

USPOREDBA METODE FOTOGRAMetriJE I GAUSSOVOG RASPRŠIVANJA KOD REKONSTRUKCIJE 3D MODELA

COMPARISON OF PHOTOGRAMMETRY METHOD AND GAUSSIAN SPLATTING IN 3D MODEL RECONSTRUCTION

Emanuel Dubovečak, Ivan Rajković, Dinka Radonić

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

U ovom radu istražuje se kako tehnološki napredak u području zračne fotografije i računalnog vida utječe na rekonstrukciju detaljnih 3D modela korištenjem zračnih snimaka. Tehnološki napredak u području rekonstrukcije 3D modela posebno se odnosi na metode fotogrametrije i Gaussovog raspršivanja. Povijesno gledano, obje metode doživjele su značajan razvoj. Fotogrametrija, poznata kao pionirska metoda u izradi 3D modela, napredovala je kroz digitalnu fotografiju i računalnu obradu slika, koristeći moderne algoritme za rekonstrukciju 3D modela. S druge strane, Gaussovo raspršivanje, iako manje poznata metoda, razvija se uz tehnološki napredak u optimizaciji algoritama, otvarajući nove mogućnosti za vizualizaciju 3D scena i modela. U radu se analiziraju razlike između ovih dviju metoda i njihova primjena u samoj rekonstrukciji 3D modela. Razmatraju se postojeća teoretska znanja kao i praktičan proces rekonstrukcije 3D modela korištenjem ovih metoda. U konačnici, ovaj rad pridonijet će boljem razumijevanju tih dviju metoda kao i boljem razumijevanju tehnološkog napretka što značajno olakšava izbor najprikladnije metode za vizualizaciju specifičnih 3D scena i modela.

Ključne riječi: tehnologija, digitalna fotografija, 3D model, fotogrametrija, Gaussovo raspršivanje

ABSTRACT

This paper explores the ways in which technological progress in aerial photography and computer vision affect the reconstruction of detailed 3D models using aerial imagery.

Technological progress in the field of 3D model reconstruction specifically involves photogrammetry and Gaussian splatting methods. Historically, both methods have undergone significant development. Photogrammetry, known as a pioneering method in 3D model creation, has advanced through digital photography and image processing, employing modern algorithms for model reconstruction. On the other hand, Gaussian splatting, although less familiar, has developed alongside technological advancements in algorithm optimization, opening up new possibilities for visualizing 3D scenes and models. The paper analyses the differences between these two methods and their application in 3D model reconstruction. It considers existing theoretical knowledge and the practical process of reconstructing 3D models using these methods. Ultimately, this study aims to enhance understanding of these methods and technological progress, significantly facilitating the selection of the most appropriate method for visualizing specific 3D scenes and models.

Keywords: technology, digital photography, 3D model, photogrammetry, Gaussian splatting

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Tehnologija rekonstrukcije i izrade 3D prostora ili modela predstavlja ključan korak u stvaranju objekata unutar virtualnog prostora. Ova tehnologija više nije rezervirana samo za filmsku industriju i razvoj video igara, već je postala nezaobilazan alat u širokom spektru disciplina kao što su arhitektura, geodezija, medicina i znanost. Razvojem 3D modeliranja pojavljuju se različite

tehnike i alati poput fotogrametrije i Gaussovog raspršivanja, koji omogućuju preciznu i detaljnu rekonstrukciju 3D modela i prostora. Fotogrametrija i Gaussovo raspršivanje dvije su metode koje, iako različite u pristupu, dijele sličan cilj, a to je vizualizacija 3D scene pomoću velikog broja preklapajućih fotografija. Primjenom ovih metoda moguće je generirati izuzetno detaljne i uvjerljive 3D modele koristeći širok spektar ulaznih podataka, uključujući fotografije i zapise o dubini.

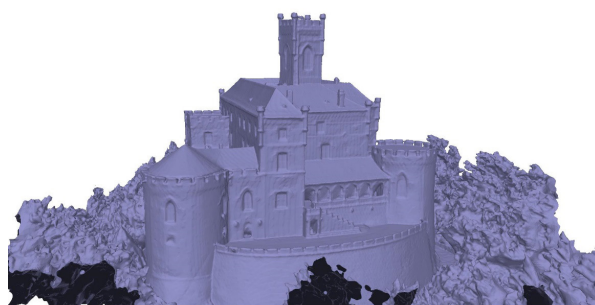
Fotogrametrija se temelji na digitalnoj obradi 2D slika kako bi se odredila trodimenzionalna geometrija objekta u prostoru. Korištenjem velikog broja preklapajućih fotografija i preciznog pozicioniranja točaka na slikama, fotogrametrija stvara detaljan i realističan 3D model. S druge strane, Gaussovo raspršivanje kao alternativna tehnika fotogrametriji koristi interpolaciju podataka za generiranje površina. Za razliku od fotogrametrije koja direktno rekonstruira 3D modele, Gaussovo raspršivanje koristi preraspodjelu "splatova" radi modeliranja glatkih površina. Ova tehnika daje detaljne rezultate s manjim brojem fotografija, što je čini bržom i učinkovitom pri rekonstrukciji 3D modela.

U današnjem brzo mijenjajućem tehnološkom svijetu, ključno je prilagoditi se i odabrati odgovarajuću tehnologiju za rješavanje specifičnih zadataka projekta. Cilj ovog rada je istražiti napredak tehnologije rekonstrukcije i izrade 3D prostora ili modela te njihovu sveobuhvatnu primjenu u različitim disciplinama kao što su arhitektura, geodezija, medicina i znanost. Fokus je na detaljnoj analizi fotogrametrije i Gaussovog raspršivanja kao ključnih tehnika za preciznu i detaljnu rekonstrukciju 3D modela.

3D modeliranje obuhvaća kompleksan proces stvaranja trodimenzionalnih objekata koji zahtijevaju znatno više vremena i tehničkog znanja u usporedbi s njihovim dvodimenzionalnim verzijama. Dok je kreiranje 2D objekata relativno jednostavno i može se lako izvesti na papiru, 3D objekti zahtijevaju dublje razumijevanje geometrije, tekstura, osvjetljenja i sjena kako bi se postigla željena dubina i realizam. Tehnološki napredak u računalnoj grafici i dizajnu omogućio je razvoj besplatnih alata koji olakšavaju transformaciju kreativnih ideja u detaljne digitalne 3D modele. Ključni

element svakog 3D modela uključuje trokutastu mrežu koja strukturira geometriju, što omogućava prilagodbu različitim zahtjevima vizualizacije računalne grafike. Kroz mrežu, modelima se oblikuju i definiraju dimenzije poput dužine, širine, visine i dubine kako bi bio postignut autentičan trodimenzionalni dojam.

Kvalitetni digitalni 3D modeli se sastoje od tri ključna segmenta: matematičkog prikaza strukture koji definira geometrijsku kompleksnost, teksturiranja koje doprinosi realističnosti, te pravilnog definiranja osvjetljenja i sjena radi postizanja željenog vizualnog efekta. Osvjetljenje, kao važan aspekt 3D modeliranja, obuhvaća širok spektar tehnika i alata za simulaciju svjetla u digitalnom okruženju. Kombinacijom različitih vrsta osvjetljenja poput ambijentalnog, reflektiranog, direktnog, indirektnog i globalnog, postiže se estetski i funkcionalno bogat vizualni dojam. Ovaj integrirani pristup 3D modeliranju omogućava stvaranje vrhunskih digitalnih artefakata koji ne samo da zadovoljavaju estetske standarde već i služe praktičnim svrhama u područjima poput arhitekture, industrije video igara, vizualnih efekata i simulacija.



