Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 528.7
ДОИ: https://doi.org/10.24867/35KG01Ristic

Екстракција геометрије кровова објеката на основу облака тачака добијеног применом *UAV* фотограметрије

Extraction of Building Roof Geometry Based on Point Clouds Obtained Through UAV Photogrammetry

Емилија Ристић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОИНФОРМАТИКА

Кратак садржај – *Предмет овог рада је аутоматска екстракција кровова објеката из облака тачака добијеног на основу прикупљених фотографија применом беспилотне летелице, уз коришћење софтверских решења за обраду фотограметријских података. Циљ обраде је прецизна векторизација кровова објеката..*

Кључне речи: *Беспилотна летелица /фотограметр – ија / екстракција /облак тачака.*

Abstract – *The subject of this paper is the automatic extraction of roofs from point clouds collected using an unmanned aerial vehicle, combined with software solutions for processing photogrammetric data. The goal of the processing is the precise vectorization of house roofs.*

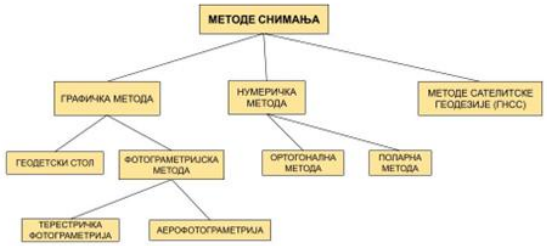
Keywords: *UAV / Photogrammetry / Extraction / Point Cloud.*

1. УВОД

Напредак технологије омогућава све веће и прецизније коришћење геопросторних података у различитим дисциплинама, као што су геодезија, архитектура, урбанистичко планирање и грађевинарство. Једна од најзначајнијих иновација у овом пољу је употреба беспилотних летелица, *UAV* (енгл.: *Unmanned Aerial Vehicle*), и фотограметријских техника за прикупљање и обраду података у 3Д формату. У оквиру овог рада, посебна пажња посвећена је аутоматској екстракцији кровова објеката из облака тачака добијених *UAV* фотограметријом, са циљем креирања 3Д модела који могу бити примењени у различитим областима, као што су планирање инфраструктуре и архитектонска реконструкција.

2. МЕТОДЕ ПРИКУПЉАЊА ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА

Под мерењем (снимањем) детаља подразумева се прикупљање теренских података за тачке које геометријски одређују детаљ, у циљу израде плана или карте тог детаља. Ови подаци треба да на плану или карти дефинишу положај детаљних тачака, односно детаља који је предмет премера. Начин прикупљања теренских података назива се методом снимања детаља или премер земљишта [1].



Слика 1. Методе снимања у геодезији

3. БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ

Беспилотна летелица, или популарно дрон (енгл. drone — „трут"), је ваздухоплов којим управља навигатор или пилот са даљинским преносом сигнала са земље, или који лети аутономно по унапред задатим путањама. *UAV* систем састоји се од платформе (летелице), сензора монтираних на њу и контролне станице на земљи, одакле се управља системом. Подизање летелице у ваздух омогућава аеродинамичка снага. Према начину полетања и слетања, беспилотне летелице се деле на оне са хоризонталним полетањем и слетањем и вертикалним полетањем и слетањем. *UAV* систем састоји се од тела израђеног од ултра лаких материјала, различитих сензора (*GNSS* пријемник, *IMU, LiDAR*, жироскоп, акцелерометар, барометар, камере – *RGB*, мултиспектралне, *NIR*), погонског система, сервомотора и батерија. Такође, укључује систем за детекцију и избегавање препрека, систем за комуникацију (контролна станица, радио предајник), као и софтвер за планирање лета, мапирање, полетање, слетање и обраду података [2].

3.1. Карактеристике и опис коришћене беспилотне летелице

Parrot Anafi је напредана беспилотна летелица са камером од 21 *MP* и могућношћу снимања у 4*K HDR*,

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Марко Марковић, ванр. проф.

који пружа високу резолуцију и прецизност за фотограметријске примене, омогућавајући креирање 3Д модела и облака тачака путем фотограметријских софтвера као што су *Pix4D* и *Agisoft Metashape*, уз подршку за планирање мисија преко апликације *Parrot FreeFlight 6*, што га чини погодним за инжењерске и грађевинске пројекте [3].

