

# 3D számítógépes geometria és alakzatrekonstrukció

## 15. Digitális Alakzatrekonstrukció Méréstechnológia, Ponthalmazok regisztrációja

<http://cg.iit.bme.hu/portal/node/312>

<https://www.vik.bme.hu/kepzes/targyak/VIIIMA01>

Dr. Várady Tamás, Dr. Salvi Péter  
BME, Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Irányítástechnika és Informatika Tanszék



# 3D Méréstechnika<sub>1</sub>

## Általános szempontok

- fizikai elv
  1. hagyományos koordináta mérő berendezések (CMM)
  2. repülési idő (Time of Flight)
  3. trianguláció (laser scanning)
  4. strukturált fény
  5. fotogrammetria
  6. volumetrikus (CT, MRI)
- mérési mechanika & elektronika
  - (i) három stabil léptetőmotoros szán: XYZ
  - (ii) robot kar
  - (iii) fix kamera + forgóasztal
  - (iv) kézi
- egy vagy több koordinátarendszer
- pontosság, visszaállítás, adatgyűjtési sebesség
- (XYZ) vagy (XYZ-RGB)

# 3D Méréstechnika<sub>2</sub>

## Mérési mechanika & elektronika

### (i) XYZ szán

- legstabilabb mechanikai megoldás
- hozzáférési problémák

### (ii) robot kar

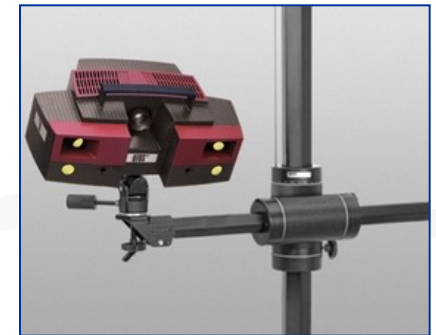
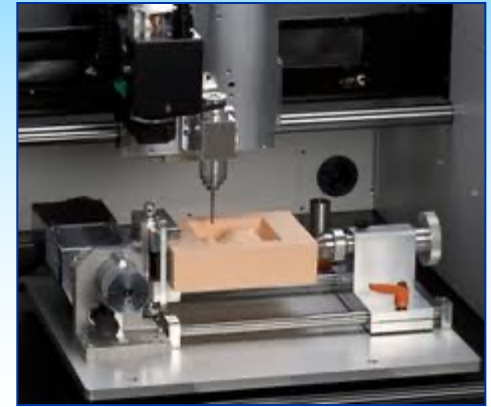
- pozicionálás csuklóelfordulások által
- rugalmas hozzáférés
- nem a legpontosabb

### (iii) fix kamera + forgóasztal

- stabil mechanika
- egy koordináta rendszer

### (iv) kézi

- elektronikus jeladók, 6 szabadságfok



# 3D Méreostechnika<sub>3</sub>

## Repülési idő (Time of flight)

- pulzáló fény, visszaverődés
- mérés: a lézersugár kibocsátása és visszaérkezése közötti idő
- tükrös mechanizmus
- 10-100000 pont
- pontosság \* 1mm++
- drága
- nagy objektumok, épületek, nagy távolság

