

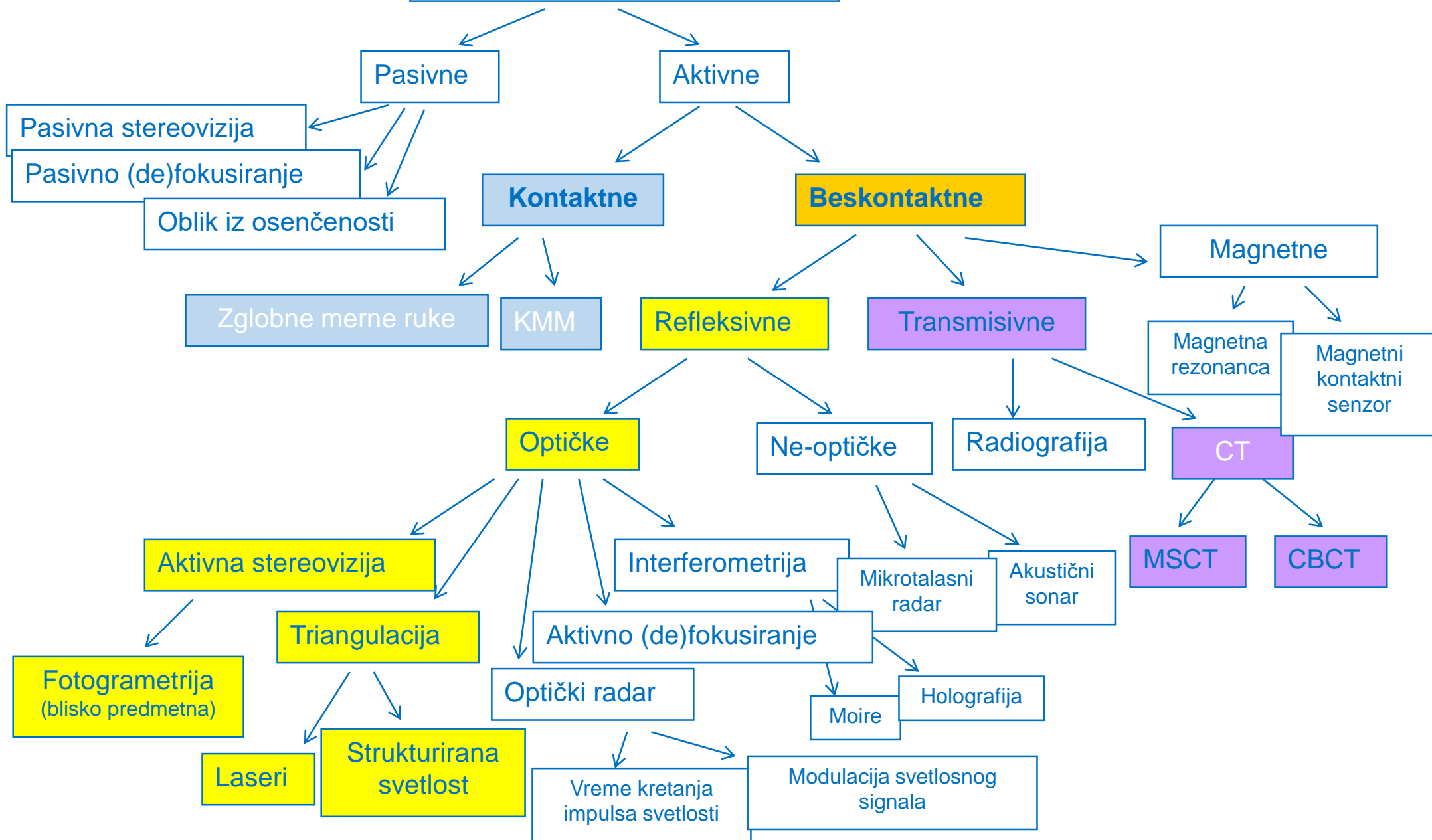
Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka

OAS: Računarstvo i automatika
Predmet: 3D digitalizacija objekata

PODELA METODA 3D DIGITALIZACIJE

Vanr. prof. dr Mario Šokac
Doc. dr Željko Santoši

Metode 3D digitalizacije



Metode 3D digitalizacije

```
graph TD; A[Metode 3D digitalizacije] --> B[Pasivne]; A --> C[Aktivne];
```

Pasivne

Aktivne

Pasivne metode karakteriše odsutnost interakcije sa objektom.

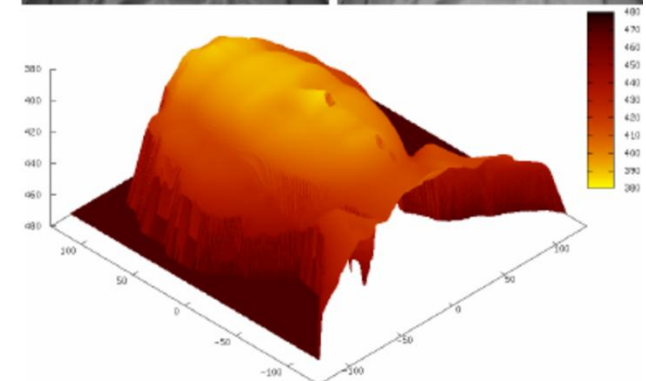
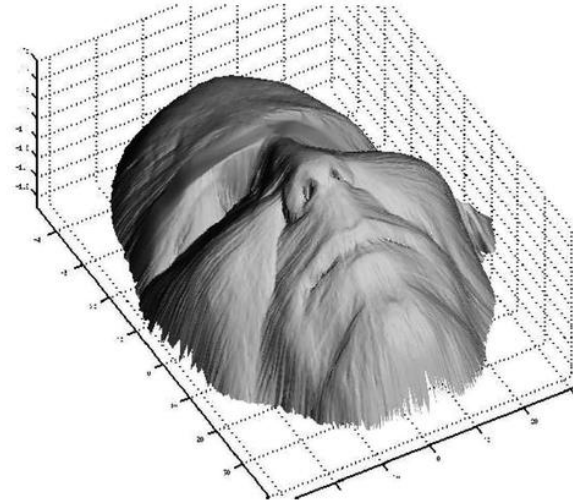
Poznate su sledeće pasivne metode:

1. *određivanja oblika na osnovu osenčenosti* – radi se sa pojedinačnim slikama, a oblik se dobija na osnovu osenčenosti objekta na slici;
2. *određivanje oblika preko silueta*
3. *pasivna stereovizija* – primenjuje se kod parova slika, uz primenu triangulacije za proračun udaljenosti tačaka;
4. *određivanje dubine fokusiranjem / defokusiranjem*

Oblik na osnovu osenčenosti (SfS)

Ova tehnika procenjuje 3D oblik objekta sa jedne slike analizirajući varijacije u senčenju i senkama.

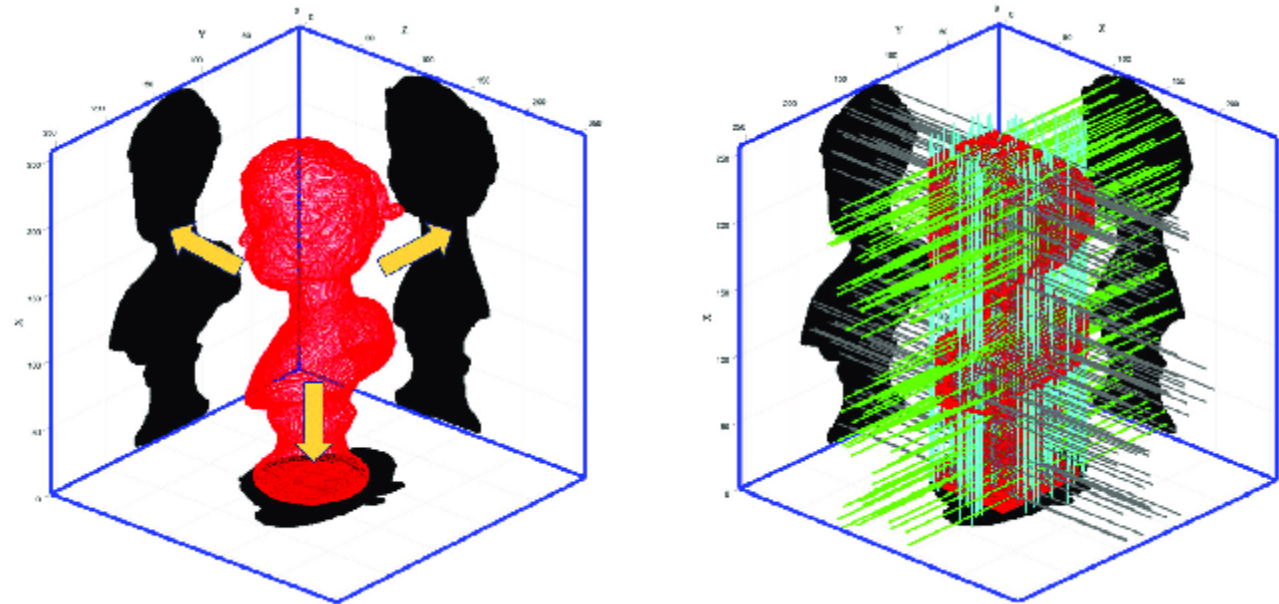
Procenjuje normale površine na osnovu načina na koji svetlost interaguje sa površinom objekta, iz čega se može rekonstruisati model površine **(mada obično do određene razmere)**.



