



# ПРИМЕНА СИСТЕМА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ У МОДЕЛОВАЊУ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА – ОД ДИГИТАЛНИХ МОДЕЛА ТЕРЕНА ДО МОДЕЛА ВИРТУЕЛНЕ РЕАЛНОСТИ И ДИГИТАЛНИХ БЛИЗАНАЦА REMOTE SENSING APPLICATION FOR GEOSPATIAL DATA MODELLING – FROM DIGITAL TERRAIN MODELS TO VIRTUAL REALITY MODELS AND DIGITAL TWINS

ИВАН ПОТИЋ<sup>1</sup>, БОРИС ВАКАЊАЦ<sup>2</sup>, ЉИЉАНА МИХАЈЛОВИЋ<sup>3</sup>, САША МИР. СТАНКОВИЋ<sup>4</sup>,  
СТЕФАН ПЕТРОВИЋ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ivan.potic@vs.rs

<sup>2</sup>Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, boris.vakanjac@vs.rs

<sup>3</sup>Географски факултет, Београд, ljiljana.mihajlovic@gef.bg.ac.rs

<sup>4</sup>Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sasa02@gmail.com

<sup>5</sup>Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, s.petrovic293@gmail.com

**Резиме:** Овај научни рад истражује примену система даљинске детекције у производњи и анализи геопросторних података, са фокусом на Дигиталне моделе геопростора (ДМГ) у које спадају дигитални модели терена и меш модели (модели виртуелне реалности) и његову улогу у функцији дигиталног близанца. Уводни део пружа преглед технологије и њене основне примене у снимању. Затим се разматрају производи који настају из облака тачака, са фокусом на њихове карактеристике, предности и могућности. На крају, описују се различите примене ДМГ-а у геопросторној анализи, као и њихов значај у областима, као што су грађевинарство, урбанистичко планирање, природне науке, систем одбране и виртуелна реалност. Овај рад представља значајан прилог за боље разумевање и примену технологије даљинске детекције у савременом геопросторном окружењу.

**Кључне речи:** лидар, фотограмetriја, облак тачака, дигитални модел тла, дигитални модел висина, дигитални модел површи, геопросторни дигитални близанци.

**Abstract:** This research explores the application of Remote Sensing systems in the production and analysis of geospatial data, with a focus on Digital Geospatial Models (DGMs) containing Digital Terrain Models and Mesh (Virtual Reality) models as a part of Digital Tween model. The introduction overviews Remote Sensing technology and its fundamental practices in capturing geospatial data. Subsequently, the derived products from captured data are discussed, emphasizing their characteristics, advantages, and possibilities. Furthermore, the various applications of DGMs in geospatial analysis are described, highlighting their significance in civil engineering, urban planning, natural sciences, defence and virtual reality. This paper is a valuable contribution in enhancing, understanding and utilization of Remote Sensing technology in the contemporary geospatial environment.

**Keywords:** LiDAR, photogrammetry, point cloud, digital ground model, digital elevation model, digital surface model, geospatial digital tweens.

## 1. УВОД

У савременој картографији, геодезији и геопросторној анализи, снимање лидар и фотограметријским системима постало је широко коришћена метода, зато што брзо може прикупити тродимензионалне податке са великих површина са високом хоризонталном резолуцијом и високом вертикалном тачношћу. Из облака тачака, који представља производ снимања лидар технологијом и производ креиран из фотографија са великим преклопом

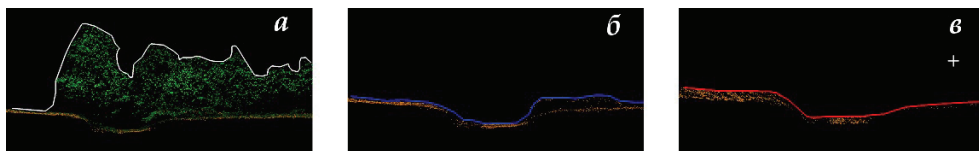
(фотограметријски облак тачака), могу се креирати различити производи који доприносе бољем разумевању и анализи геопросторних феномена. Уклапањем ових података са осталим геопросторним информацијама и истраживачким резултатима добијеним помоћу различитих техника, ствара се слика геопростора која најбоље приказује географске и топографске аспекте геопростора. Прикупљање података техником ласерског скенирања са доступних платформи захтева пажљиво планирање које укључује карактеристике сензора и перформансе носача сензора [1], што је такође неопходно и код прикупљања података фотограметријском методом. Лидар је техника која користи ласерску технологију за мерење рефлексије светлосних тачака, док фотограметрија подразумева коришћење серије дигиталних фотографија које се преклапају, заједно са припадајућим подацима о локацији. Обе методе прикупљају просторне податке, али за фотограметрију је потребно мање стручности за постпроцесирање, док су резултати реалистичнији. Главна разлика између фотограметрије и лидара огледа се у њиховим карактеристикама. Лидар пружа прецизне излазне податке (које могу бити кодиране бојама) који могу проникнути кроз густу вегетацију, док фотограметрија нуди различите излазне податке који пружају реалистичне и тачне перспективе других површина [2].

