

Objektu 3D ģeometrijas noteikšanas metožu izpēte

Doktorants: Ričards Cacurs

Zinātniskais vadītājs: Dr.sc.comp. Modris Greitāns

Motivācija

- Objektu svarīgs raksturojums ir to 3D ģeometrija. Informācija par objektu ģeometriju ļauj cilvēkam veikt virkni nozīmīgu uzdevumu:
 - Atpazīt/klasificēt objektus;
 - Salīdzināt objektus ar etalon-objektiem konstatējot defektus/anomālijas;
 - Nosakot apkārtējās vides ģeometriju cilvēki var tajā pārvietoties, kā arī apzināt savu atrašanās vietu.
 - u.c.

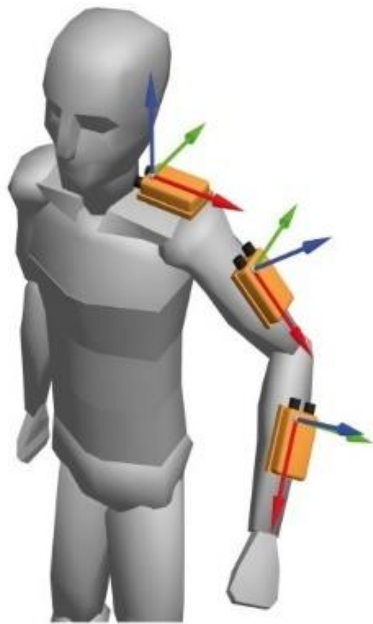
Motivācija

- Sistēmas, kas spēj noteikt objektu 3D ģeometriju ir pielietojamas sekojošās jomās:
 - Medicīnā, rehabilitācijā, radot sistēmas, kas ļauj noteikt un analizēt cilvēka ķermeņa ģeometriju/biomehāniku;
 - Drošības sistēmās, atpazīstot aizdomīgus un potenciāli bīstamus objektus, kas var kaitēt cilvēkiem;
 - Rūpniecības ražošanā kvalitātes kontrolē, ražošanas defektu konstatēšanā
 - Robotu lokalizācijā un navigācijā;
 - Objektu 3D reprezentācijas modeļu veidošanā ciparu formātā, jeb 3D skeneris.

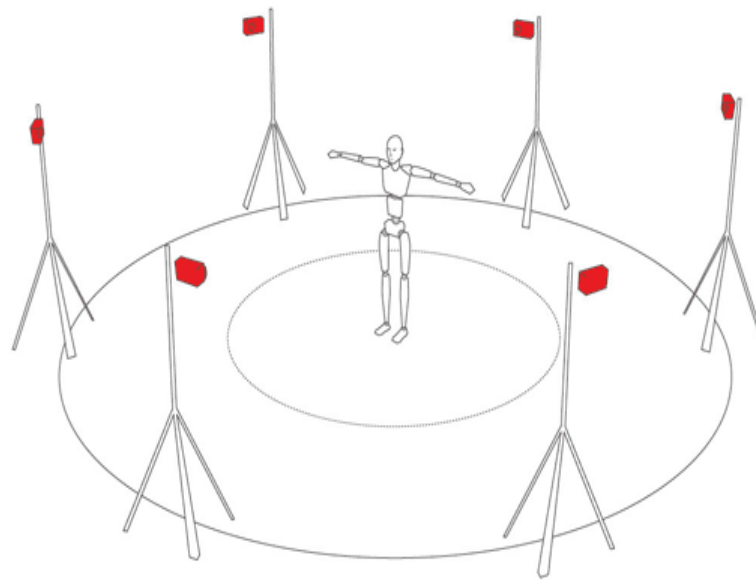
Darba mērķi

- Izpētīt esošās metodes objektu 3D ģeometrijas iegūšanai;
- Izstrādāt, attīstīt metodes 3D ģeometrijas noteikšanai uzsvaru liekot uz rekonstrukciju reālā laikā;
- Novērtēt atjaunošanas precizitāti.

Objektu 3D ģeometrijas noteikšanas metožu grupas

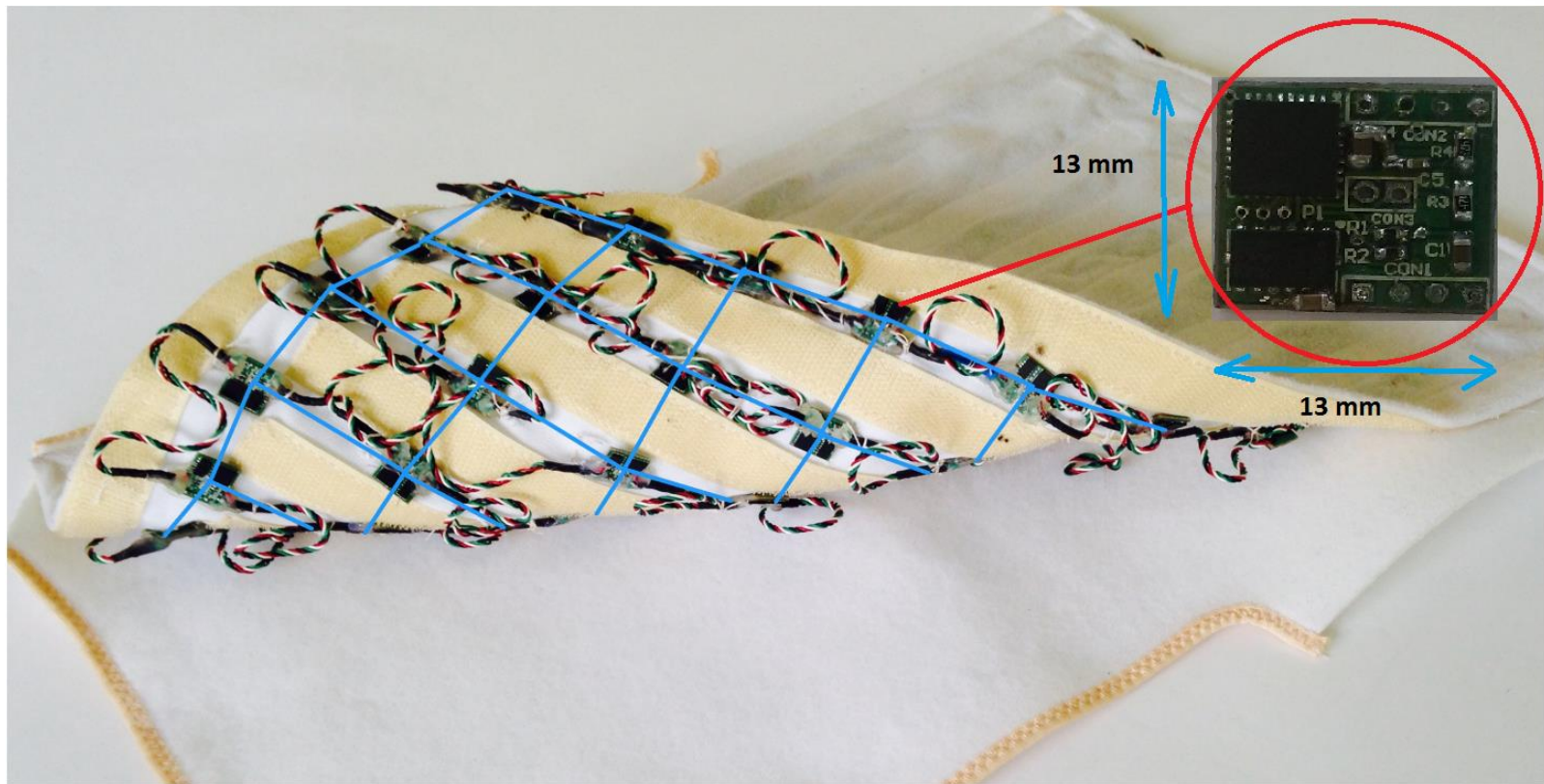


Izmantojot sensorus tiešā
kontaktā ar objektu.

