

Predmet: 3D digitalizacija objekata

**PRE-PROCESIRANJE REZULTATA
3D-DIGITALIZACIJE**

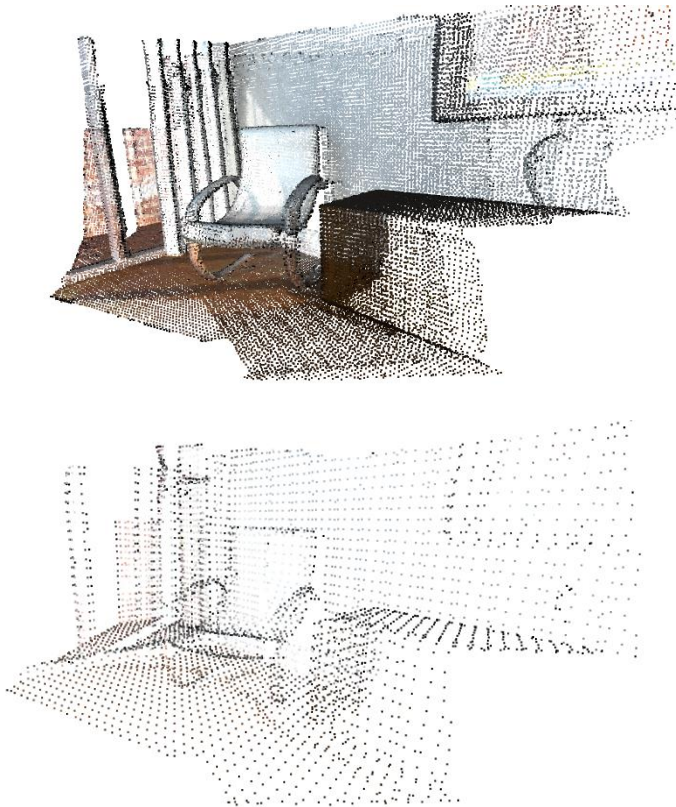
Segmentacija i registracija

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

Oblak tačaka

Oblak tačaka predstavlja nestrukturiranu 3D reprezentaciju digitalizovanih objekata, koju obično prikupljaju LiDAR senzori, stereo kamere, senzori dubine, itd.

Sastoji se od kolekcije pojedinačnih tačaka, od kojih je svaka definisana koordinatama X, Y i Z.



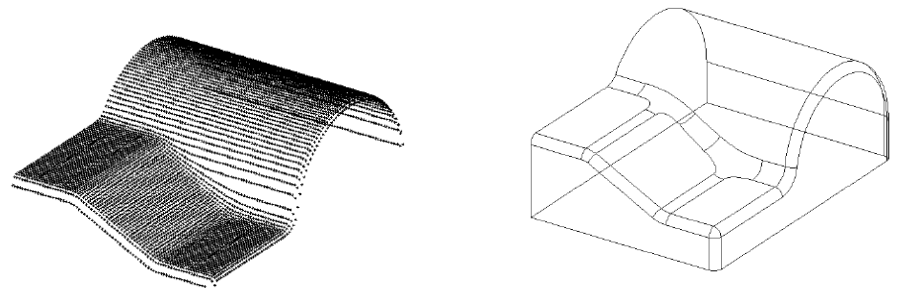
Segmentacija oblaka tačaka

Segmentacija oblaka tačaka podrazumeva logičku podelu originalnog skupa tačaka na podskupove koje karakterišu zajedničke osobine.

Segmentacija oblaka tačaka grupiše ove tačke u različite semantičke delove koji predstavljaju površine, objekte ili strukture u okruženju.

Segmentacija može biti sprovedena na oblacima tačaka (3D) ili na skeniranim krivama, odnosno podataka-tačaka u okviru poprečnih presečnih krivih.

Cilj segmentacije oblaka tačaka jeste klasifikovati svaku tačku u određenu klasu objekata, kao što su „automobil“, „put“, „zgrada“ ili „drvo“, na osnovu onoga što ona predstavlja u 3D sceni.



