

3D-TEHNOLOGIJE

SKENIRANJE

Deja Muck

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

3D skener je naprava, ki analizira objekte realnega sveta in zbira podatke o obliki in videzu.

Veliko različnih tehnologij (prednosti, omejitve).

Aplikacije:

- q zabavna industrija (filmi, video igre, virtualna realnost)
- q industrijsko oblikovanje
- q ortotika in protetika
- q vzratno inženirstvo
- q prototipiranje
- q kontrola kakovosti
- q digitalizacija kulturne dediščine
- q ...

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU



3

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

FUNKCIONALNOST

Namen skeniranja > oblikovati 3D model.

Model > oblak točk > ekstrapolacija oblike predmeta > rekonstrukcija.

Če je na točki zajeta barva > barva objekta.

Razdalja vsake točke do površine objekta > zajeta slika.

Objekt zajeti iz več kotov > referenčni sistem > proces poravnave.

Celoten proces > 3D scanning pipeline.



4

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

RAZLIČNE TAKSONOMIJE IN TEHNOLOGIJE 3D SKENERJEV

Različne tehnologije za zajem oblike, barve objekta.

- q kontaktne
- q nekontaktne

nekontaktne

- q aktivni (oddajajo sevanje)
- q pasivni (ne oddajajo sevanja / svetlobe, detektirajo reflektirano ambientalno svetlobo, IR)



5

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

RAZLIČNE TAKSONOMIJE IN TEHNOLOGIJE 3D SKENERJEV

AKTIVNI SKENERJI

- q delujejo na podlagi različnih tehnologij (oddajajo sevanje ali svetlobo detektirajo radiacijo, refleksijo: svetloba (laser), UZ, X – žarki)

Razlikujejo se glede na:

- q vrsto optičnega sevanja
- q metodo za določanje razdalje
- q območje (razdalja) delovanja

Odvisno od končne aplikacije (točnost, ločljivost, proces optimizacije).

Proces oblikovanja končnega modela je za vse aplikacije enak:

- q zajem, 3D skeniranje
- q izgradnja 3D modela
- q optimizacija 3D modela

6

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

AKTIVNI SKENERJI

Najpogostejše vrste aktivnih 3D skenerjev

vrsta 3D skenerja (8)	vrsta optičnega sevanja	metoda za določanje razdalje (7) (8)	razdalja, na kateri deluje (8)
Laser Triangulation 3D Scanner	laserska svetloba	triangulacijska metoda (tudi ang. Laser triangulation)	do dva metra (tudi več) (ang. Short-Range Scanner)
Structured-Light 3D Scanner	največkrat bela in modra svetloba	triangulacijska metoda (tudi ang. Pattern fringe triangulation)	do dva metra (tudi več) (ang. Shot-Range Scanner)
Laser-Pulsed 3D Scanner (tudi Time-of-Flight 3D Scanner)	laserska svetloba	impulzni način (ang. Pulse-based, Time-of-flight)	od dveh do 1000 metrov (ang. Mid- to Long-Range 3D Scanner)
Laser Phase-shift 3D Scanner	laserska svetloba	fazni zamik (ang. Phase-shift)	od dveh do 1000 metrov (ang. Mid- to Long-Range 3D Scanner)

7

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

AKTIVNI SKENERJI

Za skeniranje večjih objektov
q npr. terestrični laserski skenerji

Za skeniranje manjših objektov
q skenerji na osnovi triangulacije
q ročni ali statični

Triangulacija:
kamera (ena ali dve v stereonačinu) - zaznajo položaj točke, linije ali vzorca svetlobe oziroma laserja na površini.

8

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

Izgradnja 3D modela

Rezultat skeniranja je oblak točk (ang. Point Cloud).

□ vsaka točka - informacija o prostorskih koordinatah, lahko tudi barvne komponente, če skener to omogoča.

Potek

□ skeniranje iz več stojišč

□ oblake točk združimo v skupni lokalni koordinatni sistem – registriranje skenogramov

□ največ aplikacij podpira uporabo poligonskih, NURBS krivulj (Non-Uniform Rational Basis Spline) in CAD (Computer Aided Design) 3D modelov

Na podlagi oblaka točk se generira mreža. Postopek izgradnje trikotniške mreže je najbolj uporaben za rekonstrukcijo poligonske mreže > triangulacija.

9

SPLOŠNO O 3D SKENIRANJU

Optimizacija topologije 3D modela

□ zajeta topologija vsebuje napake, posledica skeniranja

□ na trikotniški mreži je treba zapolniti luknje, odstraniti šum in *poligonske anomalije* (npr. špice).

□ del operacij se opravi že v predhodni obdelavi na oblaku točk

Nadaljna optimizacija:

□ retopologija

(zniževanje števila poligonov, lažje ustvarjanje UV map)

10

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

Uvrščamo med 3D laserske skenirne naprave, ki omogoča pridobitev prostorskih koordinat točk skeniranega objekta:

- § samodejno in v sistematičnem vzorcu
- § z veliko hitrostjo delovanja (100 ali 1000 točk / s)
- § skoraj v stvarnem času

Uporaba

- § stacionarni sistemi (industrija)
- § mobilni sistemi na stativih (geodezija, arheologija, kulturna dediščina ...)
- § letalski sistemi