Slika 1 Prikaz modela bez i sa teksturom

Figure 1 View of the model without and with texture
(Izvor: autor)

3D skeniranje, kao vrlo važna tehnika 3D digitalizacije, neinvazivno rekonstruira strukturu i geometriju objekata, stvarajući "oblake točaka" na

temelju površinskih podataka. Ovakva tehnologija osigurava detaljno prikupljanje podataka o objektima i njihovim oblicima, transformirajući ih u realistične 3D modele u računalnoj grafici. Analizom objekata iz različitih perspektiva, 3D skeniranje pruža dubinski uvid i preciznost u rekonstrukciju modela.

Primjena 3D skeniranja izuzetno je raznovrsna, obuhvaćajući područja kao što su medicina, filmska industrija, računalne igre te industrija obrtnog inženjerstva i geodezije. U medicini se ova tehnologija koristi za razvoj proizvoda poput medicinskih uređaja i proteza, dok u filmskoj industriji i igrama ubrzava procese stvaranja digitalnih modela. U geodeziji, 3D skeneri precizno bilježe prostorne podatke, dok ih muzeji koriste za očuvanje i analizu umjetničkih djela. Različite vrste skenera, poput laserskih, strukturiranih svjetlosnih i fotogrametrijskih, prilagođavaju se specifičnim potrebama projekata, osiguravajući visoku razinu preciznosti i efikasnosti. U odabiru 3D skenera ključnu ulogu igraju čimbenici kao što su tip projekta, proračun, potrebna preciznost i vrsta objekata koji se skeniraju. Svaka tehnologija nosi svoje prednosti i ograničenja, pružajući različite metode za stvaranje i analizu 3D modela s visokom točnošću i pouzdanošću.



Slika 2 Prikaz korištenja strukturiranog svjetlosnog skenera

Figure 2 Illustration of the use of a structured light scanner
(Izvor: <https://www.shining3d.com/solutions/multi-functional-laser-handheld-3d-scanner-freescan-ue-pro/>)

Fotogrametrija je sofisticirana tehnika koja se koristi za precizno mjerenje geometrije, pomaka i deformacija objekata ili prostora putem analize velikog broja preklapajućih fotografija. Ova tehnika postaje vrlo važna u suvremenom svijetu zahvaljujući napretku digitalnih fotoaparata

koji omogućuju snimanje visokokvalitetnih slika po pristupačnim cijenama. Primjena fotogrametrije obuhvaća širok spektar područja kao što su građevina, strojarstvo, arhitektura te konzervacija kulturnih i povijesnih spomenika. Jedna od ključnih prednosti fotogrametrije je mogućnost istraživanja i analize objekata i prostora bez potrebe za fizičkim kontaktom, čime se minimizira rizik od oštećenja ili neželjenih promjena na samom objektu. Ova tehnika posebno je korisna u rekonstrukciji povijesnih građevina ili arheoloških nalazišta, gdje je preciznost i detaljnost ključna za očuvanje autentičnosti.

Za stvaranje 3D modela putem stereoskopskog para fotografija ključna je digitalna stereofotogrametrija. Ova poddisciplina fotogrametrije omogućava beskontaktno mjerenje pomoću niza fotografija snimljenih kamerama, koje detektiraju koordinate i granice objekta na svakoj slici. Kvalitetan 3D model zahtijeva temeljne koncepte u fotogrametriji:

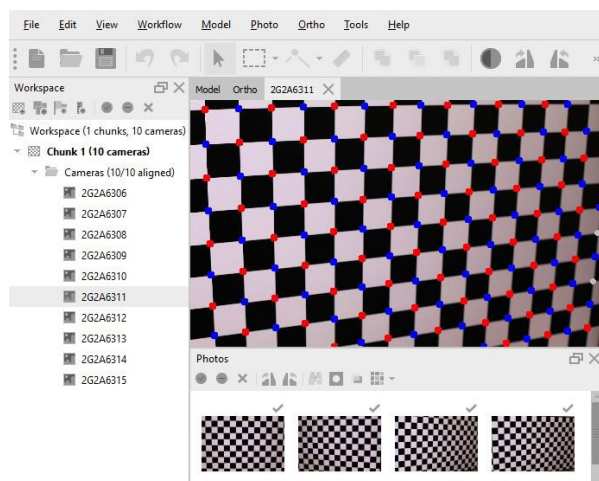
- Geometrija kamere
- Kalibracija kamere
- Triangulacija

Geometrija kamere ključno je za prikazivanje trodimenzionalnog svijeta na dvodimenzionalnim slikama. Prilikom snimanja, svaka kamera stvara dvodimenzionalnu projekciju 3D prostora iz određenog kuta. Osnovni pojmovi poput projekcijske ravnine, žarišne duljine i optičkog centra kamere igraju ključnu ulogu u ovom procesu. Projekcijska ravnina je imaginarna ravnina ispred kamere koja je od presudne važnosti za mapiranje 3D svijeta na 2D sliku. Žarišna duljina utječe na perspektivu i kut gledanja kamere, što je značajno za dubinsku percepciju i razlučivost fotografije dok optički centar kamere precizno određuje geometrijska svojstva i orijentacije slike.

Kalibracija kamere proces je kojim se određuje unutarnja orijentacija kamere kako bi se osigurala točnost i preciznost prilikom snimanja. Ovaj proces uključuje određivanje položaja središta perspektive, koordinatnih referentnih oznaka, žarišne duljine, izobličenja leće i razlučivosti slike. Cilj kalibracije je omogućiti kameri točno prikazivanje prostornih informacija, što je ključno

za analizu i mjerenje. Iako mnoge suvremene kamere, posebno u aerofotogrametriji, koriste automatsku kalibraciju, ponekad je potrebno provesti kalibraciju putem analize fotografija i specijaliziranih softvera kao što su OpenCV, MATLAB, VisualSFM i Agisoft Metashape.

Triangulacija je temeljna tehnika u fotogrametriji koja omogućava rekonstrukciju 3D objekata iz 2D fotografija. Ova metoda uključuje snimanje više preklapajućih fotografija objekta iz različitih točaka gledišta i identifikaciju odgovarajućih točaka na tim fotografijama. Korištenjem poznatih položaja kamera i kontrolnih točaka s poznatim 3D koordinatama, triangulacija izračunava prostorne položaje točaka u sceni. Ključni koncept triangulacije je određivanje trokuta čije su stranice i kutovi poznati. Uz pomoć trigonometrije i geometrije, izračunavaju se trodimenzionalne koordinate tih točaka. Točnost i pouzdanost dobivenih koordinata ovise o kvaliteti fotografija, točnosti kontrolnih točaka i geometrijskoj konfiguraciji kamera. Optimalnom kvalitetom tih čimbenika postiže se precizniji prikaz 3D modela. Triangulacija se široko primjenjuje u različitim područjima, uključujući razvoj autonomnih vozila, virtualnu stvarnost i robotiku, gdje je analiza okoline od presudne važnosti.



Slika 3 Prikaz korištenja Agisoft Metashapea za kalibraciju kamere

Figure 3 Demonstration of using Agisoft Metashape for camera calibration
(Izvor: <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-camera-lens-calibration-agisoft-metashape-wilson-gbf8c/>)

Koncept mjernih fotografija datira iz razdoblja renesanse, kada su umjetnici težili postizanju realizma u svojim djelima koristeći matematiku

za što točnije prikazivanje predmeta. Te su metode nastavile evoluirati do izuma kamere u 19. stoljeću. Kombinacija ovih koncepata i tehnoloških napredaka omogućila je širu primjenu fotogrametrije kao alata za razna mjerenja. Zbog različitih načina prikupljanja podataka i položaja iz kojih se fotografije snimaju, fotogrametrija se dijeli na nekoliko vrsta. Glavna podjela uključuje terestričku fotogrametriju i aerofotogrametriju, dok se satelitska, podvodna i makrofotogrametrija koriste u specifičnim slučajevima. Svaka od ovih podjela ima svoju primjenu u različitim područjima, gdje različita perspektiva i položaj kamere igraju ključnu ulogu u stvaranju skupa podataka za optimalnu rekonstrukciju 3D objekta ili scene.

