

Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka
REVERZIBILNO INŽENJERSTVO I BRZA IZRADA PROTOTIPA
U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

3D DIGITALIZACIJA
U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU
predavanje 3

Prof. dr Igor Budak

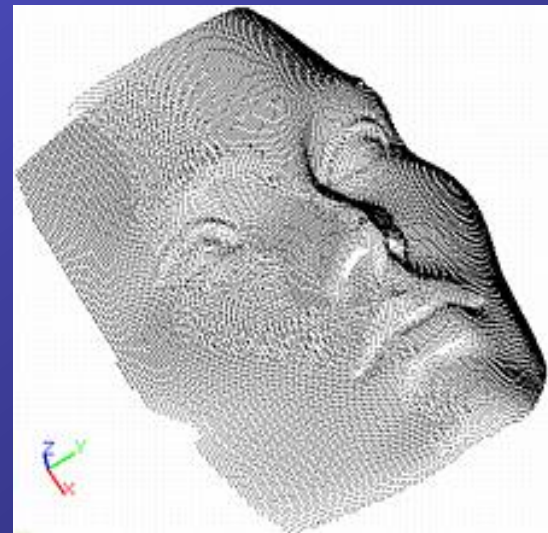
METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

3D digitalizacija

Prva faza procesa RE je 3D digitalizacija, u okviru koje se vrši akvizicija podataka u vidu koordinata tačaka sa površina objekta i njihovo prevođenje u digitalni oblik, odakle i potiče termin 3D digitalizacija.

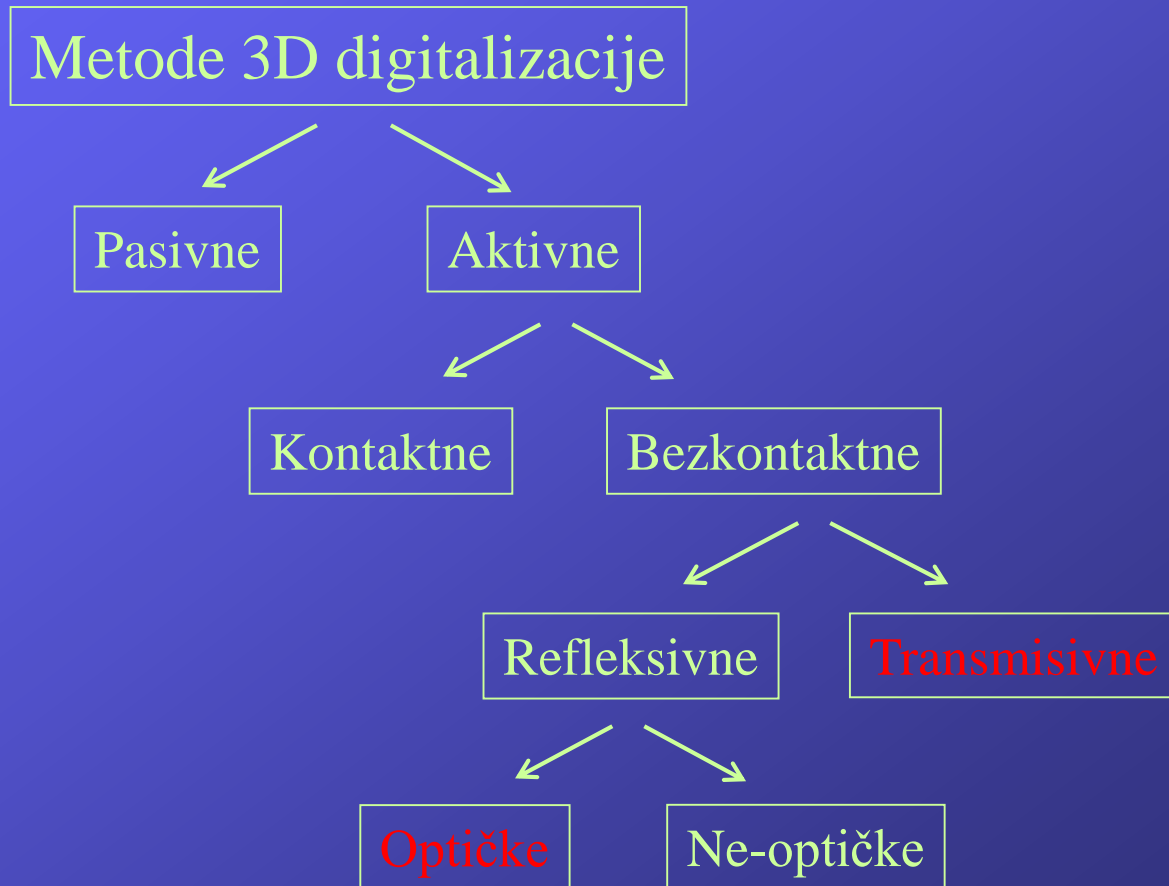
3D digitalizacija, odnosno skeniranje, kako se još naziva, je prva i nezaobilazna faza, koja se smatra krucijalnom u procesu RE, s obzirom da, u najvećem broju slučajeva određuje kvalitet rezultujućeg 3D modela.

Rezultat 3D digitalizacije je skup tačaka, koji se često u literaturi, zbog oblika koji zauzima u prostoru, naziva - *oblak tačaka*.



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

3D digitalizacija



Kontaktne metode, kao što i sam naziv sugeriše, karacteriše kontakt objekta i senzora koji je ovde tipično merni pipak.

Kontaktne metode 3D digitalizacije

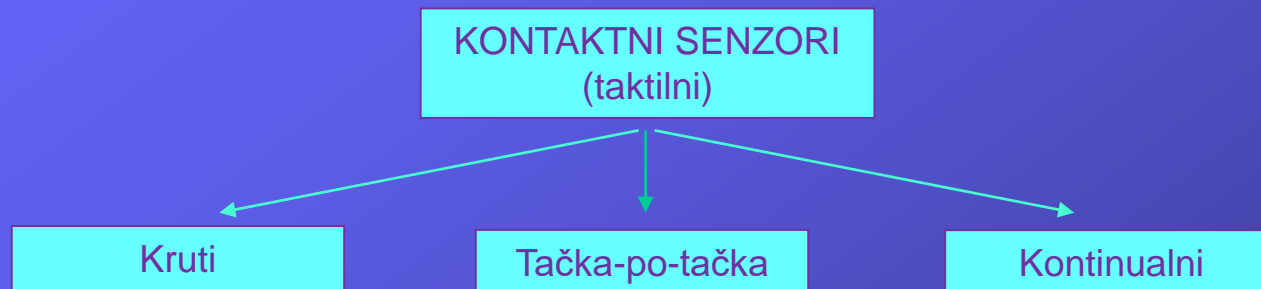
Koordinatne merne mašine (KMM)



Zglobne merne ruke



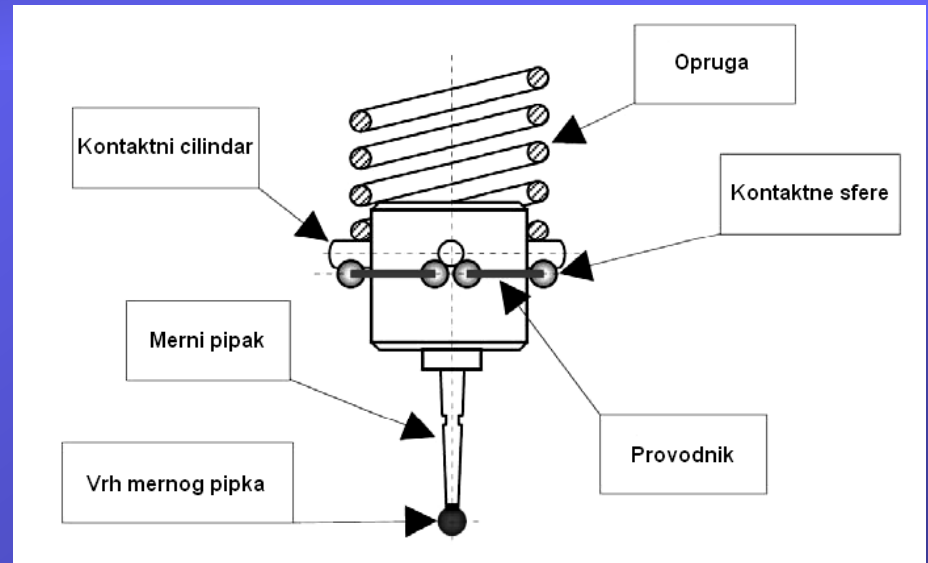
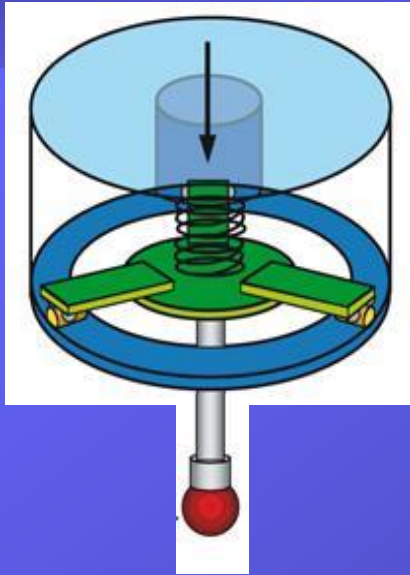
KMM - kontaktni senzori



„Tačka-po-tačka“ senzori se nazivaju i „okidački“ (eng. trigger probes) zato što generišu električni signal kada dođu u fizički kontakt sa mernim predmetom.

Ovaj signal se koristi za zaustavljanje svih kretanja mašine i snimanje koordinata centra pipka od strane mernog sistema KMM.