Oblik iz siluete

Ova metoda rekonstruiše 3D oblik objekta korišćenjem niza 2D slika siluete (konture) objekta snimljenih iz različitih tačaka gledišta.

Ove siluete se kombinuju u procesu koji se naziva volumetrijski presek da bi se izgradio 3D model.



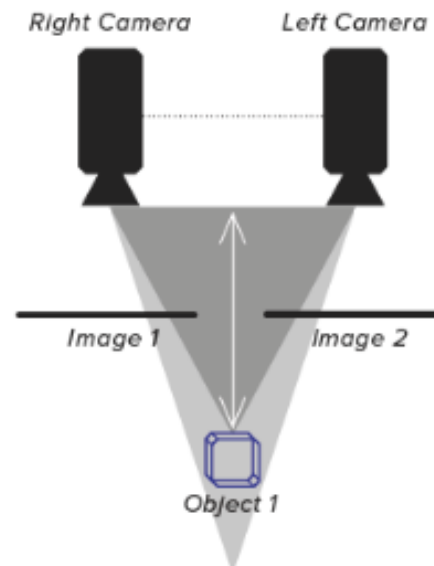
Pasivna stereovizija

Ova metoda posebno oponaša ljudsku percepciju dubine koristeći najmanje dve kamere (stereo par) postavljene na maloj udaljenosti jedna od druge (osnovna linija).

Njihov cilje je da snime istu scenu iz malo različitih uglova gledanja.

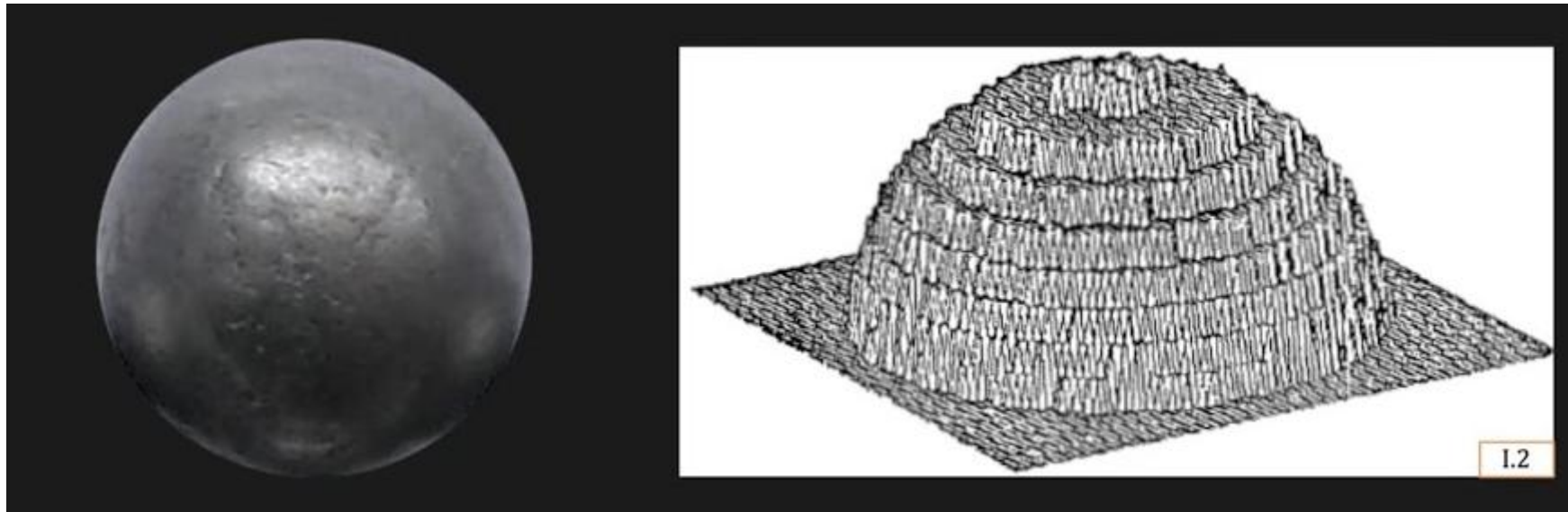
Algoritmi izračunavaju razliku između podudarnih tačaka na dve slike kako bi odredili informacije o dubini.

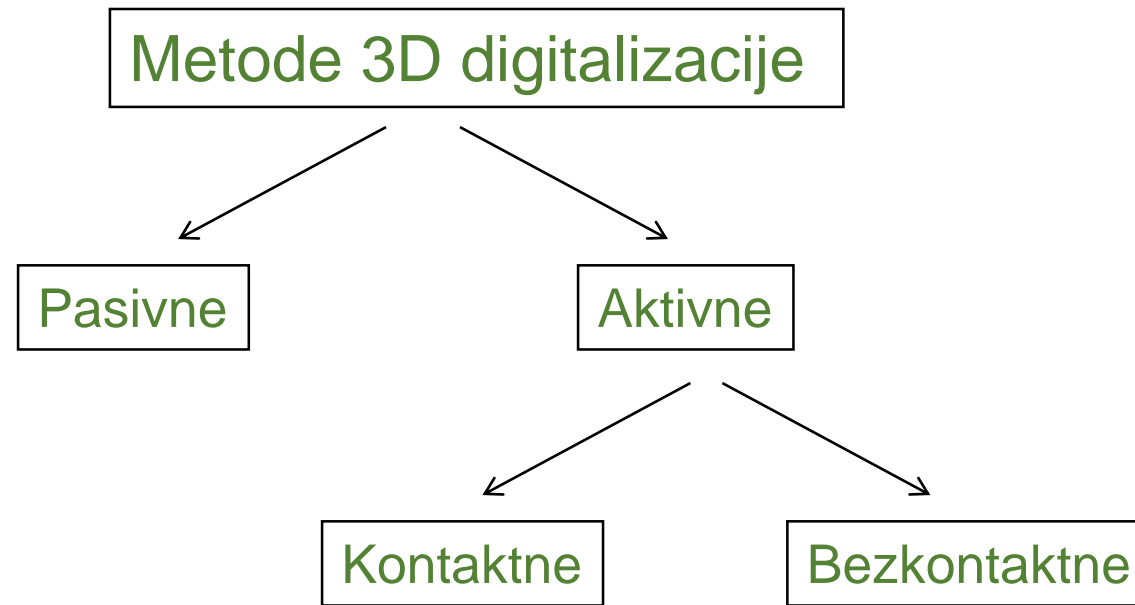
PASSIVE STEREO



Oblik iz fokusa (ili defokusiranja)

Ovaj pristup procenjuje oblik objekta promenom podešavanja žižne daljine kamere i analiziranjem koji delovi slike su u optimalnom fokusu za različita podešavanja.





Kod **aktivnih metoda** je, nasuprot pasivnim, prisutna interakcija sa objektom koja obuhvata ili ostvarivanje kontakta sa objektom ili projektovanje (zračenje) neke vrsta energije.