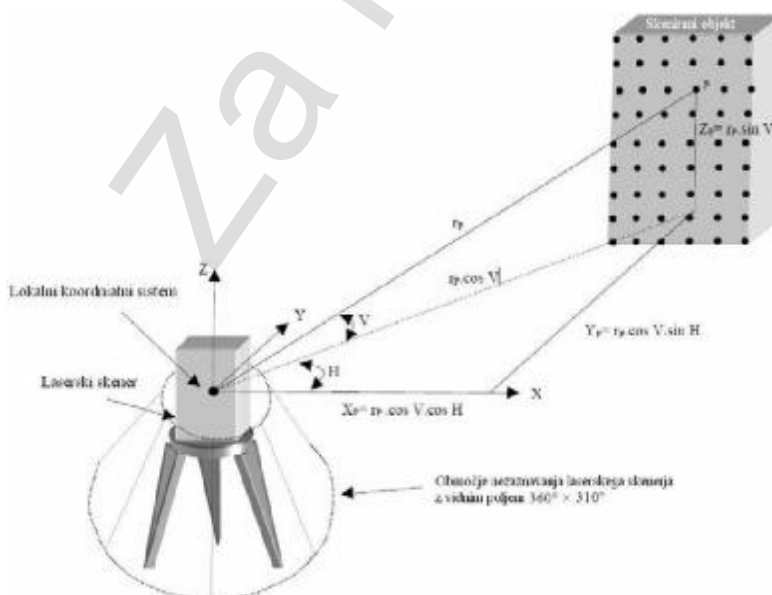


11

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

Izračuna se razdalja med inštrumentom in točko, kjer se žarek odbije. Za vsako točko se poleg dolžine registrira tudi vertikalni in horizontalni kot. Tako lahko izračunamo prostorske 3D koordinate vsake točke (X, Y, Z).



$$X_p = r_p \cos V \cos H$$

$$Y_p = r_p \cos V \sin H$$

$$Z_p = r_p \sin V$$

prostorske koordinate točke P [m].

razdalja med laserskim skenerjem in objektom [m].

vertikalni kot [° * °].

horizontalni kot [° * °].

12

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

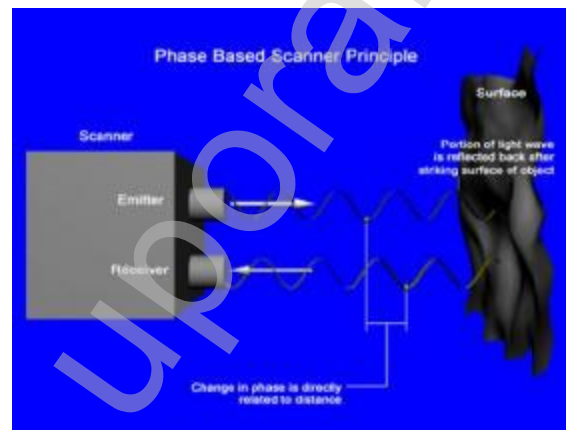
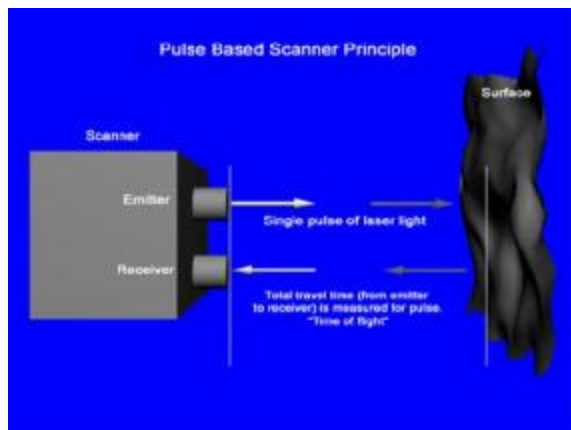
Glede na način merjenja razdalje delimo terestrične 3D laserske skenerje na:

□ "ranging":

§ impulzni in

§ fazni način

□ triangulacijske skenerje



13

TERESTRIČNI SKENERJI

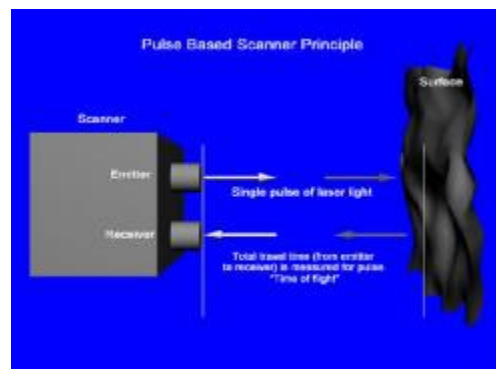
Tehnologija delovanja

Impulzni način

□ princip *Time of flight* (TOF) > čas potovanja impulza.

□ Svetilo generira svetlobno valovanje v obliki impulzov.

□ Meri se čas potovanja impulza: od oddajnika do objekta in nazaj (sprejemnik).



$$D = \frac{c \tau}{n 2}$$

kjer je:

D ... razdalja med laserskim skenerjem in svetlobno piko [m],

c ... svetlobna hitrost [m/s],

τ ... čas potovanja impulza [s],

n ... lomni količnik.

