

ПРЕОДОЛЯВАНЕ НА ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА В ПРОЦЕСА НА 3D СКАНИРАНЕ НА ИНТЕРИОРНИ ПРОСТРАНСТВА: ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ

Мария Иванова - Лозанова¹

OVERCOMING CHALLENGES OF 3D INDOOR SCANNING: APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Maria Ivanova - Lozanova¹

Abstract:

The dynamic development of Artificial Intelligence and its multiple applications in various fields is leading to transformative advances in architectural practice, including the field of 3D scanning of interiors. The integration of computer algorithms and deep learning techniques is often aimed at overcoming the challenges and limitations that hinder the capture of our environment and are caused by its various factors. From the application of adaptive techniques to the development of autonomous devices, innovative scanning strategies have the potential not only to increase the efficiency of the process building upon traditional methods, but also to completely change the way we interact with spaces.

Keywords:

3D Scanning, Artificial Intelligence, Interior Spaces, Challenges

1. ВЪВЕДЕНИЕ

3D сканирането обхваща комплексния процес на улавяне на осезаеми геометрични и визуални характеристики на реални обекти или среда и трансформирането им в дигитални близнаци. [1] Това се осъществява посредством сензори и оборудване, интегриращи различни принципи на действие и механизми за извличане на пространствена информация контактно или безконтактно. (чрез лазерни скенери, структурирана светлина, фотограметрия и др.) [2] Създаването на прецизни триизмерни модели е от ключово значение в сферите на проектирането, анализа и визуализацията на интериорни пространства и е важна предпоставка за успешното им развитие и поддръжка по време на експлоатация. Често ефективността и точността на процеса биват възпрепятствани от различни по естество предизвикателства, включващи фактори на околната среда,

¹ Мария Иванова-Лозанова, докторант, катедра „Интериор и дизайн за архитектурата“, архитектурен факултет, Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), бул. “Христо Смирненски“ 1, гр. София, maria_ivanovva@abv.bg;

Maria Ivanova – Lozanova, PhD Student, Department of Interior and Architectural Design, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG), Sofia, maria_ivanovva@abv.bg;

технически ограничения на приложените методи и особености на сканираните обекти. Внедряването на иновативни техники, базирани на изкуствен интелект, подпомага преодоляването на тези ограничения и резонира с високите съвременните изисквания за качество. [3] Разработват се адаптивни стратегии за сканиране с потенциал за бъдещо развитие в посока пълноценна автоматизация на различните му измерения: от събиране през обработка до интерпретация на триизмерни данни.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Видове предизвикателства пред триизмерното сканиране и традиционни методи за тяхното преодоляване

Разбирането на характеристиките на интериорните пространства е от решаващо значение за успешното им сканиране, тъй като пряко се отразява върху точността и качеството на получените резултати. Влияние оказват както факторите на външната среда, така и присъщите физически свойства на отделните елементи, които подлежат на заснемане. Необходимо е да бъдат отчетени и параметрите на избраното техническо оборудване, неговите ограничения и настройки с цел постигане на оптимални резултати. Част от предизвикателствата, присъщи за процеса на триизмерно сканиране включват:

- Фактори на околната среда при сканиране на открито: екстремни метеорологични условия (твърде ниски или високи температури, валежи, ветрове, мъгла и др.), които могат да намалят значително качеството на изходните данни или да възпрепятстват тяхното събиране; [4] Сканирането като дейност подлежи на планиране, но проследяването на последващи процеси може да бъде сериозно засегнато, ако времето е неблагоприятно за продължителен период от време, особено през зимните месеци. Съгласуването на интериорното заснемане с екстериорното е от значение при преустройство или реконструкция на цялостни обекти и предоставя съществена информация за пълноценното им проектиране;

- Неравномерно осветление, създаващо сенки и изкривявания в данните; Условията на слаба или много силна светлина могат да доведат до размазване или шум в резултатите от сканирането. В тази връзка изборът на правилен часови диапазон за сканиране с оптимални условия на осветеност е от значение; [5], [6]

- Трудна достъпност поради местоположение на обекта или размер на пространството: обширните зони изискват заснемане от множество различни точки, за да се обхванат качествено, докато при много малки тесни пространства е необходима специализирана техника; [6]

