

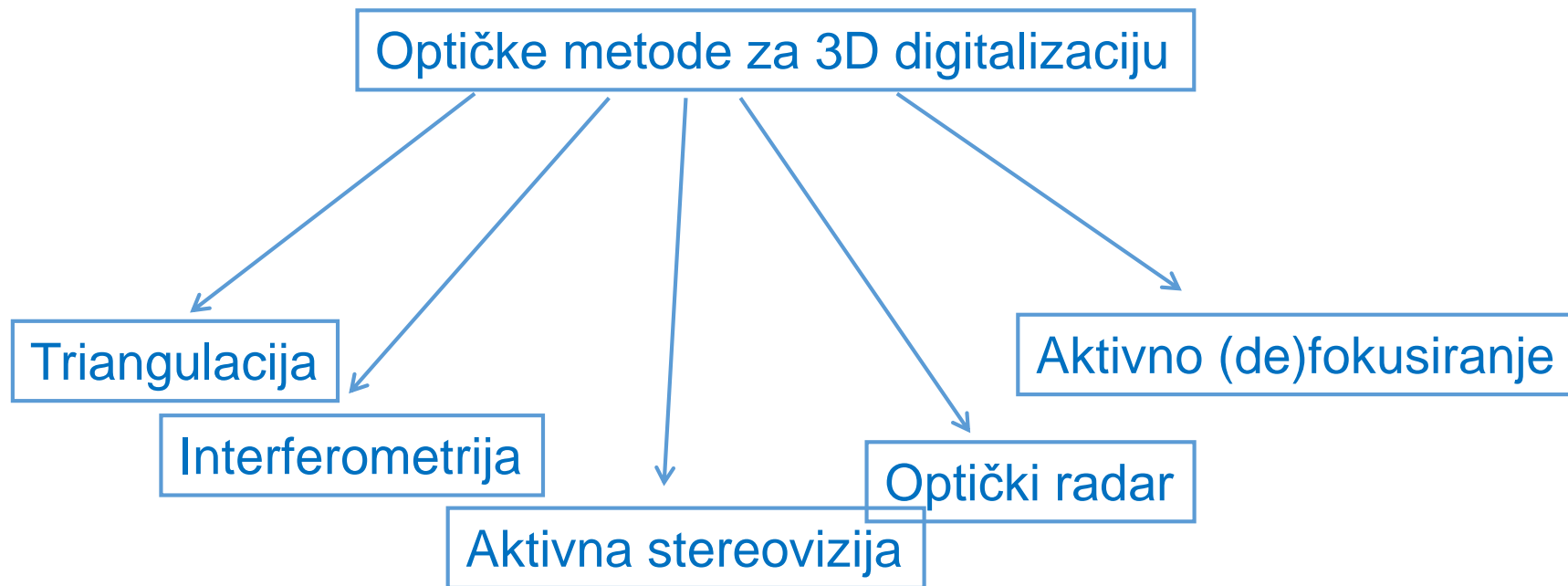
Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Animacija u inženjerstvu
Predmet: Metode 3D digitalizacije



OPTIČKE METODE 3D DIGITALIZACIJE

OPTIČKI RADARI





Optički radar

```
graph TD; A[Optički radar] --> B[Na principu proračuna vremena]; A --> C[Na principu amplitudne modulacije];
```

Na principu
proračuna
vremena

Na principu
amplitudne
modulacije

Optički radar na principu proračuna vremena (eng. Time-of-Flight – TOF)

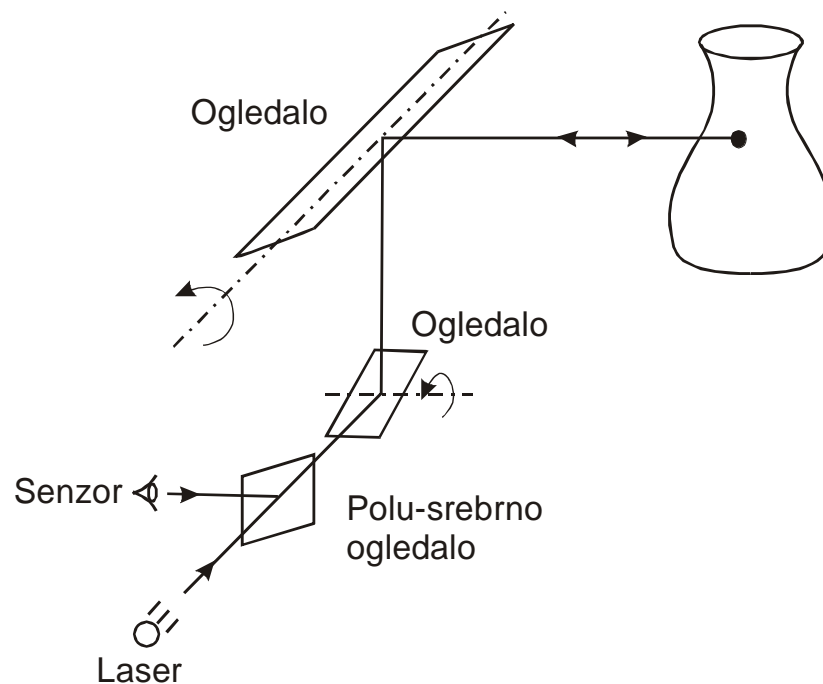
Radarama ove vrste se 3D digitalizacija realizuje određivanjem udaljenosti tačaka na objektu, na bazi vremena potrebnog da impuls laserske svetlosti stigne do tačke na objektu i da se vrati do senzora.

Daljina r se izračunava iz sledeće jednakosti:

$$r = c \cdot t / 2$$

gde su:

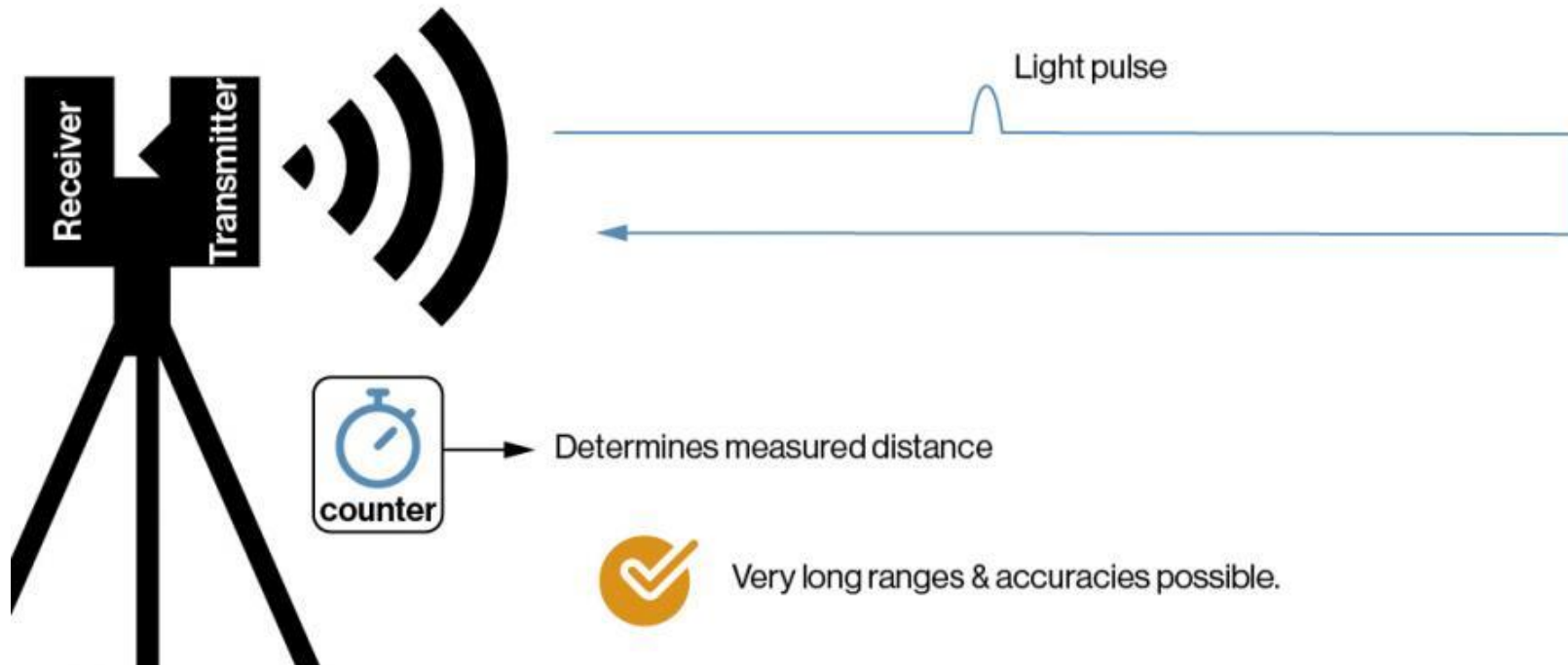
- t izmereno vreme i
- c brzina svetlosti u vazduhu.



Time-of-flight (TOF) method *simply explained:*

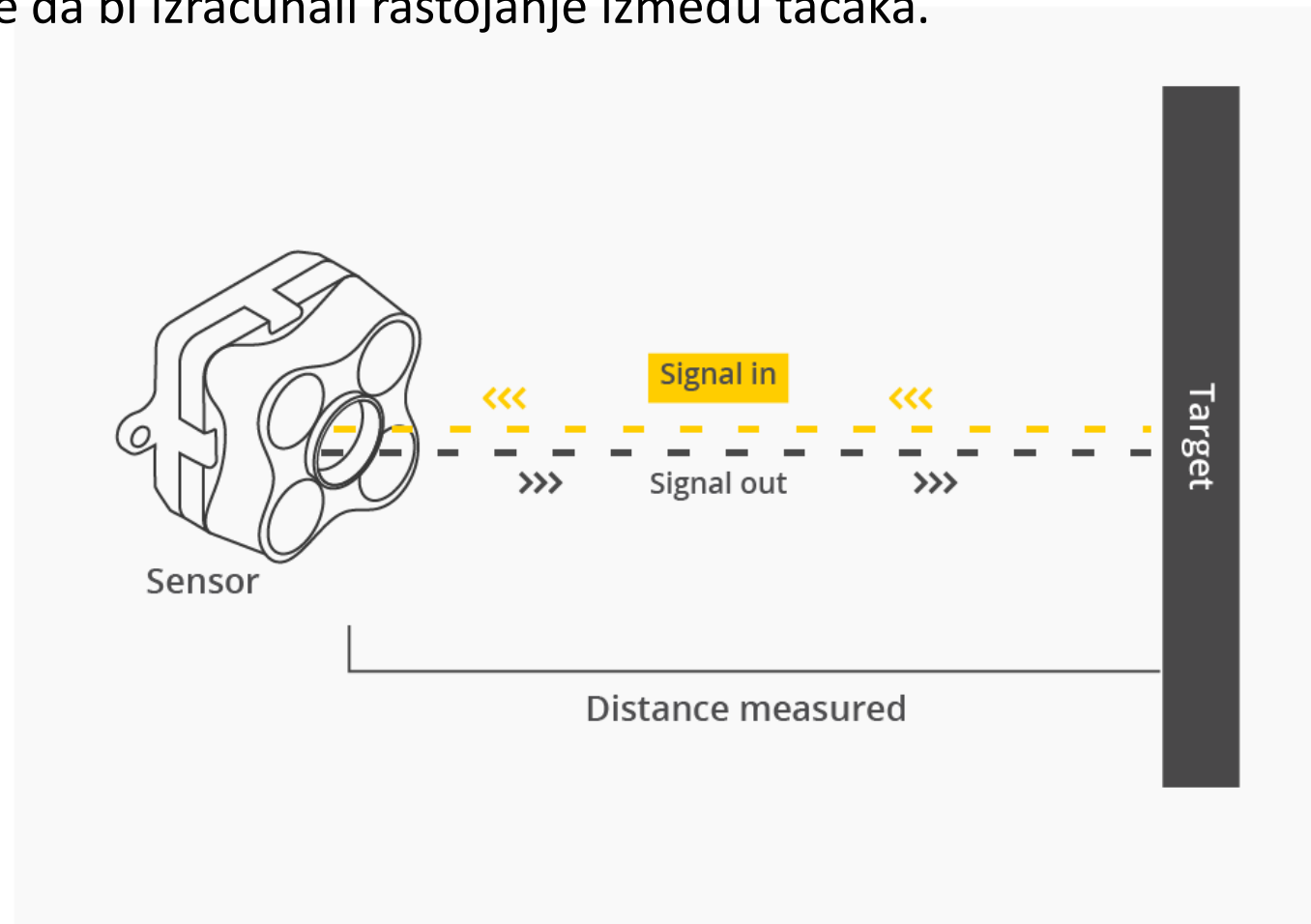


Light pulse is emitted & received;
the distance results from the
propagation speed & transit time.



