

## USPOREDBA 3D SKENIRANJA I FOTOGRAMETRIJE

### A COMPARISON OF 3D SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY

**Andrija Bernik<sup>1</sup>, Lorenzo Cetina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Sveučilište Sjever – Sveučilišni centar Varaždin*

<sup>2</sup>*Freelance umjetnik iz područja grafičkih tehnologija*

#### Sažetak

Razvijanjem jače računalne snage te dolaskom novih tehnologija, mnoge profesionalne tehnike rekreacije što vjernije stvarnosti koje su razvili najveći svjetski studiji računalne grafike, postaju sve pristupačnije široj javnosti. Time se svijet vrhunske 3D kreacije otvara i manje iskusnim kreatorima do te mjere da bilo tko sa samo osnovnim znanjem računalne grafike i alata za 3D dizajniranje može proizvesti grafiku koja će oduzimati dah svojim realizmom. Ovaj članak istražuje dvije takve tehnike bok uz bok – 3D skeniranje pristupačnom dubinskom kamerom i fotogrametriju. Kroz praktične primjere usporedit će se rezultati dobiveni tim tehnikama s rezultatima koji bi se dobili primjenom klasičnih tehnika 3D modeliranja, a potom usporediti kompleksnost izrade pojedinom tehnikom i definirati u kojim situacijama te nove tehnike uistinu prednjače nad klasičnim tehnikama modeliranja, no gdje su još uvijek klasične tehnike nezamjenjive

**Ključne riječi:** *3D modeliranje,, 3D skeniranje, fotogrametrija, računalna grafika*

#### Abstract

As technology developed, as well as computer power, many professional techniques of capturing reality developed by the greatest world CGI studios to recreate perfect reality are becoming available to every one of us. That is opening the world of top quality 3D production to less experienced creators, which enables everybody even with base knowledge today to create breathtaking CGI content. This article is analyzing two of those new techniques in the side-by-side comparison – 3D scanning with affordable depth camera and photogrammetry. They will be compared through practical examples with classic modeling

techniques to get the answer to the question if those techniques can compete with classic ones, and where is that boundary where classic techniques are irreplaceable.

**Keywords:** *3D modeling, 3D scanning, computer graphics, photogrammetry*

#### 1. Uvod

##### 1. Introduction

3D Računalna grafika (eng. CGI – computer generated imagery) je grana računalne znanosti u kojoj se dostupna tehnologija i računalna snaga koriste za izradu visoko realističnih vizualizacija i animacija. Tu se uglavnom teži visokom stupnju realizma u kojem se promatrača dovodi u situaciju u kojoj ne može razaznati stvarno snimljeni sadržaj od računalno generiranog, no kod fotomontaže i video kompozitinga je ta težnja ujedno i prioritarna potreba, s obzirom na to da se u slučaju i najmanjeg nedostatka realizma momentalno primjećuje razlika između stvarne snimke i one računalno generirane, pri čemu se razbija efekt stapanja u cjelinu i gubi cijeli smisao (ovaj efekt se naziva i jezivom dolinom – eng. Uncanny Valley). [1]

Razvojem računalne snage i padanjem cijena naj snažnijih računanih komponenata, najnovija tehnologija postaje pristupačnija i manjim studijima, samostalnim profesionalcima – 3D generalistima, kao i hobistima pa i 3D amaterima. Nekada je bilo nejasno kako se sve to radi i kako se nešto tako realno može „nacrtati“ – no danas, kada su sve te tehnike daleko pristupačnije, više nije nezamislivo da u vrlo kratkom roku s brzom putanjom učenja (eng. learning curve) bilo koji zainteresirani 3D amater napravi iznimno realan sadržaj. Nove su tehnike toliko olakšale i pojednostavile proces

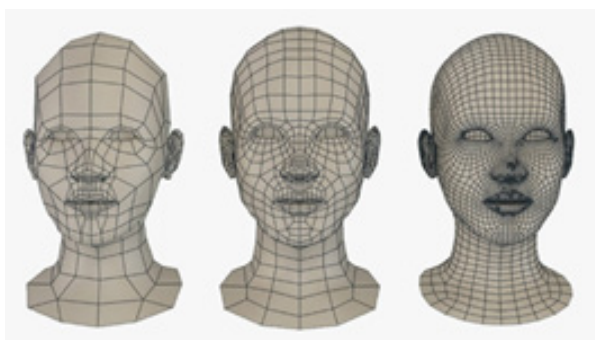
izrade da netko s vrlo malo iskustva može izraditi zapanjujuće uratke, bez previše specijaliziranog znanja o modeliranju, teksturiranju ili animaciji.

Cilj ovog rada je propitati mogućnosti novih tehnika modeliranja i teksturiranja koje te procese pojednostavljuju i dovode do tolike preciznosti i realizma da je klasičnim tehnikama takav rezultat skoro nemoguće ili vrlo teško ostvariti. U ovom članku će se provjeriti koliko te tehnike olakšavaju proces rada, ali i testirati njihove granice. U teorijskom dijelu će biti opisane klasične tehnike modeliranja, a potom i nove tehnike koje su omogućene razvojem tehnologije i računalne snage, a koje su predmet istraživanja ovog članka. U praktičnom dijelu rada usporedit će ih se bok uz bok te zaključno dati odgovor u kojim je situacijama primjena novih tehnika poželjna, a gdje još uvijek klasične tehnike nemaju konkurenciju.

## 2. Klasične tehnike 3D modeliranja

### 2. *Classic techniques of 3D modeling*

3D modeliranje je proces izrade objekata u trodimenzionalnom prostoru uz pomoć krivulja ili poligona. Rezultat je 3D model kod kojeg su sve informacije zapisane matematički, stoga ne dolazi do gubitka kvalitete modela kod editiranja ili skaliranja. Njegovu kvalitetu prikaza definira broj poligona od kojih je sačinjen, te jedino redukcija broja poligona može smanjiti kvalitetu modela iz razloga što mu jednostavnijim definiranjem ujedno i mijenjamo geometriju, a to pokazuje slika 1.



Slika 1. Isti model s različitim brojem poligona  
Figure 1. Same model with different polycount

Generalno se prema obliku modeli dijele na pravilnije oblike koje definiraju ravne linije (engl. hard surface model) i one organske koje definiraju krivulje (engl. organic model). Postoji nekoliko

načina kako možemo pristupiti modeliranju, a u ovisnosti što želimo izraditi te koji oblik dobiti svaka tehnika ima svoje prednosti i mane.

## 2.1. NURBS - Modeliranje krivuljama

### 2.1. *NURBS - Spline Modeling*

NURBS modeliranje je tehnika koja se najviše koristi u automobilske industriji i industrijske proizvodnje, odnosno svugdje gdje se koristi računalno upravljano dizajniranje i proizvodnja, a odlikuje ju iznimna preciznost, te mogućnost izrade 3D modela iz tehničkih nacрта. [2] Ova tehnika modeliranja je najbližnja vektorskom crtanju jer se 3D model definira ključnim krivuljama oblika, a program po njima izračunava površine popunjavanjem međuprostora. Mana je što nema preveliku fleksibilnost, pa je izrada objekata bez tehničkih nacrti i bez svijesti što konkretno modeliramo teža.

## 2.2. Modeliranje poligonima

### 2.2. *Polygon Modeling*

Ovo je najraširenija tehnika izrade 3D modela, te se većina najpoznatijih 3D alata bazira upravo na modeliranju poligona. Najosnovniji oblik u ovoj tehnici modeliranja je točka u trodimenzionalnom prostoru. Dvije takve točke čine liniju, odnosno rub, a minimalno tri ruba poligon. Iz ove tehnike se razvilo modeliranje kutije (eng. box modeling) [2], zatim modeliranje zaobljavanjem (eng. subdivision modeling), te digitalno kiparstvo (eng. digital sculpting).