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

Ove metode se odlikuju **izuzetno visokom tačnošću, često do nivoa mikrometara**, i dominantno se koriste u industrijskim aplikacijama, inspekciji kvaliteta i reverzibilnom inženjerstvu.

Kontaktne metode 3D digitalizacije

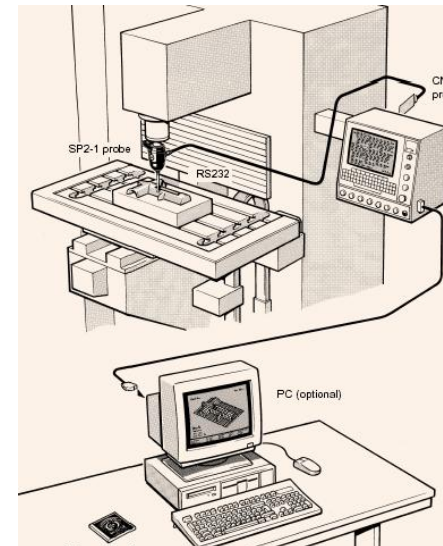
KMM (NUMM)



Zglobne merne ruke



NUMA



KMM – Koordinatne merne mašine

Predstavljaju najčešći i najprecizniji tip kontaktnih mernih uređaja.

Princip rada:

Koriste fizičku sondu (mernu glavu) koja se sistematski ili ručno pomera duž površine objekta. Senzori na osama mašine (tradicionalno X, Y, Z) registruju tačnu poziciju svakog dodira u trodimenzionalnom prostoru.

Karakteristike:

Mogu biti automatizovane (CNC kontrola) ili ručne. Nude najveću tačnost, ali su obično skupe, zahtevaju poseban prostor i tehničko znanje za rad. Sporije su od beskontaktnih metoda.

Primena:

Kontrola kvaliteta delova u proizvodnji (npr. u auto-industriji ili avio-industriji), gde je potrebna mikrometerska preciznost.



Merne ruke

Ovi uređaji su prenosivija alternativa CMM mašinama.

Princip rada:

Sastoje se od više segmenata (zglobova) sa sensorima koji mere uglove i položaj svakog zgloba. Položaj vrha ruke sa sondom se izračunava kompleksnom matematikom na osnovu svih tih uglova.

Karakteristike:

Veoma su fleksibilne i mogu se koristiti na terenu, pored mašina ili na radnom stolu. Iako su izuzetno precizne, generalno su nešto manje tačne od stacionarnih CMM mašina, ali su lakše za korišćenje.

Primena:

Inspekcija i merenje velikih delova, reverzibilno inženjerstvo na licu mesta, a ne u laboratoriji.



Ograničenja Kontaktnih Metoda

Spore su

Proces je spor jer se površina meri tačku po tačku.

Rizik od oštećenja

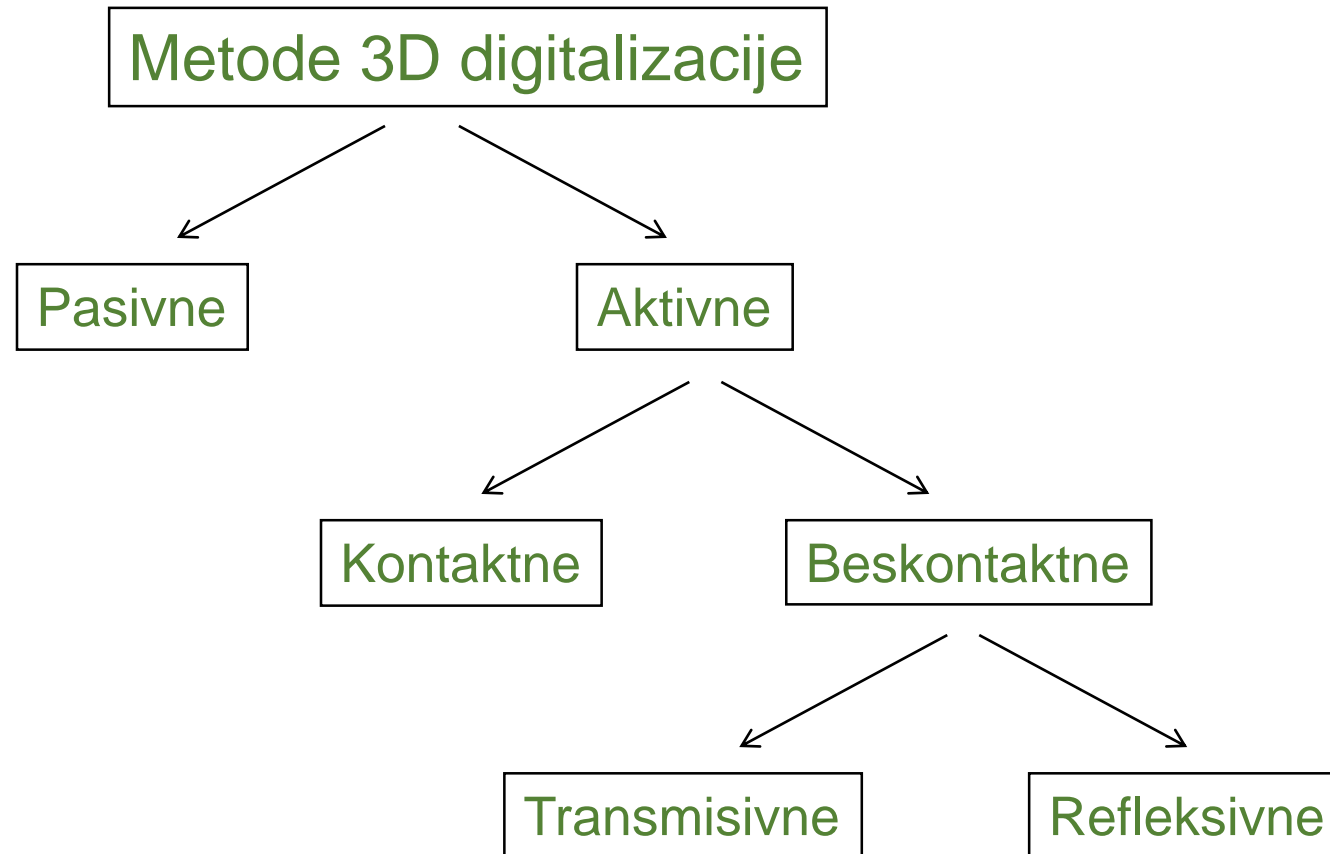
Fizički kontakt može oštetiti ili deformisati osetljive, meke ili lomljive objekte, tako da nisu pogodne za rad sa kulturnim nasleđem ili delikatnim prototipima.

Neprikladnost za objekte kompleksnih oblika

Teško je skenirati organske oblike ili objekte sa složenim, teško dostupnim udubljenjima.

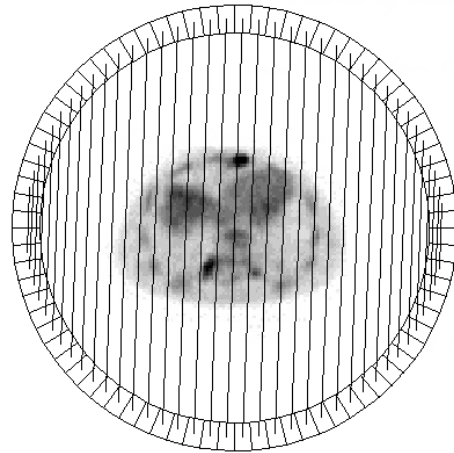
Ukratko, kontaktne metode su **nezamenjive kada je najveća moguća preciznost i tačnost prioritet**, naročito kod merenja čvrstih i izdržljivih objekata.

Princip **bezkontaktnih metoda**, u opštem slučaju, se zasniva na projektovanju energije, što prati snimanje ili reflektovane ili transmisione (propuštene) količine energije, pa je u skladu sa tim i izvršena podela bezkontaktnih metoda:



Transmisivne metode za 3D digitalizaciju

Princip rada: zračenje objekta energetskim talasima i detektovanja količine energije koja je prošla kroz objekat, odnosno količine energije koju objekat nije apsorbovao.