ToF 3D skeneri se, pored za 3D digitalizaciju objekata, koriste i u nizu drugih aplikacija, uključujući navigaciju robota, praćenje vozila, brojanje ljudi itd.

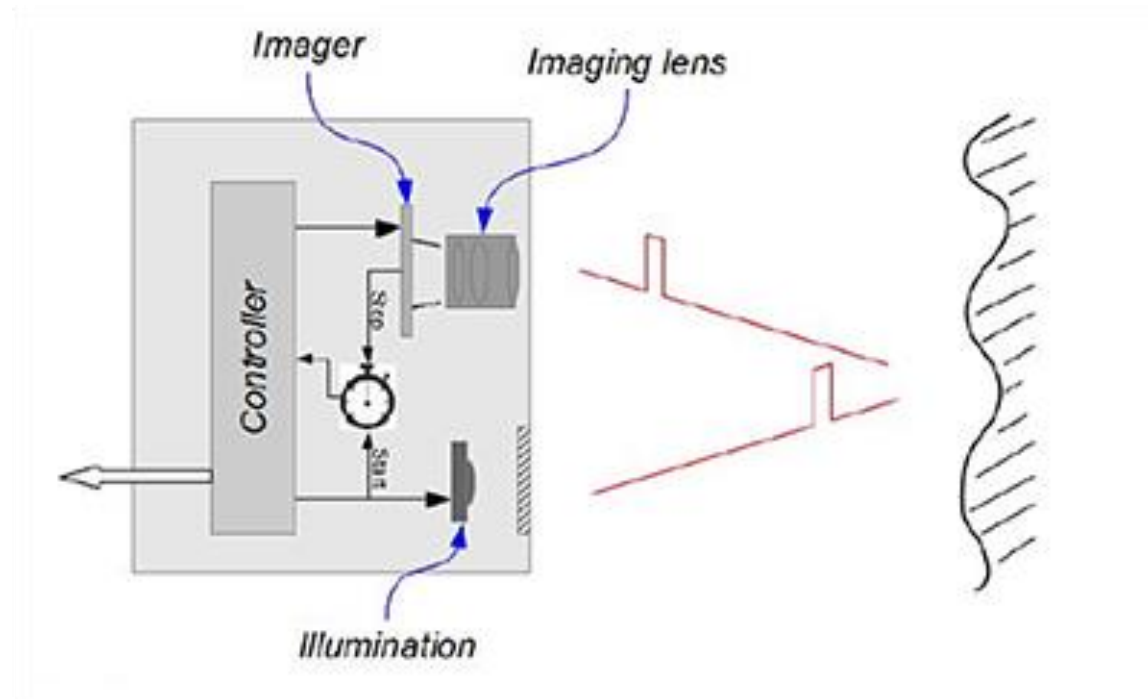
ToF senzori mere vreme koje je potrebno fotonima da putuju između dve tačke da bi izračunali rastojanje između tačaka.



Princip ToF metode je zasnovan na merenju udaljenosti između senzora i objekta, na osnovu vremenske razlike između emitovanja signala i njegovog povratka do senzora, nakon refleksije od objekta.

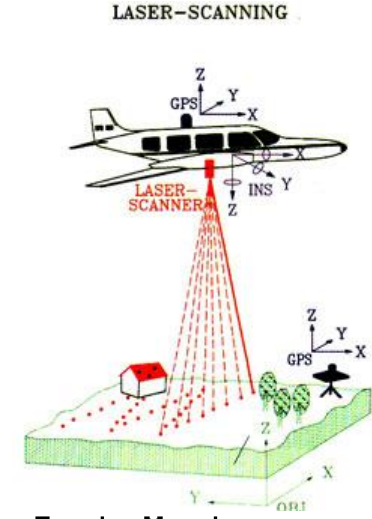
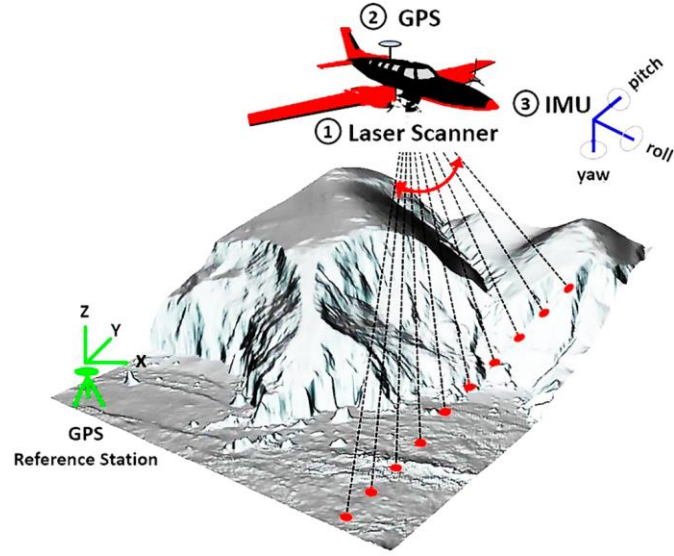
Različiti tipovi signala (koji se nazivaju i nosioci) mogu se koristiti sa principom vremena leta, a najčešći su zvuk i svetlost.

Senzori koji koriste svetlost kao svoj nosač su mnogo češći, jer karakteriše veća brzina, veći domet, manja težinu uz bezbednost za oči.

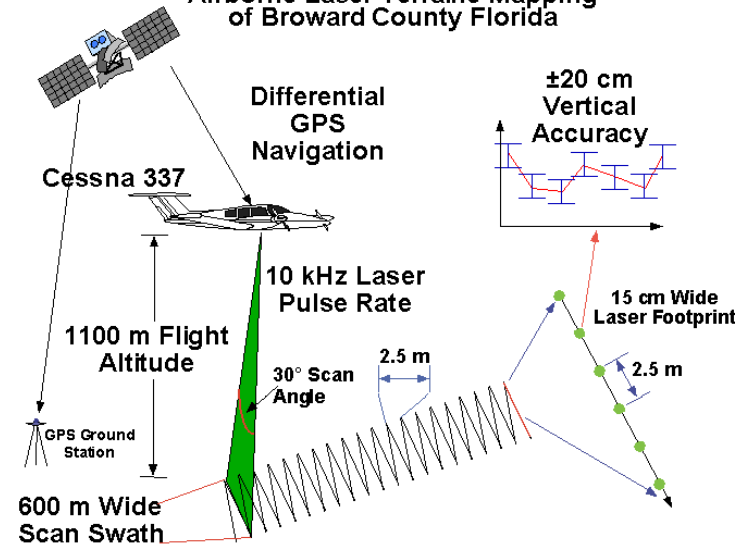








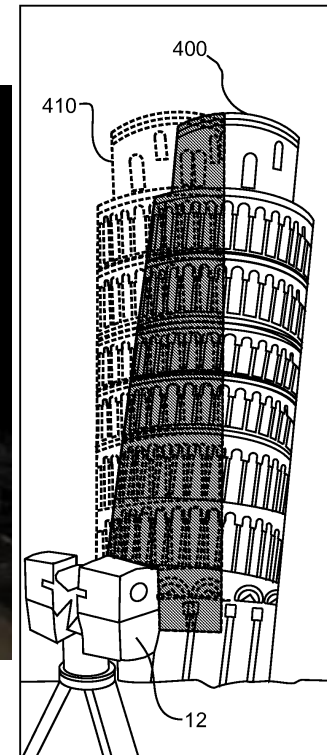
Airborne Laser Terrain Mapping of Broward County Florida



3D digitalizacija eksterijera



Toranj u Pizi



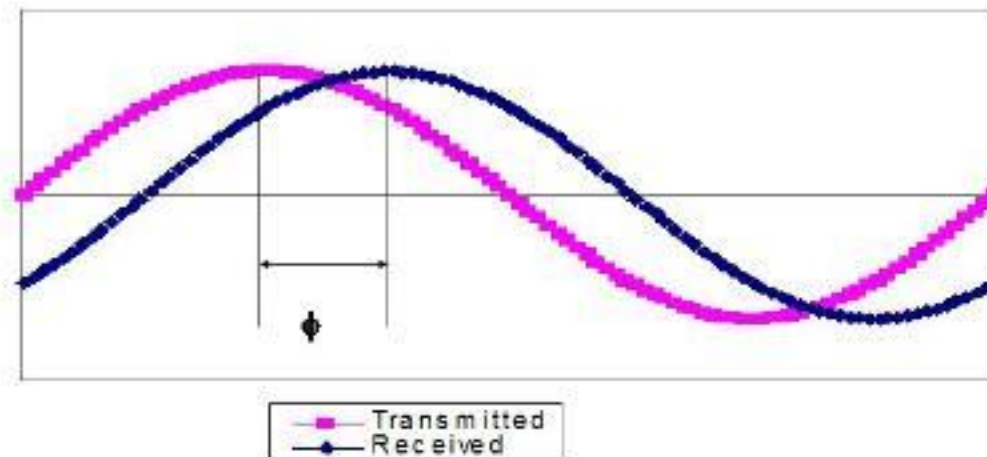




Optički radar na principu amplitudne modulacije

Laser neprestano radi, ali se jačina snopa sinusoidno modulira tokom vremena.

Nakon što se odbije od objekta i vrati do senzora, reflektovana svetlost i dalje ima sinusoidnu promenu jačine u vremenu, ali fazno pomeren u odnosu na emitovanu svetlost.



