

Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Proizvodno mašinstvo
Predmet: Reverzibilno inženjerstvo i CAQ

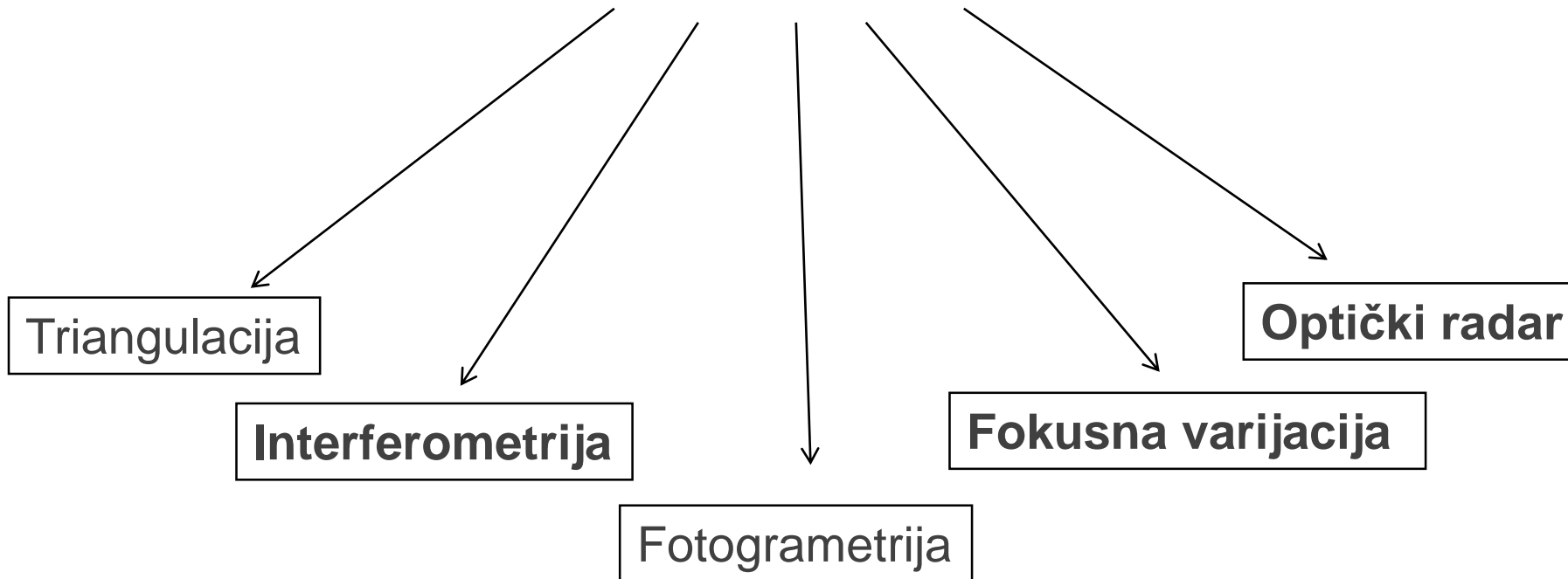


OPTIČKE METODE 3D DIGITALIZACIJE

OPTIČKI RADARI



Optičke metode 3D digitalizacije



OPTIČKI RADAR

```
graph TD; A[OPTIČKI RADAR] --> B[Na principu direktnog proračuna vremena - LIDAR]; A --> C[Indirektno na principu amplitudne modulacije ToF kamere];
```

Na principu **direktnog**
proračuna vremena -
LIDAR

Indirektno na principu
amplitudne modulacije
ToF kamere

Optički radar na principu direktnog proračuna vremena - LIDAR

(eng. Direct Time-of-Flight – dToF) ili eng. Light Detection And Ranging - LIDAR

Radarima 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 nazad do senzora.

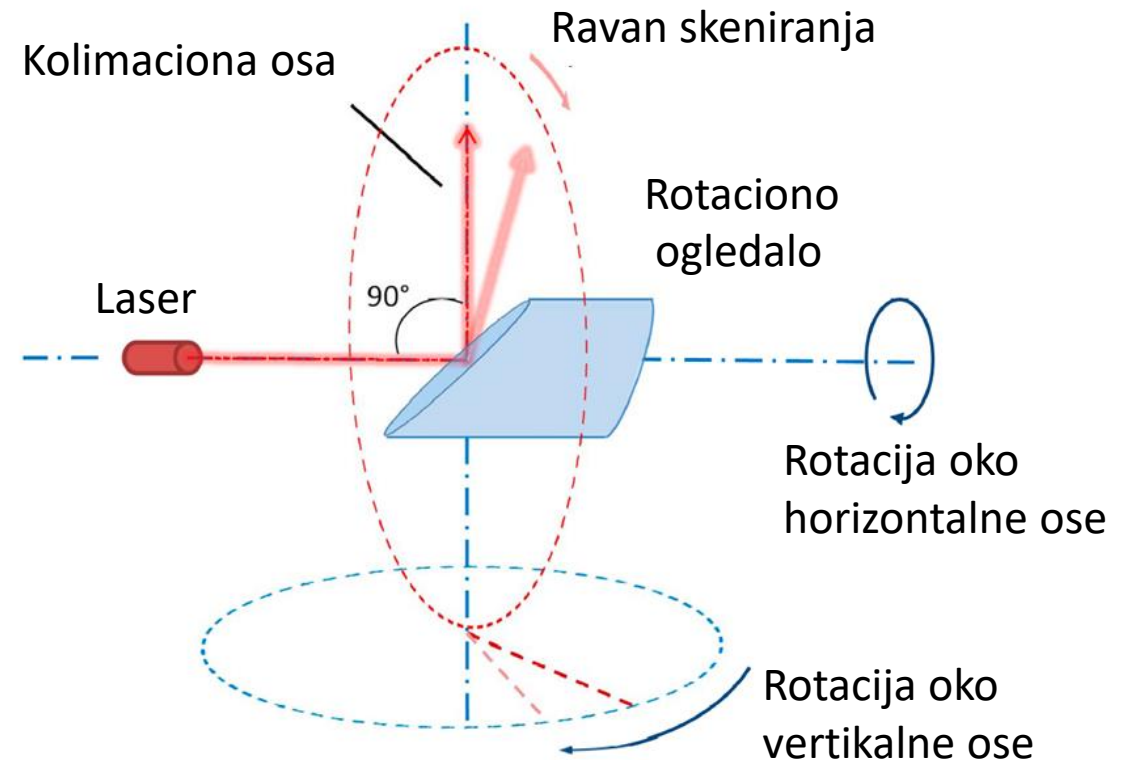
Daljina r se izračunava iz sledeće jednakosti:

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

gde su:

- t izmereno vreme i

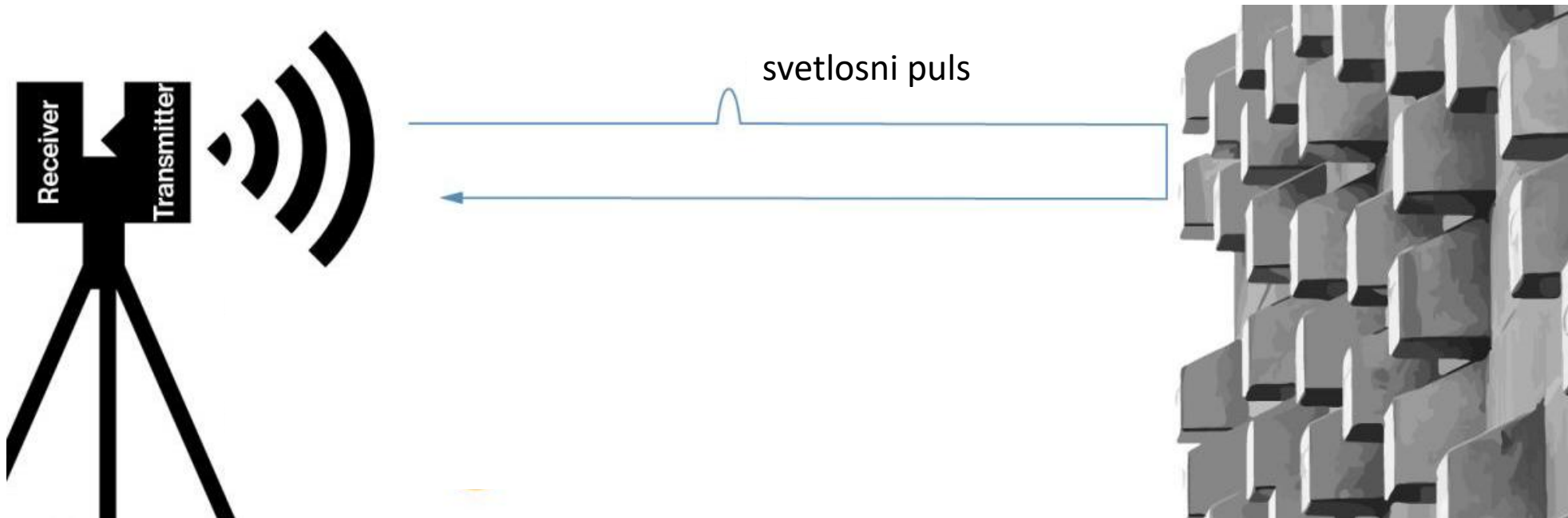
- c brzina svetlosti u vazduhu.



Optički radar na principu direktnog proračuna vremena - LIDAR

Različiti tipovi svetlosti (koji se nazivaju i nosioci) mogu se koristiti sa principom direktnog proračuna vremena leta i to može biti:

- laserska svetlost
- vidljiva bela svetlost
- infracrvena svetlost (infrared).