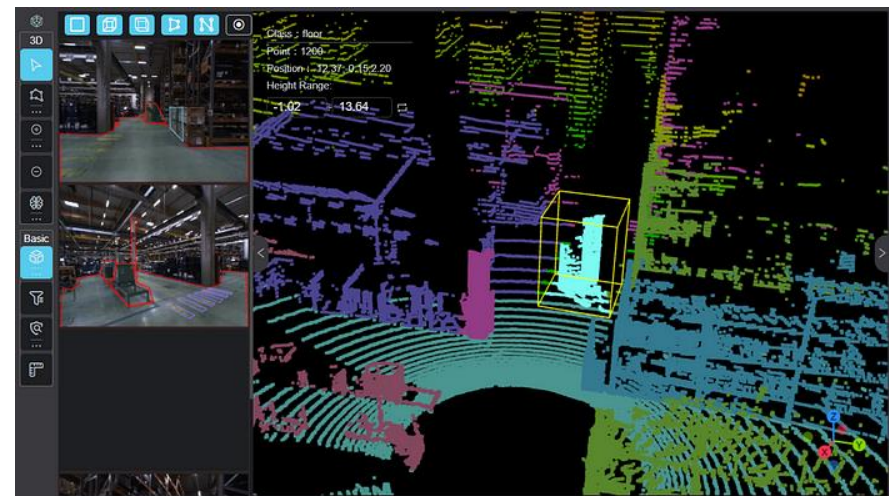
Zašto segmentacija oblaka tačaka??

- Segmentacija oblaka tačaka je ključna za mnoge aplikacije jer omogućava prepoznavanje, klasifikaciju i praćenje objekata u 3D okruženjima.
- Omogućava robotima i autonomnim sistemima da razumeju svoju okolinu identifikacijom ključnih objekata kao što su automobili, putevi, zgrade, itd.
- Segmentacija olakšava semantičku interpretaciju i razumevanje složenih 3D scena pružanjem kontekstualnih informacija o odnosima između objekata.
- Segmentacija pruža neprocenjive podatke za zadatke kompjuterske vizuelizacije.
- Segmentacija pruža prostorne informacije i strukturu ključne za percepciju stvarnog sveta.

Primena segmentacije oblaka tačaka

Logistika i operacije u lancu snabdevanja

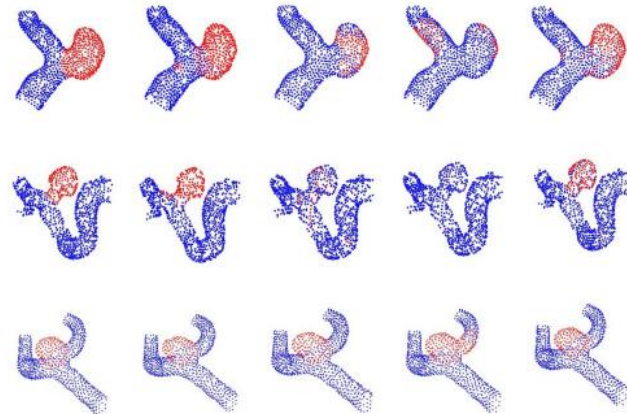
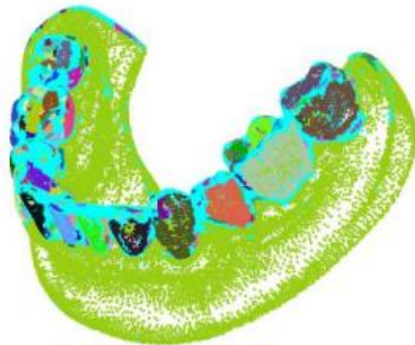
- U logistici, segmentacija oblaka tačaka pokreće novu generaciju autonomnih sistema koji mogu da se kreću i rade u složenim okruženjima. Skladišta, luke za otpremu i intermodalni objekti koriste ovu tehnologiju za primenu inteligentnih robota, automatizovanih vođenih vozila (AGV) i samovozećih kamiona koji efikasno pomeraju robu i materijale.
- Preciznim segmentiranjem i razumevanjem svog okruženja, ovi autonomni sistemi mogu bezbedno da manevrišu kroz uske prolaze, izbegavaju prepreke i optimizuju rute za maksimalnu efikasnost.