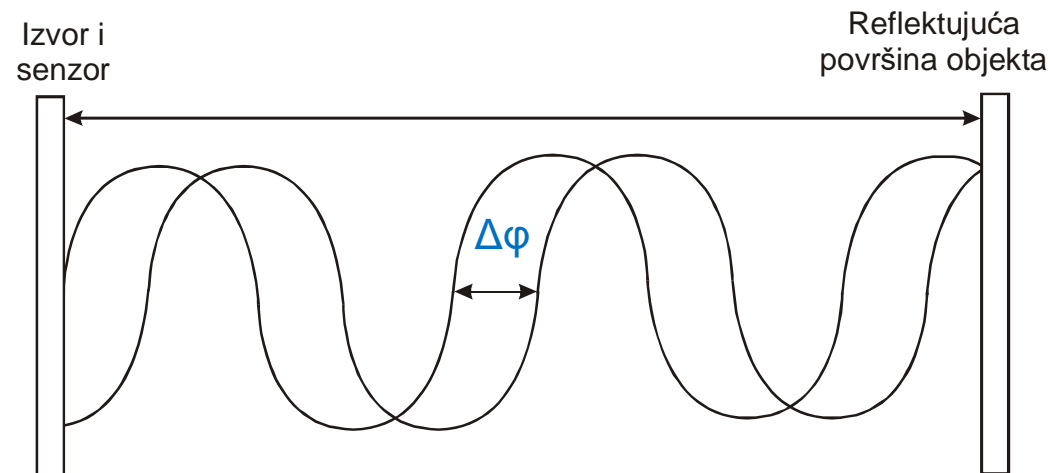
Range is proportional to phase angle ϕ

Optički radar na principu amplitudne modulacije

Merenjem fazne razlike emitovane i reflektovane svetlosti moguće je izračunati udaljenost tačke r na objektu preko sledeće jednakosti:

$$r(\Delta\varphi) = \frac{1}{2} \cdot \lambda_{AM} \cdot (\Delta\varphi \pm 2\pi n) / 2\pi$$

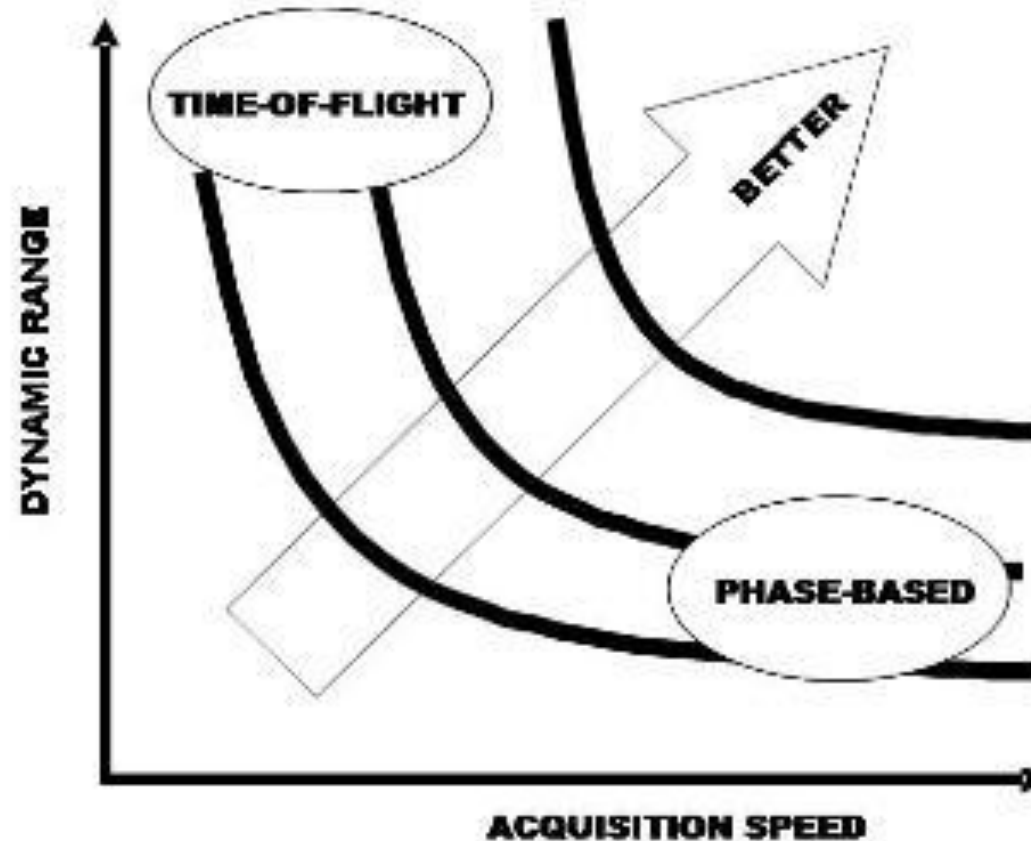
gde su: $\Delta\varphi$ – fazna razlika emitovane i reflektovane svetlosti i
 λ_{AM} – talasna dužina moduliranog signala.



Fazni skeneri su ograničeni u pogledu dometa, tj. udaljenosti objekta koji se 3D digitalizuje.

Prvi razlog je taj što bi kontinuirani signal morao biti neprihvatljivo moćan.


Drugi razlog je taj što bi talasni oblik modulacije postao veoma izdužen i time bi preciznost bila ugrožena na dužim dometima, a tu su i drugi problemi kao što su veoma visoki odnosi signal-šum.

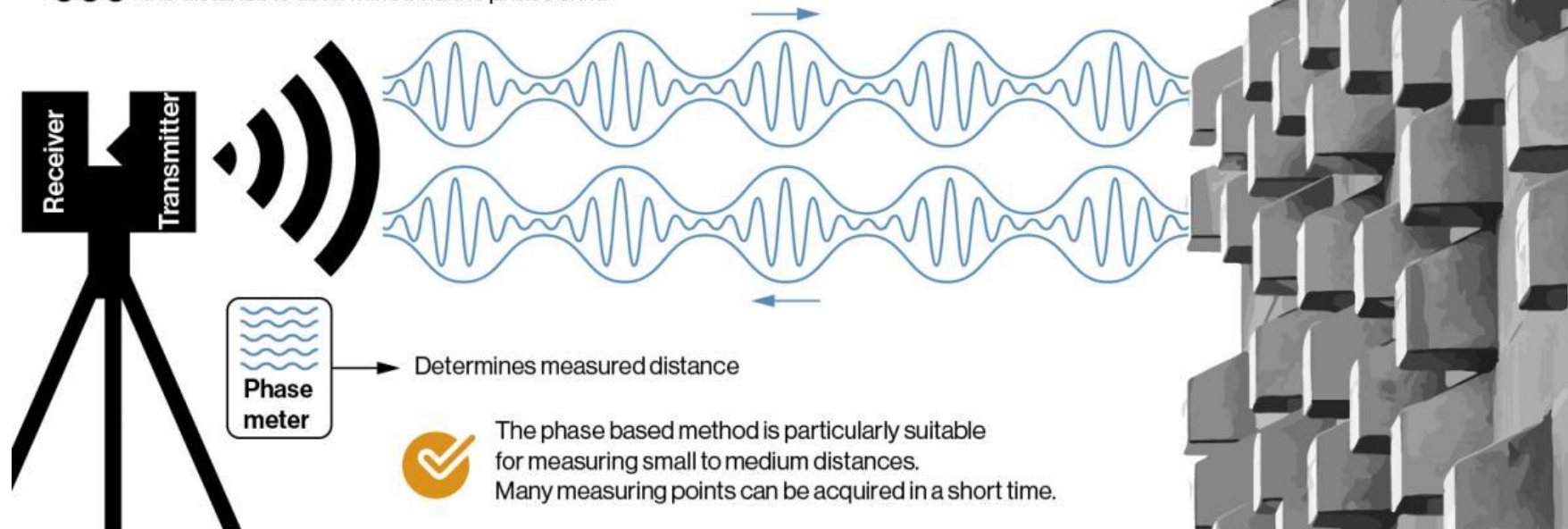


Prednosti fazne metode su veoma velika brzina merenja, veća tačnost i rezolucija.

Metoda je posebno pogodna za 3D digitalizacije objekata složene geometrije na malim i srednjim udaljenostima.

Phase based method *simply explained:*

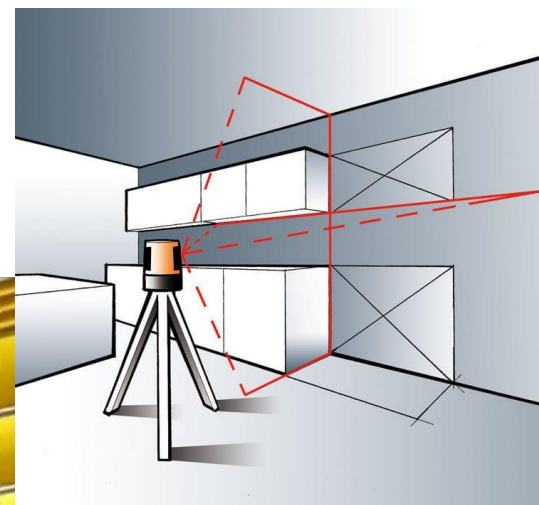
 Light pulses are modulated onto a carrier wave; when comparing the wavelengths, the distance is determined via the phase shift.