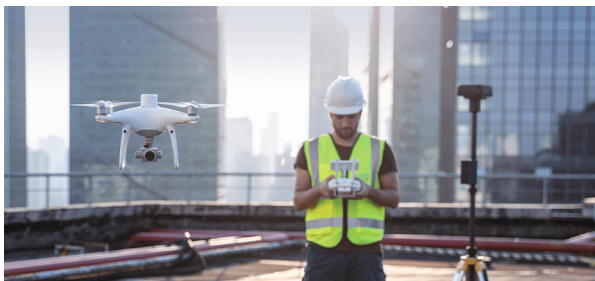
Terestrička fotogrametrija vrsta je fotogrametrije koja se bavi rekonstrukcijom 3D modela na temelju fotografija snimljenih s površine Zemlje. Kamera se može držati u ruci, montirati na stalke, postaviti na tornjeve ili druge specijalno dizajnirane nosače. Ova vrsta fotogrametrije omogućava izravno mjerenje položaja kamere, a kod nekih se modela može mjeriti i postaviti kutna orijentacija. Terestrička fotogrametrija, ili bliska fotogrametrija, obično se koristi za snimanje terena i područja na udaljenostima do 300 metara. Može biti statična ili dinamična. Statična se koristi za nepokretne objekte, dok je dinamična namijenjena snimanju pokretnih objekata. Statična fotogrametrija koristi spore, finoizrnate filmove visoke rezolucije s dugim vremenima ekspozicije, dok dinamična koristi brze filmove i velike brzine zatvarača [1].



Slika 4 Prikaz terestričke kamere Trimble V10 Imaging Rover
Figure 4 Illustration of the Trimble V10 Imaging Rover terrestrial camera
(Izvor: <https://allterra-hungary.com/termek/v10/>)

Aerofotogrametrija vrsta je fotogrametrije koja se bavi prikupljanjem i analizom fotografija snimljenih iz zrakoplova ili drugih zračnih

izvora radi rekonstrukcije 3D modela ili prikaza određenog područja. Ova tehnika posebno je profitirala od razvoja bespilotnih letjelica (UAV). Kamera se postavlja na zrakoplove ili UAV-ove koji lete iznad ciljanog područja, snimajući fotografije koje se kasnije obrađuju za generiranje mjerenja. Na temelju prikupljenih podataka mogu se stvoriti dva tipa finalnih proizvoda, 3D oblak točaka i geo-referencirani proizvod sa značajkama fotografiranog područja. 3D oblak točaka omogućava precizan prikaz fotografiranog područja u 3D okruženju, dok geo-referencirane značajke pružaju točne slike područja iz ptičje perspektive, pogodne za razna mjerenja i analize [2].



Slika 5 Prikaz korištenja drona "DJI Phantom 4 RTK" u aerofotogrametriji

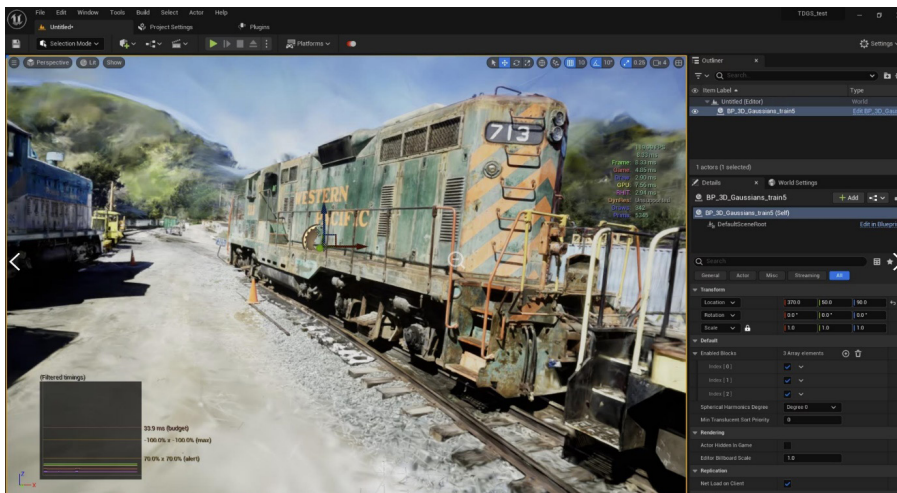
Figure 5 Illustration of the use of the drone "DJI Phantom 4 RTK" in aerial photogrammetry

(Izvor: <https://enterprise.dji.com/electricity/construction-planning-and-design>)

Neprestanim razvojem i napretkom tehnologije, posebice u računalnoj grafici i kontekstu vizualizacije, potražnja za preciznim i realističnijim prikazom 3D objekata ili prostora drastično je porasla. U posljednjih nekoliko desetljeća, brojni svjetski inženjeri i

stručnjaci za 3D vizualizaciju usredotočili su se na kreiranje novih tehnika koje će, pomoću složenih metoda, vizualizirati 3D objekte i prostore s visokom razinom realizma i detalja. Jedna od najnovijih tehnika u ovom području je Gaussovo raspršivanje. Ova tehnika predstavlja inovativniji pristup vizualizaciji, značajno različit od tradicionalnih metoda poput fotogrametrije, koristeći složene matematičke funkcije i algoritme za rekreiranje složenih objekata iz velikih skupova podataka. Gaussovo raspršivanje koristi Gaussove funkcije za modeliranje velikog broja točaka u prostoru, što omogućava detaljniju i estetski ugodniju rekonstrukciju 3D objekata i prostora. Tehnika je već privukla pažnju velikih tvrtki poput Adobea, Applea, Googlea i Mete te se integrira u popularne frameworke kao što su Unreal Engine, Nvidia Omniverse i Unity. Iako još uvijek manje poznata u usporedbi s tradicionalnim tehnikama, Gaussovo raspršivanje kontinuirano se razvija i pronalazi svoju primjenu u sve širem spektru industrija.

Pored Gaussovog raspršivanja, postoje druge metode i procesi koji se ističu kod 3D vizualizacije. Neke od najpoznatijih su LIDAR, NeRF, SfS te IBR. LIDAR koristi lasersko skeniranje za precizno mapiranje objekata i terena prilikom čega se stvaraju točke visoke gustoće i točnosti za reprezentaciju u raznim industrijama poput arhitekture i geodezije [3]. NeRF, s druge strane, koristi duboko učenje za generiranje realističnih 3D prikaza iz niza 2D slika, omogućavajući modeliranje svjetlosti i gustoće u volumenu, što rezultira impresivnim vizualizacijama [4]. SfS analizira osvjetljenje i



Slika 6 Prikaz Unreal Engine dodatka za korištenje Gaussovog raspršivanja

Figure 6 Illustration of the Unreal Engine plugin for using Gaussian splatting

(Izvor: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/3d-gaussians-plugin/reviews>)

sjene na 2D slikama kako bi rekonstruirao 3D oblike, koristeći varijacije svjetlosti za precizno definiranje geometrije objekata [5]. Na kraju, IBR omogućava stvaranje 3D prikaza iz skupa 2D slika, interpolirajući između različitih perspektiva bez potrebe za izravnom rekonstrukcijom 3D modela [6].

Gaussovo raspršivanje vizualizira 3D scene pomoću velikog broja podataka, omogućujući pregled iz različitih kutova u stvarnom vremenu. Naziv dolazi od Gaussovih funkcija koje se koriste za modeliranje točaka u prostoru. Službeno se pojavila u kolovozu 2023. godine, nudeći brzo i precizno skeniranje i vizualizaciju 3D prostora. Tehnika koristi fotografije ili videozapise snimljene iz različitih kutova kako bi SfM metode popunile praznine i procijenile 3D oblak točaka. Algoritmi zatim te točke pretvaraju u Gaussove mrlje, omogućujući stvaranje fotorealističnih 3D objekata visoke kvalitete. Proces obuke koristi gradijentno spuštavanje za manipulaciju točkama, dok Gaussova rasterizacija pretvara te točke u piksele. Iako je ova tehnika još u razvoju, već je privukla pažnju velikih tvrtki poput Adobea, Applea, Googlea i Mete te se integrira u popularne frameworke kao što su Unreal Engine, Nvidia Omniverse i Unity.