Theta (angle)



Transmisivne metode za 3D digitalizaciju

Radiografija

Kompjuterizovana
Tomografija (CT)

Digitalna

Filmska

MSCT

CBCT

Radiografija

Radiografija je beskontaktna i transmisivna metoda 3D digitalizacije.

Radiografija omogućava vizuelizaciju i merenje **unutrašnje strukture objekta** bez njegovog oštećenja.

Osnovni princip je korišćenje jonizujućeg zračenja (najčešće X-zraka ili gama-zraka) koje prolazi kroz objekat i biva različito apsorbavano u zavisnosti od gustine i sastava materijala, stvarajući detaljnu sliku unutrašnjosti.

Radiografija se tradicionalno deli na dve glavne tehnike, a obe se koriste za 3D digitalizaciju:

Filmska radiografija (Analogna)

Ovo je tradicionalna metoda koja postoji od otkrića X-zraka.

Princip rada:

Objekat se postavlja između izvora X-zraka i specijalnog filma osetljivog na zračenje (slično fotografskom filmu). Nakon ekspozicije i hemijske obrade (razvijanja), na filmu ostaje trajna senka unutrašnje strukture objekta.

Kao metoda 3D digitalizacije:

Sama po sebi, jedna filmska radiografija **je samo 2D slika**.

Da bi se dobio 3D model, potrebno je snimiti mnogo ovakvih filmova iz različitih uglova i koristiti napredne softverske metode (kao što je kompjuterska tomografija - CT).

Međutim, digitalizacija filma (skeniranje filma) je neophodan korak da bi se podaci uneli u računar za 3D rekonstrukciju.

Karakteristike:

Veoma visoka rezolucija detalja, ali je proces spor (zbog hemijske obrade), skup (zbog potrošnog materijala) i zahteva fizičko arhiviranje filmova.

Digitalna radiografija (DR)

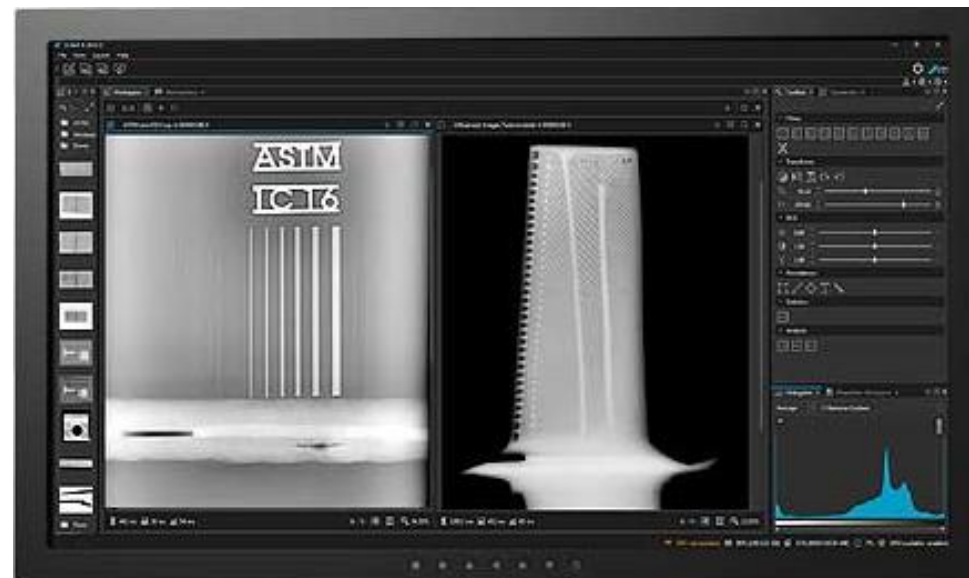
Ovo je moderna metoda koja je zamenila filmsku radiografiju u većini primena.

Princip rada:

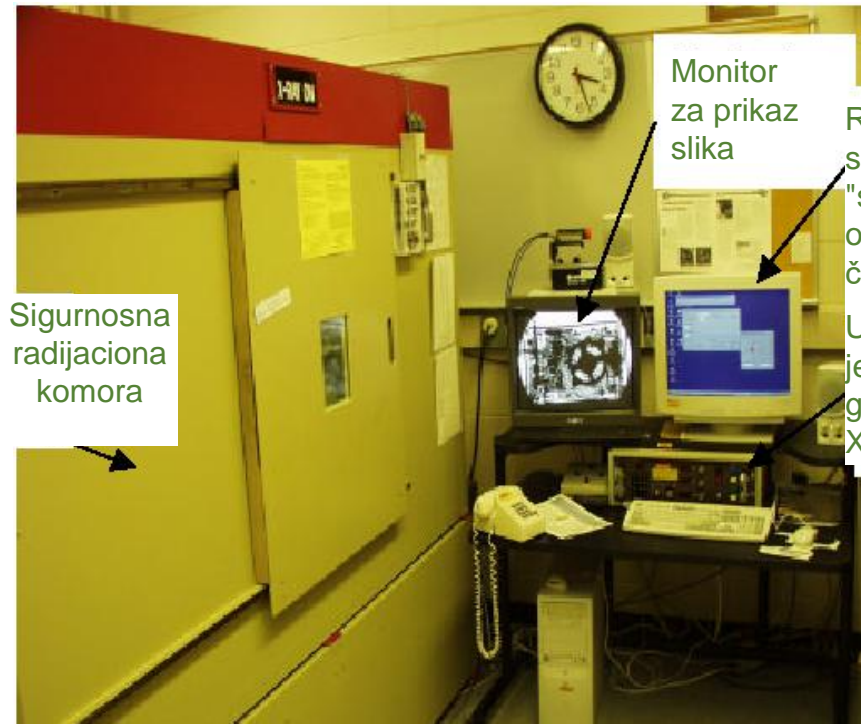
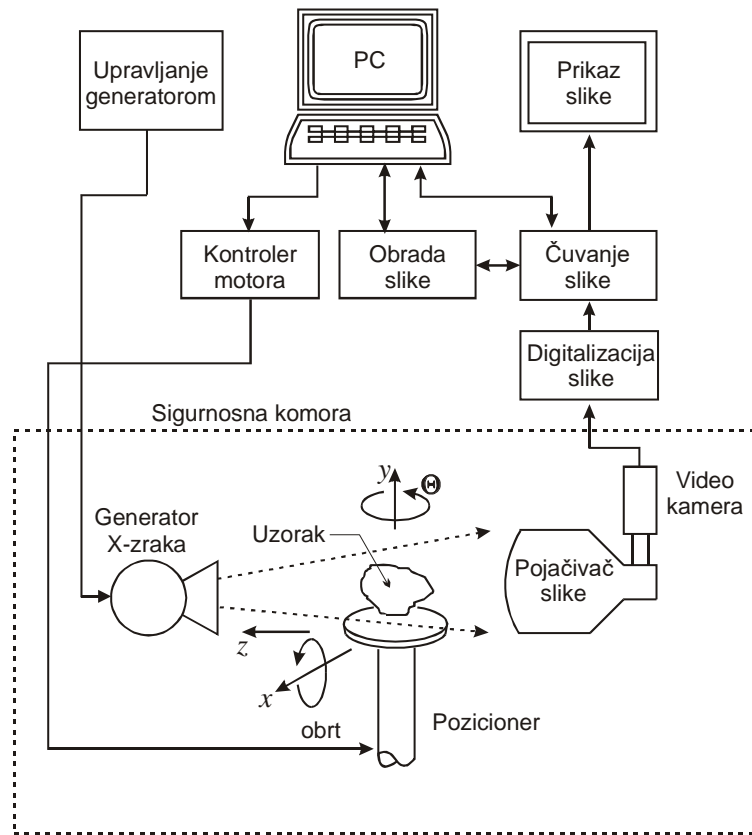
Film se zamenjuje digitalnim detektorima:

- ravni paneli (engl. flat panel detectors), ili
- CCD/CMOS senzori.

Zračenje koje prođe kroz objekat direktno stvara digitalni signal koji se odmah prikazuje na računarskom monitoru.