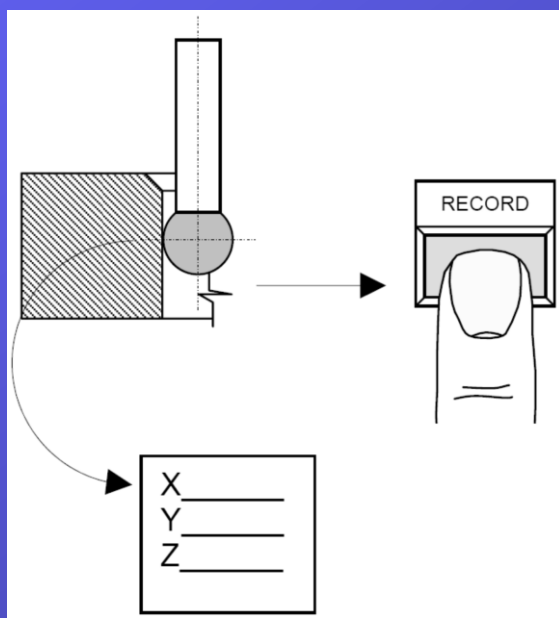
„Tačka-po-tačka“ senzori



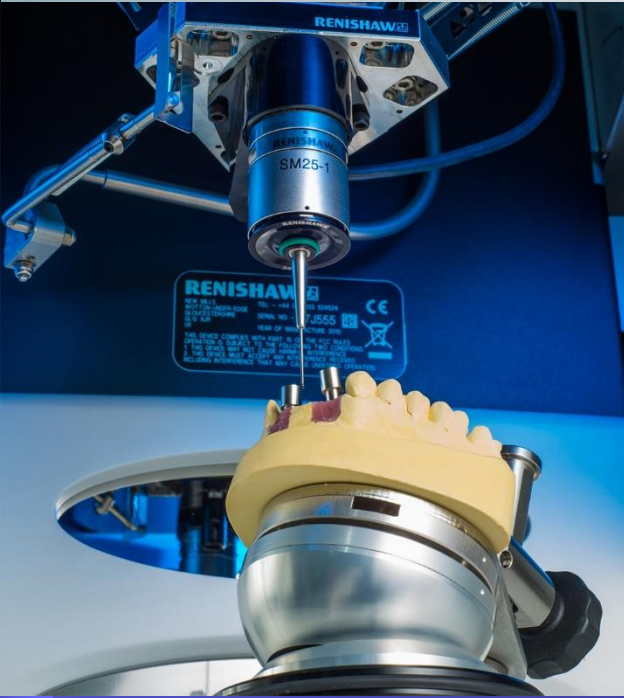
Zglobne merne ruke - kruti senzori

Akvizicija podataka je manualna - operater pritiskom na taster (ili papučicu) daje signal softverskoj podršci da memoriše koordinate trenutne pozicije senzora.

Princip merenja je zasnovan na trigonometrijskom izračunavanju pozicije mernog senzora preko (opto-elektronskih) senzora položaja u zglobovima, koji daju informaciju o uglovima zakretanja segmenata, koja se zatim transformiše u x, y i z koordinate.



Renishaw DS10





“Procera Forte”

Refleksivne metode za 3D digitalizaciju

```
graph TD; A[Refleksivne metode za 3D digitalizaciju] --> B[Optičke]; A --> C[Ne-optičke];
```

Optičke

Ne-optičke

Princip: Projektovanje signala određene vrste na predmet 3D digitalizacije i detektovanje reflektovane informacije sa tog predmeta.

Optičke metode za 3D digitalizaciju

```
graph TD; A[Optičke metode za 3D digitalizaciju] --> B[Triangulacija]; A --> C[Interferometrija]; A --> D[Aktivna stereovizija]; A --> E[Aktivno (de)fokusiranje]; A --> F[Optički radar];
```

Triangulacija

Interferometrija

Aktivna stereovizija

Aktivno (de)fokusiranje

Optički radar

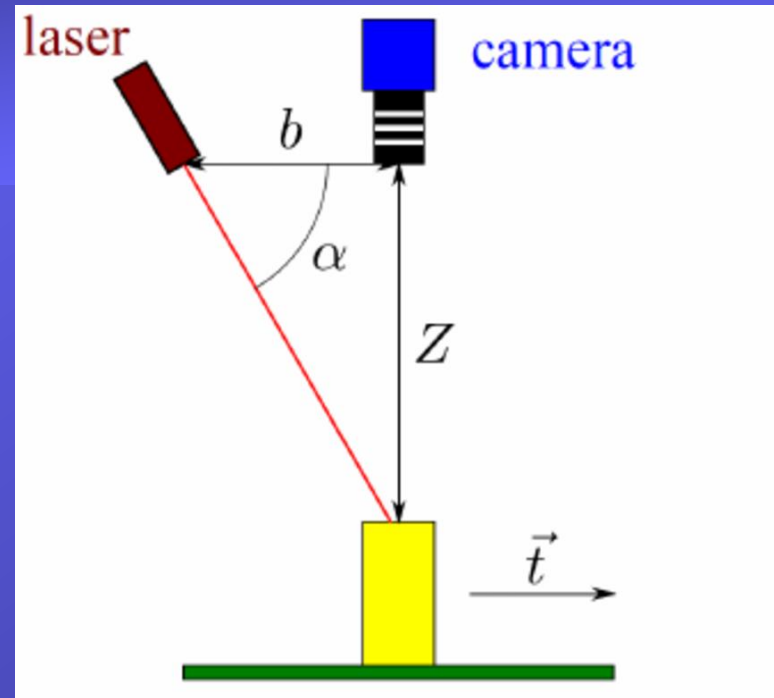
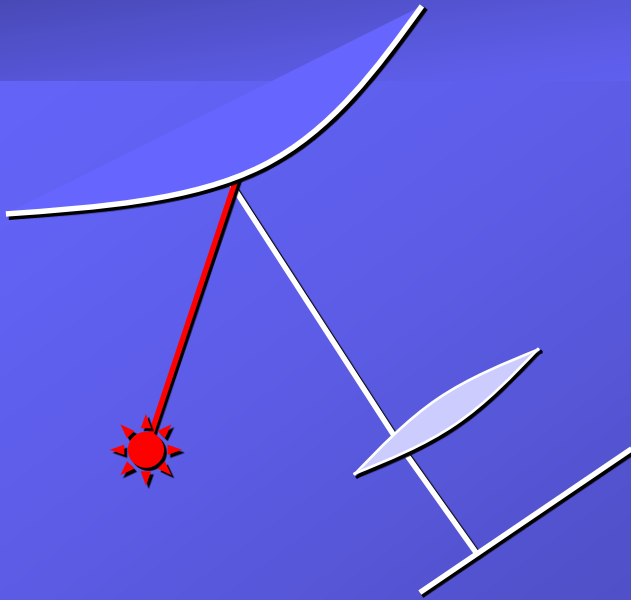
Triangulacija

Laserska

Strukturiranom svetlošću

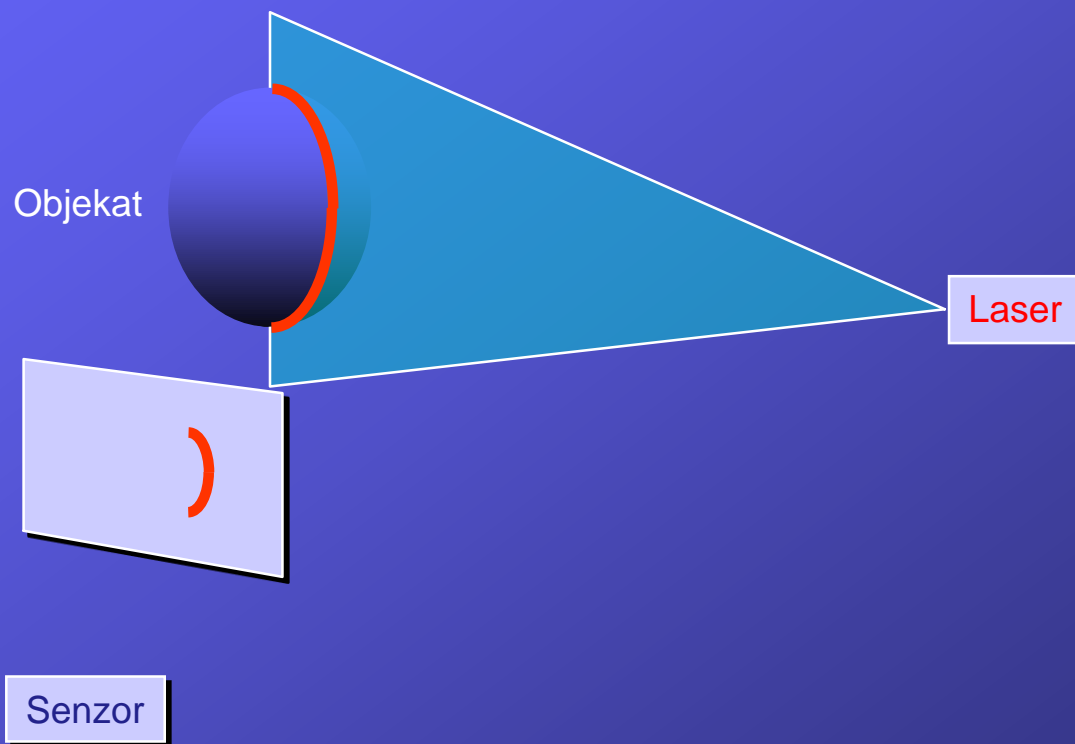


Laserska (tačkasta) triangulacija



- Triangulacija je metoda koja na osnovu lokacije i uglova između izvora svetlosti i foto-osetljivog senzora (CCD) određuje poziciju.
- Izvor svetlosti visoke energije se fokusira i projektuje pod prethodno određenim uglom na željenu površinu.
- Foto-osetljivi senzor prikuplja refleksiju sa površine, a zatim se geometrijskom triangulacijom na osnovu poznatih rastojanja i uglova izračunava pozicija tačke na površini relativno u odnosu na referentnu ravan.