Primena segmentacije oblaka tačaka

Medicinska dijagnostika i planiranje lečenja

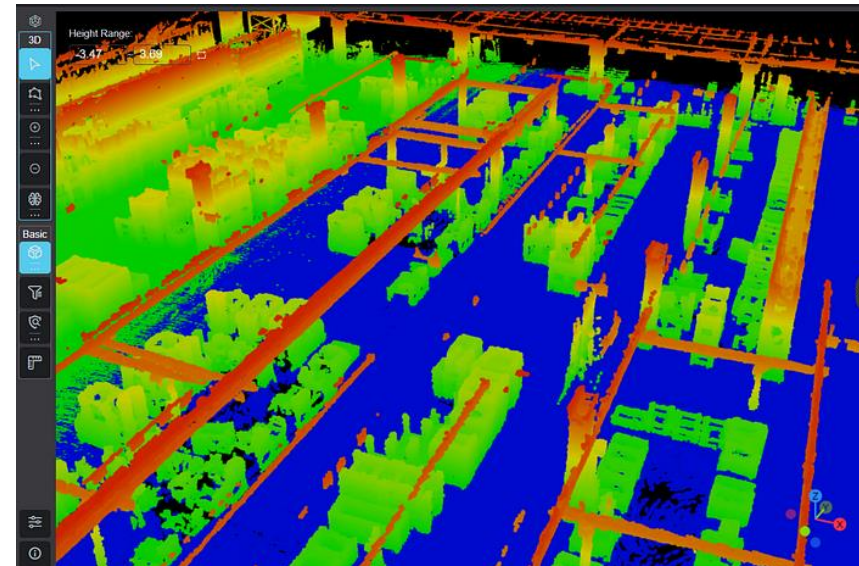
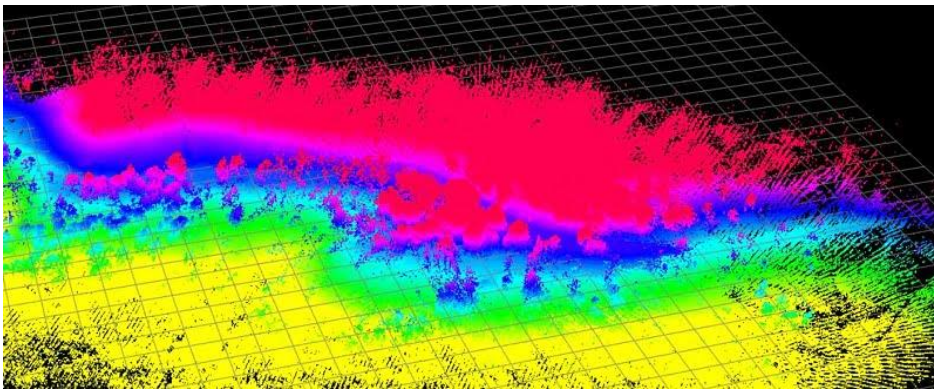
- U oblasti medicine, segmentacija oblaka tačaka transformiše način na koji zdravstveni radnici vizualizuju i analiziraju podatke o pacijentima. Tehnike skeniranja i segmentacije stvaraju veoma detaljne 3D modele zuba i oralnih struktura pacijenata u stomatologiji, omogućavajući stomatolozima da identifikuju patologije, procene anatomske karakteristike i planiraju precizne tretmane.
- Segmentacija oblaka tačaka se primenjuje na medicinske modalitete snimanja kao što su MR i CT skeniranje, pomažući u otkrivanju, dijagnozi i praćenju različitih stanja, uključujući tumore i abnormalnosti.



Primena segmentacije oblaka tačaka

Upravljanje infrastrukturom

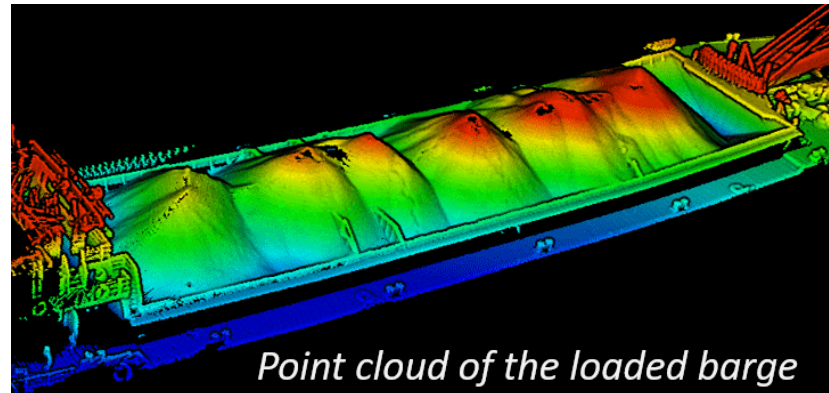
- Segmentacija oblaka tačaka omogućava generisanje veoma detaljnih 3D oblaka tačaka različitih objekata (tornjevi, cevovodi i železnice, šume, itd).
- Kroz segmentaciju, ovi oblaci tačaka se mogu automatski klasifikovati i analizirati da bi se pratili određeni uslovi, identifikovali potencijalni problemi i obezbedila usklađenost sa bezbednosnim propisima.
- Primer: segmentacija vegetacije od infrastrukturnih komponenti omogućavaju nadgledanje i sprečavanje potencijalne opasnosti kao što su šumski požari.