Ideja Gaussovog raspršivanja temelji se na istraživanjima Leeja Alana Westovera iz 1990-ih, koji je u svom doktorskom radu predstavio koncept "splattinga" kao način generiranja slike procesom "bacanja" gruda snijega na zid [7]. Daljnja istraživanja u 2000-ima i 2020-ima dovela su do razvoja NeRF-ova (Neural Radiance Fields), koji su koristili neuronske mreže za stvaranje modela svjetlosti, ali su imali značajan

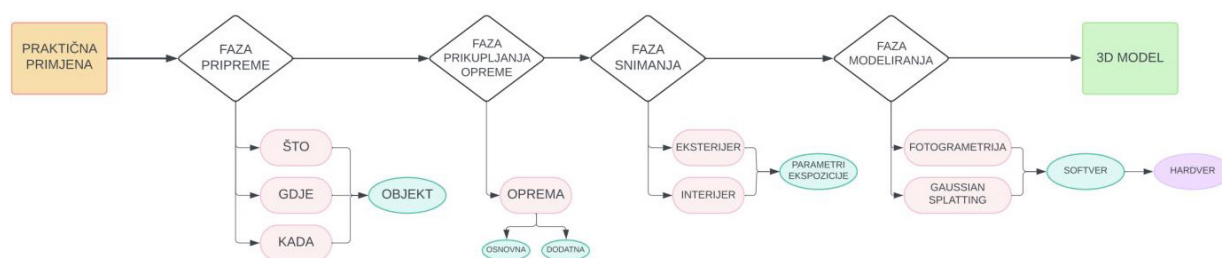
nedostatak, a to je vrlo spori prikaz. Godine 2023., tim francuskih i njemačkih istraživača nadgradio je NeRF-ove koristeći metodu Gaussovog raspršivanja, što je omogućilo bržu i precizniju vizualizaciju. Objavili su rad "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering", dokazavši smanjenje potrebe za računanjem praznih prostora, optimizaciju stvaranja Gaussovih vrijednosti i smanjenje vremena treniranja i renderiranja [8]. Ovaj pristup omogućio je brže i preciznije vizualizacije, privlačeći pažnju velikih tehnoloških tvrtki i integrirajući se u popularne softverske okvire za 3D vizualizaciju.

2. OPIS PRAKTIČNE KOMPONENTE

2. DESCRIPTION OF THE PRACTICAL COMPONENT

Za praktičnu primjenu ovog diplomskog rada odabrana je tvrđava Stari grad Varaždin, poznata renesansna utvrda i povijesni spomenik. Zbog arhitektonske složenosti i povijesne važnosti, odabrana je kao idealan objekt za primjenu suvremenih tehnika 3D skeniranja i modeliranja. Cilj praktične komponente je testirati fotogrametriju i Gaussovo raspršivanje kako bi se rekonstruirali detaljni 3D modeli te usporedile njihove razlike i prednosti.

Metoda je preuzeta iz rada "Izrada 3D modela metodom fotogrametrije" autora Emanuela Dubovečaka (2022.) koja se sastoji od više faza, a to su priprema, prikupljanje opreme, snimanje i modeliranje [9]. Prve tri faze zajedničke su za obje metode, dok se faza modeliranja razlikuje kod svake. Ovaj strukturirani pristup omogućava temeljitu provedbu svih koraka projekta.



Slika 7 Shematski prikaz faza praktične komponente

Figure 7 Schematic representation of the phases of the practical component (Izvor: autor)

	Glavna Hasselblad kamera	Sekundarna Tele kamera
Senzor	4/3 CMOS	1/2-inčni CMOS
Rezolucija	20 MP, 5280×3956 maksimalna veličina slike	12 MP, 4000×3000 maksimalna veličina slike
Objektiv	24 mm (ekvivalent), 84° FOV	162 mm (ekvivalent), 15° FOV
Otvor blende	f/2,8 do f/11	f/4.4
Žarišna udaljenost	1 m do ∞	3 m do ∞
ISO	100 – 6400	100 – 6400
Brzina zatvarača	8 – 1/8000 s	2 – 1/8000 s

Slika 9 Specifikacije kamera drona DJI Mavic 3 Cine

Figure 9 DJI Mavic 3 Cine drone camera specifications (Izvor: autor)

2.1. FAZE PROCESA

2.1. STAGES OF THE PROCESS

Faza pripreme ključna je jer se u njoj definiraju osnovni parametri za uspješno prikupljanje fotografija. Postavljanje ključnih pitanja kao što su zašto, gdje i kada se provodi fotografiranje omogućava strukturiranje procesa. Ova faza osigurava temelj za daljnje korake u rekonstrukciji 3D modela Starog grada Varaždin korištenjem fotogrametrije i Gaussovog raspršivanja.

Faza prikupljanja opreme priprema svu potrebnu opremu za snimanje, u ovom slučaju dron DJI Mavic 3 Cine, koji je ključan za uspješno snimanje eksterijera Starog grada Varaždin. Dron se pokazao kao optimalan izbor zbog svojih mogućnosti snimanja iz zraka i brzine pokrivanja velikih površina, što je od velike važnosti za dobivanje visokokvalitetnih podataka potrebnih za 3D rekonstrukciju.



Faza snimanja fokusira se na detaljno planiranje parametara snimanja dronom, poput visine leta, brzine kretanja, kuta kamere i vremenskih uvjeta. Korištenjem Waypoint moda dron automatski slijedi definiranu rutu, olakšavajući prikupljanje preklapajućih fotografija potrebnih za kvalitetnu rekonstrukciju. Pravilne postavke kamere i odabir optimalnog vremena za snimanje ključni su za dobivanje preciznih i detaljnih fotografija Starog grada Varaždin.

Faza modeliranja posljednja je faza u kojoj se priprema i proces snimanja sjedinjuju u finalan 3D produkt. Svaka metoda, fotogrametrija i Gaussovo raspršivanje, provodi se na drugačiji način zbog

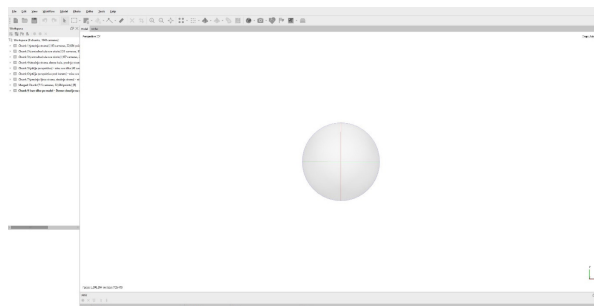
svojih jedinstvenih karakteristika i specifikacija. Svaka metoda zahtijeva posebnu hardversku i softversku podlogu za optimalne rezultate u 3D rekonstrukciji objekta. Različiti pristupi u fazi modeliranja omogućuju analizu prednosti i izazova svake metode, čineći ih prikladnima za različite primjene u 3D rekonstrukciji

2.2. PROCES FOTOGRAMETRIJE

2.2. PHOTOGRAMMETRY PROCESS

Fotogrametrija kao kompleksna metoda zahtijeva snažnu hardversku podršku što uključuje računala s velikom količinom RAM-a, brzim procesorima poput Intel Core i7 ili AMD Ryzen serije i Nvidia grafičke kartice novijih generacija poput RTX serije. Softver poput Metashape-a tvrtke Agisoft igra ključnu ulogu u obradi i analizi fotografija za rekonstrukciju 3D modela. Ključni koraci u procesu uključuju uvoz i poravnanje prikupljenih fotografija, određivanje regije i validaciju točaka, generiranje gustog oblaka točaka, generiranje mreže i generiranje teksture.