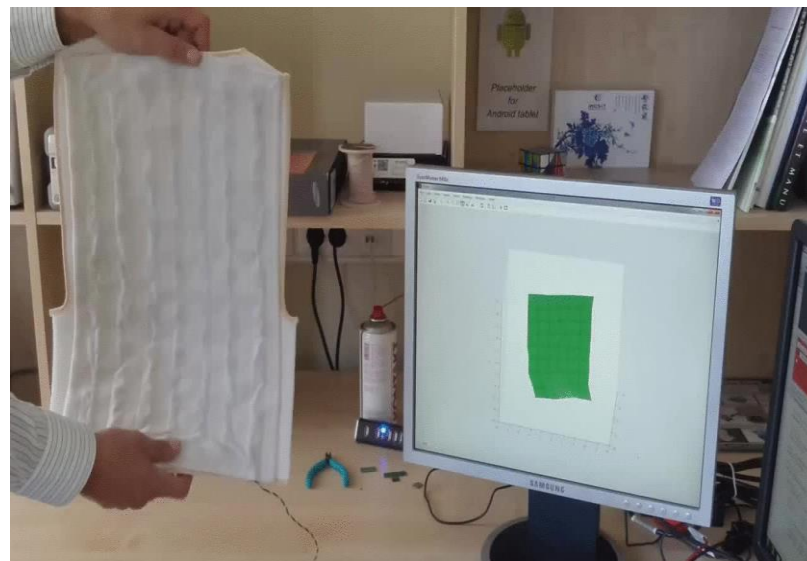
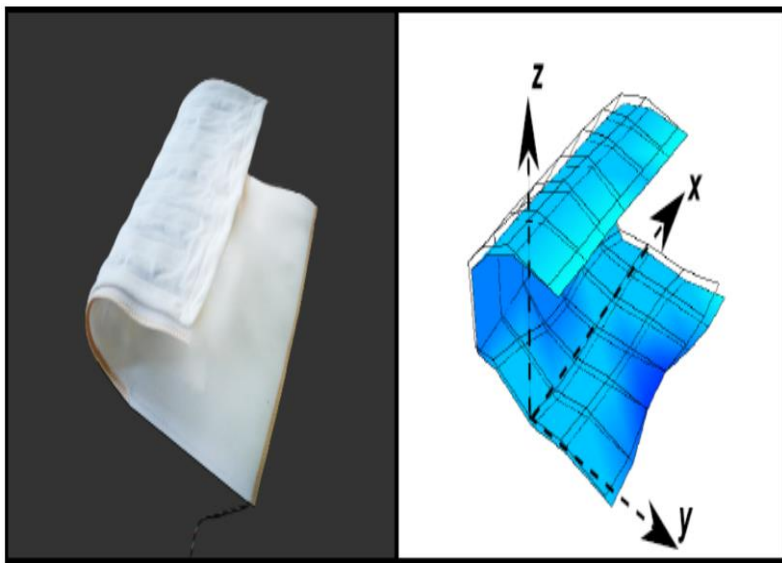


Izmantojot ārēju ekipējumu
veicot datu iegūvi attēlināti.

Sensoru tīkls virsmas formas atjaunošanai



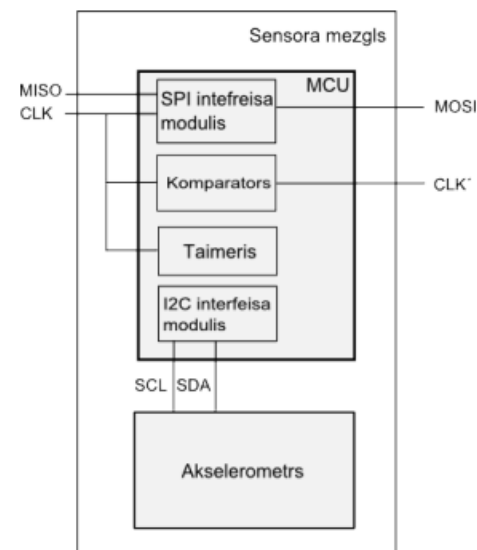
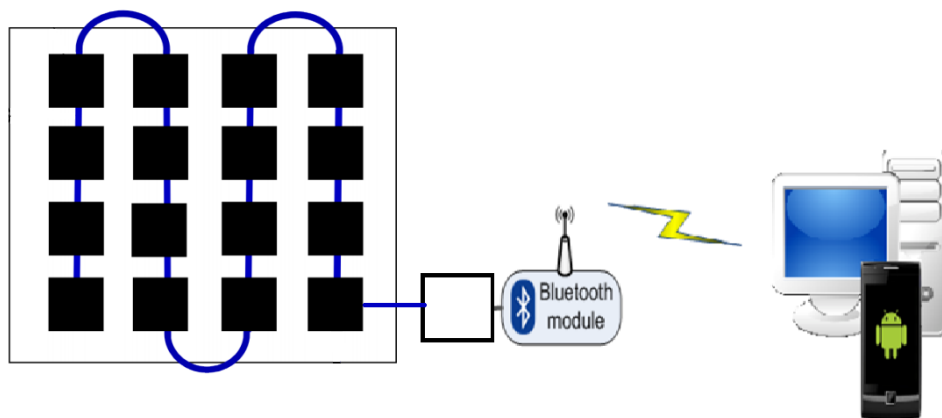
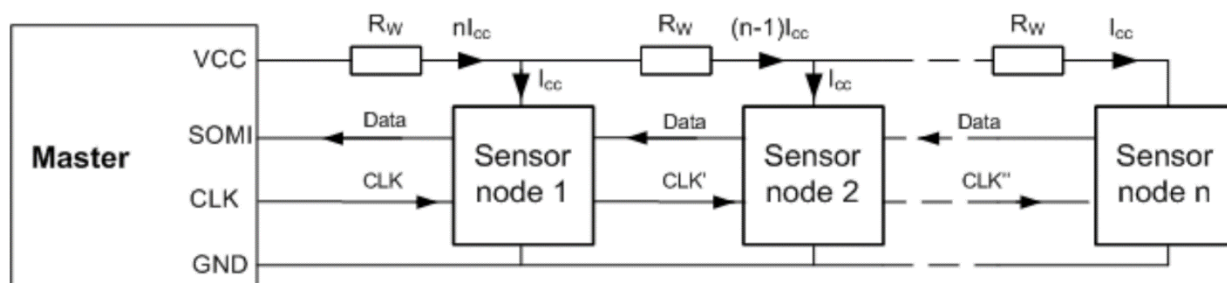
Ar sensoru tīklu iegūtais auduma formas modelis



Sensoru tīkls virsma formas atjaunošanai

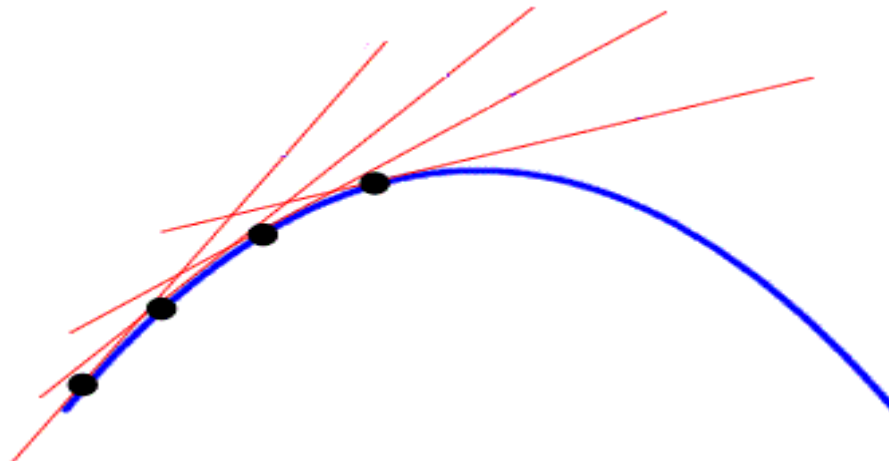
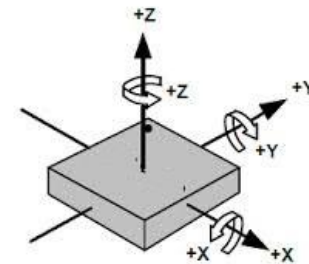
- Galvenie izaicinājumi/problēmas:
 - Sensoru komunikācija. Kā efektīvi iegūt datus no daudziem sensoru mezgliem?
 - Vadu komunikācija. (savienojumu nodrošināšana)
 - Bezvadu komunikācija. (elektroenerģijas nodrošināšana)
 - Sensoru datu apstrāde
 - Sensoru datu kalibrācija
 - Virsmas ģeometrijas atjaunošana no sensoru datiem (reālā laikā)