Primena segmentacije oblaka tačaka

Građevinski i rudarski radovi

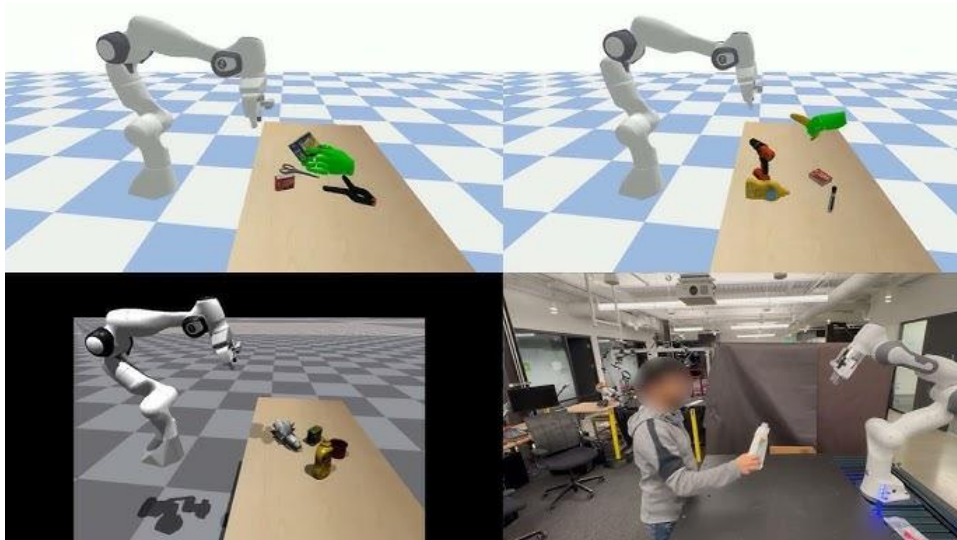
- U građevinarstvu i rudarstvu, segmentacija oblaka tačaka poboljšava svest o situaciji i bezbednost za operatere teških mašina. Pružajući detaljne 3D prikaze okoline, omogućava se operaterima da navigiraju i pozicioniraju opremu kao što su bageri, kiperi i kranovi sa većom preciznošću, čak i u složenim ili skućenim prostorima.
- Algoritmi segmentacije mogu otkriti prisustvo radnika u blizini mašina, upozoriti operatere i sprečiti potencijalne nezgode.
- U brodskim lukama i železničkim stanicama, segmentacija oblaka tačaka takođe omogućava automatizaciju zadataka utovara i istovara.



Primena segmentacije oblaka tačaka

Robotika

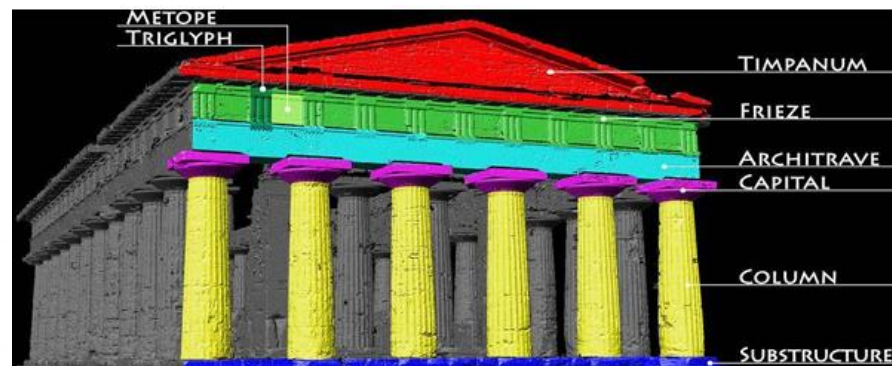
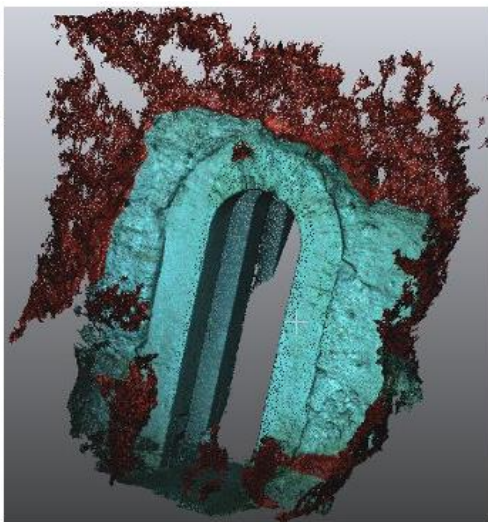
- Autonomni mobilni roboti se sve više oslanjaju na segmentaciju oblaka tačaka da bi sagledali i kretali se u svom okruženju. Od robota za isporuku, do nadzora objekata i beskontaktnih zdravstvenih asistenata.
- Segmentacijom i razumevanjem okruženja, ovi roboti mogu bezbedno i efikasno da obavljaju zadatke kao što su skladištenje, industrijska inspekcija, sanitacija i isporuka medicinske opreme.



