ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 56 2023 Брой Issue 2

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY SOFIA

Получена: 30.12.2022 г.
Приета: 01.03.2023 г.

СЪЗДАВАНЕ НА 3D МОДЕЛИ НА АРХИТЕКТУРНИ ОБЕКТИ ВЪЗ ОСНОВА НА ХИБРИДНА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА СКАНИРАНЕ

Ц. Атанасова-Евденова[1], Я. Стаменова[2]

Ключови думи: *архитектурна фотограметрия, близкообхватна фотограметрия, сканиране, фотореалистично 3D моделиране, документиране*

РЕЗЮМЕ

За създаването на тримерни модели на архитектурни обекти е използван ръчен 3D скенер EINSCAN H, базиран на хибридна технология. Технологията включва използването на структурирана светлинна от LED и невидима инфрачервена светлина в едно устройство, както и вградена цветна камера. Приложената методика осигурява надеждно документиране на различни обекти, позволява безопасен и удобен процес на сканиране и предоставя висококачествени пълноцветни 3D данни, готови за употреба за минути. Извършени са експерименти със сканиране на обекти с различни текстури, материали и геометрия с цел постигане на оптимални резултати при заснемането и формирането на 3D модели.

1. Въведение

Архитектурната фотограметрия е инженерна дисциплина, която бързо се променя в резултат на иновации, на разработване на нови програмни продукти, нови технологии, нови методи за събиране на данни и развитието на компютърните науки и електроника като цяло. Тя е използвана успешно за документиране, което удовлетворява нуждата от създаване на точното копие, представящо визуално характеристиките на даден архитектурен обект или на елементи от него.

[1] Цветелина Атанасова-Евденова, гл. ас. д-р инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tsatanasova_fgs@uacg.bg
[2] Яна Стаменова, студентка, кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gfac.4904@uacg.bg

Многобройни проучвания са фокусирани върху технологиите, използвани във фотограметрията. Бьолер и Марбс твърдят в труда си [1], че коя техника на измерване е по-добра от друга, не може да бъде определено еднозначно. С развитието на технологиите и увеличаването на избора от инструменти, експериментирането с различни техники и методи става все по-наложително.

Наличието на все по-голямо разнообразие от обекти със специфични особености, отнасящи се до заснемането им (като определени цветове, материали, местоположение, ограничения за достъп), както и нуждите от разширяване на възможностите за съвместна работа с други научни направления, създават необходимост да се комбинират различни технологии и методи за преодоляване на трудностите при документирането.

3D скенерите се използват широко в много индустрии като здравеопазване, контрол на качеството, реверсивно проектиране и други. Лазерното сканиране е модерна технология, чрез която по лесен и скоростен начин се получават тримерни данни за даден обект. В много случаи именно то е предпочитан източник на данни за създаването на високоточни модели чрез облак от точки [2]. Лазерното сканиране обаче не може да осигури решение на всяка задача, свързана с документиране на обект, при някои инструменти могат да възникнат проблеми при отразяването на сигнала от определени повърхности.

Предвид предишни проучвания, проведени чрез лазерни скенери, инструменти използващи структурирана светлина и бюджетни технологии върху изследването на скулптури с неоднородни текстури, специфични цветове и форми [3], са създадени фотореалистични модели на четири различни обекта чрез използването на ръчен скенер с хибридна технология.

