

FRI-2G.302-1-CSN-05

**USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR PHOTOGRAMMETRIC
DATA GATHERING AND DIGITAL 3D RECONSTRUCTION OF
ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION SITES⁵**

Assoc. Prof. Georgi Hristov, PhD
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: ghristov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Plamen Zahariev, PhD
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: pzahariev@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Diyana Kinaneva, PhD
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: dkyuchukova@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Ivanka Tsvetkova, PhD
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 082 888 836
E-mail: itsvetkova@uni-ruse.bg

Eng. Jordan Raychev, PhD Student
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: jraychev@uni-ruse.bg

Eng. Emil Kyostebekov, PhD Student
Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 082 888 353
E-mail: emo.kyostebekov@gmail.com

***Abstract:** The modern unmanned aerial vehicles (UAVs) are equipped with cameras and sensor modules and compared to the traditional methods and approaches for remote sensing have many key advantages. They are very reliable and can function autonomously, but if needed, they can also be piloted by operators with limited experience. The UAVs can also be instructed to fly over any predefined geographic area and to do this at a specific speed or by maintaining a fixed flight altitude. These characteristics are of a great importance when the UAVs are used to obtain information, which will then be used for various purposes, including for crops and vegetation studies, ecological surveys, remote observations or for archaeological analyses. By studying the past using modern technologies, like the UAVs, the archaeologists can take full advantage of the new opportunities to survey and identify objects and artefacts using the remote sensing methods. These methods allow researchers to explore objects on the ground without the need*

to utilize invasive methods, while at the same time they can concentrate their research on a specific geographic area to maximize results. These remote sensing methods have been expensive and hard to access over the past decades, but with the development of the UAVs, they can now be used by small teams and in projects with limited funding. In this paper we present a complex methodology for obtaining, processing and analysis of digital images of archaeological excavations, which are performed with the help of UAVs. The paper presents also the main results from the processing of the data, which include georeferenced high-resolution ortho-photographic images, detailed digital surface models (DSM) and 3D models of the archaeological locations.

Keywords: UAV, Digital Photogrammetry, Digital Dense Map, 3D reconstruction, 3D Documentation, Excavation

ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса по документация на културното наследство, се прилага широк спектър от методологии и инструменти, които могат да варират от директното проучване до сложните и комплексни методи за събиране на данни. Към момента, най-широко паспространение метод се основава на използването на наземни лазерни скенери (TLS) и прилагане на цифрова фотограметрия на земната повърхост (с използване на наземни и въздушни кадри от БЛА). Посочените по-горе техники са напълно достатъчни, за да осигурят добри резултати, по отношение на пълнотата и точността на документирането, но въпреки това, най-добрият подход е този, с използване на многообразни източници на цифрови документи с различна резолюция и интегриране на данни, получени от различни похвати. Благодарение на интегрирането на различни видове технологии за извличане на цифрови данни (например: базирани на изображения, базирани на сензори и БЛА платформи) е възможно да се събере по-широк набор от резултати, подходящи за различни цели [1,2,3]. Това е особено важно при проучване на археологически обекти, където изследването се основава главно на анализ, свързване и интерпретация на данни, събрани по време на изкопния процес. В този контекст, в тази статия се описва методологията за 3D документацията на археологични разкопки, която придобива популярност през последните няколко години и по-специално фотограметрично въздушно изследване с помощта на БЛА платформи [4,5]. Какви са предимствата за използване на 3D дигиталните техники в този археологически контекст? На полето е възможно значително да се намали времето за картографиране в сравнение с конвенционалните методи. Тези техники също така намаляват грешките при събирането на данни, които могат да бъдат предубедени от субективността. Важно е да се отбележи, че в най-общия случай в края на всяка полева дейност, зоната на разкопките се покрива с пръст и през следващия сезон се проучва нов сектор. Следователно няма възможност да се остави открита цялата изследвана територия. 3D дигиталните техники, дават възможност за реконструкция на общ план на проучвания терен, посредством използване на фото мозайки и 3D изображения, отразяващи всички детайли от началото на разкопките до края [6].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Технология на процеса по 3D дигитализация на археологически обекти с използване на БЛА

Възможностите на съвременните летателни апарати да заснемат изображения с висока резолюция позволи внедряването им и за подобряване на ГИС. Заснетите изображения могат да бъдат обработени и посредством тях да бъдат създадени в 2D ортомозайки/карти или 3D модели. Този нов метод за събиране на растерни данни, допълва съществуващите техники, при които се използват сателитни изображения. Безпилотните апарати позволяват на потребителите да събират географски реферирани изображения без необходимостта от бавна и много скъпа подготовка (като при заснемане от сателит или самолет). 3D дигитализацията посредством БЛА би било невъзможно без някои основни техни функции [5]. Съвременните системи разполагат със набор от висококачествени системи за сигурност, навигация и мониторинг. Това довежда и до възможността за напълно автономно изпълнение на предварително зададена мисия. Планирането на мисии се извършва благодарение на специализирани софтуери и основно се използва за създаване на летателен план за различни