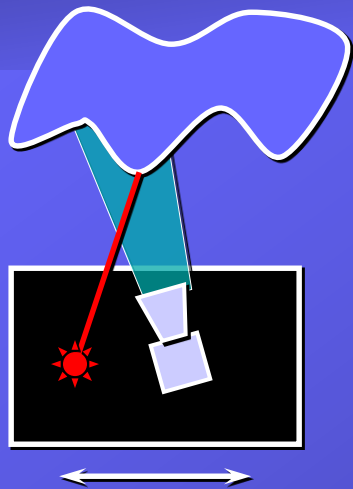
Laserska linijska triangulacija

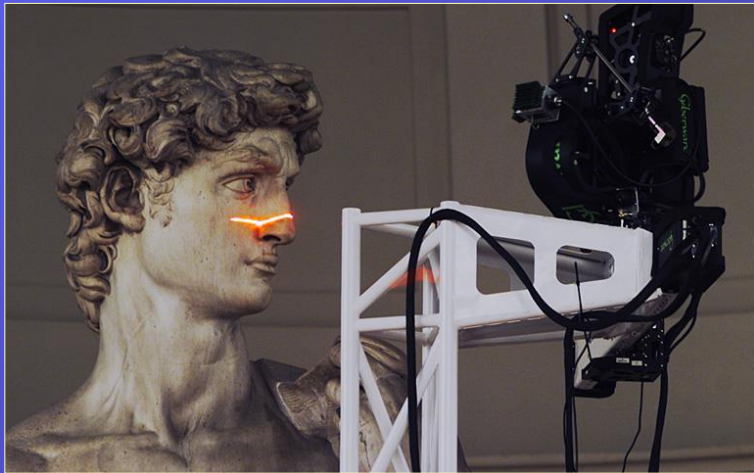
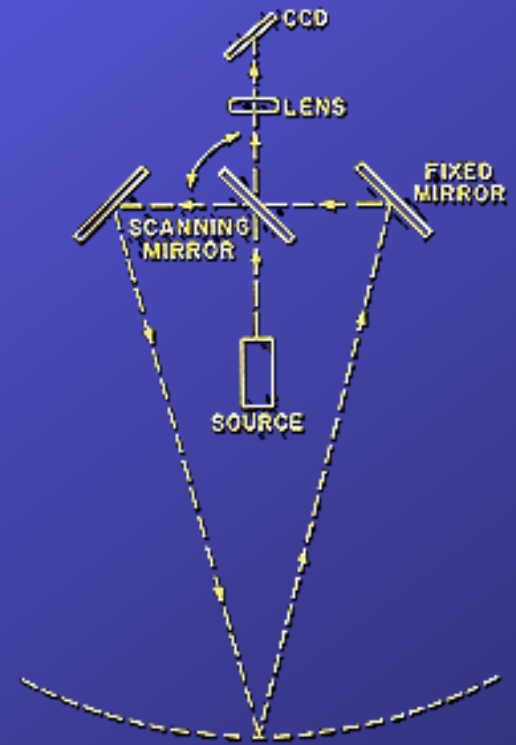
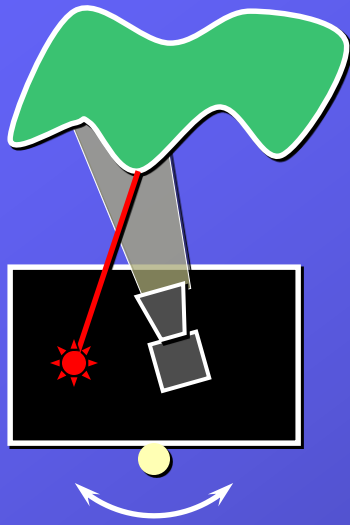


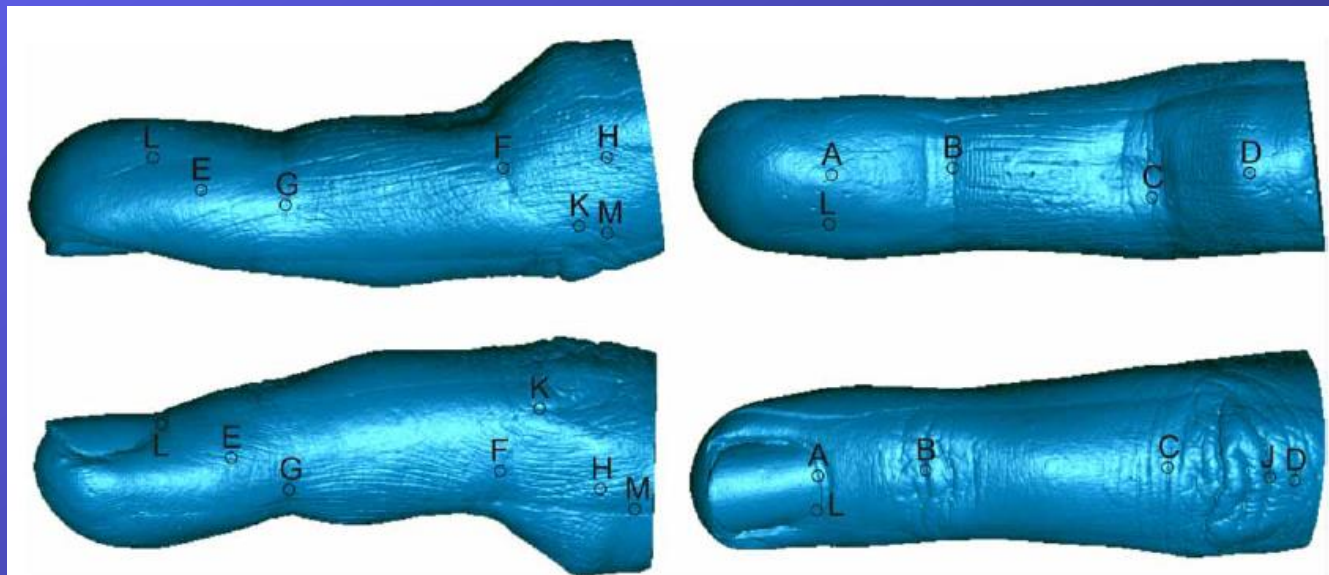
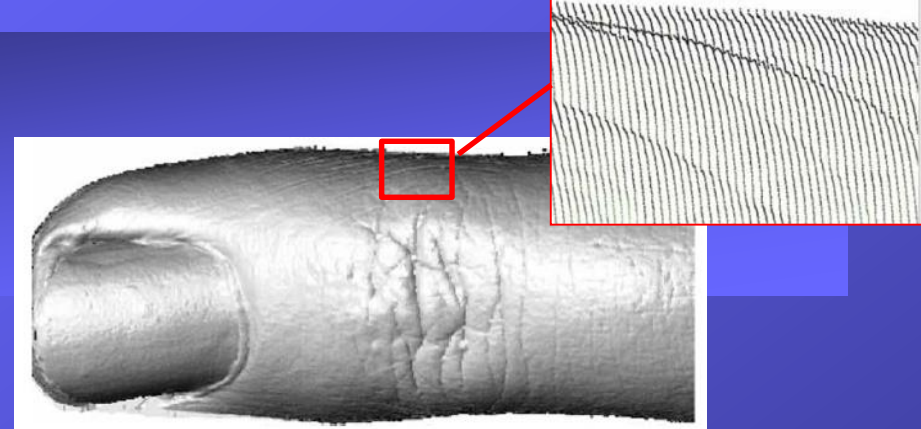
Metode skeniranja:

Metoda skeniranja je takođe bitna karakteristika sistema za triangulaciju i predstavlja stvar izbora. Razlikuje se nekoliko metoda, kod kojih je osnovna razlika u odnosu kretanja objekta i sistema:

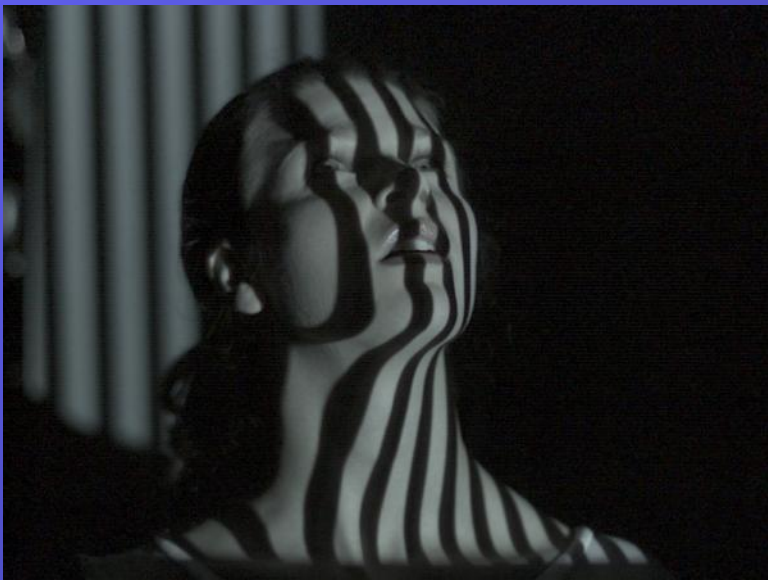
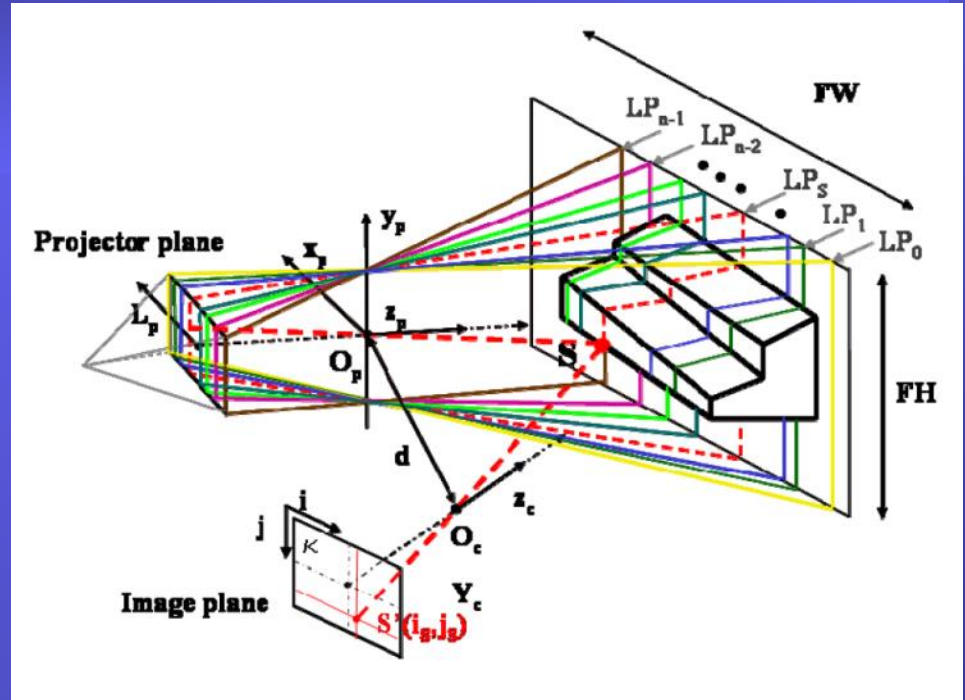
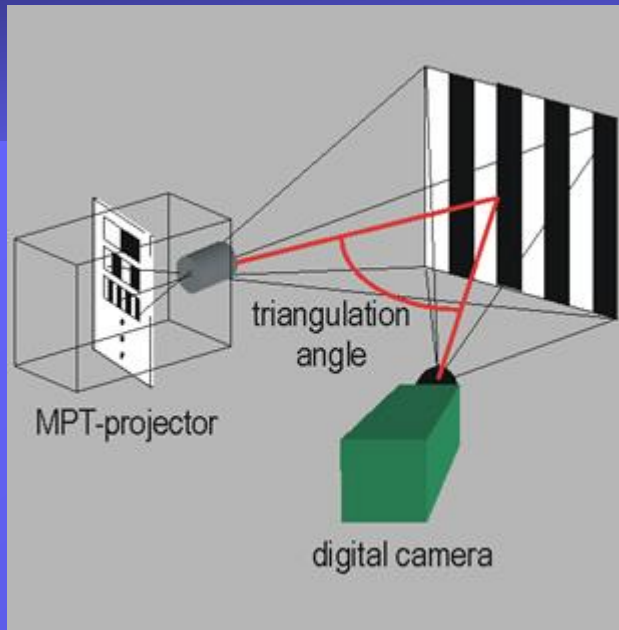
- ✓ Metoda kod koje je skener (svetlosni izvor i senzor) stacionaran, dok se platforma (koja nosi objekat) kreće translatorno i rotaciono u okviru vidnog polja;
- ✓ Metoda sa stacionarnim objektom i pokretnim skenerom;
- ✓ Metoda kod koje su i objekat i skener nepokretni, a rotirajuća ogledala usmeravaju svetlosni izvor i senzor preko objekta (ovde je bitno da senzor bude sinhronizovan sa svetlosnim izvorom).







