

Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka

**REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN**  
Laserska 3D digitalizacija

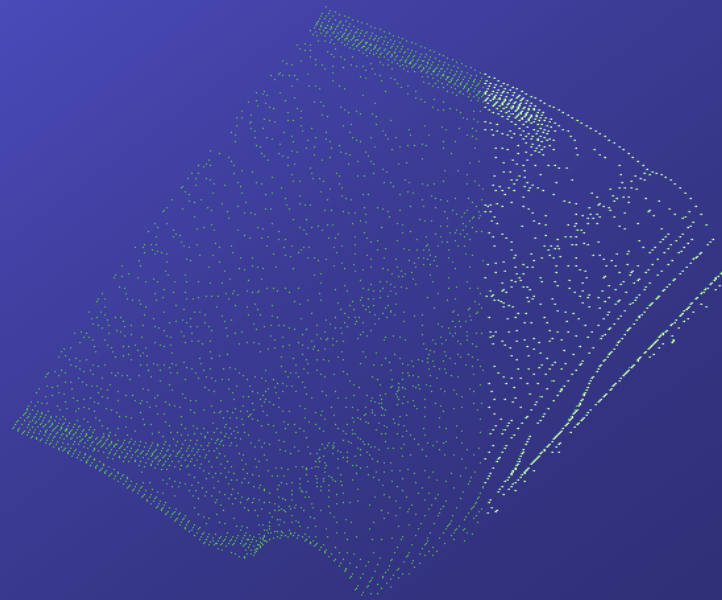
# METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

## 3D digitalizacija

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

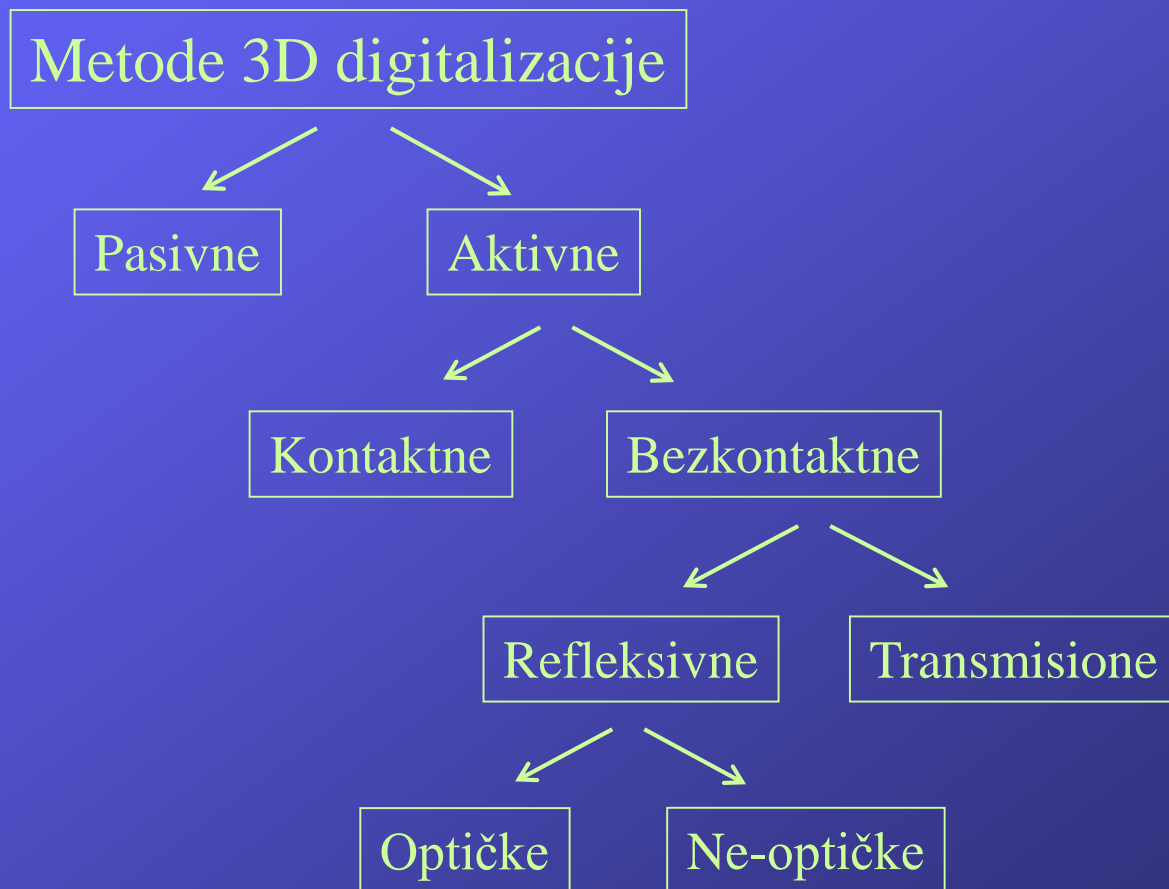
3D digitalizacija, odnosno akvizicija podataka ili skeniranje, kako se još naziva, je prva i nezaobilazna faza, koja se smatra ključnom u procesu RE, s obzirom da, u najvećem broju slučajeva određuje kvalitet rezultujućeg CAD modela.

