

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

**3D-OPTIČNO BRANJE S KOMPLETOM
"DAVID LASERSCANNER"**

Tematsko področje: RAČUNALNIŠTVO

Avtorji:

Mitja Miklav, 2. letnik
Tomaž Pačnik, 2. letnik
Marko Watzak, 2. letnik

Mentor:

Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Velenje, 2012

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2012.

Mentor: Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Datum predstavitve: marec, 2012



Tomaž Pačnik, Marko Watzak, Mitja Miklav, Nedeljko Grabant

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

KG DAVID 3D LaserSCANNER, optično branje, skeniranje, 3D-model, modeliranje, MeshLab, Blender.

AV Tomaž PAČNIK / Marko Watzak / Mitja MIKLAV

SA GRABANT, Nedeljko

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2012

LI 2012

IN 3D-OPTIČNO BRANJE S KOMPLETOM "DAVID LASERSCANNER"

TD RAZISKOVALNA NALOGA

OP *XI, 43 s., 21 sl., 6 p.*

IJ SL

JI sl

AI

Zelo so razširjeni ploski optični bralniki za digitalizacijo dokumentov. Toda, kako je mogoče optično prebrati oz. skenirati tridimenzionalne (3D) predmete? Profesionalne naprave, ki se lahko uporabljajo za digitalizacijo predmetov, so zelo drage in niso dostopne za »navadne« ljudi. Vendar se je to spremenilo: računalniška znanstvenika dr. Simon Winkelbach in dr. Sven Molkenstruck, sodelavca Inštituta za robotiko in Inštituta za nadzorovanje procesov na tehnični univerzi v Braunschweigu, ter direktor Inštituta prof. Friederich M. Wahl so razvili posebno, preprosto ter poceni tehniko za lasersko optično branje (<http://www.david-laserscanner.com/>). Poleg programske opreme DAVID sta potrebna samo še preprosta video kamera (npr. spletna kamera ali angl. Webcam) in linijski laser. Predmet optičnega branja damo v kot sobe ali pred dve stojali s točkasto podlago, ki sta pod pravim kotom (90°). Video kamero je treba usmeriti proti predmetu in z linijskim laserjem ročno premikamo od zgoraj navzdol po predmetu in takoj s programom dobimo iz kamere 3D-podatke predmeta.

S kompletom "DAVID LASERSCANNER" smo raziskovali optimalni način optičnega branja, omejitve in težave ter tehnike, povezane z optičnim branjem resničnih 3D-predmetov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, Poklicna in tehniška elektro in računalniška šola, 2012

CX DAVID 3D LaserSCANNER, scan, optical scan, 3D design, modeling, MeshLab, Blender

AU Tomaž PAČNIK / Marko Watzak / Mitja MIKLAV

Mentor: GRABANT, Nedeljko

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2012

PY 2012

TI 3D SCANNING WITH A SET OF " DAVID " LASERSCANNER "

DT RESEARCH WORK

NO XI, 43 p., 41 fig., 6

LA SL

AL sl/en

AB abstract

Flatbed scanners for digitization of documents have become increasingly widespread. But how is it possible to scan three-dimensional (3D) objects? Professional equipment that can be used to digitize the items is very expensive and not affordable for "ordinary" people. However, this has changed: computer scientists Dr. Winkelbach Simon and Sven Molkenstruck, professionals at the Institute for Robotics and the Institute for Monitoring Processes at Technical University of Braunschweig, and the director of the Institute professor Friederich M. Wahl have developed a special, simple and inexpensive technique for laser scanning (<http://www.david-laserscanner.com/>). In addition to the software DAVID only a simple video camera (e.g. webcam) and a line laser are needed. An object for scan is placed in corner of a room or in front of two stands with a dot surface, which are at right angles (90 °). A video camera must focus the object and the laser line is manually moved from the top down the object and with the program we immediately obtain 3D data of the object from the camera.

With a set of " David " LASERSCANNER we investigated the optimal method of scanning, constraints and problems and techniques related to scanning real 3D objects.

Kazalo kratic

.blend – kratica za Blender datoteke
.org – ime spletne domene
° - stopinje
+ - plus
× - krat
2D – dvodimenzionalno
3D – tridimenzionalno
3DS – Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – Legacy 3D Studio
A4, A3 – format papirja
ALN - Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - Alignment file format
ang. - prevod iz angleškega jezika
APTS- - Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – Expe's point set (ascii)
ASC- old ASCII format
BY- priznanje avtorstva
CC -CreativeCommons
CCD - Charged Coupled Device
CIS – Contact Image Sensor
cm – centimetri
COLLADA – Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – ime od formata .dae
D.I.Y. - design it yourself
dipl. - diplomirani
dpi – dots per inch
EUR- evro
fps – frames per second
g. - gospod
Gb/s - Giga biti na sekundo
GmbH - Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GTS - output file format
http – hipertext transfer protocole
inž.- inženir
LED - Light Emitting Diode
logo – logotip
MB – mega bajti
Mb/s – Mega biti na sekundo
mm – milimeter
NC – nekomercialno
npr. - na primer
OBJ – Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - Wavefront .obj file
OCR – Optical Character Recognition
OFF- Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - object file format
PLY- Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - Polygon file format
PTS- Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - Pro Tools Settings
PTX- Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk - page layout file
RGB- Red Green Blue, barvni filter
SA – share alike (deljenje pod enakimi pogoji)
SDK - software development kit

sl. - slovensko

spl. splet

STL - Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk –Standard Tessellation Language

ŠCV- Šolski Center Velenje

t.i. - tako imenovani

TRI - Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk –Triangulated Head Surface

V3D -Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk –Vicon V-File Format

VRML - Virtual Reality Modeling Language

wiki – Wikipedia

www – world wide web -svetovni splet

X3D- Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – Extensible 3D Graphics

X3DV – Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – Web 3D Techonolgy

XYZ -Vrsta datotečnega formata za zapis 3D-točk – chemical file format

Kazalo vsebine

1	Uvod	11
1.1	Namen raziskovanja	13
1.2	Hipoteze	13
2	PREGLED OBJAV	14
2.1	Dvodimenzionalni optični bralniki	14
2.1.1	Vrste optičnih bralnikov	15
2.1.2	Kako deluje tehnologija	15
2.1.3	Poznamo dve tehnologiji tipal	15
2.1.3.1	Ločljivost in goljufivost	16
2.1.3.2	Kakšno ločljivost potrebujemo	16
2.1.3.3	Odčitavanje prosojnih predlog ali prosojnic oz. filmov	17
2.1.3.4	Vmesniki – način priklopa optičnih bralnikov	17
2.1.3.5	Vmesnik TWAIN	17
2.1.4	Aktivne optične tehnologije	17
2.2	3D-optični bralniki	17
2.2.1	Pomembna razlika med 2D in 3D-optičnimi bralniki	18
2.3	Lidar	18
2.4	Triangulacijski 3D-laserski optični bralniki	19
2.4.1	Preprosta taksonomija	20
2.4.2	Triangulacija	20
2.4.3	Minolta Vivid 910	21
2.4.4	NextEngine	22
2.4.5	David-laserscanner	22
2.4.6	MAKER Scanner	23
2.4.7	Kaj ni mogoče optično prebrati?	23
2.5	Druge tehnologije	23
2.6	Strukturirana svetloba	23
2.6.1	Breuckmann GmbH	24
2.7	Domača ali amaterska uporaba	24
2.7.1	Microsoft Kinect	24
2.8	Kaj pa optično branje večjih objektov?	25
2.8.1	Čas letenja (angl. Time of Flight)	25
2.8.2	Naprave izven dosega	27
2.9	Opis vrhunskega bralnika ZScanner 800	27
3	Praktično delo in uporaba	29
3.1	Postopek optičnega branja predmeta s kompletom "DAVID 3D Scanner"	29
3.2	Priprava modelov in obdelava	34
3.2.1	Obdelava v programu MeshLabu	34
3.3	Priprava modelov in obdelava v programu MeshLab	36
3.3.1	Obdelava v programu MeshLab	36
3.4	3D-optično prebrani realni predmeti znotraj Blenderja	37
4	USTVARJANJE MODELA IZ 3D-OPTIČNO PREBRANIH PODATKOV	41
4.1	Opis poravnave v MeshLabu	42
4.2	Groba poravnava v MeshLabu	42
4.3	Ustvarjanje skupne površine v MeshLabu	43
4.4	Vrste združevanja oblakov točk	44
4.5	Arc3D	44
5	RAZPRAVA	47

5.1 Nasveti za boljše 3D-optično branje predmetov.....	48
6 ZAKLJUČEK.....	50
7 ZAHVALA	51
8 LITERATURA.....	52
9 AVTORJI RAZISKOVALNE NALOGE.....	53
9.1 Tomaž Pačnik.....	53
9.2 Marko Watzak.....	53
9.3 Mitja Miklav.....	53

Kazalo slik

Slika 1: Logotip kompleta "DAVID 3D Scanner", vir: http://www.david-laserscanner.com , 12. 10. 2011.....	12
.....	12
Slika 2: Slika prikazuje potek skeniranja, vir: http://www.david-laserscanner.com , 12. 10. 2011....	12
Slika 3: Slika prikazuje postavitev laserja in kamere za pravilno optično branje, vir: http://www.david-laserscanner.com , 12. 10. 2011.....	13
.....	14
Slika 4: Običajni pisalniški oz. ploski optični bralnik , Vir: http://www.monitor.si/images/clanki/slika/Mustek_BearPaw_1200CU_2.jpg	14
.....	15
Slika 5: Večfunkcijska naprava, kjer je optični bralnik, zdržen s tiskalnikom, Vir: http://www.funtech.si/images/product_image.gif?cimage=import%2Favtera%2F105768.jpg&size=800	15
.....	15
Slika 8: Osnovni princip delovanja triangulacije, Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner	18
.....	18
Slika 9: Časovni optični bralnik LIDAR ,Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Lidar	19
Slika 10: Prikaz principa delovanja 3D- optičnega bralnika LIDAR.....	19
Slika 11: Metoda merjenja oblaka točk z uporabo triangulacijskega 3D-laserskega optičnega bralnika, vir: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner	20
Slika 12: Triangulacijski ročni optični bralnik, slikal Nedeljko Grabant.....	21
Slika 13: 3.1 3D-optični bralnik Minolta Vivid 910, vir: http://www.konicaminolta.com/instruments/products/3d/non-contact/vivid910/index.html	22
.....	22
Slika 14: 3D-optični bralnik NextEngine, vir: http://www.nextengine.com/	23
.....	23
Slika 15: makerscanner, Vir http://wiki.makerbot.com/makerscanner	24
.....	24
Slika 16: 3D-optični bralniki podjetja breuckmann.com, vir: http://www.breuckmann.com	24
.....	24
Slika 17: Naprava Microsoft Kinect, vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect	25
Slika 18: Obdelava zida.....	26
Slika 19: Pogled na stavbo (del zidaje viden na predhodni sliki) od daleč.....	26
.....	27
http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Scanners/ZScannerandtrade_800/spage.aspx	28
http://www.zcorp.com/en/imagesets/164/show.aspx	28
Slika 21: Postavljeno platno z izbranim objektom, vir: lastna slika.....	29
.....	29
Slika 22: USB-ključek, priključen v računalnik, vir: lastna slika.....	29
Slika 23: Izbira gonilnika za kamero, vir: lastna slika.....	30
Slika 24: Izbira jezika, vir: lastna slika.....	30
Slika 25: Zagon DAVID programske opreme.....	30
Slika 26: Nastavitve in kalibracija kamere, vir: lastna slika.....	31
Slika 27: Pregled in shranjevanje skeniranega objekta, vir: lastna slika.....	32
Slika 28: Sprememba oblike objekta, vir: lastna slika.....	32
.....	33
Slika 29: Končano branje objekta, vir: lastna slika.....	33
Slika 30: Groba obdelava, vidne so pomanjkljivosti, Vir: http://meshlab.sourceforge.net/	34

.....	35
Slika 31: Slika plastenke v stranskem in pogledu od zgoraj; foto: Mitja Miklav.....	35
Slika 32: Modelirana platenka v Blenderju, avtor Tomaž Pačnik.....	36
.....	37
Slika 33: Izbrane izvožno/uvozni razširitve znotraj Blenderja s kljukico na koncu vrstice, lastna slika.....	37
Slika 34: Tukaj vidimo dober prikaz grobe, srednje in fine trikotniške mreže predmeta.....	38
Vir: http://urbanhonking.com/ideasfordozens/	38
Slika 35: Avtomatska obdelava v MeshLab-u, vir: http://www.shapeways.com/blog/uploads/SnapMeshLab.AO1.jpg	40
.....	41
Slika 36: Primer 3D-optično prebranih podatkov plastenke Aqua Valis.....	41
.....	42
Slika 37: Uradni logotip Automatic Reconstruction Conduit (ARC) 3D, vir: arc3d.be	42
Slika 38: Primerjava med zgradbo modela v blenderju (leva) in trikotniki v ostalih oblikah zapisa.....	43
Slika 39: Primer 3D-optično prebranih podatkov plastenke Aqua Valis.....	44
Slika 40: Uporabniški vmesnik nove verzije programa 'DAVID 3D Scanner' 3.0, vir: http://www.david-laserscanner.com , 1. 3. 2012.....	45
Slika 41: Primer 3D-optičnega branja lutke, vir: Talltreelabs.org	46

Kazalo tabel

Tabela 1: Primerjava različnih velikosti datotek, končnic, vozlišč, ploskev in točk	40
---	----

1 Uvod

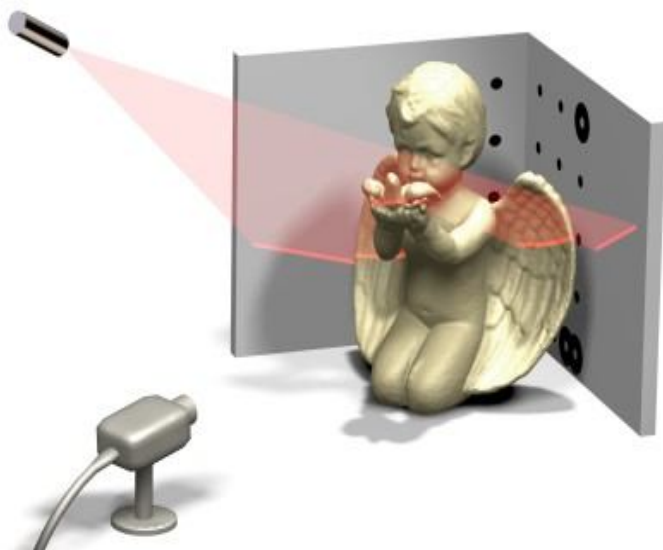
Danes ima skoraj vsakdo ploski optični bralnik za digitalizacijo dokumentov. Toda, kako je mogoče optično prebrati tridimenzionalnega (3D) predmeta? Profesionalne naprave, ki se lahko uporabljajo za digitalizacijo predmetov, so zelo drage in niso dostopne za večino ljudi. Vendar se je to spremenilo: Računalniški znanstveniki dr. Simon Winkelbach in dr. Sven Molkenstruck, sodelavci Inštituta za robotiko in Nadzorovanje procesov na tehnični univerzi v Braunschweigu ter direktor Inštituta prof. Friederich M. Wahl so razvili posebno, preprosto ter poceni tehniko za lasersko optično branje (<http://www.david-laserscanner.com>, slika 2).



Slika 1: Logotip kompleta "DAVID 3D Scanner", vir: <http://www.david-laserscanner.com>, 12. 10. 2011

Poleg programske opreme DAVID sta potrebna samo še preprosta kamera (npr. spletna kamera ali angl. Webcam) in linijski laser. Oba (kamera in linijski laser) sta na voljo v trgovinah elektronike ali računalništva pri začetni ceni od 15-20 EUR naprej (odvisno od kvalitete).

Predmet skeniranja damo v kot sobe ali med dvema pravokotnima stenama na stojalih, ki sta pod pravim kotom (90 °), kamero je treba usmeriti poti predmetu, kot se vidi na sliki 3.



Slika 2: Slika prikazuje potek skeniranja, vir: <http://www.david-laserscanner.com>, 12. 10. 2011

Posebnost je, da optično branje ne zahteva zapletene mehanike za laser. Laser preprosto premikamo z roko, med tem programska oprema DAVID ustvarja 3D-podatke v realnem času in jih prikazuje na monitorju. Z lahkoto lahko premikamo lasersko linijo gor in dol po predmetu, dokler nisi z rezultatom zadovoljen. Zaradi 3D-mreže lahko 3D-sliko izvozimo v datotečni obj. format. Ta obj. format s podatki v 3D-predmeta v datoteki lahko prenesemo v programe za 3D-oblikovanje. Smiselno je, da posnamemo predmet iz vsaj štirih različnih kotov, potem te slike združimo v 3D-predmet.

1.1 Namen raziskovanja

Želimo si raziskovati tehniko, povezano z uporabo resničnih 3D-predmetov pri njihovem 3D-optičnem branju in težavah ter morebitne predloge za bolj učinkovito delo pri 3D-optičnem branju.

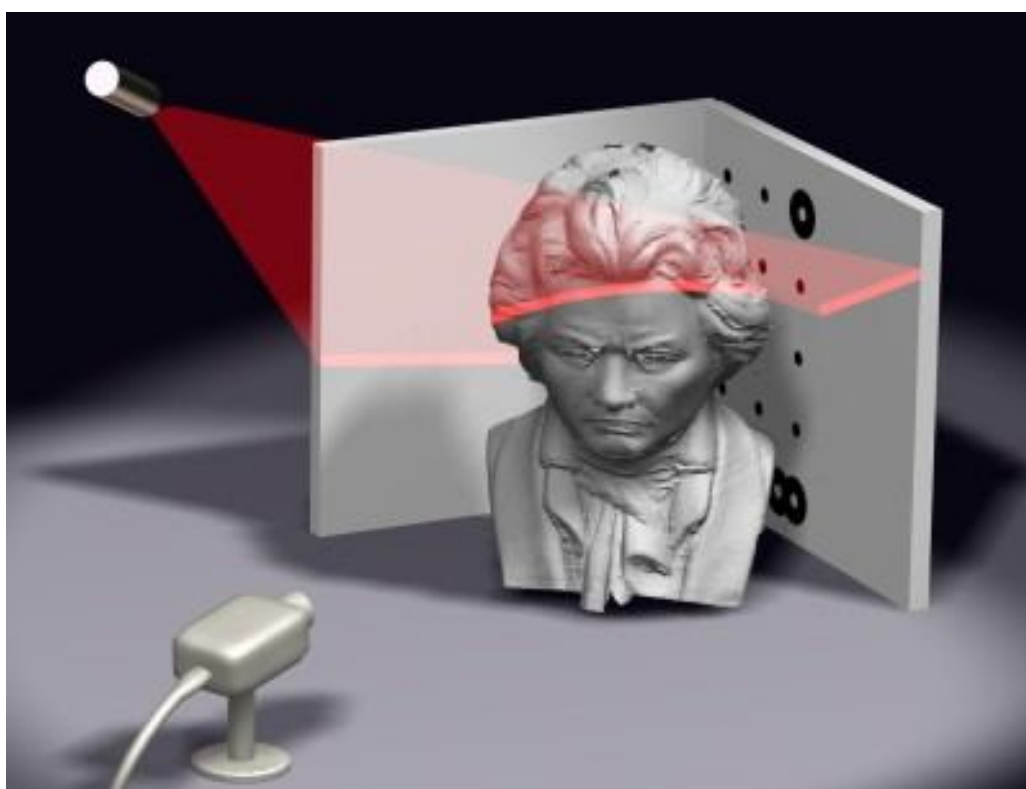
Cilj, ki smo si ga zastavili, je bil pridobiti osnovna znanja za razumevanje 3D-optičnega branja:

- Pridobitev 3D-geometrije predmetov s pomočjo 3D-optičnega branja.
- Ustvarjanje 3D-predmeta iz neobdelanih podatkov.
- Možnosti obdelovanja podatkov od prebranih 3D-predmetov za uporabljanje in uporabo v drugih programih.

1.2 Hipoteze

Na začetku raziskovanja smo si zastavili naslednje hipoteze:

- Učenje osnov 3D-optičnega branja (slika 3) zahteva vsaj 10 minut učenja.
- 3D-modeliranje je težje od 3D-optičnega branja in je zato boljše za navadne ljudi (priporočali bi ga).
- 3D-optično branje resničnih predmetov je zelo razširjeno in bo v kratkem (predvidevamo v dveh letih) skoraj v celoti izrinilo modeliranje v izbranem 3D-programu.
- Učinkovitost kompleksnega modeliranja v Blenderju je boljša kot v MeshLabu.
- Optično prebrane modele oz. oblake točk je lažje obdelovati v MeshLabu kot v Blenderju.