Triangulacija strukturiranom svetlošću

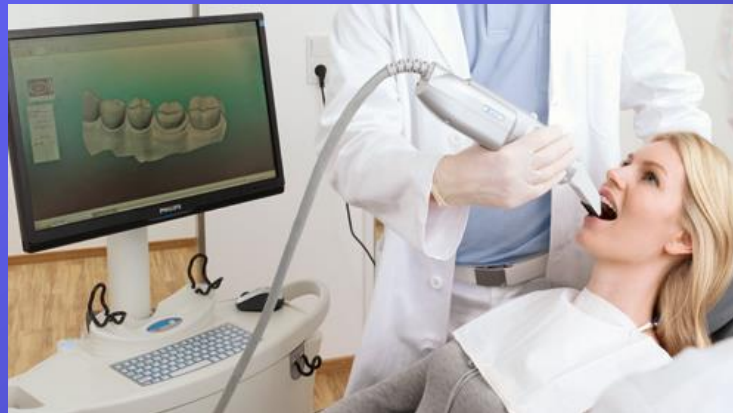




INTRAORALNI SISTEMI ZA 3D-DIGITALIZACIJU

Intraoralni skener
CADENT iTero®

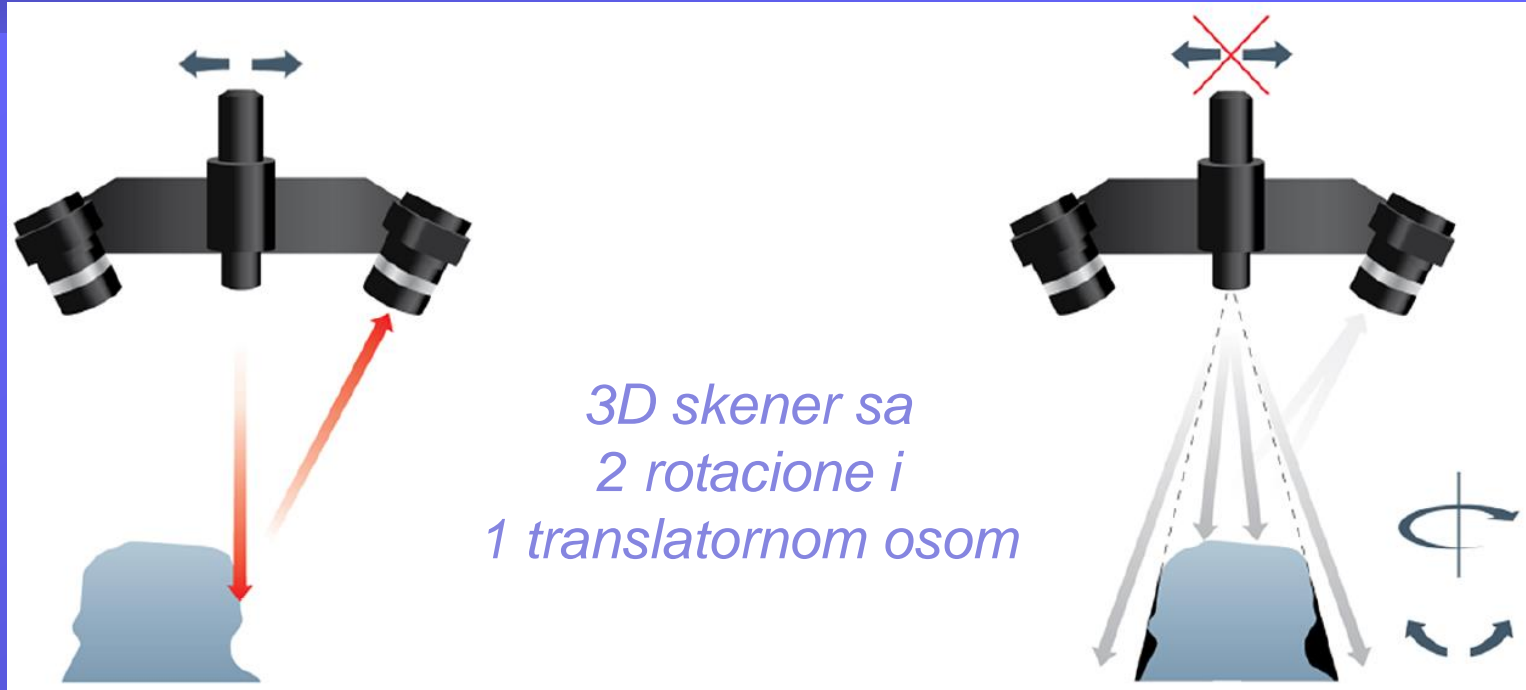
>>>



<<<

CEREC-Connect-Blue-LED

LINIJSKO I POVRŠINSKO SKENIRANJE



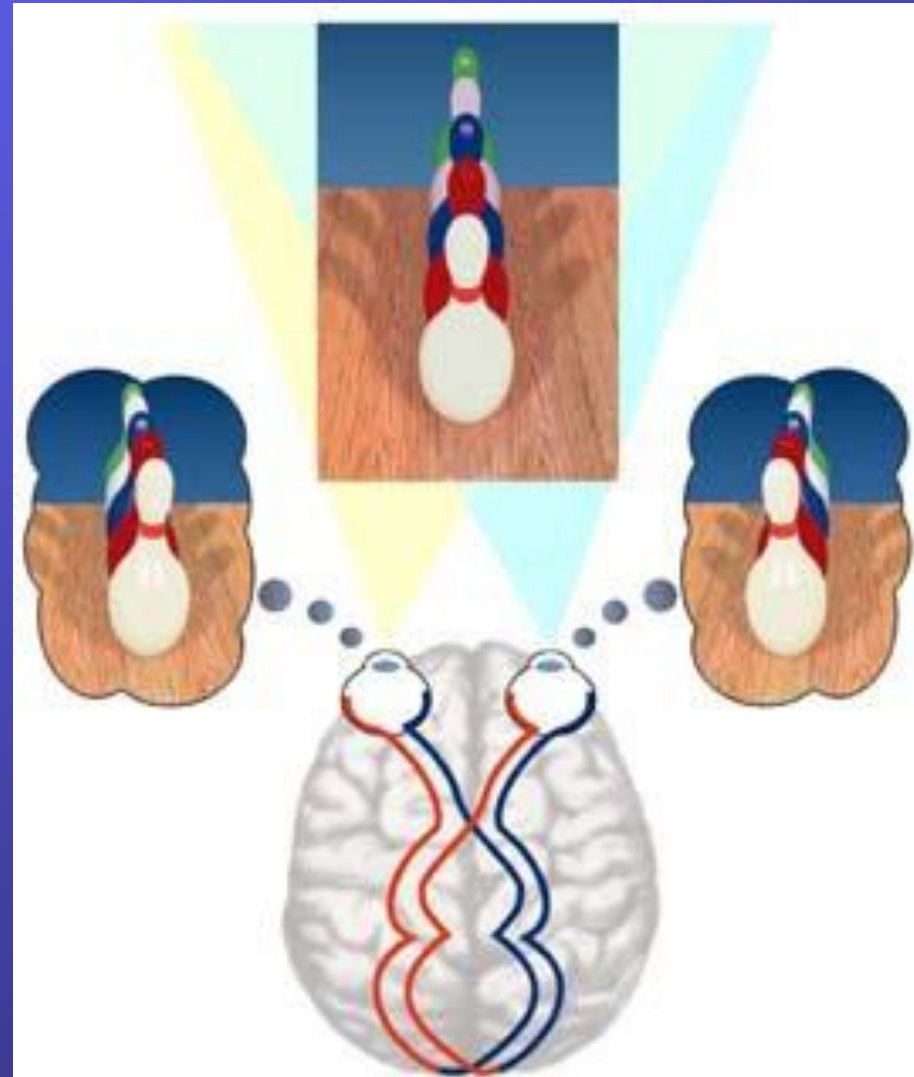
Laser generiše svetlosnu liniju koja se translatorno pomera preko objekta

Izvor bele svetlosti generiše multiplicirane svetlosne linije pokrivajući iz jedinstvene pozicije ceo objekat

Fotogrametrija kao metoda stereovizije

Stereovizijski princip:

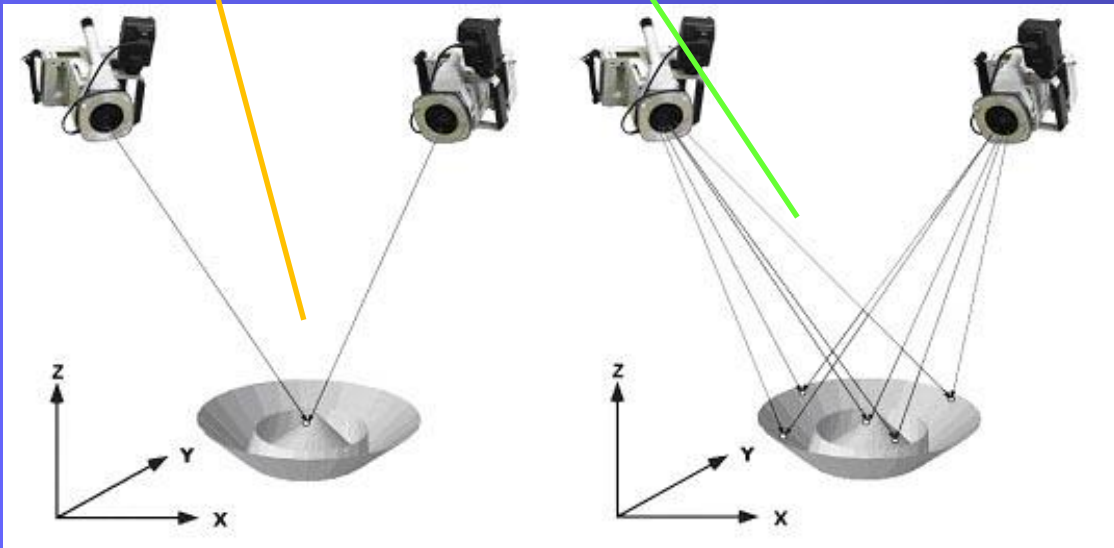
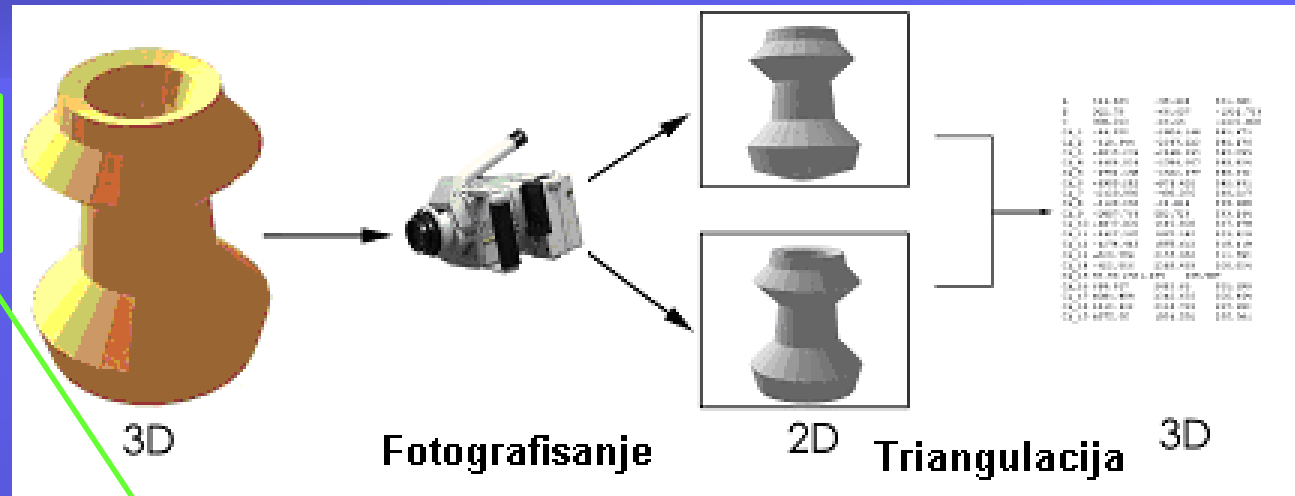
Projektovanje dve slike istog objekta, snimljene pod različitim uglovima, omogućuje stvaranje efekta treće dimenzije, tj. dubine.