? Demo

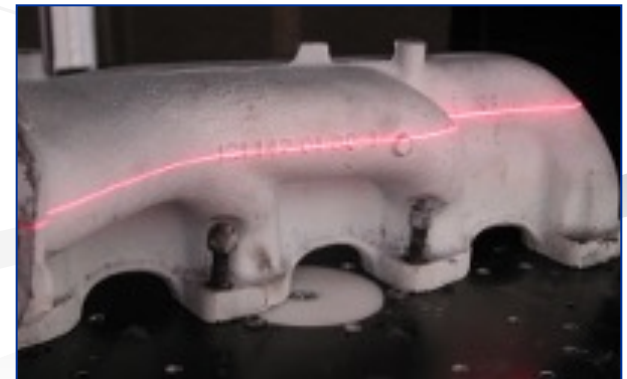
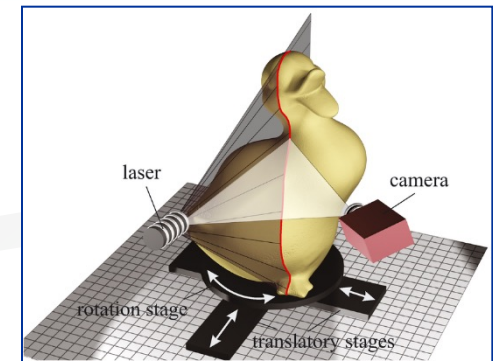
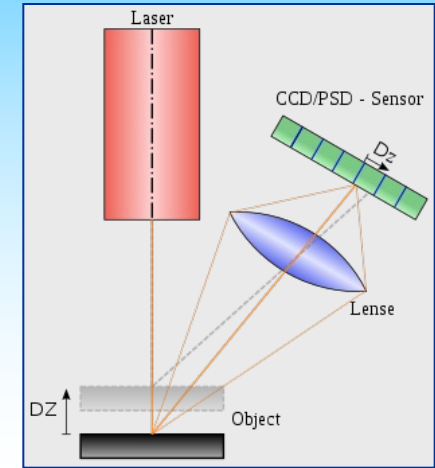


LIDAR = Light Detection And Ranging

# 3D Méréstechnika<sub>4</sub>

## Trianguláció

- a legelterjedtebb elvi megoldás
- lézer csík, nagyfelbontású CCD kamera
- a lézer és a kamera közti távolság rögzített, a szögek számíthatóak - a mélység információ meghatározható
- gyakran sztereó kamerák a pontosság és a takarások minimalizálása érdekében
- gyors, 10-50 micron pontosság

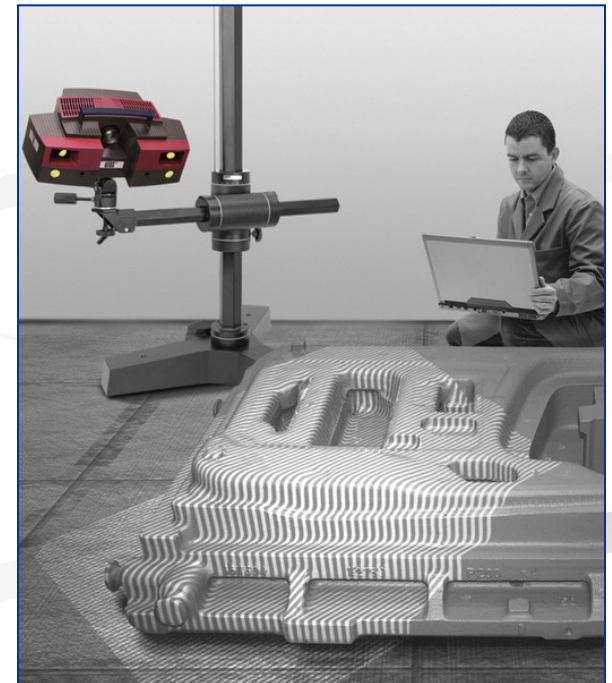
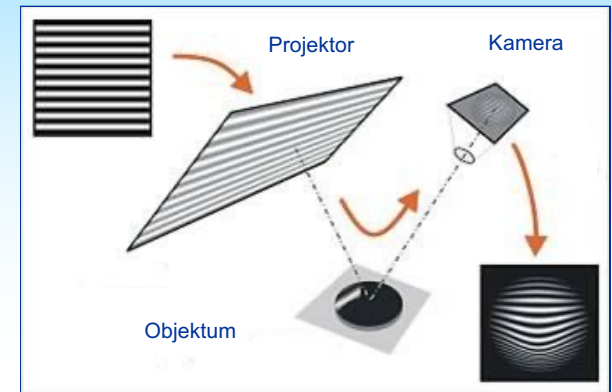


