложението му от различни обстоятелства, възпрепятстващи дешифрирането на всички точки, представляващи интерес.

За точките от първата група са изчислени обобщаващи статистически характеристики, показващи точността на тяхното координиране, а именно средната стойност на редовете от координатни разлики по двете оси, както и средна квадратна грешка на координатните разлики и по положение (Таблица 2).

Таблица 2

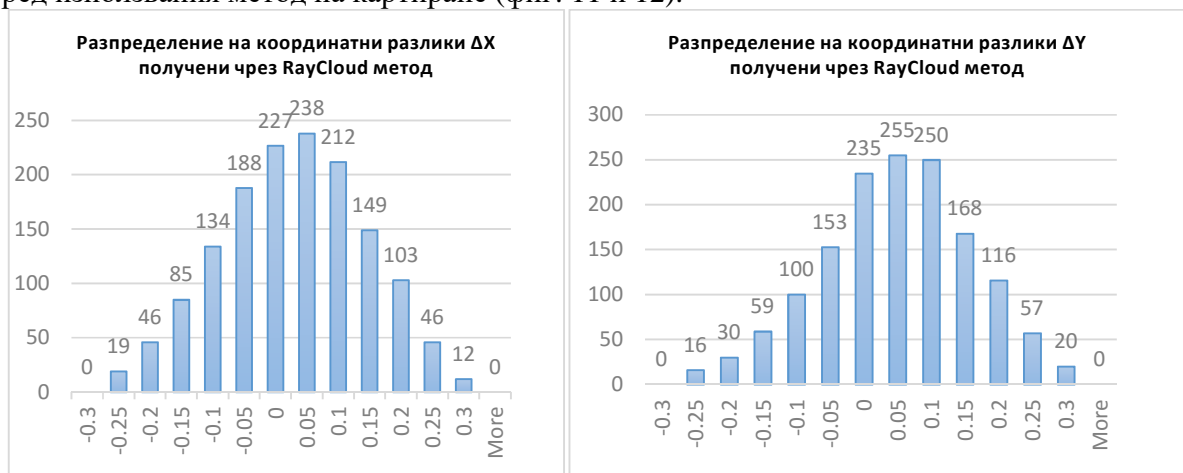
Средна стойност (m)		Средна квадратна грешка по положение (m)		
ΔX	ΔY	$M_{\Delta X}$	$M_{\Delta Y}$	$M_{\Delta S}$
0.01	0.03	0.12	0.11	0.16

За тези точки са разгледани статистически редове от стойностите на координатните разлики ΔX и ΔY между координатите на подробните точки получени от въздушното фотозаснемане и кадастралната карта, изработена чрез традиционни геодезически методи. Тези координатни разлики са изследвани за типа на разпределение на получените стойности. Разпределението на броя „полезни“ точки в интервали през 5 cm е представено в таблица 3.

Таблица 3

№	Интервал (cm)		Брой координатни разлики					
			От RayCloud			От ортофото		
	от	до	ΔX	ΔY	ΔS	ΔX	ΔY	ΔS
1	-30	-26	16	11	-	3	1	-
2	-25	-21	39	29	-	12	11	-
3	-20	-16	75	50	-	18	14	-
4	-15	-11	120	99	-	25	19	-
5	-10	-6	179	129	-	31	19	-
6	-5	0	270	275	-	30	39	-
7	1	5	238	255	162	34	35	16
8	6	10	212	250	309	34	21	40
9	11	15	149	168	335	17	22	37
10	16	20	103	116	318	11	21	48
11	21	25	46	57	198	3	13	50
12	26	30	12	20	137	3	6	30
	ОБЩО:		1459	1459	1459	221	221	221