Sensoru tīkla topoloģija

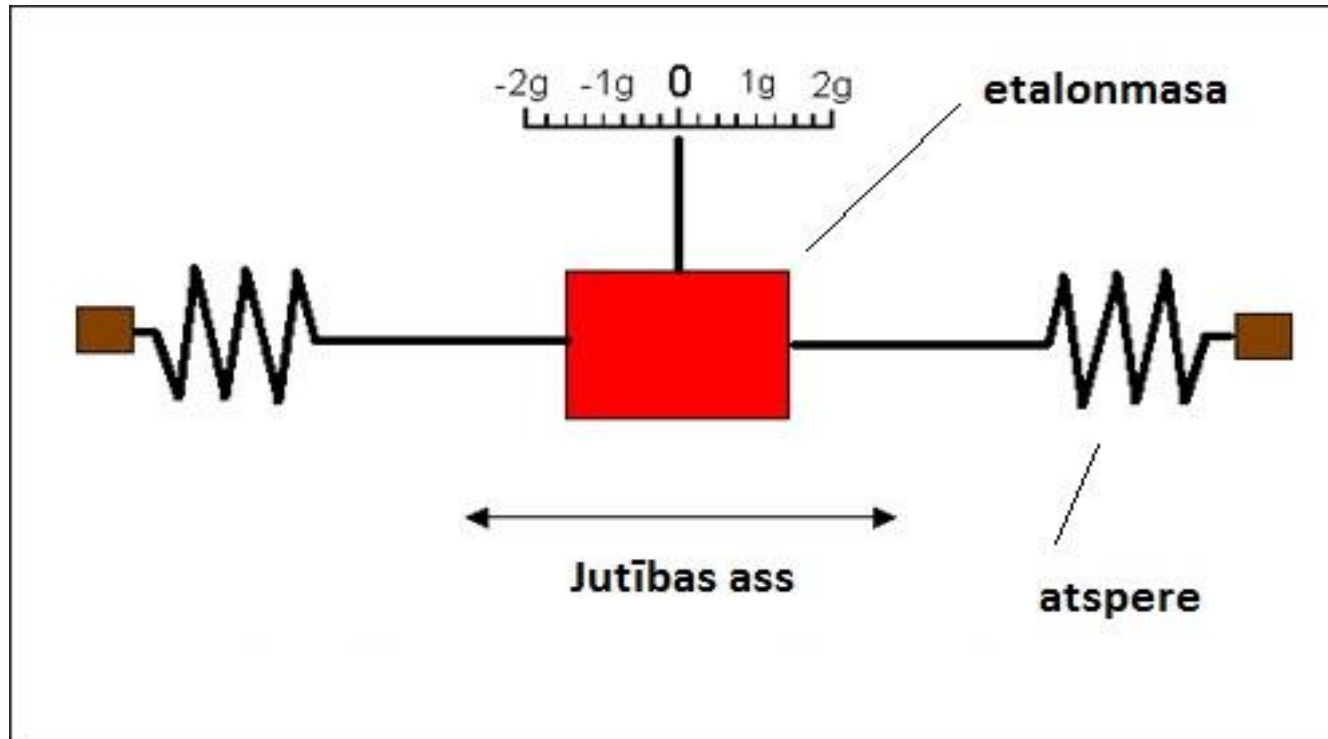


Virsmas formas atjaunošanas posmi

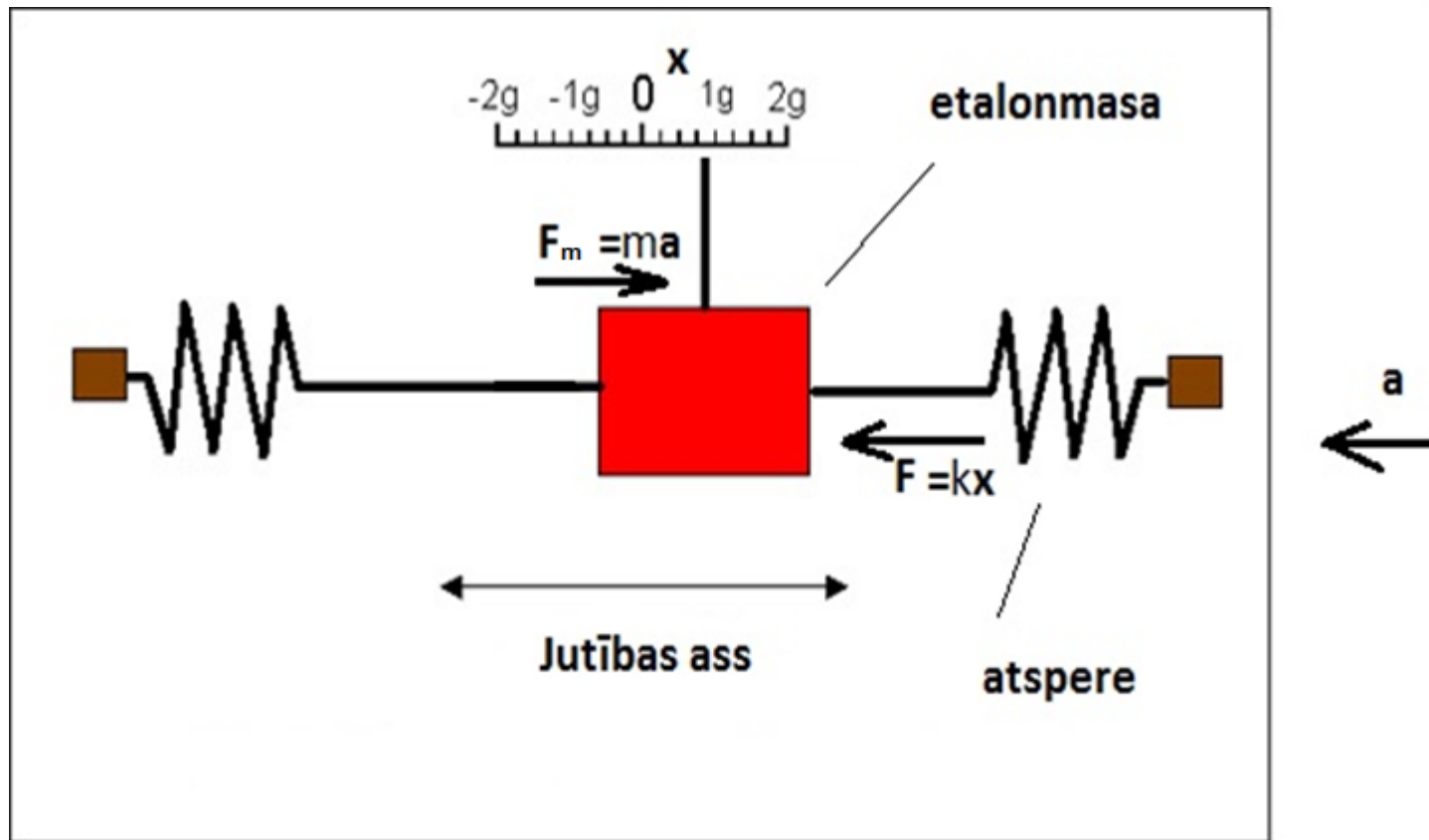
- Sensoru datu priekšapstrāde:
 - Sensoru kalibrēšana
 - Sensoru datu filtrēšana
- Sensoru orientācijas noteikšana no 3 asu magnetometru un akselerometru datiem
- Virsmas formas rekonstrukcija no sensoru orientācijas datiem. Sensoru orientācija dod informāciju par virsmas pieskari.



Akselerometru darbības princips

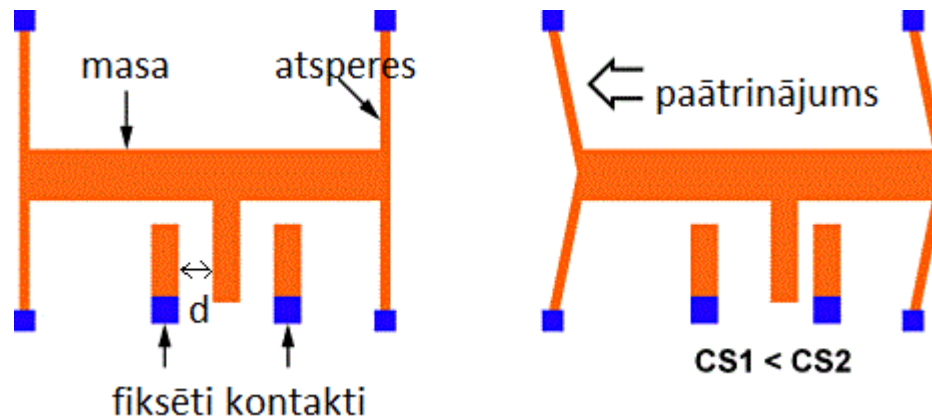


Akselerometru darbības princips



$$a = \frac{k}{m} x$$

MEMS akslerometru darbības princips



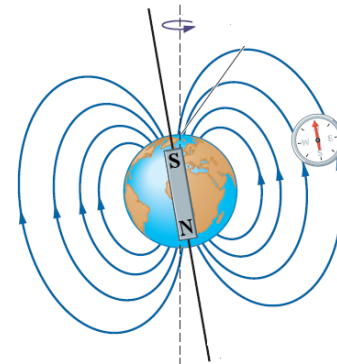
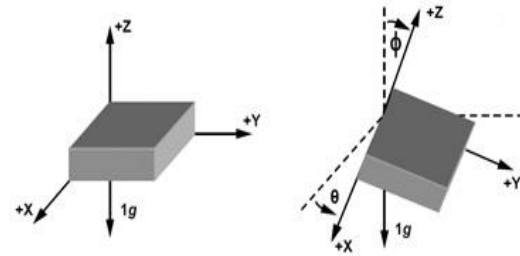
$$d = \frac{\epsilon A}{C}$$

d – attālums starp kondensatora klājumiem
 ϵ – materiāla dielektriskā caurlaidība
 A - kontaktu pārklāšanās laukums



Akselerometru darbības princips

- Statiskā stāvoklī uz akselerometru darbojas zemes gravitācijas spēks;
- Mērot gravitācijas vektora virzienu iespējams noteikt, kā sensors ir orientēts;
- Nenoteiktība uz rotācijām, kas ir ap gravitācijas vektora virzienu.
 - Šīs nepilnības novēršanai tiek izmantoti magnetometri (elektronisks kompass)