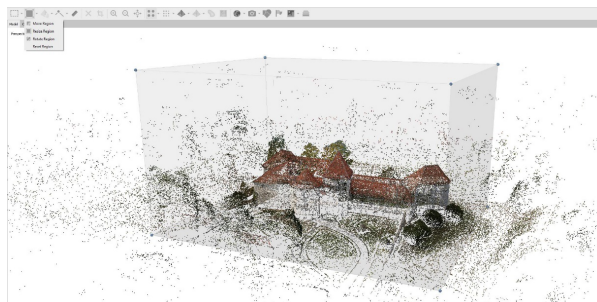
Početak fotogrametrijskog procesa uključuje uvoz snimljenih fotografija u Metashape, gdje se fotografije grupiraju u "chunkove". Svaki chunk omogućava različite operacije poput automatskog poravnanja fotografija i generiranja gustih oblaka točaka potrebnih za detaljnu 3D rekonstrukciju.



Slika 10 Prikaz glavnog sučelja Metashapea

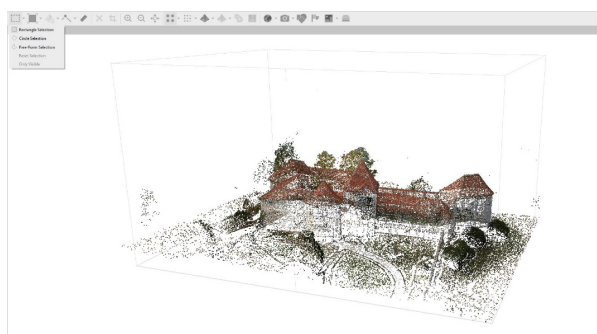
Figure 10 Presentation of the main interface of Metashape (Izvor: autor)

Nakon poravnanja fotografija, važno je definirati regije interesa i ukloniti nepotrebne točke kako bi se osigurala točnost i efikasnost daljnje obrade. Alati za upravljanje regijama i uklanjanje viška točaka koriste se za precizno definiranje područja za daljnju analizu.



Slika 11 Proces odabira regije za obradu

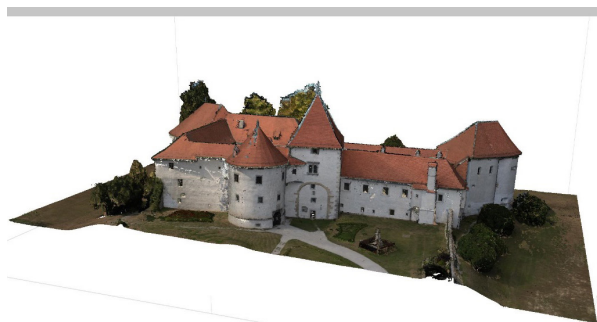
Figure 11 The process of selecting a region for processing (Izvor: autor)



Slika 12 Prikaz odabrane regije za obradu

Figure 12 View of the selected region for processing (Izvor: autor)

Kreiranje gustog oblaka točaka ključan je korak u procesu jer koristi informacije iz poravnanih fotografija za stvaranje detaljnog 3D modela. Ovaj korak osigurava preciznu geometriju i teksturu modela, što je ključno za daljnje korake u rekonstrukciji.



Slika 13 Prikaz gustog oblaka točaka

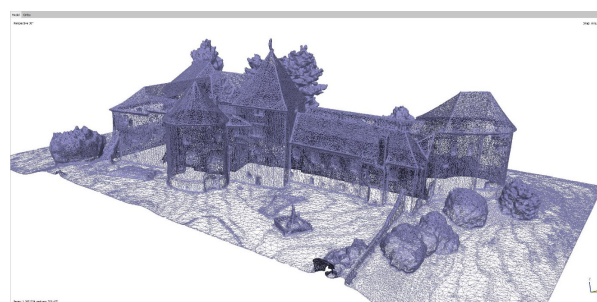
Figure 13 View of a dense cloud (Izvor: autor)

Na temelju gustog oblaka točaka generira se gusta mreža koja definira površinu 3D modela. Gustoća mreže utječe na detalje modela, a Metashape koristi razne parametre za optimizaciju kvalitete površine. Generiranje mreže također uključuje stvaranje UV mapa, što je važno za proces dodavanja tekstura.



Slika 14 Prikaz mreže 3D modela

Figure 14 View of the 3D model (Izvor: autor)



Slika 15 Prikaz žičanog 3D modela

Figure 15 View of the 3D wireframe (Izvor: autor)

Finalni korak u procesu fotogrametrije uključuje generiranje teksture koja se primjenjuje na 3D model. Metashape koristi tehniku UV mappinga za raspodjelu teksture preko modela, osiguravajući detaljan i realističan izgled. Visoka rezolucija fotografija ključna je za kvalitetu tekstura, ali zahtijeva naprednu hardversku podršku za obradu modela.



Slika 16 Prikaz teksturiranog 3D modela

Figure 16 View of the textured 3D model (Izvor: autor)

2.3. PROCES GAUSSOVOG RASPRŠIVANJA

2.3. GAUSSIAN SPLATTING PROCESS

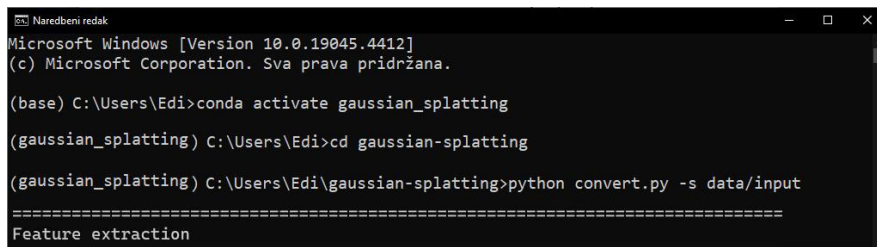
Gaussovo raspršivanje složena je tehnika za vizualizaciju 3D objekata koja koristi Gaussove funkcije za interpolaciju i digitalizaciju površine. Za razliku od fotogrametrije koja koristi jednostavne alate poput Metashape-a, Gaussovo raspršivanje zahtijeva znatno više specijaliziranih programa i alata. Neki od najosnovnijih su Git, Conda, CUDA Toolkit, Visual Studio 2019 ili noviji, COLMAP, te razni dodatni alate poput ImageMagick-a i FFMPEG-a. Također, potrebna je grafička kartica s minimalno 24 GB VRAM-a za obradu podataka. Unatoč kompleksnim zahtjevima, tehnika se i dalje razvija te se u budućnosti očekuje integracija alata u jednostavnije softverske pakete radi automatizacije procesa.

Proces Gaussovog raspršivanja predstavlja složenu tehniku za vizualizaciju 3D objekata koja se sastoji od tri ključna koraka:

1. Priprema SfM podataka
2. Optimizacija
3. Interaktivni preglednik

Prvi korak u procesu je priprema seta podataka Structure-from-Motion (SfM). Ovaj korak transformira prikupljene fotografije u optimizirane skupove podataka koji su ključni za daljnju obradu pomoću Gaussovih algoritama. SfM tehnologija koristi se za analizu skupa fotografija iz različitih kutova kako bi se vizualizirala 3D struktura objekta. Ovdje se provode ključne operacije kao što su filtriranje ključnih značajki slika, prepoznavanje odgovarajućih skupova točaka između fotografija te generiranje dubinskih mapa i struktura točaka. Ovi podaci omogućuju optimizatoru da precizno rekreira detaljan 3D model objekta.

Nakon pripreme SfM podataka, koristi se optimizator baziran na PyTorch-u i CUDA ekstenzijama. PyTorch je popularna biblioteka za strojno učenje koja omogućava implementaciju složenih algoritama potrebnih za optimizaciju Gaussovih modela. CUDA ekstenzije pružaju podršku za izvođenje operacija na grafičkoj kartici, što značajno ubrzava proces optimizacije. Optimizator prilagođava sve parametre 3D modela kako bi se postigao što precizniji prikaz objekta, što uključuje podešavanje geometrijskih svojstava i tekstura.