Demo 0:35- 1:35

# 3D Méréstechnika<sub>5</sub>

## Struktúrált fény

- aktív szkener
- triangulációs elv
- a legtöbb ipari berendezés ezt a módszert alkalmazza
- mintázat: rács vagy párhuzamos egyenes vonalak
- több mintázat: hierarchikus, rotáló orientáció - javítja a pontosságot
- a mozgásból adódó pontatlanságokat kiküszöböli
- gyors, 10-50 mikron pontosság



Demo

# 3D Méréstechnika<sub>6</sub>

## Fotogrammetria

- képpárok, képsorozatok, video
- nagyfelbontású kamerák és közönséges mobil eszközök
- elsősorban színtér rekonstrukció, virtuális valóság; infrastruktúra
- ritkán használják objektum rekonstrukcióhoz – pontatlan, hiányos
- a textúra lényeges
- képek összerendelése – jellegzetes alakpontok, epipoláris geometria
- csúcstechnológia: volumetrikus AI NeRF (Neural Radiance Field)



(a)



(b)



(c)



(d)

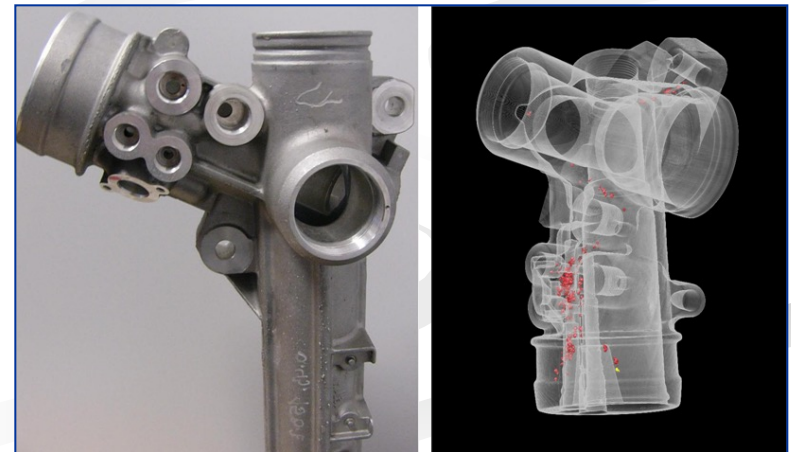
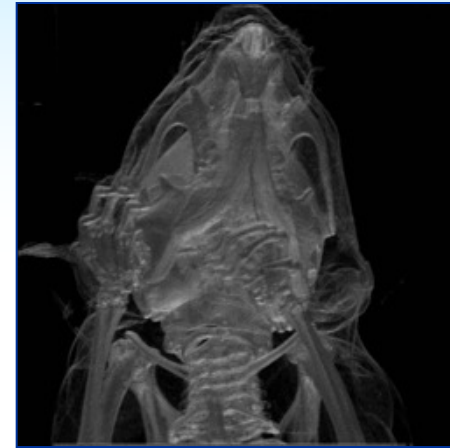
? Demo

# 3D Méréstechnika<sub>7</sub>

? Demo1-2

## Volumetrikus szkennelés

- CT (Computer Tomography) - röntgensugarak
- MRI (Magnetic Resonance Imaging) - mágneses mező
- output: voxelok, felület generálás - általában sétáló kocka algoritmus
- a tárgyak belseje is szkennelhető!
- a felbontás rohamosan nő; alkalmas alakzatrekonstrukcióra és minőségellenőrzésre
- gyors, de kevésbé pontos technológia
- egyelőre aránylag drága
- orvosi ÉS ipari alkalmazások