## 2. ВРСТЕ ПРОИЗВОДА

Након извршеног снимања геопростора и у зависности од коришћене технологије, доступна су два типа облака тачака: лидар облак тачака настао иницијалном обрадом из лидар сензора и фотограметријски облак тачака настао обрадом фотографија које имају веома велики преклоп.

### 3. Дигитални модели терена

Од иницијалних облака тачака могуће је креирати неколико различитих производа који се сврставају под заједнички назив – Дигитални Модел Терена (ДМТ), у зависности од нивоа обраде, и меш модел који представља основни модел виртуелне реалности (Слика 1). Овом приликом ће бити укратко представљени типови модела и приказане разлике међу њима које су веома мале. Треба напоменути да се у различитим земљама ови појмови могу другачије називати и да се називи производа доста преплићу.



Слика 1: Типови класа облака тачака за креирање различитих врста дигиталних модела терена: а) ДМП (2.1.3.), б) ДМВ (2.1.2.), в) ДМТ (2.1.1.)

#### 3.1.1. Дигитални модел тла

Дигитални модел тла представља детаљну и прецизну тродимензионалну репрезентацију висина геопростора која се користи у различитим областима за анализу, моделирање и приказ геопросторних података. ДМТ се креира из класификованог облака тачака. Први корак је класификовање најнижих тачака у класу „тло“ (енг. Ground). Након тога се преостале тачке класификују у одговарајуће класе и исправљају неправилности које настају у процесу. Од тачака које представљају тло се креира модел неправилних троуглова на основу кога се уочавају недостаци. Затим се приступа ручном или полуаутоматском креирању преломних линија терена<sup>1</sup> које исправљају уочене недостатке. Након креирања тродимензионалних преломних линија<sup>1</sup>, заједно са облаком тачака се интерполира дигитални модел тла у виду правилног грида жељене/могуће просторне резолуције.

<sup>1</sup> Преломне линије терена користе се да представе нагло мењање површина терена, као што су литице, ивице пута, ивичњаци, канали или друге значајне карактеристике. Оне означавају места где се терен нагло мења у

### 3.1.2. Дигитални модел висина

Код дигиталних модела висина се не израђују преломне линије, али се могу креирати структурне линије терена. Добијени облак тачака се заједно са креираним тродимензионалним линијама интерполира у правилан GRID жељене просторне резолуције или триангулисану ирегуларну мрежу. Класификација је мање захтевна у временском погледу у односу на начин класификовања облака тачака за израду ДМТ.

### 3.1.3. Дигитални модел површи

Код дигиталних модела површи се снимљене тачке (без класификације) интерполују. Уклањају се само велике неправилности у облаку тачака, као што су тачке на великим дубинама или висинама. Добијени производ представља све геопросторне појаве, као што су вегетација, далеководи, објекти и друго.

## 3.2. Меш модели и дигитални близанац

Напредак у 3Д ГИС технологијама, као што су паметни градови и виртуелни геопростор (енг. Virtual Geographic Environment - VGE) допринео је све чешћем коришћењу реалистичних 3Д географских информација. То је постигнуто захваљујући убрзаном развоју лидар технологија и фотограметрије са авио платформи које могу да сниме велике просторе са којих се могу креирати 3Д сцене [3].

Меш је геометријска структура која се користи за представљање и моделовање геопросторних облика и површина у тродимензионалном простору (Слика 2). Састоји се од мреже конектованих тачака, познатих као темена или врхови, и спољних ивица које их спајају. Ова структура омогућава представљање комплексних облика и површина у тродимензионалном геопростору и она игра битну улогу у анализи, визуелизацији и примени геопросторних података [3].



Слика 2: 3Д (меш) модел цркве добијен фотограметријском методом

Фотограметрија коришћењем косих снимака пружа прикладно решење које истовремено може фиксирати координате и текстурне информације о крововима зграда и фасадама у условима ограничене видљивости. Зато су 3Д мреже постале најчешћи начин за представљање реалистичних географских сцена [4].

Појам "дигитални близанац" (енг. digital twin) у области геопросторних података и моделовања простора се односи на виртуелне реплике физичког окружења, објеката или система. Они се користе за симулацију и анализу стварног света, што омогућава боље разумевање, предвиђање и управљање стварним објектима и процесима [5].