14

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

Fazni način

- ☐ svetloba se sprošča konstantno
- ☐ modulirano sinusno elektromag. val. (lahko modulacija frekvence ali amplitude)
- ☐ oslabljeni odbiti signal se primerja z originalnim oddanim (referenčnim) žarkom. Izmerjena je fazna razlika med obema signaloma, kar je podlaga za izračun dolžine:

$$\Delta\lambda_M = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda_M$$

$$2D = N\lambda_M + \Delta\lambda_M$$

$$D = N\frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2}$$

kjer je:

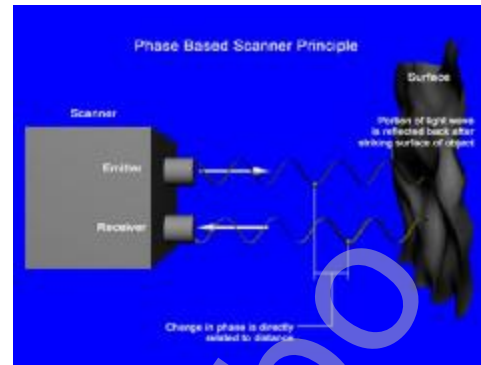
D ... razdalja med laserskim skenerjem in objektom [m],

λ_M ... valovna dolžina moduliranega valovanja [m],

$\Delta\lambda_M$... del modulacijske valovne dolžine [m],

$\Delta\varphi$... fazna razlika med merskim in referenčnim žarkom,

N ... število polovičnih valovnih dolžin na merjeni poti.



15

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

Triangulacijska metoda

„pika“ laserja + kamera + objekt = trikotnik. Znana je dolžina X . Prav tako je znan kot pri laserskem oddajniku. Drugi kot zazna kamera glede na lokacijo padajoče laserske pike na vidno polje kamere > definicija oblike in velikosti trikotnika. Z uporabo triangulacijskih enačb se izračuna razdalja:

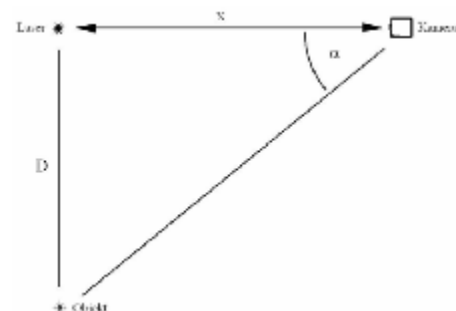
$$D = x \tan(\alpha),$$

kjer je:

D ... razdalja med laserskim skenerjem in objektom [m],

x ... znana dolžina bazne linije med CCD kamero in laserskim oddajnikom [m],

α ... kot, ki ga zazna kamera [° + °].



16

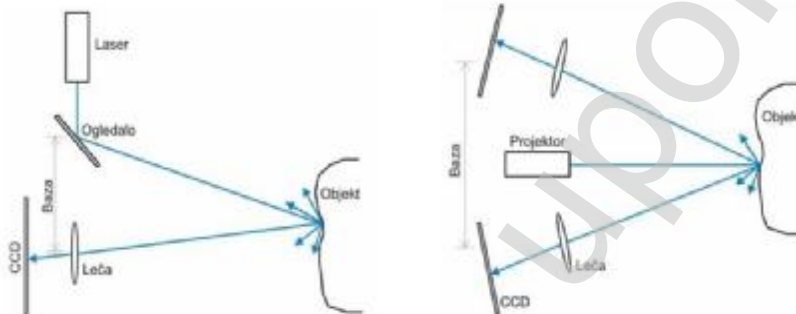
TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

Triangulacijska metoda

Posebna > sistemi z dvema CCD kamerama, ki sta nameščeni na koncih baze. Piko ali vzorec, ki ga CCD kameri zaznata, ustvari ločen projektor, ki nima nobene merske funkcije. Izvedbe skenerjev. Projiciranje:







- q premikajoče pike
- q linijski vzorec
- q ...



17

TERESTRIČNI SKENERJI

Tehnologija delovanja

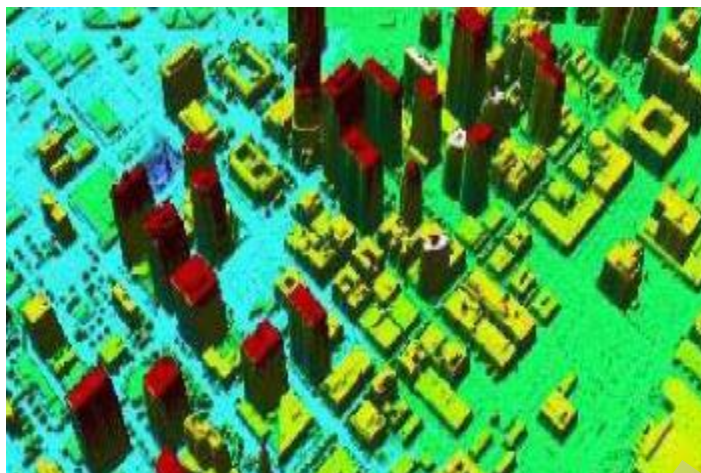
	RIEGL VZ-400	Leica ScanStation C10	Topcon GLS-1000		Z-F IMAGER 5006i	FARO Photon 120	Leica HDS 6100
							