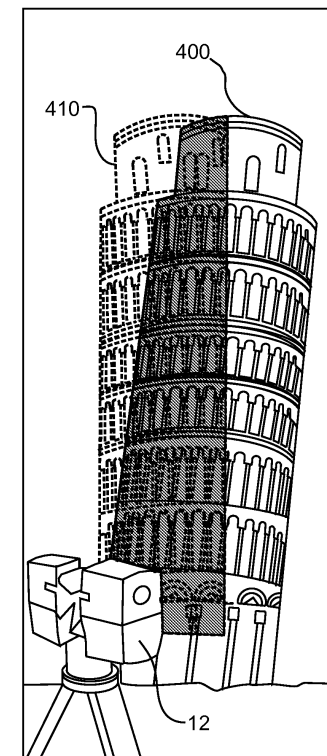
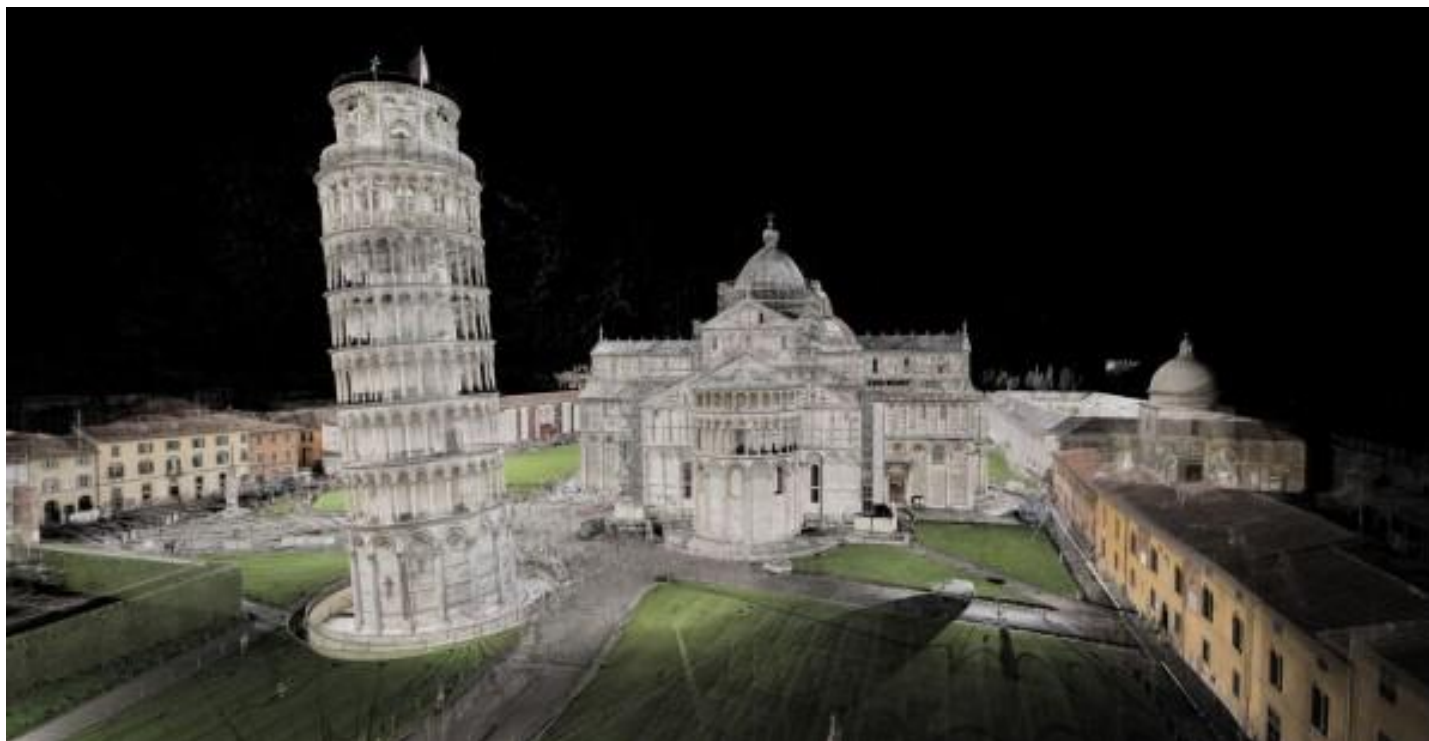


Optički radar LIDAR za skeniranje sa zemlje



Optički radar LIDAR za skeniranje sa zemlje

3D digitalizacija eksterijera



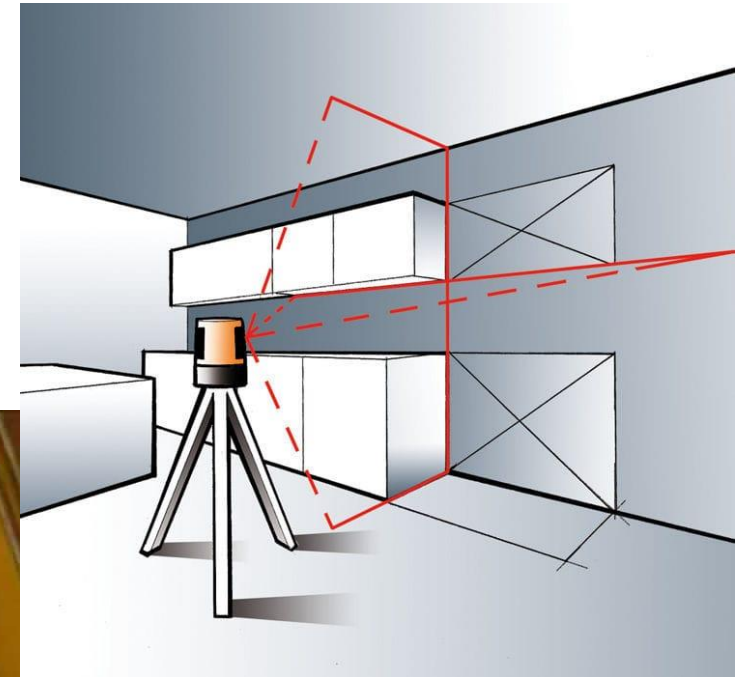
Toranj u Pizi



Primeri primene LIDAR skenera

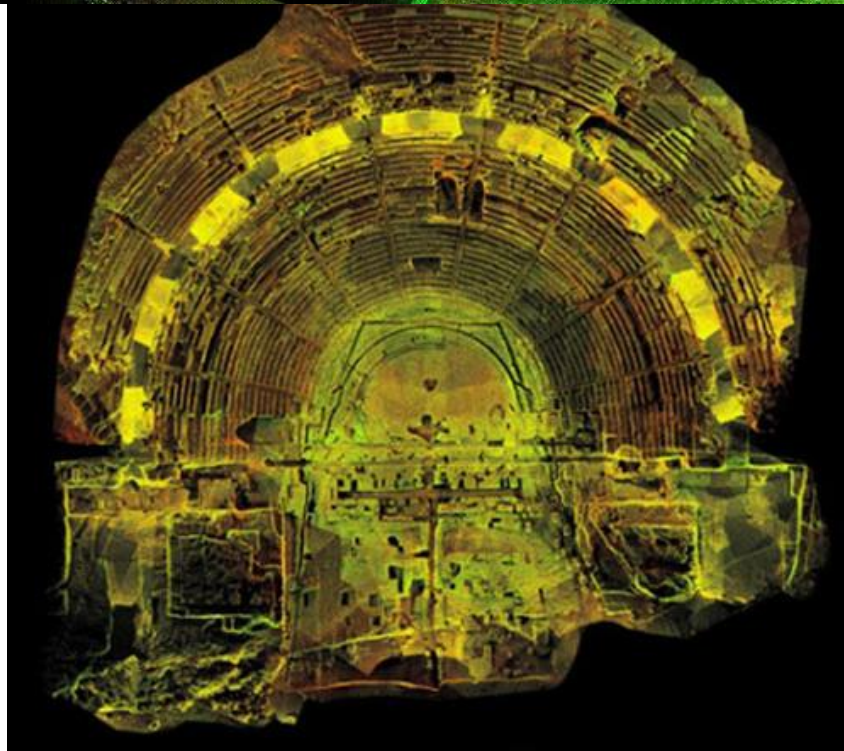
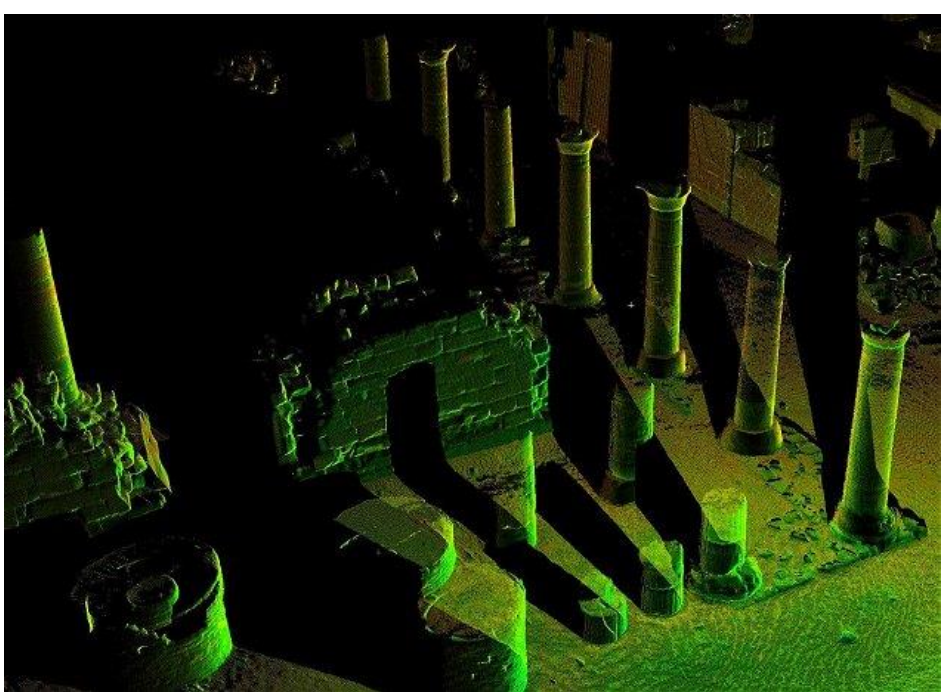


3D digitalizacija enterijera





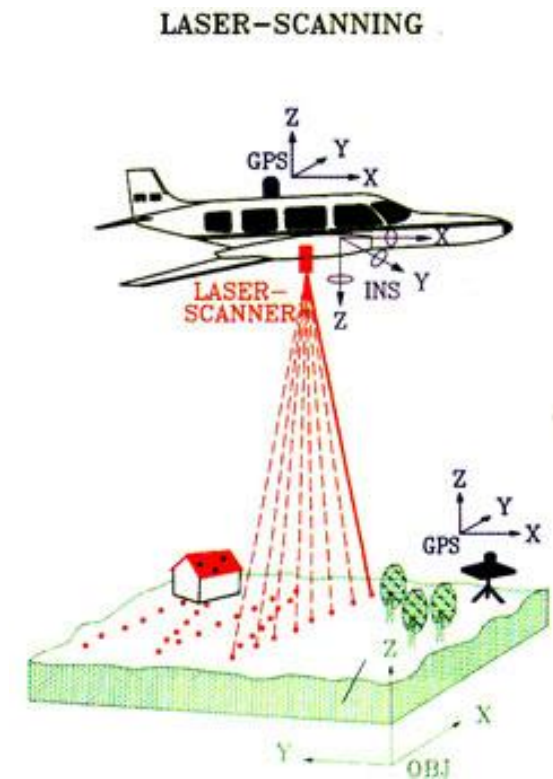
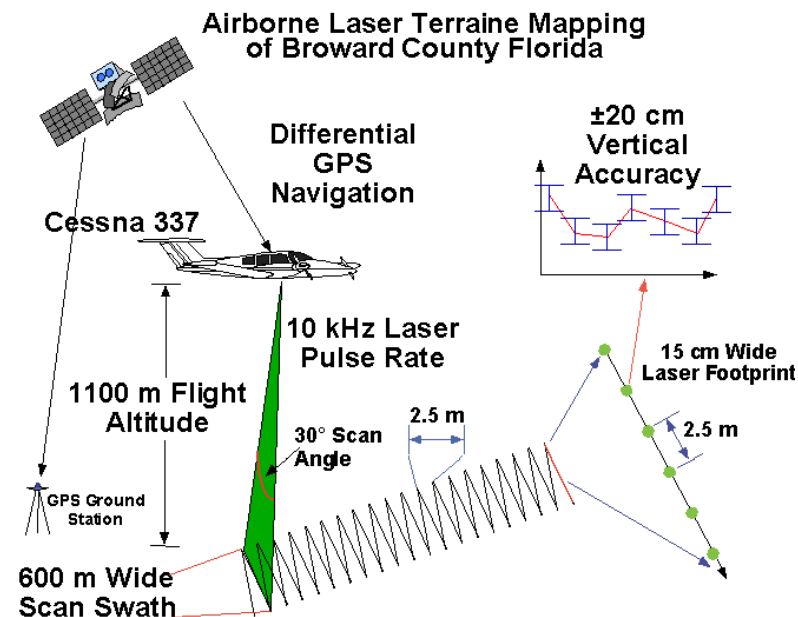
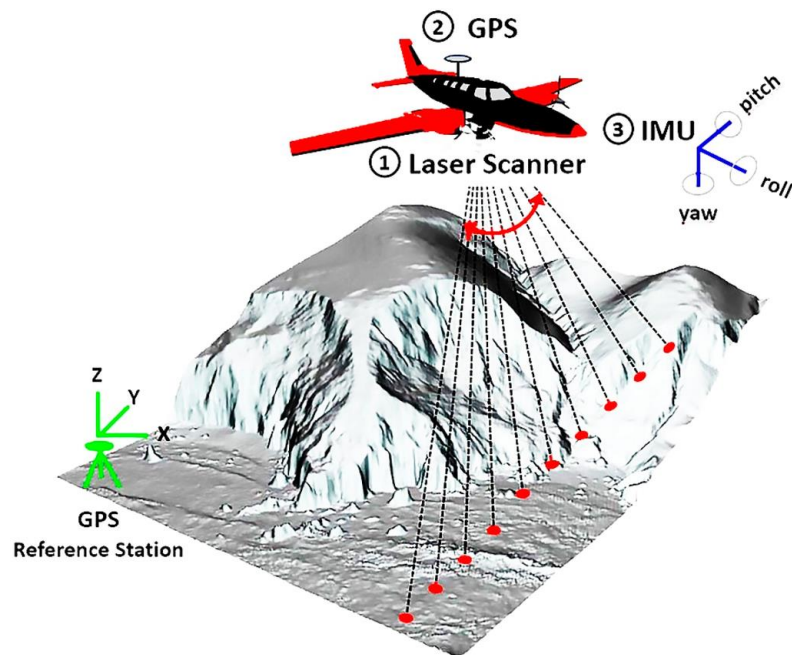