3.2. Функционисање *UAV* система

Функционисање *UAV* система засновано је на примени аеродинамике, електронике и закона физике. Беспилотне летелице користе роторе за генерисање потиска, омогућавајући летелицама да се одрже у ваздуху балансирањем сила као што су гравитација и отпор ваздуха. Контролер лета управља моторима на основу података са сензора попут акцелерометра, жироскопа и *GNSS-a*, обезбеђујући стабилизацију и прецизно маневрисање. Промена брзине ротора омогућава кретање у различитим правцима и ротацију око осе. Комуникација између беспилотне летелице и контролера остварује се путем радио сигнала, док напредне технологије компресије и преноса података омогућавају пренос слика и видео записа у реалном времену. Савремене литијум-јонске и литијум-полимерске батерије високог капацитета обезбеђују енергију потребну за дуготрајан и поуздан лет. Овај интегрисани систем комбинује аеродинамичке, механичке и електронске компоненте ради стабилног и ефикасног управљања летелицом [4].

3.3. Законска регулатива

Законска регулатива у Републици Србији, заснована на Закону о ваздушном саобраћају, прописује услове за безбедно коришћење беспилотних летелица, њихово разврставање по маси при полетању (*MTO*), евиденцију и одржавање, уз дефинисање изузетака и ограничења, као и посебних услова за летење на висинама већим од 100*m* или у близини аеродрома, чиме се осигурава безбедна и одговорна употреба у складу са техничким и правним захтевима [5].

4. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ПРИМЕЊЕНИХ МЕТОДА ОБРАДЕ ПОДАТАКА

У савременим методама обраде података, нарочито у анализи облака тачака и 3Д моделовању, кључне технике обухватају аутоматску класификацију и екстракцију података. Облак тачака (енг. *point cloud*) представља структуру података која описује тродимензионалну геометрију простора и састоји се од скупа тачака са координатама (*X, Y, Z*). Поред координата, ове тачке могу садржати и додатне информације као што су боја, интензитет рефлектоване светлости и нормале површина.

Облаци тачака добијају се помоћу различитих сензора, као што су *LiDAR, RGB-D* камере или мобилни телефони са дубинским камерама. Стандардни формат за складиштење података из *LiDAR* скенирања је *LAS* (енгл. *Log ASCII Standard*), који садржи координате сваке појединачне тачке забележене током скенирања. Основне методе обраде облака тачака обухватају сегментацију и тродимензионалну класификацију. Сегментација може бити надзирана, где се користе унапред означени подаци за обуку, или ненадзирана, где се тачке групишу на основу својих геометријских или спектралних карактеристика. Класификација се користи за сврставање тачака у категорије као што су вегетација, зграде или тло. Први корак у процесу класификације обично подразумева издвајање тачака које припадају површи терена, што директно утиче на прецизност свих даљих анализа.

У савременим приступима, машинско и дубоко учење играју све значајнију улогу. Користе се различите технике као што су подржане векторске машине (*SVM*) и неуронске мреже. Посебно се истичу методе дубоког учења због способности да обраде велике количине података, иако захтевају значајне рачунарске ресурсе и често су изазовне за интерпретацију [6], [7].

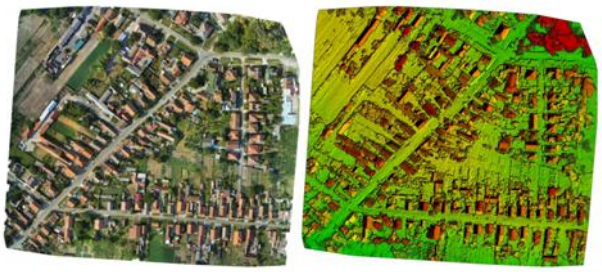
5. Примењена софтверска решења: Софтверско решење *Bentley MicroStation V8i.*