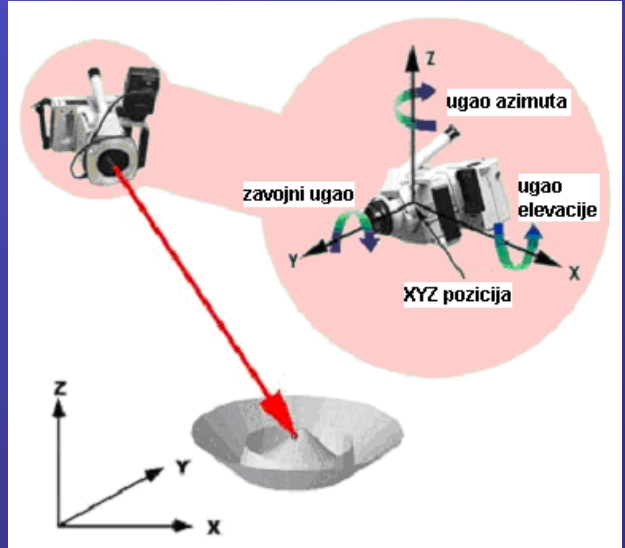
Princip stereovizijske fotogrametrije

Izračunavanje udaljenosti **dodatnih** tačaka

Izračunavanje udaljenosti **referentnih** tačaka

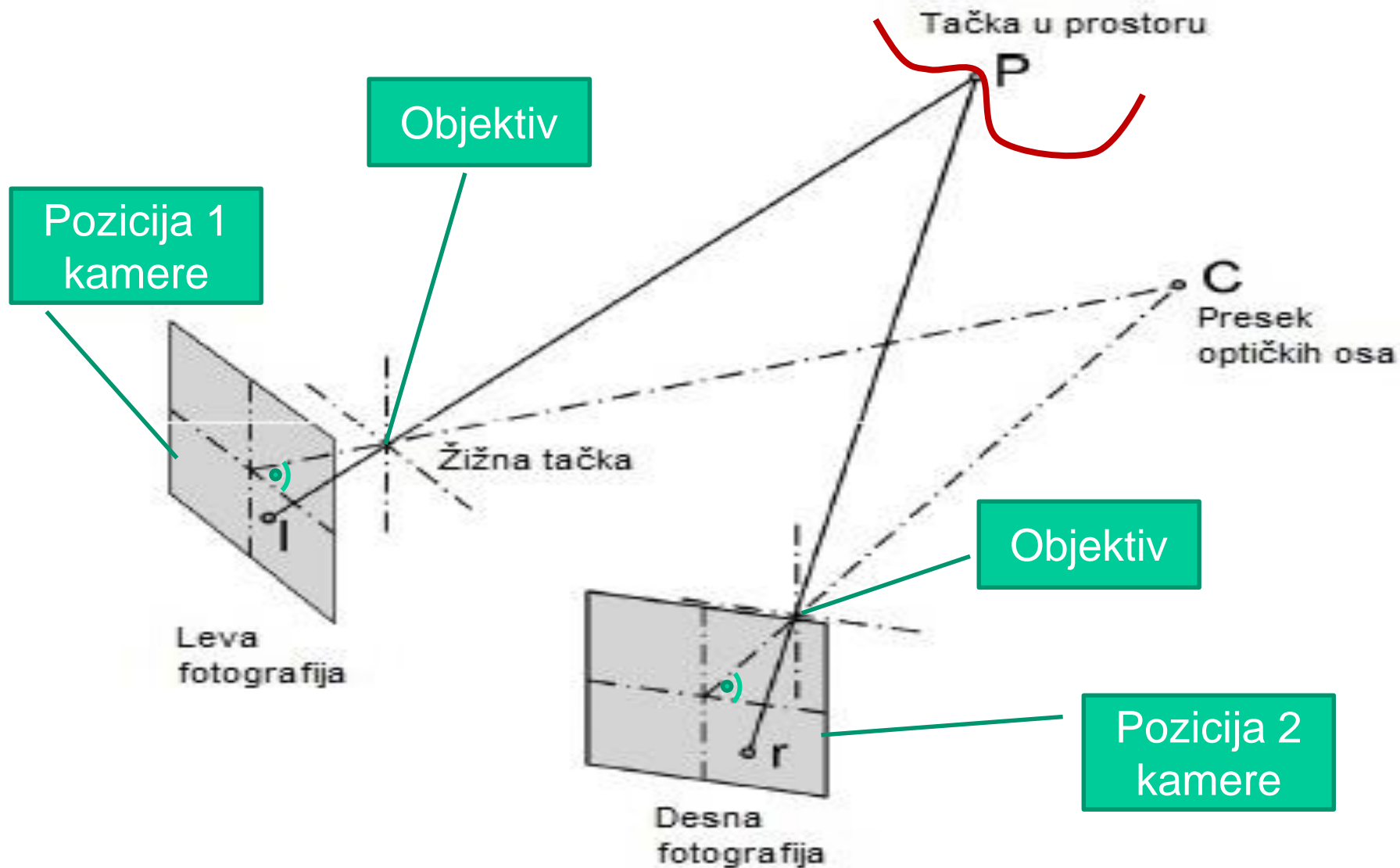


Princip triangulacije kod stereovizije

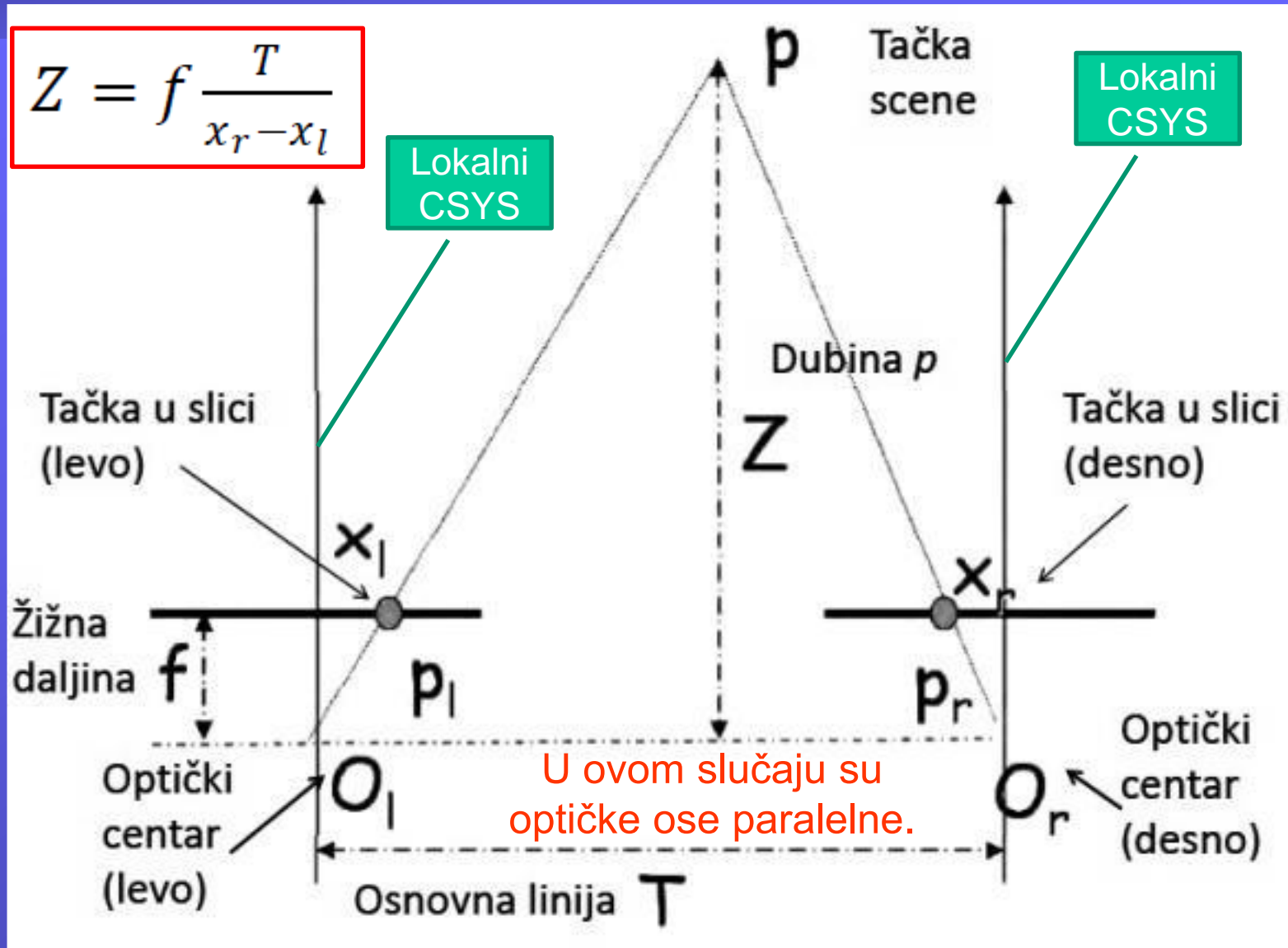


Parametri kamere

Princip stereovizijske fotogrametrije



Princip stereovizijske fotogrametrije



Uticajni faktori na tačnost fotogrametrije

1. Veličina objekta koji se digitalizuje
2. Broj (parova) fotografija
3. Višestruka pokrivenost objekta - preklapanje fotografija (isti delovi objekta vidljivi na 2 i više fotografija)
4. Rezolucija fotografija

Uticajni faktori na tačnost fotogrametrije

Fotogrametrijska piramida tačnosti



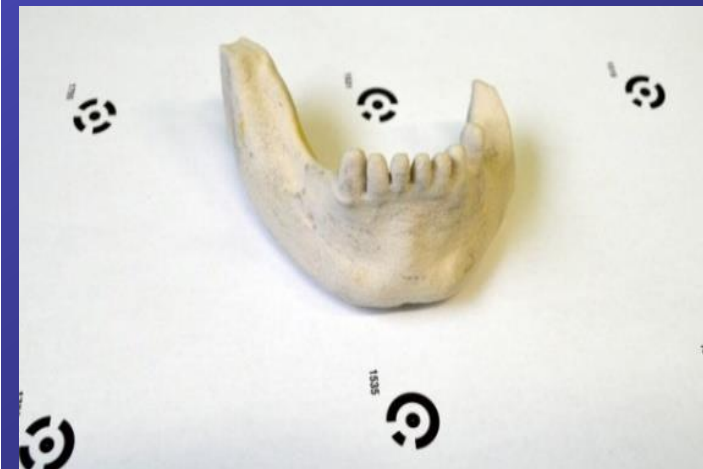
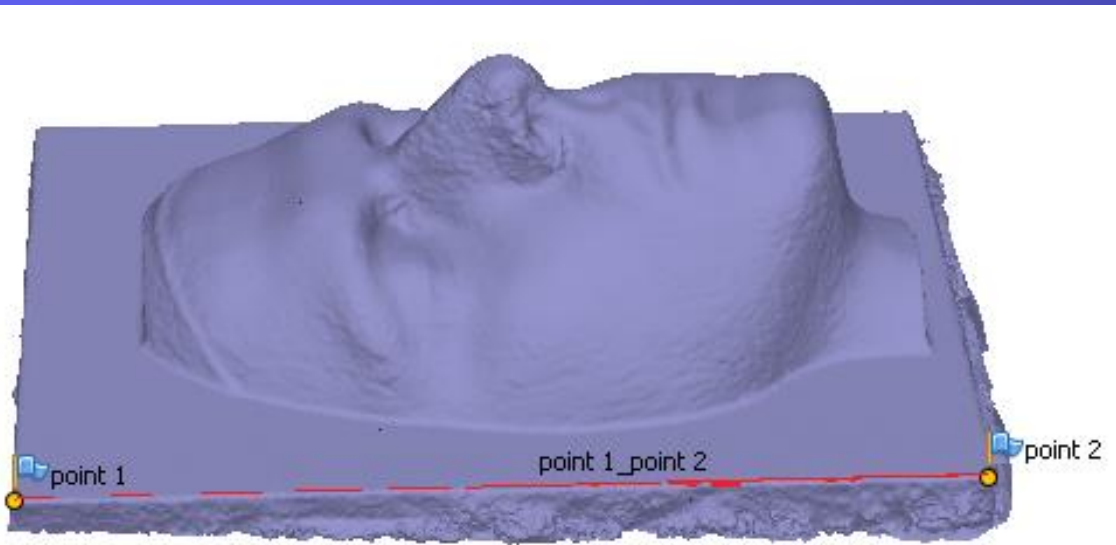
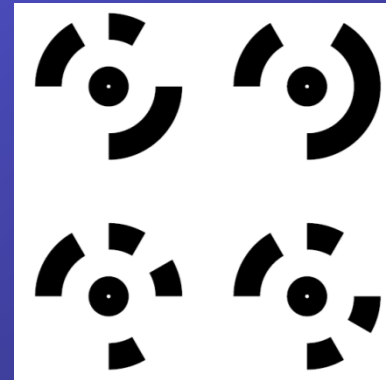
Piramida tačnosti