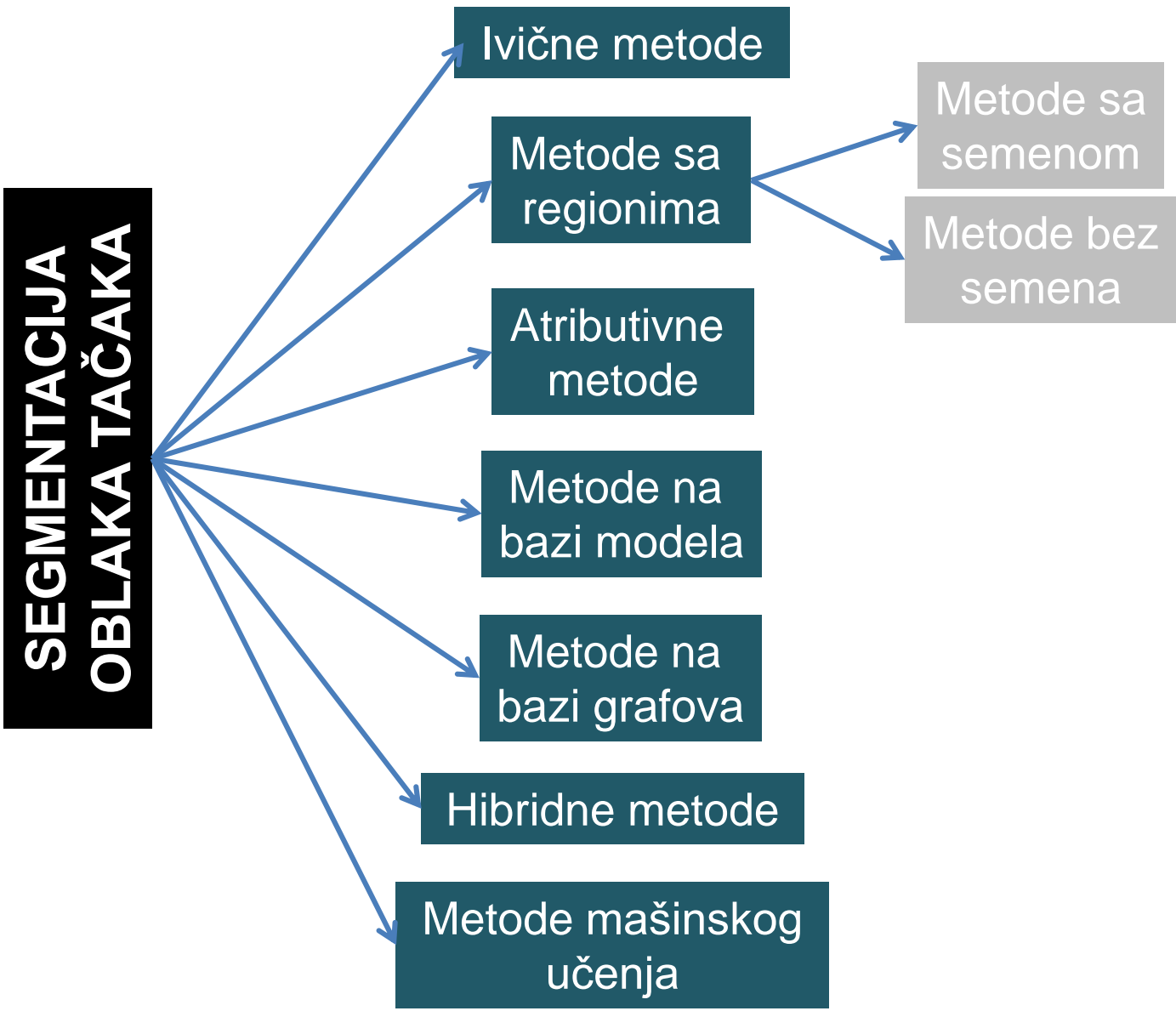
Primena segmentacije oblaka tačaka

Oblast kulturnog nasleđa

Procesi kao što su segmentacija i klasifikacija mogu se primeniti na različitim nivoima u oblasti kulturnog nasleđa, od čitavog arheološkog nalazišta do malog artefakta.

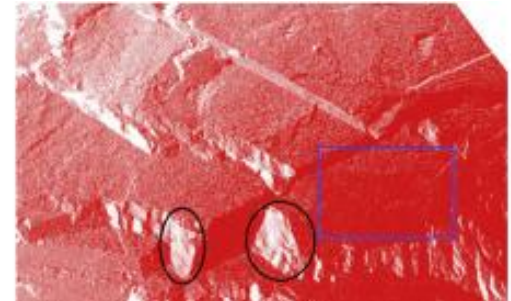
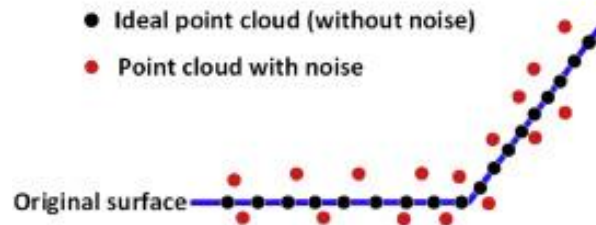