Slika 3: Slika prikazuje postavitev laserja in kamere za pravilno optično branje, vir: <http://www.david-laserscanner.com>, 12. 10. 2011

2 PREGLED OBJAV

Pri pregledu objav bomo obravnavali naslednja poglavja:

- Optični bralniki
- 3D-optični bralniki
- 3D-optično branje iz slik
- Postopek branja predmeta
- Priprava modelov
- 3D-optično prebrani realni predmeti znotraj Blenderja

2.1 Dvodimenzionalni optični bralniki

Poznamo več vrst optičnih bralnikov (v uporabi sta še izraza skener ali čitalnik), ki so v osnovni izvedbi za optično branje dokumentov v dveh dimenzijah. Največjo uporabo ima ploski bralnik za dokumente (slika 4). Najdemo ga kot posebno napravo ali kot več funkcijsko napravo v kompletu s tiskalnikom oz. kopirnim strojem.

Poznamo tudi namenski optični bralnik za branje diapozitivov in negativov.



Slika 4: Običajni pisalniški oz. ploski optični bralnik , Vir: http://www.monitor.si/images/clanki/slika/Mustek_BearPaw_1200CU_2.jpg

Optični bralniki so namenjeni za zajemanje slik in dokumentov. Velikosti bralnikov so ponavadi namenjeni za dokumente velikosti A4, bolj redki so za dokumente velikosti A3 ... Primer multifunkcijskih optičnih bralnikov, ki jih ponavadi vidimo v skoraj vsaki pisarni (slika 5).

Z optičnim bralnikom lahko digitaliziramo slike, preberemo in s posebnim programom po prepoznavanju znakov (angl. Optical character recognition, OCR) lahko potem urejamo dokumente ... (sicer se zavedamo avtorstva besedil)

Prednosti digitalnega zapisa so lažja obdelava digitalno zapisanih podatkov, "trajnost" zapisa podatkov, enostavna manipulacija, npr. kopiranje.



Slika 5: Večfunkcijska naprava, kjer je optični bralnik, zdržen s tiskalnikom, Vir: http://www.funtech.si/images/product_image.gif?cimage=import%2Favtera%2F105768.jpg&size=800

2.1.1 Vrste optičnih bralnikov

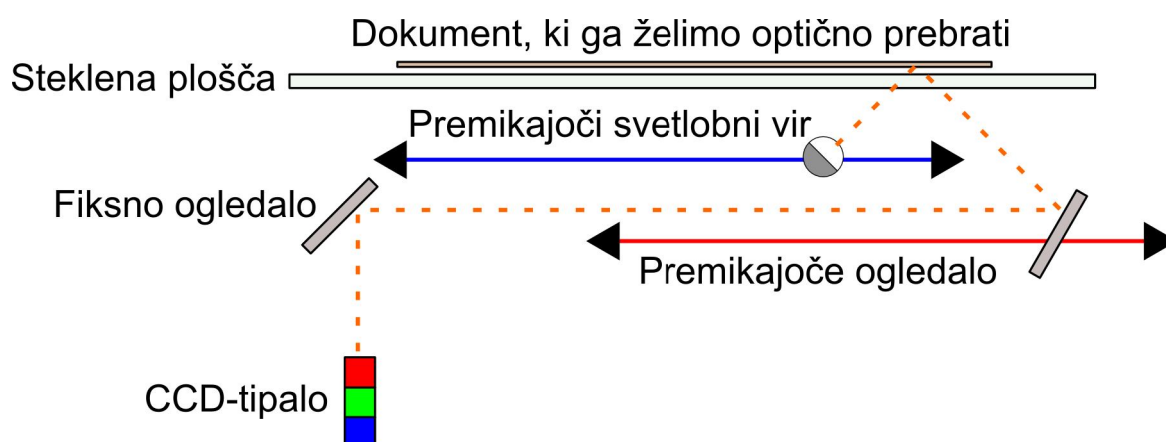
Obstajajo ročni bralniki (zgodovina), vlečni bralniki (zgodovina, redkost, tehnične slabosti), namenski bralniki diapozitivov in prosojnih predlog (reprostudii, DTP), bobenski bralniki (specializirani reprostudii), specializirani bralniki (večjega števila) dokumentov, ploski bralniki (tudi za prosojne predloge).

2.1.2 Kako deluje tehnologija

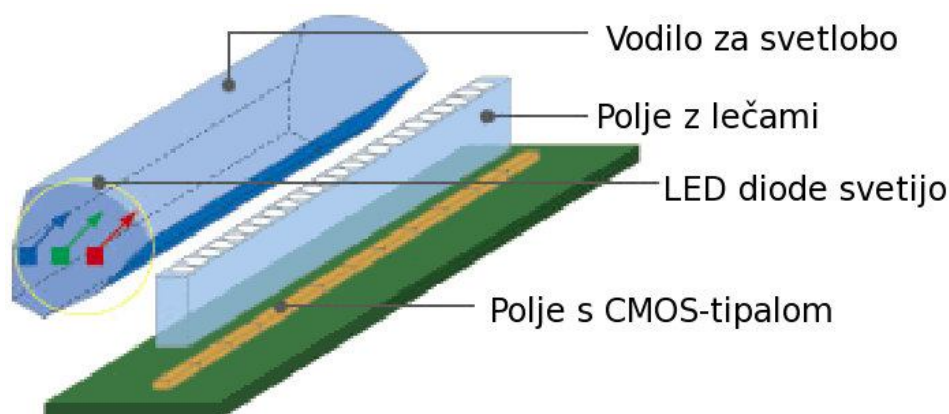
Bralniki vsebujejo komponente, kot so koračni motorček, pomična tipala na paličastem nosilcu, potujoči vir svetlobe. Tipala zaznavajo odbito svetlobo digitalizacije zaznanih vrednosti, ostalo pa opravi programska oprema (barvno uravnovešanje - slika 6).

2.1.3 Poznamo dve tehnologiji tipal

- *CCD (angl. Charged Coupled Device)*, ki z barvno slepimi tipali zaznajo zgolj svetilnost in imajo barvni razcep (prizme, zrcalca).
Vir svetlobe je fluorescentna žarnica, žarnica s hladno katodo ali ksenonska žarnica (slika 6).
- *CIS (Contact Image Sensor)* imajo kot vir svetlobe svetleče diode.
Ta vrsta optičnih bralnikov je cenejša, tanjša, energijsko manj potratna (USB-napajanje). Imajo težave pri branju podrobnosti, npr. v mehkih barvnih prelivih (slika 7).



Slika 6: Osnovni princip delovanja optičnega bralnika s CCD-tipalom, Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner



Slika 7: Osnovni princip delovanja optičnega bralnika s CIS-tipalom, vir: <http://www.canon-compo.co.jp/e/technology/cis.html>

2.1.3.1 Ločljivost in goljufivost

Bralnik lahko prebere le toliko informacij na dolžinsko enoto (1 palec = 2,54 cm), kolikor ima na to enoto bralnih elementov:

- Navajanje ločljivosti npr. 1200 x 2400 dpi
- 1. vrednost: gostota optičnih tipal
- 2. vrednost: natančnost koračnega motorja

Dejanska ločljivost optičnega bralnika je manjša od obeh vrednosti.

Deklarativna ločljivost je npr. 9600 x 9600 dpi.

Vmesne točke so matematično izračunane – t. i. Interpolirane vrednosti.

2.1.3.2 Kakšno ločljivost potrebujemo

Za dokumente je dovolj 300 dpi oz. 400 dpi.

Barvne fotografije za objavo v tiskanem gradivu: 300 dpi.

Za pregled na zaslonu zadostuje že od 72 dpi do 100dpi.

Velja pravilo $2 \times$ večja ločljivost = $4 \times$ večja datoteka (množi se širina in višina).

Fotografija velikosti 10 x 15 cm in z ločljivostjo tiskanja 300 dpi ima velikost 6 MB.

Ta ista slika, tiskana pri 600 dpi, ima velikost 24 MB.

2.1.3.3 Odčitavanje prosojnih predlog ali prosojnic oz. filmov

Zato potrebujemo osvetljevanje od zgoraj (svetlobni vir na pokrovu), diapozitivi zahtevajo večjo osvetljenost za boljše slike in večjo natančnost (vsaj 2700 dpi...). Za kakovostno in obsežno digitalizacijo diapozitivov je priporočljiva uporaba namenskega optičnega bralnika tovrstnih predlog.

Globina barvnega zajemanja (bitna globina) določa število barvnih odtenkov, ki jih optični bralnik lahko loči:

- 24 bitov (8 + 8 + 8, po 8-bitov za rdeči, zeleni in za modri kanal)
- 30 bitov (3 x 10)
- 42 bitov (3 x 14)
- 48 bitov (3 x 16) omogoča zapis 281 474 976 710 656 možnih barvnih odtenkov

Človeško oko je različno občutljivo za določeno svetlost barv – svetlobo zaznavamo logaritmčno in je bolj občutljivo za odtenke v srednjem delu med zelo svetlimi in temnimi deli spektra.

2.1.3.4 Vmesniki – način priklopa optičnih bralnikov

Najprej so bili SCSI (zgodovina v domači in "šolski" rabi), vzporedni vmesnik (počasnejše branje, "zavirajo" delovanje računalnika).

Danes se ponavadi uporablja USB vmesnik, ki ne obremenjuje računalnika:

- USB 1.1 – 12 Mb/s
- USB 2.0 – 480 Mb/s
- USB 3.0 – 5 Gb/s (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/USB_3.0)

2.1.3.5 Vmesnik TWAIN

Programska komponenta optičnega bralnika – standardiziran vmesnik za nadzor optičnega bralnika. Poženemo ga kot samostojen program znotraj grafičnega programa (npr. Photoshop ali GIMP).

Več o optičnih bralnikih najdete na spletnih naslovih:

http://sl.wikipedia.org/wiki/Opti%C4%8Dni_bralnik, 10. 02. 2012

http://en.wikipedia.org/wiki/Image_scanner, 10. 02. 2012

Velika večina naslednjega gradiva do praktičnega dela je deloma prevod iz angleškega jezika. To gradivo je nastalo pod peresom g. Marco Callieri (kateremu se zahvaljujemo), ki je letos imel na Blender konferenci 2011 oktobra v Amsterdamu predavanje z naslovom: »3D scanned models of real-world objects inside Blender«; do gradiva se lahko dostopa tudi na spletnem naslovu:

<http://vcg.isti.cnr.it/~callieri/blendercourse.html>, 2. 2. 2012.

2.1.4 Aktivne optične tehnologije

Pošlji neke vrste svetlobni signal na površje, za določitev geometrije pa uporabite vrnitveni signal. To je najbolj izkoriščena strategija, saj je nepovezan in uporablja "preprosto" luč, kot je npr. LASER.

Najpogosteje uporabljeno načelo je triangulacija.

2.2 3D-optični bralniki

Družina tehnologij, namenjena geometrijskemu merjenju površin.

Rodil se je v industrijskem svetu, zdaj ga uporabljajo v mnogih različnih področjih ... Za razliko od 2D-optičnih bralnikov so tukaj uporabljene različne tehnologije, te pa zahtevajo nekaj spretnosti in rezultat ni takoj na voljo, vendar zato potrebuje samo še nekaj računalniške obdelave in dodatnega dela.

V zadnjih nekaj letih so te tehnologije končno na voljo splošni javnosti.

2.2.1 Pomembna razlika med 2D in 3D-optičnimi bralniki

V vseh svojih izvedbah je 3D-optično branje oblika avtomatskega merjenja geometrijskih lastnosti predmetov. Pri 2D-optičnem branju se avtomatsko zajema lastnosti predmetov le s površja (širine in dolžine).

Proizvedeni digitalni model je izdelan iz geometrijskih informacij, ki so bile izmerjene in imajo metrično kakovost.

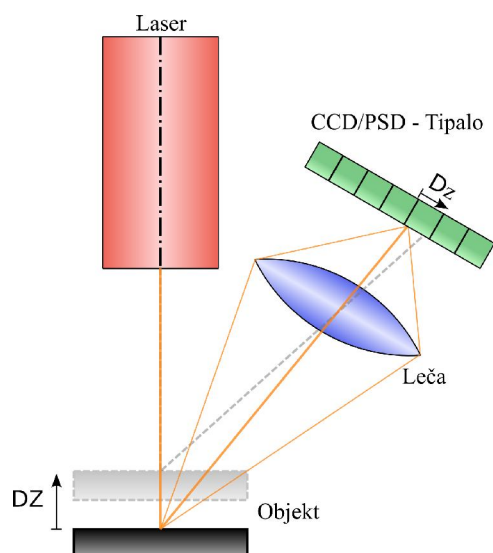
Slika optično prebranega objekta je lahko nenatančna in nepopolna, vendar pa ima še vedno vse lastnosti merilnega rezultata.

Njegov cilj in narava sta razlog, zakaj je težko uporabljati te podatke v upodabljanju cevovoda.

2.2.2 Triangulacija

Svetloba se bo po projekciji odbila od površine in njen odsev se prebere s tipalom ... Uporaba trigonometričnega izračuna je preprosto izterjati 3D-položaj osvetljenih mest (slika 8).

Geometrijsko načelo je najpreprostejša možnost! Prava težava je dobiti natančnost odboja tako, da se natančno kalibrira vsak del.



Slika 8: Osnovni princip delovanja triangulacije, Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner

Poznavanje vrednosti odboja in sprejem kota in z uporabo razdalje med oddajnikom in tipalom (senzorjem) se lahko na osnovi razdalje za vsako vzorčno točko izračunana njena lega v prostoru.

2.2.3 Lidar

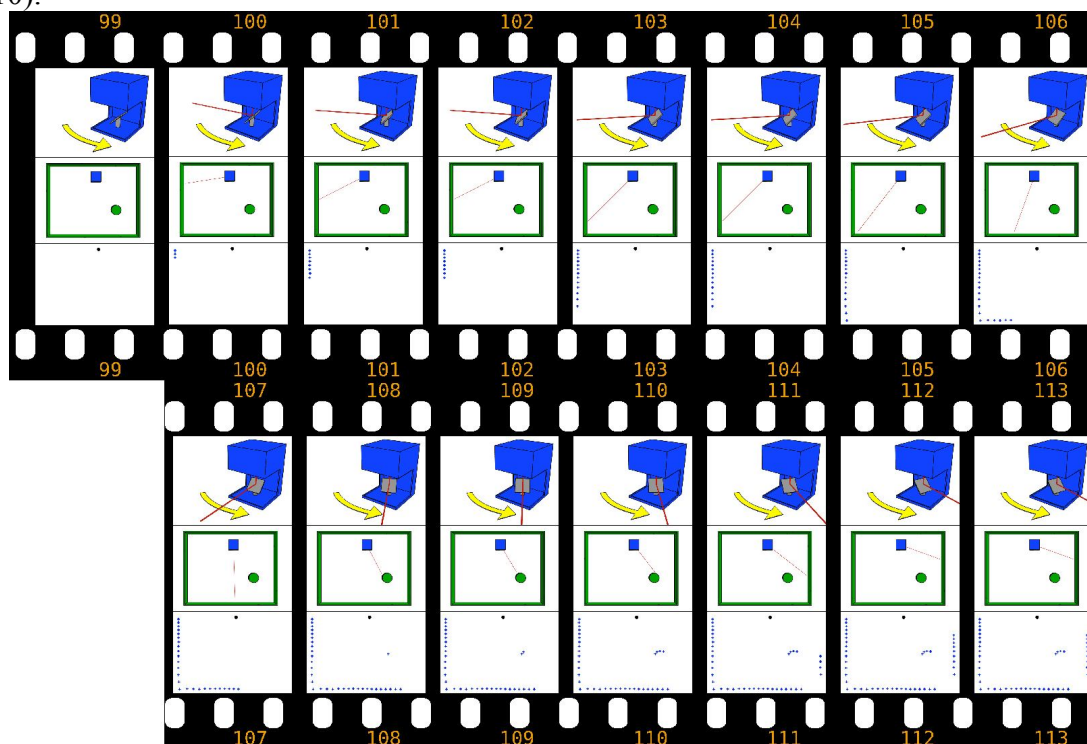
Časovni (ang. Time-of-flight) optični bralnik Lidar (angl. Light Detection And Ranging -slika 9) se lahko uporablja za optično branje zgradb, terena in za izdelavo 3D-modela.

Več podatkov najdete na spletnem naslovu: <http://en.wikipedia.org/wiki/LIDAR>, 25.2.2012



Slika 9: Časovni optični bralnik LIDAR ,Vir:<http://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>

Lidar lahko svojega laserskega žarka obrača v široki paleti: njena glava se vrti vodoravno, ogledalo prezrcali navpično. Laserski žarek se uporablja za merjenje razdalje do prvega objekta na svoji poti (slika 10).

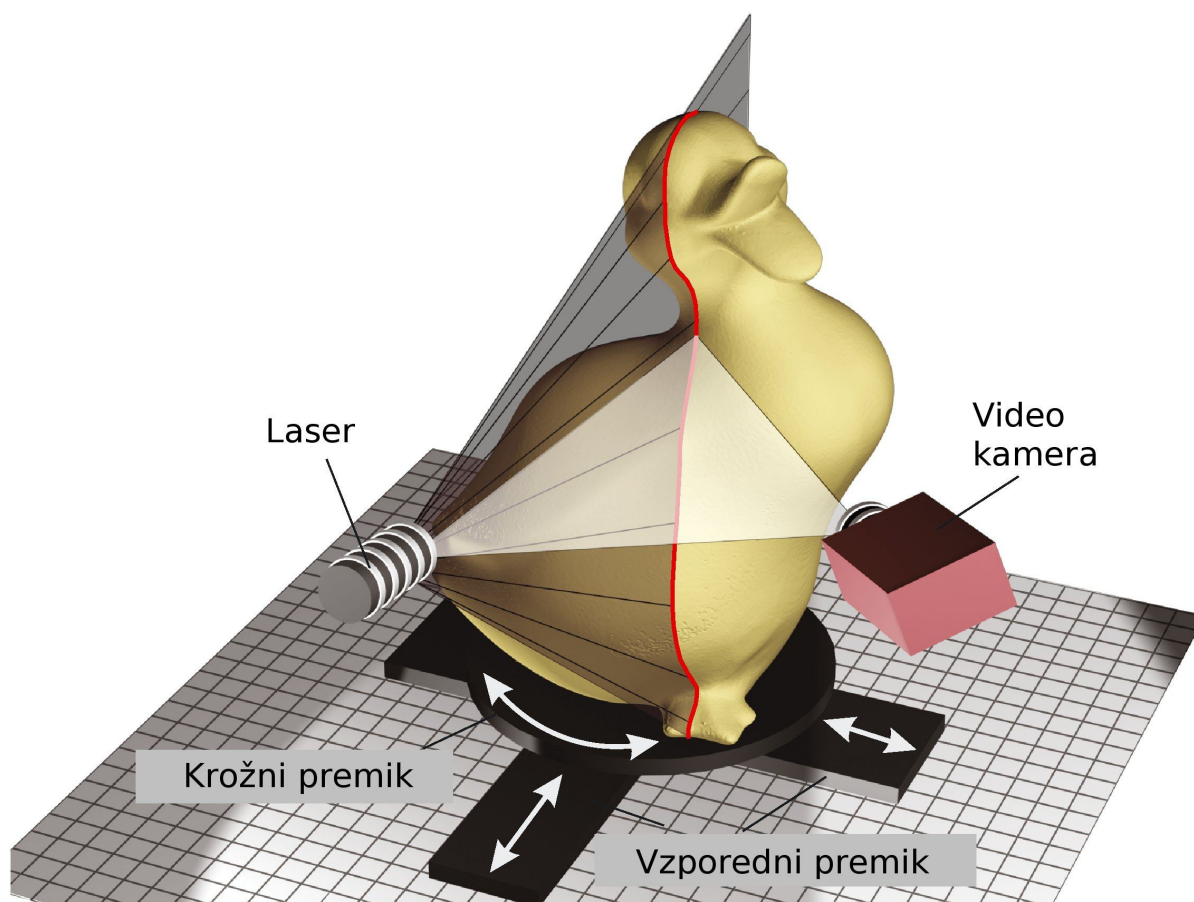


Slika 10: Prikaz principa delovanja 3D- optičnega bralnika LIDAR

2.3 Triangulacijski 3D-laserski optični bralniki

So tudi aktivni optični bralniki, ki uporabljajo lasersko svetlobo, da tipalo (video kamera) prebere okolje. Z upoštevanjem časovnega optičnega bralnika triangulacijski laser sveti na objekt in kamera poišče mesto laserske pike.