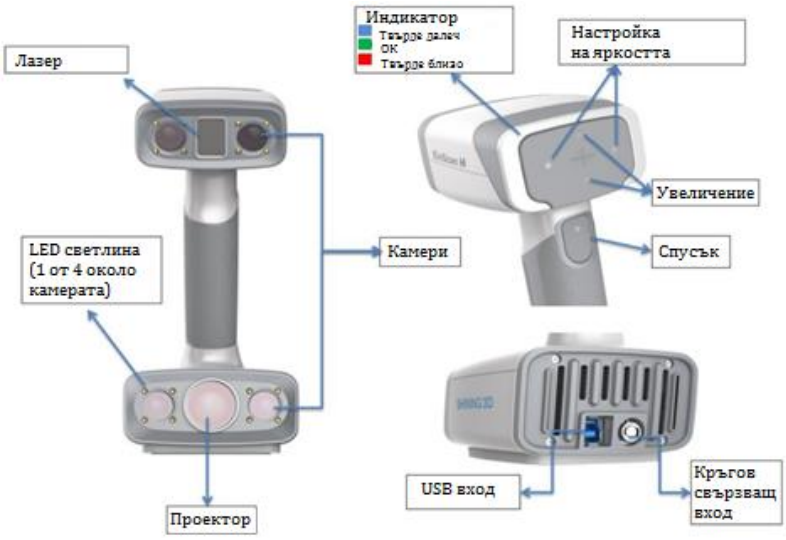
2. Фотограметрично заснемане

2.1. Оборудване и софтуер

Използван е ръчен 3D скенер EinScan H на фирмата SHINING 3D (фиг. 1). Ръчният 3D скенер EinScan H работи въз основа на хибридна технология, включваща структурирана светлинна от LED и невидима инфрачервена светлина, с вградена цветна камера и голямо зрително поле. Осигурява точност до 0,05 mm на сканираните данни и обемната точност 0,1 mm/m при скорост на сканиране – 1 200 000 т/с, 20FPS, честота на кадрите на камерата – 55FPS. Разстоянието, при което може да бъде извършвано заснемането, е 470 mm. Максималният обхват на сканиране в стандартен режим е 420 mm × 440 mm. Разстоянието между точките е от 0,25 mm до 3 mm. Размерът на ръчния скенер е 108 mm × 110 mm × 237 mm и е с тегло 703 g.

При тази технология се проектира структуриран светлинен модел върху обекта и се заснемат начините, по които обектът деформира светлинния модел. Последователното падане и заснемане от две или повече камери на множество препокриващи се ивици позволява разграничаването на стойностите на дълбочината на обекта, съгласно принципа на триангулацията. Обектът се използва като препратка между последователни позиции на сканиране.

При сканирането на обектите, разгледани в статията, са извършени експерименти и с трите режима на сканиране – Standart scan, Body scan, Face scan. Подробности за всеки от тях са посочени в табл. 1. За сканирането и обработката е използван софтуерен продукт EX Scan.



Фиг. 1. Ръчен 3D скенер Einscan H

Таблица 1. Режими на сканиране

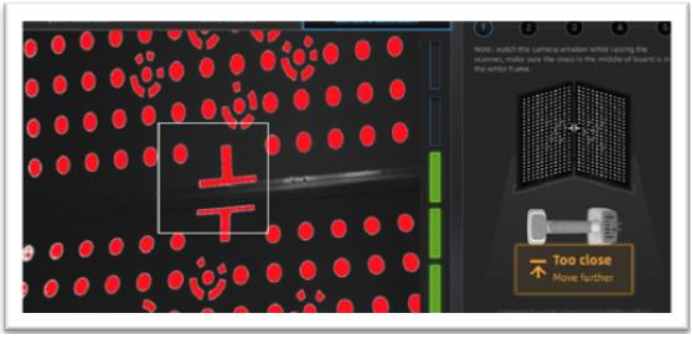
STANDARD SCAN	BODY SCAN	FACE SCAN
• Обекти с обем от 300 mm до 4 m • LED светлина • Разделителна способност: • 0,25 – 3 mm • Фабрична точност 0,05 mm • Начин на ориентиране: по марки/равнини/текстури	• За движещи и/или вибриращи обекти • LED светлина • Разделителна способност: • 0,25 – 3 mm • Фабрична точност 0,05 mm • Начин на ориентиране – по равнини	• За лица, части от тела и др. • Инфрачервена светлина • Разделителна способност: • 0,25 – 3 mm • Фабрична точност 0,05 mm • Начин на ориентиране – по равнини или по марки

2.2. Калибриране

Преди стартирането на сканиране с Einscan H е необходимо да се извърши калибриране. Има 3 режима на калибриране: стандартно (Standard), бързо (Quick), баланс на бялото (White Balance).

Първият етап от калибрирането служи за определяне на метричните характеристики на камерите за извършване на ориентирането. При него се използва предварително геометрична и радиометрична известна структура под формата на табло за калибриране и позициониращ лист (фиг. 2 и фиг. 3). Таблото се поставя върху позициониращия лист под ъгъл, който да осигури коректното калибриране на скенера. Процесът се извършва чрез софтуерен продукт EXScan H, като се следват стъпките от програмата. Срещу вертикално поставеното калибриращо табло скенерът се държи от оператора при пет позиции, така че центърът на плоскостта да бъде ясно видим. Във всяка позиция се извършват приближаващи и отдалечаващи движения, като при събирането на достатъчно данни за дадено отдалечение софтуерът дава индикация чрез запълването в зелен цвят на петстепенната скала, визуализирана на екрана. При завършване на етапа на калибриране при определено положение на сканиращото устройство софтуерът

автоматично пренасочва към следващото такова, при което аналогично е необходимо да бъдат осигурени необходимите отдалечения с цел събирането на достатъчно данни за извършване на процеса.