LIDAR za skeniranje iz vazduha

Osim udaljenosti, LIDAR može prikupljati i dodatne informacije poput oblika, brzine i površinske teksture objekata.

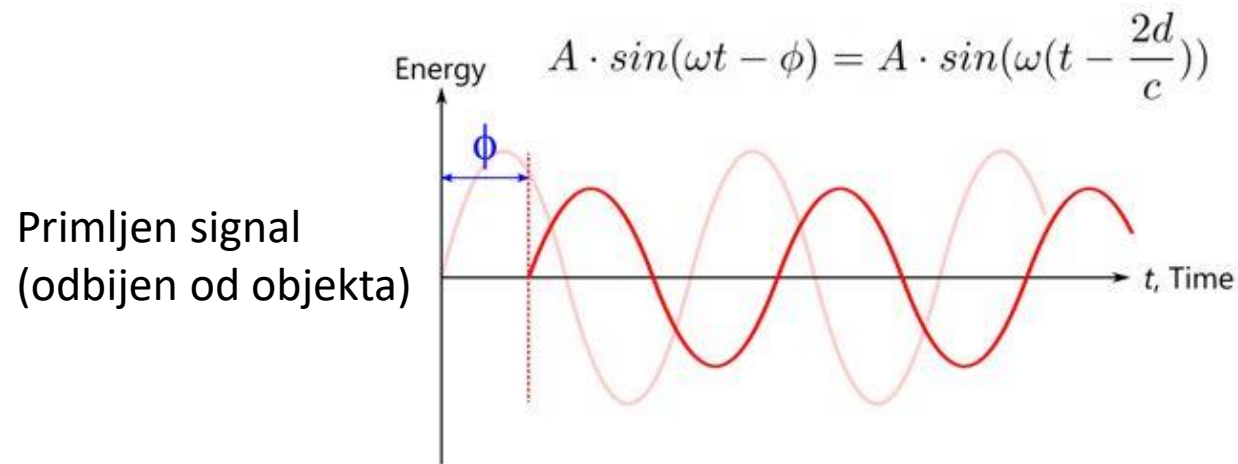
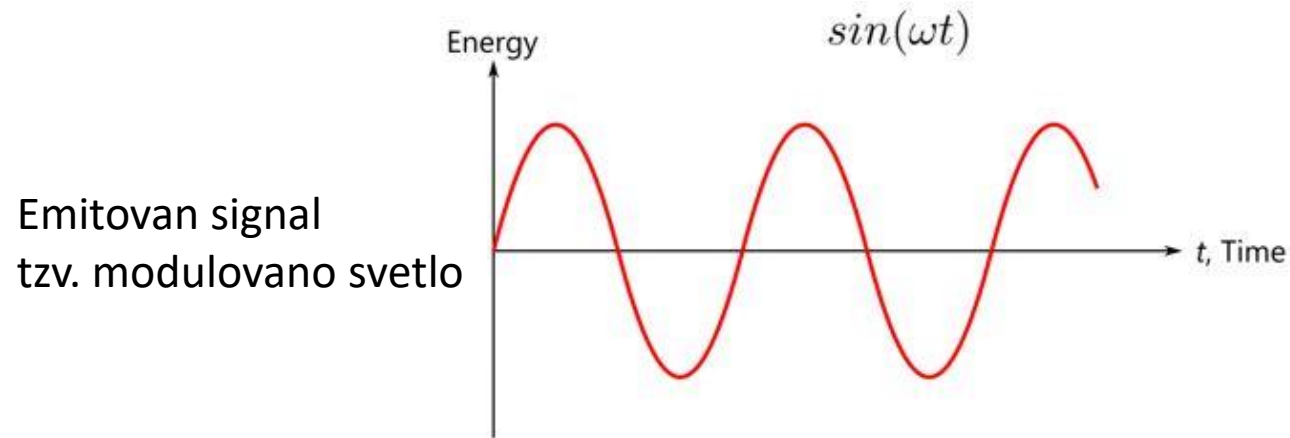
LIDAR se često koristi u različitim područjima kao što su kartografiranje terena, geodezija, urbanističko planiranje, meteorologija, arheologija, sigurnost vozila (kao što su autonomna vozila).



Optički radar na principu amplitudne modulacije – indirektni ToF

Izvor svetlosti neprestano radi, ali sinusoidno modulira tokom vremena.

Merenjem fazne razlike emitovane i reflektovane svetlosti moguće je izračunati udaljenost tačke d na objektu.



$$\omega = 2\pi f$$

Ugaona brzina

$$d = \frac{c \cdot \Phi}{2 \cdot 2\pi f}$$

f – frekvencija modulacije

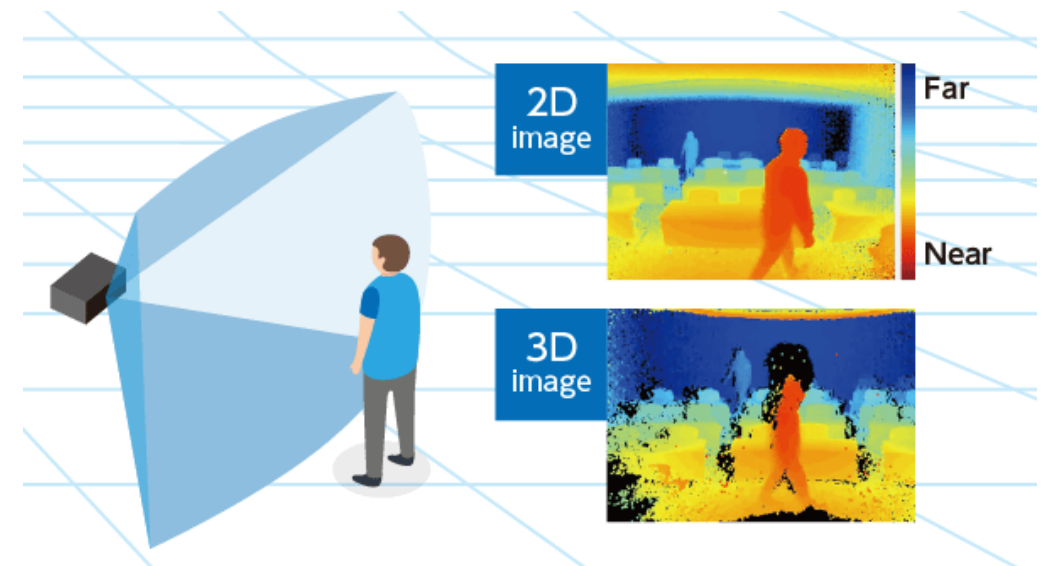
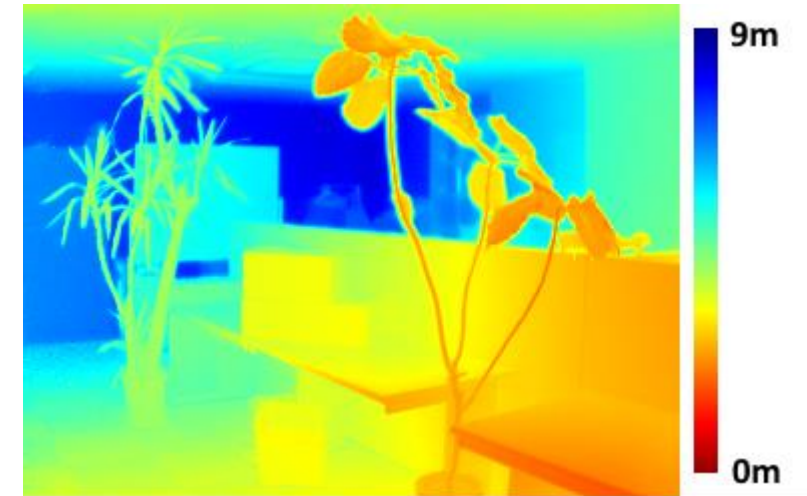
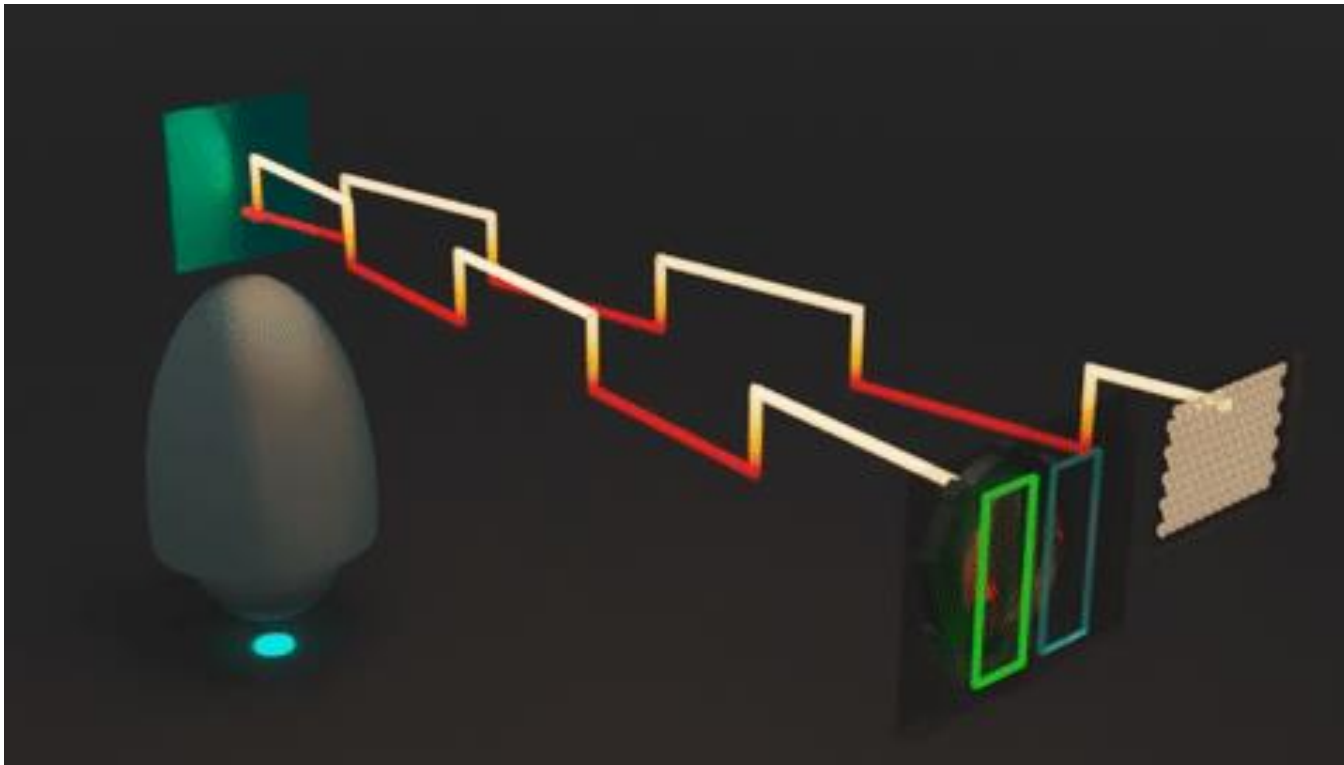
c – brzina svetlosti