Metoda merjenja razdalje	impulzna	impulzna	povezava impulzne in fazne	Metoda merjenja razdalje	fazna	fazna	fazna
Hitrost [točk na sekundo]	125 000	50 000	3 000	Hitrost [točk na sekundo]	508 000	976 000	508 000
Točnost ¹	5 mm/100 m	6 mm	4 mm/150 m	Točnost ¹	do 25 m: 1.5 mm/20 % do 50 m: 3.5 mm/20 %	2.7 mm/10 %	3 mm/18 %
Mersko območje	1.5 – 600 m	0.1 – 300 m	330 m	Mersko območje	0.4 – 79 m	0.6 – 120 m	79 m
Kotna ločljivost	Hz: 0.0024° V: 0.0024°		0.0017°	Kotna ločljivost	Hz: 0.0018° V: 0.0018°	0.009°	0.0018°
Velikost pike	18 mm/50 m		6 mm/40 m	Velikost pike			14 mm/50 m
Valovna dolžina laserja	bližnja infrardeča	zelena (532 nm)	nevidna	Valovna dolžina laserja	vidna	785 nm	650-690
Laser	Class 1	3R	Class 1	Laser	3R	3R	3R
Vidno polje	360° x 100°	360° x 270°	360° x 70°	Vidno polje	360° x 310°	360° x 320°	360° x 310°
Temperatura upravljanja	0° – 40° C	0° – 40° C	0° – 40° C	Temperatura upravljanja	-10° – 45° C	5° – 40° C	-10° – 45° C
Teža [kg]	9.8	13	17.6	Teža [kg]	14	14.5	14

18

PODROČJA UPORABE

Arhitektura in urbanizem

- § priprava 2D načrtov, 3D CAD modelov pri prenovah ali restavraciji
- § arhiviranje in dokumentiranje kulturno zanimivih objektov
- § enostaven zajem notranjosti zgradb za pripravo etažnih načrtov
- § za prostorsko planiranje ...



Laserski zajem objektov iz zraka v urbanem okolju.



Zajem fasade objekta.

19

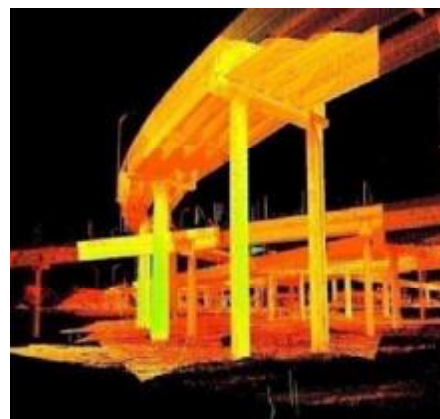
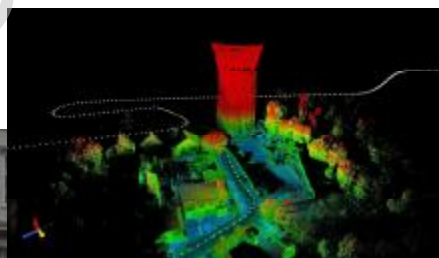
PODROČJA UPORABE

Gradbeništvo, infrastrukturni projekti

- izdelava geodetskih načrtov za projektiranje, izognemo se napakam – celovitejši, hitrejši zajem.
- področja inženirske geodezije – pri deformacijskih analizah grajenih objektov, predorov, mostov, jezov ...



3D mobilni zajem.



3D zajem prometne infrastrukture.

20

PODROČJA UPORABE



Arheologija in kulturna dediščina

q izmere fasad in ostalih delov zgradb, arheoloških najdišč, starodavnih spomenikov in druge kulturne dediščine



Skeniranje grobnice Queen Khentkawes v Gizi.



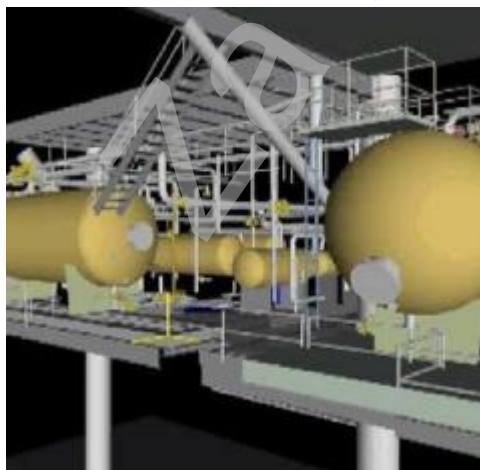
Oblak točk kipa leva iz Braunscheig-a v Nemčiji.

21

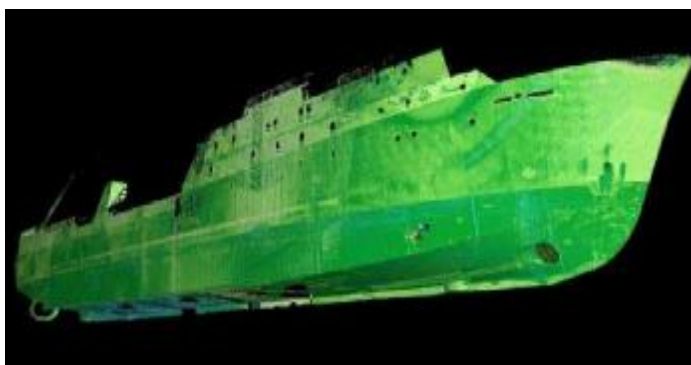
PODROČJA UPORABE

Uporaba v industriji

q za objekte z veliko detajli (rafinerije, kemične tovarne ...), v avtomobilski, letalski in navtični industriji, za izdelavo prototipov.



3D model cevnega sistema.



Oblak točk trupa ladje.

22

PODROČJA UPORABE

Topografska opazovanja

- evidentiranje sprememb površine, oblike in velikosti
- spremljanje odkopov v kamnolomih
- izdelava digitalnih modelov reliefa
- evidentiranje in spremljanje zemeljskih plazov ...