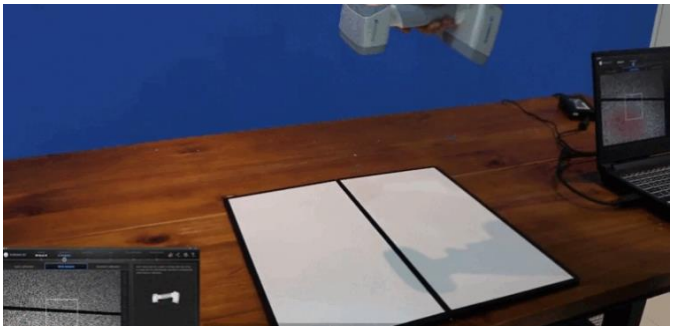


Фиг. 2. Извадка от интерфейса в софтуера

Калибриращо табло Позициониращ лист

Фиг. 3. Табло за калибриране и помощен лист

Следващият етап от процеса на калибриране е калибиране на баланса на бялото (фиг. 4). То е необходимо за получаване на точна цветна текстура. Препоръчва се да се извършва всеки път при включване на текстурната камера или при промяна на средата на осветление. При него се използва другата страна на калибриращото табло, която по своята същност представлява идеално бяла и гладка структура, и отново чрез софтуерния продукт EXScan H се извършва неговото сканиране. Процесът е аналогичен на стандартната калибрация, но при едно положение на сканиращото устройство и при различни отдалечения от хоризонтално поставеното калибриращо табло. След събиране на достатъчно данни, софтуерът прекъсва процеса, извършва обработка на данните и автоматично въвежда необходимите параметри на камерата.



Фиг. 4. Калибриране на баланса на бялото

2.3. Сканиране на тримерна гипсова картина

Тримерната гипсова картина се намира в Ректората на УАСГ в близост до лабораториите по фотограметрия. Тя представлява светъл обект с ниска геометрична сложност.

Извършено е сканиране чрез два режима – Standart и Face. При стандартния режим се използва LED светлината при сканирането на обекта, а при Face режима се използва инфрачервената светлина. Изготвени са два фотореалистични тримерни модела. Проведените експерименти показват, че при сканиране в стандартен режим чрез LED светлина изкуственото осветление оказва влияние върху текстурата на крайния резулат (фиг. 5). Когато при същите условия се използва режим на сканиране чрез инфрачервена светлина, не се наблюдават изменения в текстурата и цветовете на създадения 3D модел (фиг. 6).

При всички експерименти, проведени с тримерната гипсова картина, е използвана и вградената цифрова камера в ръчния скенер Einscan H.

Фиг. 5. Модел, получен чрез LED светлина и при изкуствено осветление

Фиг. 6. Модел, получен чре инфрачервена светлина и при изкуствено осветление

2.4. Сканиране на капител

Вторият обект, на който са създадени 3D модели чрез различни технологични схеми, е капител, предоставен от Архитектурния факултет при УАСГ. Капителът е светъл на цвят, но за разлика от тримерната гипсова картина е обект с по-висока геометрична сложност.

Извършени са експерименти и чрез трите режима на сканиране и в комбинация с вградената цифрова камера. Поради сложността на архитектурния обект върху него са поставени 144 марки, които са площно разположени във всяка от равнините на капителa, както и върху въртящата се поставка (фиг. 7), използвана при заснемането.

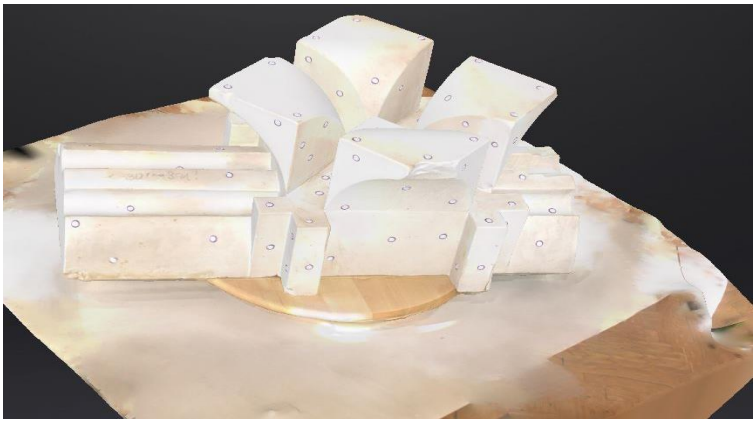
Фиг. 7. Въртяща се поставка

След сканирането се установи, че при стандартния режим (фиг. 8) и Face режима (фиг. 9) крайните продукти са представителни за геометрията и текстурата на обекта.