Več podatkov najdete na spletnem naslovu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Triangulation>, 25.2.2012
Ustvarjalci časovnega triangulacijskega optičnega bralnika (slika 11) so odkrili, da ima vsak prednost in slabost, zaradi katerih sta primerna v različne situacijah. Prednost razpona časovnega optičnega bralnika je, da so primerni za delo na zelo dolgih razdaljah. Ti optični bralniki so zato primerni za optično branje velikih struktur, kot so zgradbe ali geografske značilnosti. Slabost časovnih optičnih bralnikov je njihova natančnost. Pri triangulacijskih optičnih bralnikih pa je nasprotno, delujejo samo na nekaj metrov, vendar pa so zelo natančni (slika 12).



Slika 11: Metoda merjenja oblaka točk z uporabo triangulacijskega 3D-laserskega optičnega bralnika, vir: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner



Slika 12: Triangulacijski ročni optični bralnik, slikal Nedeljko Grabant

2.3.1 Preprosta taksonomija

Taksonomija ([grško](#) τάξις: táksis [red](#), *razpored, ureditev* + νόμος: nómos - [zakon](#), *zakonitost*; [latinsko](#) taxo) oziroma (v biologiji) starejše ime **sistemátika** se lahko nanaša na stopenjsko razvrstitev stvari oziroma na načela, ki podpirajo razvrstitev. Na podlagi kakšnega taksonomskega sistema lahko razvrstimo praktično vse - organske [objekte](#), neorganske objekte, [teles](#), kraje, dogodke in podobno. Taksonomija ali [taksonomske sheme](#) so sestavljene iz taksonomskih enot (znane tudi kot [taxon](#)) ali vrste stvari, ki so pogosto urejene v hierarhični strukturi. Navadno so med seboj povezane v odnosih podrednosti in nadrednosti, ki jih imenujemo tudi odnosi starši-otrok. V tovrstnem odnosu ima stvar, ki je v podrednem položaju, po definiciji enake omejitve kot stvar v nadrednem položaju, poleg tega pa še eno ali več omejitev. Primer: avto je podredje vozila. To pomeni, da je vsak avto tudi vozilo, vendar ni vsako vozilo avto. Potemtakem mora stvar izpolniti več omejitev, da je avto le vozilo.

Različne tehnologije se lahko uvrstijo glede na način delovanja ...

2.3.2 Minolta Vivid 910

Komercialni optični bralnik Minolta Vivid 910 z visoko natančnostjo (0,2-0,3mm), ima pa visok strošek dobave (več kot 30.000 evrov). Laserska linija je oddana čez objekta: 300.000 točk - merjeno v 2,5 sekundah.



Slika 13: 3.1 3D-optični bralnik Minolta Vivid 910, vir <http://www.konicaminolta.com/instruments/products/3d/non-contact/vivid910/index.html>

Kljub svoji starosti, je še vedno eden izmed najbolj vsestranskih in uporabnih naprav na tržišču. Je kompakten in lahko dela v težkih pogojih, ni hitrejšega ali natančnejšega instrumenta na tržišču, vendar pa njegova vsestranskost plača za pomanjkanje izjemne zmogljivosti. Zelo pogosto se uporabljajo v industriji, kulturni dediščini, forenzični medicini. Prihaja z lastno programsko opremo, podatki se lahko obdelujejo v notranjosti programa MeshLab.

2.3.3 NextEngine

Namizni optični bralec NextEngine (<http://www.nextengine.com/>) vstopnega razreda 3D-optični bralec, enostaven in poceni. Ponuja odlično razmerje med kakovostjo/ceno. Idealno, da razišče morebitno uporabo te tehnologije v majhnem podjetju, raziskavah v laboratorijih ali celo kot za konjička (hobi) ...

Profesionalno: - nizka cena (manj kot 2000 evrov) - dobra ločljivost in rezultat skladnosti. - Izjemno prenosen (majhen in lahek). Slabost je, da potrebuje konstantno delovno razdaljo. Potreba so parameterska spreminjanja. Ne deluje dobro na nekaterih materialih (če so temna ali sijoča).

Prihaja z lastno programsko opremo (samo za Windows), ki pa ima veliko omejitev L.

Zbrani podatki se lahko obdelujejo enostavno z uporabo programa MeshLab.



Slika 14: 3D-optični bralnik NextEngine, vir: <http://www.nextengine.com/>

2.3.4 David-laserscanner

David-laserscanner potrebujete spletno kamero in lasersko linijo (ter nekaj tiskanih slik kot tarčo). Tega smo opisali že v uvodu.

Postopek kalibracije je preprost in enostaven za uporabo optičnega branja. Vendar pozor! Če želite dobiti dobre rezultate, boste potrebovali pazljivo namestitev in mirno roko.

Zelo vsestranski: lahko dela v različnih obsegih (z večjo/manjšo tarčo), postavitve daje nekaj svobode postavitve sestavnih delov.

Brezplačna verzija ima izhodiščno ločljivost nižjo, vendar pa je še vedno dovolj dobra za doma narejene projekte ... Plačljiva različica ima višjo resolucijo, več možnosti in lahko izvaja celoten cevovod za obdelavo (tudi če MeshLab še vedno deluje bolje :)). V najnovejši različici podpira tudi uporabo digitalnega projektorja (strukturirana svetloba).

2.3.5 MAKER Scanner

Še en poceni optični bralnik, ki uporablja »Playstation oči« (http://www.makerscanner.com/), spletno kamero in laser, nameščen na ploščadi po meri (ki se npr. lahko izdelana s pomočjo 3D-tiskalnika).

Preprosto se ga nastavi (potrebna je ravnina), je enostavno optično branje. Nikoli dejansko uporabljen, vendar so znani podatki, ki prihajajo iz te naprave. Ni slabo, vendar so podatki malo bolj surovi kot iz »David skenerja«.

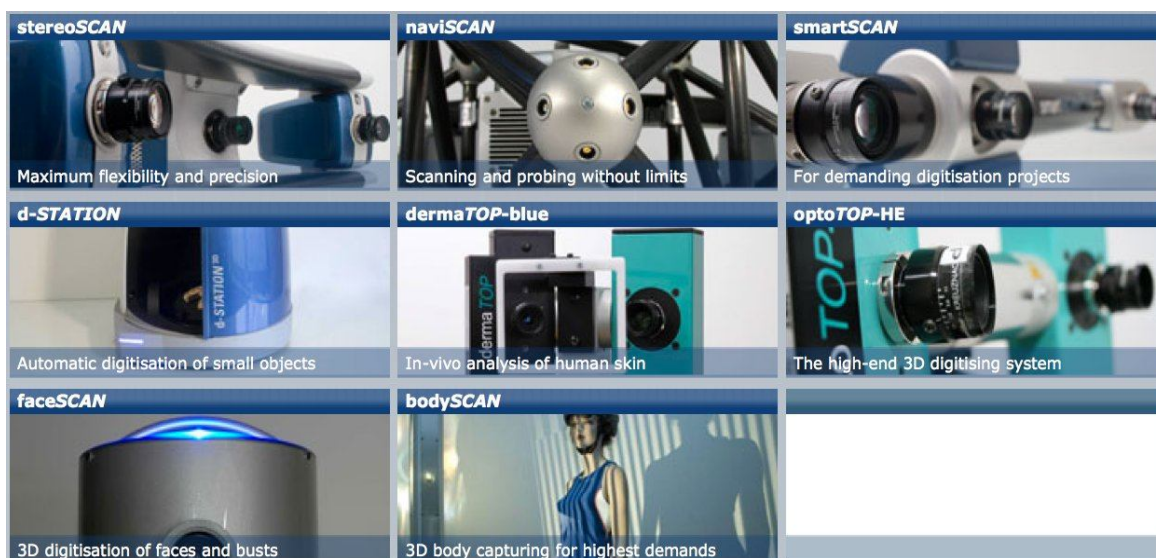


Slika 15: makerscanner, Vir <http://wiki.makerbot.com/makerscanner>

2.3.6 Breuckmann GmbH

Nemško podjetje (<http://www.breuckmann.com>), ki proizvaja in prodaja izredno natančne (in zelo drage) strukturirane svetlobne optične bralnike (slika 16).

Uporabili smo te instrumente za diagnostične namene, z vzorčno resolucijo do 0.05mm.



Slika 16: 3D-optični bralniki podjetja breuckmann.com, vir: <http://www.breuckmann.com>

2.4 3D-optični bralnik za domačo ali amatersko uporabo

Nekaj možnosti:

- David laserski skener
- MakerBot 3D skener (ki se zdi, da zbledi in odbledi – podpora od časa do časa)
- Strukturirana svetloba

Veliko je še drugih projektov (z različno stopnjo popolnosti), na voljo so na spletu, težko pa je reči, katera je dobra glede na zahteve vaših potreb.

Dosedaj je bilo naštetih dovolj podatkov in osnov, da bi se lahko odločili sami.

Na trgu se mesečno pojavljajo tudi nove ponudbe oz. 3D-optični bralniki (tako da je smiselno pregledati ponudbo, ko se odločate za nakup).

2.4.1 Microsoft Kinect

Microsoft Kinect je vir zelo hitre (30 fps. - slika 30) strukturirane svetlobe, ki uporablja infrardečo svetlobo (na ta način bo vzorec lahko neviden). Ločljivost 640×480 ni velika, RGB-barva ni v celoti usklajena z geometrijo.



Slika 17: Naprava Microsoft Kinect, vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

Vendar pa so njeni stroški in predstave pretresli skupnost uporabnikov 3D-ja in tudi strokovnjake. Možno je (v teoriji), da uporabite Kinect za 3D-optično branje, vendar upoštevamo naslednje. Kinect je zgrajen za hitrost, ne pa za natančnost: potrebujete stabilno lego obeh naprav in objektov. Morda boste morali, da bi dobili več kot strel, iz enakega stališča in ga združiti za zmanjšanje hrupa.

Globinska informacija je stisnjena, še posebej v velikem območju: predmet mora ostati čim bližje napravi.

Obstajajo različni projekti, na voljo so na spletu, ki uporabljajo Kinect ... od osnovnih knjižnic SDK do popolnih orodij za optično branje in/ali skeletnih animacij.

Večina od njih sledi "slabi šoli" za odprto kodo, morali boste prenesti 3-4 različne knjižnice in izgradnjo orodja sestaviti sami.

Uradni SDK (<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/>) je dober, vendar predstavlja resno omejitev o tem, kaj lahko storite z napravo in podatki.

Obstaja še neuradna SDK (<http://www.kinecthacks.com/kinect-sdk/>), tudi če je garancija nična, je uporaba tega nezakonita v vseh pogledih.

2.5 Kaj pa optično branje večjih objektov?

To je zelo pogosto vprašanje ... Odgovor je, da potrebujete večji instrument.

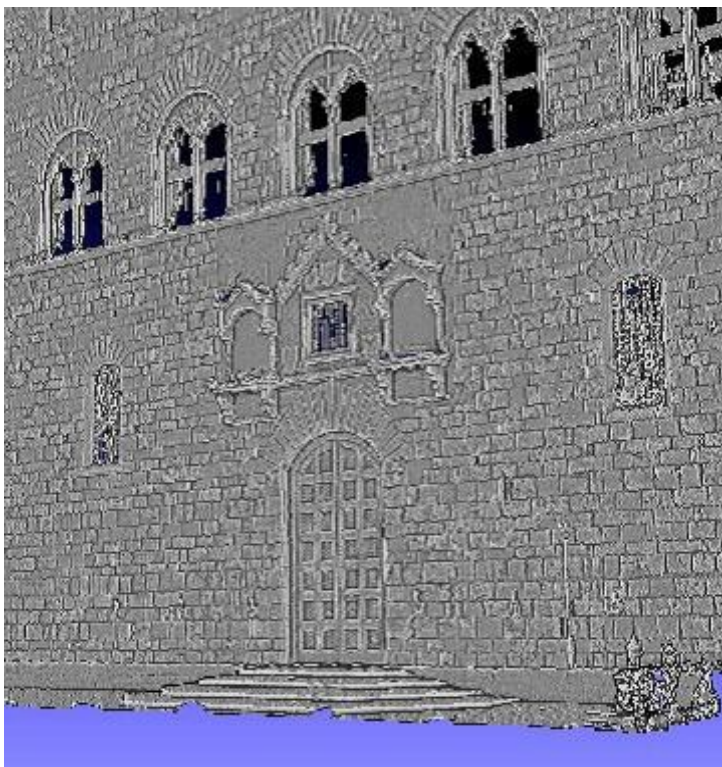
Triangulacija ne more delati na zelo velikih objektih, saj bi bilo zahtevano izjemno veliko izhodišče.

Vedno ostaja v kraljestvu svetlobnih signalov in optičnih lastnosti, uporabljajo se različne strategije.

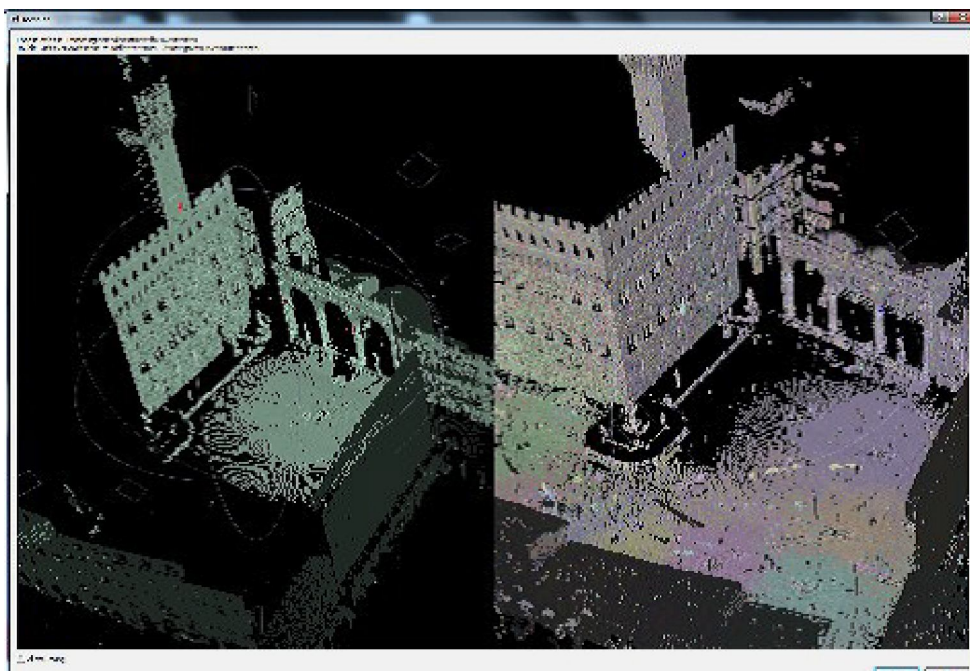
2.5.1 Čas letenja (angl. Time of Flight)

Razdalja točk vzorčenja se meri z merjenjem časa med laserskim impulzom in tipalom (senzorjem), deljeno s svetlobno hitrostjo na kvadrat.

Meritve se ponovijo na rednem omrežjem na objektu površine. Čas letenja \pm motnje (primer sliki 18 in 19).



Slika 18: Obdelava zida



Slika 19: Pogled na stavbo (del zidave viden na predhodni sliki) od daleč

Bolj napredni sistemi temeljijo tudi na interferenčnih vzorcih, ki jih proizvajajo različne valovne dolžine, izdelava naprave hitreje in bolj natančno.
Prav tako smo lahko "videli" skozi vegetacijo.

2.5.2 Naprave izven dosega

Razen, če delate z univerzo, raziskovalnim laboratorijem ali arhitekturno/inženiring podjetjem, je malo verjetno, da imate dostop do teh orodij.

Njihova visoka cena (50.000-100.000 evrov) in zahtevano znanje za uporabo kot takih, še vedno onemogočajo optičnim bralnikom dostop javnosti.

Obdelava podatkov, ki prihaja iz te naprave, je drugačna od tistega, kar vam bom pokazal. Ampak še vedno je izvedljivo v MeshLabu.

2.6 Opis vrhunskega bralnika ZScanner 800

Sledi opisan trenutno na tržišču najboljši ročni triangulacijski optični bralnik, ki ima vse prednosti kot ZScanner 700, 5-kratno visoko resolucijo.



Slika 20: ZScanner 800, vir: <http://www.zcorp.com/en/imagesets/164/show.aspx>

Primerno je za vzratno inženirstvo (angl. Reverse Engineering), projektiranje, proizvodnjo, digitalni prototip (angl. Digitalni Mockups), simulacije, 3D inšpekcijske aplikacije

Hitrost vzorčenja: 25.000 meritve na sekundo

Laser: Razred II (varno za oči)

Število kamer: 3

XY Natančnost: do 40 mikronov (do 0,0015 palca)

Ločljivost: 0,050 mm XYZ (0,0019 palca v XYZ)

Volumetrična natančnost: 20 mikrometrov \pm 0,1 l / 1000

Globina polja: 30 cm (12 palcev)

Paket programske opreme: ZScan

Tehnični podatki:

Teža: 1,25 kg (2,75 funta)

Dimenzije: 171 x 260 x 216 mm (6,75 x 10,2 x 8,5 cm)

Izvozi v formate: .DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR

Skladnost s predpisi: CE

Prenos podatkov: FireWire

Napajanje: FireWire

Več o optičnih bralnikih najdete na spletnih naslovih:

http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Scanners/ZScannerandtrade_800/spage.aspx

<http://www.zcorp.com/en/imagesets/164/show.aspx>

Dodatni viri <http://www.3dt.si/3D/3D-skener/predstavitev-3d-skeniranje.html>

2.7 Kaj ni mogoče optično prebrati?

Na žalost, mnoge različne površine se še vedno težko ali nemogoče optično preberejo, to so:

- predmeti s preveč temnimi barvami, ki absorbirajo svetlobo;
- prozorne ali prosojne površine,
- svetleče površine, ogledala;
- predmeti brez trdne podlage: dlake, krzna, perja;
- premikajoči predmeti.

2.8 Druge tehnologije

Poleg laserjev, lahko uporabimo tudi drugačno impulzno luč za merjenje geometrije. Namesto enega (ali več) laserskih linij, ima velik strukturiran vzorec. Ti optični bralniki uporabljajo načelo imenovano "strukturirana svetloba".

2.9 Strukturirana svetloba

Načelo je še zmeraj triangulacija, vendar pa so drugačni vzorci na objektu. Lahko je bolj natančna kot triangulacija laserske linije, vendar pa zahteva dodatno strojno opremo (in ima nekaj težav pri večjih objektih).

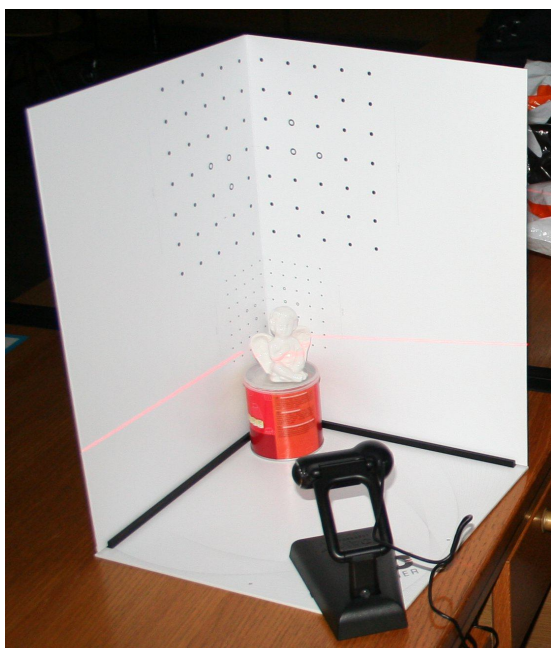
Različna podjetja ponujajo programsko opremo za nadzor nad kamero in projektorjem. Obstajajo tudi prosti/odprti projekti, ki so npr.

3 Praktično delo in uporaba

V nadaljevanju je opisana uporaba kompleta "DAVID 3D Scanner".