## 2.3. Digitalno kiparstvo

### 2.3. *Digital sculpting*

Ova je metoda manipulacije poligona koja pruža veću fleksibilnost te umjetnički pristup oblikovanja 3D modela. Proces rada započinje od baze koja je uglavnom gruba forma oblika (eng. Low-Poly model), te joj se povećava broj poligona razdjeljivanjem (eng. subdividing) radi veće fleksibilnosti te ih se modelira prema potrebi dizajna. Zbog neograničenih mogućnosti ove tehnike, ona se najviše koristi za umjetničko kiparenje, konceptualno modeliranje, izradu konceptualnih prototipa proizvoda, pa se tehnika može poistovjetiti i s modeliranjem gline. [2]

### 3. Nove tehnike 3D modeliranja

#### 3. *New techniques of 3D modeling*

Nove tehnike 3D modeliranja nastale su kao potreba za što vjernijom reprodukcijom svijeta oko nas. Iznimno je teško rekreirati nešto iz stvarnog svijeta do te mjere precizno da se može koristiti za potrebe forenzike i rekonstrukcije. Stoga su se počele istraživati druge metode, koje bi svijet koji nas okružuje uspješno implementirale u 3D virtualno okruženje. Za navedene potrebe, klasične tehnike modeliranja nisu dolazile u obzir, jer one nisu savršena preslika stvarnosti, nego samo njena interpretacija, više ili manje točna, ali nika-ko ne u potpunosti precizna te kao takva nije pogodna o ovim primjenama. Tako je razvijeno 3D skeniranje, a kasnije i fotogrametrija, a te metode postale su toliko popularne da su s vremenom preuzete i u ostale industrije, pa tako i u zabavnu industriju. Danas je potpuno normalno da se za potrebe visoko budžetnih produkcija veliki broj elemenata scene „modelira“ ovim tehnikama, čime se dobiva potpuna preslika stvarnosti, zajedno sa teksturom koja je oplemenjuje, čime je nekoliko faza izrade 3D modela sjedinjeno u jednu (modeliranje, UV mapiranje i teksturiranje, što uvelike ubrzava vrijeme produkcije, a kvalitetu diže na višu razinu).

#### 3.1. 3D skeniranje

##### 3.1. *3D scanning*

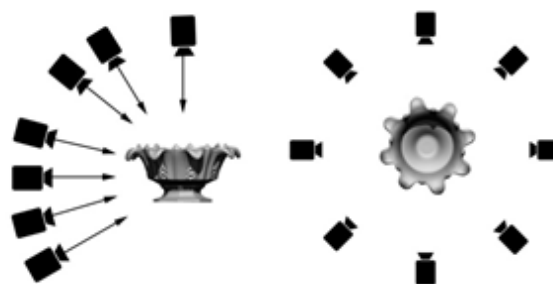
Prvi pokušaji 3D skeniranja bili su još 1980-ih, no ta se tehnologija zasnivala na direktnom kontaktu s predmetom koji digitaliziramo. Kontaktnim sondama se fizički doticao predmet tisuće i tisuće puta sve dok računalni program nije imao dovoljno prostornih točaka (engl. point cloud) iz kojih je mogao generirati 3D model. Ta tehnika je zahtijevala iznimno puno strpljenja i vremena, jer je otklon između dvije susjedne točke morao biti manji od najsitnijeg detalja koji želimo da softver prepozna. Krajem 80-ih i razvojem optičke tehnologije, počelo se govoriti o prvim pravim 3D skenerima koji bi zamijenili ovaj dugotrajan proces, no postojala je jedna velika prepreka – nova tehnika je trebala analizirati toliku količinu podataka, da tadašnja tehnologija nije mogla spremati tu količinu podataka - ali niti ju obraditi.[3] No kako je tehnologija dalje napredovala, tijekom 90-ih pojavio se prvi 3D skener kakvog znamo i danas, što je napokon po prvi puta omogućilo

digitalizaciju i krhkih predmeta (s obzirom na to da nije postojao fizički kontakt) ali i mogućnost preuzimanja autentične teksture s realnog predmeta – što je stvorilo digitalnu kopiju po prvi puta istovjetnu originalu. Danas su najzastupljenije tehnike 3D skeniranja lasersko skeniranje, skeniranje strukturiranim svjetlom i skeniranje dubinskim kamerama.

#### 3.2. Fotogrametrija

##### 3.2. *Photogrammetry*

Fotogrametrija je tehnika mjerenja objekata na temelju fotografija. Ona je ujedno i podvrsta tehnike 3D skeniranja, a bazira se isključivo na fotografijama (engl. Photogrammetry – Image Based Modeling). U procesu snimanja koristi se samo jedna kamera, što proces čini puno praktičnijim i dostupnijim, a softver analiziranjem tih fotografija čita sličnosti u kadrovima i na temelju njih spaja fotografije u cjelinu te iz njih po principu traženja paralakse dobiva informaciju o dubini, obliku, te paralelno i teksturi objekta. Tehnika je potpuno razvijena tek u posljednjem desetljeću, a omogućena je razvojem digitalnih fotoaparata visoke rezolucije, novih algoritama koji omogućavaju detekciju korelacija između fotografija, povećanjem računalne i grafičke snage u svakodnevnim računalima, te dronovima, odnosno bespilotnim letjelicama koji omogućavaju primjenu procesa fotogrametrija i na veće objekte, kao što su građevine. [4]



Slika 2. Pravila fotografiranja za potrebe fotogrametrije  
Figure 2. Photogrammetry shooting rules

Danas bilo tko s malo boljom kamerom na mobitelu može primjenom nekoliko osnovnih pravila fotografiranja za potrebe fotogrametrije, te kasnijom analizom informacija iz fotografija primjenom računalnog programa za fotogrametriju, kreirati svoj teksturirani 3D model. Kao što

slika 2. prikazuje, predmet koji želimo digitalizirati potrebno je poslikati iz što više različitih kuteva, pritom vodeći računa da ga obuhvatimo sa svih strana i iz nekoliko perspektiva (minimalno bar jedna niža- žablja, jedna normalna i jedna iz višeg rakursa – ptičja). Prednost ove tehnike nad ostalim tehnikama 3D skeniranja je vrlo pristupačna cijena, odnosno s obzirom da fotoaparati veće rezolucije uglavnom danas imamo svi, ova tehnika za vrhunske rezultate ne zahtijeva ništa više osim softvera (Autodesk Remake je besplatni softver za fotogrametriju). Nedostatak ove tehnike je nemogućnost rekreiranja objekata koji su reflektivni, sjajni ili transparentni, a to će se i istražiti u praktičnom dijelu ovog rada. [5]

#### 4. Primjena na praktičnim primjerima

##### 4. Application on examples

##### 4.1. Generiranje većeg predmeta - metalne kante

##### 4.1. Generating large object – metal oil drum

Za prvo testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije, koristit će se idealan predmet. To je velika deformirana metalna bačva, jednostavnog, no opet dovoljno razvedenog oblika, te matirane površine, što bi trebalo odgovarati objema tehnikama kreiranja 3D modela. Veliki modeli se dobro prepoznaju i pri slabijoj rezoluciji kamere, oblik nije pretjerano razveden, no nije niti zaglađen, a površina nije niti reflektivna, niti prozirna. Nadalje, s obzirom da je deformirana, ona predstavlja predmet unikatnog oblika, koji bi klasičnom tehnikom mogli rekreirati isključivo digitalnim kiparstvom, a to je umjetnička tehnika koja zahtijeva puno iskustva i vještine. Uz to, cijela njezina površina je ručno oslikana i to bi bilo također vrlo teško ponoviti u računalu, a pogotovo da bude istovjetno originalu. Pretpostavka prije samog snimanja je da će obje tehnike uspješno generirati kvalitetan 3D model, pogotovo s obzirom da je objekt biran tako da po svim karakteristikama odgovara objema tehnikama. Ukoliko se u ovom eksperimentu dobije iskoristiva geometrija, a s obzirom na to da digitalno kiparstvo zahtijeva impresivne vještine da se ručno rekreira ovaj objekt sa svim svojim deformacijama, smatrat će se da su testirane tehnike za ovakav primjer definitivno nadmašile klasično ručno modeliranje, posebice što bez njih s prosječnim vještinama digitalnog kiparstva ne bi mogli imati model tog predmeta. Ako i preuzimanje teksture

iz fotografija bude uspješno kod obje tehnike, bez vidljivih šavova i prekida, gledat će se opći dojam modela kako bih zaključio koja se tehnika više istaknula.

#### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera

Korišteni program: Skanect (Non-commercial)

Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)

Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta

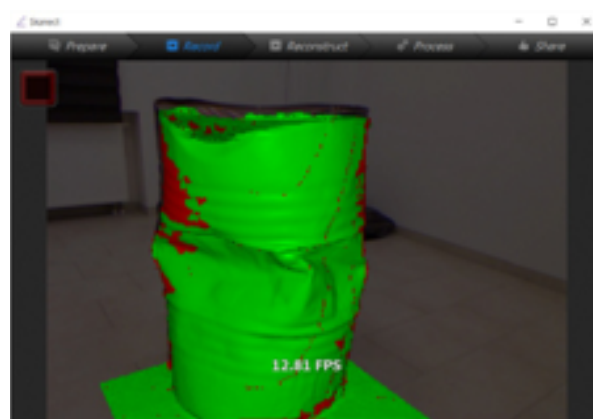
Trajanje snimanja: 30 minuta

Broj ponavljanja: 2



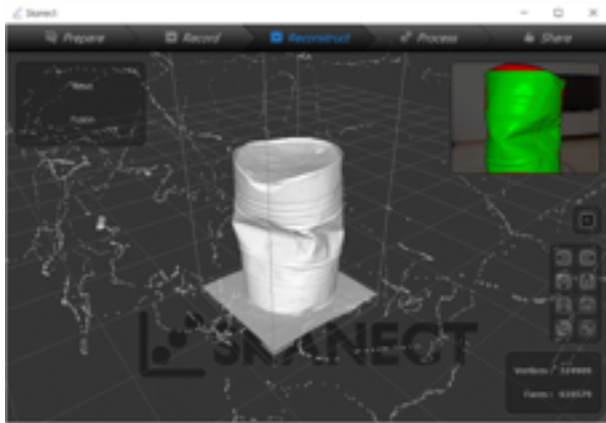
Slika 3. Postavke u programu Skanect

Figure 3. Settings in Skanect program

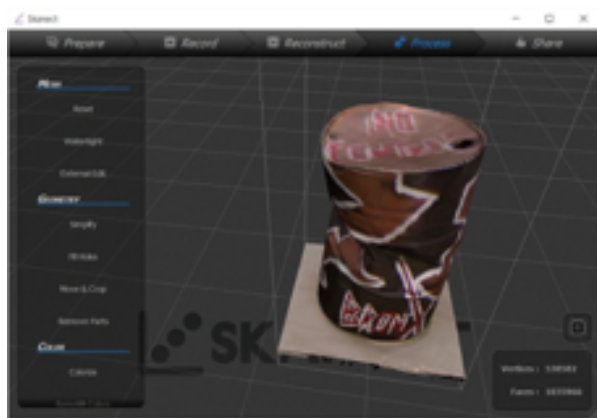


Slika 4. Proces skeniranja

Figure 4. Process of scanning



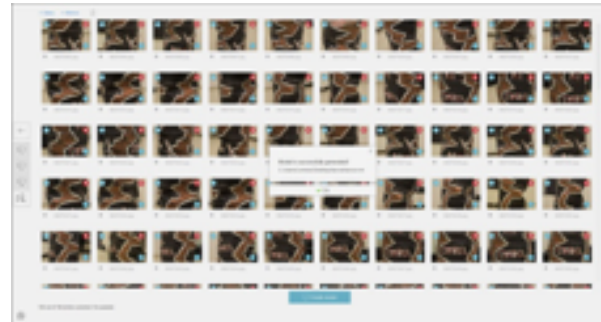
Slika 5. Rekonstruirani 3D model  
Figure 5. Reconstructed 3D model



Slika 6. 3D model s dodanom teksturom  
Figure 6.6 3D model with applied texture

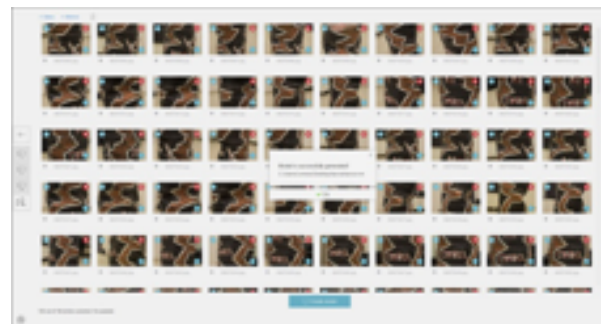
## TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5,  
objektiv Pentax DA18-55 WR  
Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 90 minuta  
Broj ponavljanja: 1



Slika 7. Provjera fotografija u programu ReMake  
Slika 7. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



Slika 8. Uspješno generiranje modela iz fotografija  
Slika 8. Model from photos generated successfully



Slika 9. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model  
Figure 9. Result of photogrammetry – generated 3D model

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

### 4.2. Generiranje manjeg predmeta - fotoaparata 4.2. Generating small object – photo camera

Drugo testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije je predviđeno kako bismo vidjeli kako se tehnike ponašaju kod manjeg i razvedenijeg predmeta. Za tu svrhu

koristit će se stari SLR fotoaparati koji bi već mogao predstavljati probleme svojim ukupnim manjim dimenzijama, sitnijim detaljima, ali i mjestimično sjajnijom teksturom. Ovakav predmet je dosta jednostavnije ručno izmodelirati nego prethodni, s obzirom na to da se radi o predmetu jednostavnijih linija. Tehnika kojom bi bilo najbolje pristupiti tom zadatku je modeliranje poligonima, a podtehnika modeliranja kutije (Box modeling - hardsurface modeling). Teksture su također dosta jednostavnije za rekreirati, jer se radi o većim plohamo jednobožnih materijala.

Pretpostavka prije samog snimanja je da će ovaj objekt predstavljati više poteškoća 3D skeniranju dubinskom kamerom, jer ona ima nešto slabiju rezoluciju od fotoaparata. Očekivano je da će prepoznati grubi oblik, no sitniji detalji će se zasigurno izgubiti. Fotoaparati, s druge strane, ne bi trebali imati problema radi sitnih detalja, no postoji mogućnost da odsjaj metalnih ploha zbuni program za fotogrametriju (u uputama se navodi kako su rezultati s takvim predmetima često neuspješni [5]). Kako je ovaj objekt relativno jednostavno modelirati, ali i teksturirati, nove će se tehnike smatrati uspješnim isključivo ako uspiju prepoznati sitnije detalje. Uspješno generiranje teksture je samo dodatan plus, ali nije presudno jer je vrlo jednostavno to odraditi ručno.

### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

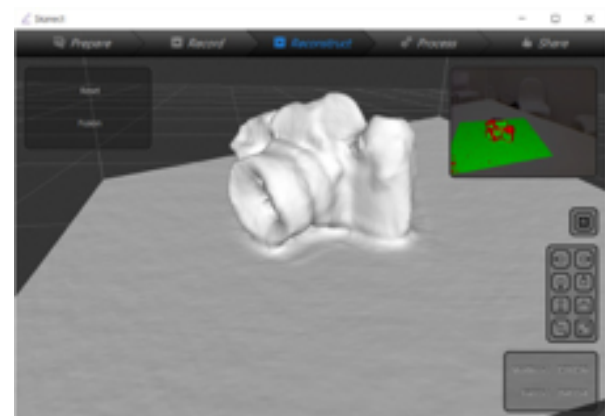
Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera  
 Korišteni program: Skanect (Non-commercial)  
 Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
 Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
 Trajanje snimanja: 30 minuta  
 Broj ponavljanja: 5



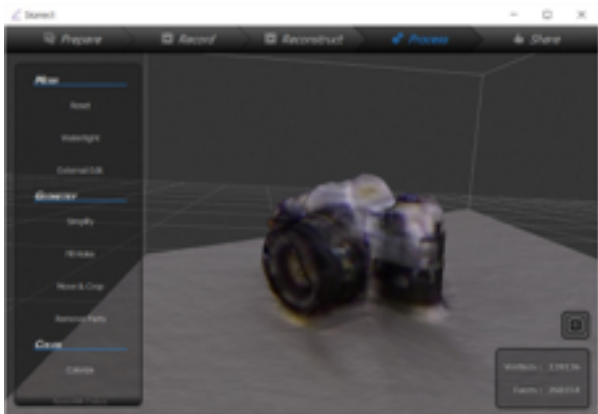
Slika 10. Postavke u programu Skanect  
 Figure 10. Settings in Skanect program



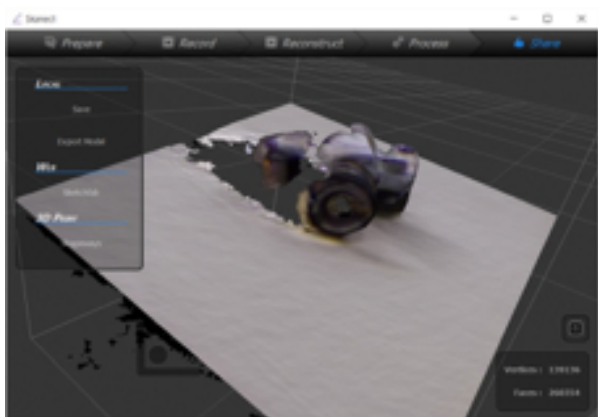
Slika 11. Proces skeniranja uz poteškoće kod prepoznavanja  
 Figure 11. Process of scanning



Slika 12. Jedva rekonstruirani 3D model  
 Figure 12. Barely reconstructed 3D model



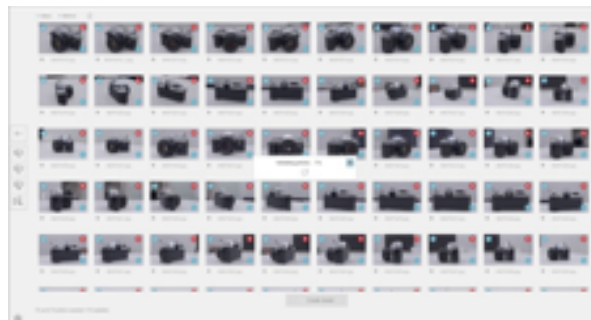
Slika 13. 3D model s dodanom teksturom 1  
Figure 13 3D model with applied texture 1



Slika 14. 3D model s dodanom teksturom 2  
Figure 14. 3D model with applied texture 2

## TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5,  
objektiv Pentax DA18-55 WR  
Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 45 minuta  
Broj ponavljanja:1



Slika 15. Provjera fotografija u programu ReMake  
Figure 15. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



Slika 16. Uspješno generiranje modela iz fotografija  
Figure 16. Model from photos generated successfully



Slika 17. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model  
Figure 17. Result of photogrammetry – generated 3D model

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

### 4.3. Generiranje reflektivnog predmeta – kasi- ce prasice

#### 4.3. *Generating reflective object – piggy bank*

Treće testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije je predviđeno kako bi vidjeli kako se tehnike ponašaju kod snimanja predmeta s refleksijom. S obzirom na probleme s veličinom predmeta u prethodnom snimanju, ovaj puta je pripremljen malo veći predmet, no i dalje manji od prvog da se primijeti gdje je granica prepoznavanja za obje tehnike. Kasica prasica napravljena je od porculana, a završni sloj joj je reflektivan kao da je od lakiranog stakla. Sam oblik je jednostavan uz minimalno detalja (njuška, uši, repić), kada bi se ovaj predmet ručno modeliralo i dalje bi se koristila tehnika modeliranja poligonima, no ovaj puta je podtehnika modeliranja zaobljavanjem (Subdivision modeling – Organic modeling). Tekstura je oslikana, ali nije nemoguća za rekreirati u računalu.

Pretpostavka prije samog snimanja je da će ovaj objekt predstavljati više poteškoća fotogrametriji, jer je za nju poznato da ima poteškoća s reflektivnim predmetima. Očekivano je da će 3D skeniranje dubinskim senzorom prepoznati barem grubi oblik, no teksturu se ne očekuje od niti jedne navedene tehnike. U ovom eksperimentu očekivano je da ćemo model dobiti tek s trećom tehnikom, odnosno klasičnim 3D modeliranjem. Iako je problem s reflektivnim predmetima rješiv, naime postoji sprej koji nalikuje na prah pomiješan s alkoholom koji kada se rasprši po površini reflektivnog ili transparentnog predmeta, stvori bijeli matirani neprozirni sloj na njegovoj površini. Alkohol ubrzo ishlapi, a na površini ostane sloj praha koji je nakon snimanja vrlo jednostavno ukloniti komprimiranim zrakom, mlazom vode ili jednostavnim brisanjem suhom krpom i kistićem. No zbog nedostupnosti tog spreja u Hrvatskoj, a spore dostave iz inozemstva, taj sprej je bio nedostupan za potrebe ovog testa. Stoga će se ako nove tehnike zakažu na ovom primjeru, uskočiti s klasičnom tehnikom modeliranja kao rješenjem problema.

#### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera  
Korišteni program: Skanect (Non-commercial)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna

prostorija)

Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta

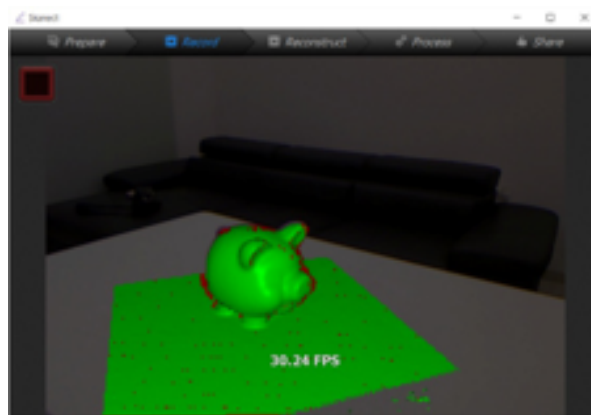
Trajanje snimanja: 20 minuta

Broj ponavljanja: 3



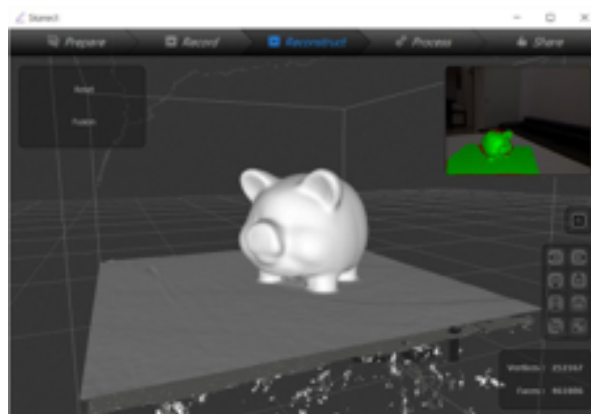
Slika 18. Postavke u programu Skanect

Figure 18. Settings in Skanect program



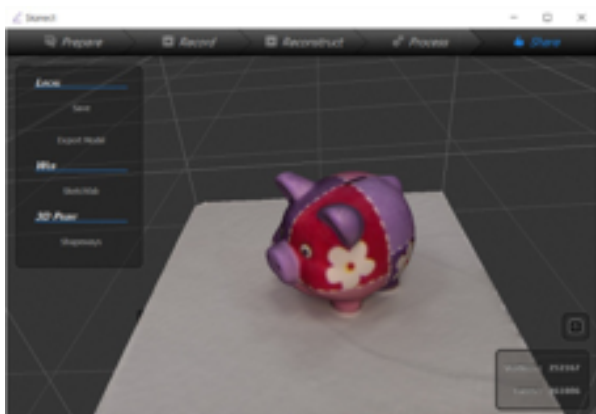
Slika 19. Proces skeniranja

Figure 19. Process of scanning



Slika 20. Rekonstruirani 3D model

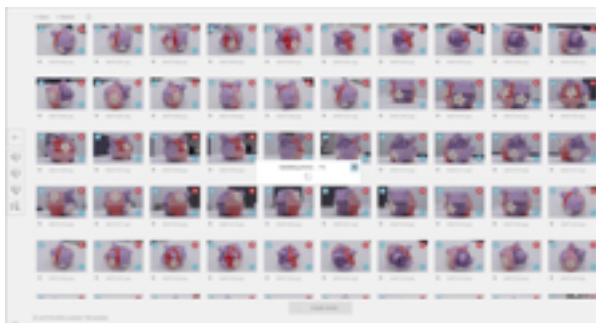
Figure 20. Reconstructed 3D model



Slika 21. 3D model s dodanom teksturom  
Figure 21. 3D model with applied texture