Дигитални близанци комбинују податке сензора, интернета ствари (енг. IoT), геопросторних података и других извора информација да би креирали виртуелни модел

---

нагибу или висини. Преломне линије помажу у прецизном дефинисању облика терена и од кључне су важности за тачно приказивање карактеристика терена које не могу бити потпуно приказане само на основу облака тачака.

реалног света. Овај модел се може користити за симулацију и тестирање различитих сценарија, за претварање података у корисне информације, као и за доношење бољих одлука у вези са управљањем и планирањем геопросторних окружења [6].

#### **4. ОБЛАСТИ КОРИШЋЕЊА ДИГИТАЛНИХ ГЕОПРОСТОРНИХ МОДЕЛА**

Уопштено говорећи, дигитални геопросторни модели креирани из обрађених облака тачака имају широку примену у различитим областима и индустријама у којима се њихово коришћење веома често прожима.

##### **4.1. Деривати ДМТ**

Географија и картографија: користе се у изради прецизних и детаљних карата, како физичких тако и топографских. Омогућава прецизан приказ форме рељефа и других географских карактеристика, што је од великог значаја у истраживању и анализи географских феномена.

Грађевинарство и урбанизам: користе се у планирању и пројектовању грађевинских објеката, као што су путеви, мостови, зграде и инфраструктурни системи. Омогућава детаљан преглед терена и моделирање различитих сценарија за пројектовање и анализу. Такође се користе за приказ усеча и насипа, за приказ пејзажа, за приказ утицаја грађевинских пројеката на животну средину и друго.

Геологија и рударство: пружају важне информације о геолошким структурама, тако да се користи у истраживању рудних налазишта, истраживању геолошких процеса и проучавању земљиног коре. Такође се користи за моделирање и преглед геолошких формација, као и праћење стања површинских копова.

Екологија и природне науке: омогућавају прецизно картирање и преглед теренских карактеристика истраживаних области, као што су шуме, реке, планине и природни екосистеми. Ово помаже у истраживању биолошке разноврсности, праћењу промена у природним стаништима и управљању природним ресурсима [2].

Геоморфологија и географске науке: ДМТ је неопходан алат за изучавање и анализу рељефа, формација и процеса у геоморфологији и географији. Омогућава прецизан приказ и анализу висинских и морфолошких карактеристика терена [7].

У систему одбране и војсци користе се у разним симулацијама, нпр. код обуке пилота. За војне потребе ДМТ могу служити за одређивање видљивости са дате тачке, док угао нагиба користи за одређивање најбоље руте за пролаз јединица, док неки ракетни системи користе податке ДТМ за навигацију и управљање ракетама [7-10].

##### **4.2. 3Д модели геопростора**

Филмска и забавна индустрија: 3Д модели се користе у креирању визуелних ефеката, анимација и виртуелних светова за филмове, видео игре, симулације и друге забавне садржаје. Архитектура и грађевинарство: 3Д модели омогућавају архитектурама, дизајнерима ентеријера и урбанистима да визуализују и експериментишу са просторима пре него што се започне са изградњом. Такође се користе за презентације пројеката и виртуелне туре кроз објекте.

Просторно планирање: 3Д модели се користе за визуализацију и анализу урбаних окружења, укључујући просторно планирање градова, пројектовање инфраструктуре и оптимизацију саобраћајних мрежа. Креирање виртуелних тура и симулација за урбанисте, стручњаке за озелењавање и градитеље, како би се препознали и решили потенцијални проблеми у урбаним окружењима.

Геодезија: 3Д модели користе се за прецизно мапирање терена и стварање детаљних ДМТ. Примена 3Д модела у дигиталним геодетским системима за рачунање и анализу геопросторних података и представљање геодетских мерења.

Географија и сродне дисциплине: 3Д модели користе се за прецизно представљање географских ентитета, као што су рељеф, хидрографија, насеља и транспортне мреже. Примена 3Д модела за анализу просторних података и визуелизацију географских процеса, као што су климатске промене, урбани развој и природне катастрофе.

Заштита животне средине: Коришћење 3Д модела за прецизно картирање екосистема и праћење промена у животној средини. Креирање виртуелних симулација за обуку заштитних служби и симулација природних катастрофа ради ефикаснијег планирања и реаговања.

Шумарство: Могућност коришћења облака тачака у шумарству је веома велика. Производи се могу користити у истраживању и инвентаризацији шума, управљању шумским ресурсима, праћењу процеса обнављања шуме, праћењу биолошке разноврсности и друго.