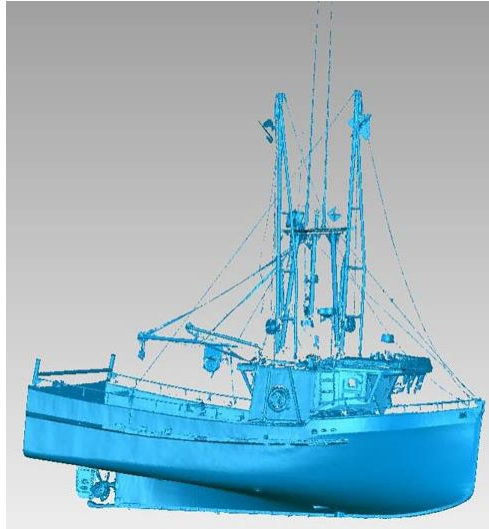


Primeri primene faznih skenera



3D digitalizacija enterijera



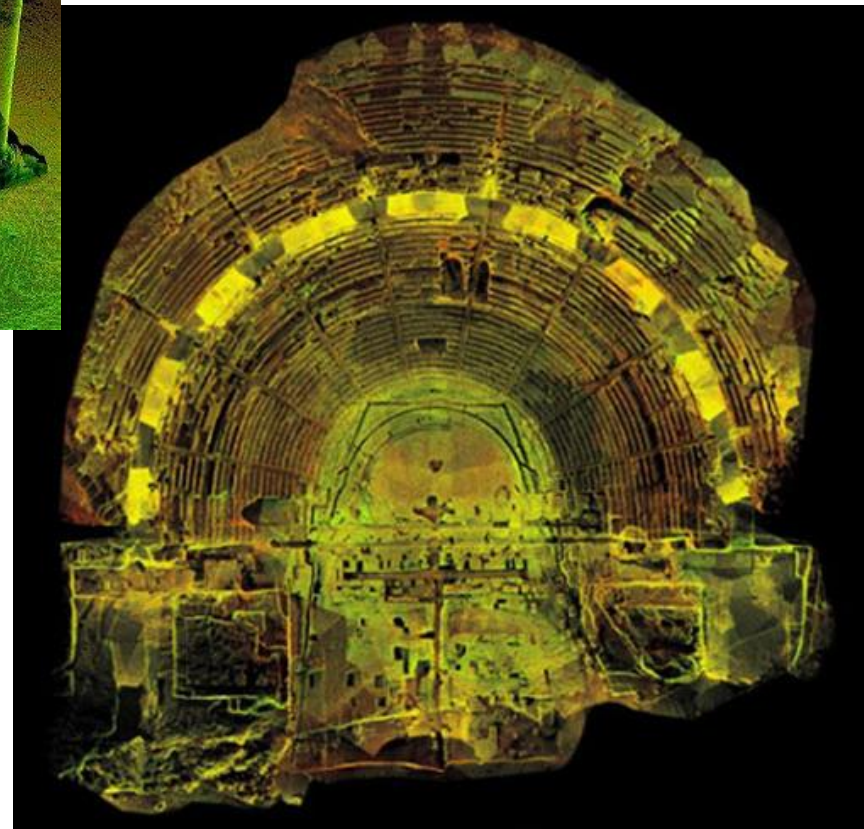
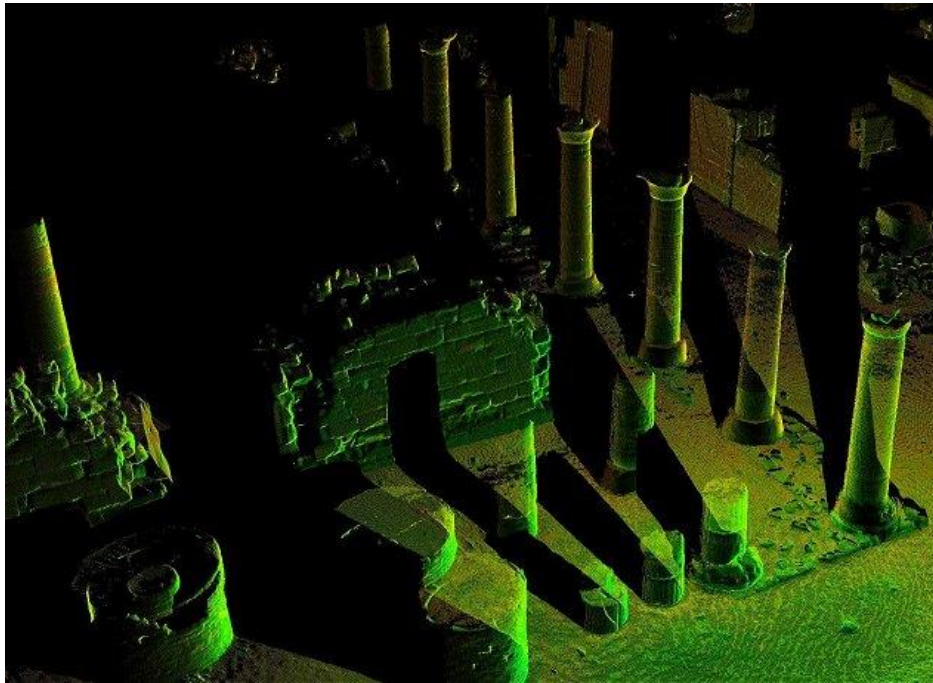


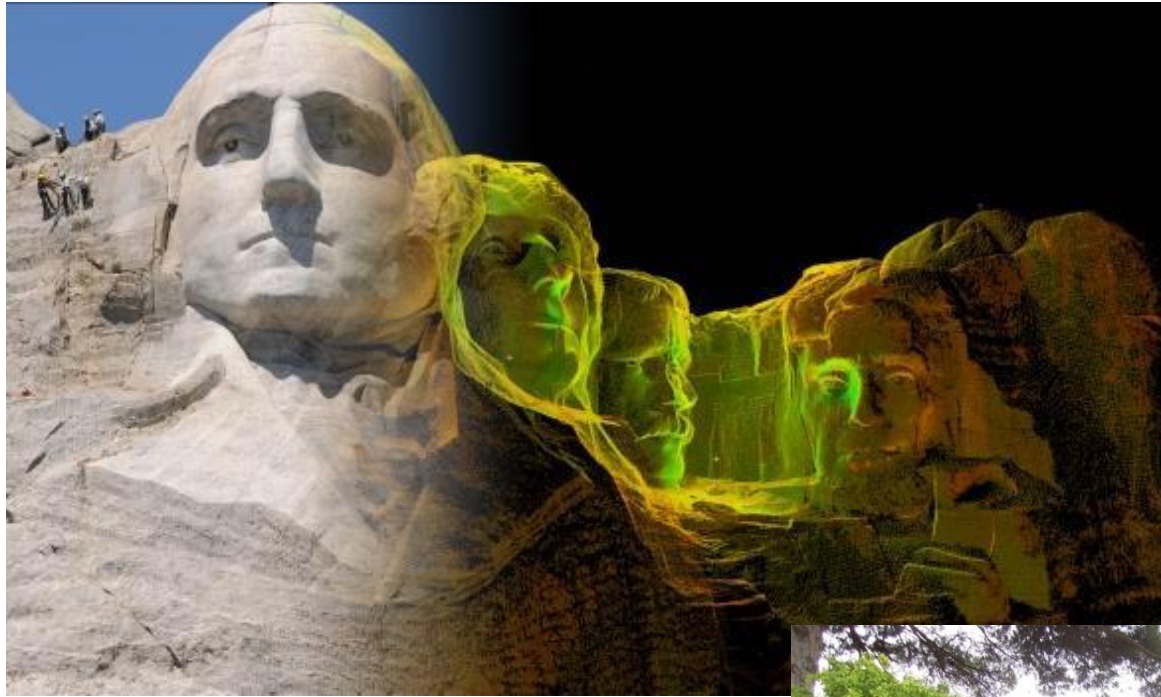


3D digitalizacija objekata velikih gabarita



Primeri primene TOF skenera





Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Animacija u inženjerstvu
Predmet: Metode 3D digitalizacije

BESKONTAKTNE METODE 3D-DIGITALIZACIJE

REFLEKSIVNE METODE **Interferometrija i druge metode**

Metode 3D digitalizacije

Pasivne

Aktivne

Kontaktne

Beskontaktne

Refleksivne

Transmisione

Optičke

Ne-optičke

Refleksivne metode 3D digitalizacije

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

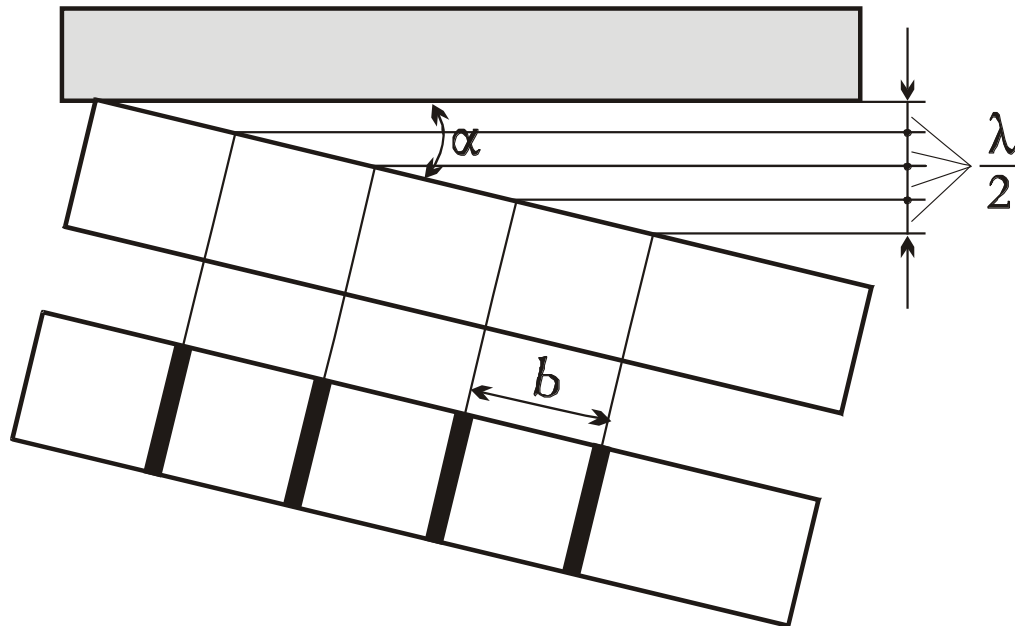
Aktivno (de)fokusiranje

Optički radar

Interferometrija

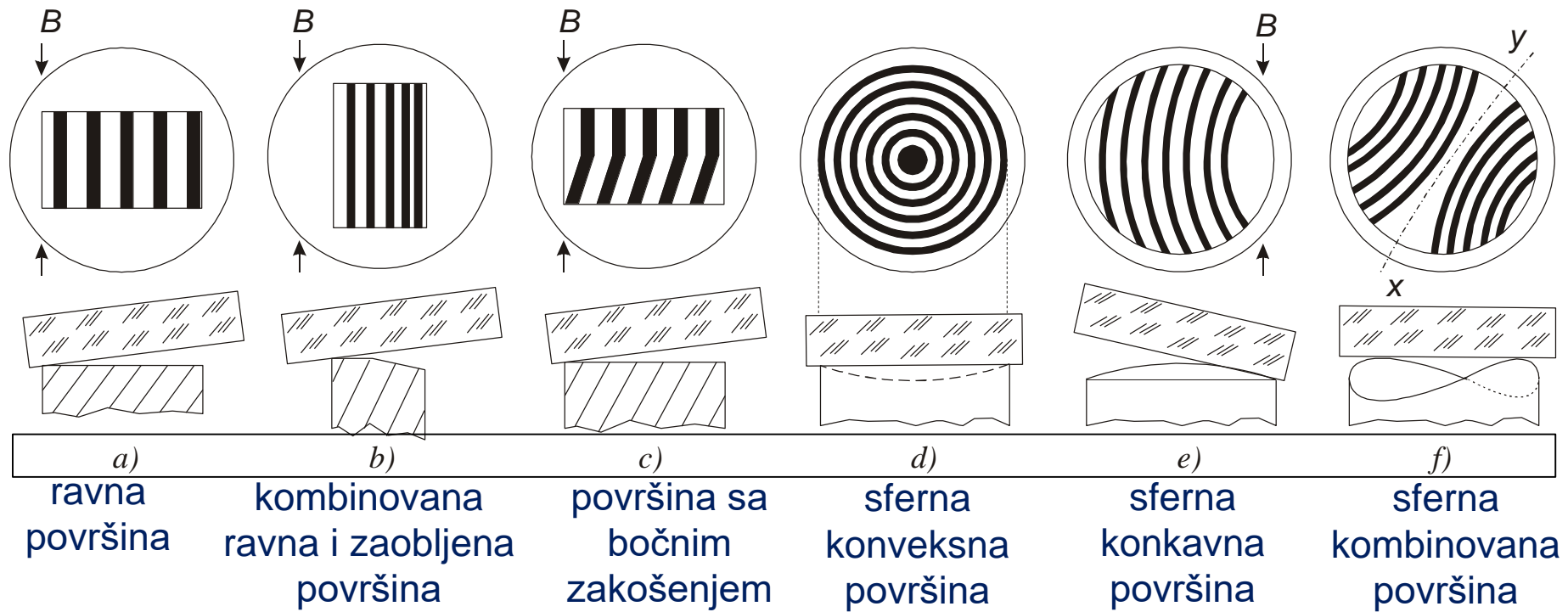
Princip se zasniva na analizi interferentnih pruga (šablona) čiji oblik je posledica vrste neravnina na površini koja se digitalizuje.