Софтверски пакет *MicroStation V8i*, који је развила компанија *Bentley Systems, Inc*., представља напредно *CAD* окружење намењено за 3Д моделирање, техничко документовање и визуелизацију. *MicroStation* је посебно погодан за рад са великим количинама просторних података, укључујући векторске елементе, растерске слике и облаке тачака. Пружа значајне могућности за анализу и визуелну интерпретацију различитих типова података. Основни формат који *MicroStation* користи је *DGN*, али се подаци лако могу извозити у друге стандардне *CAD/GIS* формате као што су *DWG, DXF*, и *KML*. MicroStation такође подржава директан рад са подацима из *LiDAR* сензора, што га чини погодним за напредну обраду 3Д простора. Могућности извоза модела у 2Д и 3Д форматима су веома разноврсне и прилагођене различитим корисничким потребама.

Terrasolid софтвер: *Terrasolid* је софтверска компанија која развија алате за обраду података добијених ласерским скенирањем, као што су *TerraScan*, *TerraModeler*, и *TerraPhoto*. Ови алати се интегришу са *MicroStation* платформом и омогућавају напредну обраду података добијених из *LiDAR* скенирања. *TerraScan* је основни модул за управљање облацима тачака и подржава аутоматску класификацију тачака. *TerraMatch* побољшава тачност података упоређивањем тачака из суседних скенираних трака. *TerraSurvey* управља подацима са терена као што су тоталне станице и *GNSS* пријемници. *TerraScan* је кључни софтвер у пакету *Terrasolid* и служи за управљање и обраду облака тачака добијених *LiDAR* технологијом. Овај алат нуди опције за аутоматску класификацију тачака, као и напредне алате за визуелизацију и обраду података. Основне функције *TerraModeler* и *TerraPhoto*: Са *TerraModeler*-ом могуће је креирати и едитовати површинске моделе у *TIN* формату на основу података добијених *LiDAR*-ом. Овај софтвер такође омогућава визуелизацију површина као бојене и осенчене моделе, као и креирање текстурних модела уз помоћ слика које се учитавају у *TerraPhoto* [8].

6. ПРАКТИЧНИ ПРИМЕР

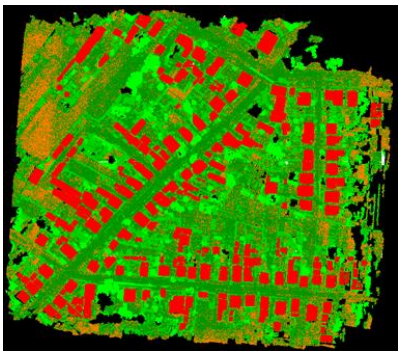
На тест подручју примењена је аутоматска екстракција кровова из облака тачака. За снимање је коришћена беспилотна летелица *Anafi Parrot,* са висином лета од 52*m*, обухваћено је подручје површине 12.36*ha*. Обрада података извршена је у *Pix4Dmapper Pro* софтверу, при чему су израђени ортофото снимак и дигитални модел површине *(DSM)*. За прецизно георефернцирање, постављено је 8 контролних тачака, чиме је постигнута *RMS* грешка од 0,048*m*. Лет је изведен са 80% преклапања слика, што је омогућило високу тачност снимања и прецизно креирање 3Д модела терена и објеката.



Слика 2. *Ортофото снимак и одговарајући дигитални модел површине (DSM).*

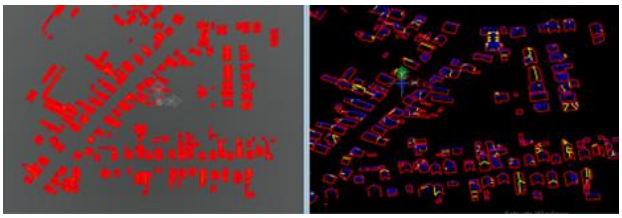
6.1. Излазни подаци и модели

Након обраде података, добијени облак тачака је уведен у *Bentley MicroStation*, где је започета класификација тачака и издвајање релевантних објеката, као што су кровови. Након покретања макроа (аутоматизована скрипта која користи *VBA* језик за програмирање) у софтверу *TerraScan*, извршена је аутоматска класификација тачака у облаку тачака, које су подељене у класе као што су земљиште, различите врсте вегетације, зграде и ниски делови терена. Након овог процеса, приступљено је ручној корекцији тачака које нису правилно класификоване, нарочито оних које су припадале зградама али су погрешно сврстане као вегетација или земљиште. Користећи алатке као што су "*Classify by class*" и "*Classify Above Line*", погрешне тачке су пребачене у одговарајуће класе, што је омогућило успешну корекцију и припрему облака тачака за даљу обраду.