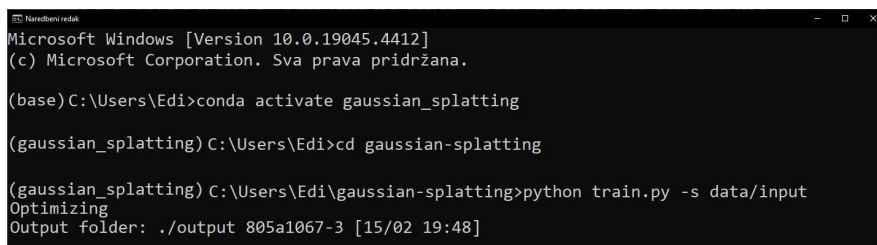


```
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.4412]
(c) Microsoft Corporation. Sva prava pridržana.

(base) C:\Users\Edi>conda activate gaussian_splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi>cd gaussian-splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi\gaussian-splattng>python convert.py -s data/input
=====
Feature extraction
=====
```

Slika 17 Postupak generiranja SfM podataka

Figure 17 SfM data generation procedure (Izvor: autor)

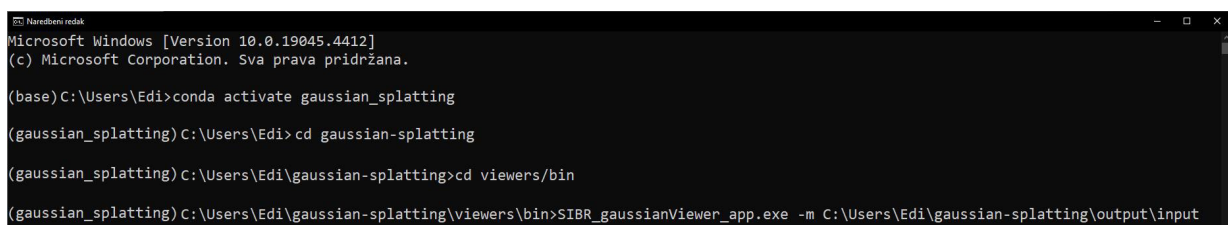


```
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.4412]
(c) Microsoft Corporation. Sva prava pridržana.

(base) C:\Users\Edi>conda activate gaussian_splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi>cd gaussian-splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi\gaussian-splattng>python train.py -s data/input
Optimizing
Output folder: ./output 805a1067-3 [15/02 19:48]
```

Slika 18 Postupak pokretanja optimizatora

Figure 18 Optimizer startup procedure (Izvor: autor)



```
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.4412]
(c) Microsoft Corporation. Sva prava pridržana.

(base) C:\Users\Edi>conda activate gaussian_splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi>cd gaussian-splattng
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi\gaussian-splattng>cd viewers\bin
(gaussian_splattng) C:\Users\Edi\gaussian-splattng\viewers\bin>SIBR_gaussianViewer_app.exe -m C:\Users\Edi\gaussian-splattng\output\input
```

Slika 19 Postupak pokretanja interaktivnog preglednika

Figure 19 Interactive viewer startup procedure (Izvor: autor)

Finalni korak u procesu je upotreba interaktivnog preglednika koji koristi OpenGL za renderiranje 3D modela u stvarnom vremenu. OpenGL je standardna specifikacija za prikaz 2D i 3D grafike koja omogućava visoku kvalitetu i performanse pri vizualizaciji kompleksnih objekata.

Interaktivni preglednik omogućava korisniku interaktivno manipuliranje 3D modelom, uključujući rotaciju, pomicanje i zumiranje radi detaljne analize dobivenih rezultata. Ovaj korak ključan je za provjeru kvalitete i identifikaciju mogućih nedostataka ili problema u modelu prije konačne upotrebe u stvarnim aplikacijama.

3. PRIKAZ REZULTATA FOTOGRAMetriJE

3. PRESENTATION OF PHOTOGRAMMETRY RESULTS

Rezultati fotogrametrije prikazani u ovom poglavlju temelje se na detaljnoj analizi snimljenih fotografija Starog grada Varaždin. Fotogrametrija omogućava preciznu rekonstrukciju objekta koristeći veliki broj fotografija i generiranjem oblaka točaka, što stvara detaljne 3D modele. Prednosti ove metode su realističan prikaz tekstura i strukture objekta, iako može zahtijevati veću količinu hardverskih resursa i dulje vrijeme obrade. Ova metoda osigurava visoku razinu geometrijske točnosti, što je posebno korisno u arhitektonskim projektima, omogućujući preciznu digitalizaciju složenih elemenata.



Slika 20 Prednja (južna) strana Starog grada Varaždin
Figure 20 Front (south) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Na slici 20 prikazana je prednja (južna) strana Starog grada Varaždin, s precizno rekonstruiranim detaljima poput kamenih površina i arhitektonskih

elemenata. Model generiran fotogrametrijom zadržava visoku razinu geometrijske točnosti, a teksture su realistično projicirane na površinu zahvaljujući visokoj rezoluciji korištenih fotografija.



Slika 21 Bočna (istočna) strana Starog grada Varaždin
Figure 21 Lateral (eastern) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Slika 21 prikazuje bočnu (istočnu) stranu Starog grada Varaždin, gdje je naglasak na masivnim zidovima i arhitektonskim detaljima poput okvira prozora i kula. Fotogrametrija je omogućila precizan prikaz ovih elemenata, pri čemu su teksture zidova realno prikazane, naglašavajući starost i strukturu materijala, dok je kvaliteta modela zadržala visoku razinu detalja i vjernosti stvarnom izgledu objekta.



Slika 22 Stražnja (sjeverna) strana Starog grada Varaždin
Figure 22 The rear (northern) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Prikaz stražnje (sjeverne) strane Starog grada Varaždin na slici 22 otkriva značajne tragove istrošenosti, uključujući tamne mrlje na zidovima koje ukazuju na ljuštenje boje i utjecaj vremenskih uvjeta. Ovaj fotogrametrijski model vjerno reproducira te nepravilnosti, čime se postiže realističan prikaz tekstura i znakova propadanja, što dodatno naglašava autentičnost povijesne građevine.



Slika 23 Bočna (zapadna) strana Starog grada Varaždin

Figure 23 Lateral (western) side of Old Town Varaždin
(Izvor: autor)

Bočna (zapadna) strana Starog grada Varaždin, koja se vidi na slici 23, prikazuje snažne zidove i prepoznatljive arhitektonske detalje. Fotogrametrijski model vjerno reproducira teksture površina, uključujući sitne pukotine i nepravilnosti, čime se postiže realističan prikaz stanja ove povijesne građevine.



Slika 24 Detalj prednje (južne) strane Starog grada Varaždin

Figure 24 Detail of the front (south) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Detalj prikazan na slici 24 fokusira se na prednju (južnu) stranu Starog grada Varaždin, gdje su istaknuti prozori i dekorativni elementi koji obogaćuju njegovu arhitekturu. Fotogrametrijski model jasno prikazuje teksture i sitne nepravilnosti na površinama, što doprinosi autentičnom izgledu i daje dojam o povijesnoj važnosti starog grada Varaždin.

Na slici 25 prikazana je bočna (istočna) strana Starog grada Varaždin, s naglaskom na kamenite zidove i dekorativne elemente. U pozadini se nalaze elementi poput kipa i raslinja, koji nisu u fokusu te se stoga vide manje detaljno. Fotogrametrijski model uspješno ističe detaljne teksture zidova i sitne nepravilnosti, što doprinosi

razumijevanju povijesnog značaja ove građevine i kvalitete materijala koji su korišteni u njejoj konstrukciji.