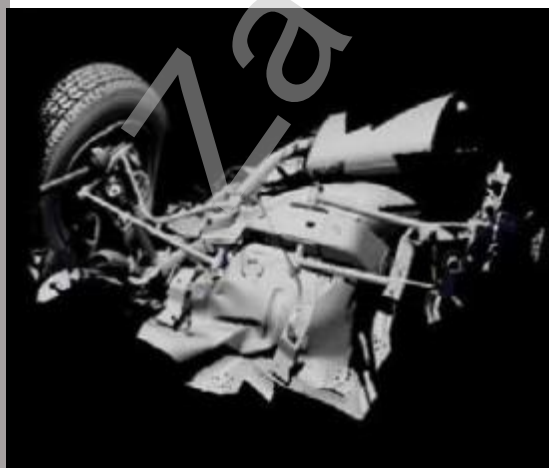
Izdelava makete novega Nordijskega centra Planica 2017.

23

PODROČJA UPORABE

Zaščita in reševanje, forenzika

Skeniranje kraja dogodka prometnih nesreč, kriminalnih dejanj, nesreč pri delu ...



3D model poškodovanega avtomobila.



Poskenirana avtomobila ob trku.

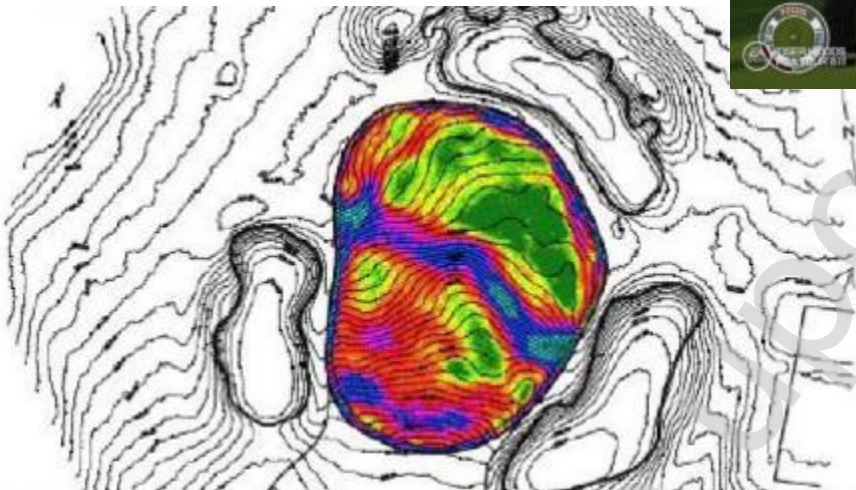
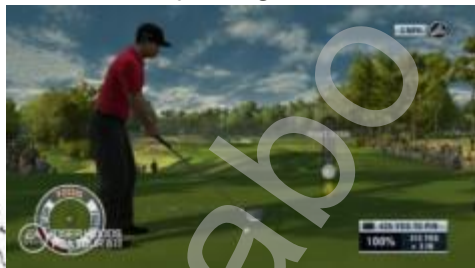
24

PODROČJA UPORABE

3D skeniranje stvarnih okolij

3D skeniranje naravnih in urbanih okolij se uporablja tudi za aplikacije računalniških iger:

- q Tiger Woods PGA Tour (terestrično lasersko skeniranje > igrišče za golf – Augusta National Golf Club)
- q FIFA 15 (EA Sports)
- q ...



25

PODROČJA UPORABE

3D skeniranje eksponatov kulturne dediščine

- q v arheologiji za ohranjanje kulturne dediščine
- q za izobraževalne animacije in vizualizacije

skeniranje dragocene arheološke najdbe na Slovenskem – Situle z Vač s statično nekontaktno aktivno metodo 3D skeniranja s strukturirano belo svetlobo:

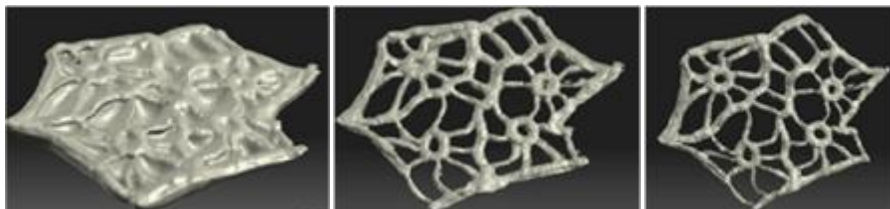
- q interaktivna 3D vizualizacija
- q interaktivna 3D stereoskopska animacija
- q računalniška animacija



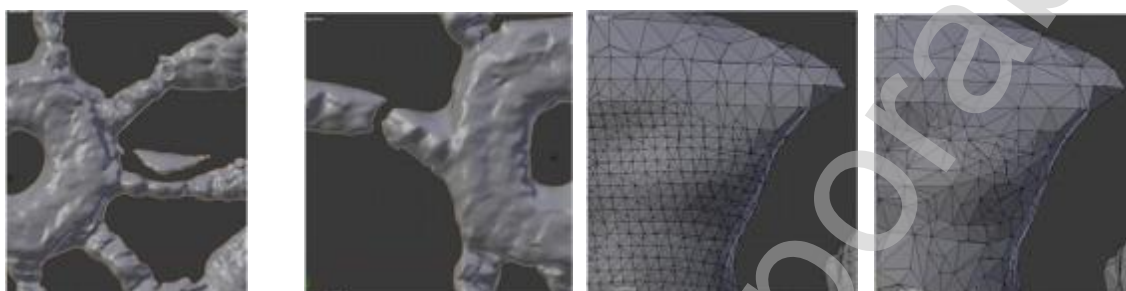
26

PODROČJA UPORABE

Tekstilna in oblačilna kulturna dediščina



<http://www.tradeforsa.com/product/detail/P363199/DAVID-Structured-Light-3D-Scanner-SLS-2.html>