Sensoru orientācijas noteikšana ar TRIAD algoritmu

$$e_1 = E_g$$

$$e_2 = \frac{E_g \times E_m}{|E_g \times E_m|}$$

$$e_3 = e_1 \times e_2,$$

$$M_e = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \end{bmatrix}$$

$$s_1 = S_g$$

$$s_2 = \frac{S_g \times S_m}{|S_g \times S_m|}$$

$$s_3 = s_1 \times s_2.$$

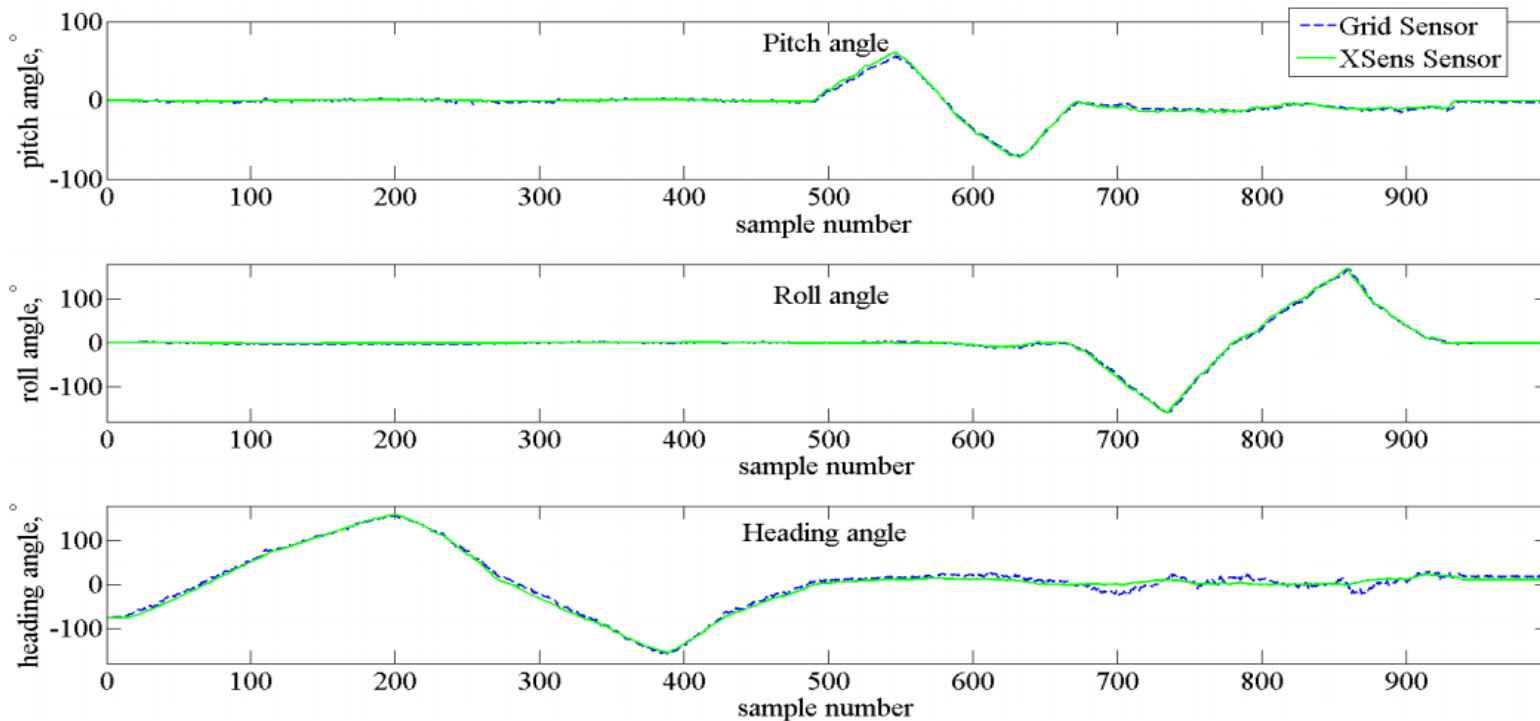
$$M_s = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 \end{bmatrix}$$

$$R = M_e M_s^T$$

Sensoru orientācijas precizitātes novērtēšana

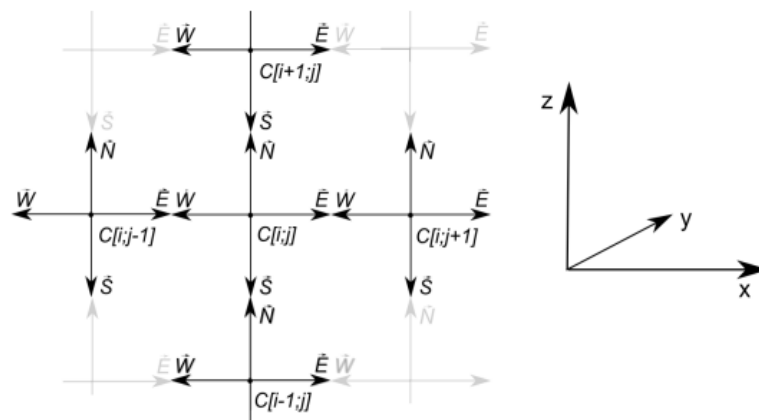
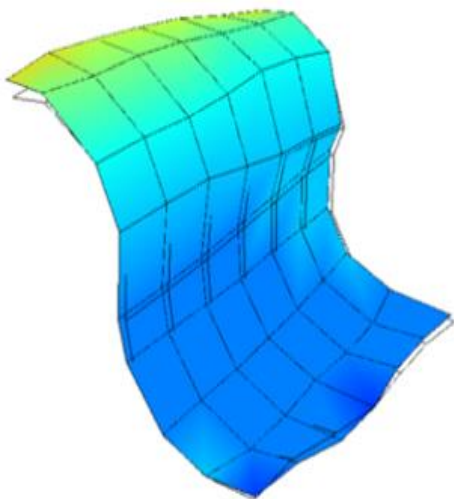
- Sensoru mezglos tiek izmantoti **LSM303DLHC** MEMS sensori, kur vienā mikroshēmā ir gan 3 asu akselerometri, gan 3 asu magnetometri.
- Orientācijas noteikšana tika salīdzināta ar komerciāli pieejamu IMU moduli – **Xsense Mti-G** (precizitāte 0.5 grādi pa pitch un roll asīm, 1 grāds ap heading asi)
- Precizitāte novērtēta piestiprinot **LSM303DLHC** sensoru pie **Xsense** korpusa un salīdzināti abu sensoru rādījumi

Sensoru orientācijas precizitātes novērtēšana



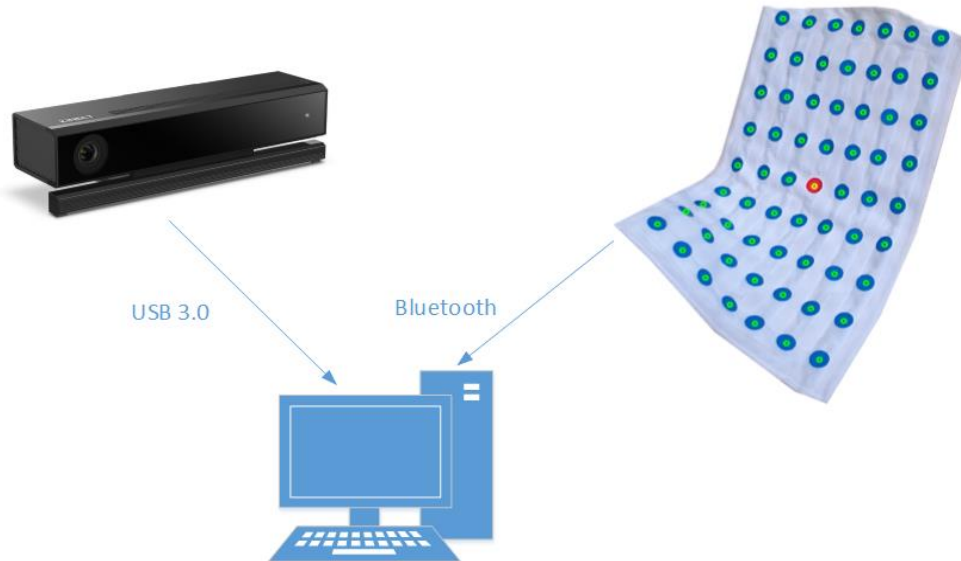
Vidējās kvadrātiskās kļūdas: pitch 1.7 grādi, roll 1.8 grādi un heading 5.4 grādi

Virsmas atjaunošana



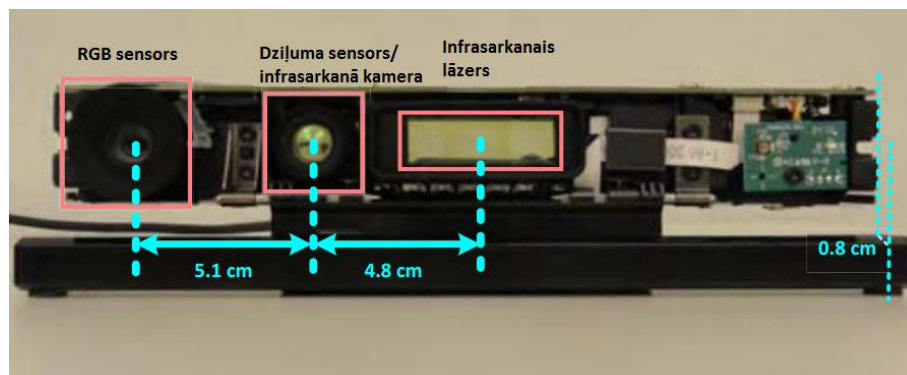
Virsmas atjaunošanas salīdzināšana ar Kinect

- Virsmas formas atjaunošanas precizitātes novērtēšana ar Kinect v2 sensoru.