Слика 3. *Крајњи резултат класификације облака тачака.*

Користећи алате за аутоматску векторизацију и анализу података добијених *UAV* фотограметријом, извршена је аутоматска екстракција кровова објеката. Са функцијом *Vectorize Buildings* у *TerraScan*-у, екстракција је омогућила прецизно креирање *3*Д модела на основу дефинисаних параметара и опција. Процес је обухватао селекцију одговарајућих класа објеката, постављање параметара за размаке и толеранције, као и дефинисање минималних детаља и површина за векторизацију. Након креирања модела кровова, примењене су полуаутоматске методе за додатну прецизност, попут конструисања полигона и креирања *3*Д модела зграда. За осигурање тачности, коришћени су и алати за ручну корекцију модела. Ови процеси омогућавају прецизно моделирање кровова, што је од кључног значаја за даље анализе и визуализације.



Слика 4. *Приказ полигона екстрахованих кровова објеката*

7. ЗАКЉУЧАК

Овај рад истиче значај напредних технологија у геодезији, посебно ласерског скенирања и фотограметрије, које су постале кључне за прецизно прикупљање и обраду геопросторних података. Употреба беспилотних летелица значајно унапређује тачност геодетских мапа и модела омогућавајући прикупљање података из различитих углова и у тешким условима. Један од најважнијих налаза овог истраживања је да квалитет коначних резултата значајно зависи од прецизности класификације података. У случајевима када је класификација била тачна, резултати су били високог квалитета, док су сложени кровови и густи слојеви вегетације представљали изазове који су угрожавали прецизност класификације, што је довело до смањене тачности модела и излазних података. Закључено је да, упркос напредовању технологије, тачност резултата и даље у великој мери зависи од квалитета класификације и сложености објеката. Напредак у технологијама и софтверским решењима доприноси прецизнијем прикупљању и обради података, али су потребна даља истраживања и развој како би се превазишли изазови и побољшао квалитет резултата у сложеним условима.

8. ЛИТЕРАТУРА

[1] Aziz M. Реферат из геодезије, мај 2019. "Принцип рада електронских даљиномера - 2. Тотална станица са кратким осврtом на оптичке даљиномере."

[2] Батиловић, М. (2024): Интегрисани системи премера: Беспилотне летелице. Факултет техничких наука, Нови Сад. Доступно на: http://geodezija.ftn.uns.ac.rs. Приступљено 20. Августа 2024.

[3] *Parrot*, Доступно на: https://www.parrot.com/en/drones/anafi. Приступљено 21. Август 2024.

[4] Дејан С. *dronografija*. Унутар света дронова: технологија која лебди у ваздуху. Доступно на: https://www.dronografija.com. Приступљено 21. Августа 2024.
[5] Правилник о беспилотним ваздухопловима, (у Београду, 23. децембра 2019. године.). Доступно на: https://cad.gov.rs. Приступљено 21. Август 2024.
[6] esri. *What is a LAS dataset. Available at*: https://desktop.arcgis.com. Приступљено 23. Август 2024.
[7] Бродић, Н. Д. (2023). Семантичка сегментација облака тачака добијеног ласерским скенирањем из ваздуха коришћењем метода машинског учења. Докторска дисертација, Доступно на: https://uvidok.rcub.bg.ac.rs/. Приступљено 23. Август 2024.
[8] *Bentley Systems. MicroStation*. Доступно на:https://www.bentley.com. Приступљено 23. Август 2024.

Кратка биографија:



Емилија Ристић рођена је у Лесковцу 1997. године. Основне академске студије на Факултету техничких наука, студијски програм Геодезија и геоматика, уписала је 2016. године, а дипломирала 2020. године. Исте године уписује и мастер студије на истом студијском програму.
Контакт: emilijaa.j97@gmail.com