Фиг. 8. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Standart

Фиг. 9. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Face

При режим Body се забелязват проблеми при формирането на текстурата на 3D модела и съвместяването на точковия облак от различните ъгли, използвани при сканирането. Цветът на капитела е изменен в следствие на грешно ориентирани точки от равнина на поставката, върху която е разположен обектът (фиг. 10).



Фиг. 10. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Body

След извършен анализ се установи, че тези недостатъци са следствие от оринтирането по равнини, на което се базира режимът Body. Ориентирането на точковите облаци, формирани по време на сканирането в режими Standart (фиг. 8) и Face (фиг. 9), е извършено чрез поставените върху архитектурния обект марки, поради което при геометрично сложни обекти, те са по-подходящи за създаването на 3D модел.

2.5. Сканиране на трофейна купа

Третият сканиран обект е трофейна купа. Купата има плътна дървена текстура и е геометрично сложен обект поради своята симетричност. Извършено е сканиране и в трите режима, като е използвана и въртяща се поставка.

Върху обекта не е възможно да бъдат поставени марки, чрез които да се улесни създаването на фотореалистичните модели. Поради това при сканирането е използвана опцията за ориентиране по равнини. При нея подравняването при формирането на точковия облак се базира на геометричните характеристики на обекта.

След анализ на получените резултати се установи, че при такъв тип обекти най-подходящ е стандартният режим на сканиране. Получава се фотореалистичен 3D модел на трофейната купа, който е геометрично верен и представлява нейно точно визуално копие (фиг. 11).

В следствие на симетричността на трофейната купа при сканирането чрез режим Body се формира непълен точков облак, липсва половината от обекта, и съответно не е възможно създаването на цялостен 3D модел на обекта (фиг. 12).

Фиг. 11. 3D модел, получен чрез сканиращ режим Standard

Фиг. 12. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Body

При използването на инфрачервената светлина чрез режим Face се създава модел, който не отговаря на геометрията на обекта. Вместо две огледално разположени дръжки, при точковия облак се забелязва формирането на четири дръжки (фиг.13).

Фиг. 13. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Face

2.6. Сканиране на фотограметричен обектив

Последният обект, сканиран чрез различни технологични схеми, е фотограметричен обектив, който се предвижда да бъде музеен експонат. Обективът е симетричен обект, с гладка и тъмна отразяваща повърхност. Извършено е сканиране в два режима – стандартен и Face. Използвани са също въртяща се поставка, сканиращ спрей, марки и допълнителен бял куб за подпора.

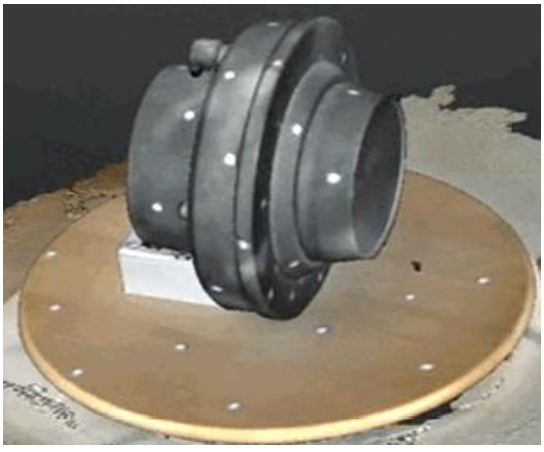
При първото сканиране е използван стандартен режим. Не са поставени марки предварително, а ориентирането е извършено по равнини. Не е използван и сканиращ спрей, с цел да се установи до колко отразяващата повърхност на обекта оказва влияние при формирането на точковия облак. При сканирането се установи, че не е възможно формирането на плътен точков облак, който да отразява геометрията на обекта (фиг. 14).