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



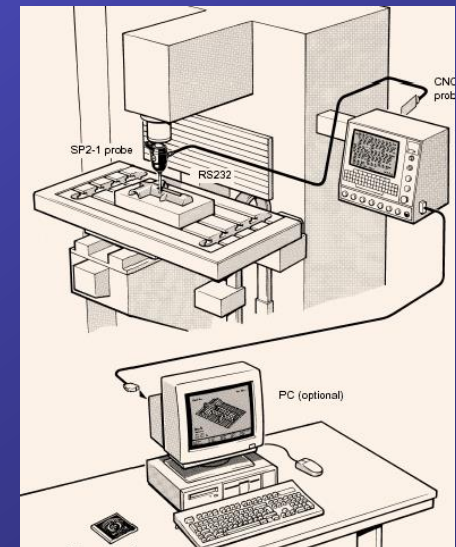
Kontaktne metode, kao što i sam naziv sugeriše, karakteriše kontakt objekta i senzora, koji je ovde tipično merni pipak.

## Kontaktne metode 3D digitalizacije

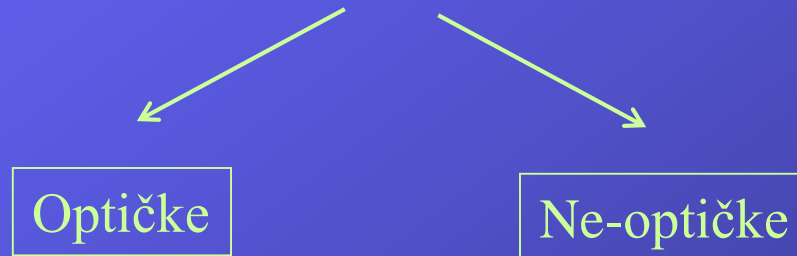
KMM (NUMM)