Φ – fazna razlika

A - amplituda

Optički radar na principu amplitudne modulacije – indirektni ToF

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

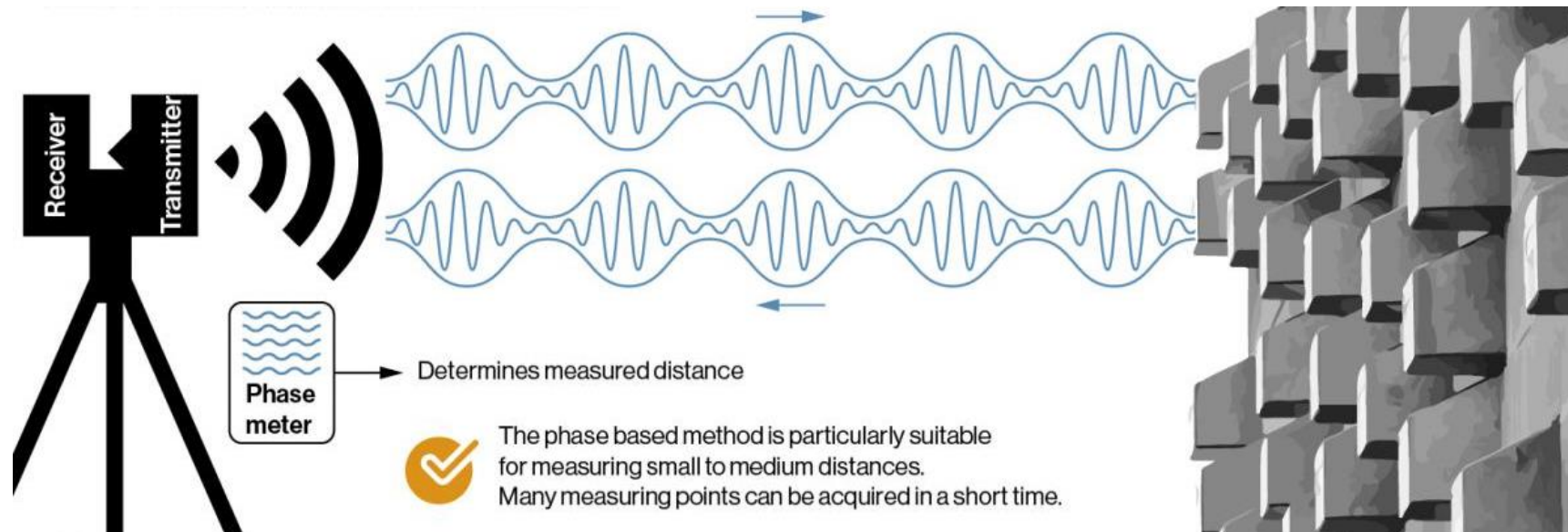


Optički radar na principu amplitudne modulacije – indirektni ToF

Prednosti fazne modulacije su:

- veoma velika brzina merenja,
- veća tačnost i rezolucija nego LIDAR.

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



Karakteristike optičkih radara

Lidar i ToF (Time-of-Flight) uređaji za 3D digitalizaciju se prvenstveno razlikuju po preciznosti i dometu.

Lidar nudi preciznost do 1 milimetara i ističe se u aplikacijama dugog dometa kao što su autonomna vozila, mapiranje terena, 3D digitalizacija većih objekata.

indirektni ToF senzori (kamere) su kompaktniji, pogodni za zadatke kratkog do srednjeg dometa i troše manje energije, generišu mapu dubina.

BESKONTAKTNE METODE 3D-DIGITALIZACIJE

REFLEKSIVNE METODE

Fokusna varijacija i interferometrija

Refleksivne metode 3D digitalizacije

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

Optičke

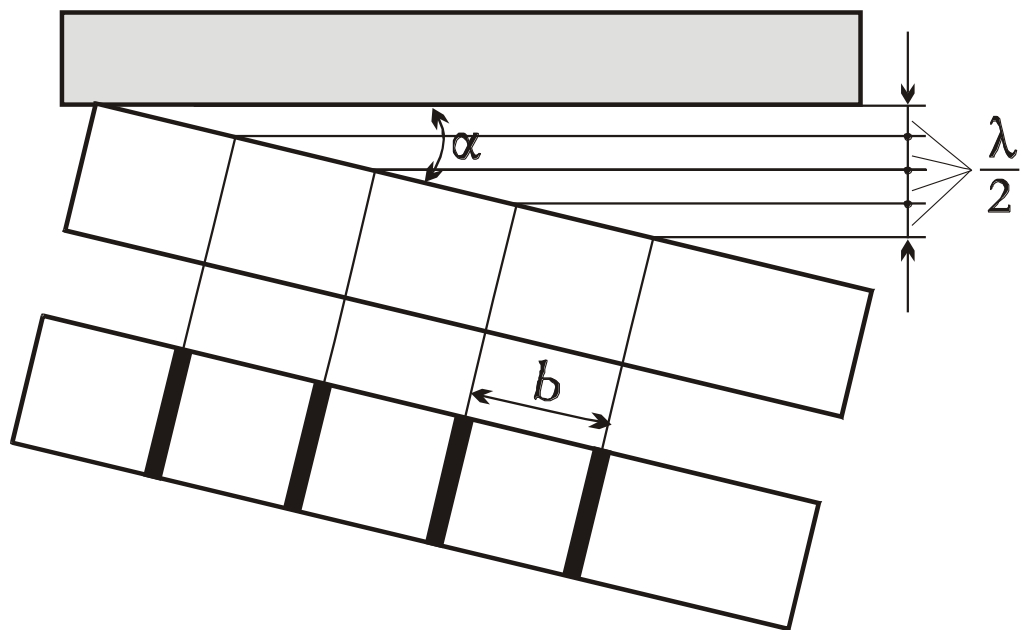
Ne-optičke

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

Interferometrija

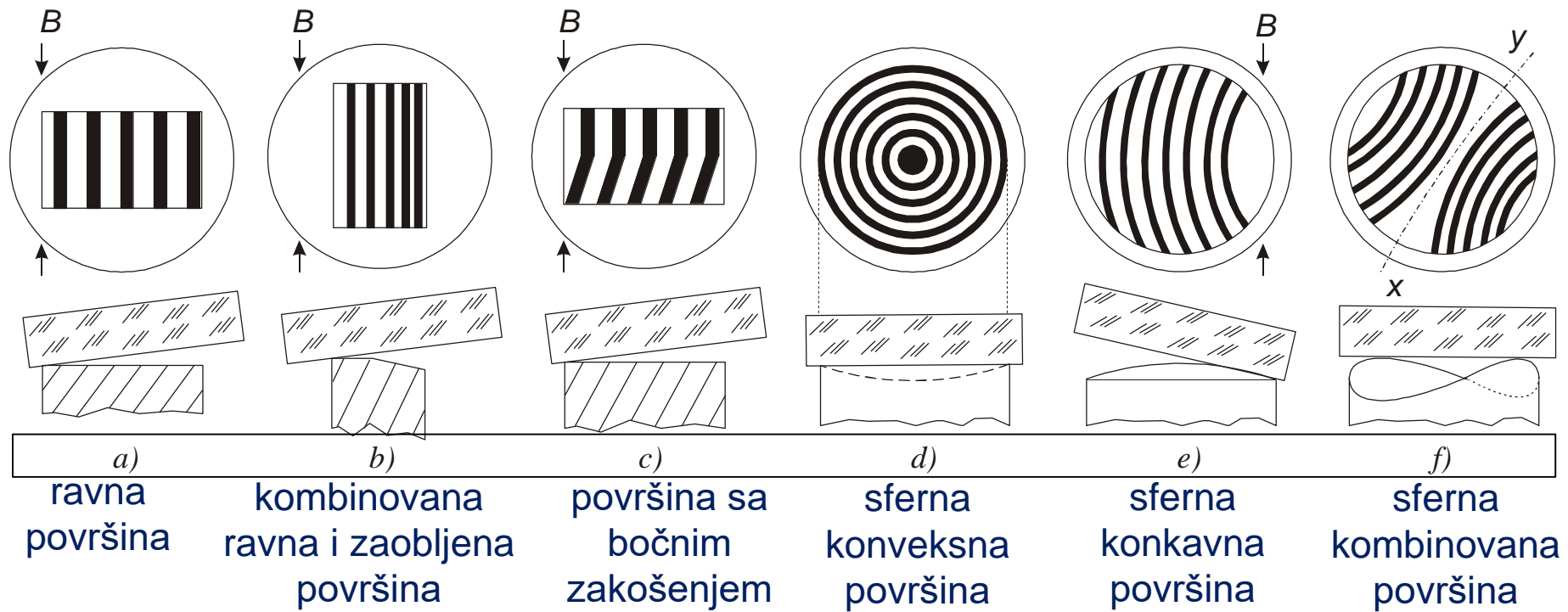
Princip se zasniva na analizi interferentnih pruga (šablona) čiji oblik je posledica vrste neravnina na površini koja se digitalizuje.

- 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.



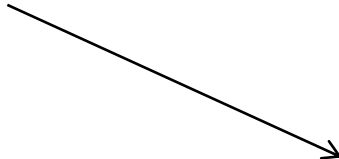
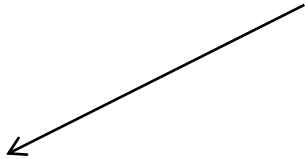
$$b = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

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.**



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.