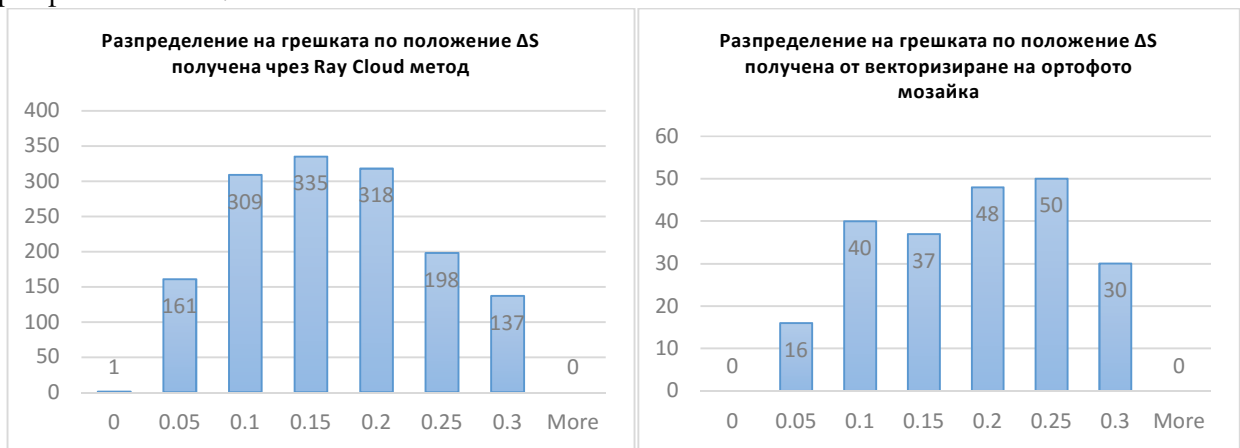
Това разпределение е представено в следващите хистограми, в които точките се разделят според използвания метод на картиране (фиг. 11 и 12).

Фиг. 11. Хистограми на разпределение на ΔX и ΔY от RayCloud картиране



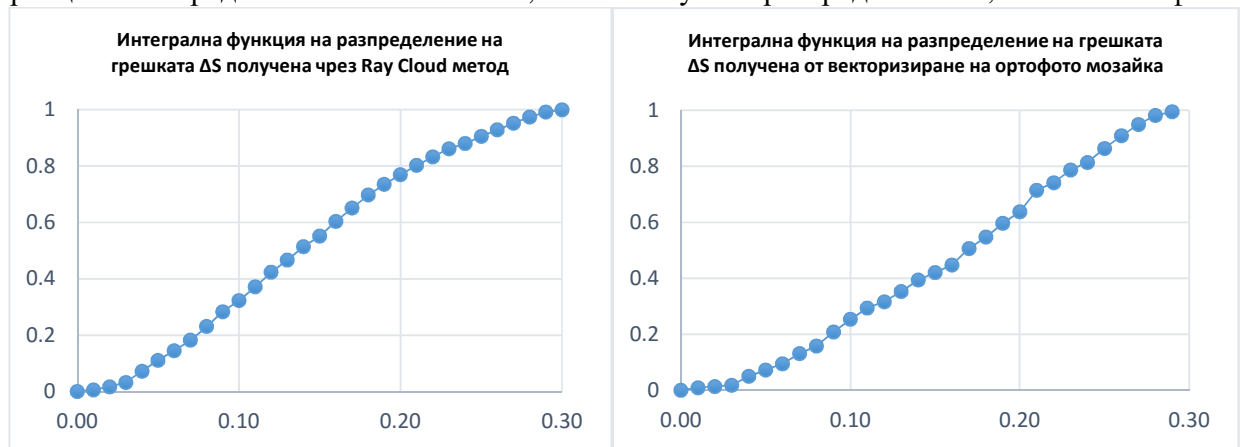
Фиг. 12. Хистограми на разпределение на ΔX и ΔY от ортофото мозайка

Представено е още разпределението на грешката по положение ΔS, като отново са сравнени двата приложени метода – картиране чрез Ray Cloud метод и векторизиране на ортофото мозайка.



Фиг. 13. Хистограми на разпределение на грешката по абсолютно положение ΔS от RayCloud картиране и чрез векторизиране от ортофото мозайка

Представено е също разпределението на разликите по положение в допусък. Изследван е вариационният ред от стойностите на ΔS, като е получено разпределението, показано на фиг.14.



Фиг. 14: Графика на интегралната функция на разпределение на грешката ΔS получена чрез Ray Cloud метод и от векторизиране на ортофото мозайка

Резултатът представен на хистограмите е очакван като се има предвид различният подход на определяне на координатите на подробните точки. При Ray Cloud метода резултатите за ΔX и ΔY са значително по-близки до нормално разпределение за разлика от използването на ортофото мозайката за векторизиране, при което се наблюдава разпределение на координатните разлики доста различно от нормалното. При вторият метод може да се говори по-скоро за наличие на систематични грешки, което е адекватно на точността на източника на данните за картиране ($2-3 \times GSD = 0.010-0.015m$) и субективността при дешифриране на точките по ортофото мозайката. Тези резултати обосновават извода, че Ray Cloud метода на картиране осигурява по-точни и надеждни резултати при координирането на подробни точки в сравнение с векторизирането на ортофото мозайката.