3.1 Postopek optičnega branja predmeta s kompletom "DAVID 3D Scanner"

1. Najprej postavimo platno in izbran objekt nanj za 3D-optično branje (slika 21).



Slika 21: Postavljeno platno z izbranim

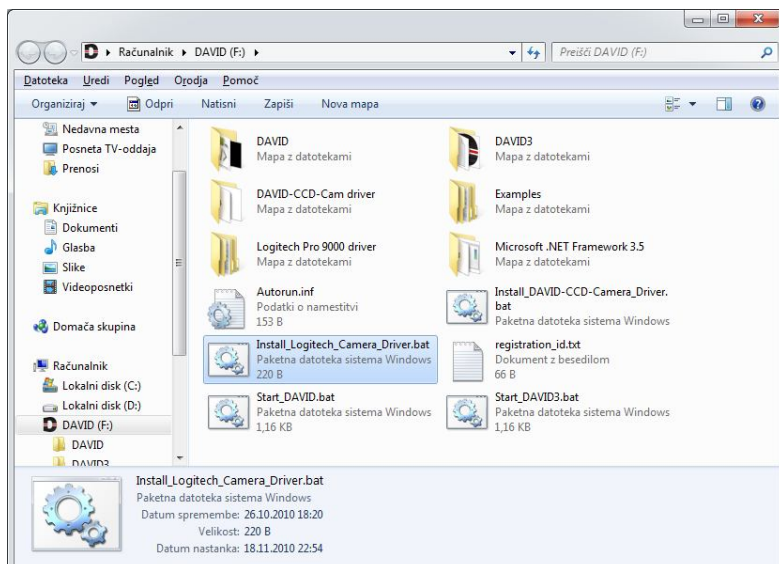
objektom, vir: lastna slika

2. V USB 2.0 priključek računalnika vstavimo USB-ključek, ki je priložen v kompletu (slika 22).



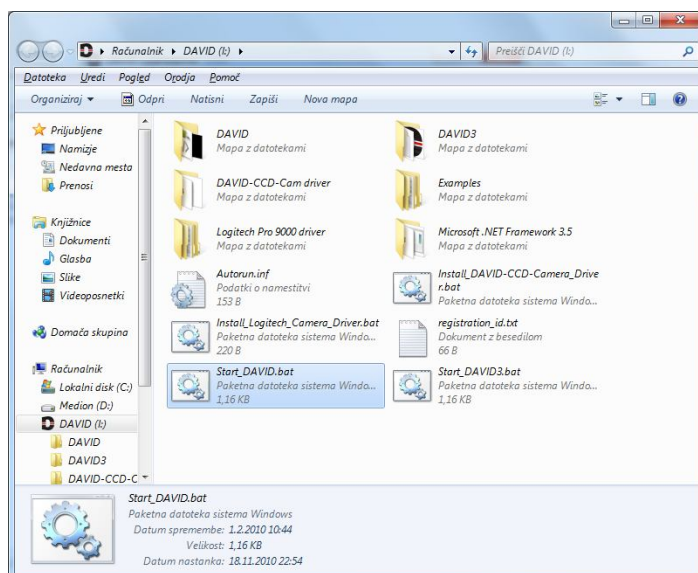
Slika 22: USB-ključek, priključen v računalnik, vir: lastna slika

3. Neposredno iz USB-ključka namestimo gonilnik za priloženo spletno kamero Logitech. Za namestitev izberemo datoteko »Install_Logitech_Camera_Driver.bat« (v primeru 32 ali 64 bitnega operacijskega sistema bo zgoraj omenjena datoteka sama izbrala določeno datoteko za namestitev – slika 23).

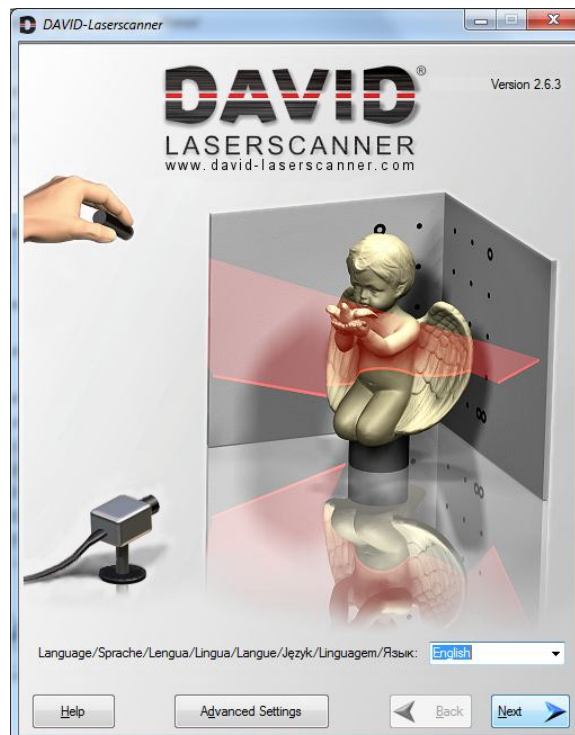


Slika 23: Izbira gonilnika za kamero, vir: lastna slika

4. Ko je gonilnik nameščen, z dvojnimi klikmi zaženemo datoteko »Start_David.bat«. Nato spodaj v desnem kotu odprtega programa izberemo jezik in kliknemo gumb »Next« (sliki 24 in 25).



Slika 25: Zagon DAVID programske opreme



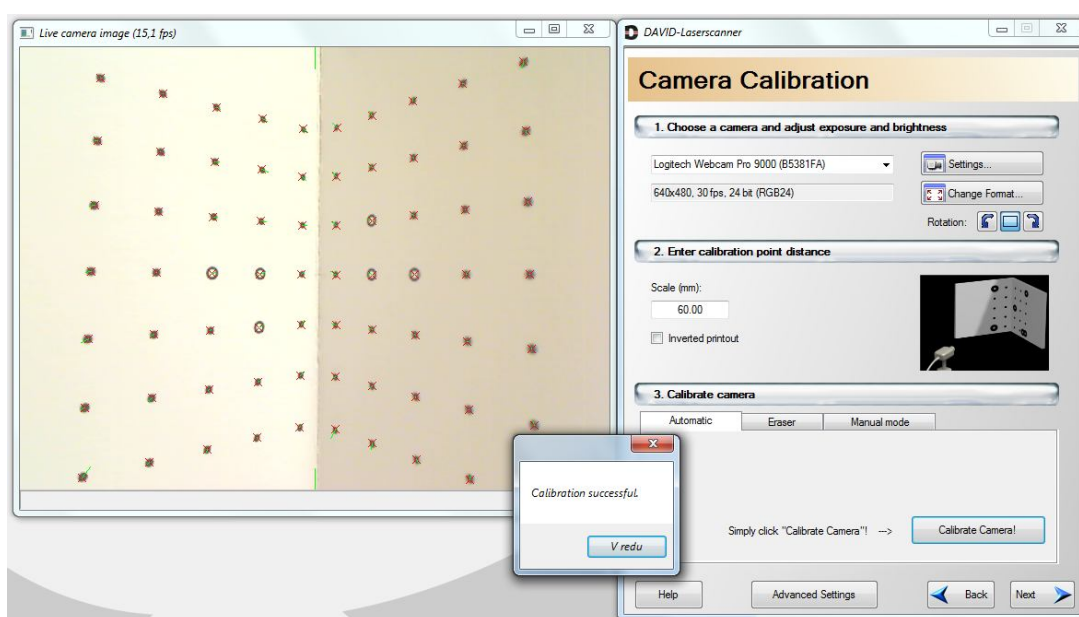
Slika 24: Izbira jezika, vir: lastna slika

5. Sedaj v prvem padajočem meniju izberemo kamero »Logitech Webcam Pro 9000(B5381FA)«

in s klikom na gumb 'Spremenite format' oz. angl. »Change Format...« izberemo želeno resolucijo kamere. S klikom na gumb »Settings...« lahko še nastavimo kontrast in ostrino kamere (slika 26).

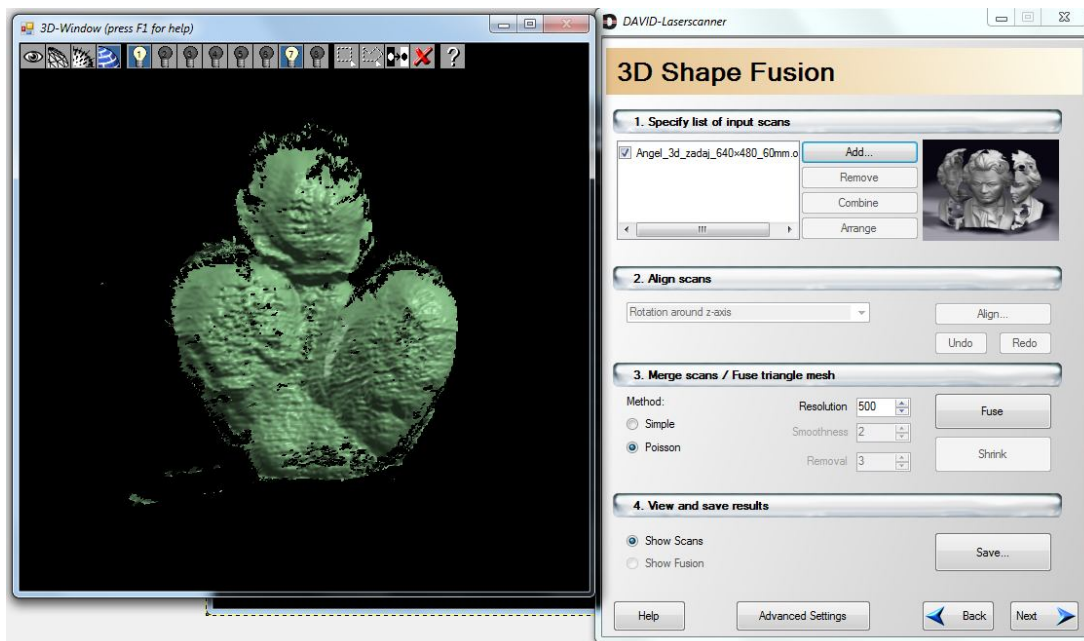
V vnosnem polju v 'Skaliranje' oz. angl. »Scale« vpišemo razdaljo med pikami v milimetrih, ki so na platnu – odvisno, v katerem polju bomo 3D optično prebrali objekt.

Na koncu še prilagodimo kamero pikam, kot vidimo spodaj na sliki, in kliknemo gumb 'Kalibriraj kamero' oz. angl. »Calibrate Camera!«. Če se nam vrne okno z napisom 'Kalibracija neuspešna' oz. angl. »Calibration Failed!«, pomeni, da moramo še enkrat nastaviti kamero. V primeru izpisa 'Kalibracija uspešna' oz. angl. »Calibration Successful.« pa lahko kliknemo gumb Naprej oz. angl. »Next«.



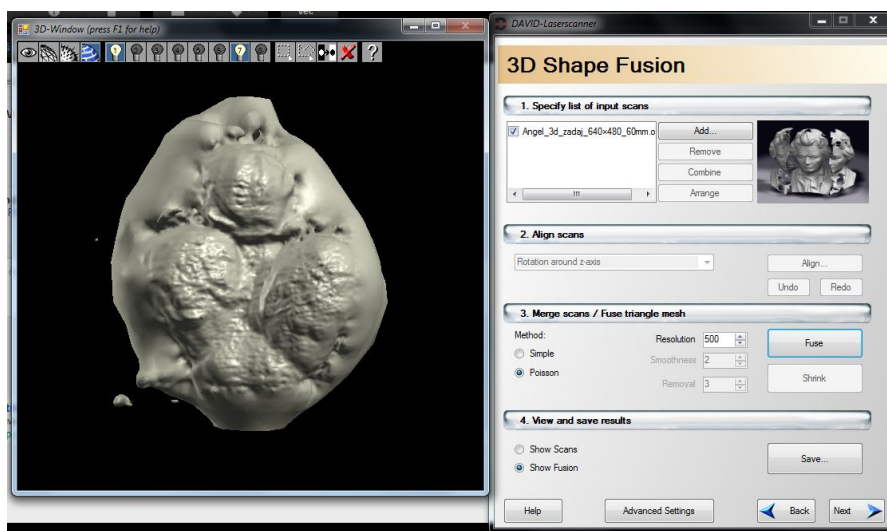
Slika 26: Nastavitve in kalibracija kamere, vir: lastna slika

6. Sedaj stisnemo gumb »Start« in z laserjem potujemo skozi objekt in se nam bo takoj izrisalo na zaslonu (slika 27). Ko smo končali z branjem, lahko za pregled stisnemo gumb »Show 3D« in nato še shranimo objekt s klikom na gumb »Save«. Nato kliknemo gumb »Next« in preidemo v okno »Spreminjanje oblike«.



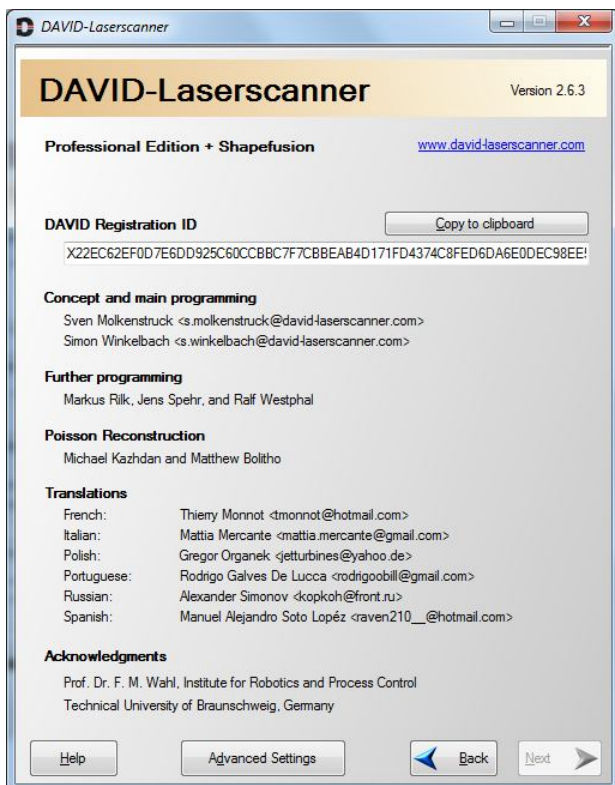
Slika 27: Pregled in shranjevanje skeniranega objekta, vir: lastna slika

7. S klikom na gumb »Add« izberemo prej shranjen objekt in nato kliknemo gumb »Fuse«. Program bo sam spremenil obliko prebranega objekta. To lahko tudi shranimo s klikom na gumb »Save«. Nato kliknemo »Next« (slika 28).



Slika 28: Sprememba oblike objekta, vir: lastna slika

8. In tako! Prišli smo do konca (slika 29), sedaj končamo z urejanjem. Za 3D-urejanje lahko uporabimo programa »Blender« ali pa »MeshLab«.



Slika 29: Končano branje objekta, vir: lastna slika

3.2 Priprava modelov in obdelava

MeshLab sistem za obdelavo mesh podatkov za uporabniško podprto urejanje, čiščenje, filtriranje in upravljanja velikih nestrukturiranih 3D-trikotniških mrež t. i. 3D Mesh (tipično 3D optično prebranih meshov). Sistem temelji na nalogah za obdelavo Meshov na osnovi knjižnice GPL VCG (vcg.sf.net).

Program MeshLab se da dobiti na spletnem naslovu: <http://meshlab.sourceforge.net/>.

Po revoluciji v 3D-ustvarjanju so širši javnosti postala ustrezna orodja na razpolago.

Nizka cena D.I.Y. optičnih bralnikov in 3D-orodja so na uporabo vsakemu.

Poznavanje, kako optični bralniki delujejo in kako jih uporabljati, vam lahko pomaga pri hobiju ali poklicu.

Vnašanje predmetov iz resničnega sveta v programe je težko.

3D-optično branje podatkov je zelo zapleteno, ne konstruirano in topološko nečisto: Blender sovraži takšne probleme.

Znanje o obdelavi in o orodjih nam na voljo nam bodo pomagali premagati ovire.

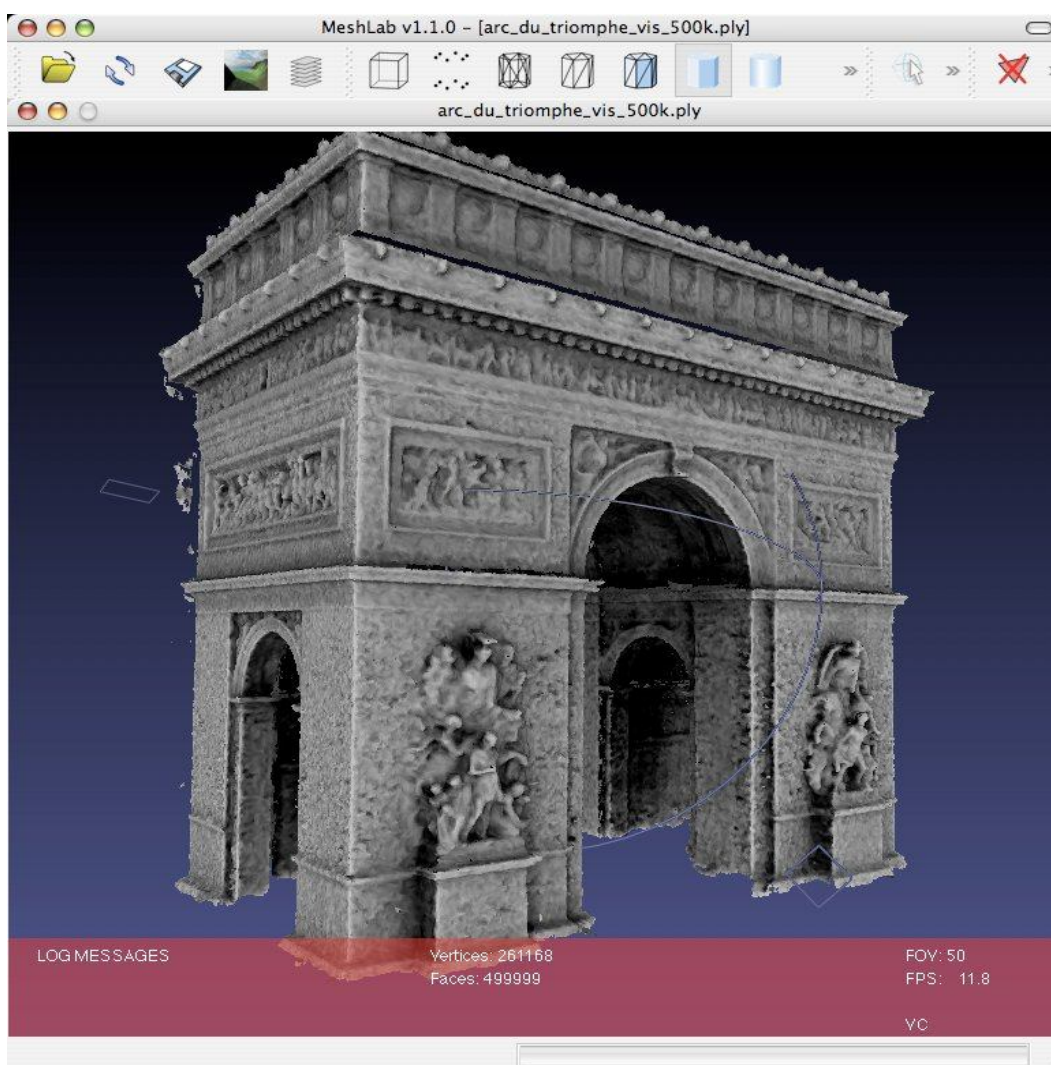
3.2.1 Obdelava v programu MeshLabu

Izvajanje teh funkcij znotraj Blenderja je težko. V ta namen bomo uporabili program imenovan MeshLab.

MeshLab je napreden 3D-oblikovalski program za obdelavo sistema, ki je znan v več tehničnih področjih kot 3D-razvoj in obdelavo podatkov.

Kot brezplačno programsko opremo ga lahko prenesemo iz interneta in z njim iz večih optičnih branj nekega predmeta sestavimo celotni 3D-model v visoki resoluciji.

Razvoj programa se je začel na univerzi v Pisi, Italija leta 2005. Kot sem že omenil, je to brezplačna programska oprema. MeshLab je usmerjen v upravljanje in obdelovanje nestrukturiranih velikih modelov in ponuja nabor orodij za urejanje, čiščenje, zdravljenje, inšpekcije in pretvorbo te vrste modelov. MeshLab se lahko uporablja v različnih akademskih in raziskovalnih kontekstih, v mikrobiologiji, kulturni dediščini, površinski rekonstrukciji, paleontologiji in proizvodnji namiznih računalnikov.