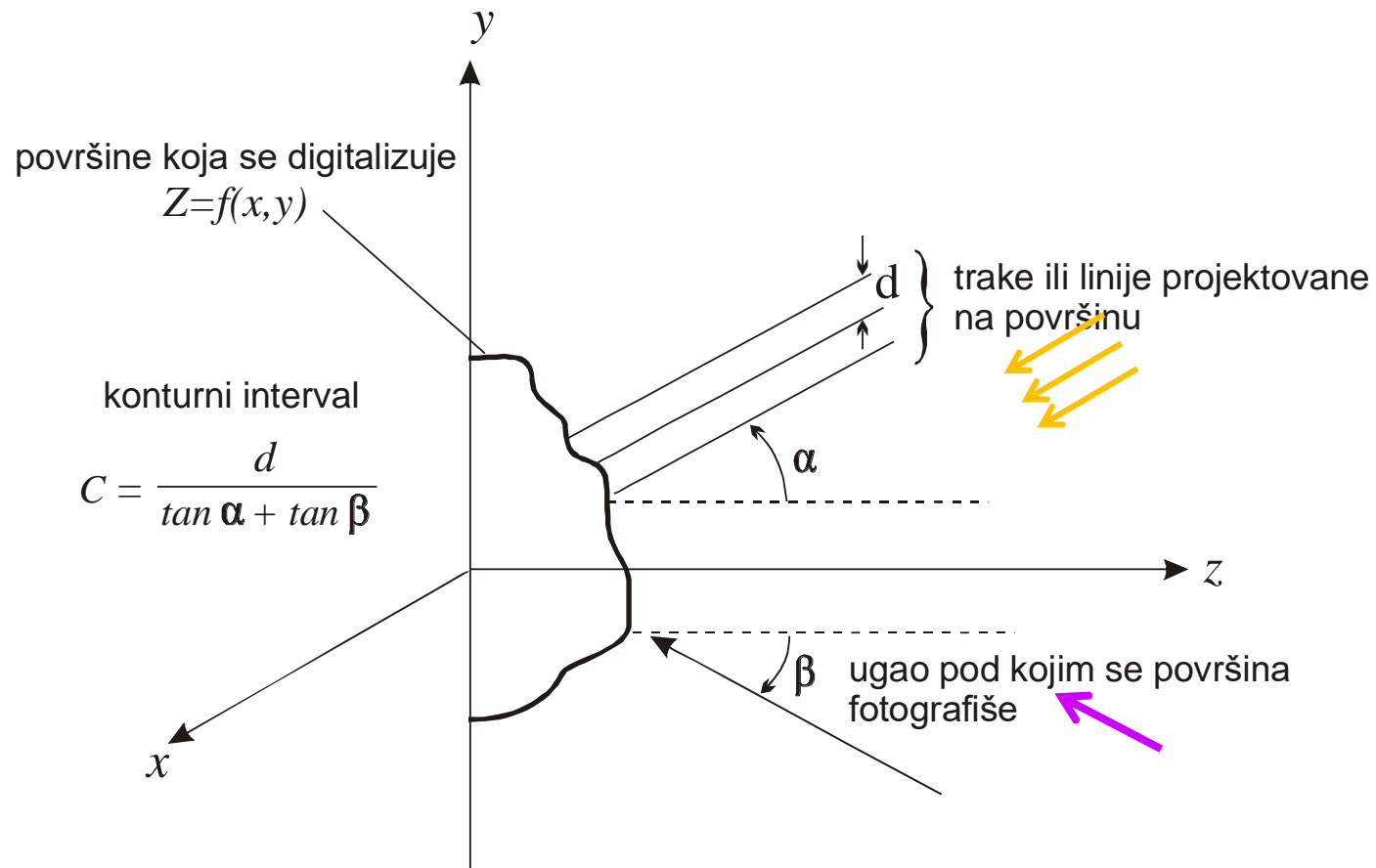
Moiré-ova interferometrija se primenjuje za digitalizaciju kontura površina na bilo kojoj talasnoj dužini većoj od $10\ \mu\text{m}$, ali se pun efekat dobija na talasnim dužinama većim od $100\ \mu\text{m}$.

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.

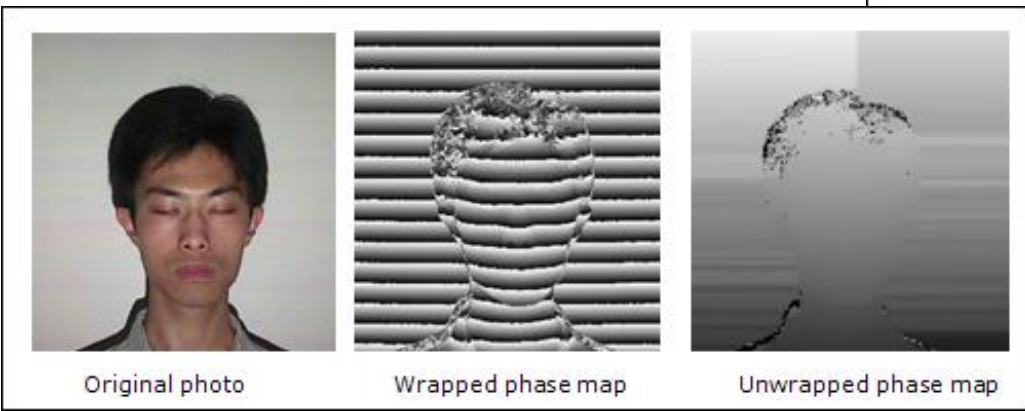
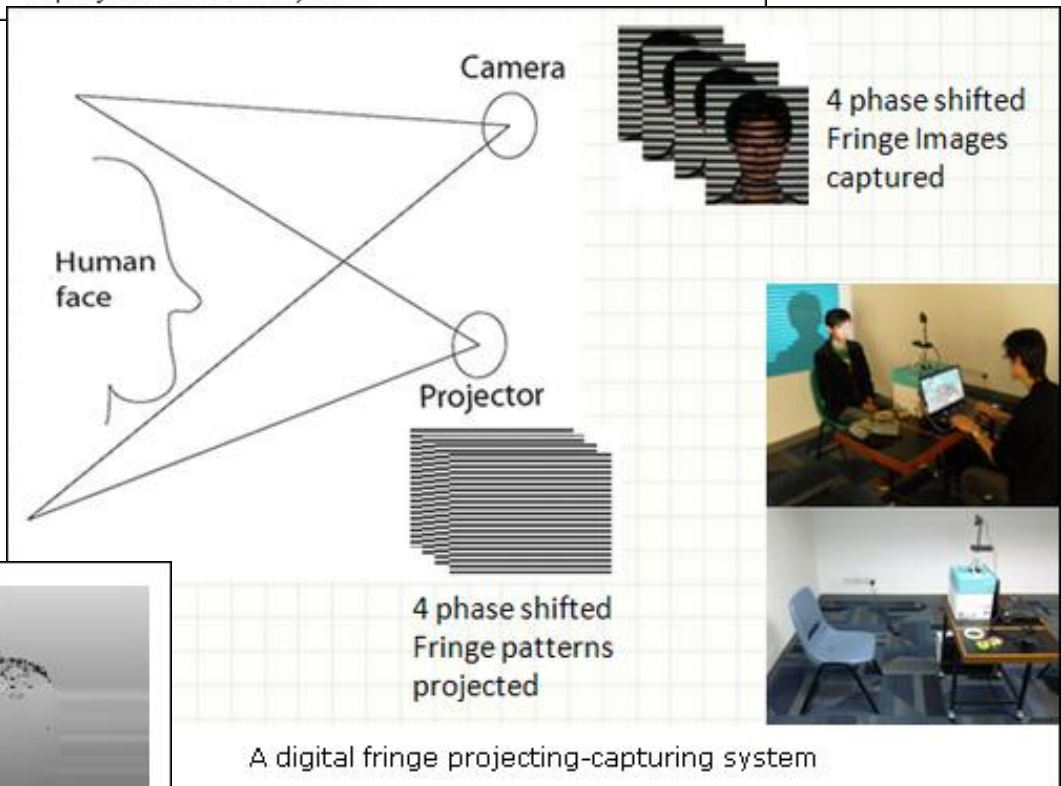