- Пространства с ограничен достъп поради специфичен статут, режим на ползване или ниво на сигурност; [7]

- Пространства с комплексна геометрия или множество препятствия, ограничаващи видимостта на сканиращото устройство и неговата траектория; Препятствията могат да бъдат класифицирани като статични (скелета, строителни материали, инструменти, елементи от обзавеждането и др.), които подлежат на преместване, и динамични (например движещи се работници и строителна техника). Последните могат да бъдат избегнати чрез сканиране на средата извън работното време на обекта, което създава допълнителни ограничения; [4], [6]

- Специфични типове повърхности на сканираните обекти: силно отразяващи или прозрачни (стъкло, пластмаса и др.) както и особени текстури и ярки наситени цветове, взаимодействащи със светлината по различен начин; Поглъщането или разпръскването на светлината, излъчена от лазерните скенери, възпрепятства коректното разчитане на геометрични характеристики. [6], [8] Като решение за сканиране на прозрачни обекти се явява техниката Scanning from Heating (SFH) (Фиг.1). При нея отраженията върху

стъклото не оказват влияние, тъй като сензорът на камерата улавя местоположението на излъчването на топлинното лъчение, причинено от лазера, а не проекцията на лазерния лъч. [9], [10] Сканирането на тъмни обекти, които поглъщат светлина, може да се осъществи посредством по-мощни лазери или използване на синя светлина, която се явява много по-ефективна от бялата или червената заради късата дължина на вълната. В много случаи приложение намират различни видове маркери като магнитни стикери или пудра, с които се покриват обектите, подлежащи на сканиране. За коректното пресъздаване на цветни обекти от съществено значение е дигиталната резолюция на заснемащото устройство; [11]

- Разчитане на информация само на повърхностно ниво, когато става въпрос за архитектурни заснемания; В медицината този тип предизвикателство е преодоляно благодарение на рентгенови лъчи, ултразвук и компютърна томография; [9]

- Установяване какъв е материала на сканираните обекти; [9] Потенциал за подобно извличане на информация имат някои от контактните сканиращи устройства. Пример за това са координатно измервателните машини (СММ - Coordinate-measuring machines), които в комбинация със скенери определят геометрията на обекти чрез дефиниране на отделни точки върху физическата им повърхност с помощта на контактна сонда. [12] Изследователи от университета в Овиедо, Испания са разработили графенов скенер, който може да моделира триизмерни структури отвъд повърхността на сканираните обекти и да идентифицира "химическия състав на материалите им". Техният фокус са древни артефакти и картини, но скенерът може да се приложи в много различни области; [13]

- Необходимост от специализирано оборудване (софтуери и хардуери) и техническа експертиза за снемане, ефективно управление, обработка и анализ на големи количества триизмерни данни; [4]

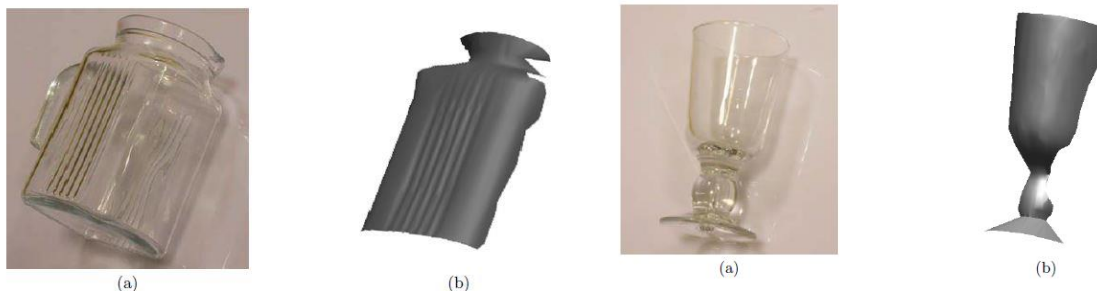
- Голяма инвестиция за оборудване от висок клас и ресурси за съхранение и обработка на данни; В тази връзка фотограметрията се явява достъпен метод за сканиране, тъй като изходните данни под формата на изображения могат да се заснемат с фотоапарат от потребителски клас или смартфон; [4]