Slika 30: Groba obdelava, vidne so pomanjkljivosti, Vir: <http://meshlab.sourceforge.net/>

Video vodiči za učenje uporabe programa MeshLaba so na razpolago na spletnem naslovu <http://www.youtube.com/user/MrPMeshLabTutorials>.

3.3 3D-optično prebrani realni predmeti znotraj Blenderja

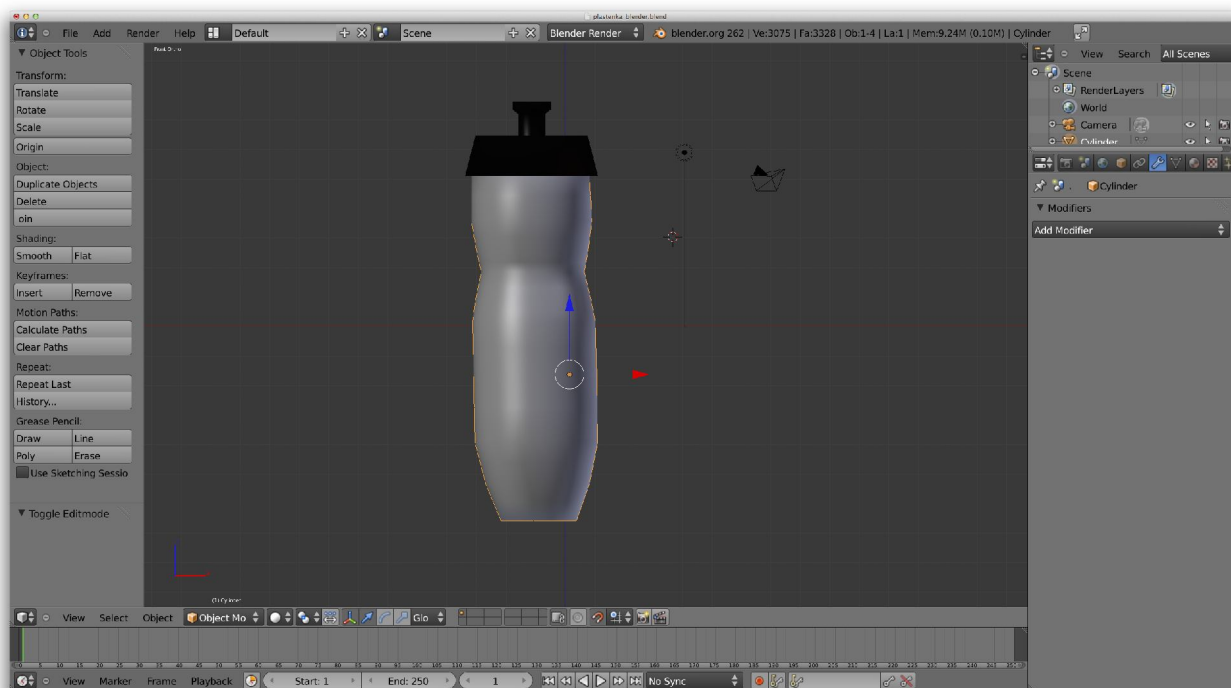
Za poskus smo slikali platenko (slika 2) 3D-optično prebrali ter jo modelirali z Blenderjem.



Slika 31: Slika platenke v stranskem in pogledu od zgoraj; foto: Mitja Miklav

Platenko je modeliral Tomaž Pačnik z namenom, da lahko primerjamo oglišča in trikotniško mrežo tega modela s podatki, ki smo jih 3D-optično prebrali.

Osnovni model platenke brez vseh podrobnosti je bilo modelirano v verziji Blender 2.62 (slika 32).



Slika 32: Modelirana plastenka v Blenderju, avtor Tomaž Pačnik

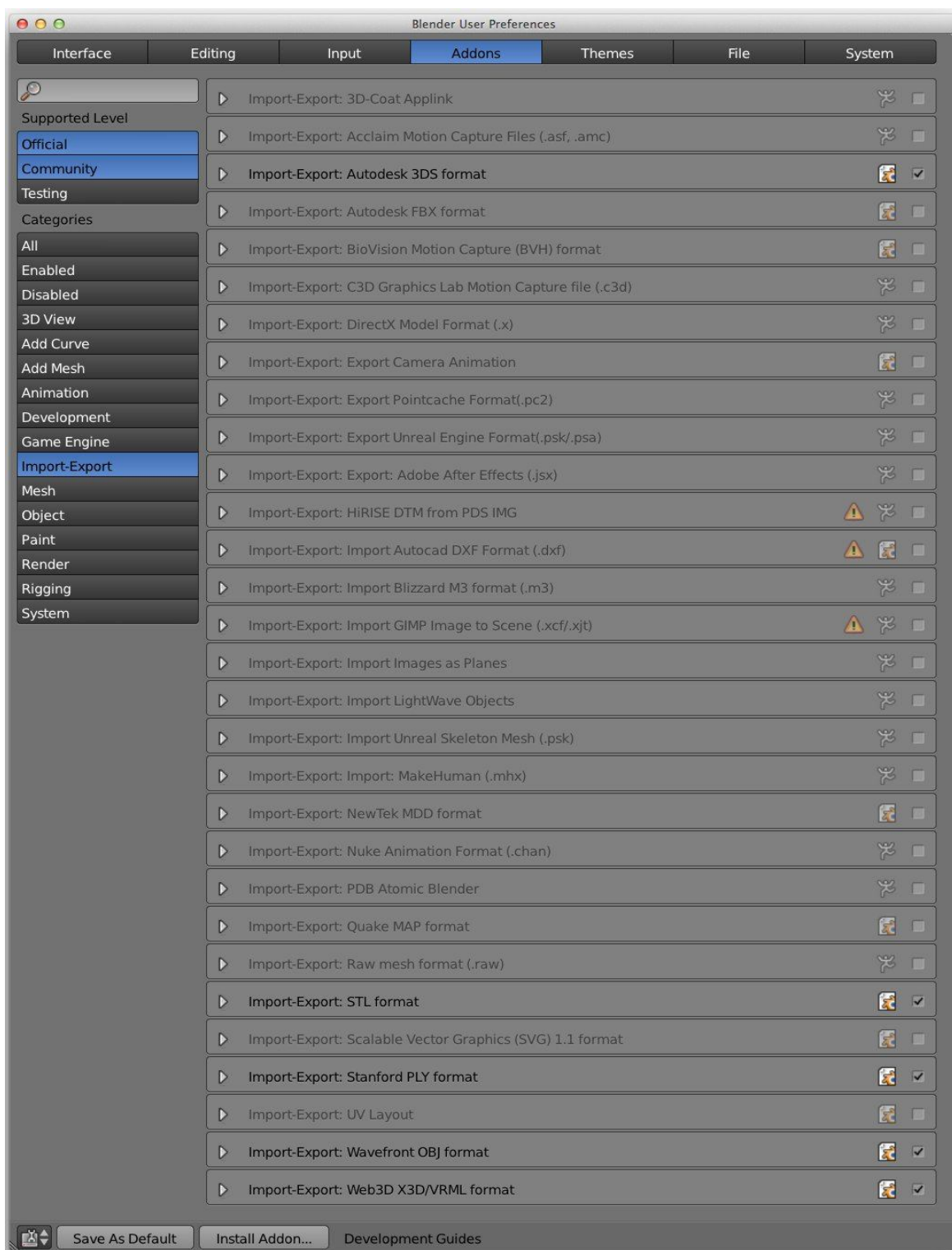
V Blenderju smo izvozili to datoteko v petih formatih (dae, obj, ply, stl in x3d), ki jih pozna tudi MeshLab (slika33). Te smo dobili iz naslednjega seznama uvoza, ki sledi v nadaljevanju.

MeshLab pozna naslednje uvoze: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN.

MeshLab pozna naslednje izvoze: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, VRML, DXF, GTS, U3D, IDTF, X3D.

Kot je že bilo omenjeno, je obdelava podatkov optično prebranih oblakov točk znotraj Blenderja precej nepraktična in neuporabna.

Rešitev je obdelava zunaj Blenderja v specializiranih orodjih za ustvarjanje ter obdelavo 3D- modelov, dokler niso pripravljene za upodabljanje, kot je npr. MeshLab.



Slika 33: Izbrane izvožno/uvozni razširitve znotraj Blenderja s kljukico na koncu vrstice, lastna slika

4 USTVARJANJE MODELA IZ 3D-OPTIČNO PREBRANIH PODATKOV

Skoraj vse naprave za optično branje imajo t. i. 'globinsko mapo' (delni zemljevid ali delno optično branje) za vsako vzorčno točko, za katero je podana neka vrednost. Zato je za serijo točk izračunan prostor, zahvaljujoč navadni strukturi vzorcev je lahko zgrajena površina predmeta.

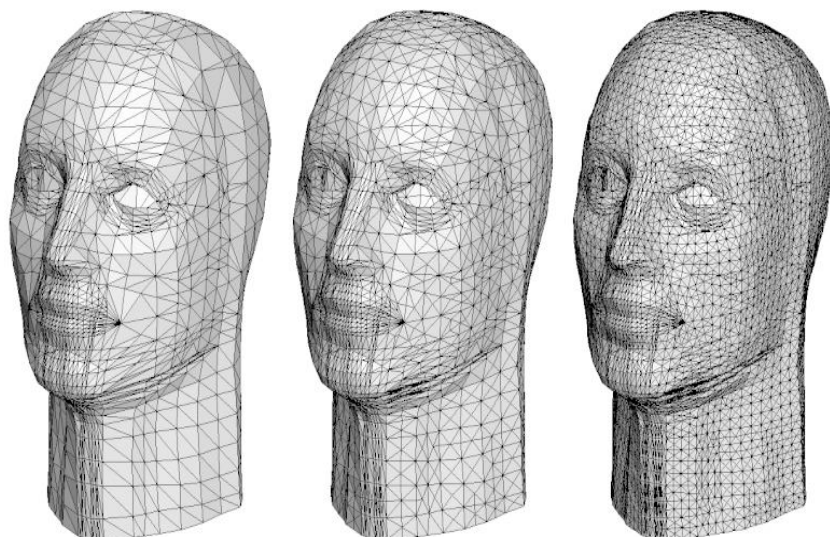
Ta del predstavitve se nanaša predvsem na del od množice točk do končnega izdelka (slika 34).

Po teoriji bi morali za tridimenzionalen pogled poslikati objekt iz več zornih kotov, da bi lahko zajeli celotno vidno površino objekta.

Ta naloga je morda težja, kot se zdi, saj zahteva malo izkušenj za dobro optično branje površine.

Podobno je fotografiranju; z vajo postaneš boljši.

Več kot je zajetih podatkov, dlje časa bo trajalo procesiranje.



Slika 34: Tukaj vidimo dober prikaz grobe, srednje in fine trikotniške mreže predmeta

Vir: <http://urbanhonking.com/ideasfordozens/>

Poskušajmo to narediti bolj preprosto in predvsem navadno.

Najprej pokrijte glavno obliko objekta, za kar uporabite navadni vzorec. To bo ustvarilo dobro začetno osnovo.

Ko to počnete, spremljajte težje ali slabše dostopne predele in jih pokrijte na koncu.

Osredotočite se na to, kar je za vas resnično potrebno.

Ni pomembno, kako močno se trudite, nemogoče je pokriti vse dele predmeta.

Prehajamo v fazo sestavljanja modela.

3D-optično branje ni avtomatski proces kot 2D-optično branje. Grobi podatki morajo biti procesirani v določenem redu, da bi bili dovolj uporabni. To je postopek z več koraki, ki ga poznamo pod imenom '*cevovod optičnega branja*, angl. '*SCANNING PIPELINE*'.

Pojavijo se tudi različni problemi.

Vsako optično branje ima svoj referenčni prostor.

Potrebno je združiti vse dele optičnega branja (objekt se optično bere z več posnetki) v en skupni prostor, kar naredi posnetke, združene na isti lokaciji. Vsak del površine je pokrit z več posnetki.

Kar mi potrebujemo, je pot za združitev različnih vzorcev v enotno, triangulirano površino.

Ta cevovod pokriva večino standardnih ohišij (tistih, ki sem jih prej opisal). Procesiranje cevovoda se malo spreminja glede na uporabljeno tehnologijo, podatkovne liste in potrebovani rezultat.

V dodatnem materialu najdete tudi navodila po korakih za poravnavo in združevanje v MeshLabu (<http://vcg.isti.cnr.it/~callieri/blendercourse.html>, 2. 2. 2012.).

Prišli smo do konca sestavljanja. Pridobimo več posnetkov, ki jih potem združimo v MeshLabu.

4.1 Opis poravnave v MeshLabu

Vsak del modela ima svoj koordinatni sistem, nima nobenega prostorskega razmerja med različnimi optičnimi branji, kot bi bili pridobljeni iz različnih pozicij.

Cilj: sestaviti vse dele v skupen referenčni sistem (kot na primer 3D-sestavljanka).

Pozor, potrebno je veliko ročnih popravkov!

Dva koraka:

- **Groba poravnava:** uporabnik ročno pozicionira različne kose v bolj ali manj pravilno lego.
- **Fina poravnava:** računalnik avtomatsko perfekcionira poravnavo z uporabo deljenega prostora med območnimi mapami. Poravnava med optičnimi branji je obvezna.

4.2 Groba poravnava v MeshLabu

1. korak: Potrebno je imeti prekrivajoč prostor s skupno lastnostjo.

Pogosta metoda: izbira deljenih referenčnih točk.

Modeli so grobo postavljeni glede na izbrane pare točk. Nepopolna poravnava, ampak dovolj za začetek druge faze.

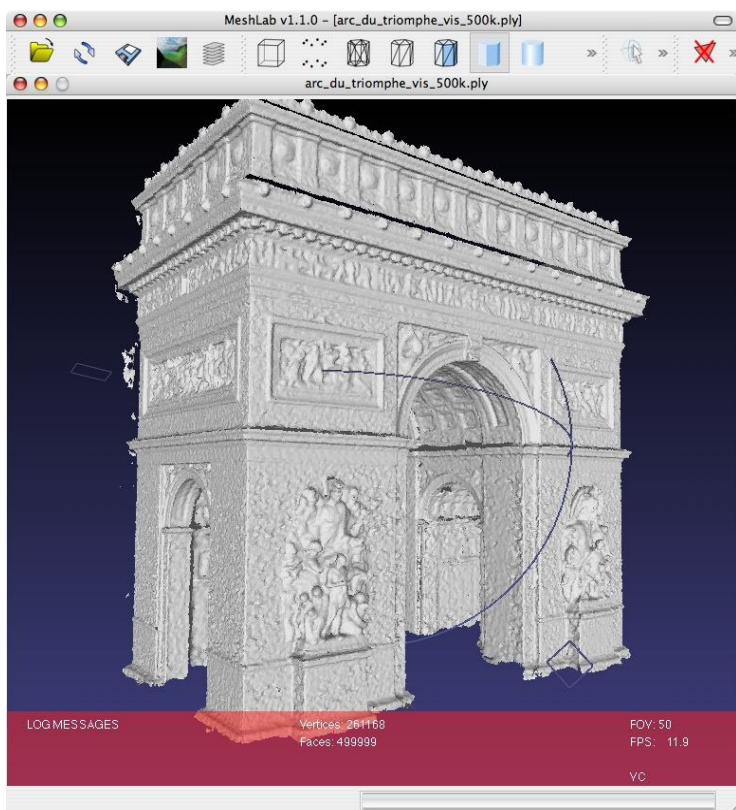
V drugi fazi to poravnavo izboljšamo.

V postopku fine poravnave iz modela izbrišemo oziroma popravimo določene napake.

Ta korak se izvaja povsem avtomatsko. Območne mape se premikajo, dokler niso deli popolnoma zlepljeni skupaj in dobimo enotno površino modela.

Temu sledi poravnava v MeshLabu (slika 35).

V MeshLabu obstajajo polovična ali polna avtomatska poravnava, ki močno olajša delo. Poravnava zahteva čas in malo spretnosti, vendar jo lahko dobro obvladate na manjših projektih.



Slika 35: Avtomatska obdelava v MeshLab-u, vir:
<http://www.shapeways.com/blog/uploads/SnapMeshLab.AO1.jpg>

4.3 Ustvarjanje skupne površine v MeshLabu

Ko so generirane, očiščene in usklajene vse mape, je čas za ustvarjanje ene skupne površine.

Za pokritje celotne površine potrebujemo vse mape, ampak več map pokrije isto območje s sekajočimi in prekrivajočimi trikotniki, kar seveda ni dobro. Problem:

Več map pokrije isto območje, vprašanje je, katera je prava?

Sedaj sledi volumetrično združevanje.

Prenos vseh podatkov v volumetrično mrežo (velikost mreže je ločljivost oz. 'resolucija' končnega modela).

Vsaka celica vsebuje podatke in najde površino, ki se najbolj ujema s podatki. V vsaki celici trianguliramo približno površino tako, da so celice skladne. Podatki bodo prevzorčeni in integrirani, zmanjša se šum in ustvari se enotna triangulirana površina.

4.4 Vrste združevanja oblakov točk

Obstaja več vrst združevanja:

VCG: Združevalni filter uporablja volumetrično mrežo in t. i. 'soglasje' računalnika z uporabo lokalnega distančnega polja (slika 36).

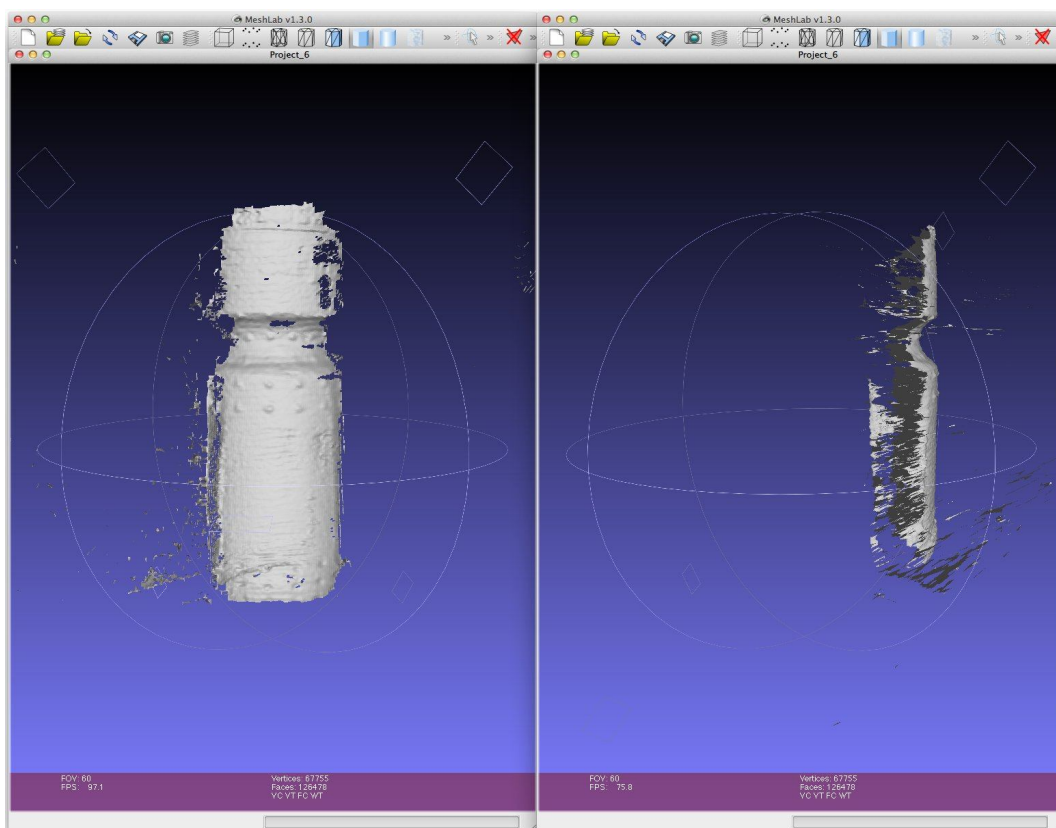
Ustvari triangulirano površino z ostrimi podrobnostmi brez zapiranja večjih lukenj v podatkih. Sedaj deluje tudi na večjih setih (serijah) podatkov zaradi zunaj središčnega upravljanja.