Basic Principle of the Sampling Moiré Method and Its Applications

Shien RI, Qinghua WANG, Hiroshi TSUDA @ AIST



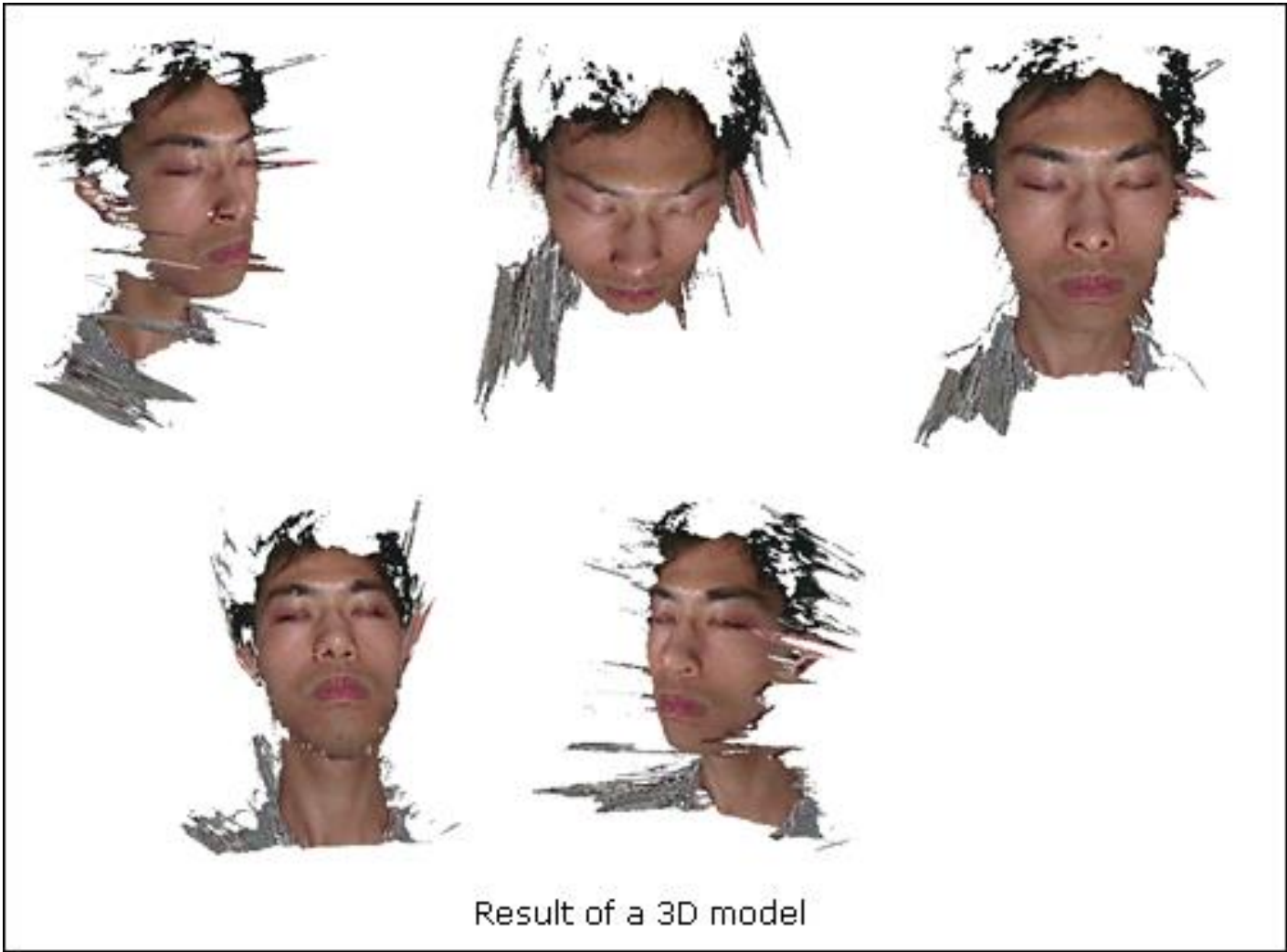
A projector-camera system



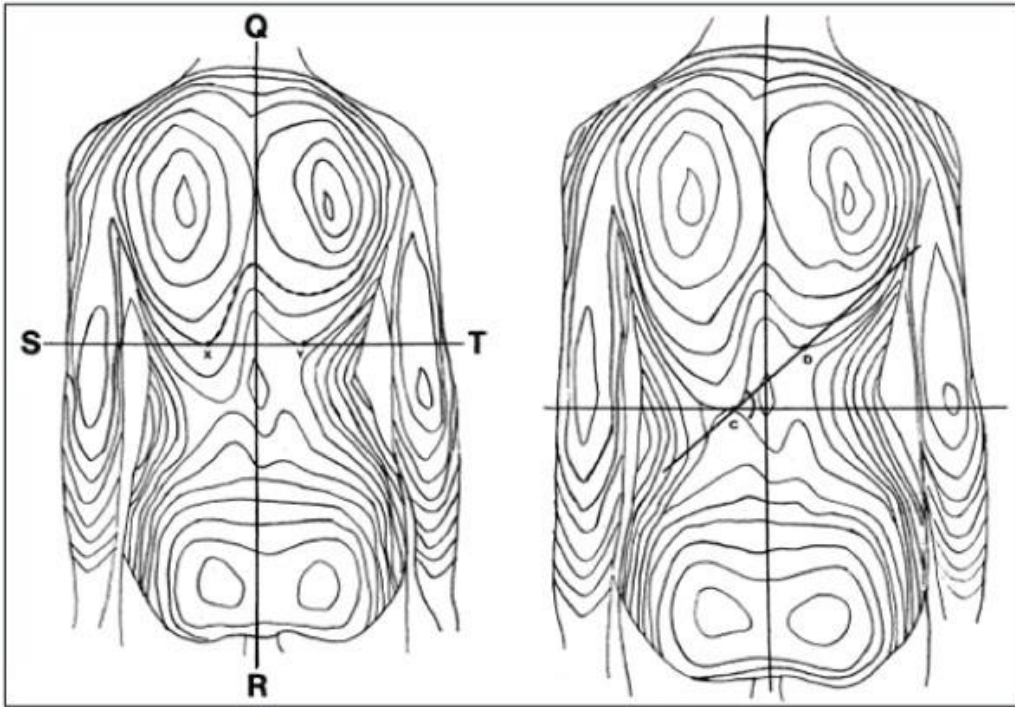
Original photo

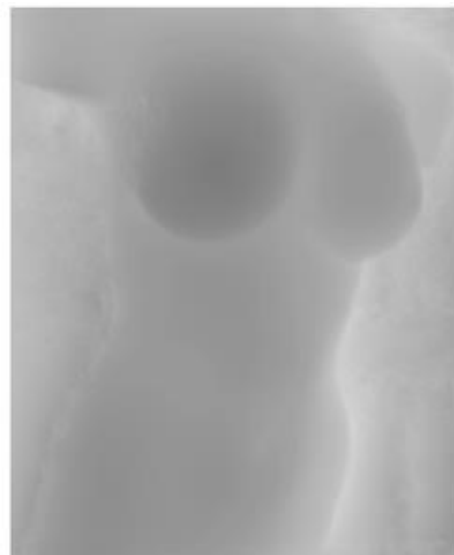
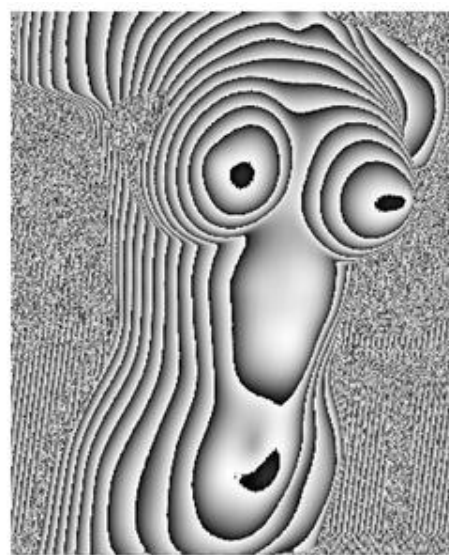
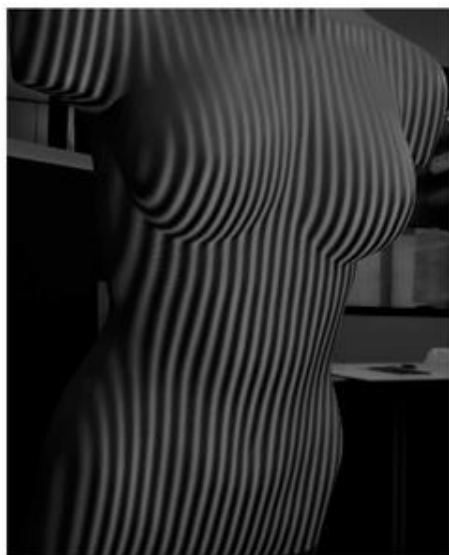
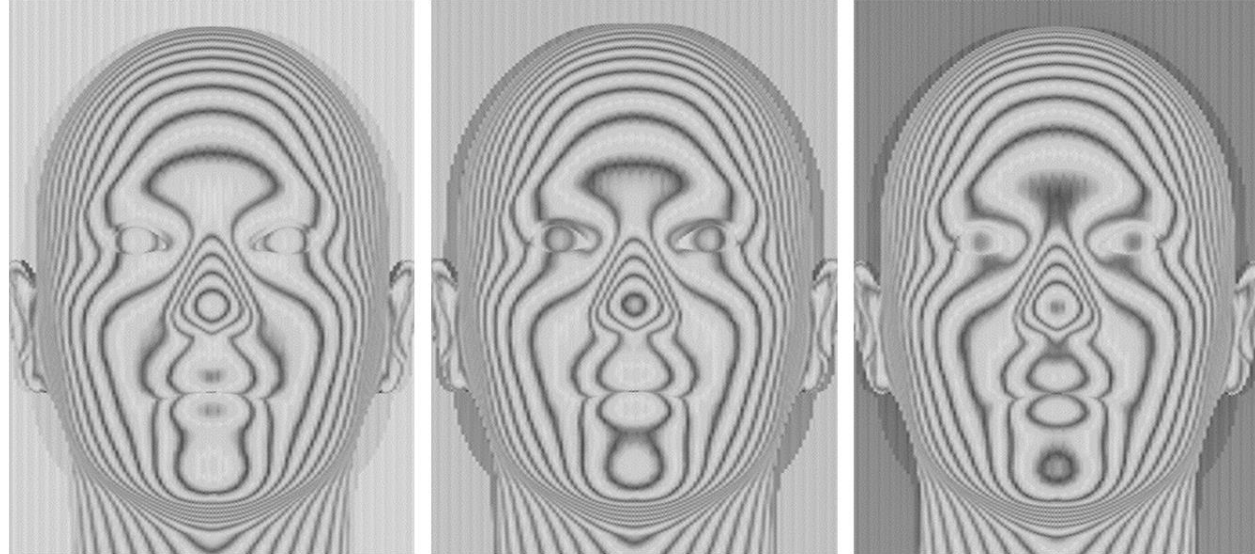
Wrapped phase map