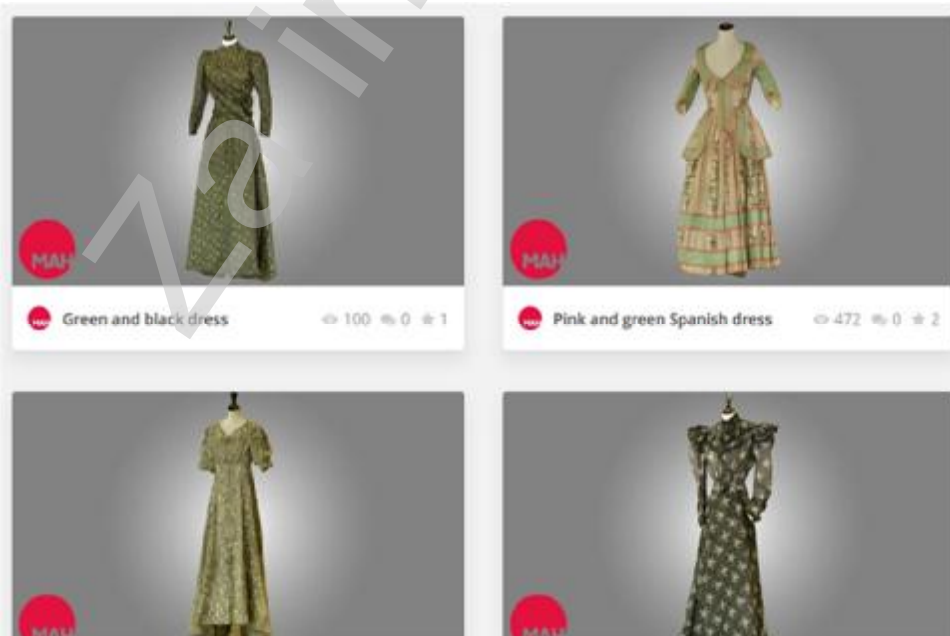
Gabrijelčič Tomc H., Pivar M., Nuša Kočevar T., DEFFINITION OF THE WORKFLOW FOR 3D COMPUTER AIDED RECONSTRUCTION OF A LACE

- zajem
- stopnja detajlov
- število poligonov
- težavnost korekcij

PODROČJA UPORABE

Santa Cruz Museum of Art and History

- posnetki s fotogrametrijo
- sodobna platforma za objavljanje 3D modelov, sketchfab.com
- prostorska manipulacija in interaktivnost



<https://blog.sketchfab.com/3d-scanning-a-museum-fashion-collection/>

PODROČJA UPORABE

3D skeniranje izdelkov

q v animacijah za potrebe oglaševanja

<https://www.foundry.com/industries/apparel/brooks-2d-3d-design-mod>

Človeška glava v 3D prostoru

q oblikovanje fotorealističnega modela (poligonsko modeliranje na podlagi fotografske reference in digitalno kiparjenje. Tekstura se oblikuje s pomočjo fotografije in se aplicira na 3D model s postopkom UV lepljenja tekstur.

q 3D skeniranje lahko nadomesti postopke modeliranja in lepljenja tekstur.

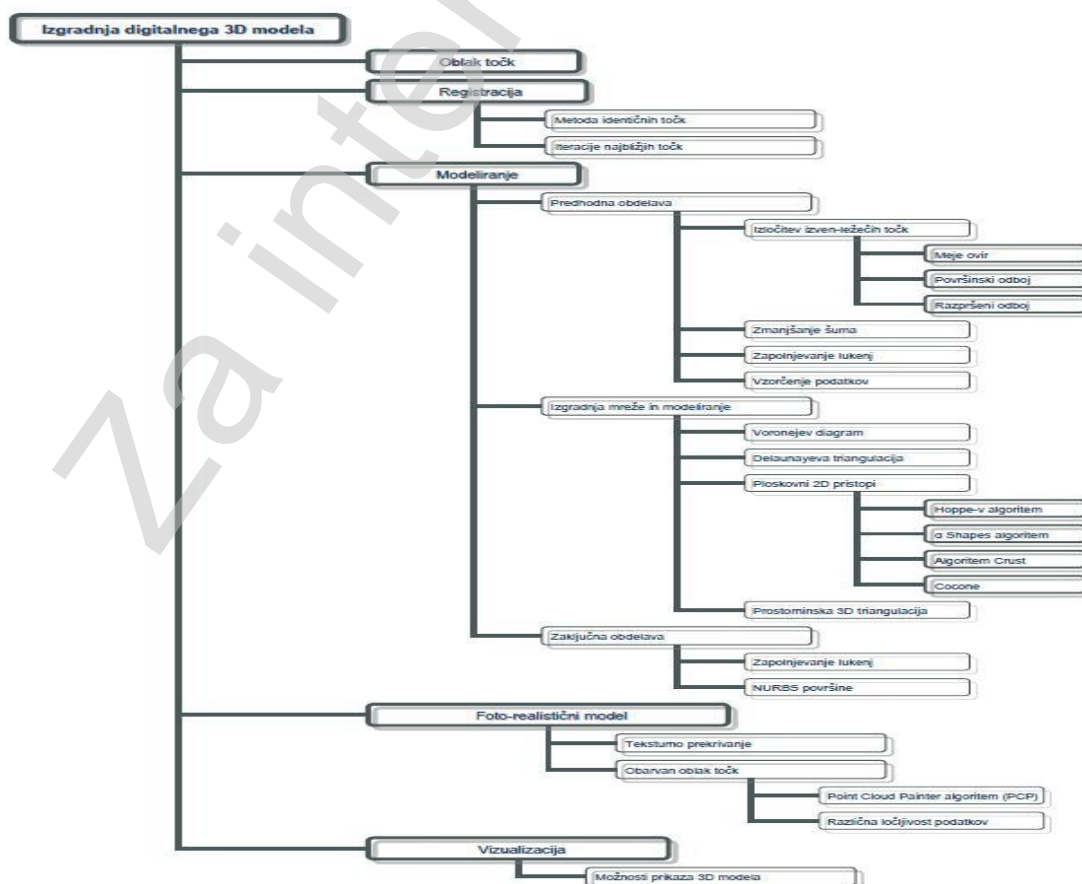
q uporaba v animaciji – prilagojena struktura mreže - topologija