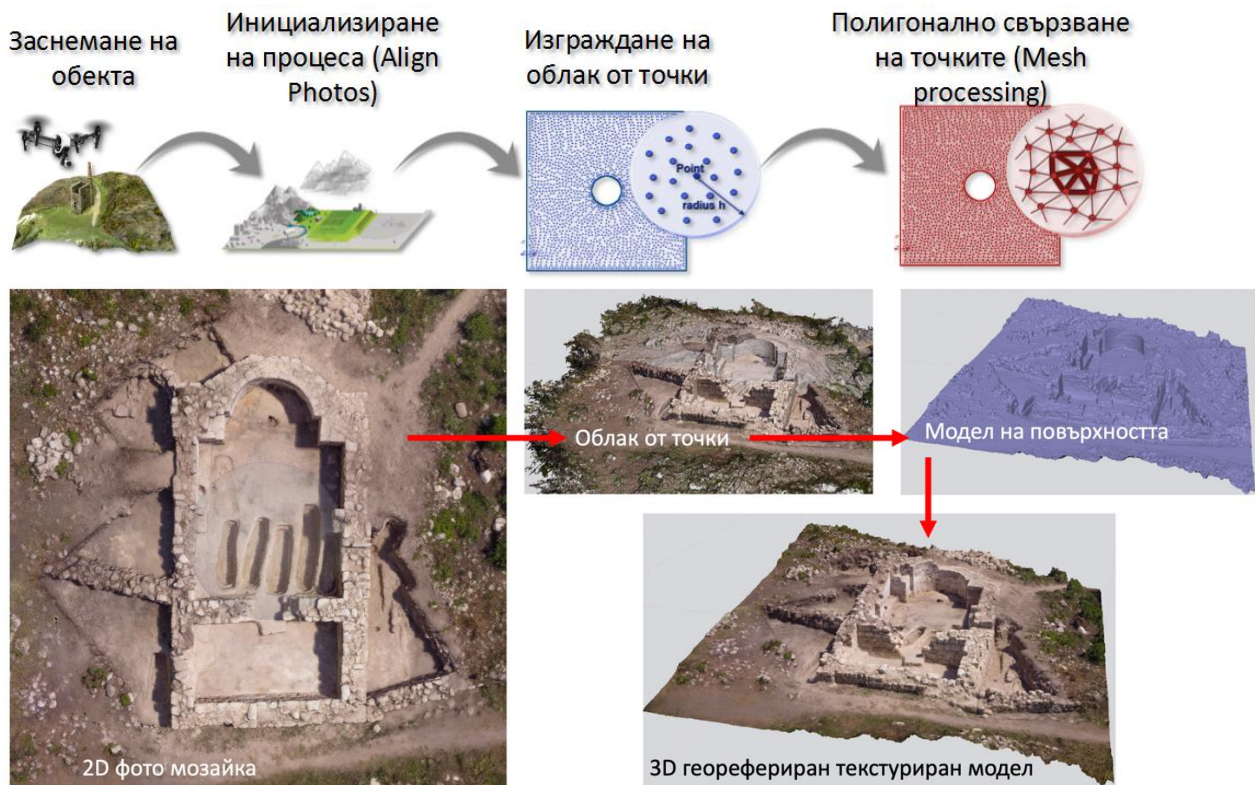
по тип мисии. Планирането на мисията на БЛА, полета, заснемането на изображенията и обработката на данните, могат да бъдат осъществени в един единствен ден. Реконструирането на обекти в 3D модели става възможно посредством използването на принципа за фотограметрия. Фотограметрията е процес за определяне формата, размерите, положението и други количествени и качествени характеристики на различни обекти от земната повърхност по тяхна фотоснимка. Принципа на фотограметрията е свързан със заснемането на множество препокриващи се снимки на желанния обект и последващото измерване за получаване на 3D модела. Основния принцип на фотограметрията е подобен на този за създаване на панорамни снимки чрез обединяването на множество покриващи се снимки в 2D мозайка. Фотограметрията предоставя същата концепция, но една стъпка по-напред. Фотограметрията е процес, който дава приблизителна оценка на X, Y и Z координатите на всеки пиксел от оригиналното изображение. На база на тези координати и местоположението на камерата при различните снимки се определя разстоянието на характерните точки до камерата.