Unwrapped phase map

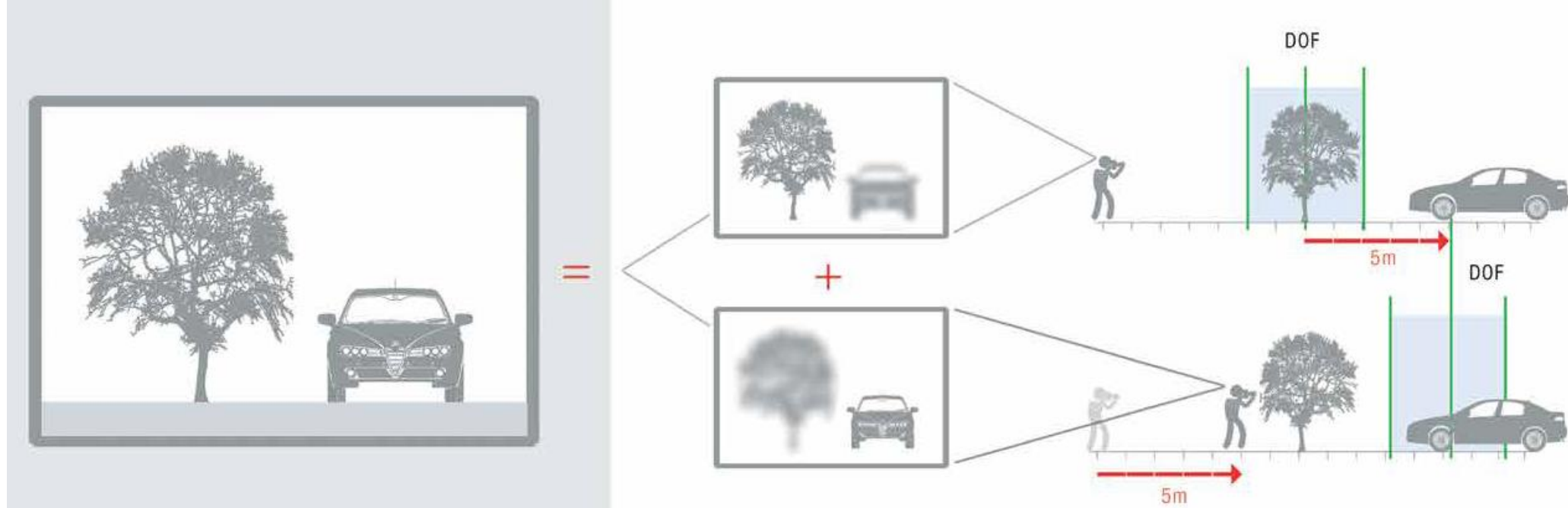


Result of a 3D model





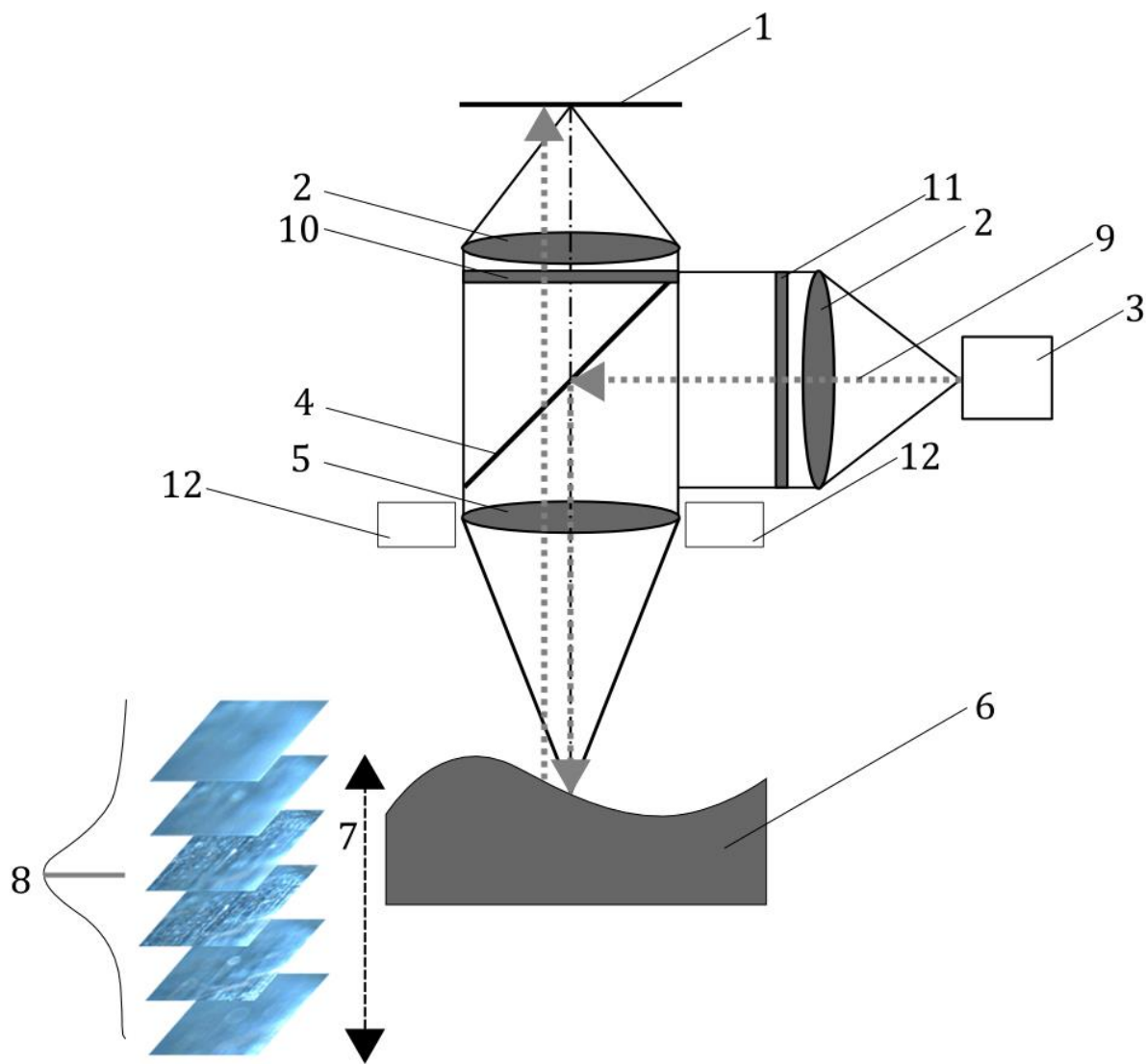
Fokusna varijacija



Metoda fokusne varijacije kombinuje malo polje dubinske oštine fokusa optičkog uređaja i sistema sa vertikalnim skeniranjem za pružanje topografskih i informacija o boji iz varijacije (promene) fokusa.

Glavna komponenta sistema je precizna optika koja sadrži različite sisteme sočiva koji mogu biti opremljeni različitim objektivima i uvećanjima, omogućavajući merenja sa različitom rezolucijom.

Fokusna varijacija



Princip: na senzoru za akviziciju slike koji je pomeren iz ravni fokusa će se dobiti nejasna slika čija veličina zavisi od udaljenosti objekta.

Osnovni elementi Sistema za fokusnu varijaciju

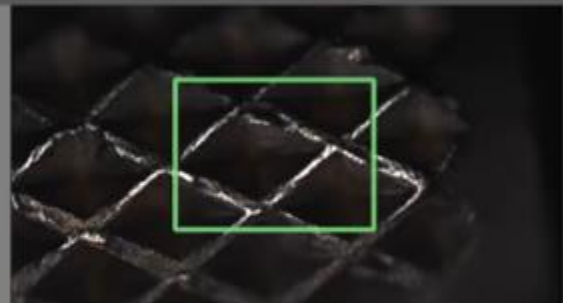
1. sensor
2. sočivo
3. izvor svetlosti
4. polupropusno ogledalo
5. objektiv
6. uzorak
7. vertikalna rezolucija
8. fokusna kriva
9. svetlosni zrak
10. filter
11. polarizator
12. ring light

File Configuration Help

Nikon EPI 10X

COLOR CORRECTION default

4.01 x 3.69 mm



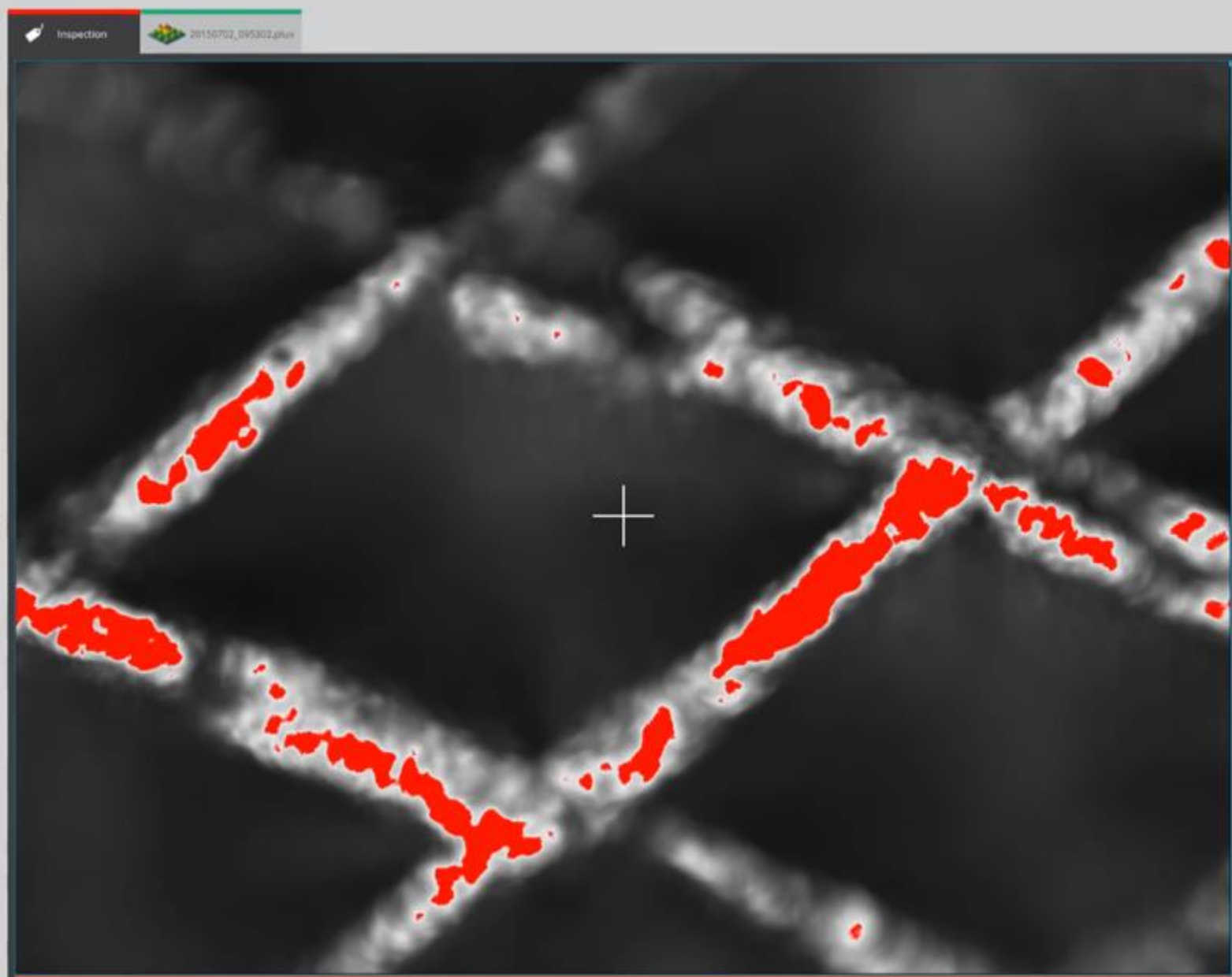
Single ROI

Absolute Position	Relative Position
X: 5.9333 mm	X: 23.6470 mm
Y: -4.4092 mm	Y: 0.2223 mm
Z: -28.5406 mm	Z: -0.0354 mm

X-Y Ctrl Z Ctrl Move To

X: Y: Z:

LIGHT CONTROL LED: 2.88%



Focus Variation.ome

MEASUREMENT | Basic

OBJECTIVE Nikon EPI 10X

AREA 1754.40 x 1320.96 μm^2 1300 x 1024 px Resolution

Z-SCAN | Absolute (L1)