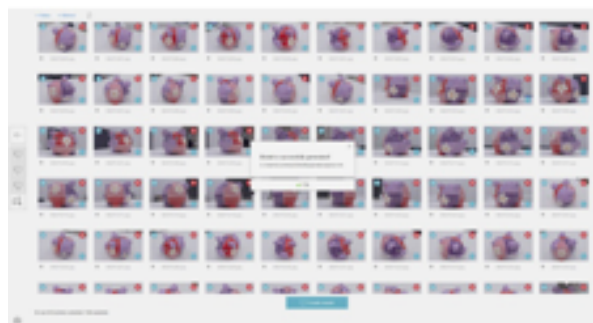
## TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5,  
objektiv Pentax DA18-55 WR  
Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 35 minuta  
Broj ponavljanja: 1



Slika 22. Provjera fotografija u programu ReMake  
Slika 22. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



Slika 23. Uspješno generiranje modela iz fotografija  
Slika 23. Model from photos generated successfully



Slika 24. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model  
Figure 24. Result of photogrammetry – generated 3D model

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

### 4.4. Generiranje transparentnog predmeta – staklene čaše 4.4. Generating transparent object – wine glass

S obzirom na to da je prethodno testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije dalo neočekivano dobre rezultate, u svrhu ispitivanja granica radi se dodatno testiranje u kojem se gotovo sigurno očekuje da obje tehnike neće moći prepoznati objekt. Predviđeni predmet je staklena čaša, koja ujedno postavlja dva izazova kod raspoznavanja; prvi je transparentcija zbog koje kamere neće moći utvrditi što je na fotografiji uistinu predmet, a što nije, a drugi je jednodušnost oblika, zbog koje će biti pravi izazov kamerama raspoznati pomak oko predmeta prilikom povezivanja kadrova i procijene kuta snimanja. S obzirom da je primarni cilj provjeriti sposobnost prepoznavanja transparentnog predmeta, uz čašu će biti postavljeni nekoliko drugih predmeta čija je funkcija isključivo pomoć softveru

oko procjene kuta snimanja. Kod predmeta ovoliko jednostavnog oblika je u pravilu 3D skeniranje ili fotogrametrija nepotrebna jer je 3D model vrlo jednostavno kreirati klasičnim tehnikom modeliranja. Modeliranju se može pristupiti različitim podtehnika, no za ovakav oblik najbolji izbor bi bilo modeliranje krivuljama, gdje je dovoljno definirati krivulju poprečnog presjeka i os rotacije, te program na temelju tih informacija stvara plohu koja zadovoljava te parametre. Kasnije se ta ploha jednostavno prevede u poligonalni model.

Kao što je već navedeno, pretpostavka prije samog snimanja je da će ovaj objekt predstavljati velike poteškoće novim tehnikama modeliranja zbog transparentcije i zbog nedostatka sitnih detalja. Radi toga će se ovdje sigurno morati koristiti klasično modeliranje kako bi se dobio model, jer nove tehnike vrlo izgledno neće dati zadovoljavajuće rezultate. Kao dodatak testu, naknadno će se pokušati improvizirati sprej za uklanjanje odsjaja i transparentije spominjan u prošlom testu, tako da se pomiješa toaletni puder s medicinskim alkoholom i njime će se provjeriti da li se takvim pruručnim rješenjem može riješiti transparentije, a potom će se ponoviti snimanja ako bi provjerali da li to može utjecati na krajnji ishod rezultata. U svakom slučaju, ako i uspijemo generirati ikakvu geometriju, ne očekuje se dobiti iskoristivu teksturu, jer teksture kod transparentnog predmeta ionako nema, stoga taj dio niti nije dio ovog testiranja. Tekstura će biti naknadno ručno generirana u programu.

### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera

Korišteni program: Skanect (Non-commercial)

Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)

Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta

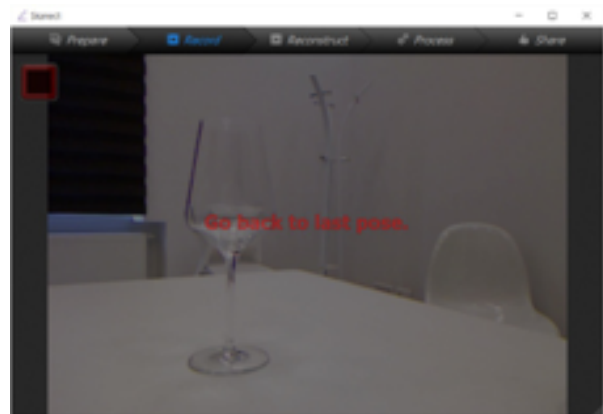
Trajanje snimanja: 10 minuta

Broj ponavljanja: 3



Slika 25. Postavke u programu Skanect

Figure 25. Settings in Skanect program



Slika 26. Proces skeniranja

Figure 26. Process of scanning



Slika 27. Rekonstruirani 3D model

Figure 27. Reconstructed 3D model

## TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5,  
objektiv Pentax DA18-55 WR  
Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 15 minuta  
Broj ponavljanja: 1

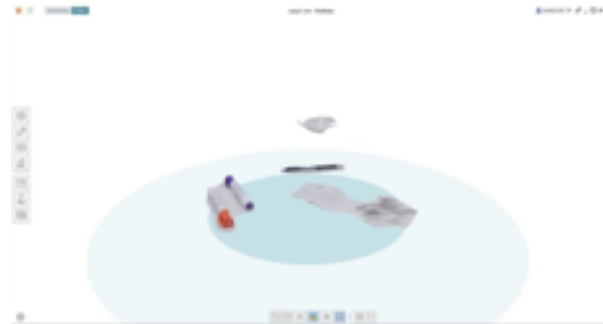


Slika 28 Provjera fotografija u programu ReMake  
Slika 28. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



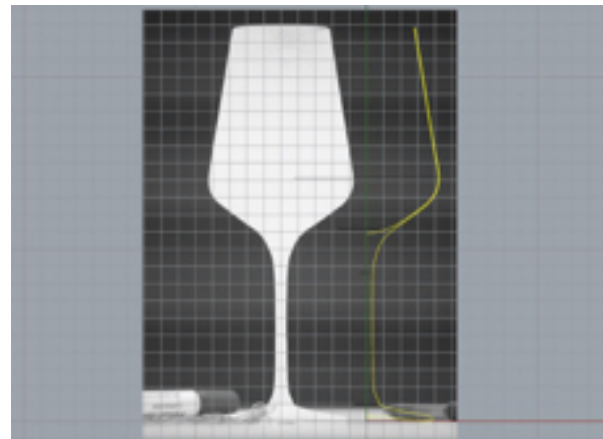
Slika 29. Uspješno generiranje modela iz fotografija  
Slika 29. Model from photos generated successfully



Slika 30. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model  
Figure 30. Result of photogrammetry – generated 3D model