PODELA METODA ZA SEGMENTACIJU OBLAKA TAČAKA



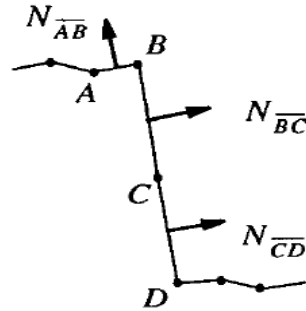
Ivične metode za segmentaciju oblaka tačaka

- Ivice predstavljaju karakteristike kojima se opisuju oblici objekata.
 - Ivične metode su zasnovane na detekciji granica između regiona u oblaku tačaka sa ciljem dobijanja segmentiranih regiona.
 - Princip ovih metoda je lociranje (identifikacija) tačaka (sa izraženom promenom intenziteta) koje leže na ivicama, a zatim njihovo povezivanje sa ciljem kreiranja kontura koje definišu segmentirane regione.
- + Ivične metode omogućavaju brzu segmentaciju.
- Nedostatak ovih metoda je niži nivo tačnosti, kao posledica osetljivosti na šum i neujednačenu gustinu oblaka tačaka.

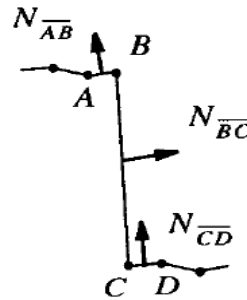


Ivične metode za segmentaciju oblaka tačaka

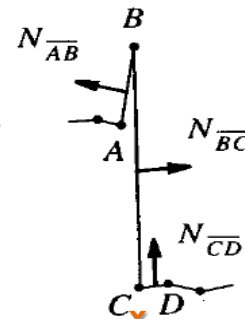
Preko vektora normala



naborana
ivica



skokovita
ivica

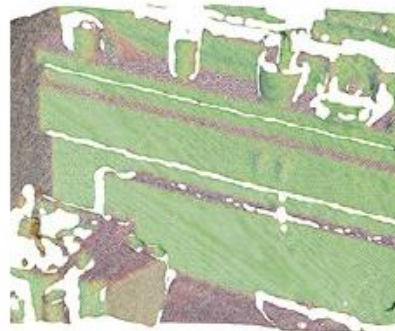


šum kod
skokovite ivice

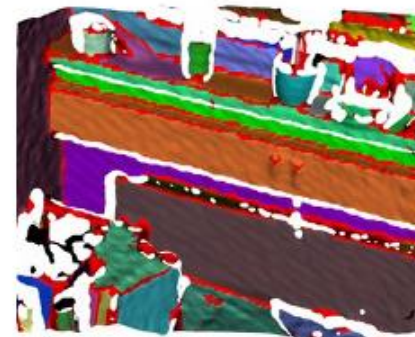
Preko pripadnosti tačaka višestrukim ravnima



oblak tačaka



poligonizovani oblak
tačaka (mesh)



segmentirane ravni u mesh-u
(crvene tačke su one koje
pripadaju višestrukim ravnima)

Metode sa regionima za segmentaciju oblaka tačaka

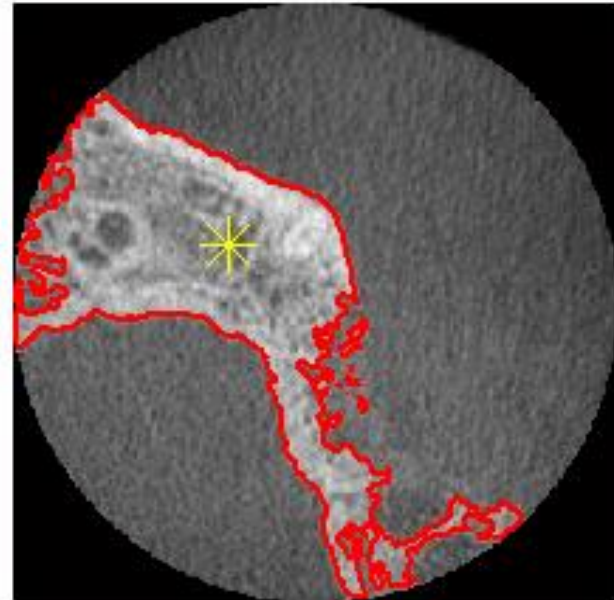
- Metode sa regionima koriste informacije o susednim tačkama radi grupisanja tačaka sa sličnim osobinama, sa ciljem dobijanja izolovanih regiona i pronalaženja različitosti između regiona.
- Ove metode se dele u dve kategorije:
 - 1) sa inicijalnim semenom
 - 2) bez inicijalnog semena
- + Tačnije su od ivičnih metoda u pogledu šuma.
- + Prednosti ove tehnike uključuju jednostavnost i intuitivne principe.
- Performanse u velikoj meri zavise od izbora inicijalnog semena i podešavanja praga.
- Konkavni oblici i objekti sa heterogenim karakteristikama takođe predstavljaju izazove.