- Ограничена разделителна способност, което възпрепятства улавянето на фини детайли в сложни обекти или мащабни среди; Важен параметър, влияещ върху резолюцията на сканирания модел, е разстоянието между точките в него. При настройка на по-малко разстояние е възможно коректно и детайлно възпроизвеждане на сложни повърхности, но с цената на удължен времеви процес за генериране; [5], [11], [14]

- Необходимост от прецизно калибриране на сензори и избор на правилни настройки на сканиращото устройство в зависимост от характеристиките на средата; [2]

- Съвместимост на отделните софтуери за извличане и обработка на данни; [15]

- Наличие на човешки фактор и възможности за грешки; [16]



(a) Transparent glass object, (b) 3D reconstruction by the SFH Scanner

Фигура 1. Използване на SPH технология за сканиране на прозрачни обекти. [9]

Преодоляването на изброените ограничения е важно за пълноценното развитие на технологиите за триизмерно сканиране и оптималното им използване в различни професионални сфери. Традиционните методи в голяма степен са трудоемки, времеемки и субективни по своята същност, тъй като разчитат на човешка намеса и моментна визуална преценка. Все повече значение за постигане на прецизни резултати придобиват възможностите за съвременна реакция и вземане на информирани решения в реално време, достъпа до подходящо оборудване и прилагане на адаптивни настройки, базирани на компютърни алгоритми.

2.2. Приложение на изкуствения интелект: адаптивни техники за сканиране

Възможностите за приложение на алгоритми, базирани на изкуствен интелект, в процеса на триизмерно сканиране покриват голям спектър от дейности, включващи:

- Проследяване на движението на сканиращото устройство в пространството (включително неговата моментна позиция и ориентация) и създаване на своеобразна карта на средата чрез SLAM алгоритми за едновременна локализация и картографиране (Simultaneous Localization and Mapping) [17]; Задвижваните от изкуствен интелект роботи или безпилотни дронове могат автономно да навигират из вътрешните пространства, като планират и оптимизират пътя си, за да осигурят пълно покритие, избягвайки сблъсъци с препятствия или недостъпни зони; [18] (фиг. 3)

- Адаптивно сканиране чрез анализ на средата в реално време и фина настройка на параметри (например разделителна способност, експозиция и др.) с цел оптимално улавяне на данни при различни условия на осветление, видове повърхности и необходимо ниво на детайлност; В зависимост от сложността и структурата на средата ИИ може да пренасочи и концентрира повече специфични ресурси за прецизно сканиране в конкретни зони; [3], [19]

- Комбиниране на данни от множество сензори (LiDAR, RGB-D камери и др.) (Sensor Fusion) [20] и автоматизирано калибриране на последните [1], което гарантира всеобхватност, непрекъсната актуализация и усъвършенстване на триизмерния модел с напредването на процеса;

- Разпознаване и смислово разделяне на обекти в рамките на сканираното пространство с цел генериране на информативен триизмерен модел и възможност за автоматично разграничаване на съществените елементи от средата; Това елиминира необходимостта от ръчно преместване или покриване на обекти; [21]

- Идентифициране на закрити обекти или повърхности въз основа на съществуващи данни от сканиране и подаване на обосновани предположения за тяхната форма и позиция; Алгоритми на изкуствения интелект могат да бъдат обучавани да попълват липсващите данни, интерполирайки сканираните точки, като по този начин реконструират цифрово модела и подобряват целостта му; [16]

- Оптимизиране на времето за сканиране; [3]

- Извършване на проверка на качеството, регистриране на пропуски или несъответствия и сигнализиране за проблеми; Осигуряването на незабавна обратна връзка от устройствата дава възможност за вземане на информирани решения и съвременна реакция, което е от значение при заснемане на комплексни или динамични среди; [3]

- Филтриране на шум и несъвършенства с оглед подобряване на точността и осигуряване на първоначална, но все пак съществена обработка на данните; (фиг. 2) [22]

- Автоматизирано обединяване на няколко облака от точки, генерирани от различни позиции на сканиращото устройство, в единен съгласуван модел; [23]

- Компресиране на обемни масиви от данни, създадени по време на сканиране, с цел оптимизиране на ресурсите за тяхното съхранение, трансфер и обработка без това да намалява качеството драстично;