Фиг. 1 Принцип на фотограметрията с използване на БЛА

Първата фаза по реконструиране и изграждане на 3D модел завършва със заснемането на обекта. Следващите етапи са свързани със софтуерна обработка на изображенията. Независимо от избрания софтуер, най-общо, процесите са едни и същи и те са показани като диаграма на фиг.2.

Принципа (фиг.2) се състои от следните основни стъпки: Инициализация на процеса - първият етап на обработка на изображенията е свързан със сравняване на пикселите от изображенията и откриване на съпадения между тях. На база на получените резултати се изчисляват местоположенията на камерата и нейният ориентир; Изграждане на облак от точки - тази стъпка е свързана с изграждане на облак от точки, получени при сравнението на пикселите в първия етап. Тук всеки характерен пиксел от изображенията се сдобива с X, Y и Z координати в 3D пространството; Полигонално свързване на точките - в тази стъпка се извършва съединяване на всеки три съседни точки от облака. По този начин се създава илюзия на човешкото око за непрекъсната повърхност на изграждания модел; Изграждане на текстура - оригиналните изображения се обединяват в текстурна разгъвка, която в този етап от обработка „опакова“ полигонално свързаните точки. В резултат се получава текстуриран геореферен 3D модел.



Фиг. 2 Принцип на изграждане на 3D модел посредством заснети от въздушното пространство изображения

Получените изходни данни след реконструирането на триизмерния модел могат да бъдат експортирани като: 2D Ортофото мозайка, DSM модел, Облак от точки, 3D текстуриран георефериран модел. На фиг. 3 е показана 2D фото мозайката създадена с БЛА и скица на обекта направена по конвенционален метод от археолозите на РИМ – Русе.

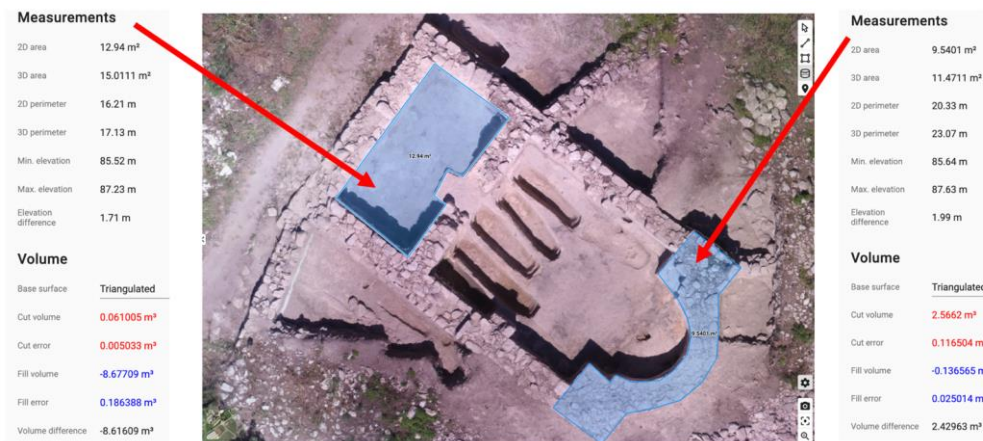


Фиг. 3 2D фото мозайка и скица на обекта

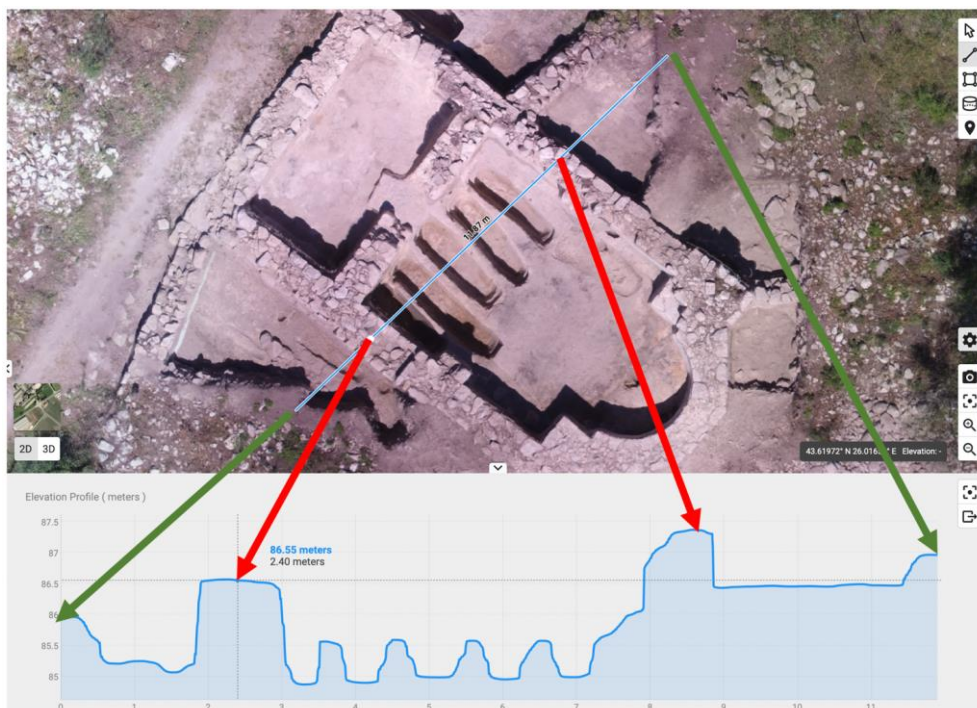
Пример за възможности на БЛА за дигитализация на археологически обекти и извършване на дистанционни измервания на земна повърхност