“Kinect v2” sensors

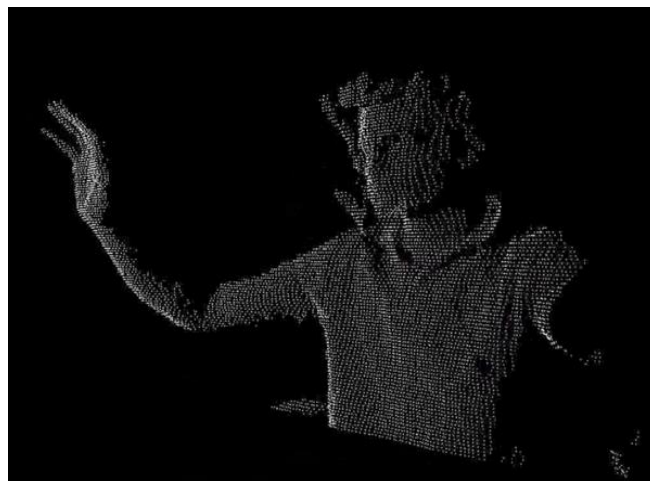
- Sensoru nodrošinājums:
 - Dziļuma sensors, kas darbojās uz “time-of-flight” principa
 - RGB kamera
 - Mikrofonu matrica
- Sensoru specifikācija:
 - Dziļuma kartes izšķirtspēja 512x424
 - RGB kameras izšķirtspēja 1920x1080
 - Kadro atjaunošanas frekvence 30 Hz



“Kinect v2” sensora dati

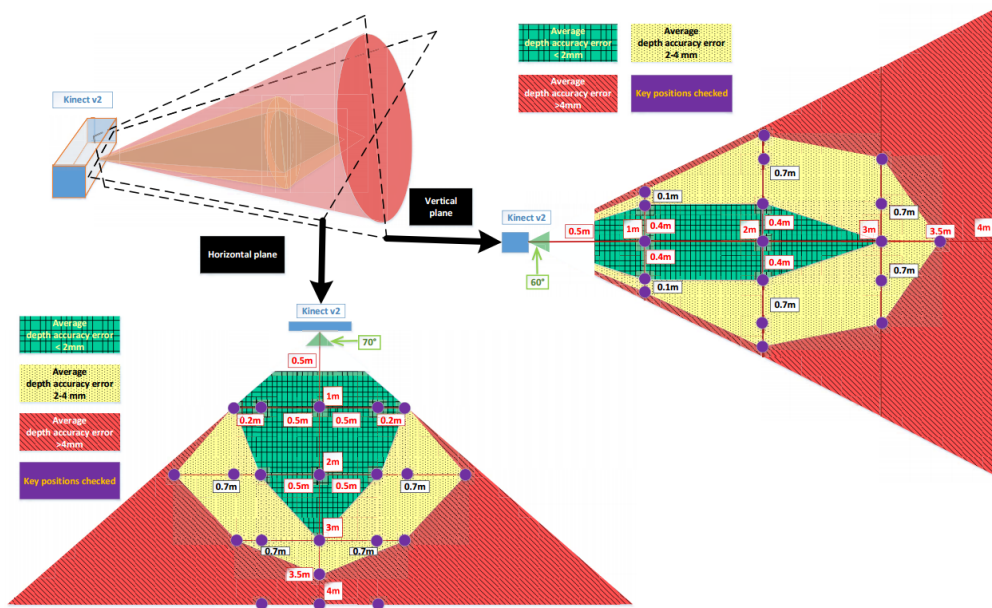


Dziļuma karte



Punktu mākonis

“Kinect v2” precizitātes novērtējums



Attēls no raksta: L. Yang, L. Zhang, H. Dong, A. Aleilaiwi and A. E. Saddik “Evaluating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2”, *Sensors Journal, IEEE*, 15 (8), 4275-4285, 2015

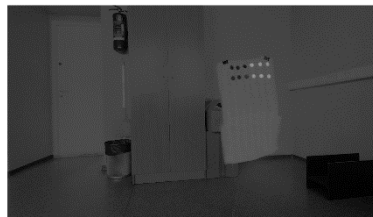
Sensoru tīkla un Kinect datu salīdzināšana

- No Kinect sensora tiek iegūts blīvs punktu mākonis ~2milj. Punktu;
- No sensora iegūstams punktu mākonis 63 punktiem
- Nepieciešams Kinect punktu mākonī atrast tos punktus, kas atbilst sensora atrašanās vietām:

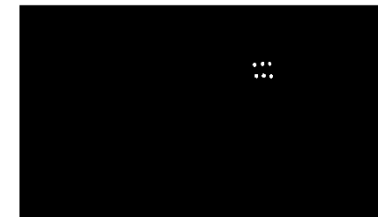


- Punktu noteikšanas soļi:
 - Krāsu marķieru detektēšana RGB attēlā (pikseļu koordinātes)
 - Izmantojot Kinect SDK šo piksļu telpas koordinātu noteikšana

Krāsu marķieru detektēšana

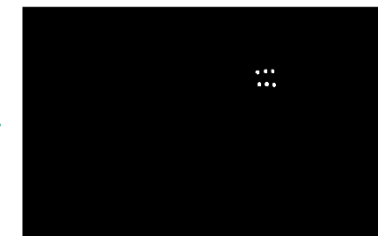


Sliekšņošana



$$I_{Bf} = I_B e^{-k(I_G + I_R)}$$

Atsevišķu marķieru
detektēšana ar
findContours



I_{Bf} – filtrētais attēls

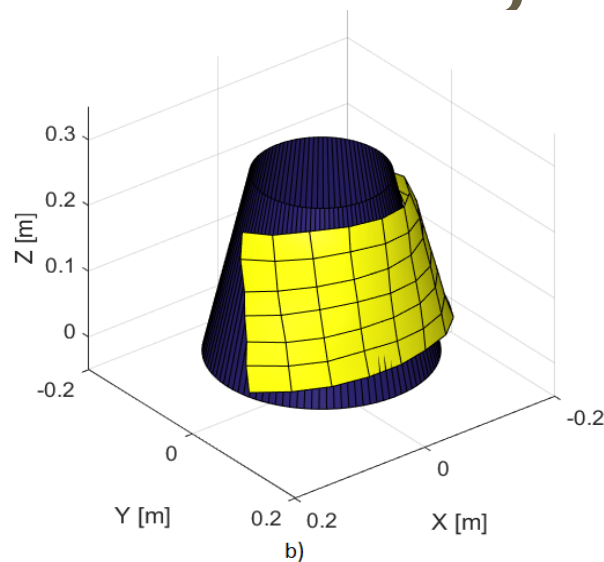
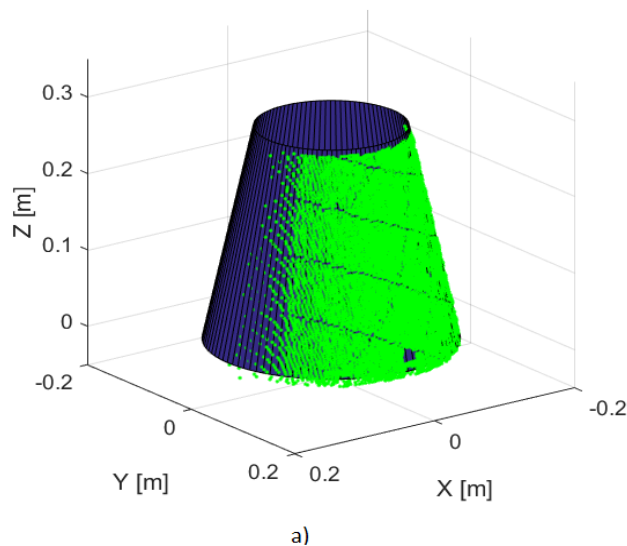
I_B – ieejas attēla zilās krāsas kanāls