# Ponthalmazok regisztrációja<sub>1</sub>

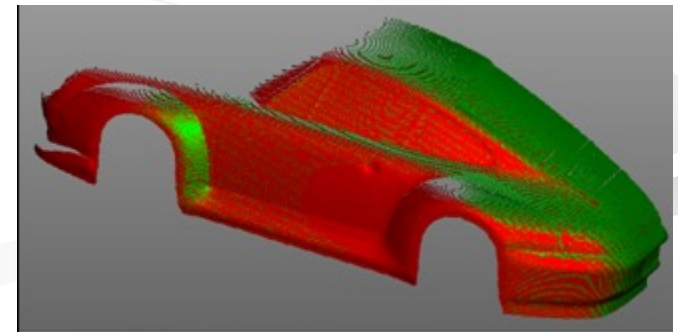
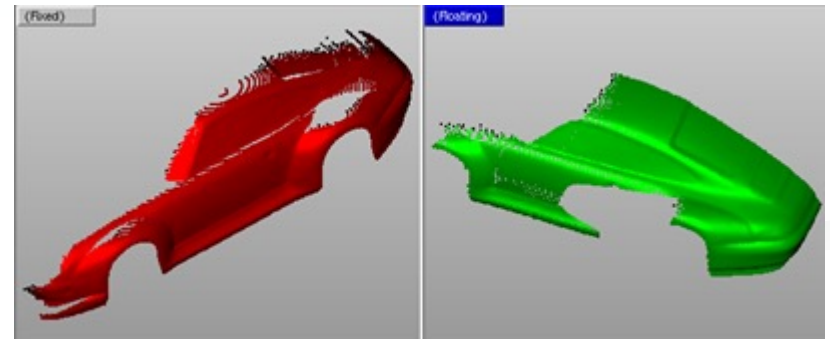
Feladat: ponthalmaz igazítása referencia ponthalmazhoz / felülethez

Motiváció:

- több mérés - különböző koordinátarendszerben
- pontatlan mérések korrekciója (robotkar/forgóasztal)
- legyártott alkatrész minőségellenőrzése: mért pontok ↔ CAD modell

Algoritmus:

- megfeleltetés két ponthalmaz között
- optimális eltolás & forgatás kiszámítása (LSQ értelemben)
- iteráció (kilépés: átlag négyzetes hiba < tolerancia)



# Ponthalmazok regisztrációja<sub>2</sub>

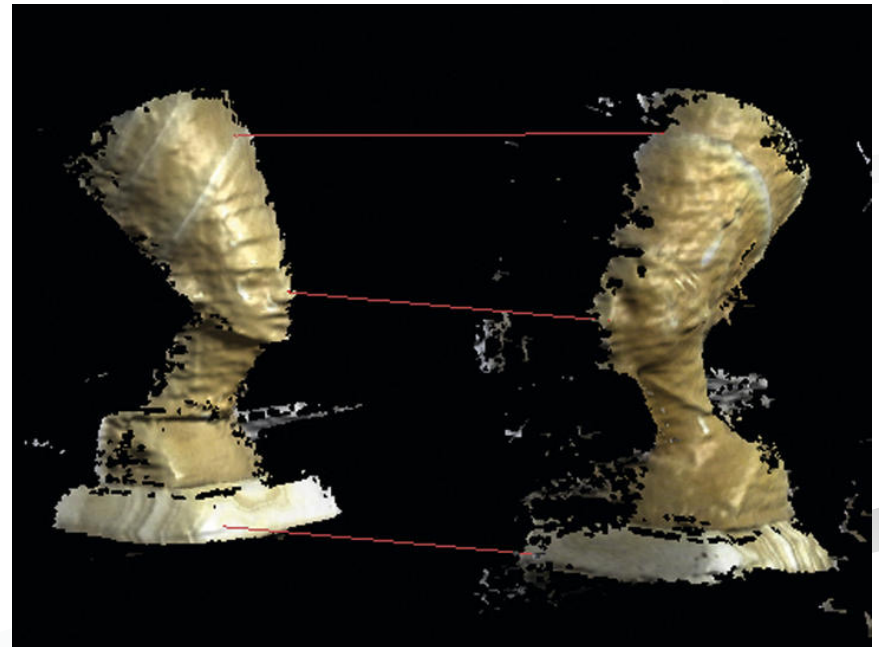
- Minimalizálandó:  $\sum \left\| \mathbf{M}_{\text{forgatás}} \mathbf{p}_i + \mathbf{v}_{\text{eltolás}} - \mathbf{x}_i \right\|^2$