Digitalna radiografija (radiografija u realnom vremenu)



Monitor za prikaz slika

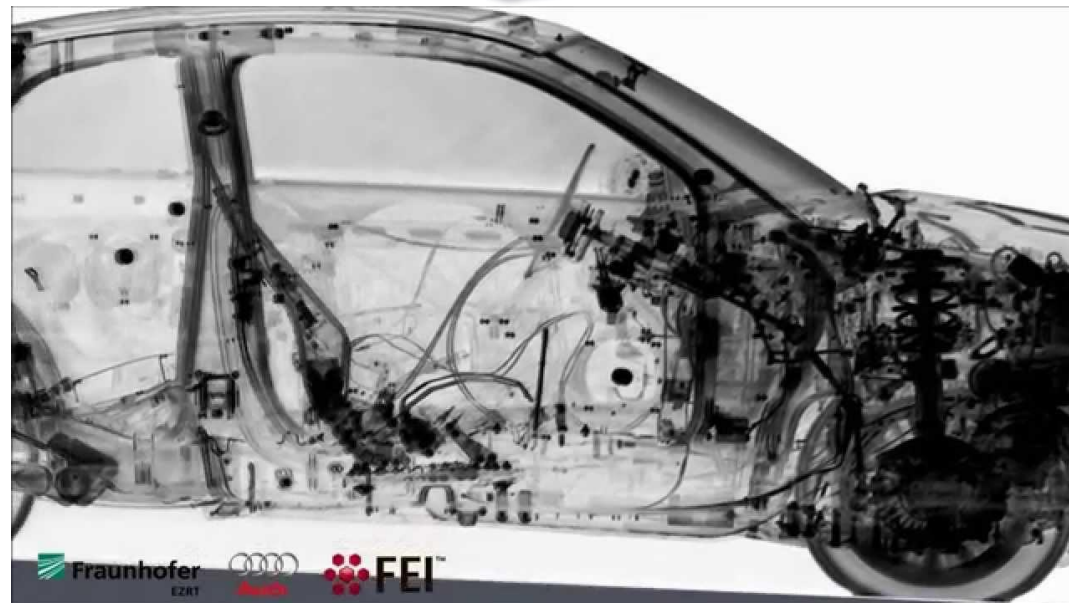
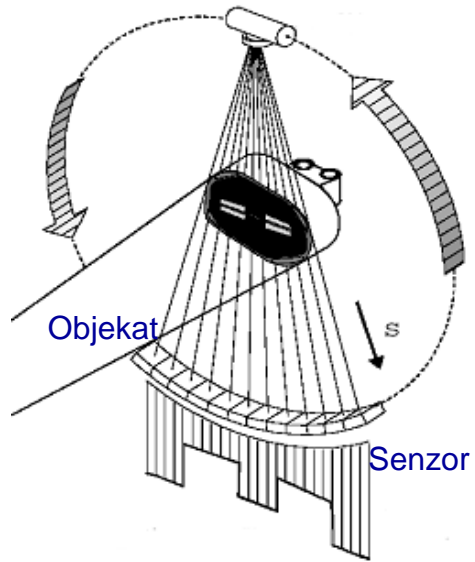
Računar sa softverom za "skidanje", obradu i čuvanje slika

Upravljačka jedinica generatora X-zraka

Sigurnosna radijaciona komora

Kompjuterizovana tomografija (CT)

Generator X-zraka



Refleksivne metode za 3D digitalizaciju

Optičke

Ne-optičke

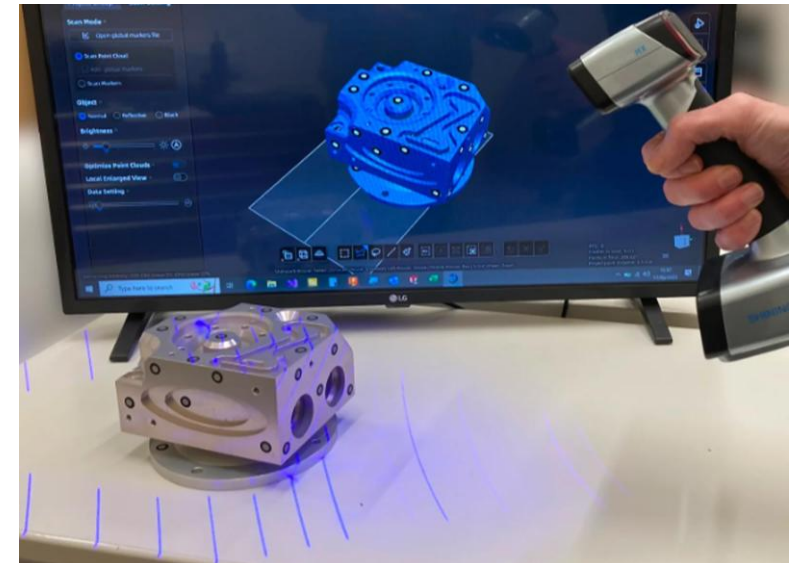
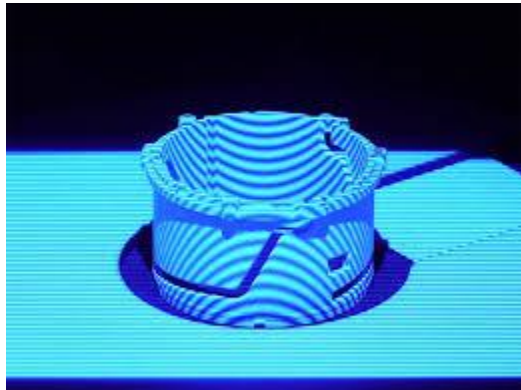
Princip: projektovanje određene vrste energetskega zračenja i merenju količine energije koja se reflektuje sa objekta.

Optičke metode za 3D digitalizaciju

Osnovna karakteristika ove grupe metoda **jeste prisustvo svetlosnog izvora.**

Kada se u kontekstu optičkih metoda 3D digitalizacije govori o reflektivnim metodama, misli se na veliku većinu **aktivnih metoda koje analiziraju svetlost koja se odbija (reflektuje) od površine objekta.**

Gotovo sve metode aktivne optičke digitalizacije koje mere spoljašnju geometriju su reflektivne metode. One koriste senzor (kameru ili detektor) koji je postavljen pod uglom u odnosu na izvor svetlosti (ili pored njega) da bi uhvatio odbijeni signal.