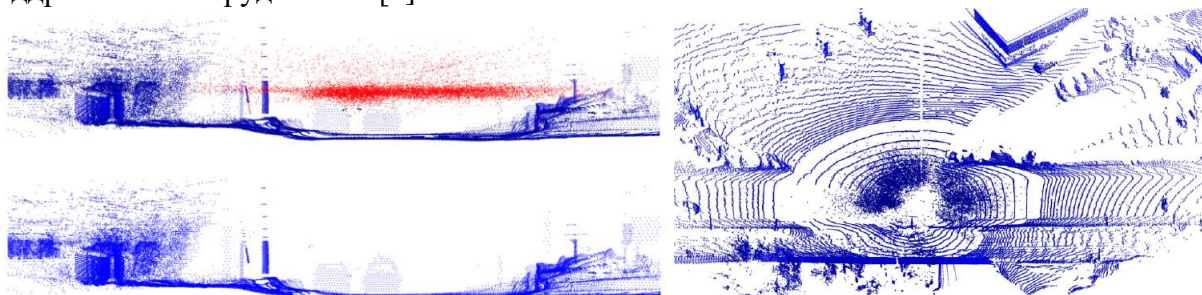
- Съвместимост на софтуери и устройства: Интегрирането на автоматизирани 3D скенери в процеси от по-високо ниво разчита на комбинация от хардуер и софтуер, улесняващи тяхната функция в автоматизирани работни процеси. Използването на стандартни интерфейси като Robot Operating System (ROS) позволява оперативна съвместимост в различни системи. Други преобладаващи стандарти включват OPC Unified Architecture (OPC UA), Initial Graphics Exchange Specification (IGES) и Standard for the Exchange of Product (STEP). [1]

- Своевременно визуализиране на пространството с цел интуитивен анализ и взаимодействие - вокселизация в реално време; Този процес превръща данните от заснемането във воксели (3D версия на двуизмерните пиксели), веднага щом постъпят от сканиращото устройство, балансирайки осветлението, разделителна способност, отражения, сенки, ориентация и др. В резултат на това не е необходимо време за обработка или изчакване между сканирането и създаването на триизмерен модел. [1], [16]

- Създаване на интуитивни интерфейси и опции за контрол в помощ на потребителите; [1]

Приложението на описаните техники зависи от използвания хардуер и софтуер и често включва персонализирано разработване или интегриране на AI алгоритми, съобразени с изискванията на конкретната система за сканиране. Използването на изкуствен интелект надгражда традиционните методи и разкрива нови хоризонти за развитие на технологиите в посока пълна автономност, усъвършенстване и оптимизация на процесите. [1]

Чрез разбиране на същността на средата и нейните елементи алгоритмите за изкуствен интелект разполагат с механизмите да наслагват дигитални обекти върху физическото пространство по-точно и достоверно, което в бъдеще би развило приложенията за добавена (AR) и виртуална реалност (VR). Това ще помогне за създаването на все по-въздействащи дигитални среди, които реагират реалистично на взаимодействията с потребителите и контекста, в който се намират. [24] В допълнение провеждането на виртуални разходки и интерактивни симулации значително улеснява и обогатява представянето на дадена архитектурна идея. Напредъкът в създаването на малогобаритни мобилни технологии може да направи оборудването за 3D сканиране по-лесно преносимо и достъпно за масовия потребител, което ще разшири приложението му. [24] Интегрирането на облачно съхранение и изчисления с автоматизирано 3D сканиране може да доведе до централизирано управление на данни с опции за дистанционен достъп. Това би улеснило работната среда в посока сътрудничество, предоставяйки възможност за обработка на големи масиви данни. [24] Тъй като технологиите стават все по-достъпни, вероятно ще има нарастване на броя на доставчиците на услуги, предлагащи триизмерно заснемане на обекти. Това ще даде възможност на повече индустрии и предприятия да използват предимствата на сканирането, без да е необходимо пряко притежаване и поддръжка на оборудването. [1]



Фигура 2. Филтриране на снежинки, заснети чрез LiDAR в зимни условия, без загуба на съществена информация. [22]