Metode sa regionima sa inicijalnim semenom

- Oko izabranih semenskih tačaka izrastaju regioni uključivanjem tačaka koje zadovoljavaju definisane kriterijume (sličnost sa semenskom tačkom).

Problem ovih metoda su:

- izrazita zavisnost od izabrane semenske tačke,
- osetljivost na šum,
- vremenska zahtevnost.



Metode sa regionima bez inicijalnog semena

- Sve tačke su grupisane u jedan region koji se, zatim, deli u manje regione. Deljenje se nastavlja sve dok je izabrana mera za uključenje veća od granične vrednosti.
- Problem ovih metoda su: GDE i KAKO realizovati deljenje!
- Dodatno ograničenje je da zahtevaju značajno PREDZNANJE (o objektima, broju regiona...) koje kod kompleksnih scena često nije dostupno.



Metode sa regionima bez inicijalnog semena



(a) Rough Results



(b) Noise Removal



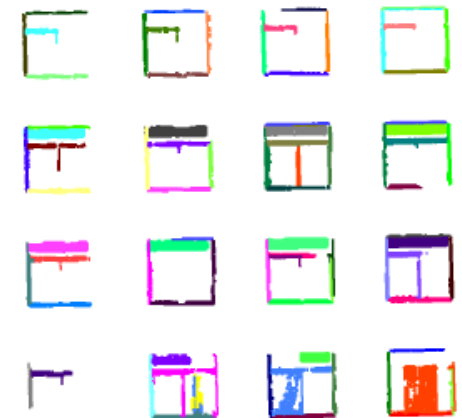
(c) Tree Part



(d) Building Part



(e) Detail Results