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)fokuseranje]; A --> F[Optički radar];
```

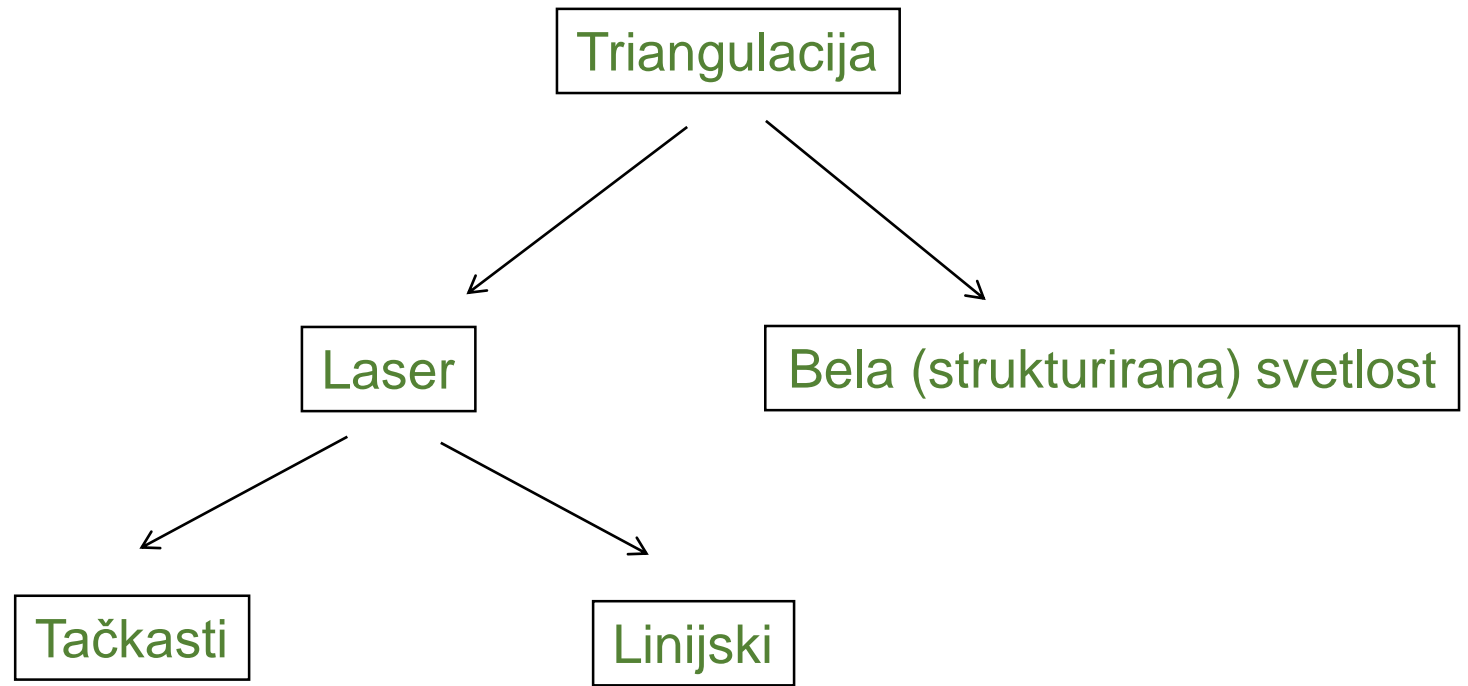
Triangulacija

Interferometrija

Aktivna stereovizija

Aktivno (de)fokuseranje

Optički radar



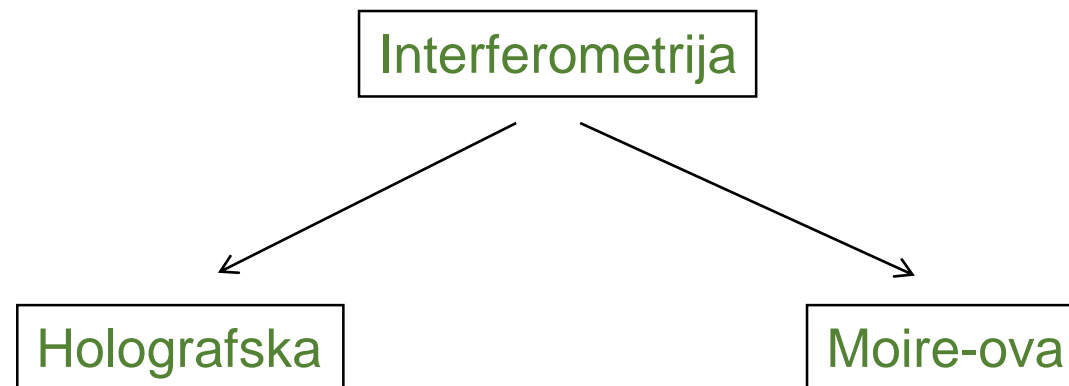
Interferometrija

Interferometrija je **izuzetno TAČNA** beskontaktna optička metoda koja se koristi za merenje vrlo malih promena oblika površine, deformacija, vibracija, pa čak i unutrašnjih promena gustine materijala.

Spada u napredne optičke metode 3D digitalizacije i inspekcije.

Ova tehnika se zasniva na fenomenu interferencije svetlosti — superpoziciji (preklapanju) dva ili više talasa svetlosti koji stvaraju karakteristične svetle i tamne šare (interferograme). Analizom ovih šara, moguće je izvesti kvantitativne podatke o obliku objekta.

Interferometrija u kontekstu 3D digitalizacije i merenja se deli na:



Moire-ova interferometrija

Moareova tehnika je starija, jednostavnija i manje precizna od holografije.

Princip rada: Ova metoda ne meri direktno interferenciju svetlosnih talasa, već se oslanja na optički fenomen koji nastaje preklapanjem dve slične, fine rešetke (mreže).

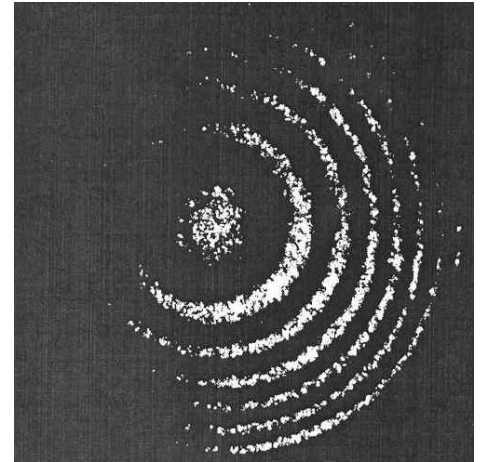
Prva rešetka (referentna) se postavlja ispred objekta ili u optički put kamere.

Druga rešetka se virtuelno ili fizički "projektuje" na površinu objekta.

Kada se snime, te dve rešetke stvaraju vidljive, uvećane, tamne i svetle pruge (moare šare).

Šta se meri:

Oblik šara direktno zavisi od konture ili deformacije površine objekta. Analizom gustine i zakrivljenosti ovih pruga, softver izračunava 3D oblik ili pomeranje površine.



Moiré-ov interferogram sferne površine

Holografaska interferometrija

Ovo je izuzetno sofisticirana i precizna metoda koja koristi naprednu lasersku tehnologiju za kreiranje trodimenzionalnog zapisa (holograma) objekta.

Princip rada:

Holografija beleži ne samo intenzitet svetlosti (kao fotografija), već i fazu svetlosnog talasa.

Laserski zrak se deli na dva dela: referentni zrak i zrak koji osvetljava objekat.

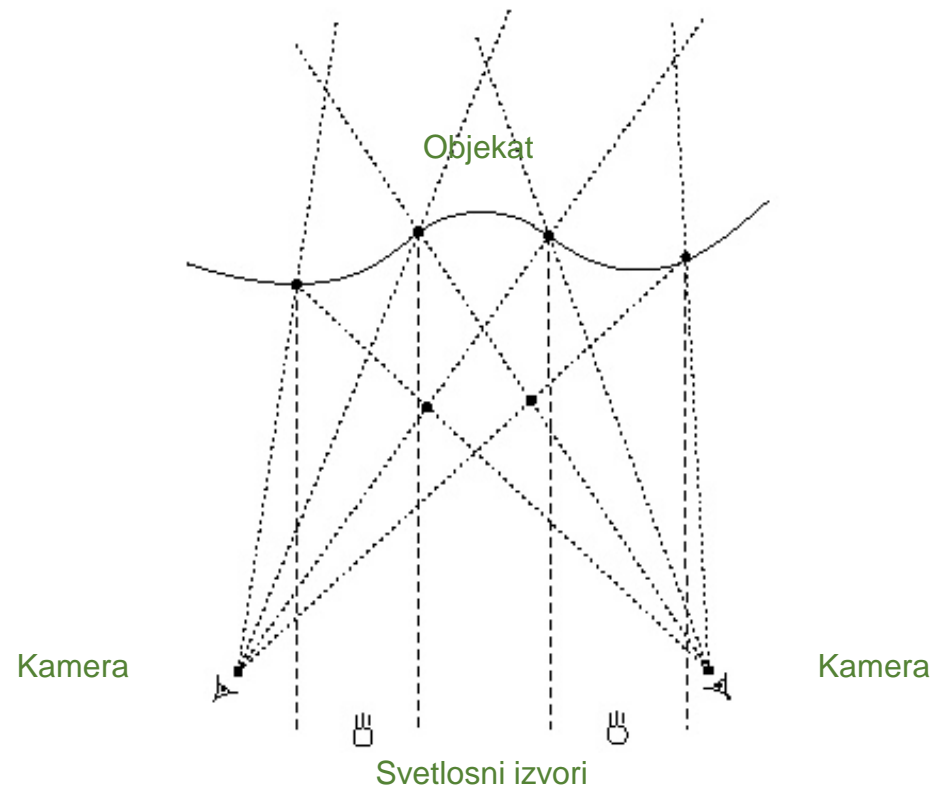
Osvetljeni zrak se reflektuje od objekta i susreće se sa referentnim zrakom na fotografskoj ploči ili digitalnom senzoru.

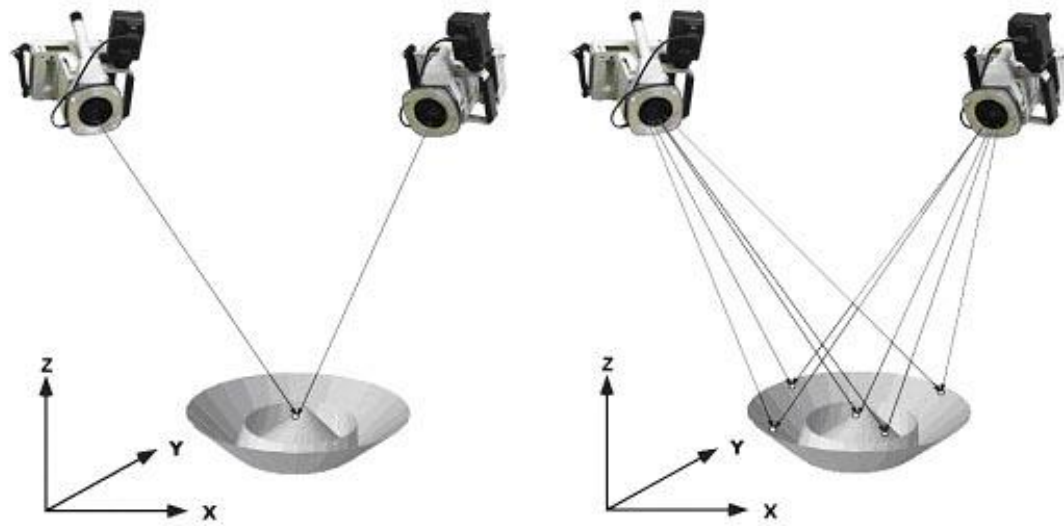
Njihovim preklapanjem nastaje hologram koji sadrži sve 3D informacije o objektu.



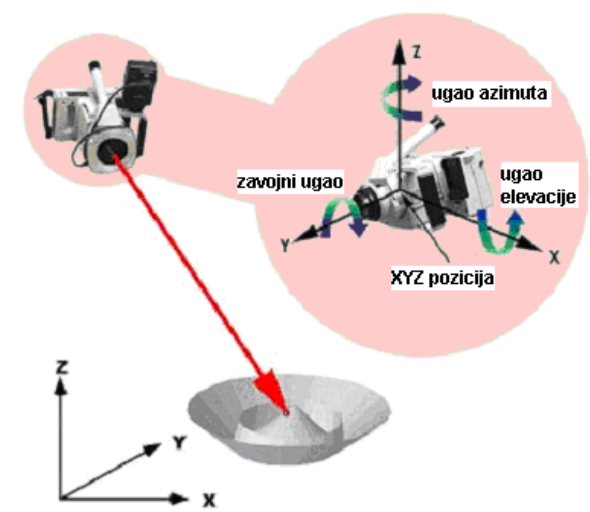
Aktivna stereovizija

Princip: određivanje daljine tačaka na principu triangulacije na osnovu parova fotografija.

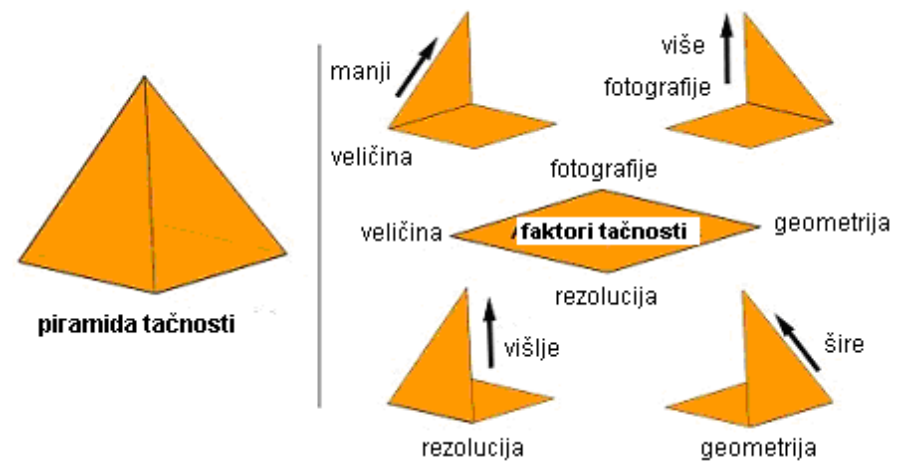




Princip triangulacije kod fotogrametrije: a) za jednu tačku; b) za više tačaka



Orijentacija kamere



Faktori tačnosti kod fotogrametrije

3D skeneri srednjeg i dugog dometa (optički radari)

3D skeneri dugog dometa se dele u dve vrste:

- Na principu merenja vremena (pulsni) i
- Na principu amplitudne modulacije (fazni)



Optički radar

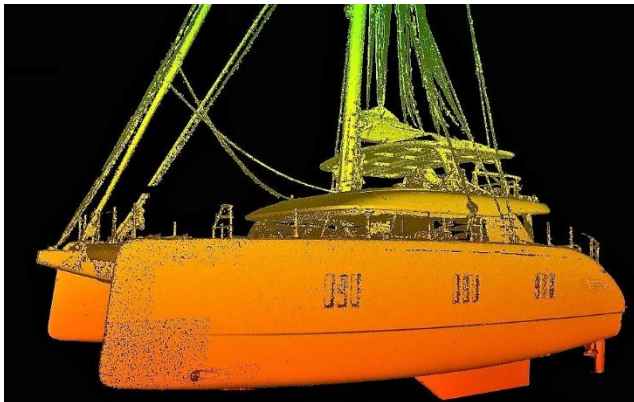
Na principu merenja