Симулације за потребе саобраћаја: 3Д модели користе се за симулацију и оптимизацију саобраћајних протока и превозних мрежа. Виртуелне симулације за тестирање нових саобраћајних решења и претпројектних идеја, укључујући урбани транспорт, авионски и железнички саобраћај [2].

Симулације за потребе војске/одбране: Креирање виртуелних симулација за обуку војних јединица и стратешко планирање. Израда 3Д модела терена и објеката за прецизно представљање и анализу ратних сценарија и операција [8].

## 5. ЗАКЉУЧАК

У савременој картографији и геопросторној анализи, снимање лидар и фотограметријским системима представља широко коришћену методу за прикупљање тродимензионалних података о геопростору. Ова метода је посебно корисна, јер омогућава брзо прикупљање података на великим површинама са високом резолуцијом и тачношћу. Облак тачака, као производ снимања лидаром или фотограметријом, пружа могућност за креирање различитих производа који доприносе разумевању и анализи геопросторних феномена.

Дигитални геопросторни модели који су створени из обрађених облака тачака имају широку примену у различитим областима и индустријама. Неке од главних области коришћења укључују географију и картографију, грађевинарство и урбанизам, геологију и рударство, екологију и природне науке, геоморфологију, као и системе одбране и војску. Дигитални геопросторни модели су такође корисни у филмској и забавној индустрији, архитектури и грађевинарству, просторном планирању, геодезији, географији и различитим другим областима.

Снимање лидаром и фотограметријским системима представља важан начин прикупљања тродимензионалних података о геопростору. Области тачака, који су производ ових метода, могу се користити за креирање различитих дигиталних геопросторних модела. Ови модели имају широку примену у различитим индустријама и областима, што омогућава боље разумевање и анализу геопросторних феномена. Стални напредак у овим технологијама отвара нове могућности за примену дигиталних геопросторних модела и непрестано унапређује различите области које се ослањају на ове технике и њихове податке.

*Напомена: Овај рад је написан у оквиру Пројекта 1.23/2023 МО и ВС за 2023. годину.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Đorđević, D.; Potić, I.; Milonjić, Z.; Basarić, M.; Bakrač, S. Flight Plan Preparation for Point Cloud Data Collection Utilizing the Laser Scanner ALS80HP. In 10th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OTEH 2022 ON DEFENSIVE TECHNOLOGIES; 2022.
- [2] Gabriel Torres. Drone photogrammetry vs. LIDAR: what sensor to choose for a given application. Wingtra. <https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/> (accessed 2023-05-22).

- [3] Liu, W.; Zang, Y.; Xiong, Z.; Bian, X.; Wen, C.; Lu, X.; Wang, C.; Marcato, J.; Gonçalves, W. N.; Li, J. 3D Building Model Generation from MLS Point Cloud and 3D Mesh Using Multi-Source Data Fusion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V. February 1, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103171>.
- [5] Jaillot, V.; Servigne, S.; Gesquière, G. Delivering Time-Evolving 3D City Models for Web Visualization. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2020, 34 (10). <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1749637>.
- [6] SpaceIQ Team. What are Digital Twins?. SpaceIQ.
- [7] Clifton, D. Geospatial Digital Twin Explained. SpaceIQ. <https://spaceiq.com/blog/geospatial-digital-twin/> (accessed 2023-05-17).
- [8] Gigović, L. Digital Models of Heights and Military Application for Terrain Analysis.
- [9] Vojnoteh. *Glas.* 2014, 58 (2), 165–178. <https://doi.org/10.5937/vojtehg1002165g>.
- [10] Костић, М. Дигитални Модел Терена и Његова Примена За Потребне Оружаних Снага.
- [11] Зборник радова Војногеографског института 2009, No. 13, 71–77.
- [12] Borisov, M.; Petrović, V. M.; Vulić, M. Vizuelizacija 3D Modela Geopodataka i Njihova Primjena. *Geod. Glas.* 2014, 48.
- [13] Sekulović, D.; Regodić, M.; Jakovljević, G. PRIMENA GIS TEHNOLOGIJE U IZRADI DIGITALNIH MODELA TERENA ZA VOJNE POTREBE. In 42nd International
- [14] Symposium on Operations Research PROCEEDINGS; Mladenović, N., Urošević, D., Stanimirović, Z., Eds.; [http://www.symopis2023.mod.gov.rs/download/istorijat/XLII\\_Simpozijum\\_o\\_operacionim\\_i\\_strazivanjima.pdf](http://www.symopis2023.mod.gov.rs/download/istorijat/XLII_Simpozijum_o_operacionim_i_strazivanjima.pdf); Silver Lake Resort, Serbia, 2015; pp 123–126.