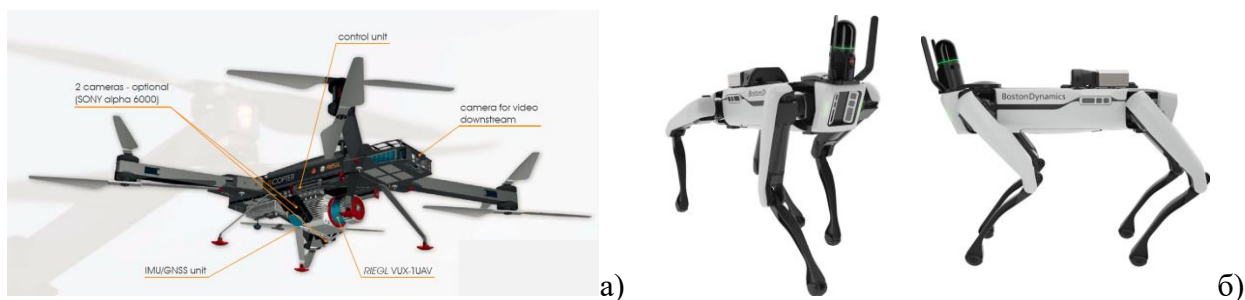


Фигура 3. Траектория на автономен дрон, сканиращ конструктивни елементи (а) и цялостни сгради (б). [18]

2.3. Автономни устройства за триизмерно сканиране: дроне и роботи

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) са летателни апарати, снабдени с комбинация от сензори, електронни приемници и предаватели, които се насочват автономно и/или чрез дистанционно управление през смартфон, таблет или компютър. Мулти-роторните дроне като техен представител се явяват достъпно средство за сканиране, което благодарение на високата си маневреност може да заснема данни на труднодостъпни места по прецизен и ефективен начин. Сканиращото устройство работи чрез изпращане на лазерни импулси в масив от точно определени посоки в бърза последователност. Измерването на времето за пътуване, което е необходимо на всеки лазерен импулс да бъде отразен от целите и върнат към LiDAR-скенера, позволява възстановяване на разстоянията и геометричните характеристики на повърхностите около него. Използването на движеща се платформа като UAV позволява 3D картографиране на значителни по размер обекти. (фиг. 4а) [25] Поради съображения, свързани със сигурност и безопасност, сканирането чрез дроне е сравнително ограничено в интериорни среди и е пряко зависимо от метеорологичните условия. По отношение на провеждането на въздушен мониторинг от всякакъв вид животът на батерията също е едно от най-значимите ограничения на този вид техника. [4]

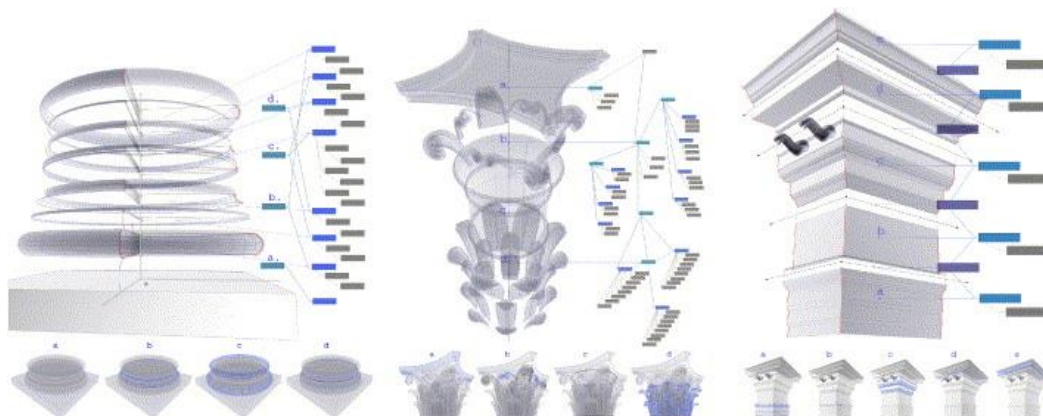
Автономните роботи интегрират в себе си сканиращо устройство и механизирана основа, която посредством SLAM алгоритми може да се придвижва в комплексни среди с минимална потребителска намеса. По време на „мисия“ роботът може да заснема както статични, така и динамични обекти, трансформирайки ги в дигитални близнаци. (фиг. 4б) [26] Сканирането може да се повтори автономно по идентичен маршрут с оглед обновяване на информация или регистриране на промени. Алгоритми, базирани на изкуствен интелект, могат да бъдат интегрирани във всички аспекти на сканирането с автономни дроне и роботи, като усъвършенстват сензорите за отчитане и заснемане на обекти, както и управлението и съхранението на получените данни. [27]