I_G – ieejas attēla zaļās krāsas kanāls

I_R – ieejas attēla sarkanās krāsas kanāls

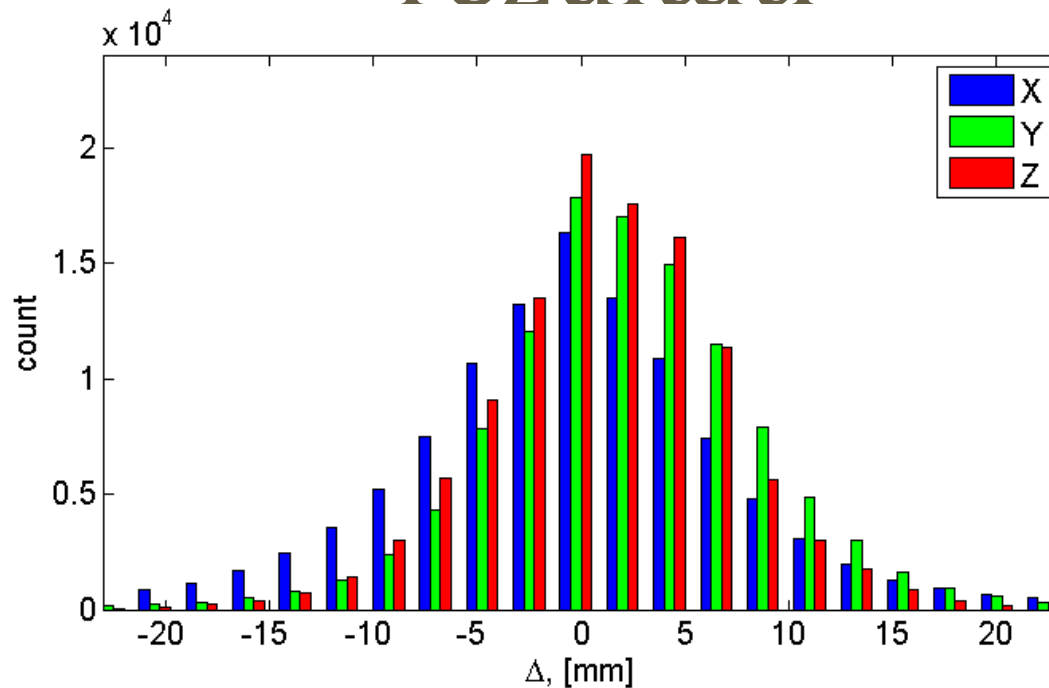
Kontūru centroīdu
Aprēķināšana

Sensoru sistēmas un Kinect salīdzinājums ar etalonobjektu



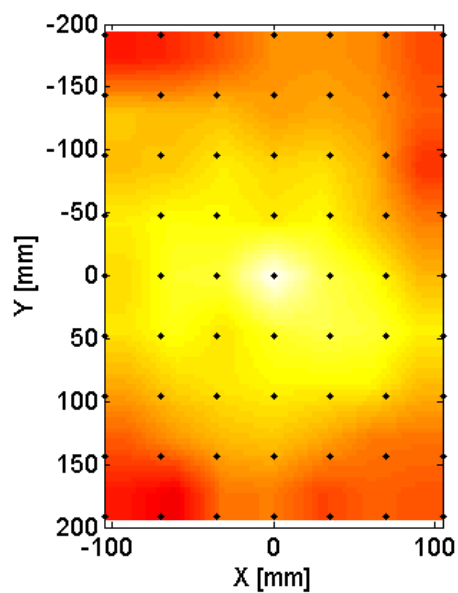
- Etalonobjekts šķelts konuss (dimensijas noteiktas ar 0.01mm precizitāti):
 - Pamatnes diametrs – 297.5 mm
 - Augšas diametrs – 179.3 mm
 - Augstums – 278.3 mm
- Vidējā kvadrātiskā kļūda Kinect sensoram 3.1 mm
- Vidējā kvadrātiskā kļūda sensoru tīklam – 4.9 mm

Sensoru sistēmas salīdzinājums ar Kinect, rezultāti

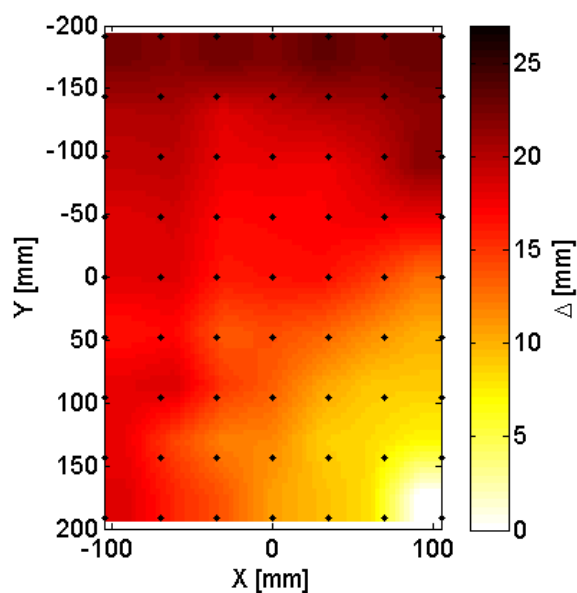


	X	Y	Z
μ_{center} [mm]	-0.7	2.1	1.1
σ_{center} [mm]	8.9	6.7	5.8

Virsmas kļūdu kartes



a)

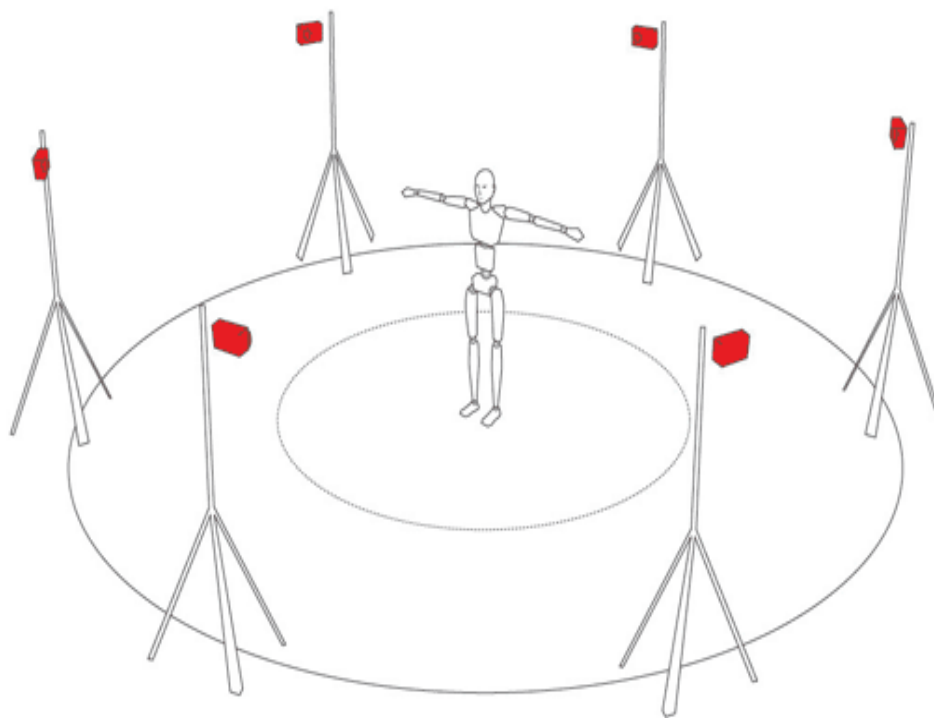


b)

Publikācijas

- *Hermanis A, Cacurs R, Greitans M, Shape sensing based on acceleration and magnetic sensor system, Inertial Sensors and Systems (ISISS), 2015 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems 2015*
- *Hermanis A, Cacurs R, Greitans M, Acceleration and magnetic sensor network for shape sensing, Sensors Journal, IEEE, Issue 99, 2015*

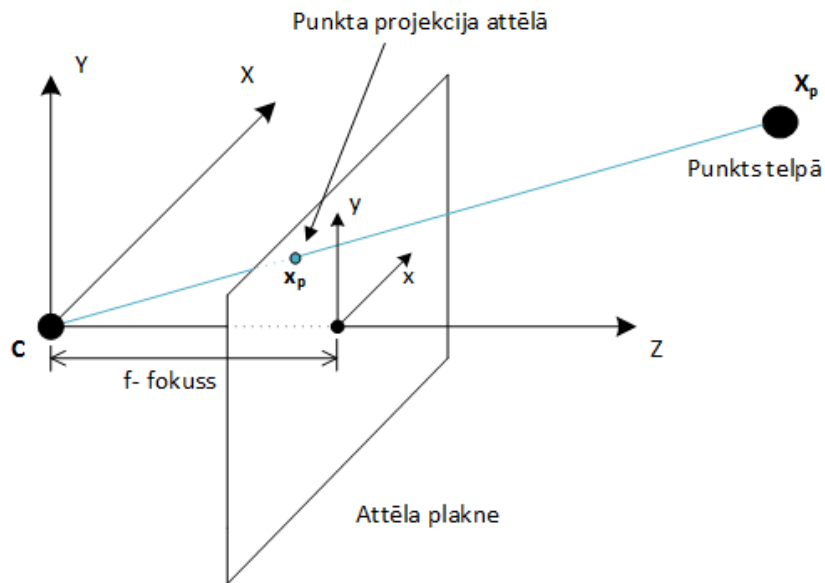
3D informācijas iegūšana no video kameru attēliem