Slika 25 Detalj bočne (istočne) strane Starog grada Varaždin

Figure 25 Detail of the side (eastern) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Analizom rezultata fotogrametrije prikazano je kako se moderna tehnologija može koristiti za detaljno dokumentiranje i očuvanje povijesnih građevina. Precizno rekonstruirani 3D modeli ne samo da omogućuju vizualizaciju arhitektonskih elemenata, već i pružaju dragocjene informacije o stanju objekta, materijalima i tehnikama izgradnje. Osim toga, rezultati fotogrametrije doprinose boljem razumijevanju kulturne i povijesne važnosti ove građevine, otvarajući nove mogućnosti za istraživanje i analizu.

4. PRIKAZ REZULTATA GAUSSOVOG RASPRŠIVANJA

4. PRESENTATION OF GAUSSIAN SPLATTING RESULTS

U ovom poglavlju prikazani su rezultati Gaussovog raspršivanja, metode koja koristi napredne algoritme za interpolaciju podataka. Ova tehnika stvara prividno glatku površinu, od velikog broja elipsoida i točaka. Gaussovo raspršivanje omogućava bržu obradu uz korištenje manjeg broja fotografija, što pridonosi efikasnosti cijelog procesa. Modeli generirani ovom metodom zadržavaju visoku razinu vizualne kvalitete, a preciznost i detaljnost površina doprinose realističnom prikazu objekta. Uz to, mogućnost interaktivnog pregleda rezultata omogućava korisnicima da lako upravljaju modelima, dodatno povećavajući njihovu upotrebljivost u različitim primjenama, od arhitektonske analize do virtualne

stvarnosti. Ovaj pristup pruža novi način vizualizacije složenih struktura i poboljšanje 3D prikaza.



Slika 26 Prednja (južna) strana Starog grada Varaždin

Figure 26 Front (south) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Na slici 26 prikazana je prednja (južna) strana Starog grada Varaždin, rekonstruirana metodom Gaussovog raspršivanja. Ova slika jasno prikazuje glatke površine modela, koje su rezultat korištenja elipsoida i točaka za interpolaciju podataka. Teksture su vjerno prikazane, a detalji poput prozora i dekorativnih elemenata jasno su vidljivi. Iako je model prikazani s nešto manje finih detalja u usporedbi s fotogrametrijom, zadržana je visoka razina vizualne kvalitete, a realistični prikaz omogućava gledatelju da uoči arhitektonske značajke i složenost strukture.



Slika 27 Bočna (istočna) strana Starog grada Varaždin

Figure 27 Lateral (eastern) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Bočna (istočna) strana Starog grada Varaždin na slici 27 prikazuje sofisticiranu rekonstrukciju koja ističe arhitektonske značajke ovog povijesnog objekta. U ovom prikazu, glatke površine i fluidni prijelazi između elemenata osigurani su korištenjem elipsoida, što omogućava brzu obradu podataka. Dok se uočavaju značajni arhitektonski detalji, poput prozora i kamenih zidova, neki

sitni elementi nisu toliko izraženi zbog načina na koji se podaci interpoliraju. Pored značajnih arhitektonskih detalja, poput prozora i kamenih zidova, u pozadini su vidljive okolne kuće koje doprinose kontekstu prikaza, dok nebo s nježnim prijelazima boja dodatno obogaćuje vizualni dojam i stvara osjećaj prostora.



Slika 28 Kupola stražnje (sjeverne) strane Starog grada Varaždin

Figure 28 The dome of the back (north) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Na slici 28 fokus je na kupoli stražnje (sjeverne) strane Starog grada Varaždin, koja ističe glatke površine i arhitektonske detalje. Iako su neki manji elementi manje izraženi, teksture su dobro prikazane. U pozadini se nazire dio okolnih zgrada, dok nebo s blago nijansiranim prijelazima dodaje dubinu i kontekst cijelom prikazu.



Slika 29 Stražnja (sjeverna) strana Starog grada Varaždin

Figure 29 The rear (northern) side of the Old Town of Varaždin
(Izvor: autor)

Na slici 29 prikazana je stražnja (sjeverna) strana Starog grada Varaždin, koja naglašava arhitektonske detalje i izražene teksture zidova. Metoda Gaussovog raspršivanja omogućava detaljno prikazivanje površina, s glatkim linijama koje pružaju dodatni kontrast. S obzirom

na udaljenost, detalji na okolnom raslinju i teksturama su također vidljivi, što doprinosi doživljaju dubine i kompleksnosti prostora.



Slika 30 Detalj prednje (južne) strane Starog grada Varaždin
Figure 30 Detail of the front (south) side of the Old Town of Varaždin
 (Izvor: autor)

Na slici 30 prikazan je detalj prednje (južne) strane Starog grada Varaždin s naglaskom na arhitektonske elemente poput prozora, ulaznih vrata, krovišta i ukrasnih detalja. Prilikom bližeg pregleda, primjećuje se gubitak detalja, što je posljedica korištenja elipsoida u procesu Gaussovog raspršivanja. Kao rezultat toga, površina ne zadržava potpuni kontinuitet, što može utjecati na dojam realističnosti prilikom detaljnog pregleda.



Slika 31 Detalj bočne (istočne) strane Starog grada Varaždin
Figure 31 Detail of the side (eastern) side of the Old Town of Varaždin
 (Izvor: autor)

Na slici 31 prikazana je bočna (istočna) strana Starog grada Varaždin, koja naglašava bogate arhitektonske elemente i teksture zidova. Kao i na slici 30, kod detaljnog pregleda dolazi do gubitka detalja zbog korištenja elipsoida u procesu Gaussovog raspršivanja, što utječe na kontinuitet površina. Međutim, kad se 3D rekonstrukcija promatra iz veće udaljenosti, visoka razina detalja

dolazi do izražaja, a kontrast između svijetlih i tamnijih tonova stvara dojam dubine i slojevitosti.

Analiza rezultata Gaussovog raspršivanja ukazuje na njegovu efikasnost u rekonstrukciji 3D modela, kao i na sposobnost stvaranja vizualno privlačnih prikaza arhitektonskih elemenata. Ova metoda omogućava brzo i učinkovito rekonstruiranje složenih struktura, dok istovremeno naglašava ključne arhitektonske značajke. Prilikom detaljnijeg pregleda vidljivi su ključni elementi strukture modela, odnosno elipsoidi, koji prividno tvore kontinuiranu površinu 3D rekonstrukcije. Ova karakteristika doprinosi dinamičnom doživljaju 3D prikaza, pružajući gledatelju da bolje razumije strukturu i složenost objekta. Također, korištenje Gaussovog raspršivanja pruža nove mogućnosti u vizualizaciji i analizi, čime se otvaraju vrata za daljnja istraživanja i primjene u različitim disciplinama.

5. ZAKLJUČAK

5. CONCLUSION

Tehnološki razvoj modernog svijeta donosi značajne promjene i nove tehnologije koje uvelike pomažu u usklađivanju određenih zahtjeva. U području 3D modeliranja, fotogrametrija se već dugo koristi za digitalizaciju predmeta, objekata i područja. Fotogrametrija, koja koristi digitalne kamere i intuitivne softvere, ima široku primjenu u dokumentiranju i vizualizaciji prostornih podataka. S konstantnim napretkom 3D skeniranja i modeliranja, na tržištu se pojavljuju nova rješenja koja pokušavaju zamijeniti klasične metode fotogrametrije. U ovom radu predstavljena je metoda Gaussovog raspršivanja kao alternativna tehnika koja je korištena zajedno s fotogrametrijom za vizualizaciju Starog grada Varaždin.

Fotogrametrija ima široku primjenu u geodetskim mjerenjima, arhitekturi i sličnim područjima. Nasuprot tome, Gaussovo raspršivanje, kao novija i manje poznata metoda, pokazuje potencijal za upotrebu u GIS aplikacijama. Obje metode mogu pružiti visokokvalitetne 3D vizualizacije, ali imaju različite zahtjeve i karakteristike. Fotogrametrija je manje zahtjevnost u pogledu hardverske opreme i koristi jedinstven softver, kao što je Metashape tvrtke Agisoft, koji je jednostavan za upotrebu. Gaussovo raspršivanje, s druge strane, zahtijeva

snažniji hardver, posebno grafičku karticu s najmanje 24GB VRAM-a i upotrebu različitih alata i biblioteka kao što su PyTorch, OpenGL i COLMAP. Zbog toga ovi tehnički zahtjevi mogu biti izazovniji za korisnike bez naprednijeg tehničkog znanja.