Z-Top	-28541 μm
Z-Bottom	-29000 μm
Range	459 μm

Speed: 2x

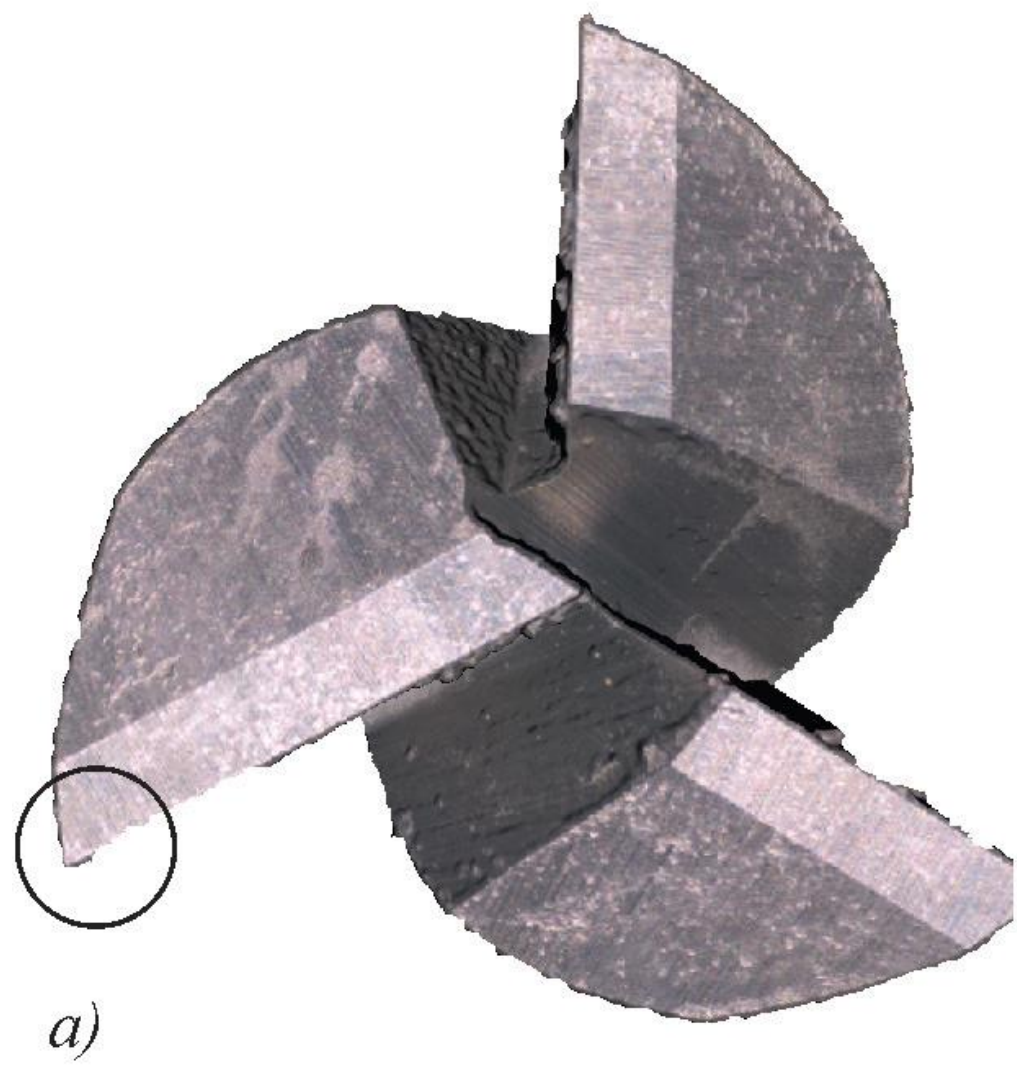
AUTOFOCUS Autofocus before measurement

LIGHT SETTINGS LED: 2.88%

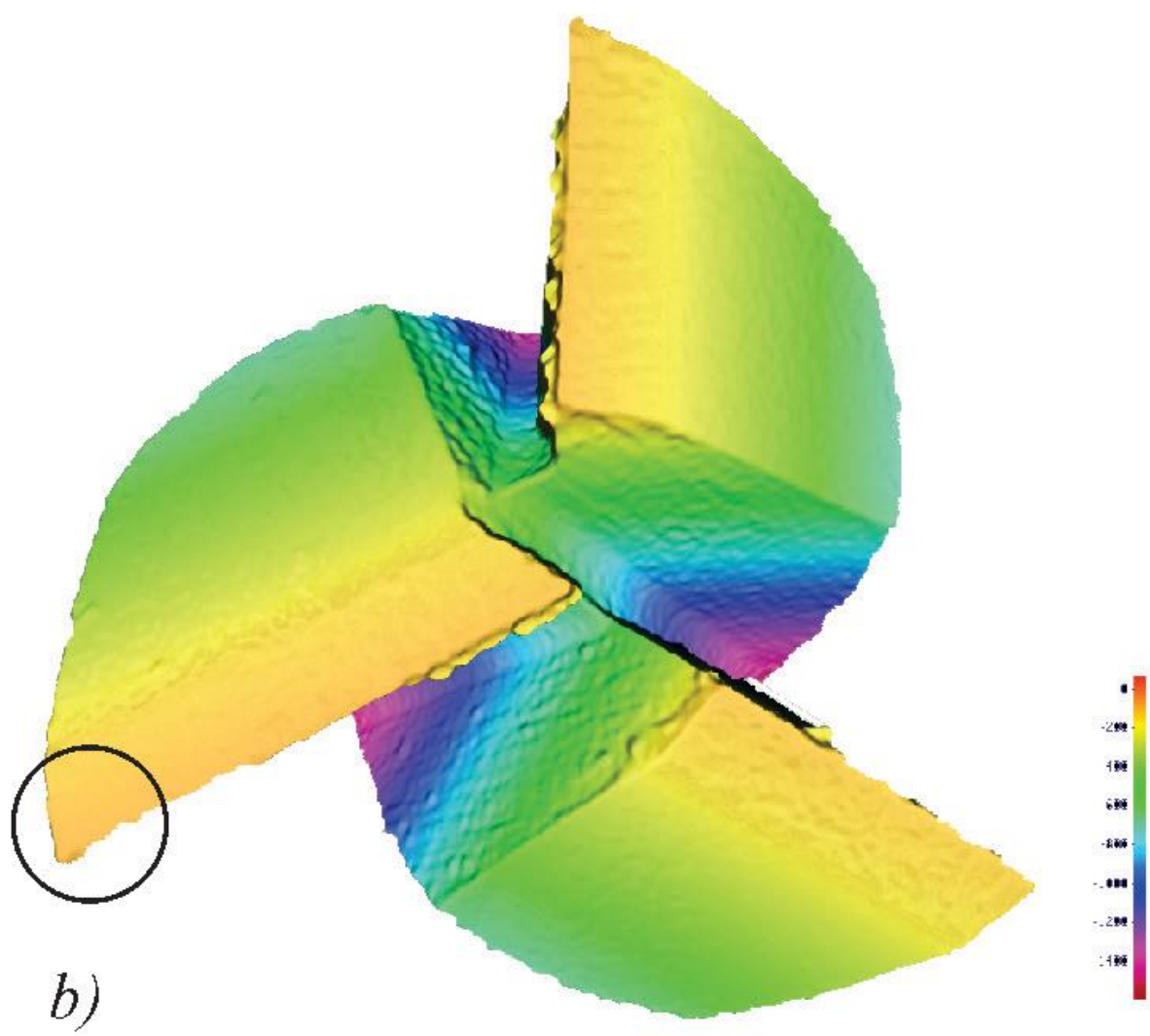
THRESHOLD Sensitivity 2.00

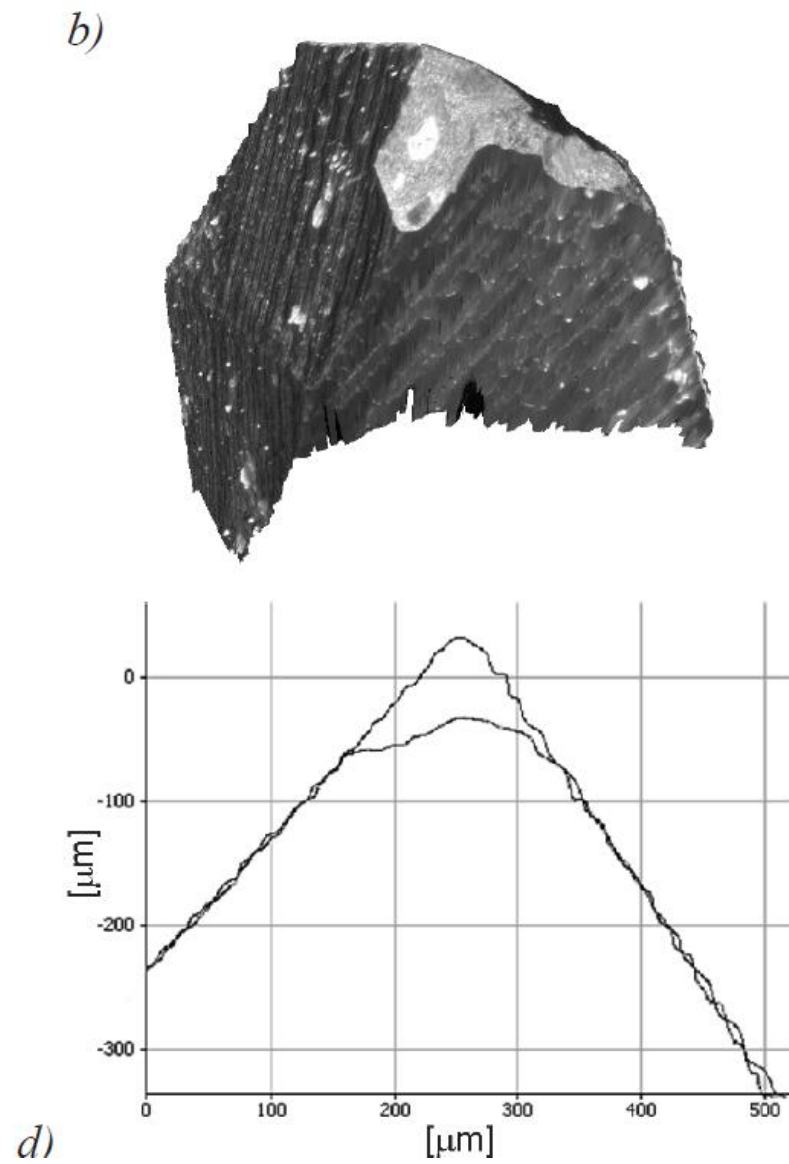
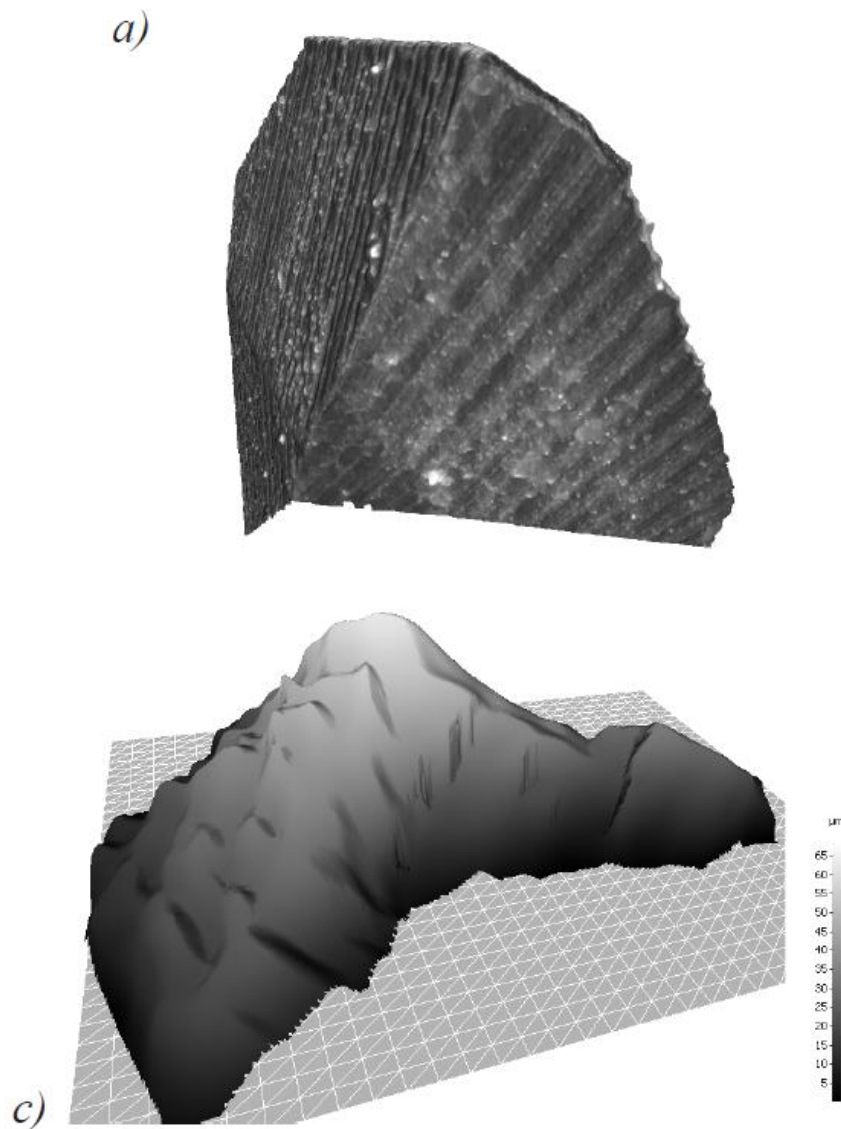
EXTERNAL ANALYSIS SensoMAP SensoPRO Image

ACQUIRE



4mm





*Merenje pohabanosti rezne ivice glodala,
a) nepohabana rezna ivica, b) pohabana rezna ivica, c) zapreminska razlika između pohabane i nepohabane rezne ivice, d) koparacija profila*

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