- U slučaju $h \neq const.$, odnosno kada je vazdušni sloj u obliku klina, javljaju se interferentne svetle i tamne pruge.
- Primenom monohromatske svetlosti dobiće se jasne crne i bele pruge, dok bi se primenom dnevne svetlosti dobile pruge u vidu spektralnih boja.



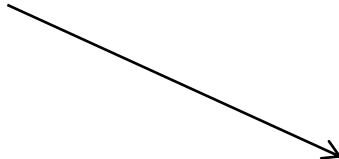
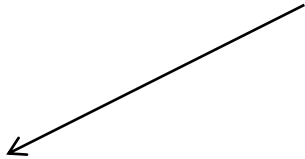
$$b = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

b - širina trake
 λ - talasna dužina
 α - ugao klina



Oblik i raspored interferentnih pruga u zavisnosti od oblika ispitivane površine

Interferometrija



Holografska

Moire-ova

Holografaska interferometrija

- ✓ Naziv **holografija** potiče od grčkih reči ὅλος (hólos; "celo") i γραφή (graphḗ; "pisati" ili "crtati");
- ✓ Predstavlja metodu rekonstruisanja i snimanja totalne optičke informacije sa objekta;
- ✓ Mada se ne zna tačan podatak, može se reći da se holografaska interferometrija pojavila i počela da se razvija 60-tih godina XX veka, sa razvojem lasera;
- ✓ Holografaska interferometrija se razvila na osnovama klasične interferometrije i njen pronalazak je omogućio primenu interferometrije (do tada ograničenu na transparentne objekte kao što su gasovi, tečnosti, ogledala, sočiva i sl.) i na proučavanje procesa u medijima koji nisu optički uniformni, kao i kod objekata sa difuznom refleksijom;
- ✓ Osnovna razlika između klasične i holografске interferometrije je u tome što kod klasične interferometrije dolazi do interferencije talasa koji su u jednom vremenskom trenutku prešli različite putanje, dok **kod holografске interferometrije dolazi do interferencije talasa koji su u različitim vremenskim trenucima prešli identične putanje.**



*Interferogram (a) i uveličani detalj (b)
dobijeni preko HI sa fokusiranjem slike*

Moiré-ova interferometrija

Iako se moiré-ove tehnike primenjuju već dugi niz godina, tek od skora je sagledan njihov ukupni potencijal.

Moiré-ova interferometrija se razvila iz konvencionalne holografske interferometrije i mnogi je smatraju vrstom holografske interferometrije.

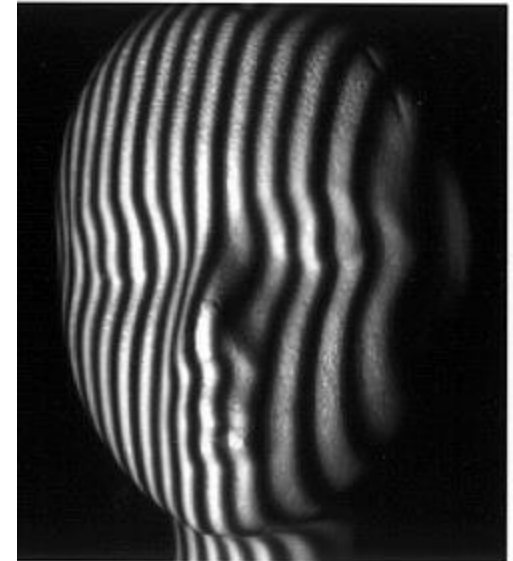
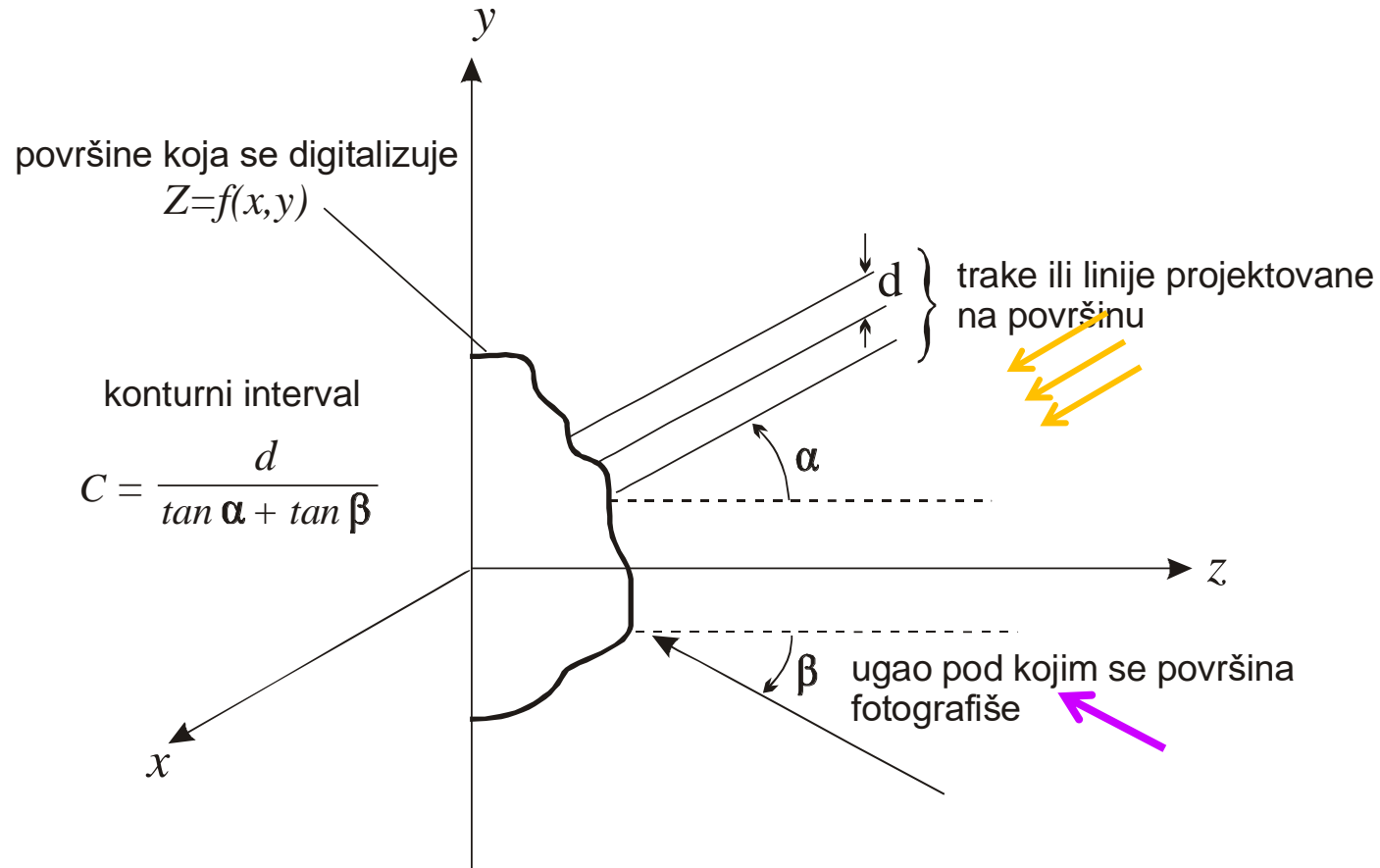
Moiré-ova interferometrija se primenjuje za digitalizaciju kontura površina na bilo kojoj talasnoj dužini većoj od $10\ \mu\text{m}$, ali se pun efekat dobija na talasnim dužinama većim od $100\ \mu\text{m}$.

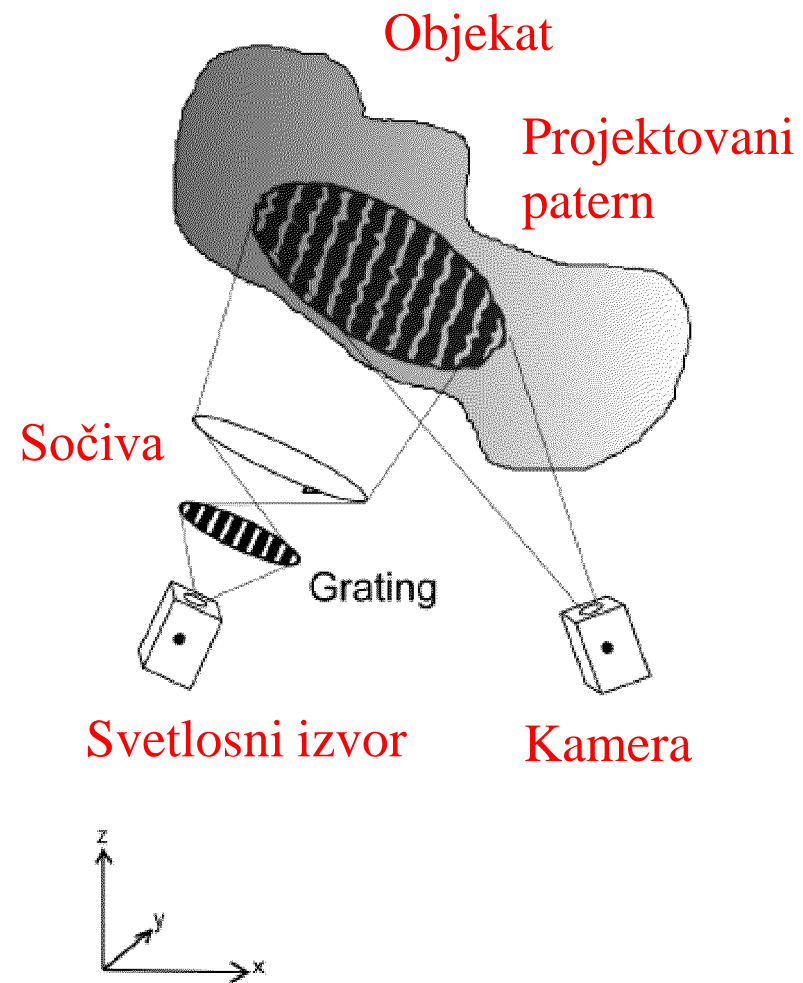
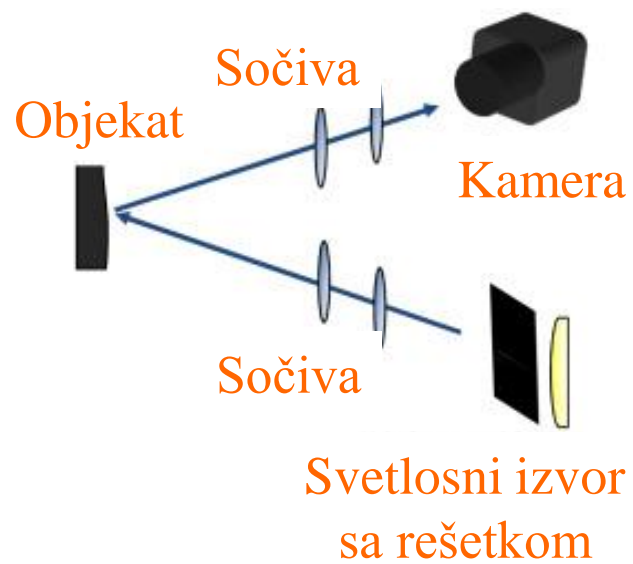
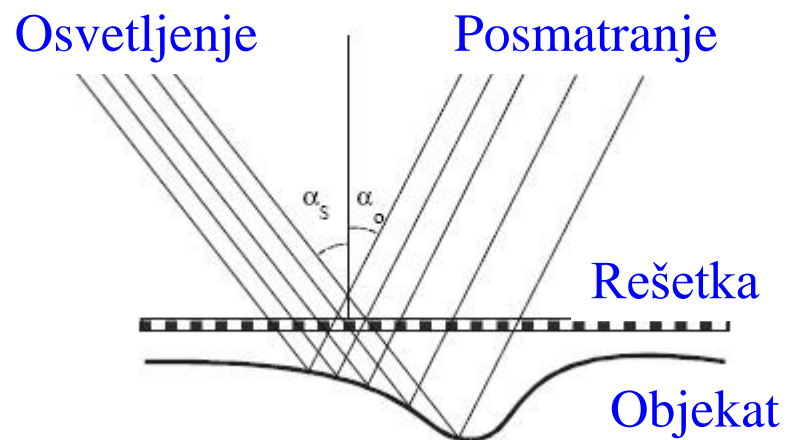
Primena mikroskopa omogućava postizanje prostorne rezulucije od $1\ \mu\text{m}$, sa osetljivošću koraka od $10\ \text{nm}$.