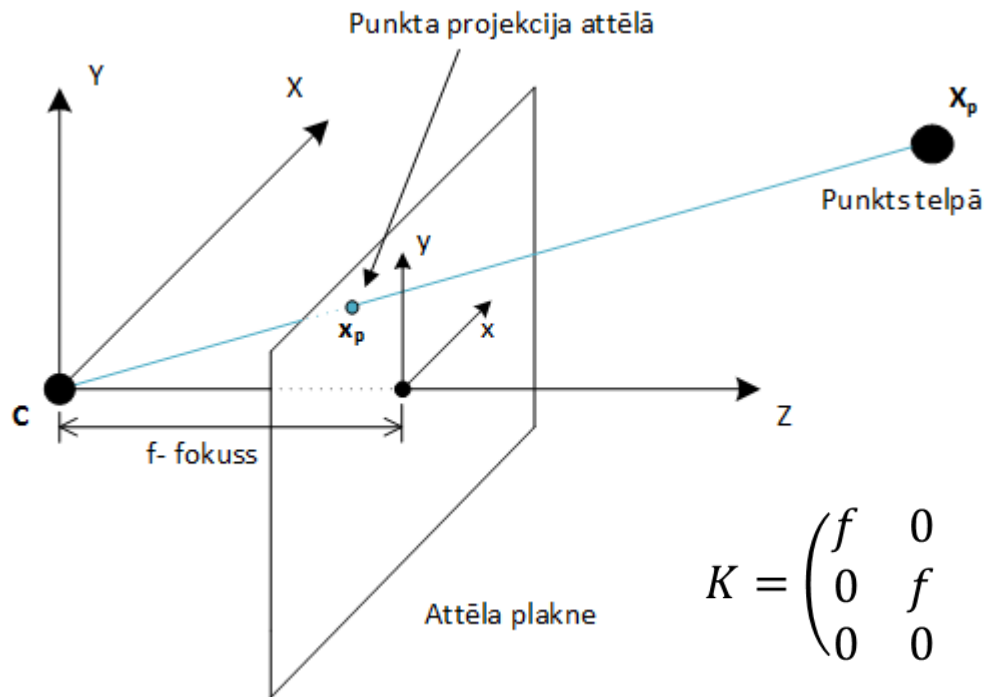
Galvenie soļi 3D informācijas atjaunošanai no 2 kameru attēliem

- Vienādo objektu meklēšana abos kameru attēlos:
 - Vienkāršākais objekts – punkts:
 - ORB punktu detektors
 - SIFT punktu detektors
 - SURF punktu detektors
- Kameru epipolārās ģeometrijas noteikšana (Fundamentālā matrica)
- Kameru ārējo parametru noteikšana:
 - Kameru savstarpējās orientācijas noteikšana
 - Kameru savstarpējā attāluma noteikšana

Kameras ģeometriskais modelis: “pinhole”



Pinhole kameras algebrisks modelis:



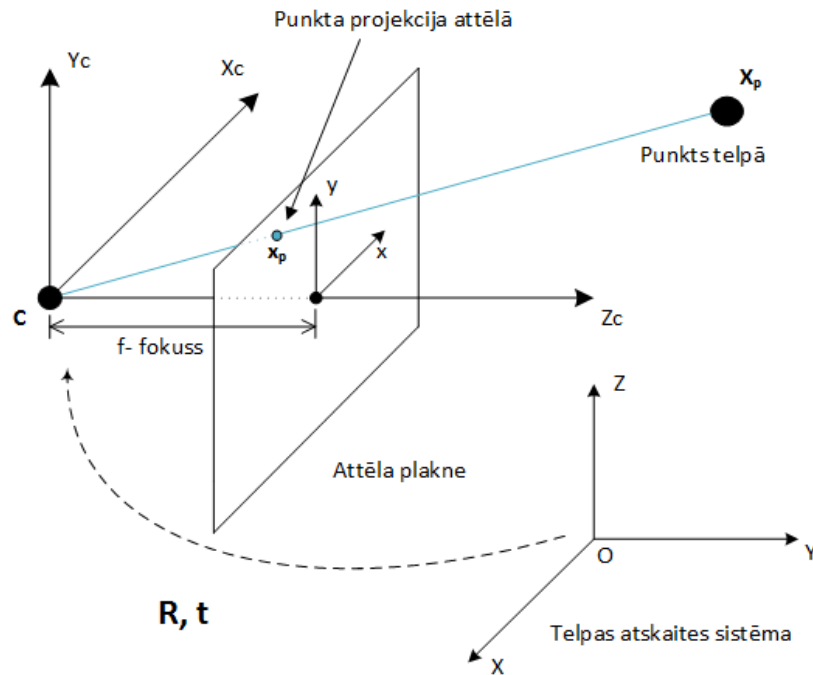
$$x_p = P X_p$$

$$P = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = K[I | O]$$

$$K = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ -Kameras iekšējie parametri,}$$

jeb kalibrācijas matrica

Pinhole kameras modelis telpā



R – rotācijas matrica

t – pārvietojuma vektors

$[R|t]$ – kameras ārējie parametri.

$$P = K[R|t]$$

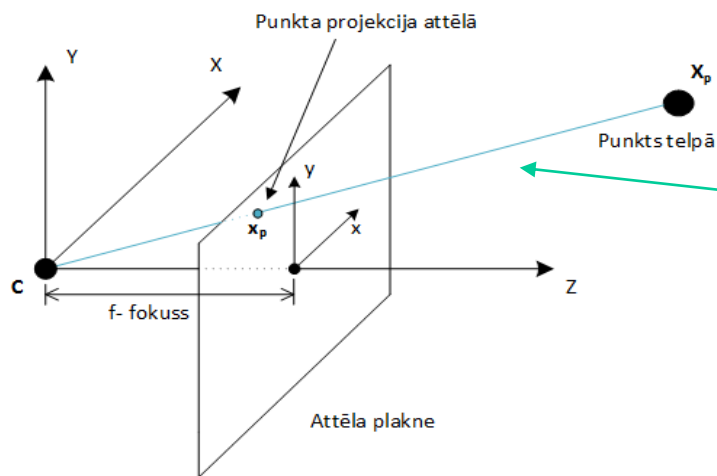
3D punkta atjaunošana

- Punkts kameras attēlā nosakāms pēc sekojošas izteiksmes:

$$\mathbf{x}_p = P \mathbf{X}_p$$

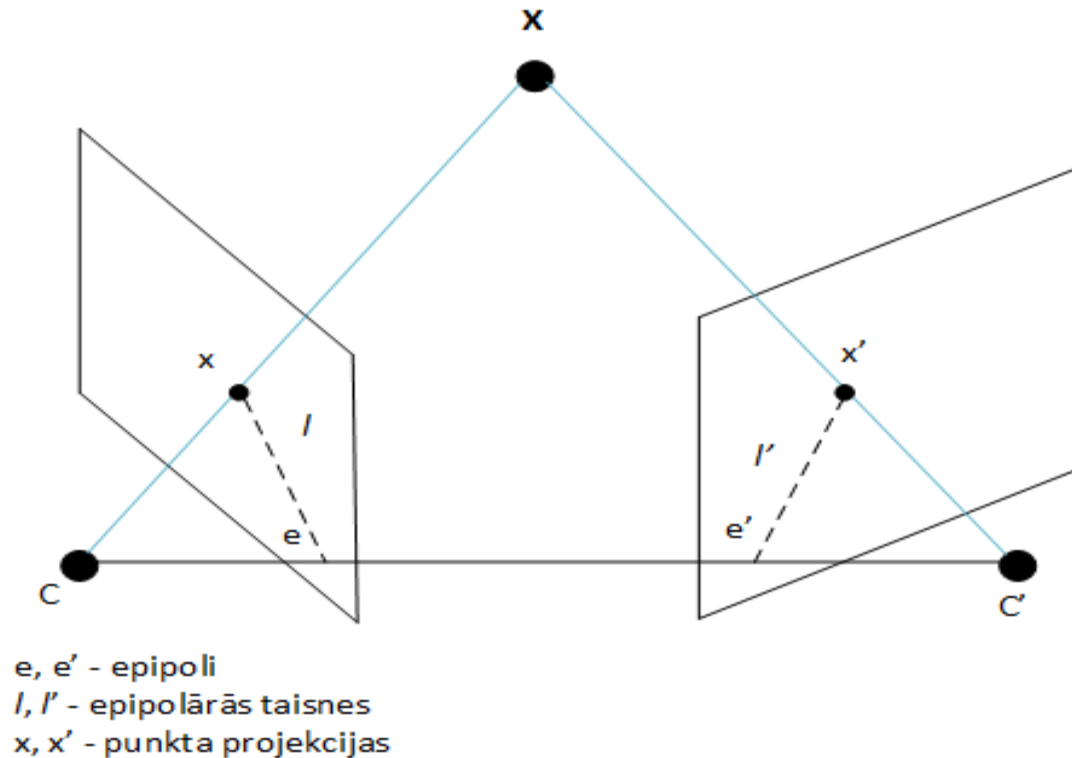
- Inversā transformācija, lai noteiktu punkta telpas koordinātes, zinot tikai punkta projekcijas koordinātes attēlā nav iespējama, jo matrica P ir singulāra:

$$\mathbf{X}_p = P^{-1} \mathbf{x}_p$$



Bezgalīgi daudz punktu, kas dod atrisinājumu

Punktu atjaunošana no 2 kamerām, epipolārā ģeom.