Digital Emily

q s postopkom aktivnega nekontaktnega zajema s strukturirano svetlobo so pridobili informacije o geometriji in barvi obraza igralke [Emilij O'Brien](#) ter izdelali 3D model, optimiziran za animacijo.

29

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA



30

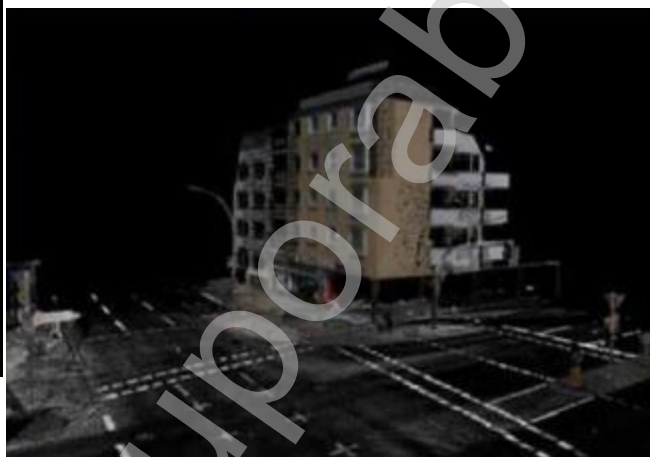
IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Oblak točk

Vsaka točka v oblaku točk ima informacije o prostorskih koordinatah (X, Y, Z), o intenziteti odboja ter treh barvnih komponentah (R, G, B), če laserski skener to omogoča.



Oblak točk z intenzitetnimi vrednostmi.



Oblak točk z RGB komponentami.

31

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Registracija

Navadno se s skeniranjem z enega stojišča ne da pridobiti podatkov o celotnem objektu. Vsako stojišče ima svoj lastni skenerjev koordinatni sistem. Če imamo več stojišč, oblake točk združimo v en skupni lokalni koordinatni sistem – registracija.



Dva oblaka točk > združena preko postopka registracije.

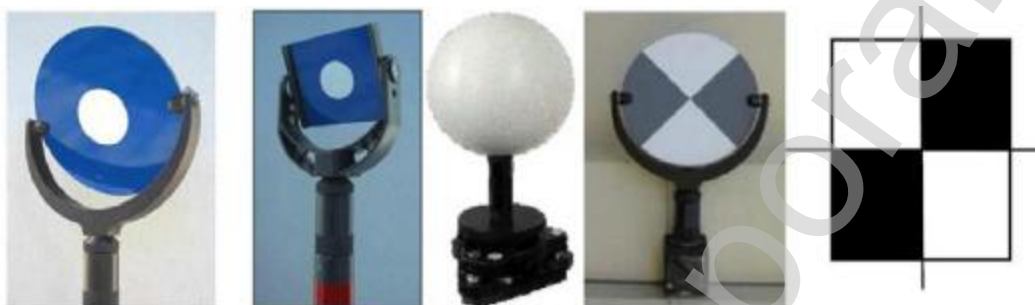
32

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Registracija > metode registracije

Metoda identičnih točk

- q skenerji snemajo dele površin > potrebno določiti identične točke.
- q izbor identičnih točk se olajša s postavitvijo umetnih tarč.
- q od tarč se žarek odlično odbije in jih v oblaku točk enostavno najdemo (namesto tarč > specifične karakteristike skeniranega objekta)



Različne oblike umetnih tarč.

33

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Registracija > metode registracije

Iteracije najbližjih točk

- § alternativna metoda postavitvi tarč
- § algoritem zahteva določitev dveh oblakov točk na glavnem in pomožnem oblaku točk
- § pomožni oblak točk se orientira glede na glavni oblak
- § za vsako točko v pomožnem oblaku se identificira najbližja točka v glavnem oblaku
- § najdejo se pari odgovarjajočih točk

Izračuna se vsota kvadratov oddaljenosti in ta mora biti minimalna. Proces je iterativen. Poiščejo se novi pari točk in transformacijski parametri se izboljšajo.

34

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Modeliranje

□ površinska rekonstrukcija > iz dane množice točk P - na ali blizu površine S > ustvariti ploskovni model S', ki aproksimira ploskvi S.

Problem:

□ ne more zagotoviti točnega prekritja S > imamo le končno množico točk > neorganizirane točke > pogosto vključeni šumi ploskev objekta je poljubne oblike z različnimi detajli.