Фигура 4. Компоненти на автономен сканиращ дрон (а) [25] и автономен сканиращ робот (б) [26].

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бъдещото развитие на изкуствения интелект в областта на триизмерното сканиране е обещаващо и се очаква да окаже значително въздействие върху интериорния дизайн и свързаните с него области. То може да позволи създаването на интерактивни и усъвършенствани инструменти за ускорено проектиране в реално време чрез възможности за вземане на информирани решения, мигновена визуализация и динамични корекции. [3] Внедряването на компютърните алгоритми в различни индустрии благодарение на тяхната адаптивност към сложни среди и специфични изисквания на потребителите вероятно ще доведе до промени в нормативната уредба и ще провокира все повече дискусии относно етичните съображения за тяхното приложение. Тъй като системите, базирани на изкуствен интелект, стават неразделна част от критични за безопасността сфери [21], регулаторните рамки и стандарти ще се развиват, за да се гарантира тяхната надеждност и ефективност. Автоматизираното триизмерно сканиране ще заема все по-ключова роля в дейности като инспекции, проверка за съгласуваност между проектната документация и изпълнените обекти, прототипирането на изделия и така нареченото „обратно инженерство“ (Reverse engineering), при което архитектурни структури и други продукти се деконструират, за да се извлече информация за дизайна от отделните им компоненти. (Фиг.5) [1], [2], [28] От развитието на иновативни техники до разработването на автономни устройства, които ще автоматизират човешкия труд, изкуственият интелект има потенциала да трансформира изцяло начина, по който възприемаме и взаимодействаме със заобикалящия ни свят.



Фигура 5. Пример за „обратно инженерство“, приложено върху класически архитектурни елементи. [28]

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Automated 3D Scanners: Exploring the Comprehensive Landscape of Automated 3D Scanners: Specifics and Applications; <https://3daeroscanners.com/automated-3d-scanner/> . [посетен на 15.10.23 г.].
- [2] Assessing the performance of 3D Scanners: How Accurate Are They?; <https://3dscanners.co.uk/news-events/how-accurate-are-3d-scanners/> . [посетен на 15.10.23 г.].
- [3] Frąckiewicz M., AI and the Future of AI-Powered 3D Scanning: Investing in Technologies for Accurate, Real-Time Object Modelling and Analysis; <https://ts2.space/en/ai-and-the-future-of-ai-powered-3d-scanning-investing-in-technologies-for-accurate-real-time-object-modeling-and-analysis/> . [посетен на 15.10.23 г.].