Implicitno združevanje:

- Uporaba podatkov za grajenje matematične površine približka.
- Trianguliranje matematične površine z uporabo mozaika ali podobnega volumetričnim metodam (računalniška triangulacija v vsaki celici).
- Uporaba vmesnega matematičnega/analitičnega zastopa pomaga ustvariti bolj gladko površino in popravi probleme v vnesenih podatkih (kot zapiranje lukenj na modelu).

Poisson združevanje: - Poisson združevanje uporablja lokacije in normale točke za določitev malo prostorskih nadaljevalnih lastnosti.

- Rezultat je triangulirana površina **brez** lukenj in zelo **gladka**. Obstaja možnost napake, ki javi, da je računalnik brez dovolj spomina za večje sete podatkov (ali kadar je rekonstrukcijska ločljivost previsoka).



Slika 36: Primer 3D-optično prebranih podatkov plastenke AquaValis

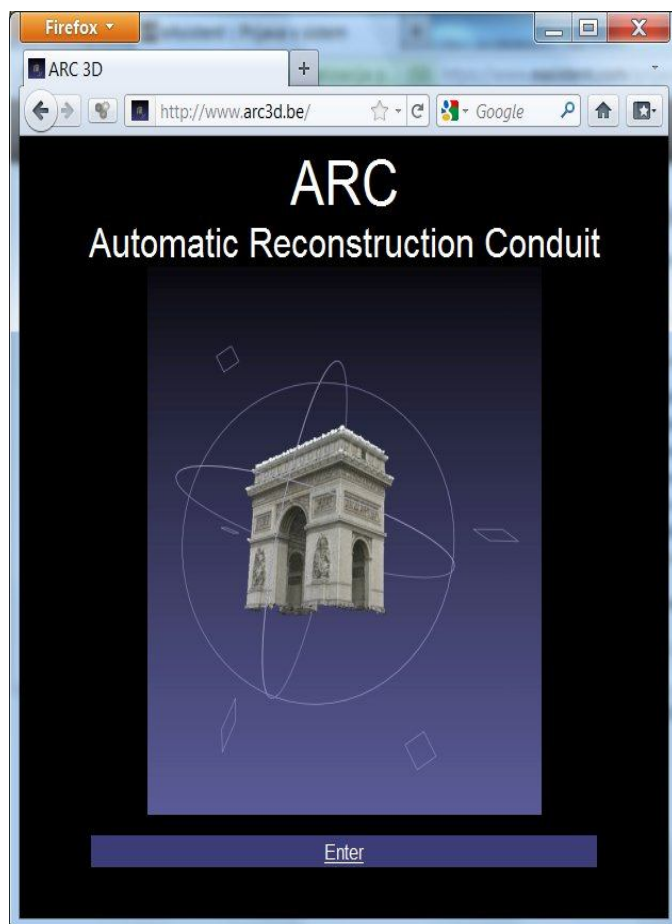
4.5 Arc3D

Izmed vseh naštetih možnosti obstaja tudi spletna storitev Arc3D (logo na sliki 8), s pomočjo katere je možno naložiti serijo slik nekega objekta in s pomočjo te storitve dobiti 3D-model.

Sledi opis, kaj je treba pri uporabi te storitve postoriti:

- Izberite nekaj map s 3D-prebranimi podatki in jih ne uporabite vseh, ustavilo bo sistem.
- Izбира map naj bo iz različnih smeri, poskušajte izbrati tiste, ki se najbolj ujemajo (z več modrega območja v predogledni angl. 'thumbnail' kvaliteti).
- Shranite jih kot posamezne datoteke, če je potrebno, jih očistite.
- Naložite jih v MeshLab in uporabite Poisson način združevanja.
- Kadar Arc3D ne more generirati celotnega modela, je potrebno začeti naprej od grobega

- ujemanja podatkov, kar je v bistvu območna mapa za vsak ujemajoč posnetek.
- Situacija je podobna normalnemu optičnem branju, razlika je v poravnavi območnih map.



Slika 37: Uradni logotip Automatic Reconstruction Conduit (ARC) 3D, vir: arc3d.be

Več o tej storitvi je na voljo na njihovi spletni strani:
<http://homes.esat.kuleuven.be/~visit3d/webservice/v2/index.php>.

Za konec pa naj omenim še Microsoft Kinect:

3D-optično branje s Kinectom je bolj težavno.

Najprej je potrebno posneti datoteke optičnega branja. Filter za MeshLab je še vedno v nedokončani fazi in še vedno nismo prepričani, če bo možna prosta distribucija (težave s knjižnicami).

Obstajajo tudi druga orodja (kot 3dscanner za Mac OS), ki lahko to naredijo.

Potem pa samo sledite običajnemu postopku: čiščenje – poravnava – združevanje – čiščenje.

Optična branja so po navadi polna šuma (in kvantizirana), bolje je zgladiti (urediti) podatke (poskusite 'globinski gladki' filter).

Ne pričakujte osupljivih rezultatov!!

Raziskovalci so razvili orodja, ki lahko naredijo izjemno 3D-podatkovno razvijanje iz Kinecta, ampak so še vedno v fazi prototipa in ti niso na voljo javnosti.

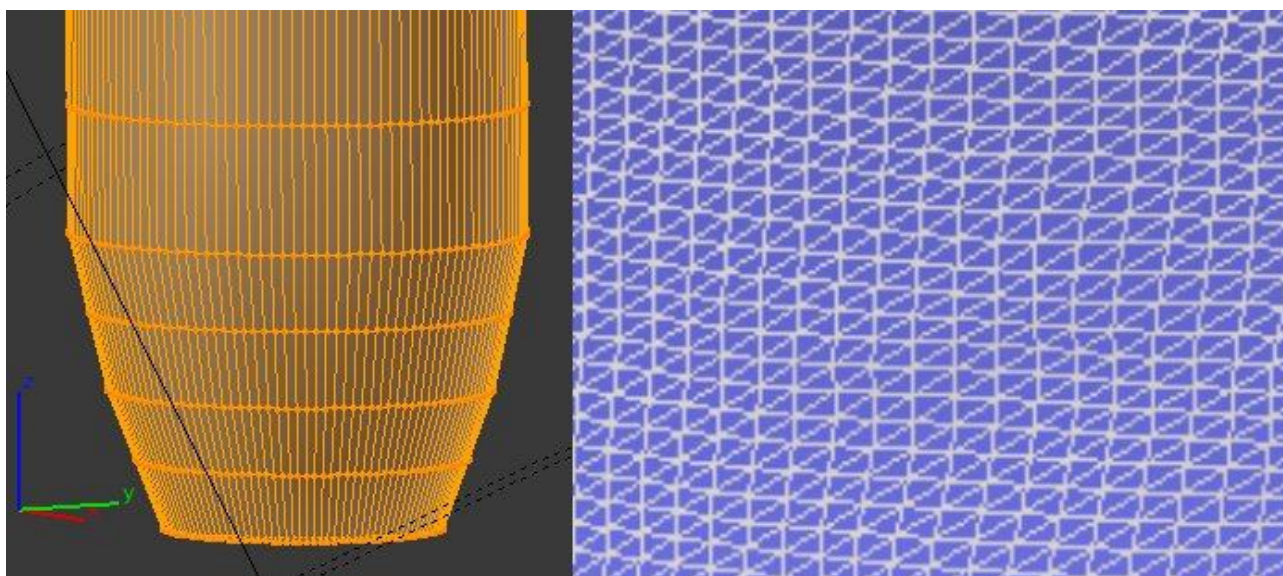
5 RAZPRAVA

Na skrajšan način sledi predstavitev kompleta DAVID 3D-Laser SCANNER, preprosti 3D-optični bralnik in pripadajoči program, s katerim lahko z laserskim žarkom optično preberemo objekt in ga v pripadnem programu sestavimo v enotno telo ali z uporabo odprto kodnega programa Blender ali MeshLab (z njim lahko ustvarjamo in obdelujemo 3D-modele).

S programom DAVID LaserSCANNER je veliko lažje narediti 3D-model iz objekta, ki ga optično preberemo.

Ko objekt iz večih zornih kotov preberemo, ga lahko obdelamo v MeshLabu ali Blenderju, ampak naše ugotovitve kažejo, da je lažje oblikovati v MeshLabu, saj je v Blenderju postopek zahtevnejši in dolgotrajen. S tem smo ovrgli eno od hipotez, ki pravi, da je lažje delati v Blenderju kot v MeshLabu.

Iz primerjave med izvoznimi podatki (tabela 1) je razvidno, da je najmanjša datoteka tipa .obj in x3d pri vseh razen končnici ply, da je enako število vozlišč 3010, število trikotnikov je skoraj enkrat večje pri vseh formatih glede na originalno Blender datoteko. Vzrok za to je, da so v Blenderju stranske ploskve zgrajene iz štirikotnikov, pri ostalih formatih pa so v modelih le trikotniki (slika 38).

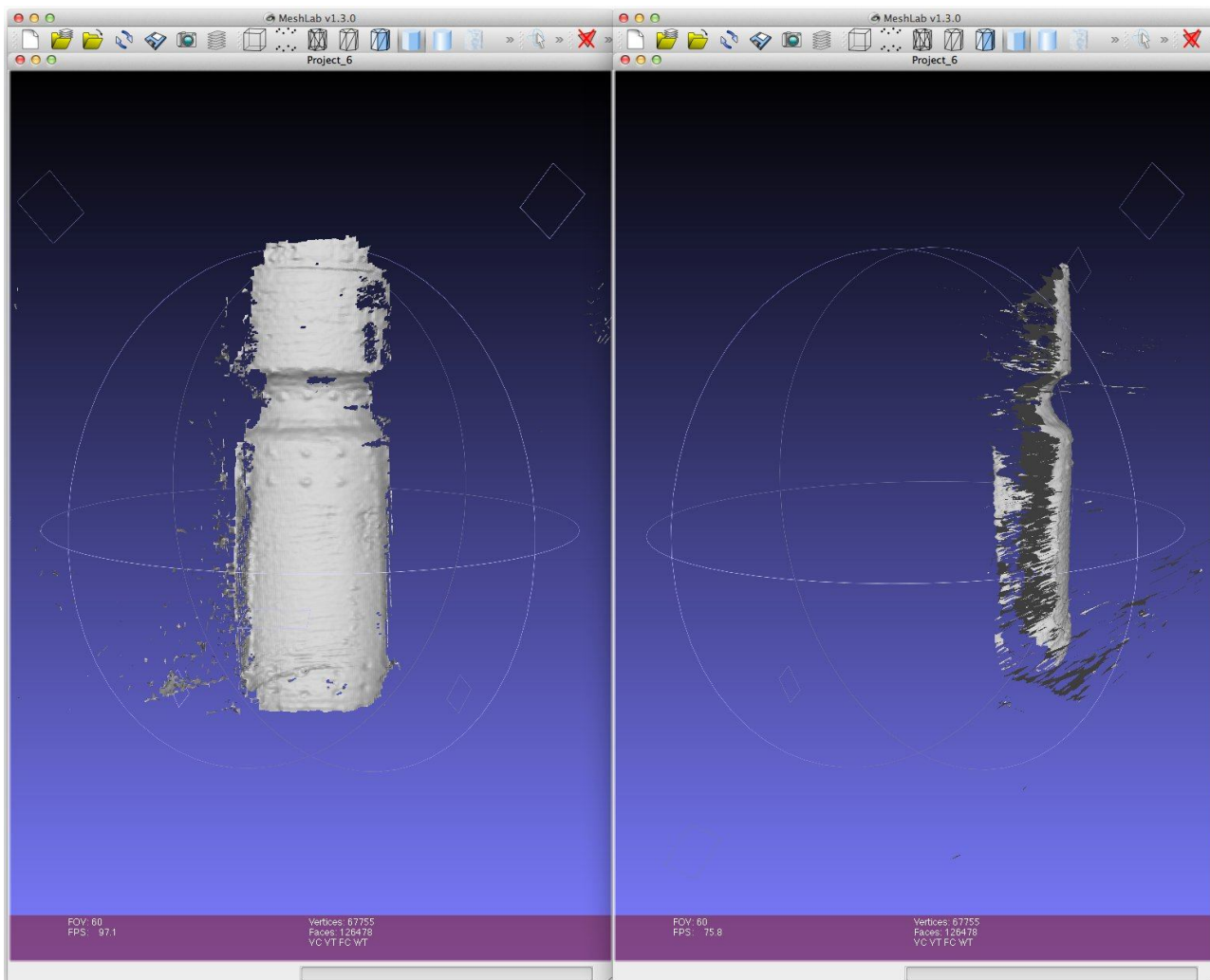


Slika 38: Primerjava med zgradbo modela v blenderju (leva) in trikotniki v ostalih oblikah zapisa

Tabela 1: Primerjava različnih velikosti datotek, končnic, vozlišč, ploskev in točk

Vrta končnice	Velikost datoteke	Št. vozlišč	Št. ploskev	Opombe
blend	645 kB	3010	3264	Originalna datoteka modelirane platenke
dae	318 kB	3011	5952	
obj	157 kB	3011	5952	Najmanjša datoteka
ply	201 kB	2562	5120	Zmanjšano število vozlišč
stl	916 kB	3011	5952	Potrebno je označiti potrditveno polje pri izvozu ASCII
x3d	156 kB	3011	5952	

Če primerjamo to plastenko s tistim delom, ki smo jih 3D-optično prebrali (slika 39), je pri niti ne polovičnem modelu vsebovanih 67755 točk in 126478 ploskev. Kar je več vozlišč oz. točk in ploskev, kot je pri Blender modelu.



Slika 39: Primer 3D-optično prebranih podatkov plastenke AquaValis

Ugotovili smo, da obstajata dve vrsti 3D-optičnih bralnikov, in sicer časovni in triangulacijski. Časovni se uporablja na daljšo razdaljo, torej za velike predmete, kot so stavbe, kipi ... vendar ni tako natančen. Triangulacijski postopek je primeren za majhne razdalje, torej 3 do 4m, in je zelo natančen, vendar oba tako časovni kot triangulacijski imata prednosti in slabosti.

V vmesnem času od nakupa kompleta v juniju 2011 se je program spremenil iz verzije 2.63 v trenutno zadnjo aktualo verzijo DAVID Laserscanner Pro Edition 3.3. Žal to verzijo nismo mogli uporabiti zaradi finančnih omejitev, ker stane posodobitev iz verzije 2.x na verzijo 3.x, 129,00 EUR in še je potrebno dodati stroške pošiljanja.

Od programske verzije 3.0 so uvedli novo funkcijo optičnega branja s strukturirano svetlobo (angl. Structured Light -SL).

Nova funkcija vod verzije 3.0 omogoča hitrejše in lažje optično branje. Za to metodo lahko

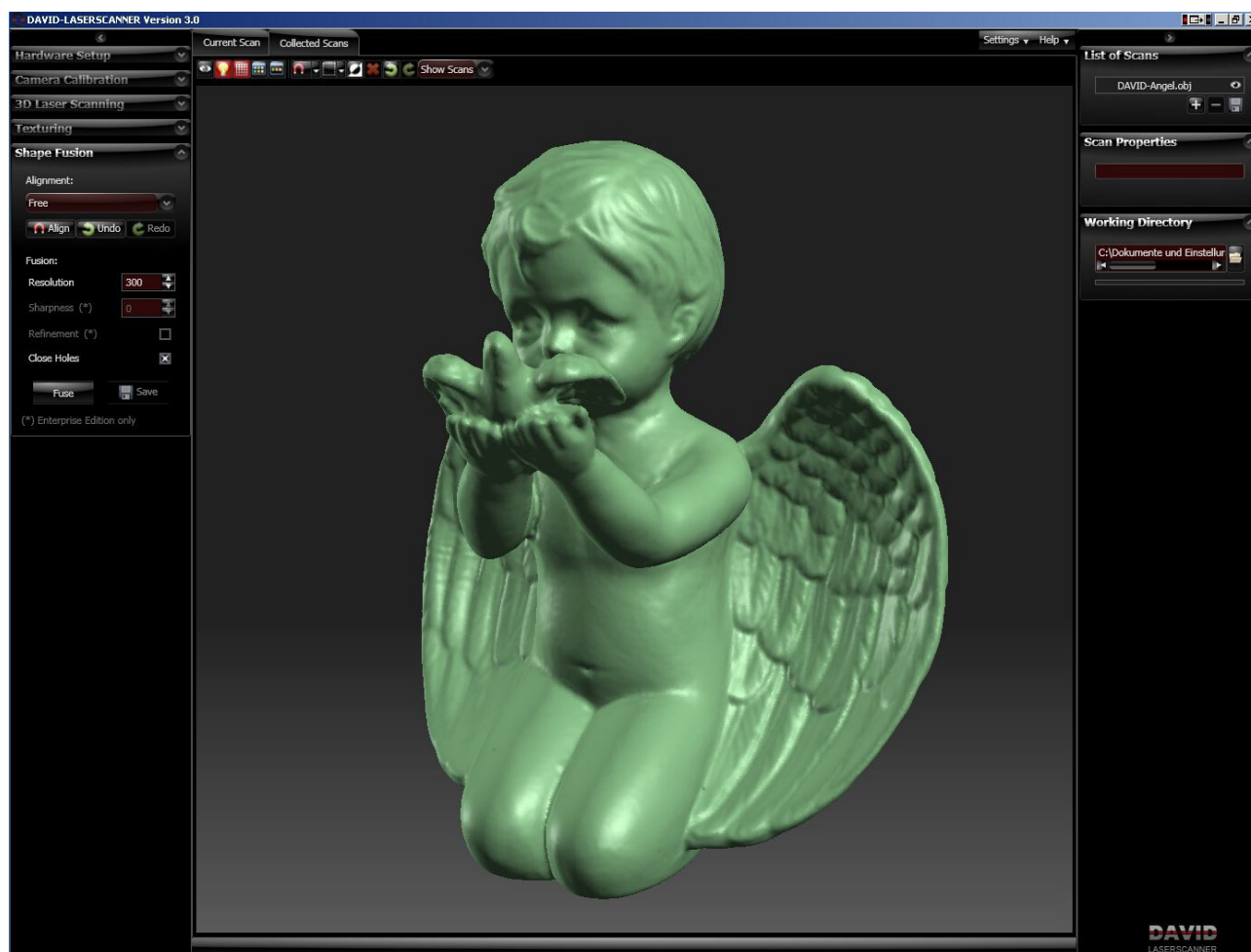
uporabite standardni video projektor namesto linijskega laserja.
Kliknite na gumb "Start" – počakajte nekaj sekund - na zaslonu dobimo 3D-rezultat!

Prednosti uporabe pri primerjavi med SL in laserskim optičnim branjem:

- + Optično branje brez kalibracijskih plošč v ozadju!
- + Veliko hitrejšje je optično branje.
- + Z enim klikom izvedemo optično branje.
- + Brez gibljivih delov / ni vpliva ročnega tremorja na sam potek optičnega branja.

Slabosti uporabe v primerjavi med SL in laserskim optičnim branjem:

- Projektorji so še vedno dražji od laserjev.
- Soba mora biti temnejša, kot je to potrebno za lasersko optično branje.
- Ni primeren za 3D-optično branje zelo majhnih predmetov.



Slika 40: Uporabniški vmesnik nove verzije programa 'DAVID 3D Scanner' 3.0, vir: <http://www.david-laserscanner.com>, 1. 3. 2012

5.1 Nasveti za boljše 3D-optično branje predmetov

Pri 3D-optičnim prebranju smo opazili, da tanjši laserski žarek in okrog 30 % močna svetloba (po navadi je potrebno okna deloma zasenčiti) zadostujeta za izredno kvalitetne slike za nadaljnjo obdelavo v programu LabMesh.

Če v stopinjah (npr. 30° levo ali desno) obračamo laserski žarek, se bodo črte na optično prebranem objektu zamaknile v zgoraj omenjeno pozicijo.

Za 3D-optično branje objektov potrebujemo plato, na katerem so črni krogci, katere kamera zazna in jih kalibrira.

Za majhne objekte potrebujemo mrežo iz točk, ki so na razdalji 30 mm, za srednje velike predmete je razdalja med točkami 60 mm, za velike pa 120 mm ali pa še dodatno platno, veliko 240 mm.

Za dobro resolucijo je potrebno nastaviti tudi resolucijo kamere, ločljivosti pa so od 640×480 do 1600×1290 (odvisno od modela kamere, lahko je tudi HD). Pri nastavljeni večji ločljivosti dobimo več podrobnosti oz. oblak točk, ki ima veliko več podatkov, kot ga dobimo pri nastavljeni manjši ločljivosti.