След извличането на наземните кадри, освен създаването на детайлни 3D модели, е възможно крайните продукти да послужат и за извършване на дистанционни измервания на земна повърхност и обеми. Използването на съвременните географски информационни системи позволяват, както създаването на триизмерни обекти, така и измерване на някои от основните им физични характеристики. Такива характеристики са например разстояние, площ и обем на заснетите обекти. В този раздел е разгледан обстоен пример, как се извършва подобна процедура.

Извършване на измерването независимо от групата в която попадат (разстояние, площ обем) се постига чрез изграждане на квадратна решетка, която служи за основа на последващите изчисления. На фиг. 4, 5 са дадени изчислените обемни характеристики за дигитализирания обект и сечение по ширина на обекта. Както се вижда от фигурите, софтуерът предоставя пълна информация за общата заемана площ на дадения обект (в квадратни метри) и съответните обемни характеристики (изкопни – Fill Volume с отрицателен знак и насипни – Cut Volume с положителен знак в кубични метри), а също така и общия обем на обекта (Total Volume в кубични метри).



Фиг. 4 Изчисляване на обемните характеристики на насипни и изкопни обекти



Фиг. 5 Анализ на сечението на 3D модела

Разрезът на модела извлича информацията за издигането от DSM модела и изобразява профил на височината на повърхността (фиг.5). Друга налична информация, е като например минимум и максимум на надморската височина и наклон на профила.

ИЗВОДИ

В тази статия се представи приложение на БЛА за генериране на 3D модели на археологически обект. За избрани райони от разкопките са създадени DSM модели и ортоизображения с помощта на фотограметрична техника. Разделителната способност на изображенията е под 2см/пиксел. Различните мащаби на изображенията са избрани въз основа на нуждите на археолозите за различни нива на детайлите в зависимост от значението на регионите. Реализацията на тази методика доведе до подробна документация на част от обекта за изкопни работи, даваща модели с различно ниво на детайли, започвайки от изкопната площадка, подробните модели на специфични траншеи и завършва с подробни модели на изкопани артефакти.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper reflects the results received during the implementation of Project №2018-FEEA-02, funded by the Scientific and Research Fund of the University of Ruse “Angel Kanchev”. The study was financially supported by the University of Ruse “Angel Kanchev” contract №BG05M2OP001-2.009-0011-C01, "Support for the development of human resources for research and innovation at the University of Ruse “Angel Kanchev”", which is funded with support from the Operational Program "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020" financed by the European Social Fund of the European Union.

REFERENCES

- [1] Balletti, C., Guerra, F., Scocca, V. and Gottardi, C., (2015). 3d integrated methodologies for the documentation and the virtual reconstruction of an archaeological site. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 215;
- [2] Chiarini, S., Cremonesi, S., Fregonese, L., Fassi, F. and Taffurelli, L., 2014. A multi-range approach for cultural heritage survey: a case study in mantua unesco site. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(5), pp. 157;
- [3] Conati Barbaro, C., Malinverni, E. S., Tassetti, A. N. and La Marca, C., 2013. The archaeological excavation of the early neolithic site of portonovo as a case study for testing a 3d documentation pipeline. In: *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Archeopress, pp. 593–602;
- [4] Lonneville, B., De Roo, B., Stal, C., De Wit, B., De Wulf, A. and De Maeyer, P., 2014. Accurate and cost-efficient 3d modelling using motorized hexacopter, helium balloons and photo modelling: A case study. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 8740, pp. 410–417;
- [5] Pierdicca, R., Frontoni, E., Zingaretti, P., Malinverni, E. S., Colosi, F. and Orazi, R., 2015a. Making visible the invisible. augmented reality visualization for 3d reconstructions of archaeological sites. In: *Augmented and Virtual Reality*, Springer, pp. 2537;
- [6] S.A. Aqduş et al, “Discovering archeological cropmarks: a hyperspectral approach,” Dept. Geographical Earth Sciences, Univ. Glasgow, Glasgow, UK, Rep. G12-8QQ, 2008;