Фиг. 14. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Standard

Извършен е втори опит, при който върху повърхността на обекта е нанесен самоизпаряващ се сканиращ спрей AESUB Orange Scanning Spray. Отново е извършено ориентиране по равнини. Формираният точков облак е по-плътен и отразява геометрията на обекта, но се забелязват множество неправилно определени точки от въртящата се поставка (фиг. 15).

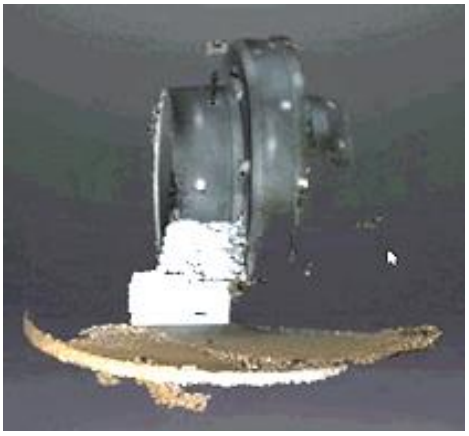
Фиг. 15. Точков облак, получен чрез сканиращ режим Standard

С цел получаване на цялостен и кроектен 3D модел на обектива върху него са поставени 58 марки и ориентирането е извършено по тях. При сканирането отново е използван сканиращ спрей. Полученият точков облак отразява правилно геометрията на обекта и не се забелязват грешно определени точки (фиг. 16).



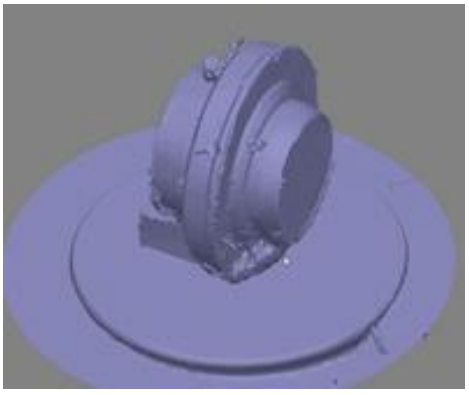
Фиг. 16. Точков облак, сканиращ режим Standard с марки

Извършени са сканирания и с инфрачервената светлина чрез режим Face като предварително е нанесен слой от самоизпаряващия се сканиращ спрей. В този режим не е възможно ориентирането по марки при създването на облака от точки и вградената цифрова камера да се използват едновременно. Поради това първо е извършено сканиране с ориентиране по равнини и с включена цветна текстура. Полученият точков облак е непълен и не е възможно създаването на цялостен 3D модел на обекта (фиг. 17).



Фиг. 17. Точков облак, сканиращ режим Face, ориентиране по равнини

Извършено е сканиране и чрез ориентиране по марки и без да се използва вградената цветна камера на ръчния скенер. Облакът от точки отразява правилната геометрия на обекта и няма грешно определени точки (фиг. 18). Недостатък в този случай е липсата на информация за цвета и текстурата на обектива.



Фиг. 18. Точков облак, сканиращ режим Face, ориентиране по марки

3. Извод

Проведените експерименти с ръчния скенер Einscan H показаха, че технологията осигурява мигновено създаване на 3D модели и би била подходяща както за документиране на малки архитектурни обекти, така и за създаване на тримерна галерия на музейни експонати. Сред едно от големите предимства на технологията е възможността за наблюдение на формирането на тримерния модел в реално време. Тя може да бъде подходяща и за много светли и много тъмни обекти, с които класическите методи на близкообхватната фотограметрия срещат трудности.

Важно е да се отбележи, че за получването на висококачетвени фотореалистични 3D модели по време на сканирането е необходимо при промяната на ъгъла на сканиране движението да се извършва бавно, да се следи мониторът и да се наблюдава формирането

на точковия облак, за да се коригират яркостта на скенера и отдалечението от обекта, когато е необходимо. Трябва да се вземат предвид особеностите на обектите, които ще се сканират. Резултатите от проведените експерименти са обобщени в табл. 2.

При обекти със сложна геометрия и симетричност е необходимо да се използват марки. Когато това не е възможно, е подходящ стандарният режим на сканиране чрез ориентиране по равнини. В този случай обаче е необходимо повече време за формирането на плътен и геометрично верен облак от точки.

Когато обектите са с тъмен цвят и имат отразяваща повърхност, е подходящо да се използва сканиращ спрей. Нанасянето трябва да е равномерно и от приблизително еднакво разстояние. При музейни експонати е необходимо той да бъде самоизпаряващ се.