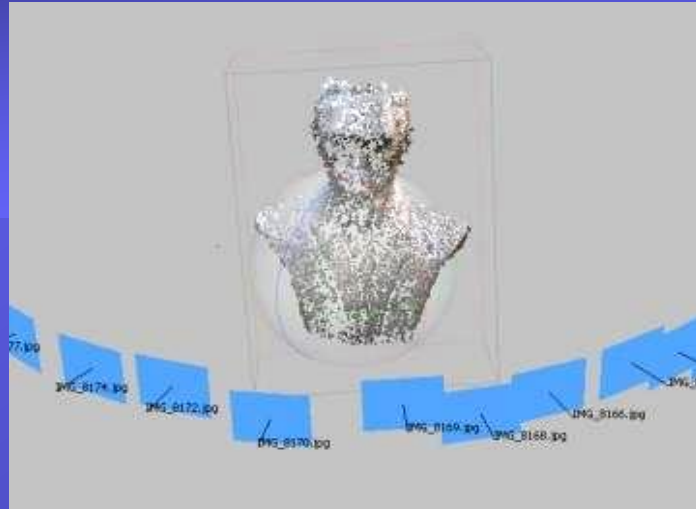
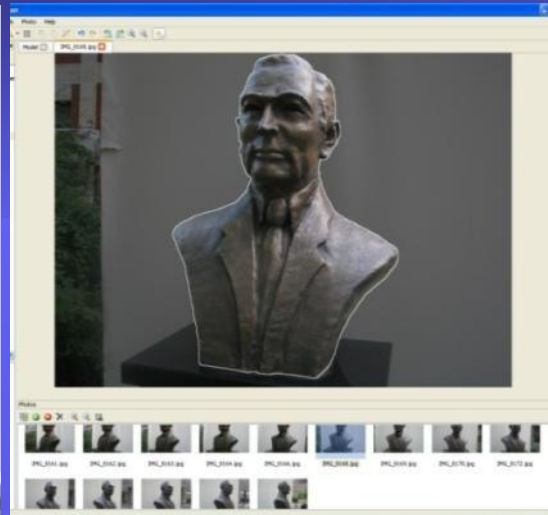
Skaliranje modela

Dva pristupa za skaliranje (dimenzionisanje) 3D modela:

- 1) preko dimenzionisanih obeležja na predmetu i
- 2) pomoću kodiranih markera.

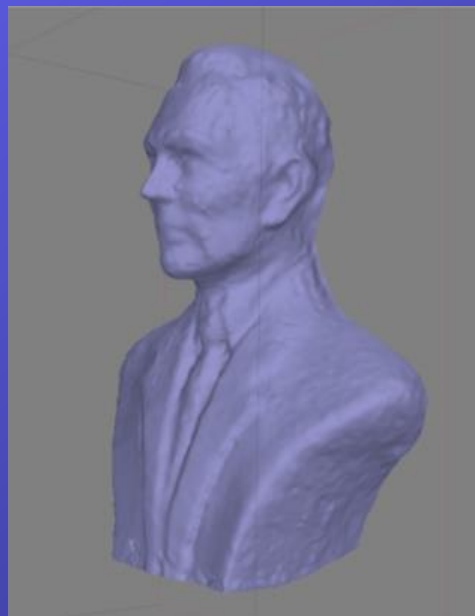


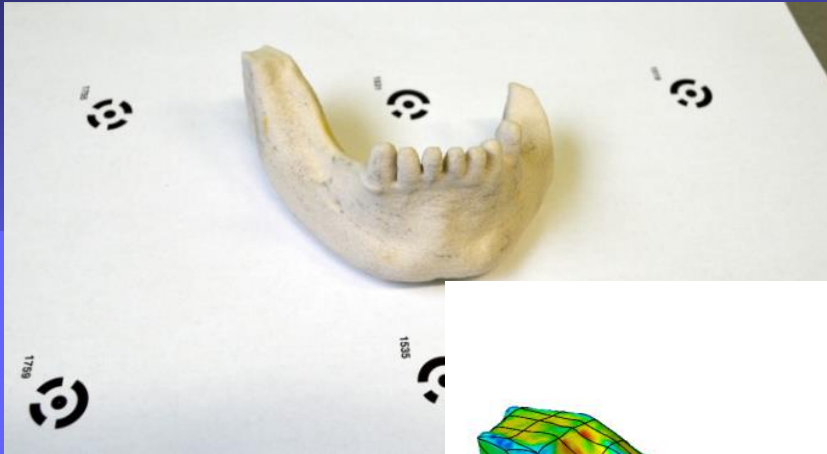




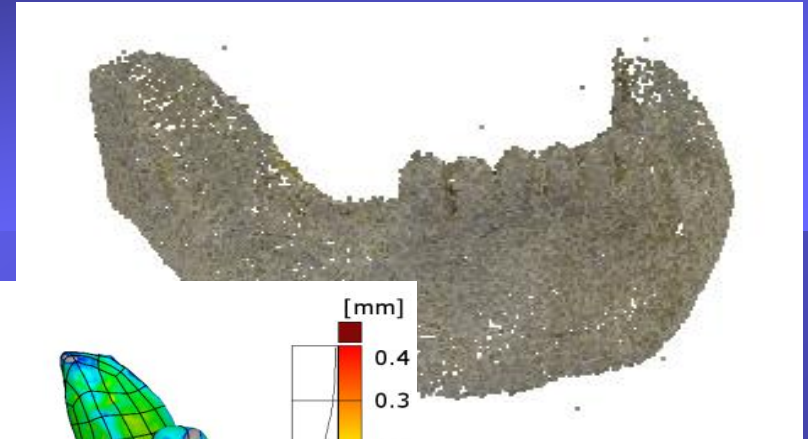
3D model sa teksturom >>>

3D model>>>

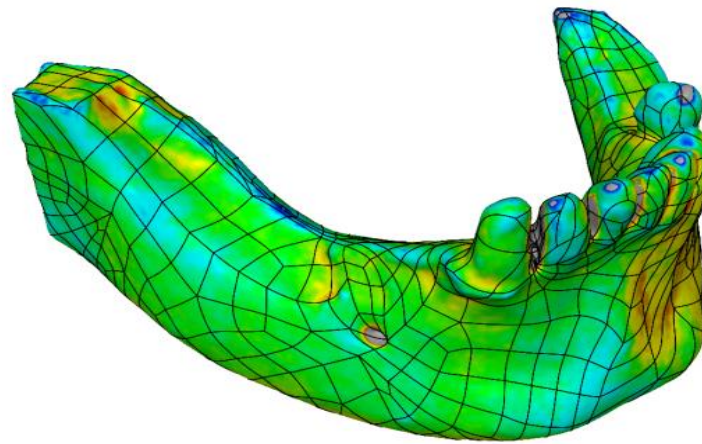




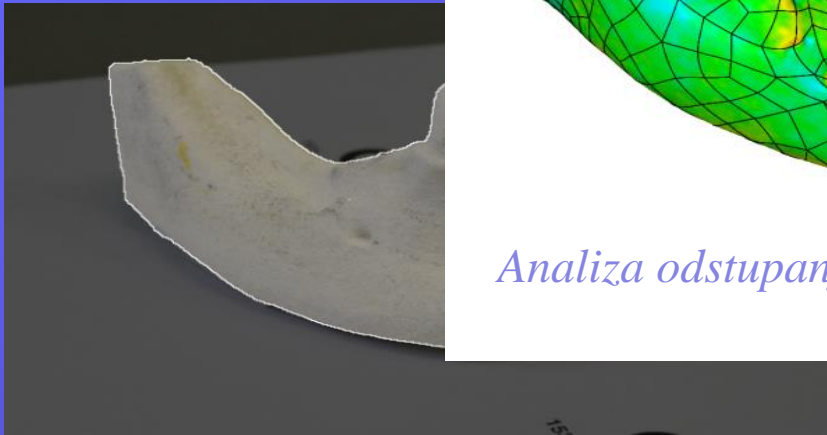
Model ljudske vilice postavljene u model