vremena

Na principu amplitudne
modulacije



3D skeneri srednjeg i dugog dometa (optički radari)

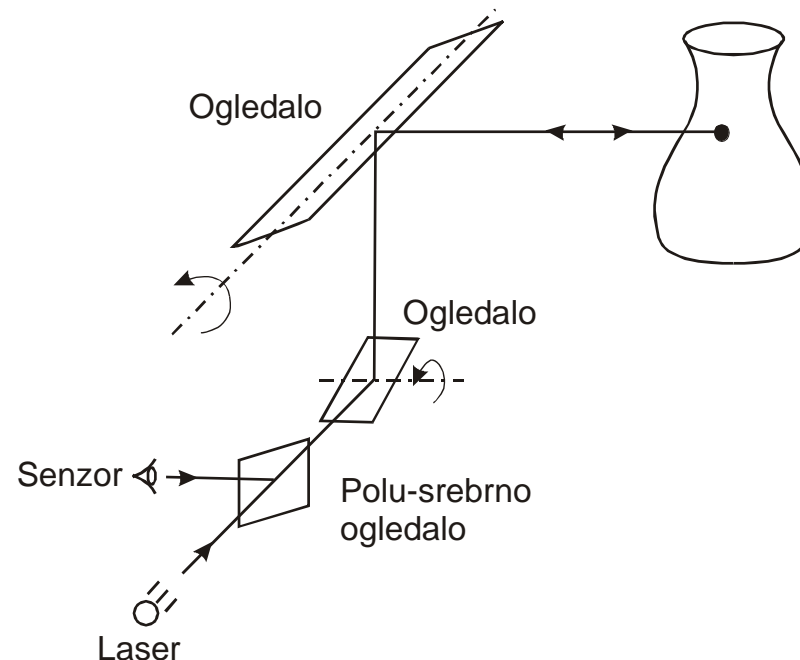
- Ovi tipovi skenera su dobro prilagođeni za primenu kod velikih objekata kao što su zgrade, strukture, avioni, vojna vozila,...
- 3D skeneri sa faznim pomeranjem takođe dobro funkcionišu za potrebe skeniranja srednjeg dometa, kao što su automobili, velike pumpe i industrijska oprema.
- Ovi 3D skeneri prikupljaju **milione tačaka** rotiranjem za **360 stepeni** dok okreću ogledalo koje preusmerava laser ka objektu ili oblastima koje se 3D skeniraju.



3D skeneri zasnovani na laserskim impulsima (princip merenja vremena)

Skeneri zasnovani na laserskim impulsima, poznati i kao ToF skeneri (Time-of-Flight), zasnovani su na veoma jednostavnom konceptu:

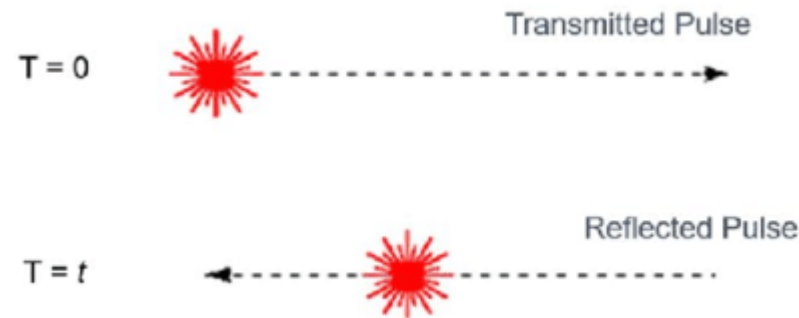
- brzina svetlosti je poznata (~ 300.000 km/s)
- ako je poznato vreme potrebno laseru da stigne do objekta i odbije se nazad do senzora, poznata je i udaljenost od senzora do objekta.



3D skeneri zasnovani na laserskim impulsima (princip merenja vremena)

Ovi sistemi koriste kola koja su tačna do pikosekundi da bi izmerili vreme potrebno milionima laserskih impulsa da se vrate do senzora i izračunali udaljenost.

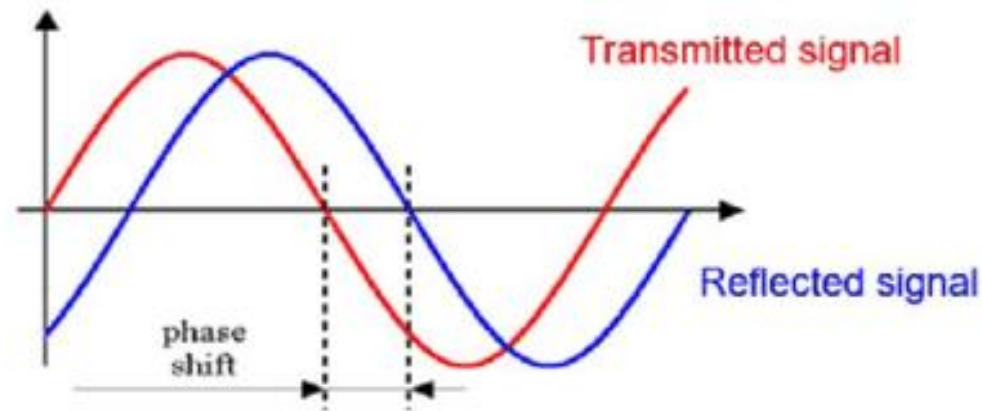
Rotiranjem lasera i senzora (obično pomoću ogledala), skener može skenirati do punih 360 stepeni oko sebe.



Laserski 3D skeneri sa faznim pomakom (princip amplitudne modulacije)

Laserski sistemi sa faznim pomakom su druga vrsta 3D tehnologije skeniranja. Konceptualno rade slično sistemima zasnovanim na impulsima.

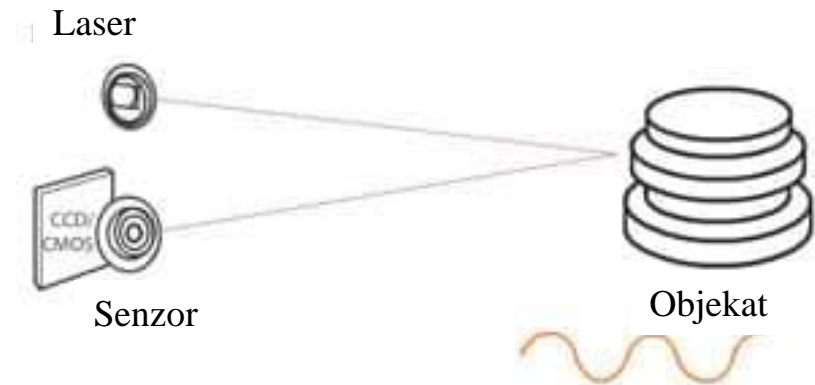
Pored pulsiranja lasera, ovi sistemi takođe moduliraju snagu laserskog zraka, a skener upoređuje fazu lasera koji se šalje i vraća senzoru.



Laserski 3D skeneri sa faznim pomakom (princip amplitudne modulacije)

Merenja faznog pomaka su obično preciznija i tiša, ali nisu toliko fleksibilna za skeniranje na velikim daljinama kao 3D skeneri zasnovani na impulsima.

3D skeneri zasnovani na laserskim impulsima moгу skenirati objekte udaljene do 1000 m, dok su skeneri sa faznim pomakom pogodniji za skeniranje objekata udaljenih do 300 m ili manje.



Prednosti 3D skenera velikog dometa

- 3D skeniranje miliona tačaka u jednom skeniranju – do 1 milion tačaka u sekundi,
- Velika površina skeniranja (veća od 1000 m²),
- Dobra tačnost i rezolucija na osnovu veličine objekta,
- Beskontaktno za bezbedno skeniranje svih vrsta objekata,
- Prenosivi,...

Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju

Neoptičke metode 3D digitalizacije koriste različite vrste talasa ili fizičke sile koje nisu u vidljivom svetlosnom spektru.

Ove metode su posebno korisne kada optičke metode zakažu — na primer, kada objekat nije providan, nalazi se u teškom okruženju (prašina, magla, tečnost) ili kada je potrebno prodreti ispod površine.

Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju

```
graph TD; A[Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju] --> B[Mikrotalasni radar]; A --> C[Ultrazvuk];
```

Mikrotalasni radar

• *Merenje vremena potrebnog impulsu mikrotalasne energije da dođe do objekta i da se vrati*

Ultrazvuk

• *Merenje vremena potrebnog zvučnom impulsu da dođe do objekta i da se vrati*

Mikrotalasni radar

Radarska tehnologija koristi elektromagnetne talase u mikrotalasnom opsegu za određivanje udaljenosti, brzine i oblika objekata.

Princip rada:

Radar emituje mikrotalasne impulse prema objektu. Kada talasi udare u površinu, odbijaju se (reflektuju), a prijemnik meri vreme povratka signala (Time-of-Flight princip, slično LIDAR-u, ali sa drugačijom talasnom dužinom) ili fazni pomak.

Kao metoda 3D digitalizacije: Moderni radarski sistemi mogu da generišu 3D "oblake tačaka". Zbog duže talasne dužine mikrotalasa u odnosu na svetlost, rezolucija je generalno niža nego kod optičkih skenera.

Ultrazvuk

Ultrazvučne metode koriste **zvučne talase vrlo visoke frekvencije** (izvan opsega ljudskog sluha) za merenje i digitalizaciju.

Princip rada:

Slično radaru, ultrazvučni pretvarač (**transducer**) emituje zvučni puls i meri vreme koje je potrebno da se eho vrati nakon što udari u površinu objekta.

Kao metoda 3D digitalizacije:

Meri se udaljenost do površine. Pomeranjem ultrazvučnog senzora ili korišćenjem niza senzora, može se mapirati 3D oblik objekta.

Karakteristike:

Medijum - zahteva medijum kroz koji talasi mogu putovati (vazduh ili tečnost).

Rezolucija - ima generalno nižu rezoluciju u poređenju sa optičkim ili laserskim metodama zbog veće talasne dužine zvuka, ali je često jeftiniji.

Prodiranje kroz tečnosti - izuzetno koristan za podvodnu digitalizaciju i mapiranje (sonar tehnologija).

Unutrašnja inspekcija - u medicini (ultrazvuk organa) i industriji (ispitivanje bez razaranja - NDT) se koristi za pronalaženje unutrašnjih defekata u metalima ili kompozitima.

HVALA NA PAŽNJI!