Препоръчително е създаването на облака от точки да се извършва при непроменящи се условия в процеса на сканиране, като например да няма промяна в осветлението, за да не се формират сенки върху обекта, което би затруднило процеса.

Преди сканирането на светли обекти и последователното сканиране на обекти с различна текстура е необходимо да се извършва калибриране на баланса на бялото.

Използването на хибридна технология, включваща сливането на два различни типа светлина в едно устройство, предлага решение на проблема с документиране на различни материали и цветове, заснемане без предварителна подготовка на референтни точки, позволява безопасен и удобен процес на сканиране, а в комбинация с вградена цветна камера предоставя висококачествени пълноцветни 3D данни, готови за употреба за минути. Към недостатъците могат да бъдат отнесени по-малкият радиус на действие, както и ограничението, което възниква по отношение на големината на обекта.

Таблица 2. Обощение след проведените експерименти

Вид обект	Характеристики на обекта	Особености при сканирането	Настройки на сканирането
Тримерна гипсова картина	Светъл обект, ниска геометрична сложност	❑ Калибриране на баланса на бялото	Стандартно (Standard) – LED или Face – Infrared; Ориентиране по равнини. Разликата между двата режима е в текстурата и времето за сканиране
Капител	Светъл обект, геометрично сложен	❑ Калибриране на баланс на бялото ❑ Поставяне на марки	Ориентиране по марки и в трите режима. Текстурни разлики. Body режим – най-бърз, но по-неефективен
Купа	Плътна дървена текстура, симетричен обект	❑ Невъзможност за поставяне на марки	Ориентация по равнини в стандартен режим. Трудоемко и времеемко
Обектив	Отразяваща повърхност, симетричен обект, тъмен цвят	❑ Калибриране ❑ Използване на сканиращ спрей ❑ Поставяне на марки	Стандартен режим на сканиране с ориентация по марки и включена опция за текстура

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Б#261/22 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Boehler, W., Marbs, A.* 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison. 2004, Proc. 12th Int. Conf. on Geoinformatics − Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and AtlanticUniversity of Gävle, Sweden, 7-9 June 2004.

2. *Budroni, A., Boehm, J.* Automatic 3d Modelling of Indoor Manhattan-world Scenes from Laser Data. 2010, ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, UK Newcastle, pp. 115-120.

3. *Morena, S., Barba, S., Álvaro-Tordesillas, A.* Fotogrammetria e tecnologia IR per un rilievo digitale lowcost della scultura “Torso”, di Eduardo Chillida. 2014, AA.VV. LDL-C: Levantamiento Digital Low-Cost, Valladolid. Ediciones Universidad De Valladolid, 67-80, 2014.

4. https://3dscan-shop.de/wp-content/uploads/2021/03/Shining3D-EinScan-H-User-Manual-V1-0-3-0.pdf, poseten na 10.10.2022.

5. *Morena, S., Barba, S., Álvaro-Tordesillas, A.* Shining 3D Einscan-Pro, application and validation in the field of cultural heritage, from the chillida-leku museum to the archaeological museum of Sarno. 2019, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W18, 2019 Optical 3D Metrology, 2-3 December 2019, Strasbourg, France.

6. *Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, J., Boehm, D.* Mobile laser scanning for indoor modelling. 2013, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2, 2013 ISPRS Workshop Laser Scanning 2013, 11-13 November 2013, Antalya, Turkey.

CREATING 3D MODELS OF ARCHITECTURAL OBJECTS BASED ON HYBRID SCANNING TECHNOLOGY

Ts. Atanasova-Evdenova[1], Y. Stamenova[2]

Keywords: *architectural photogrammetry, close-range photogrammetry, scanning, photorealistic 3D modeling, documentation*

ABSTRACT

A handheld 3D scanner EINSCAN H based on hybrid technology was used to create 3D models of architectural objects. The technology includes the use of structural LED light and invisible infrared light in one device, as well as a built-in color camera. The applied methodology ensures reliable documentation of various objects, enables a safe and convenient scanning process and provides high-quality full-color 3D data ready for use in minutes. Experiments have been carried out with scanning objects with different textures, materials and geometry in order to achieve optimal results in capturing and forming 3D models.

[1] Tsvetelina Atanasova-Evdenova, Ch. Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tsatanasova_fgs@uacg.bg

[2] Yna Stamenova, student, Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: gfac.4904@uacg.bg