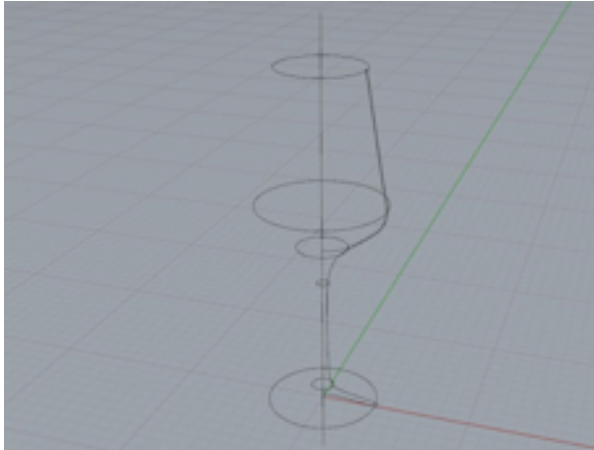
## TEHNIKA 3 – klasično modeliranje krivuljama – NURBS

Korištena oprema: Osobno računalo  
Korišteni program za modeliranje: Rhinoceros 3D (educational version)  
Korišteni program za modeliranje: Octane v3  
Trajanje modeliranja: 15 minuta

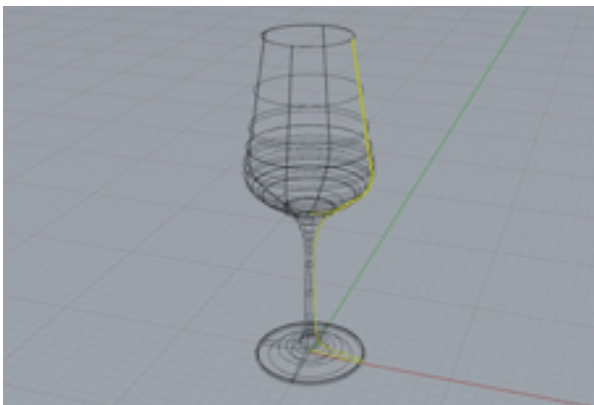


Slika 31. Modeliranje krivuljama – precrtavanje krivulje iz fotografije

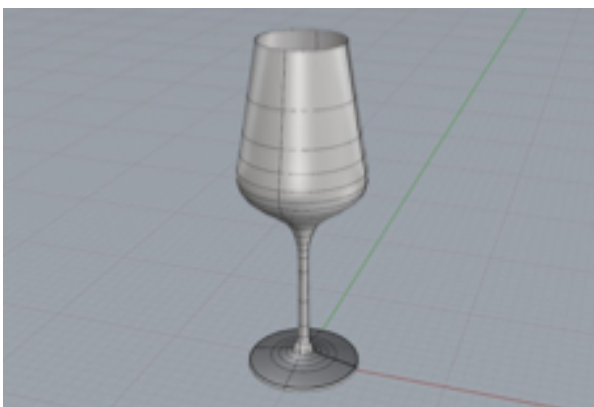
Figure 31. NURBS modeling – tracing curves from the photo



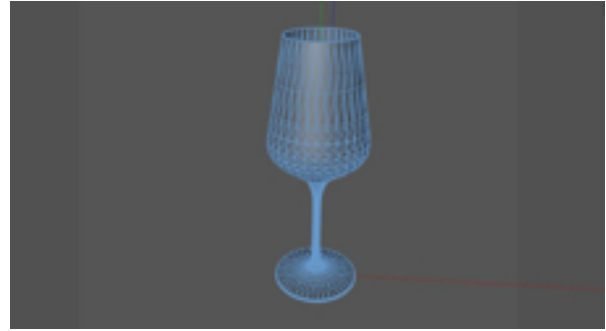
Slika 32. Ključne krivulje objekta  
Figure 32. Key curves of the object



Slika 33. Krivulje definiraju oblik objekta  
Slika 33. Curves defining shape of the object



Slika 34. Popunjavanje međuprostora poligonima  
Slika 34. Interspace filled with polygons

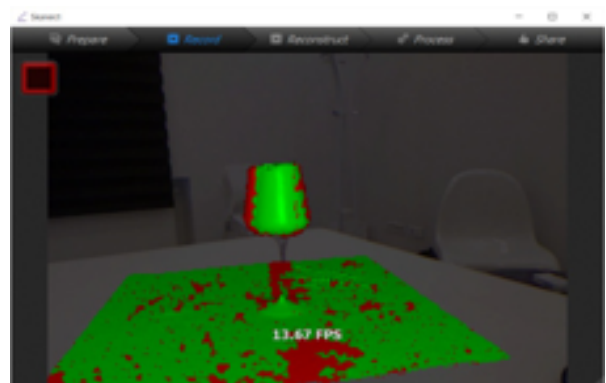


Slika 35. Finalni 3D model  
Slika 35. Final 3D model

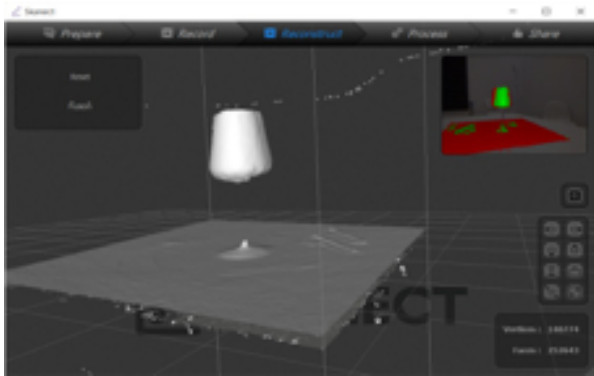


Slika 36. Teksturirani 3D model  
Slika 36. Textured 3D model

## DODATNA TESTIRANJA



Slika 37. Proces skeniranja  
Figure 37. Process of scanning



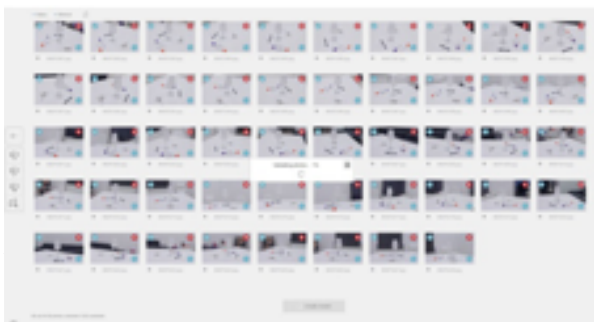
Slika 38. Rekonstruirani 3D model

Figure 38. Reconstructed 3D model



Slika 41. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model

Figure 41. Result of photogrammetry – generated 3D model



Slika 39. Provjera fotografija u programu ReMake

Slika 39. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



Slika 40. Uspješno generiranje modela iz fotografija

Slika 40. Model from photos generated successfully

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

#### 4.5. Generiranje prostorije – ugao sobe

##### 4.5. Generating indoor space – room corner

Za finalno testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije provjerit će se kako se tehnike ponašaju kod većih ravnih ploha bez detalja (za što će najbolje poslužiti prazni bijeli zidovi). S obzirom na to da tu nema puno detalja koji su ključni tehnikama (posebno fotogrametriji) za razlučivanje geometrije, ideja je provjeriti kako se s takvim zadatkom nosi 3D skeniranje dubinskom kamerom. Unatoč nedostatku detalja i jednostavnosti plohe, dubinska kamera ne gleda scenu kao dvodimenzionalnu fotografiju, već kao odziv projiciranih svjetlosnih zraka u infra crvenom području, pa ona u startu ima veće šanse prepoznati trodimenzionalnost scene, a zato smatram da bi ona možda mogla prepoznati barem grubu geometriju bijelih zidova. Ovakav se primjer također vrlo jednostavno modelira klasičnim tehnikama, a u slučaju neuspjeha rekonstrukcije forme novim tehnikama, prostor bi bio modeliran poligonima, podtehnika modeliranja kutije (Box modeling - hardsurface modeling).