$\mathbf{P}=(\mathbf{p}_i)$  igazítandó ponthalmaz

$\mathbf{X}=(\mathbf{x}_i)$   $\mathbf{P}$  -hez rendelt referencia pontok halmaza

ismeretlen:  $\mathbf{M}_{\text{forgatás}}, \mathbf{v}_{\text{eltolás}}$

- Pontok egymáshoz rendelése:
  - legegyszerűbb: minden  $\mathbf{p}_i$  -hez a legközelebbi  $\mathbf{X}$ -beli pont
  - rekonstrukciónál gyakran nagy átfedés nélküli részek
  - jó kezdőállapot  $\rightarrow$  hibaküszöb feletti párosítások eldobhatóak
- Kezdőállapot meghatározása:
  - mérésből kapott koordinátarendszer
  - felhasználó által kiválasztott jellegzetes pontok



# Ponthalmazok regisztrációja<sub>3</sub>

## ■ Iterációs lépések:

- Pontok kiválasztása (összes, véletlen, nagy színgradiensű stb.)
- Pontok párosítása (legközelebbi, vetítés normálirányban stb.)
- Párok súlyozása (konstans, távolsággal fordítottan arányos, szín-alapú stb.)
- Párok kidobása (küszöbnél nagyobb távolság, legrosszabb x%, szórás stb.)
- Hiba számítás / minimalizálás

## ■ Hibamértékek:

- Négyzetes távolságösszeg (lehetne még kiegészíteni színekkel stb.)
- $\sum \|\mathbf{x}_i - \mathbf{M}_{\text{rot}}\mathbf{p}_i - \mathbf{v}\|^2 = \sum \|\mathbf{x}_i - \mathbf{R}(\mathbf{q}_r)\mathbf{p}_i - \mathbf{q}_t\|^2$ , ahol  $\mathbf{q} = [\mathbf{q}_r | \mathbf{q}_t]$  -t keressük
- $\mathbf{q}_r = w + x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$  kvaternió,  $|\mathbf{q}_r| = 1$ , és  $\mathbf{q}_t$  az eltolásvektor
- $\mathbf{R}(\mathbf{q}_r)$  az  $(x, y, z)$  tengelyű  $2 \cos^{-1} w$  szögű forgatás mátrixa

## ■ Opt. eltolás tömegközéppontokból: $\mathbf{q}_t = \boldsymbol{\mu}_X - \mathbf{R}(\mathbf{q}_r)\boldsymbol{\mu}_P$

## ■ Opt. forgatás: kovariancia-mátrixból ( $\cong$ skálázott forgatás, Kabsch'76)

- $\boldsymbol{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum (\mathbf{p}_i - \boldsymbol{\mu}_P)(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_X)^T$ ,  $\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \text{tr } \boldsymbol{\Sigma} & \boldsymbol{\Delta}^T \\ \boldsymbol{\Delta} & \boldsymbol{\Sigma} + \boldsymbol{\Sigma}^T - \text{tr } \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{I}_3 \end{bmatrix}$ ,  $\boldsymbol{\Delta} = \begin{bmatrix} \sigma_{23} - \sigma_{32} \\ \sigma_{31} - \sigma_{13} \\ \sigma_{12} - \sigma_{21} \end{bmatrix}$

- $\mathbf{q}_r$  a  $\mathbf{Q}$  mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó egység hosszú sajátvektor

# A következő előadás tartalma

## Digitális alakzatrekonstrukció II:

- a szegmentálás célja és jelentősége
- lokális felületjellemzők
- direkt szegmentáció
- Morse elméleten alapuló szegmentáció
- tartományok osztályozása felülettípus szerint