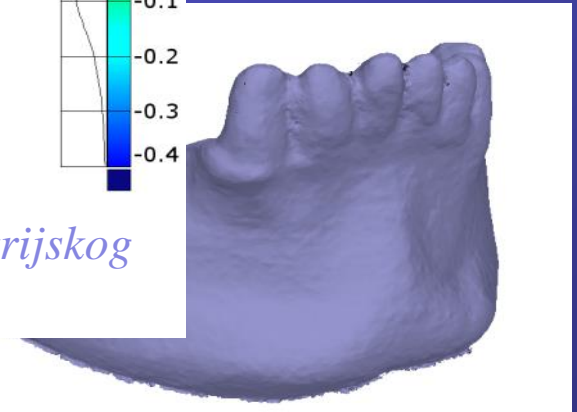
Rezultat poravnavanja fotografija



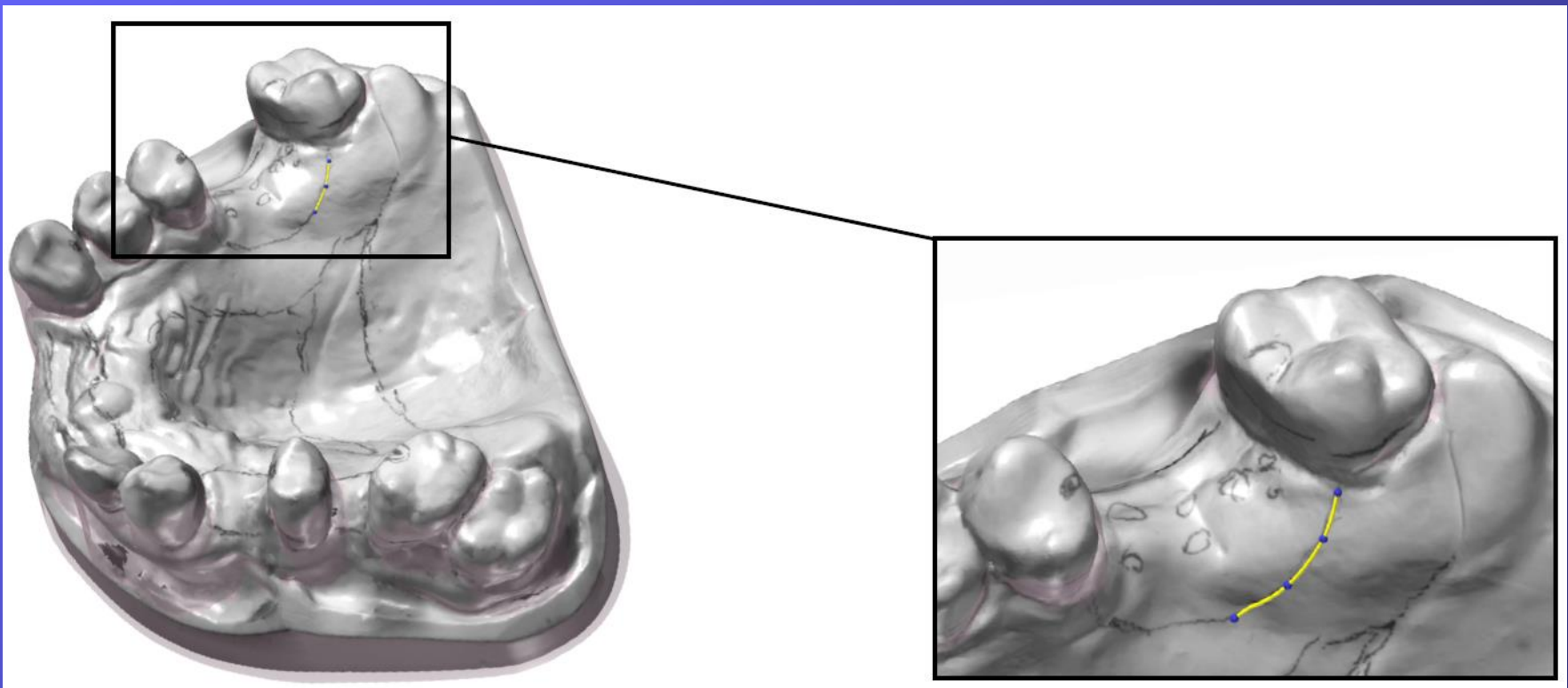
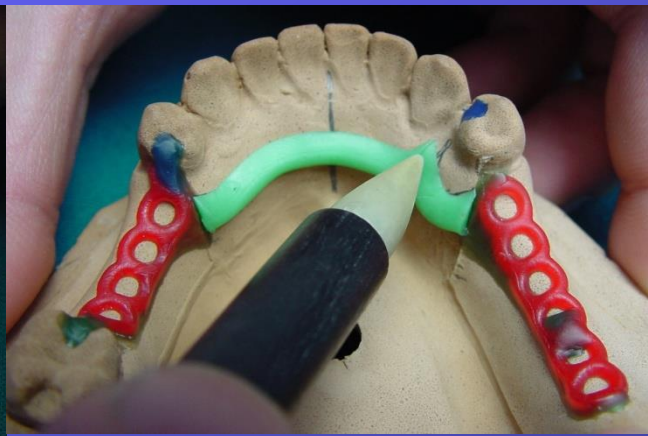
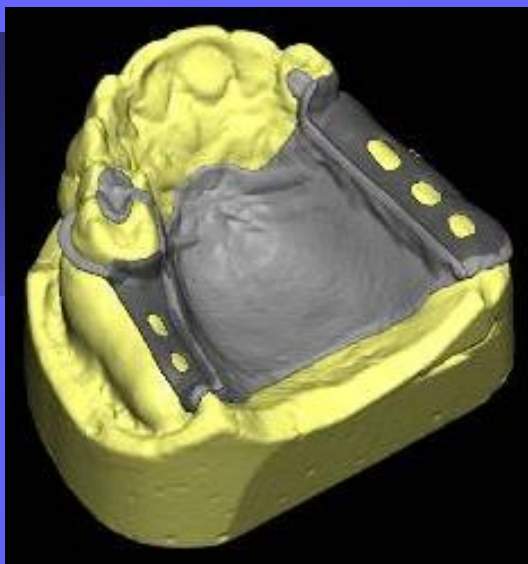
Analiza odstupanja CT i fotogrametrijskog modela



Primer dobro kreirane maske



3D model kreiran fotogrametrijskom metodom



Acquisition



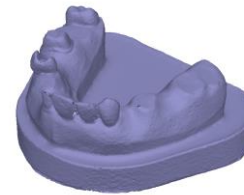
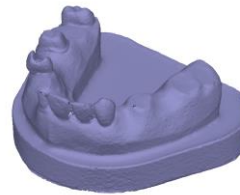
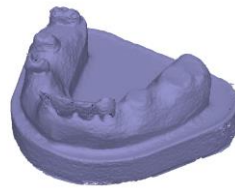
Without pattern

Random pattern

Wavelet pattern



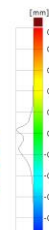
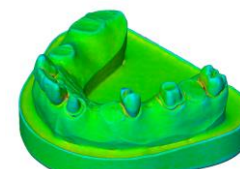
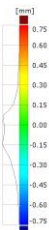
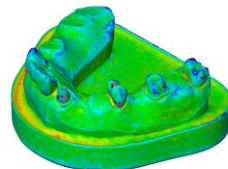
3D models generation

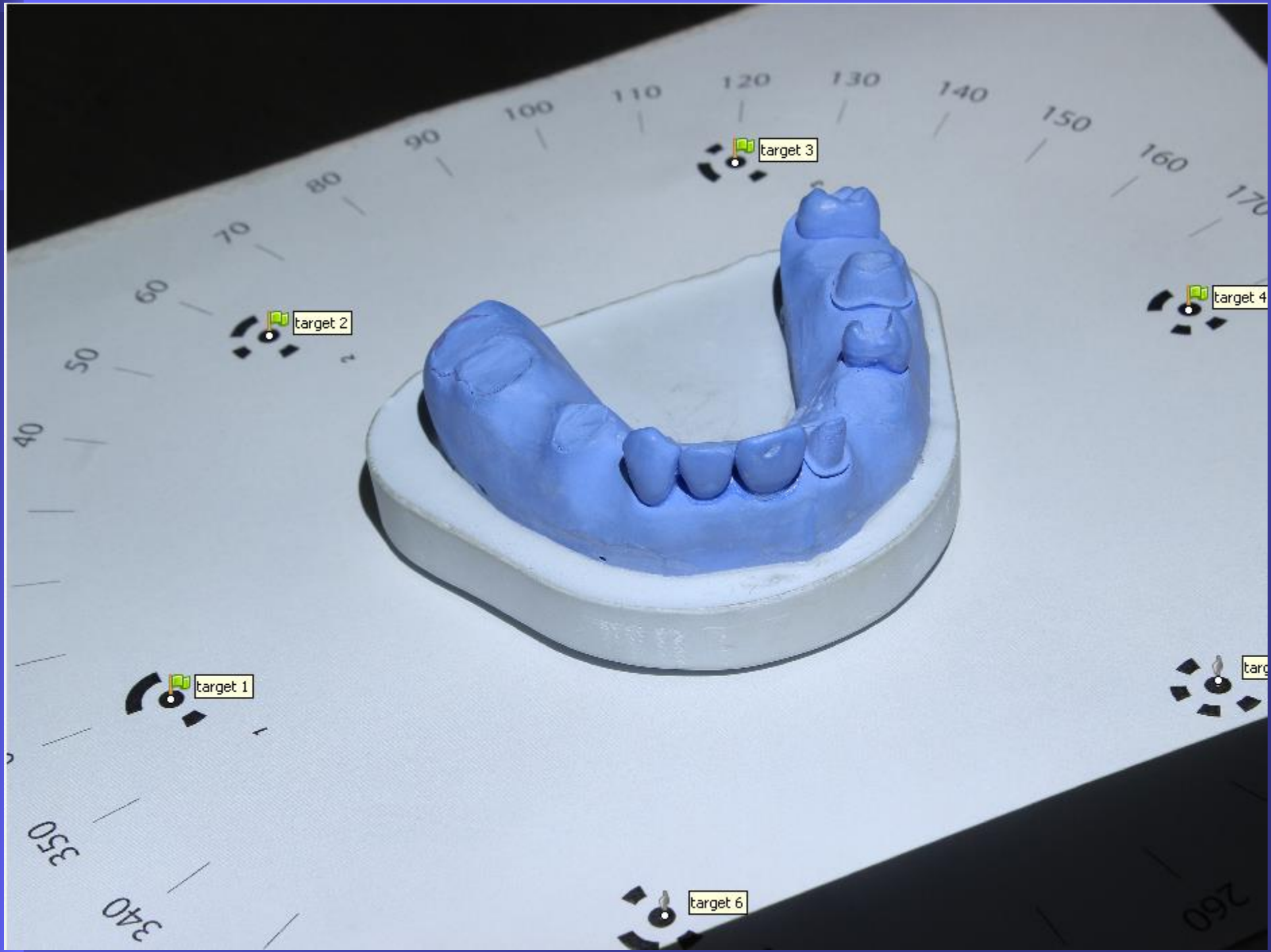


Nominal 3D model



CAD inspection





target 2

target 3

target 4

target 1

target 5

target 6

40

50

60

70

80

90

100

110

120

130

140

150

160

170

350

340

260