Okolje mora biti mirno in brez tresljajev, karkoli bi zamaknilo kamero, bi se kalibracija preklicala in bi zato objekt narobe optično prebral.

Na naslednji sliki vidimo optično branje lutke, ki je postavljena na višjem podstavku (nosilec od DVD-jev), saj so za njo na platnu velike pike. Laserski žarek poteka od levega do desnega roba in ga zato kamera bolje zazna.



Slika 41: Primer 3D-optičnega branja lutke, vir: Talltreelabs.org

6 ZAKLJUČEK

Lasersko optično branje postaja vse bolj uporabno in pogosto celo nenadomestljivo orodje za mersko snemanje različnih objektov naravne ali kulturne dediščine ter naravnega ali grajenega okolja. Bodisi da gre za obsežno arheološko najdišče ali le za posamičen predmet; če želimo izmeriti lastnosti atmosfere nad nami ali izmeriti topografijo morskega dna, je za hiter, celovit in natančen posnetek dejanskega stanja priporočljiva uporaba laserskega optičnega branja. V vsakdanjem življenju to postaja vedno bolj zaželeno, vsaj kar se uporabnosti tiče. Mogoče ne bo dolgo, ko bomo v prihodnosti imeli tridimenzionalne tiskalnike, ki nam bodo natisnili vse, kar bomo potrebovali (odvisno od trenutne tehnologije, ki je v uporabi so 3D natisjeni predmeti iz keramike ali plastike). Od preprostih bralnikov pa do današnjih visokokakovostnih 3D-tiskalnikov pa pot ni tako dolga, vendar je tudi cena in funkcionalnost izdelka pomembna. Trenutna tehnologija 3D-tiska se uporablja le za prototipiranje v industriji ter izdelavo kopij npr. v arheologiji.

Na začetku raziskovanja smo si zastavili naslednje hipoteze in te bomo v nadaljevanju potrdili ali ovrgli:

- Učenje osnov 3D-optičnega branja zahteva vsaj 10 minut učenja. To hipotezo bi potrdili, ker smo ugotovili, da hitro delo s programom je potrebno približno 10–15 minut učenja.
- 3D-modeliranje je težje od 3D-optičnega branja in je slednje zato priporočljivejše za navadne ljudi. To hipotezo smo prav tako potrdili in velja vsaj za navadne ljudi, ki ne obvladajo orodja za 3D-modeliranje (od nas treh raziskovalcev samo eden zna modelirati). Sicer za osnovne gradnike, ki so v 3D-programu, vsebovane ali za izdelavo preprostih predmetov to ne velja, saj so bolj izjeme kot običajna praksa).
- 3D-optično branje resničnih predmetov je zelo razširjeno in bo v kratkem (predvidevamo v dveh letih) skoraj v celoti izrinilo modeliranje v izbranem 3D-programu. To deloma drži za optično branje obstoječih predmetov naravne ali kulturne dediščine ter naravnega ali grajenega okolja. To ne drži za simulacije, igrice ali za izdelavo posebnih učinkov za filmsko industrijo, kjer morajo biti izdelani modeli z optimalnim (čim manjšim številom) številom oglišč, da je procesiranje tekoče in čim hitrejšo.
- Učinkovitost kompleksnega modeliranja v Blenderju je boljša, kot v MeshLabu. Potrdili bi, da je 3D-branje modelov res lažje od modeliranja, kar pa ne pomeni, da ga bo čisto izrinilo, saj bo enako pomembno tako modelirati kot prebrati model (topologija pri optičnem branju ni posebej lepa).
- Optično prebrane modele oz. oblake točk je lažje obdelovati v MeshLabu kot v Blenderju. Res drži, da je v specializiranem programskem okolju lažje obdelovati topološko nestrukturino množico oglišč v oblaku kot pa topološko pravilno izdelan model npr. v Blenderju, ki je namenjen za izdelavo filmskih animacij.

Škoda da nismo zaradi finančnih omejitev nabavili in uporabili nove verzije programa DAVID 3D Scanner 3.3 in tam preizkusiti vse nove možnosti uporabe strukturiranega svetlobnega vira s pomočjo projektorja. Lahko je to naša iztočnica za nadaljnje raziskovanje. Delo s kompletom DAVID 3D Scanner in programom MeshLabu je zahtevno in potrebno je kar nekaj vaj, da se dobijo zelene spretnosti. Temu bi se lahko v bodoče več posvetili več časa. Težave oz. luknje, ki so pri tem nastajale so vidne v prilogi 1.

7 ZAHVALA

Zahvaljujemo se:

- g. Marco Callieri [1], ki je letos na Blender konferenci oktobra 2011 v Amsterdamu (naš mentor na konferenci), imel predavanje z naslovom: »3D scanned models of real-world objects inside Blender«, uporabili smo nekaj njegovega gradiva, do katerega se lahko dostopa tudi na spletnem naslovu: <http://vcg.isti.cnr.it/~callieri/blendercourse.html>, 2. 2. 2012.
- Mentorju Nedeljku Grabantu za podporo, spodbudo, pomoč in svetovanje pri izdelavi raziskovalnega dela. Še posebej bi se zahvalili ker nam je priskrbel literaturo, ki nam je prišla prav pri izdelavi raziskovalnega dela in pomoči pri nastajanju raziskovalne naloge.
- Mag. Vlasta Leban, prof. za lektoriranje angleškega povzetka.
- Bojani Vrbnjak, prof. in naši razredničarki za lektoriranje dokumentacije in spodbudo.
- Staršem za podporo in šolanje.

8 LITERATURA

- [1] g. Marco Callieri, ki je letos na Blender konferenci oktobra 2011 v Amsterdamu, imel predavanje z naslovom: »3D scanned models of real-world objects inside Blender«, do njegovega gradiva se lahko dostopa tudi na spletnem naslovu: <http://vcg.isti.cnr.it/~callieri/blendercourse.html>, 2. 2. 2012.
- [2] Blender Foundation - Blender 3D <http://www.blender.org/>, (13. 10. 2009)
Predstavitev in razlaga CMS-ja:
<http://www.sisplet.org/index.php?fl=0&p1=1&p2=2&p4=450&id=450>, (13. 10. 2009)
- [3] DAVID 3D LaserSCANNER – uradna stran (<http://www.david-laserscanner.com/>, 18. 2. 2012),
- [4] DAVID 3D LaserSCANNER - forum (<http://www.david-laserscanner.com/forum/viewforum.php?f=2>), 18. 2. 2012),
- [5] Microsoft Kinect (<http://www.microsoft.com/kinect/>, 10. 3. 2010),
- [6] ARC3D (<http://arc3d.be/>, 18. 2. 2012),
- [7] MeshLab (<http://www.meshlab.sourceforge.net/>, 18. 2. 2012).
- [8] Wikipedia (http://sl.wikipedia.org/wiki/Optični_bralnik)

9 AVTORJI RAZISKOVALNE NALOGE

Sledi kratka predstavitev avtorjev raziskovalne naloge.

9.1 *Tomaž Pačnik*

Tomaž Pačnik je dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Zanima ga 3D-oblikovanje v Blenderju. Za raziskovalno nalogo o 3D-optičnem branju sem se odločil, ker me to zelo zanima.

V prostem času se ukvarjam z živalmi, predvsem s konji, igram tudi bas kitaro in bariton, ali pa se ukvarjam z računalništvom. Šolanje želim nadaljevati kot bodoči računalničar.

9.2 *Marko Watzak*

Marko Watzak je dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Zanima me predvsem oblikovanje slik in programiranje. Programiram predvsem v Microsoft Visual Basic in tudi v Dev ++, slike pa obdelujem v Photoshopu.

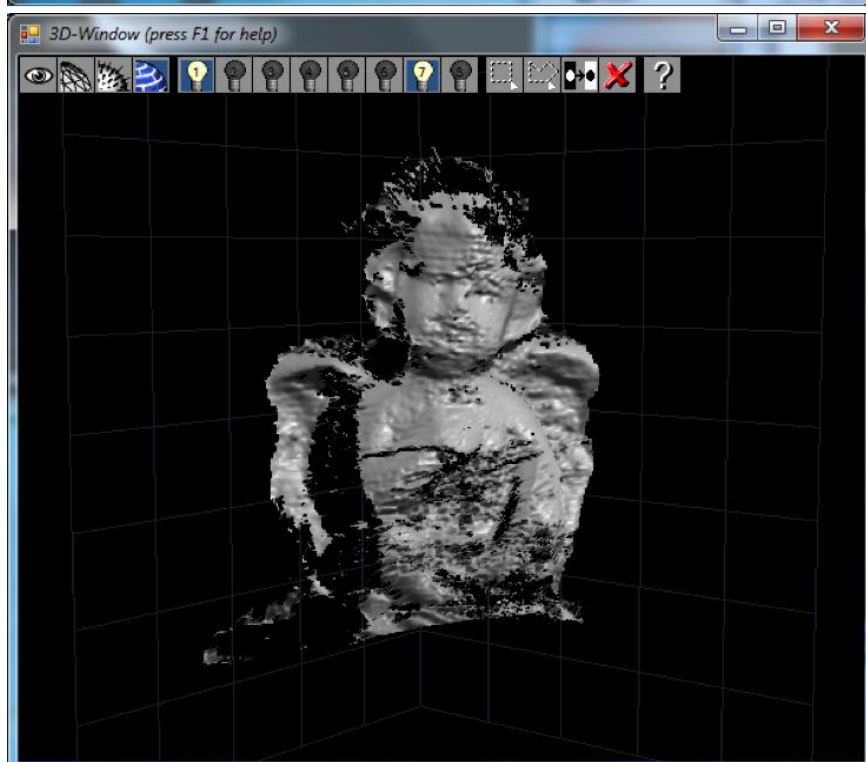
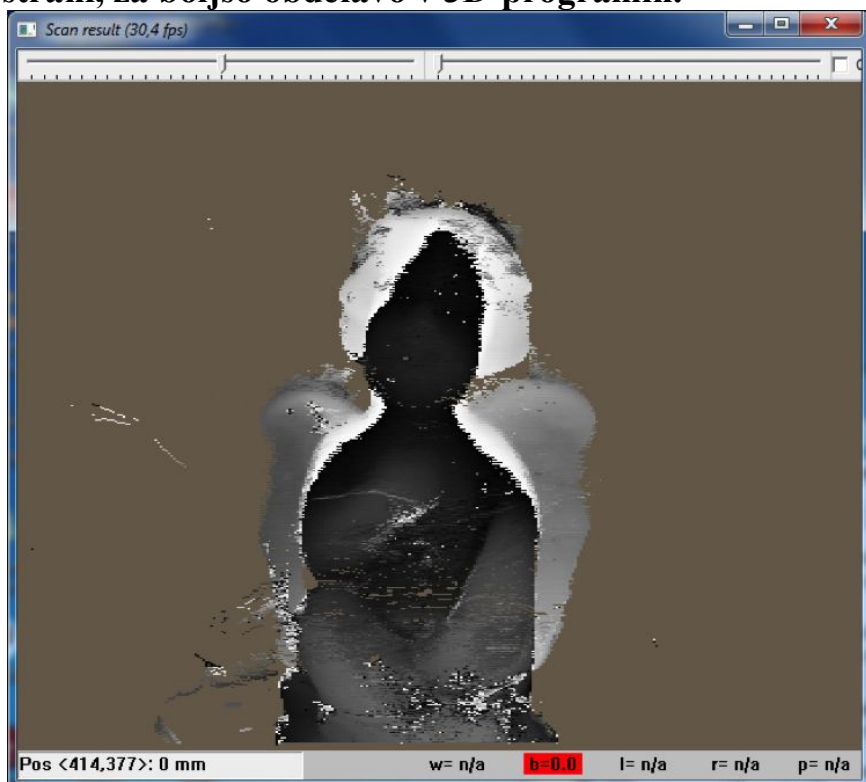
Moj cilj je, biti vsestranski programer in oblikovalec spletnih strani.

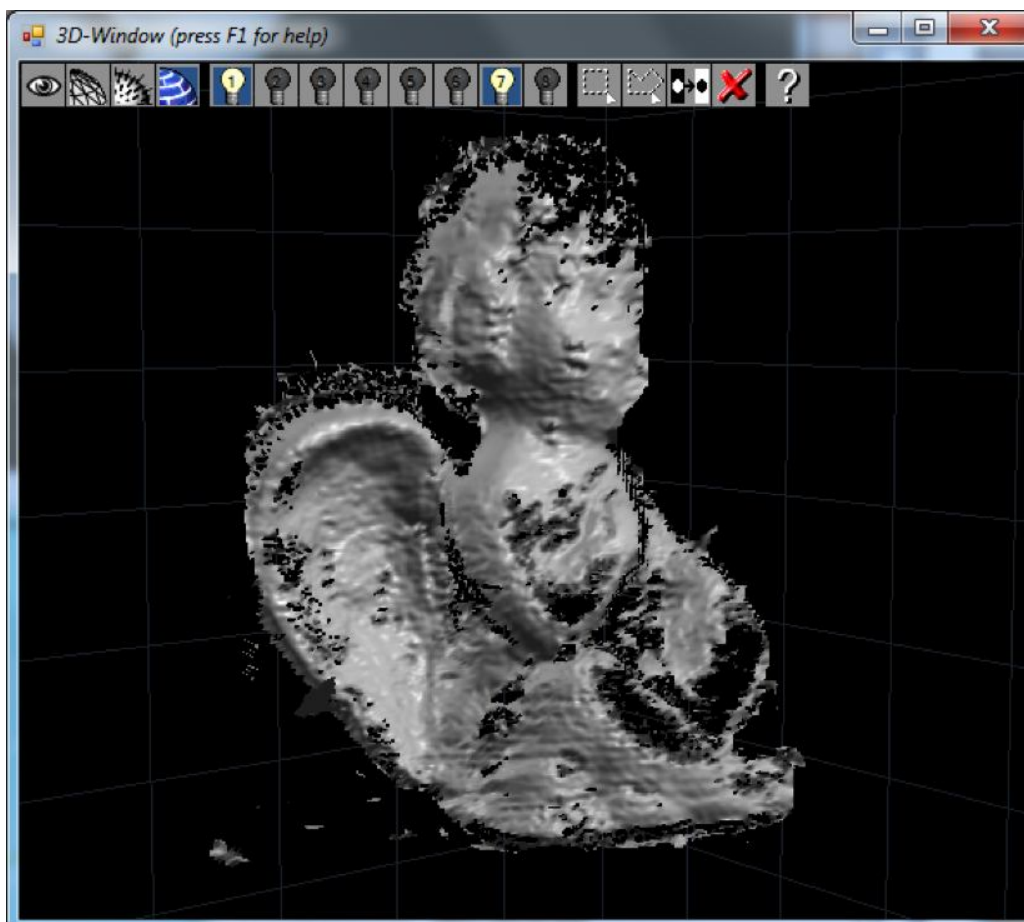
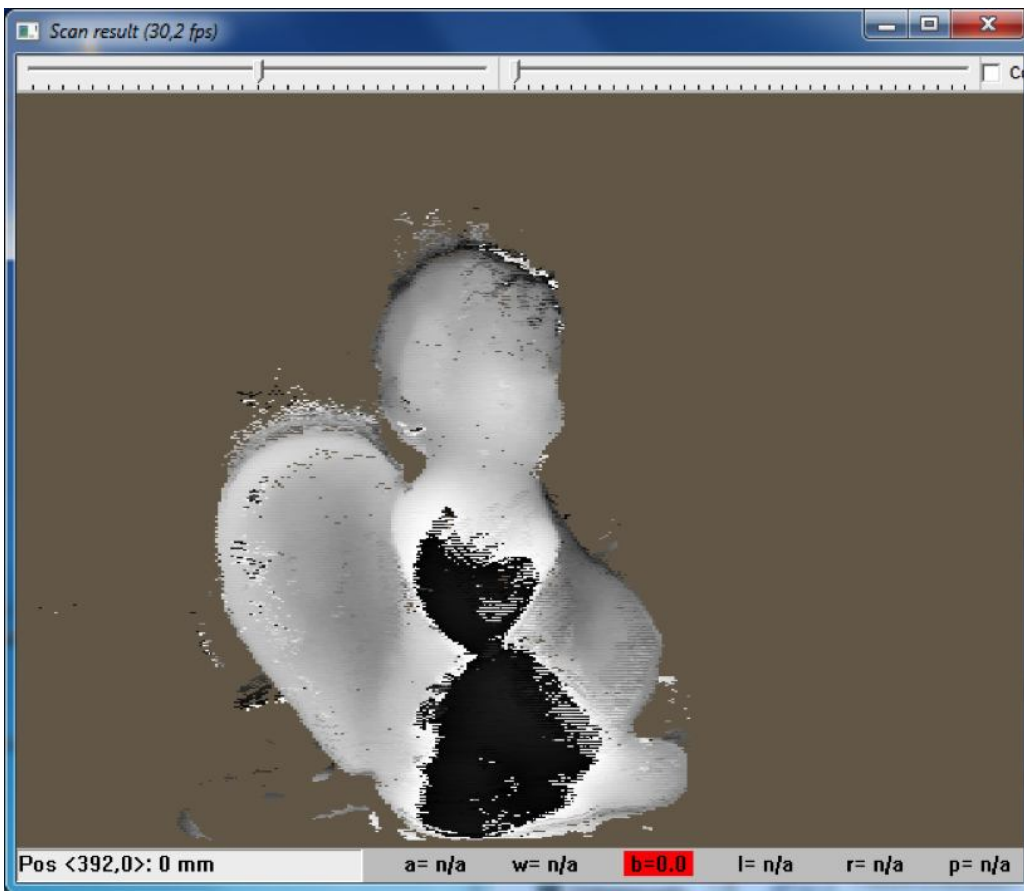
9.3 *Mitja Miklav*