3D zglobne merne ruke

Marni senzor na NUMA



## Refleksivne metode 3D digitalizacije



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

## Optičke metode 3D digitalizacije

```
graph TD; A[Optičke metode 3D digitalizacije] --> 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 svetlost

Strukturirana (bela) svetlost

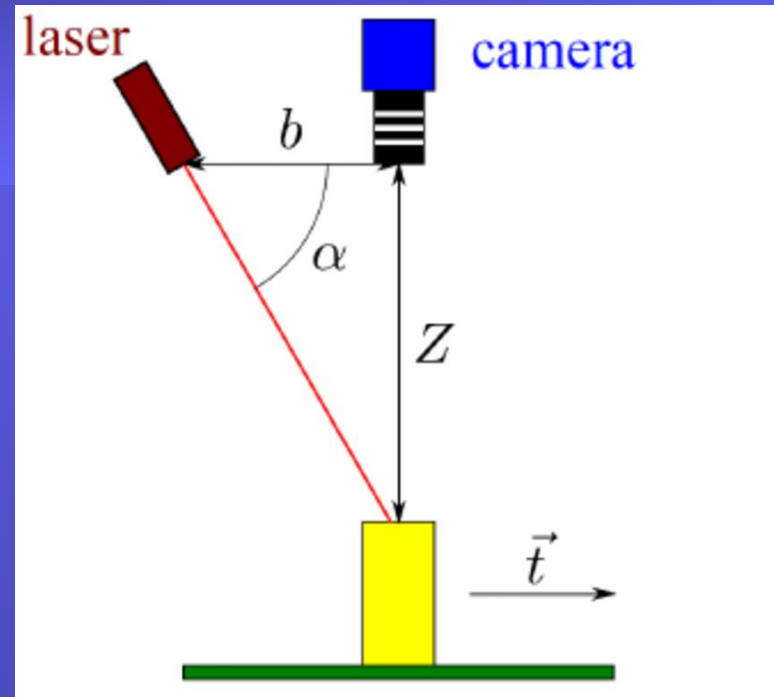
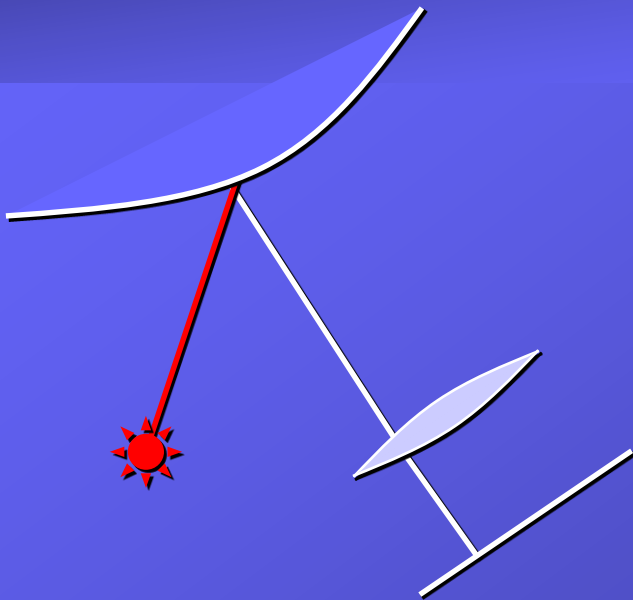


Laserski triangulacioni skener  
*Cyberware MS 3030*



Triangulacioni skener na bazi strukturirane  
svetlosti *COMET Steinbichler*

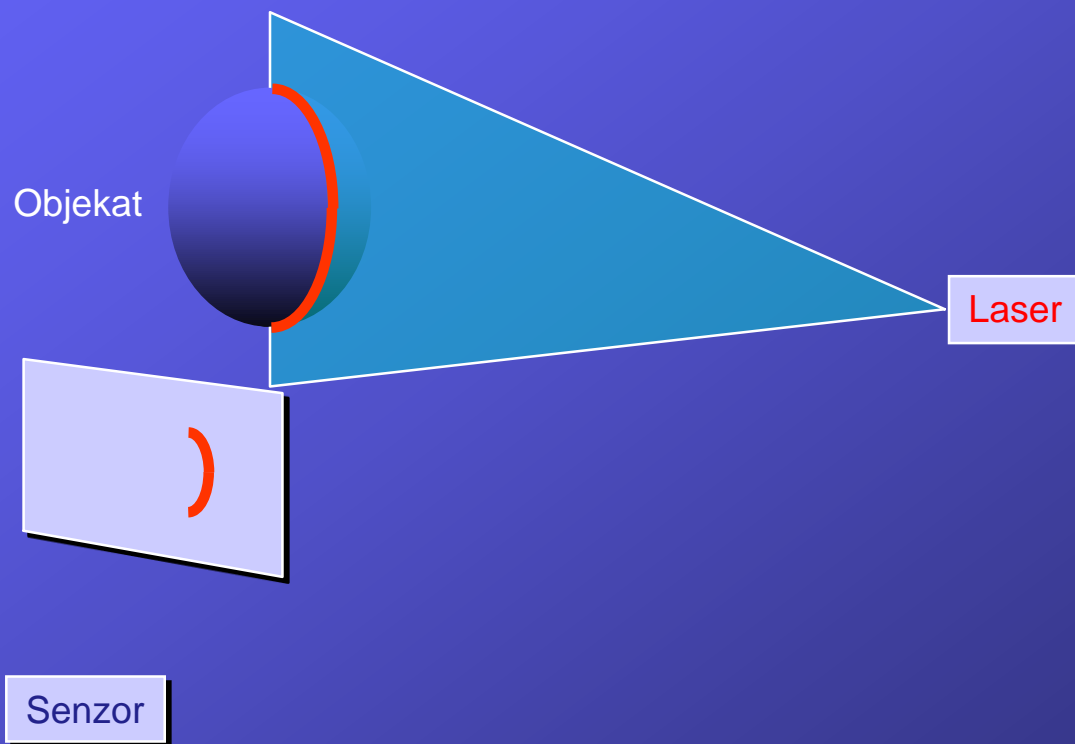
## Laserska (tačkasta) triangulacija



- 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

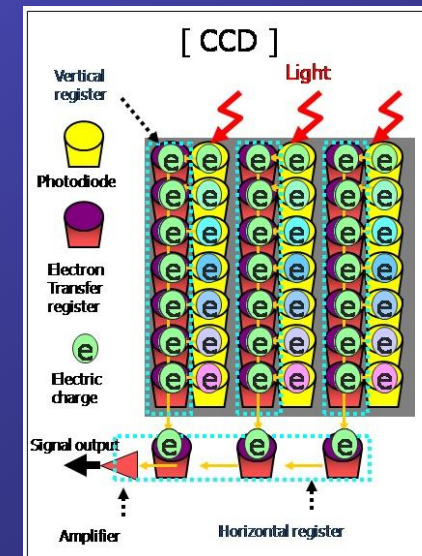
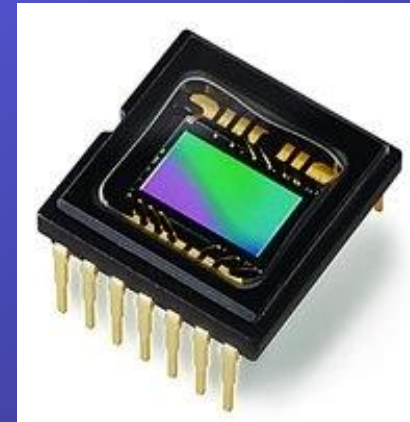


## *Foto-osetljivi senzori za optičku triangulaciju*

Senzori u sistemima za optičku triangulaciju se javljaju u različitim oblicima koji se mogu svrstati u jedan od sledećih tipova:

- ✓ *nulto-dimenzionalni senzori* (tačkasti): fotodiode
- ✓ *jedno-dimenzionalni senzori* (linijski): fotodiode sa lateralnim efektom, linearni CCD niz.
- ✓ *dvo-dimenzionalni senzori*: najčešće je to 2D niz CCD senzora

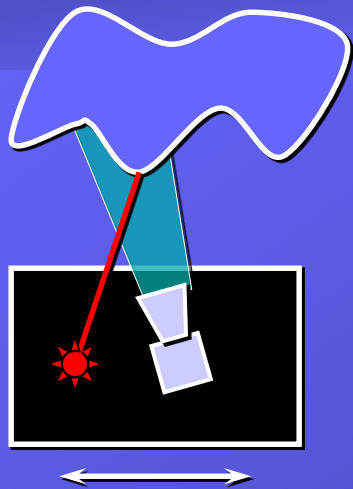
Kod jedno-tačkastog svetlosnog izvora primenjuju se prve dve vrste senzora, dok kada su u pitanju jedno- i više-linijski, kao i više-tačkasti sistemi, primenjuje se treća vrsta senzora, s tim da je moguće primeniti i prve dve vrste, ali je tada neophodno skeniranje tih senzora da bi se obezbedile dodatne dimenzije.

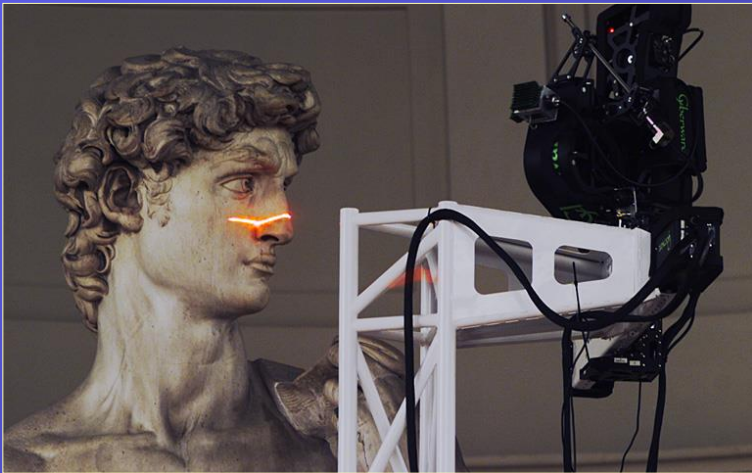
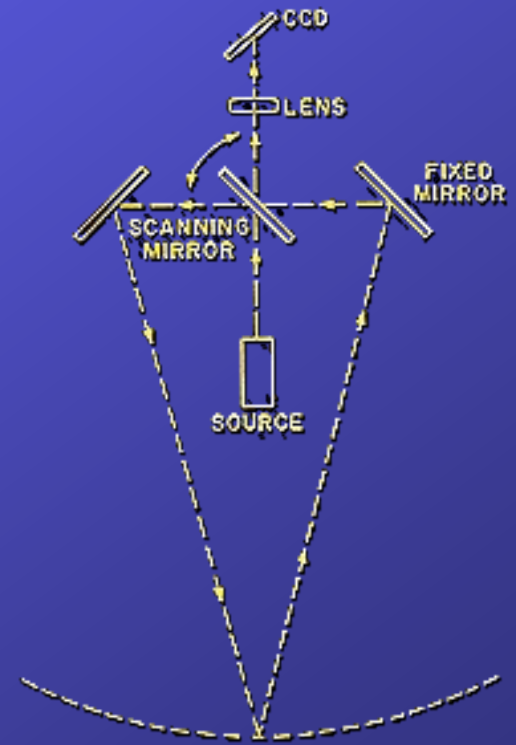
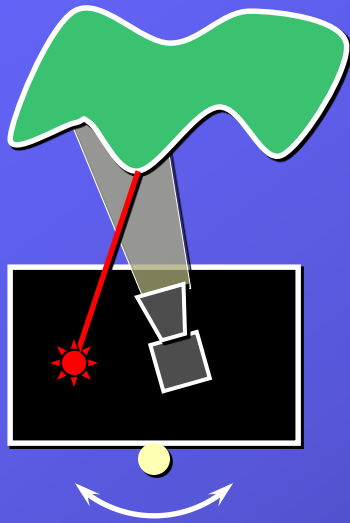


## *Metode skeniranja*

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).





## Prednosti laserske triangulacije:

- ✓ odlično fokusiranje i sa velike udaljenosti,
- ✓ zahvaljujući činjenici da laserska svetlost ima jednoznačnu talasnu dužinu, moguće je "prekriti" senzor sa pojasnim filterom za tu talasnu dužinu, čime se smanjuje osetljivost na ambijentalno osvetljenje i samim tim smanjuje i mogućnost eventualne greške,
- ✓ kod lasera primenjivanih za triangulaciju se ne javlja problem rasipanja toplote, što je kod nekoherentnih svetlosnih izvora čest slučaj.

## Nedostaci laserske triangulacije:

- ✓ pojava takozvanih laserskih pega (randomizirana koherentna interferencija zahvaljujući hrapavosti površine),
- ✓ potreba za specijalnim zaštitnim merama kod lasera koji rade na vidljivim i ultraljubičastim talasnim dužinama,
- ✓ proces akvizicije podataka laserskom triangulacijom je, usled toga što se primenjuje samo za jedno-tačkasto ili jedno-linijsko skeniranje, sporiji (po jednom merenju se kod jedno-linijske laserske triangulacije mogu dobiti podaci za oko 512 tačaka).