Koraki obdelave merjenih točk v topološko urejeno mrežno površino:

1. predhodna obdelava: izloči se napačne podatke > skrajša čas obdelave;
2. generiranje poligonske površine: zgradijo se trikotniške ali tetraedrne mreže
3. zaključna obdelava: urejanje poligonske površine.

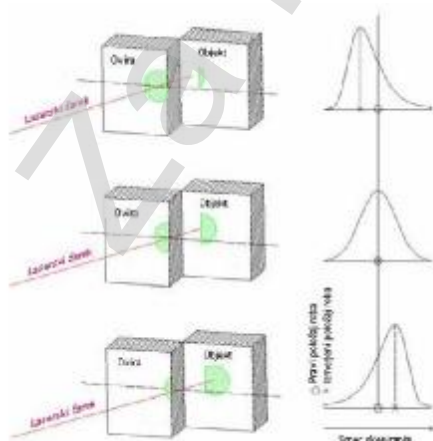
35

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

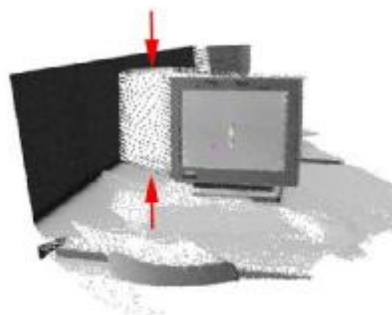
Modeliranje

Predhodna obdelava

Operacije v predhodni obdelavi so navadno odstranitev šumov in izven-ležečih točk iz oblaka točk, zapolnjevanje lukenj in prevzorčenje podatkov.



Rob ovire povzroči nepravilnost.



Primer navideznih točk zaradi robov ovire.

36

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Modeliranje

Predhodna obdelava

- § izločitev izven-ležečih točk (angl. Remove Outliers)
- § meje ovir (angl. Boundaries Of Occlusions)
- § površinski odboj
- § razpršeni odboj (angl. Multi Path Reflection)
- § zmanjšanje šuma (angl. Noise Reduction)
- § zapolnjevanje lukenj (angl. Fill Holes)
- § vzorčenje podatkov (angl. Data Sampling) – izločitev točk, ki se prekrivajo

37

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Modeliranje

Izgradnja mreže

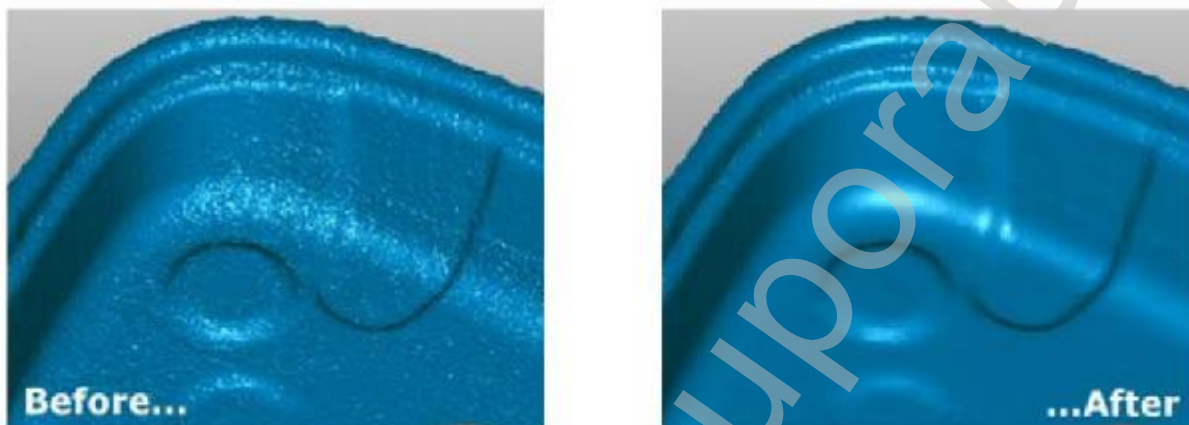
- q Iz oblaka točk > mreža (mrežni model) > triangulacija. Triangulacija poveže dano množico točk v konsistenten mrežni
- q verteksi (vozlišča) triangulacije so lahko originalne točke ali dodatne točke, imenovane Steiner-jeve točke, ki so vstavljene, da ustvarijo bolj optimalno mrežo.
- q zgrajena mreža poligonov navadno zahteva ročne popravke posameznih trikotnikov.
- q različne triangulacijske metode

38

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Zaključna obdelava

Ustvarjeni poligoni potrebujejo običajno še nekaj izpopolnitev – popraviti je potrebno nekatere nepopolnosti in napake na površini. Te operacije so v glavnem ročne, uredijo se lahko posamezni trikotniki ali popravijo večje površine. **Zapolnijo se luknje, uredijo robovi, uredijo poligoni**, reducira se lahko število trikotnikov, tako da oblika objekta ostane nespremenjena ali se z glajenjem **izločijo špice** na površini



Izločitev špic, šuma in slabih poligonov na trikotniškem modelu.

39

IZGRADNJA DIGITALNEGA 3D MODELA

Zaključna obdelava

Zapolnjevanje lukenj – **Zapolnijo se luknje**, tako da se vstavijo novi trikotniki.



Angel z luknjo na krilu:

- q izbrane so okoliške točke okoli luknje
- q dodane nove točke
- q rekonstruiran
- q dejanski model za primerjavo

40

FOTOGRAMetriJA

- q Prikaz kabine Shapify in primera 3D-tiskanih, fotorealističnih figuric



VIDEO