Jedna od ključnih prednosti fotogrametrije je mogućnost izvoza 3D modela u različitim formatima, što olakšava daljnju upotrebu modela. Gaussovo raspršivanje stvara gustu mrežu elipsoida koja ne formira kontinuiranu površinu, što može rezultirati gubitkom sitnih detalja i smanjenom preciznošću u vizualizaciji. Fotogrametrija, zahvaljujući mreži koja predstavlja kontinuiranu površinu, pruža precizniju rekonstrukciju 3D objekta. Teksture u fotogrametriji često mogu izgledati izbljednute, ali mogu se dodatno obraditi u drugim softverima. Gaussovo raspršivanje zadržava prirodne boje i svjetlosne efekte, čineći teksture kontrastnijim i vizualno realističnijim.

U konačnici, ovaj rad detaljno je prikazao proces vizualizacije Starog grada Varaždin pomoću fotogrametrije i Gaussovo raspršivanje. Kroz teorijska i praktična poglavlja, istražene su prednosti i nedostaci obje metode. Zaključeno je da izbor između fotogrametrije i Gaussovog raspršivanja ovisi o specifičnim potrebama projekta. Fotogrametrija je idealna za detaljne i precizne rekonstrukcije, dok Gaussovo raspršivanje nudi brže i vizualno atraktivnije 3D vizualizacije. Iako je Gaussovo raspršivanje još u fazi razvoja, zbog svojih prednosti i potencijala, predstavlja perspektivnu metodu za buduće primjene u 3D rekonstrukciji i vizualizaciji.

6. REFERENCE

6. REFERENCES

(1) citirana literatura

- [1.] Forlani, G. Et al: "Terrestrial photogrammetry without ground control points", *Earth Science Informatics*, Berlin (Njemačka), 7(2), 2014.
- [2.] Schenk, Toni: "Introduction to Photogrammetry", Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University (SAD), 2005.
- [3.] Dawood, Nashwan et al: "Visualising urban energy use: the use of LiDAR and remote sensing data in urban energy planning", *Visualization in Engineering*, Teesside (Ujedinjeno Kraljevstvo), 2017.
- [4.] Mildenhall, Ben et al: "NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis", *Lecture Notes in Computer Science*, San Francisco (SAD), 2020.
- [5.] Horn, Berthold K P: "Shape from Shading: A Method for Obtaining the Shape of a Smooth Opaque Object from One View", Cambridge (Ujedinjeno Kraljevstvo), 1970.
- [6.] Chen, Shenchang Eric: "QuickTime VR - an image-based approach to virtual environment navigation", *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics*, Cupertino (SAD), 1995.
- [7.] Westover, Lee Alan: "A Parallel, Feed-Forward Volume Rendering Algorithm", Department of Computer Science, The University of North Carolina at Chapel Hill (SAD), 1991.
- [8.] Kerbl, Bernhard et al: "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering", *ACM Transactions on Graphics*, Université Côte d'Azur (Francuska), 42(4), 2023.
- [9.] Dubovečak, Emanuel: "Izrada 3D modela metodom fotogrametrije", *Završni rad*, Tehničko veleučilište u Zagrebu (Hrvatska), 2022.

(2) ostala korištena literatura

- [1.] Wachowiak, M. J.; Karas, B. V.: "3D scanning and replication for museum and cultural heritage applications", *Journal of the American Institute for Conservation (SAD)*, 48(2), 2009.
- [2.] Lee, Wonsup et al: "3D Scan to Product Design: Methods, Techniques, and Cases", *Proceedings of the 6th International Conference on 3D Body Scanning*, Lugano (Švicarska), 2015.
- [3.] Kyriacos Themistocleous et al: "The use of digital twin models to document cultural heritage monuments", *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIII*, Cipar, 2022.
- [4.] Baqersad, Javad at al: "Photogrammetry and optical methods in structural dynamics – A

- review“, Mechanical Systems and Signal Processing, SAD, 2017.
- [5.] Remondino, F. at al: “UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – current status and future perspectives“ The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zürich (Švicarska), 2012.
- [6.] Colomina, I.; Molina, P.: “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review.“ In ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (Vol. 92), Španjolska, 2014.
- [7.] Shashi, M.; Jain, K.: “Use of photogrammetry in 3D modeling and visualization of buildings“, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(2), India, 2007.
- [8.] Basso, A. at al: “Evolution of rendering based on radiance fields. The palermo case study for a comparison between nerf and gaussian splatting“, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48(2), 2024.
- [9.] Anurag, Dalal at al: “Gaussian Splatting: 3D Reconstruction and Novel View Synthesis, a Review“, Top Research Centre Mechatronics (TRCM), Department of Engineering Sciences, University of Agder, Grimstad (Norveška), 2023.

AUTORI · AUTHORS



• **Emanuel Dubovečak** - (Varaždin, 1999.) diplomirao je 2024. godine na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, završivši diplomski stručni studij informatike. Tijekom studija stekao je opsežno znanje u

različitim aspektima dizajna, računalne grafike, kao i 3D modeliranja. Uz to, razvijao je svoje programerske vještine i samostalno istraživao područje fotogrametrije, fokusirajući se na analizu i interpretaciju prostornih podataka. Od 2020. godine radi kao GIS tehničar u tvrtki Promet i prostor. Do 2023. stekao je iskustvo u unosu i obradi georeferenciranih podataka, nakon čega prelazi na područje programiranja unutar iste tvrtke. Njegova trenutna područja rada uključuju dizajn i implementaciju novih softverskih funkcionalnosti,

održavanje i optimizaciju postojećih rješenja te otklanjanje grešaka i poboljšanje performansi aplikacija. Područje interesa su mu programiranje, dizajn softverskih aplikacija, umjetna inteligencija, istraživanje novih tehnologija kao i kontinuirano usavršavanje i stjecanje novih vještina koje doprinose osobnom i profesionalnom razvoju.

Korespondencija · Correspondence

emanuel.dubovecak@tvz.hr



• **Ivan Rajković** - (Zagreb, 1978.) diplomirao je 2002. na Akademiji dramske umjetnosti na smjeru Filmska i TV montaža. 2003. godine završava Tehničko Veleučilište u Zagrebu, smjer Elektroničko poslovanje.

Executive Master of Business Administration (Cotrugli MBA) završava 2012. godine, te zatim nastavlja obrazovanje na Carnetovoj E-learning akademiji na smjeru E-learning management. Doktorirao je na smjeru grafičke tehnologije s radom "Digitalna video-reprodukcija u vizualnom i infracrvenom spektru" na Grafičkom fakultetu u Zagrebu, 2018. godine. Viši je predavač na kolegijima multimedije na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Područje interesa su mu: InfrareDesign tehnologija i daljnje istraživanje unutar područja multimedijjskog sadržaja.

Korespondencija · Correspondence

ivan.rajkovic@tvz.hr



• **Dinka Radonić** - (Zagreb, 1984.) diplomirala je Filmsko i TV snimanje na Akademiji dramske umjetnosti, Sveučilišta u Zagrebu. Od 2008. radi kao direktorica fotografije i snimateljica na komercijalnim

i umjetničkim projektima. Edukacijom se bavi od 2007. kao voditeljica raznih filmskih škola i radionica. Viša je predavačica na kolegijima multimedije na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Područje interesa su joj nove filmske forme, kao i znanstvena istraživanja unutar multimedijjskog područja.

Korespondencija · Correspondence

dinka.radonic@tvz.hr