$$x = PX$$

$$x' = P'X$$

Epipolārā ģeometrija, fundamentālā matrica

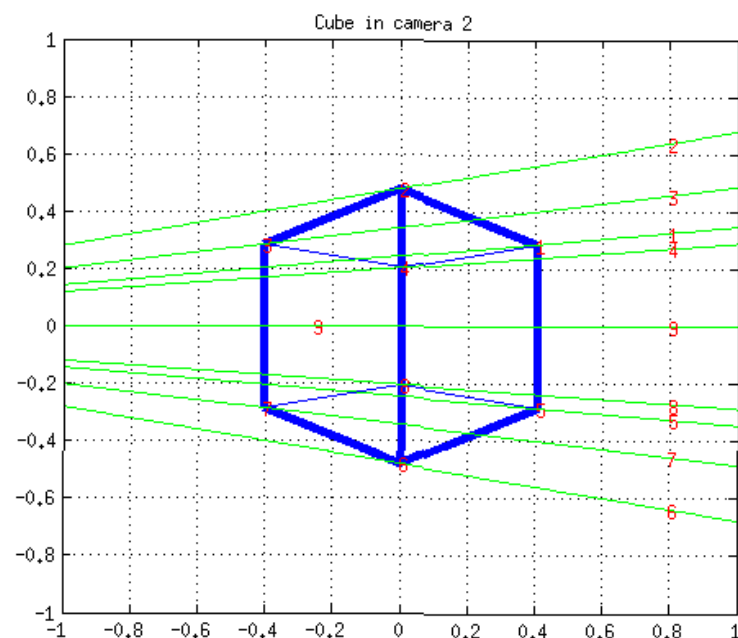
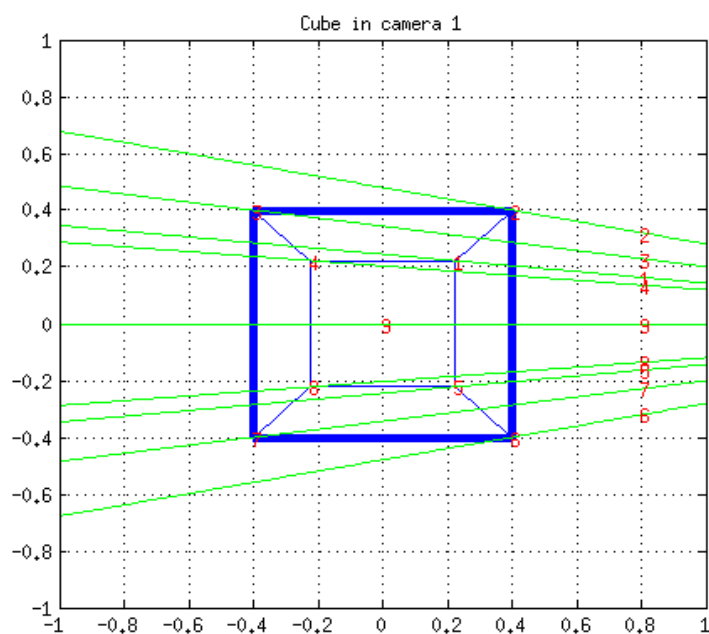
- Epipolārā ģeometrija apraksta ar matemātisku objektu – fundamentālo matricu. Fundamentālā matrica izriet no no epipolārā nosacījuma

$$x'^T F x = 0$$

- 3x3 matrica ar rangū 2 (singulāra matrica)
- Apraksta saistību starp punktiem divos attēlos
- Fundamentālās matricas svarīga īpašība ir tā, ka tā ļauj noteikt kameras ārējos parametrus (R, t)
- Punkts, kurš redzams kameras pirmajā attēlā, otrajā attēlā vienmēr atrodas uz epipolārās taisnes:

$$l' = Fx$$

Epipolārās taisnes

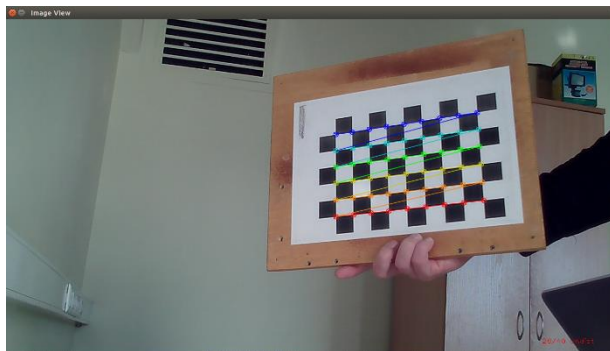


P noteikšana

$$P = K[R|t]$$

$$K = \begin{pmatrix} f & s & c_x \\ 0 & f & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Kameru kalibrācijai ir pieejami vairāki rīki:
 - OpenCV bibliotēka
 - MATLAB (computer vision system toolbox)
 - U.c



Kameras ārējo parametru noteikšana

- No fundamentālās matricas iegūstama **būtiskā** matrica E (essential matrix), kas ietver sevī tikai ārējos parametrus

$$E = [T]_x R$$

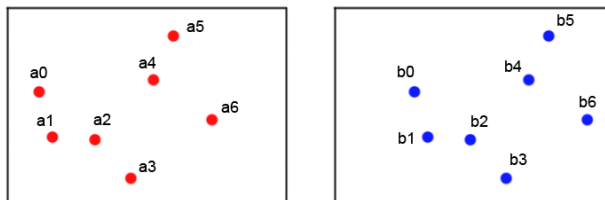
- Būtiskās matricas saistība ar F :

$$E = K'^T F K$$

- Kameras ārējie parametri nosakāmi veicot E matricas dekompozīciju SVD

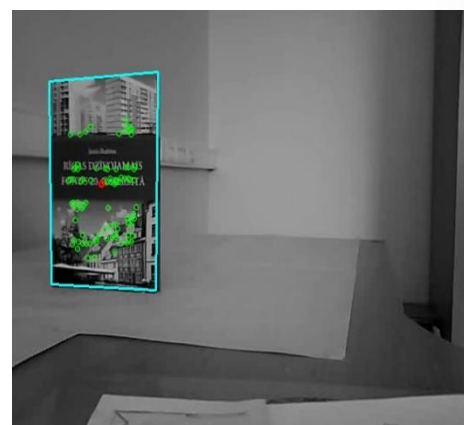
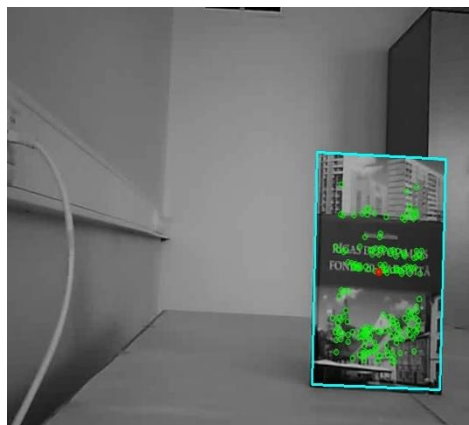
Fundamentālās matricas noteikšana

- Ieejas dati: Telpas punktu projekcijas abos attēlos



- F noteikšanas metodes:
 - 8 punktu algoritms
 - Normētais 8 punktu algoritms
 - Ar Levenberg-Marquardt minimizēšanu
 - U.c

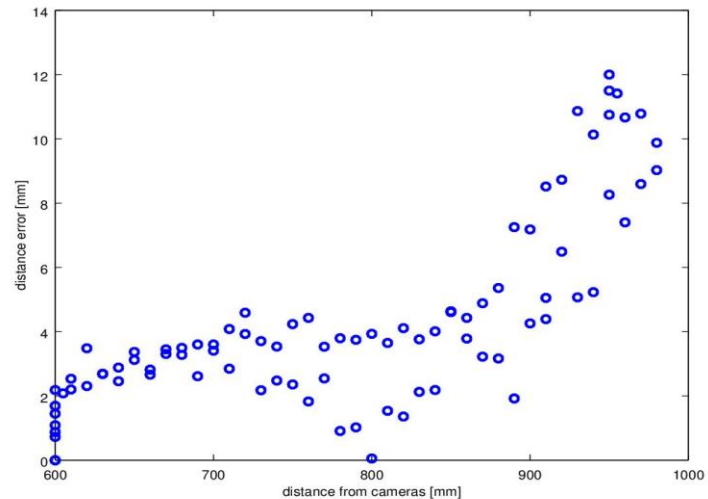
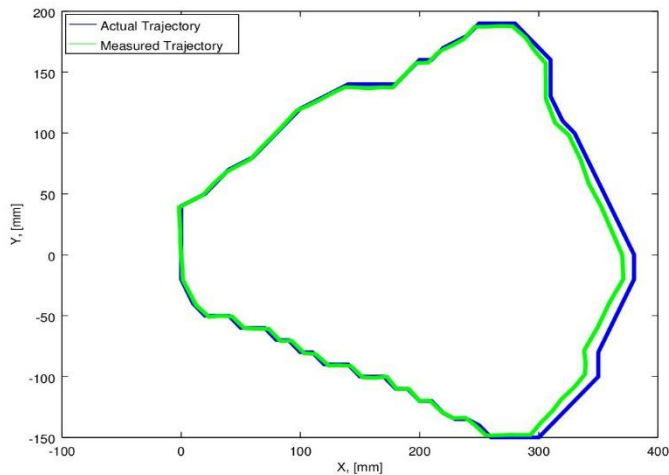
Eksperimentālā sistēma



Kameras ar 640x480 izšķirtspēju

Rezultāti

- References dati noteikti ar 0.5 mm precizitāti
- Mērijumi veikti 87 punktos
- Mērījumu kļūda robežās no 0.7-12mm



Publikācija

- K. Sudars, R. Cacurs, I. Homjakovs and J. Judvaitis. “LEDs based video camera pose estimation”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 63, No. 4, 2015

Paldies par uzmanību !