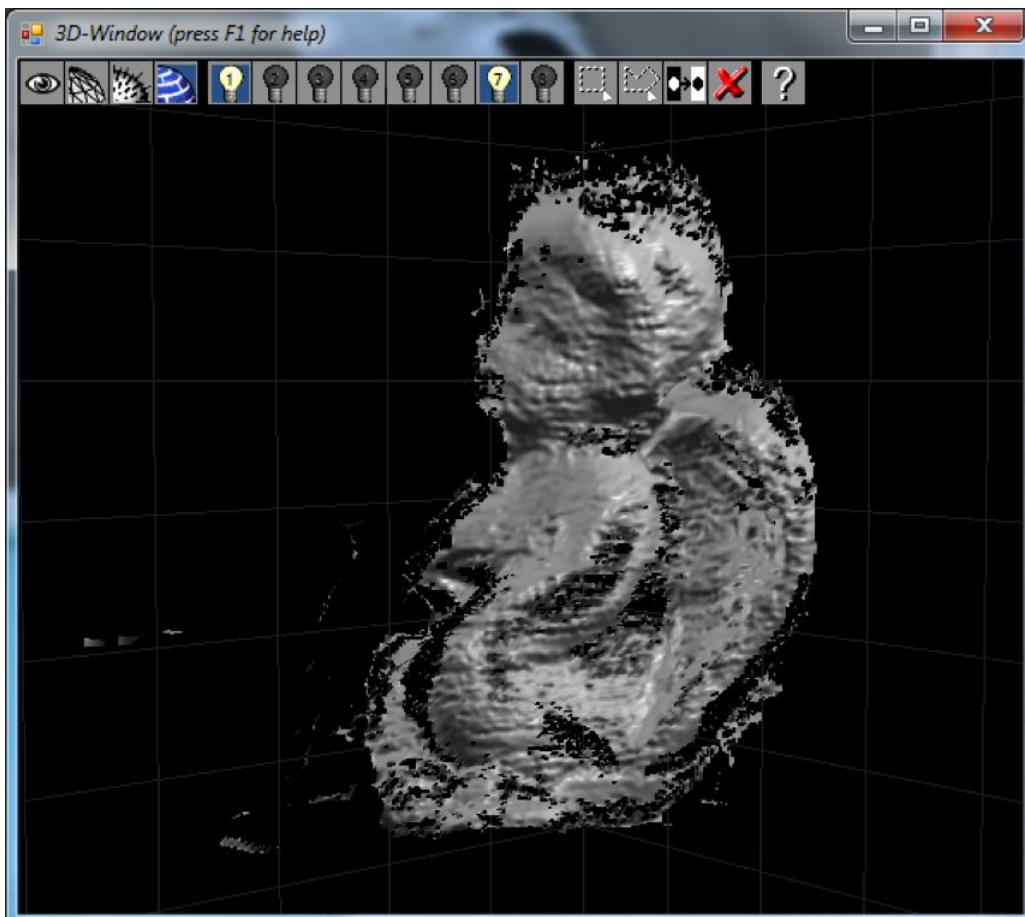
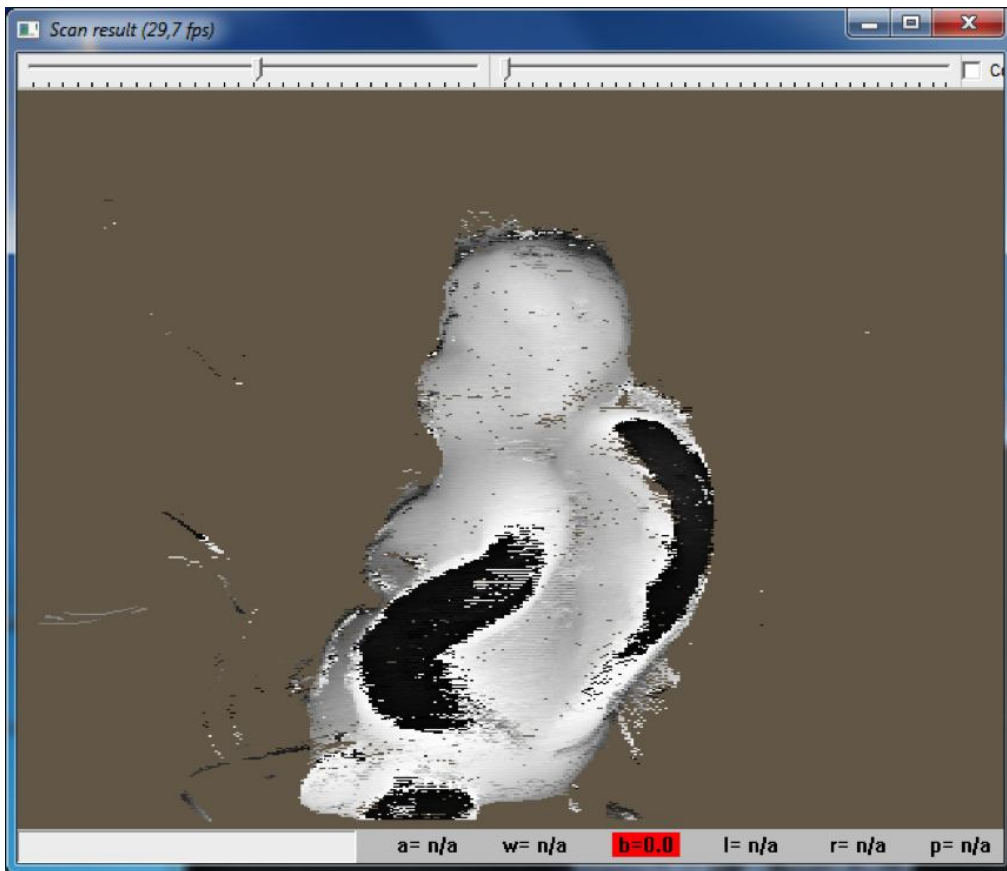
Mitja Miklav, dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Za to raziskovalno nalogo sem se odločil, ker sem želel bolje spoznati sisteme za izgradnjo najnovejših spletišč ter orodja, ki jih uporabljamo. Izdeloval sem že preproste HTML-spletne strani. V prostem času izdelujem in oblikujem svojo spletno stran. Šolanje bom zagotovo nadaljeval v računalništvu, veseli me predvsem oblikovanje spletnih strani.

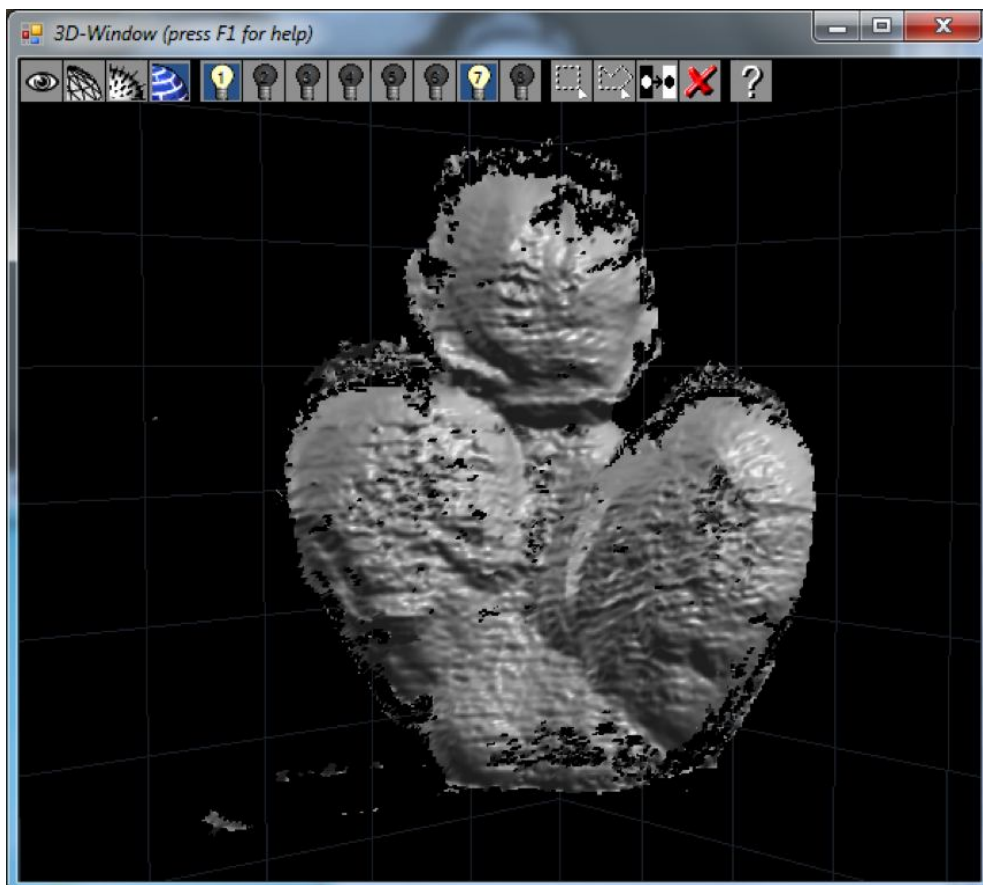
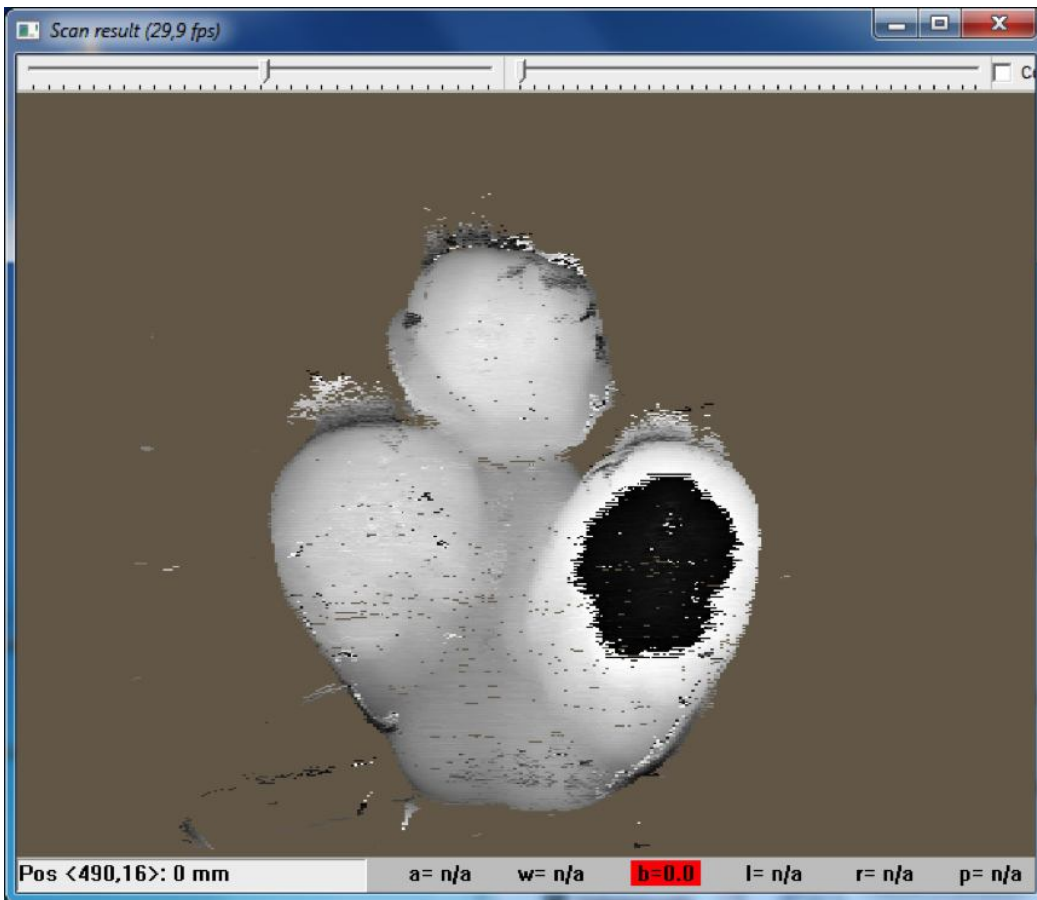
Priloga 1: Zaslonske slike 3D-optičnega branja predmetov

Kipec angela smo optično prebrali pri ločljivosti kamere 640×480 in pri 60 mm razmiku na platnu. Uporabili smo srednje močno svetlobo, saj bi pri večji svetlobi vse postalo svetlo ali pa temno pri manjši svetlobi. Uporabili smo debelo lasersko linijo, saj tako smo zajeli večji del kipca. Angela smo prebrali z vseh strani, za boljšo obdelavo v 3D-programih.

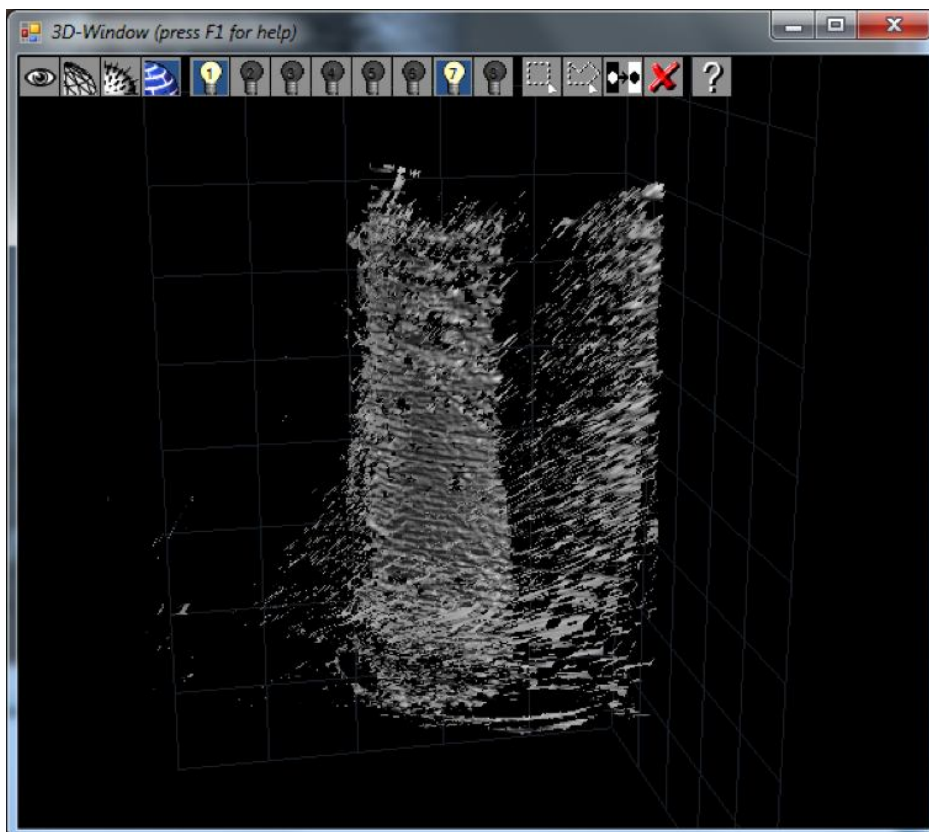
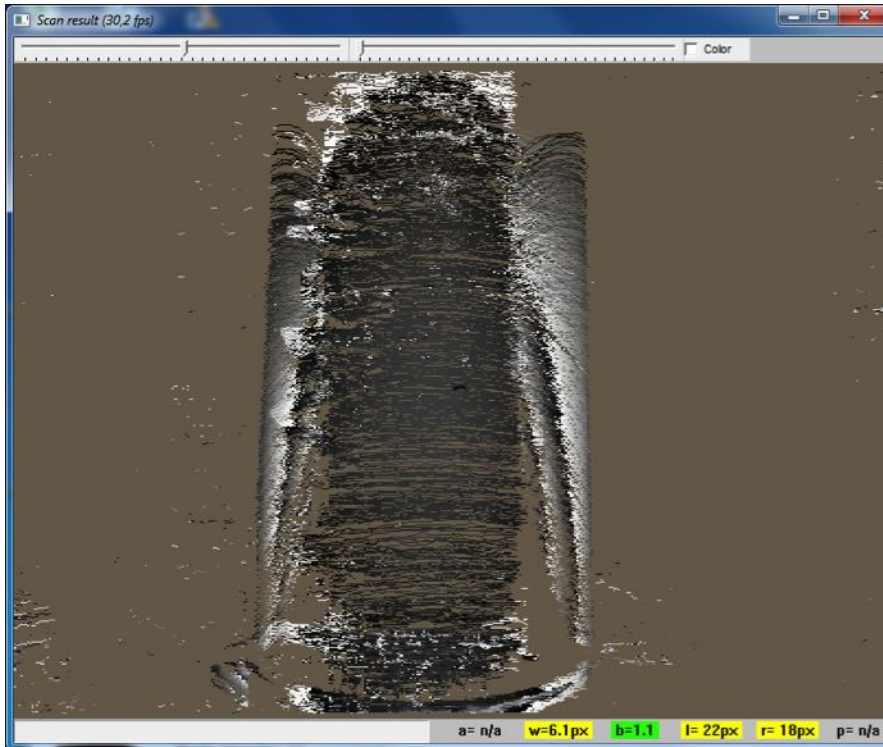




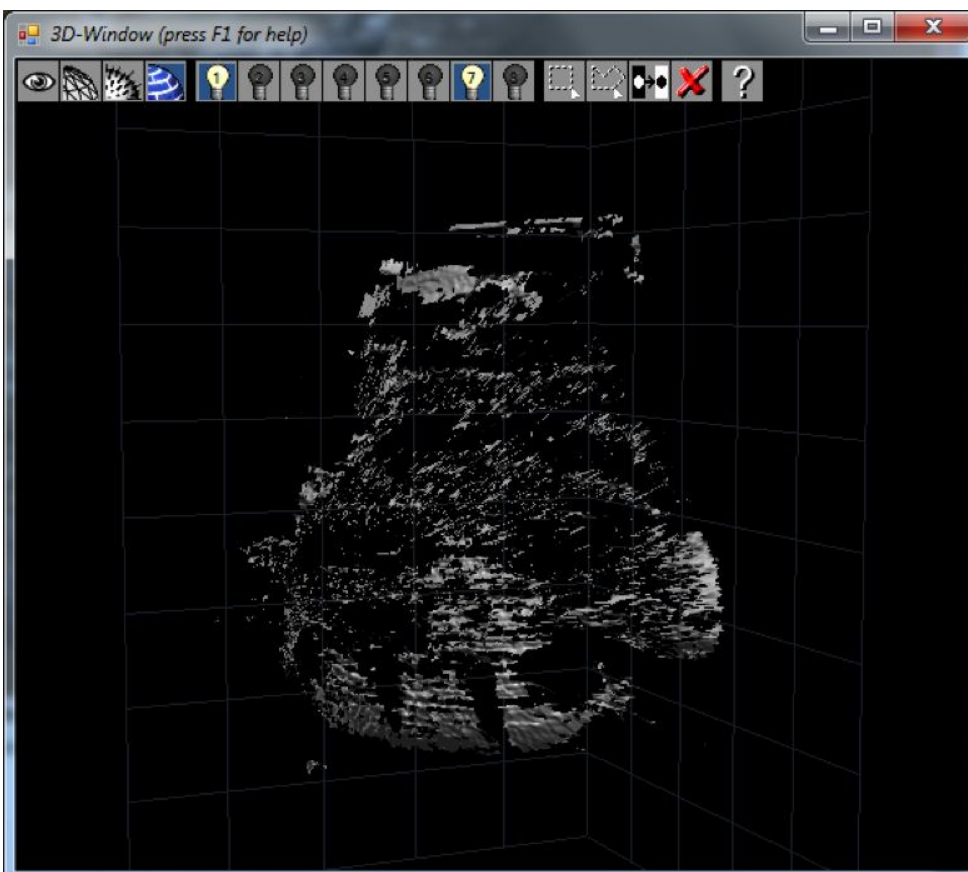
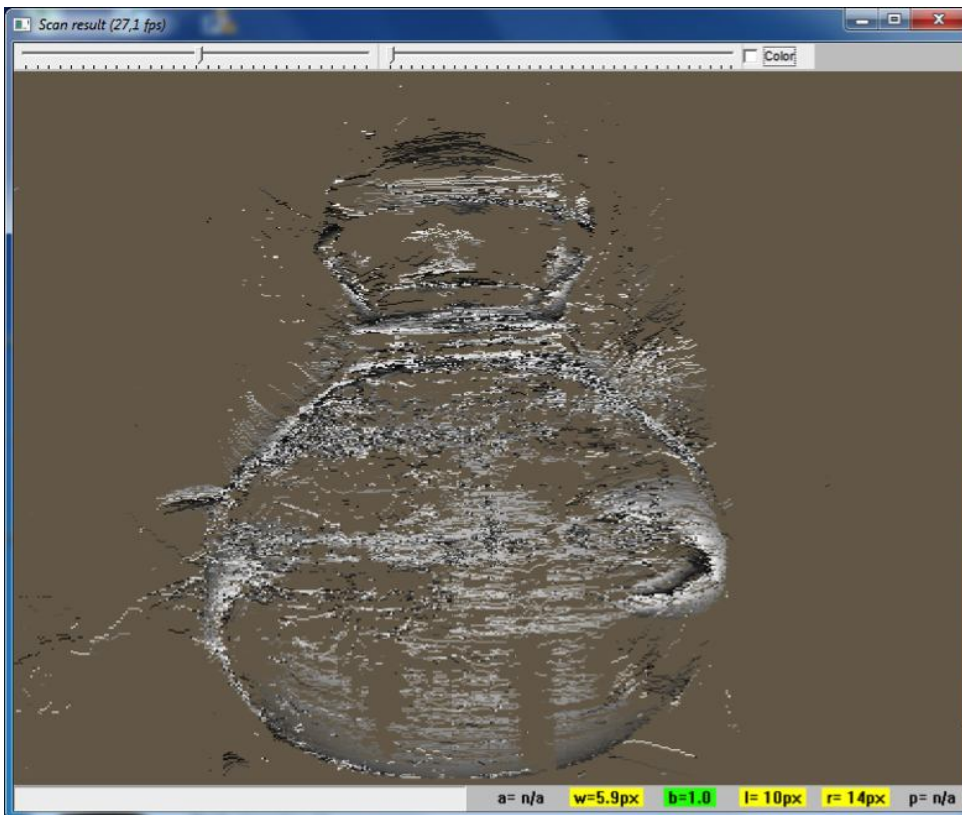




Na naslednjih slikah je 3D-optično prebrana pločevinka deodoranta , kjer se vidijo velike praznine med črtami, kar pomeni, da je težko prebrati objekte, ki odbijajo svetlobo in so prozorni.



3D-optično branje steklenih pokrov steklene vaze. Med črtami vidimo ogromno praznino, saj se je svetloba prelomila skozi steklo in se odbila na belem platnu.



Sledijo slike 3D-optično prebranih plastenk AquaValis, pri kateri vidimo, da se svetloba ni odbijala in je za to vse lepo zapolnjeno.