Pretpostavka prije samog snimanja je da će ovaj objekt predstavljati najviše poteškoća fotogrametriji, jer fotogrametrija nema mogućnost rekonstrukcije objekta bez detalja (bilo u geometriji, ili teksturi). Ovdje bi se moglo uskočiti s jednim trikom da razbijemo jednoličnost zida – kada bi se projektorom projicirao nekakav raster ili bilo kakvu sliku, fotogrametrija bi dobila dovoljno detalja da može prepoznati oblik. Druga bi opcija bila da se zid prelijepi nekom trakom, ili barem da

se po njemu polijepe post-it papirići, no tu već riskiramo da se kod skeniranja ošteti boja na zidu. Očekivano je da će 3D skeniranje dubinskim senzorom prepoznati barem grubi oblik, a tekstura pretpostavljam da neće biti problem s obzirom na to da je potpuno bijela.

### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera

Korišteni program: Skanect (Non-commercial)

Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)

Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta

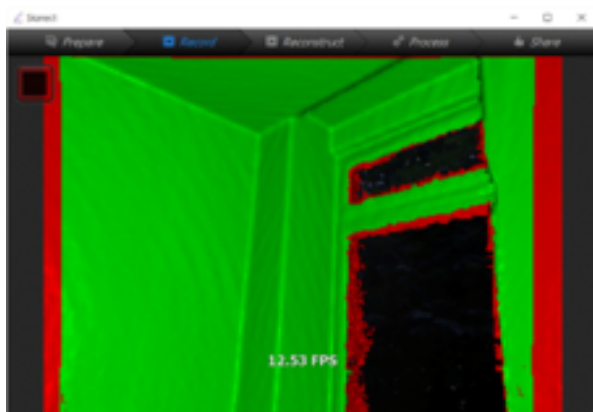
Trajanje snimanja: 5 minuta

Broj ponavljanja: 1



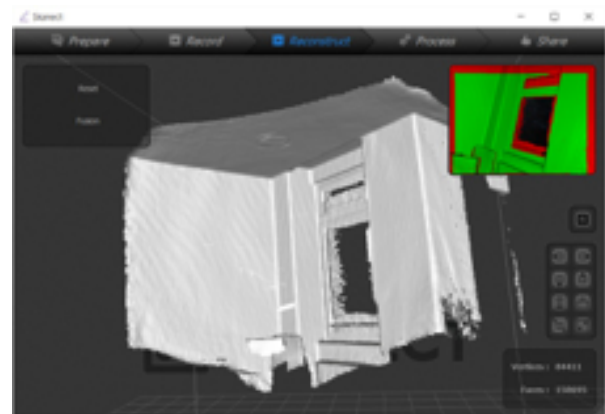
Slika 42. Postavke u programu Skanect

Figure 42. Settings in Skanect program



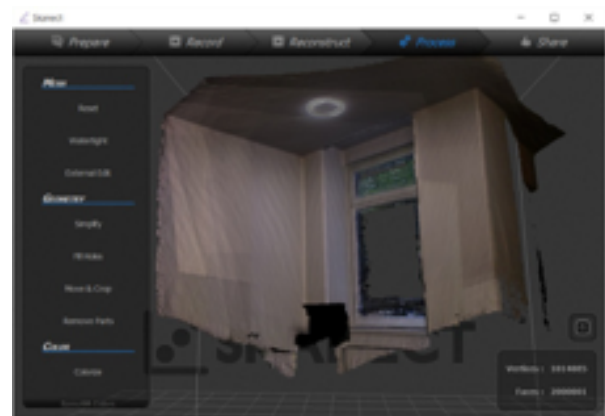
Slika 43. Proces skeniranja

Figure 43. Process of scanning



Slika 44. Rekonstruirani 3D model

Figure 44. Reconstructed 3D model



Slika 45. 3D model s dodanom teksturom

Figure 45. 3D model with applied texture

### TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5, objektiv Pentax DA18-55 WR

Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)

Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)

Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta

Trajanje snimanja: 10 minuta

Broj ponavljanja: 2



Slika 40. Uspješno generiranje modela iz fotografija  
Slika 40. Model from photos generated successfully



Slika 41. Rezultat fotogrametrije – generirani 3D model  
Figure 41. Result of photogrammetry – generated 3D model

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

#### 4.5. Generiranje prostorije – ugao sobe 4.5. Generating indoor space – room corner

Za finalno testiranje tehnika 3D skeniranja dubinskom kamerom i fotogrametrije provjerit će se kako se tehnike ponašaju kod većih ravnih ploha bez detalja (za što će najbolje poslužiti prazni bijeli zidovi). S obzirom na to da tu nema puno detalja koji su ključni tehnikama (posebno fotogrametriji) za razlučivanje geometrije, ideja je provjeriti kako se s takvim zadatkom nosi 3D skeniranje dubinskom kamerom. Unatoč nedostatku detalja i jednostavnosti plohe, dubinska kamera ne gleda scenu kao dvodimenzionalnu fotografiju, već kao odziv projiciranih svjetlosnih zraka u infra crvenom području, pa ona u startu ima veće šanse prepoznati trodimenzionalnost scene, a zato smatram da bi ona možda mogla prepoznati barem grubu geometriju bijelih zidova. Ovakav se

primjer također vrlo jednostavno modelira klasičnim tehnikama, a u slučaju neuspjeha rekonstrukcije forme novim tehnikama, prostor bi bio modeliran poligonima, podtehnika modeliranja kutije (Box modeling - hardsurface modeling).

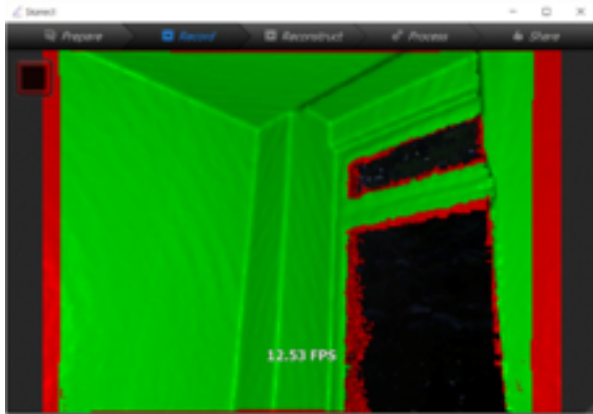
Pretpostavka prije samog snimanja je da će ovaj objekt predstavljati najviše poteškoća fotogrametriji, jer fotogrametrija nema mogućnost rekonstrukcije objekta bez detalja (bilo u geometriji, ili teksturi). Ovdje bi se moglo uskočiti s jednim trikom da razbijemo jednoličnost zida – kada bi se projektorom projicirao nekakav raster ili bilo kakvu sliku, fotogrametrija bi dobila dovoljno detalja da može prepoznati oblik. Druga bi opcija bila da se zid prelijepi nekom trakom, ili barem da se po njemu polijepe post-it papirići, no tu već riskiramo da se kod skeniranja ošteti boja na zidu. Očekivano je da će 3D skeniranje dubinskim senzorom prepoznati barem grubi oblik, a tekstura pretpostavljam da neće biti problem s obzirom na to da je potpuno bijela.