Osnovni princip moiré-ove interferometrije:

Ako se paralelne ekvidistantne (na istom rastojanju) ravni ili trake projektuju na neravnu površinu i ako se površina posmatra pod uglom koji je različit od ugla pod kojim su projektovane trake, videće se krive pruge.

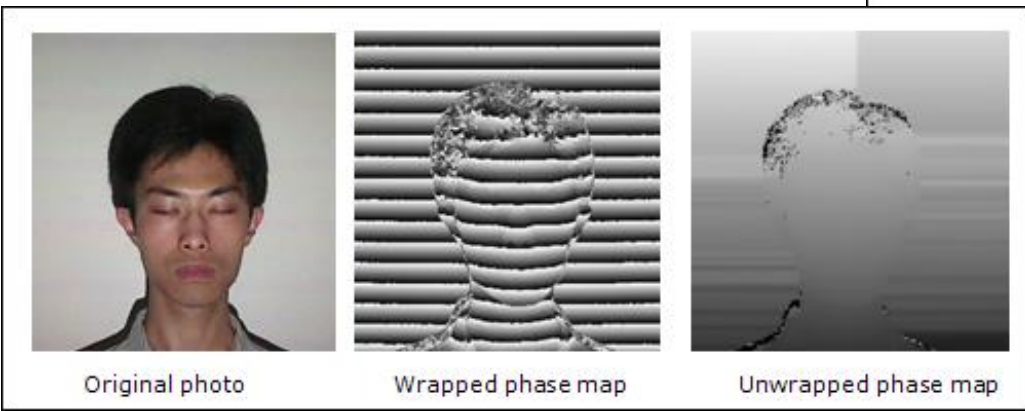
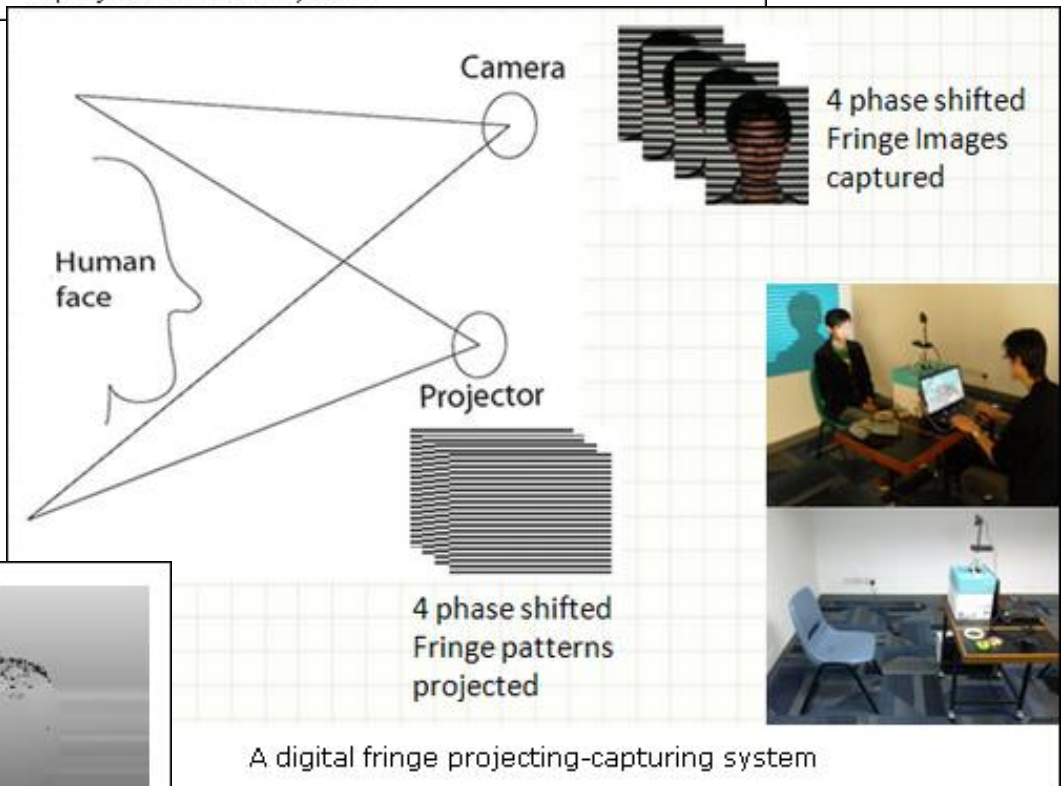
Fotografisanjem ove površine dobija se takozvani *moiré-ov šablon* koji se poredi sa ravno-linijskim šablonom i procesiranjem razlika se dobija digitalizovana kontura objekta.