- [4] Mihić M., Sigmund Z., Završki I., Butković L.L., An Analysis of Potential Uses, Limitations and Barriers to Implementation of 3D Scan Data for Construction Management-Related Use—Are the Industry and the Technical Solutions Mature Enough for Adoption?, *Buildings* 2023, 13, 1184.
- [5] The Problems and The True Value of 3D Scanning; <https://3d2go.com.ph/blog/the-problems-and-the-true-value-of-3d-scanning/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [6] Haleem A., Javaid M., Singh R. P., Rab S., Suman R., Kumar L., Khan I. H., Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview, 2022.
- [7] Keşik J., Z'yla K., Montusiewicz J., Miłosz M., Neamtu C., Juszczak M., A Methodical Approach to 3D Scanning of Heritage Objects Being under Continuous Display, *Appl. Sci.* 2023, 13, 441.
- [8] Parker S., Everything you need to know about 3D scanning for the automotive industry; <https://oqton.com/posts/automotive-3d-scanning/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [9] Murphy M., 3D Scanners — Current Limitations; <https://www.skmurphy.com/blog/2015/06/03/3d-scanners-current-limitations/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [10] Eren G., Aubreton O., Meriaudeau F., Secades L. A. S., Fofi D., Naskali A.T., Truchetet F., Ercil A., Scanning from Heating: 3D Shape Estimation of Transparent Objects from Local Surface Heating, *Optics Express*, 2009.
- [11] 3D Scanning Challenges: Shiny, Dark, Colourful...; <https://www.einscan.com/applications/3d-scanning-challenges-shiny-dark-colorful/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [12] CMM (Coordinate Measuring Machine); [https://www.keyence.com/products/measure-sys/cmm/#:~:text=A%20coordinate%20measuring%20machine%20\(CMM\)%20is%20a%20measuring%20device%20that,coordinate%20system%20\(XYZ%20axes\)](https://www.keyence.com/products/measure-sys/cmm/#:~:text=A%20coordinate%20measuring%20machine%20(CMM)%20is%20a%20measuring%20device%20that,coordinate%20system%20(XYZ%20axes)). [посетен на 15.10.23 г.].
- [13] Graphene Scanner Reveals Inner Secrets of Artworks – Futuris; <https://www.youtube.com/watch?v=Lx7bQyJTBOk>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [14] 4 Factors That Affect 3D Scanning Efficiency; <https://www.shining3d.com/blog/4-factors-that-affect-3d-scanning-efficiency/#:~:text=Point%20distance%20refers%20to%20the,often%20synonymous%20with%20%E2%80%9Cresolution%E2%80%9D>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [15] The Pros and Cons of Using 3D Scanners for Modelling; <https://it-s.com/the-pros-and-cons-of-using-3d-scanners-for-modelling/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [16] Amos Z., How AI Empowers 3D Building Scanning for Metaverse Integration; <https://swisscognitive.ch/2023/07/17/how-ai-empowers-3d-building-scanning-for-metaverse-integration/>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [17] Fasiolo D.T., Scalera L., Maset E., Comparing LiDAR and IMU-based SLAM approaches for 3D robotic mapping, *Robotica* 2023, 41, 2588–2604.
- [18] Barra M., Introducing Skydio 3D Scan: The Era of Autonomous Drone Inspection is Here; <https://www.skydio.com/blog/introducing-skydio-3d-scan>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [19] AI-Powered, HD Mode for 3D Scanners; <https://www.labmanager.com/ai-powered-hd-mode-for-3d-scanners-24437>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [20] How to reach higher automation levels with AI-based sensor fusion; <https://cariad.technology/de/en/news/stories/sensor-fusion-introduction.html>. [посетен на 15.10.23 г.].
- [21] Selviah D., Digitizing Reality: Automated 3D Point Cloud Data Processing Using AI; <https://www.gim-international.com/content/article/digitizing-reality-automated-3d-point-cloud-data-processing-using-ai>. [посетен на 15.10.23 г.].

- [22] Le M.-H., Cheng C.-H., Liu D.-G., An Efficient Adaptive Noise Removal Filter on Range Images for LiDAR Point Clouds, *Electronics* 2023, 12, 2150.
- [23] Zhang Z., Dai Y., Sun J., Deep learning-based point cloud registration: an overview, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2020, Vol. 2 Issue 3, 222—246.
- [24] The Future is Here: 6 Trends Shaping the 3D Scanning Industry;
<https://digitizedesigns.com/the-future-is-here-6-trends-shaping-the-3d-scanning-industry/> . [посетен на 15.10.23 г.]
- [25] Unmanned Aerial Vehicle for Laser Scanning (LiDAR UAV);
<https://www.wur.nl/en/product/unmanned-aerial-vehicle-for-laser-scanning-lidar-uav.htm> . [посетен на 15.10.23 г.]
- [26] Leica BLK ARC Autonomous Laser Scanning Module; <https://g2survey.com/leica-blk-arc-autonomous-laser-scanning-module/> . [посетен на 15.10.23 г.]
- [27] AI applications for UAVs; <https://www.dronevolt.com/en/engineering-consulting/artificial-intelligence-applications-for-uav/> . [посетен на 15.10.23 г.]
- [28] De Luca L., Veron P., Florenzano M., Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modelling approach, *Computers and Graphics*, Vol.30, Issue 2, 2006, 160-176.