#### TEHNIKA 1 – 3D skeniranje dubinskom kamerom

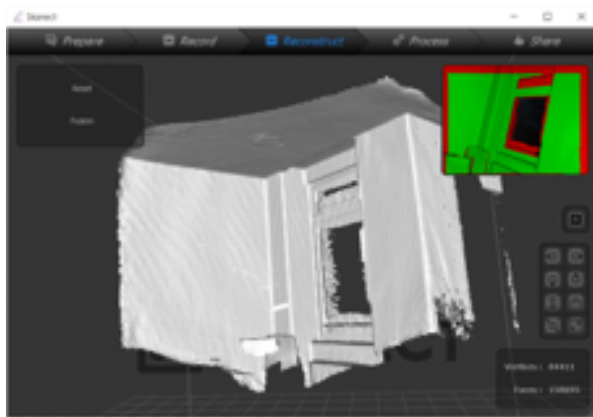
Korištena oprema: Xbox Kinect dubinska kamera  
Korišteni program: Skanect (Non-commercial)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 5 minuta  
Broj ponavljanja: 1



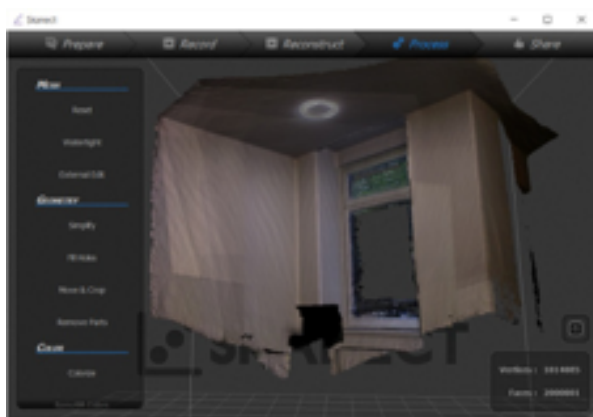
Slika 42. Postavke u programu Skanect  
Figure 42. Settings in Skanect program



Slika 43. Proces skeniranja  
Figure 43. Process of scanning



Slika 44. Rekonstruirani 3D model  
Figure 44. Reconstructed 3D model



Slika 45. 3D model s dodanom teksturom  
Figure 45. 3D model with applied texture

## TEHNIKA 2 – Fotogrametrija

Korištena oprema: Kamera DSLR Pentax k-5,  
objektiv Pentax DA18-55 WR  
Korišteni program: Autodesk ReMake (educational version)  
Mjesto snimanja: Interijer (generična kućna prostorija)  
Osvjetljenje: Sobna stropna rasvjeta  
Trajanje snimanja: 10 minuta  
Broj ponavljanja: 2



Slika 46. Provjera fotografija u programu ReMake  
Slika 46. Photo validation in the program ReMake

Provjera fotografija uspješna, generiranje 3D modela.



Slika 47. Neuspješno generiranje modela iz fotografija  
Slika 47. Model generation from photos failed

Napomena: Analiza rezultata svih testiranja nalazi se sjedinjena u sljedećem poglavlju.

## 5. Analiza rezultata

### 5. Results

Nakon obavljenih svih testiranja, slijedi analiza rezultata:

Kroz testiranja fotogrametrije i 3D skeniranja dubinskom kamerom bok uz bok, obje su se tehnike pokazale uspješnijima od očekivanog. Bitno je napomenuti kako je fotogrametrija rađena poluprofesionalnim DSLR fotoaparatom visoke rezolucije, dok je za 3D skeniranje korišten jeftini senzor za igraće konzole, stoga je za očekivati da rezultati skeniranja budu nešto slabiji. Kod 3D skeniranja profesionalnim skenerima, normalno je očekivati puno preciznije i konzistentnije rezultate.

U prvom eksperimentu, obje su tehnike uspješno generirale funkcionalan model, s tim da je model tehnikom fotogrametrije bio puno precizniji i veće rezolucije te čistih detalja. 3D skeniranje je s druge strane kao proces puno kraće trajalo.

U drugom testu kod manjeg predmeta izašla je na vidjelo slabija rezolucija dubinske kamere, te je ona imala problema s raspoznavanjem objekta, što je rezultiralo samo djelomičnim generiranjem modela. Fotogrametrija se tu pokazala dominantnijom.

Kod testa s reflektivnim predmetom, obje su tehnike nadmašila očekivanja, s tim da je ponovno fotogrametrija generirala precizniji model. Teksture su kod oba modela bile prešarane crtama refleksije, no ništa što nije rješivo s malo naknadne korekcije teksture.

Test s transparentnim objektom je, očekivano, bio neuspješan kod obje tehnike, te se za takve predmete klasično modeliranje pokazalo nezamjenjivim, pogotovo ako se radi o jednostavnijem obliku koji se vrlo jednostavno modelira ručno. Dodatak ovom testiranju je pokazao da se snalazljivim pristupom i transparentne predmete može rekonstruirati, no tu je potrebno uložiti puno više truda pa bi se to isplatilo isključivo kod oblika koje nije tako jednostavno ručno modelirati, ali to je stvar procijene od zadatka do zadatka. U svakom slučaju, fotogrametrija je ponovno dala puno precizniji model.

Zadnji test s prostorijom bio je provjera da li 3D skeniranje dubinskom kamerom ima neko područje u kojem može dominirati nad fotogrametrijom. Pokazalo se da ima. Fotogrametrija je slaba s objektima bez karakterističnih detalja, te takve scene nije u mogućnosti rekonstruirati. Dubinska kamera je generirala dobar model koji je imao

nešto nepravilniju površinu, no odnosi veličina su bili točni, a model uz pokojnu korekciju iskoristiv.

## 6. Zaključak

### 6. Conclusion

Tehnologija je toliko napredovala da danas u kućnim uvjetima imamo mogućnost digitalizirati svijet koji nas okružuje u vrlo kratkom vremenu, a pritom dobiti imponantne rezultate. Dubinske kamere dostupne se uz praktički svaku poznatiju igraću konzolu, a cijena im je vrlo pristupačna, dok s druge strane fotogrametriju možemo iskušati uz pomoć bilo kojeg fotoaparata koji posjedujemo, što ove dvije tehnike čini vrlo pristupačnima.

Fotogrametriju kao tehniku 3D modeliranja je pritom bitno istaknuti kao vrlo uspješnu i iznimno praktičnu, a sve se svodi na fotografiranje objekta iz nekoliko kuteva bilo kojim fotoaparatom koji nam je pri ruci. Što je veća rezolucija fotoaparata kojim snimamo, to će biti veća rezolucija i preciznost samog modela. Uska je niša u kojoj ova tehnika ne daje zapanjujuće rezultate, ali i u tih nekoliko situacija, snalazljivošću možemo prebroditi sve probleme.

Dubinska kamera ima za manu nižu rezoluciju pri 3D skeniranju, tako da ne može prepoznati manje objekte i sitnije detalje. Kod većih objekata nema problema, a posebna prednost je kraće vrijeme izrade modela, koji se u principu kreira istovremeno sa snimanjem. Mana joj je potreba za konstantnu povezanost s računalom pa je snimanje dosta nespretno i ograničavajuće (posebice ukoliko želimo digitalizirati nešto u eksterijeru, a pritom ne posjedujemo napredniji prijenosnik), no kao tehnika je dobra alternativa fotogrametriji.

## 7. Reference

### 7. References

- [1] Beane A.; 3D animation Essentials, John Wiley & Sons, Indianapolis, 2012.
- [2] Slick Justin; 7 Common Modeling Techniques for Film and Games, <https://www.lifewire.com/common-modeling-techniques-for-film-1953>,
- [3] Micallef J.; 3D-Scanning Techniques; InBeginning Design for 3D Printing 2015; Apress; pp. 339-348; 2015.

- [4] Blizard B.; The Art of Photogrammetry: Introduction to Software and Hardware, <http://www.tested.com/art/makers/460057-tested-dark-art-photogrammetry>.
- [5] Dzambazova T.; Autodesk® Remake Getting started guide v.01 May 2016; <http://studylib.net/doc/18346322/autodesk%C2%AE-remake-getting-started-guide-welcome-to>

#### **AUTOR . AUTHOR**

**Andrija Bernik** - nepromijenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic and Design Vol. 2, No. 2, 2014.



**Lorenzo Cetina** rođen je 1990. u Zagrebu. Tijekom studija na arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu susreće se s 3D računalnom grafikom za kojom razvija poseban interes, te se profesionalno nastavlja razvijati u tom smjeru. Već uz studij radi u struci kao arhitekt, no postepeno počinje samostalno kreirati 3D vizualizacije za različite arhitektonske studije, a potom upisuje i Multimediju, oblikovanje i primjenu na Sveučilištu Sjever kako bi se dodatno stručno usavršio i na tom području. Danas se bavi izradom 3D vizualizacija i animacija u primijenjenim umjetnostima. Uz računalnu grafiku, bavi se i fotografijom te dizajnom interijera, a općenito ima velik interes za sve vizualne umjetnosti.