Относно резултатът от разпределението на грешката по положение ΔS – наблюдава се сгрупване на стойностите около получената средна квадратна грешка ($0.016m$), като при използване на RayCloud метода нормалното разпределение около тази стойност е ясно изразено за разлика от грешките ΔS при векторизиране по ортофото мозайка. Това се потвърждава и от плавното и постепенно нарастване на интегралната функция за ΔS чрез RayCloud (ясно доказателство за наличието на нормално разпределение) и не толкова добре изразена тенденция за ΔS при ползване на ортофото мозайката.

Получените добри резултати независимо от използваният метод на картиране дават реална представа, че при рационално и ефективно използване на фотограметричните методи с приложение на БЛС технологията, нейното използване би било полезно за разнообразни цели. При средна квадратна грешка на определяне на координати в рамките на няколко сантиметра, при максимално елиминиране на отрицателните фактори, въздушните фотограметрични методи ще бъдат все по-възможно приложими за целите на кадастъра. Резултатите също еднозначно показват, че събраните данни чрез БЛС в случая отговарят на изискванията за точност за целите на кадастъра според изискванията на действащата нормативна уредба.

Освен точките от първата група (т.е. „полезните“ точки, които влизат в допускателна грешка за ΔS от $30cm$) са анализирани и точките, които са извън този допуск и причината за тяхното появяване. Изследвани са стойностите на отклонение от допускателна грешка за „червените“ точки, като се констатира, че множеството от стойностите на координатните разлики за тези точки макар, че надвишава $30cm$ също клони към допускателна грешка. След по-задълбочен анализ на снимките и точките с по-големи грешки се налага крайният извод, че грешките в общият случай се дължат на влошена видимост по отделните снимки заради неясен образ или гъста залесеност. Това влошено качество на снимките влияе на субективната преценка на оператора при определяне на точното местоположение на обекта на подробните точки.

Освен анализа за броя и точността на получените координати на подробните точки чрез картиране по методите на въздушното фотограметрично заснемане е извършен още един анализ на резултатите, а именно за брой заснети обекти, които са необходими за създаване на кадастрална карта. Вниманието е съсредоточено към сградите, защото за тях е наложено мнението, че не биха могли да се картират чрез въздушните фотограметрични методи. Затова са разгледани тези квартали от експерименталния обект, които за картирани чрез Ray Cloud технологията, представляващи две трети от общата площ на обекта. Резултатите са следните:

Таблица 4

Брой сгради		
Общ брой в кадастралната карта	Брой дешифрирани цели сгради	Брой дешифрирани с допълнителни изчисления
986	308	84

Резултатът показва, че са дешифрирани около 40% от всички сгради в разглежданата местност. Това не покрива предварителните очаквания, но може да се обясни най-вече с влиянието на следните фактори:

- Сравнително голямата височина на летене (150 m), подбрана с цел покриване на цялата площ на експерименталния обект с един полет;
- Резолюцията на използваната дигитална камера за въздушно фотозаснемане е 10Мр, която заедно с разделителната способност на камерата може да бъде значително по-добра;
- Значителната гъстота на застрояване, като освен сградите от основното строителство има много второстепенни сгради, които са близко разположени и това ограничава възможностите за въздушното фотозаснемане на техните основи;
- Заснемането е извършено в сезон със сравнително голямо наличие на разлистена висока растителност, която в много случай е препятствие пред оператора за отчитане точното местоположение на подробните точки в основата на сградите.

При подобряване на тези показатели, които варират според специфичните особености на населените места, степента на приложимост на БЛС за извличане на пространствени данни за кадастрални цели би се увеличила значително. Отчитайки следните факти:

- времето необходимо за извършване на подготвителната работа за обхождане, маркиране и координиране на опорните наземни точки е 2 дни за 38 точки;
- въздушното фотограметрично заснемане е извършено с два полета, извършени в рамките на 3 часа, всеки един от които покрива една и съща територия от 182/203ha при обща площ на урбанизираната част на кв. Върба с обща площ 72.429ha. Значително по-голямото покритие с въздушни снимки се дължи на правоъгълната форма на зоната за реализиране на полетите;
- за автоматичната обработка на резултатите от въздушното фотозаснемане до дигитални продукти (облак от точки, DSM, ортофото мозайка) беше необходим 1 ден за двата полета;
- времето за картиране до получаване на числен модел на кадастралните данни беше 10 дни;

може да се каже, че ефективността на БЛС е в пъти по-висока от традиционните геодезически методи. Дори и при 40% приложимост за картиране на сгради въздушния фотограметричен метод чрез БЛС се нарежда сред най-бързите и ефикасни геодезически техники за събиране на пространствени данни.

4. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Показаните резултати от обработката на въздушното фотограметрично заснемане с БЛС чрез Computer Vision и Ray Cloud технологии и сравнителния анализ на крайните модели с числения модел на кадастрална карта, изработена чрез традиционни геодезически технологии, доказват следните изводи:

1. Ray-cloud технологията е приложима в значителна степен за картиране на обекти от действителността, представляващи елементи на кадастъра – контури на сгради и материализирани имотни граници. Това опровергава съществуващото мнение, че по принцип въздушните фотограметрични заснемания не могат да служат за картиране на сгради поради наличието на стрехи;
2. Получената точност на определяне на координатите на подробни точки чрез прилагане на ray-cloud технологията отговаря напълно на изискванията на действащата нормативна база за изработване на кадастрална карта;
3. Надеждността на получените координати на подробни точки по материализирани граници като обекти от кадастъра при картиране чрез ray-cloud метода е по-висока в сравнение с дешифрирането по ортофото мозайка;

4. Както всяка от останалите геодезически технологии и въздушното фотограметрично заснемане чрез БЛС не може да постигне 100% приложимост при богатото разнообразие на действителността, която трябва да се картира. Това не означава, че тази технология не може да се прилага за нуждите на геодезията и кадастъра наред с традиционните геодезически техники за събиране на пространствени данни, а че е необходимо да се търси тяхното съчетаване за оптимално и ефективно постигане на поставените цели и задачи. За повишаване на степента на приложимост на въздушната фотограметрия с БЛС по-специално за нуждите на кадастъра влияние оказват характеристиките на използваните технически средства за въздушно фотозаснемане, подготовката на специалистите за намаляване на субективния фактор при картирането и условията, възпрепятстващи видимостта към обектите на кадастъра;

5. Въздушната фотограметрията чрез БЛС е несравнима по производителност и детайлност на крайните резултати за извършване на геодезически задачи в областта на специализираните карти, моделирането на трудно достъпни терени и обекти като депа, сметища, открити рудници и кариери.

Трябва да се отбележи и факта, че БЛС Gatewing X100, с което разполага нашият екип, е „ветеран“ в професионалните БЛС за въздушна фотограметрия – разработено е през „далечната“ 2010г., което за развитието на тези технологии е много дълъг период. Към настоящия момент вече се предлагат много по-усъвършенствани БЛС със значително подобрени характеристики в почти всяко отношение. Вече са налице и БЛС с монтирани лазерни сканиращи устройства за прилагане на LIDAR технологията, с което се разширяват още повече възможностите за приложението им в геодезията и кадастъра.

Чрез извършване на подобни експериментални дейности от типа на представените в настоящата статия се добива реална представа за приложението на БЛС, като освен техните възможности, ясно проличават и недостатъците и ограниченията им. Всеки натрупан опит е ценен в името на развитието и напредъка на тези иновативни технологии. По този начин се трупат познания как да се усъвършенстват технологиите, как да ги прилагаме по практично и ползотворно, къде да поставим границата на възможното и благодарение на минусите, които откриваме чрез експериментите можем да си поставим по-реални цели в бъдеще и да опитаме да избегнем проблемите и недостатъците с цел внедряването им в масовата практика.

При повишена степен на използване на новите фотограметрични технологии ще бъде засилен и интересът, освен на вече изградили се специалисти в областта, така и на студенти, изучаващи съответната специалност. Да се привлече вниманието и да бъдат мотивирани младите бъдещи специалисти също е от първостепенно значение, защото от тяхното обучение и професионализъм зависи бъдещото развитие на направлението и намерението ни да следваме технологичното развитие на света.

С провеждането на този експеримент се поставя едно условно начало на анализ и оценка на възможностите на БЛС. Добре би било да бъдат извършени още експерименти с различни технически решения за БЛС, с различни параметри и характеристики на камери и височини на полети, за да се изведат по-точни заключения за ефективността и начина на приложението им за геодезически и кадастрални цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202561629-Webinar-3-Using-the-rayCloud>

Адреси на авторите:

Ивелина Христозова, студент в УАСГ, София, GSM 0883483821, e-mail: ivelina.hristozova@abv.bg
Д-р инж. Иван Калчев, ГЕО ПЛЮС ЕООД, GSM 0885956312, e-mail: ikaltchev@geoplus-bg.com