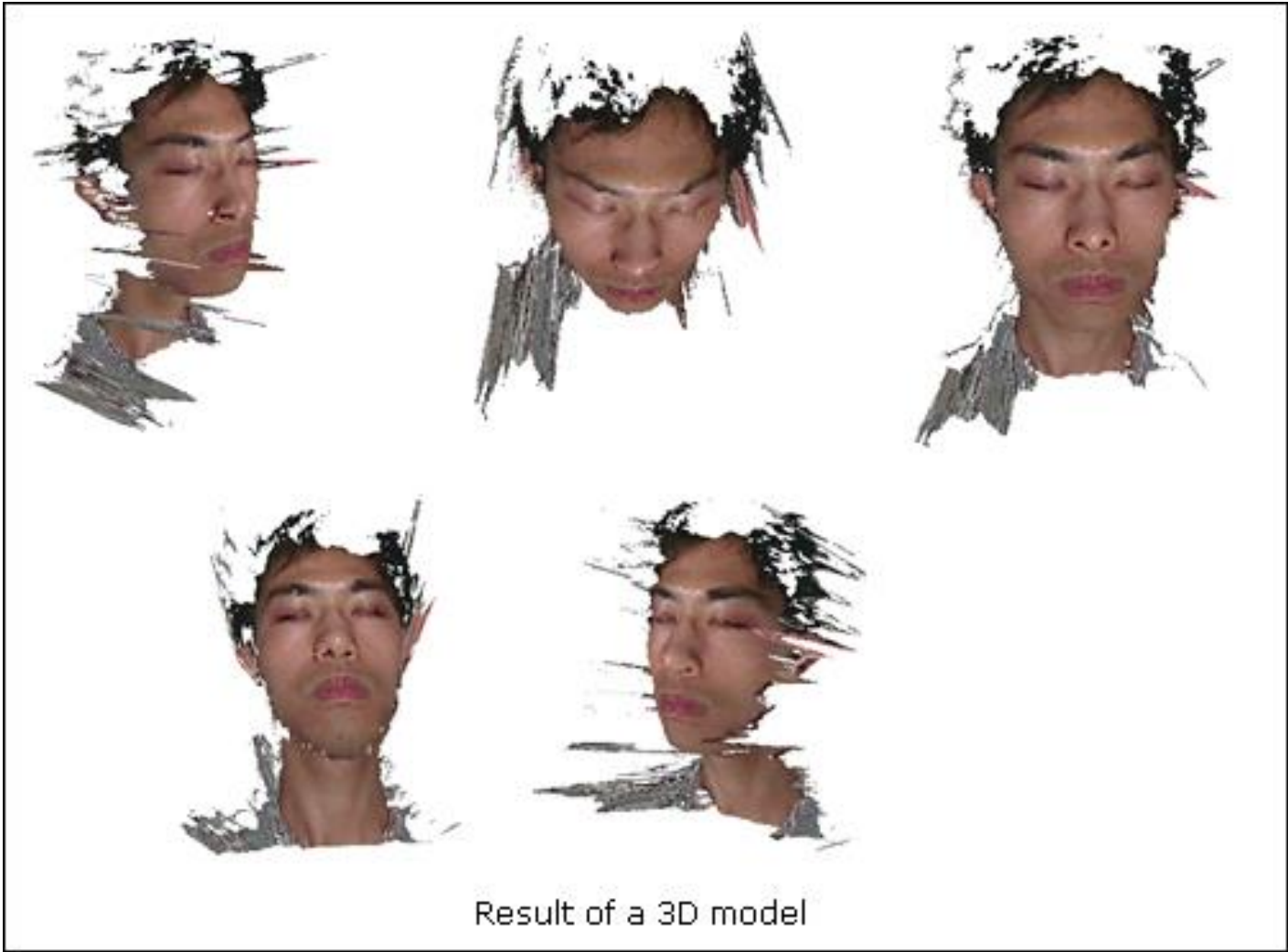
A projector-camera system



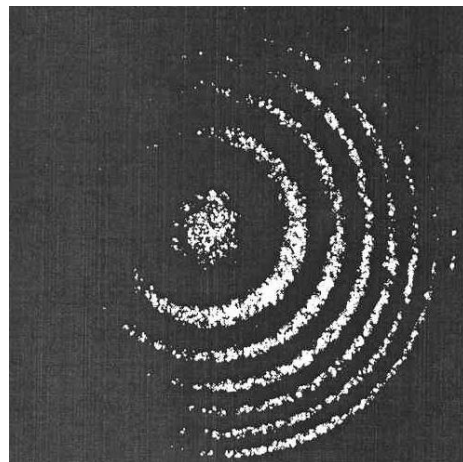
Original photo

Wrapped phase map

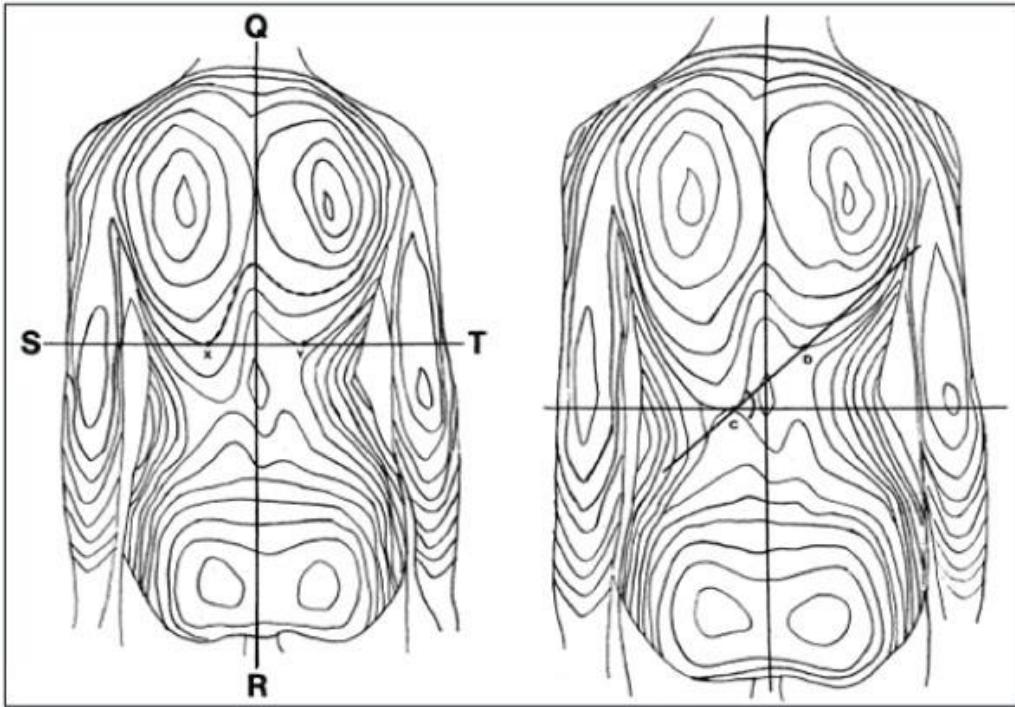
Unwrapped phase map

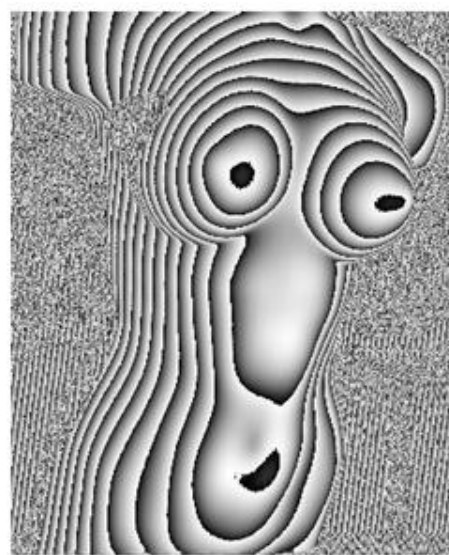
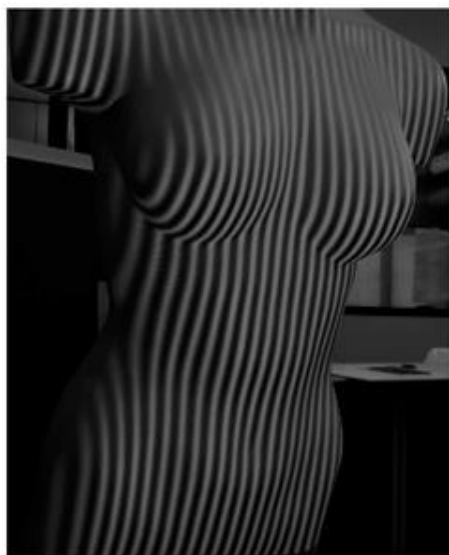
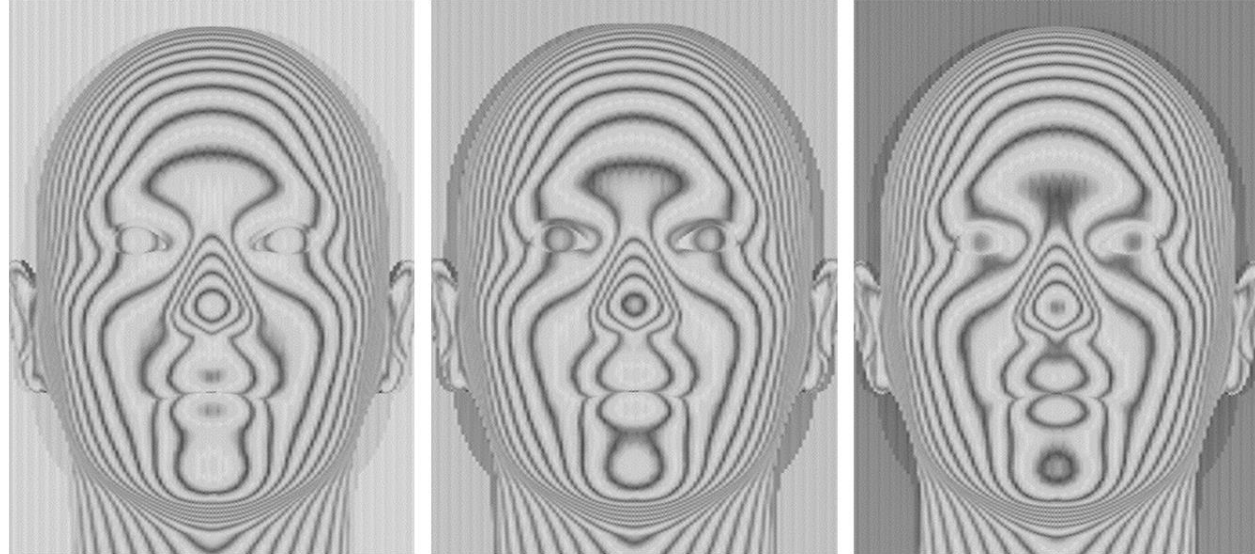


Result of a 3D model



Moiré-ov interferogram
sferne površine





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

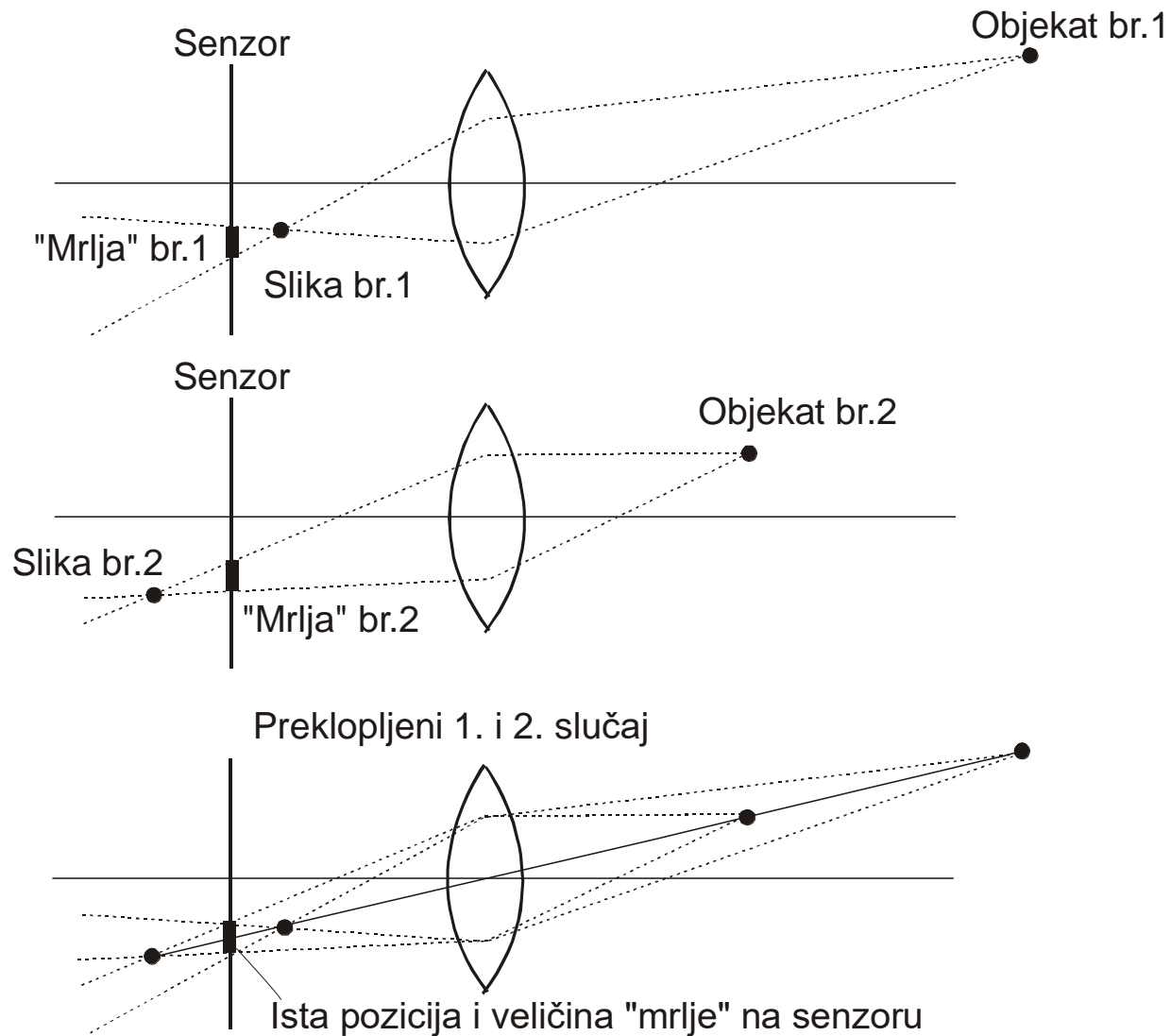
Interferometrija

Aktivna stereovizija

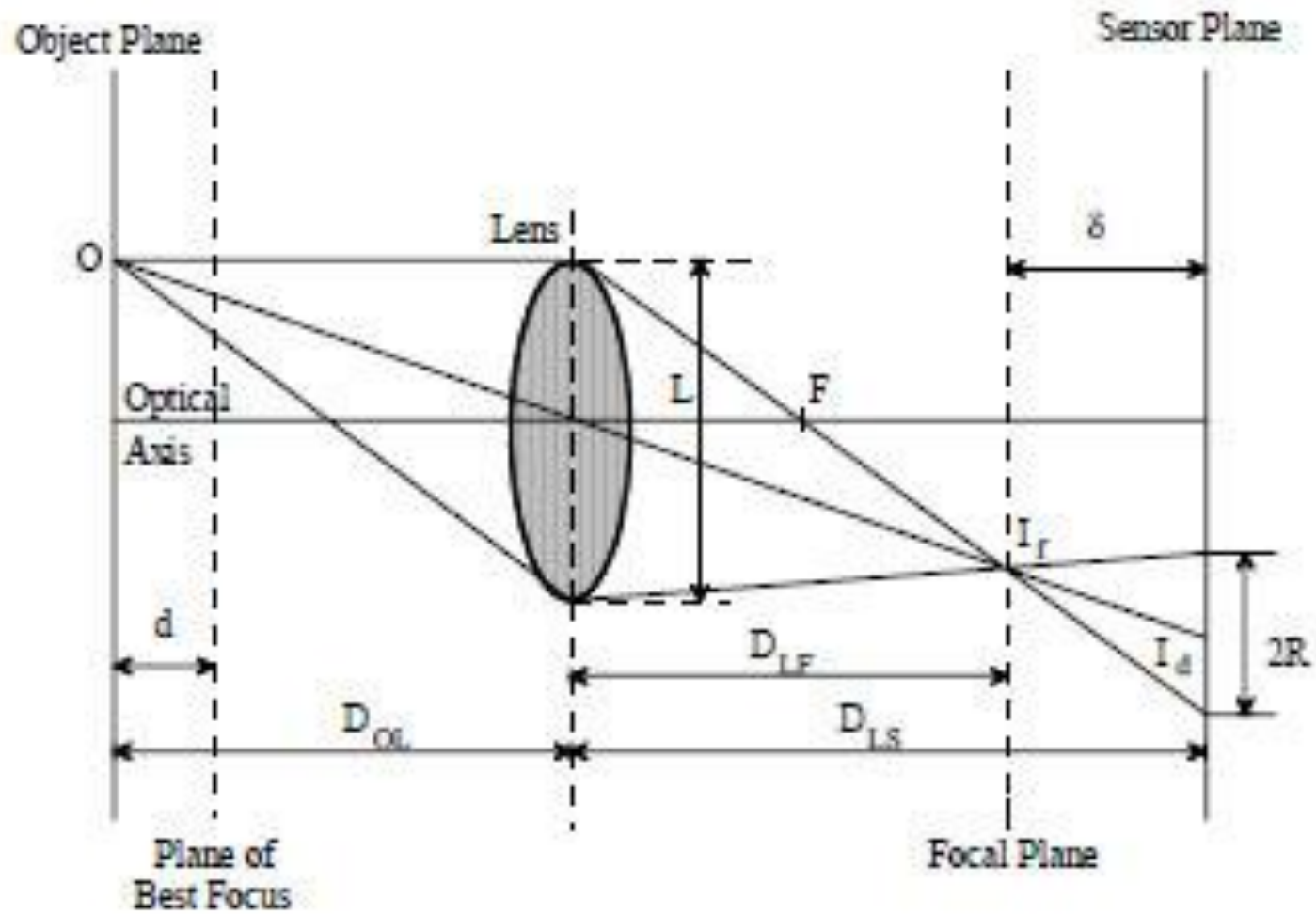
Aktivno (de)fokusiranje

Optički radar

Aktivno određivanje dubine (de)fokusiranjem



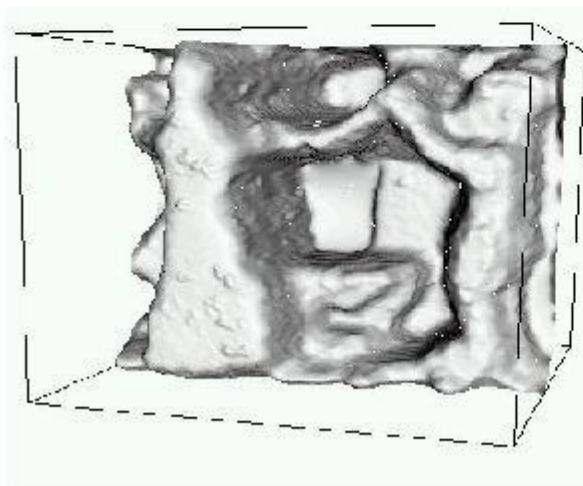
Princip: na senzoru za akviziciju slike koji je pomeren iz ravni slike (koja jednoznačno zavisi od fokusa odnosno žižne daljine korišćenog sočiva) će se dobiti "mrlja" (nejasna slika) čija veličina zavisi od udaljenosti objekta.



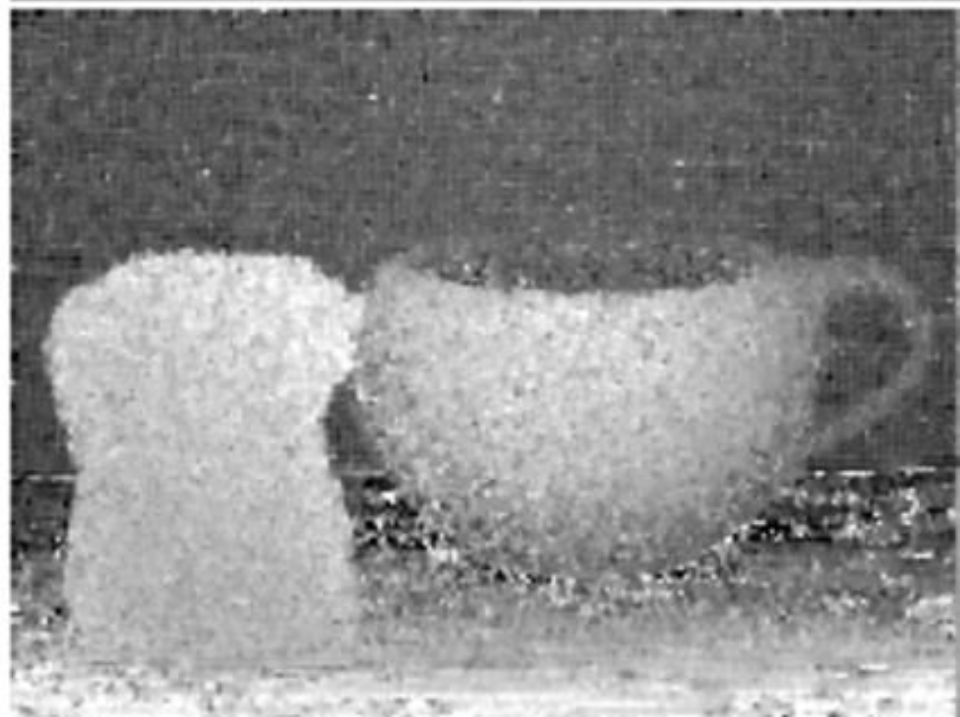
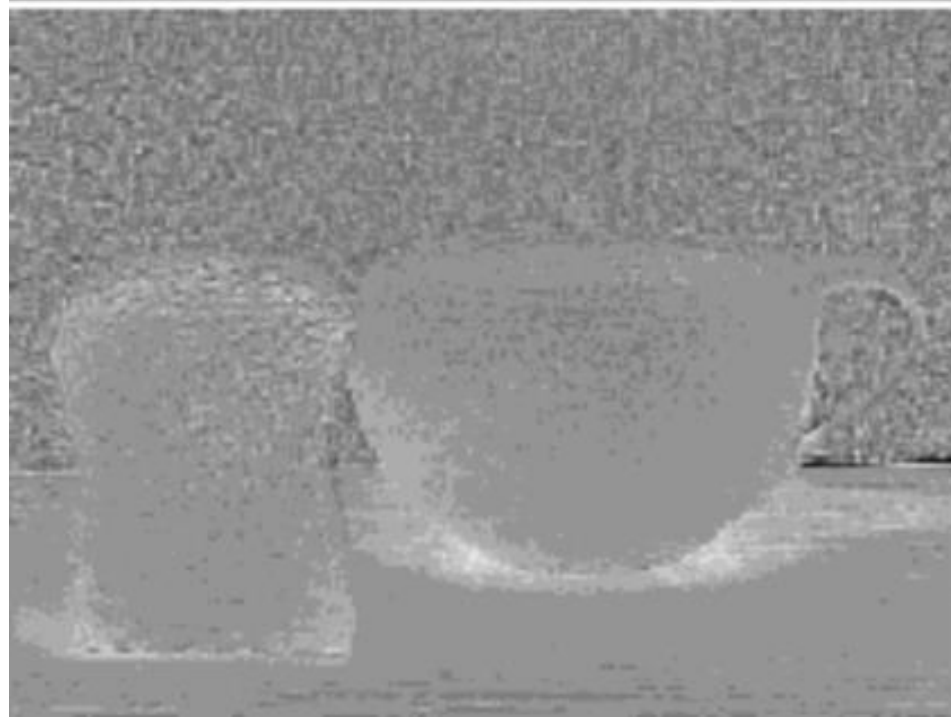
$$R = \frac{D_{OL} (D_{LS} - F) - F D_{LS}}{2f D_{OL}}$$

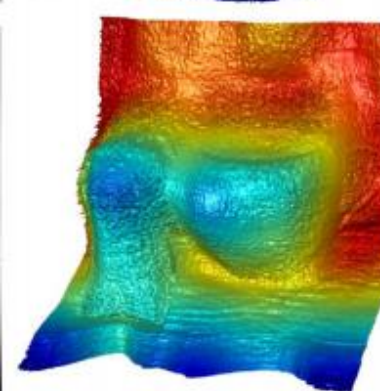
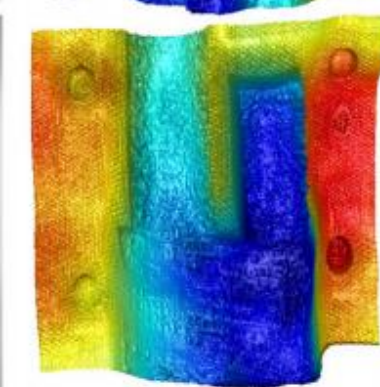
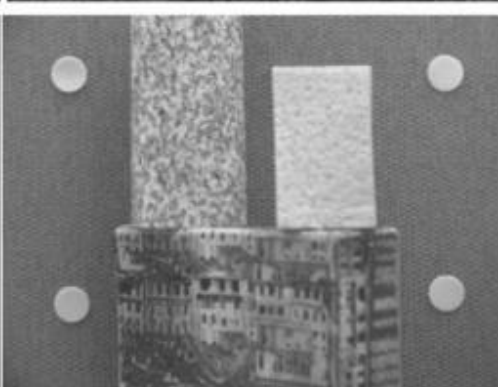
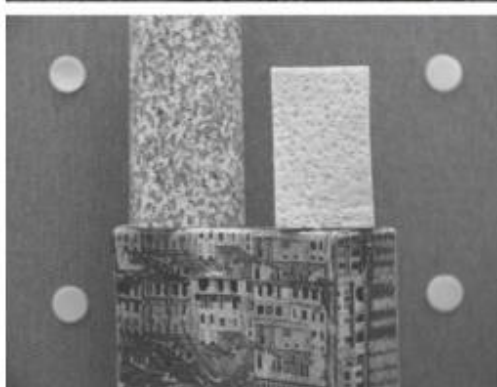
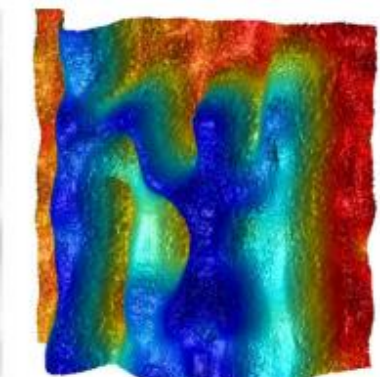


Fotografije
snimljene
iz iste pozicije,
sa različitim
podešavanjima
kamere



3D oblik
(procena dubine)





Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju

```
graph TD; A[Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju] --> B[Mikrotalasni radar]; A --> C[Ultrazvuk]; B --- D["•Merenje vremena potrebnog impulsu mikrotalasne energije da dođe do objekta i da se vrati"]; C --- E["•Merenje vremena potrebnog zvučnom impulsu da dođe do objekta i da se vrati"];
```

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