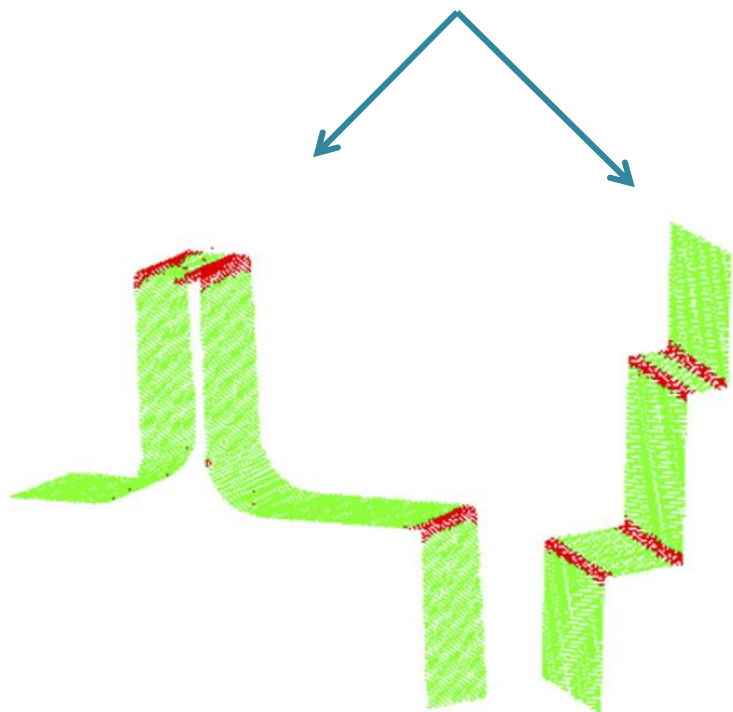


(f) Windows

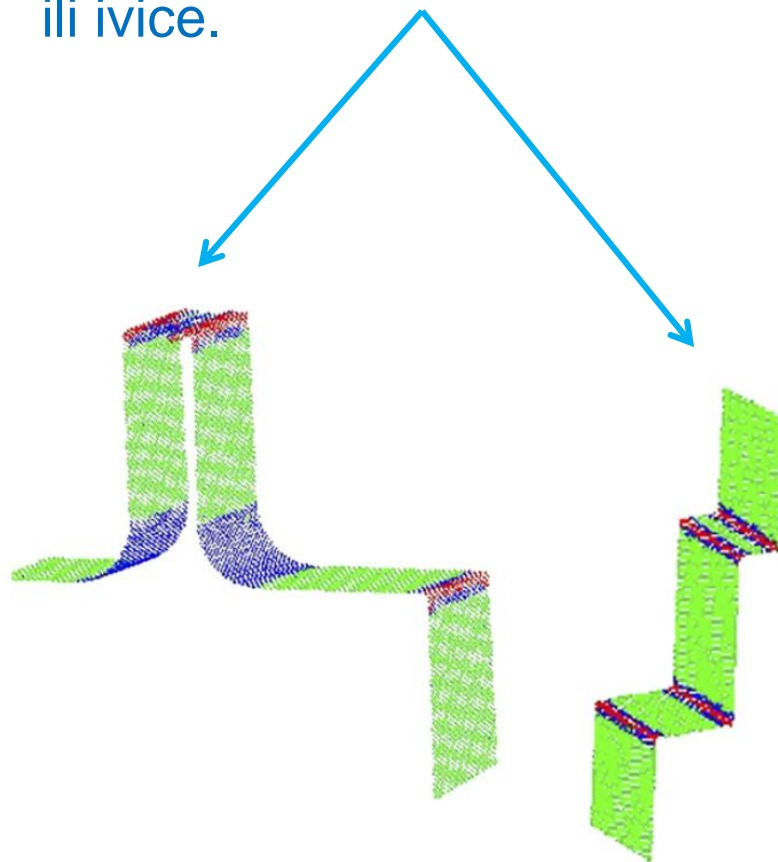
Atributivne metode

- Atributivne metode su robusni pristupi zasnovani na klasterizacionim atributima podataka u oblaku tačaka.
- Obuhvataju dva koraka:
 - 1) Izvođenje (izračunavanje) atributa i
 - 2) Klasterizacija oblaka tačaka na bazi izvedenih atributa.
- Precizno izračunavanje atributa je pretpostavka za kvalitetnu segmentaciju.
- + Odlikuje ih fleksibilnost kod prilagođavanja prostornih odnosa i atributa prilikom ugrađivanja različitih pravila u segmentacioni proces.
- Ograničenje im je visoka zavisnost od izvedenih atributa.

Oblaci tačaka klasifikovani u 2 kategorije površina: ravanske i talasaste površine ili ivice.

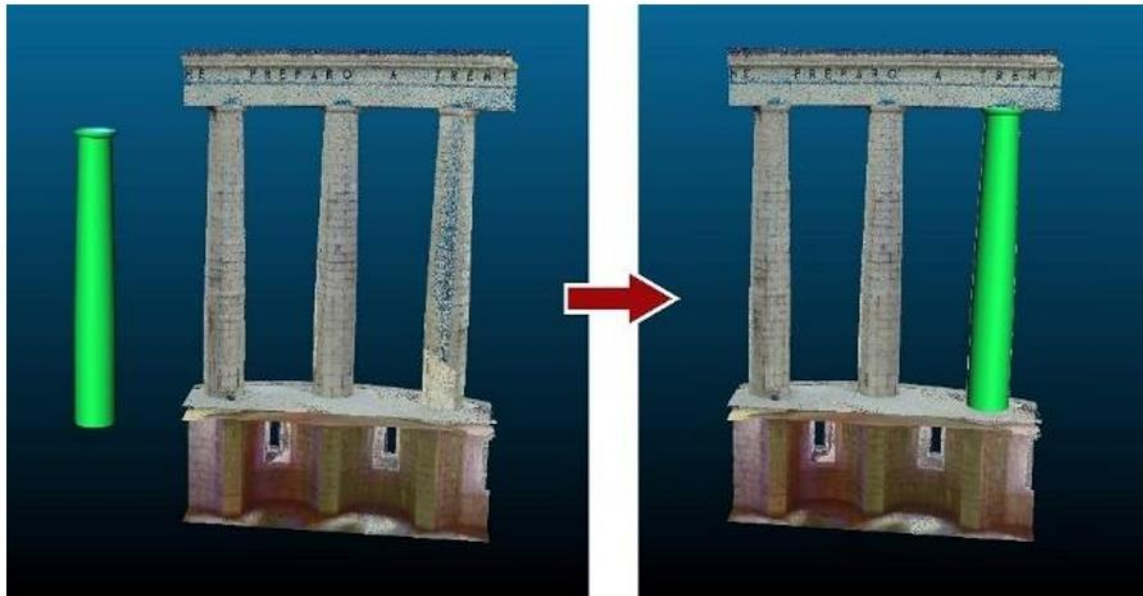


Oblaci tačaka klasifikovani u 3 kategorije površina: ravanske, blago talasaste i talasaste površine ili ivice.



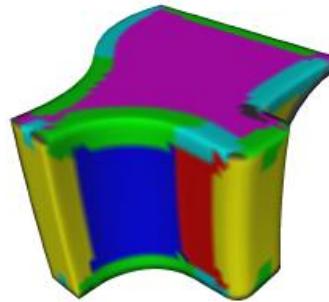
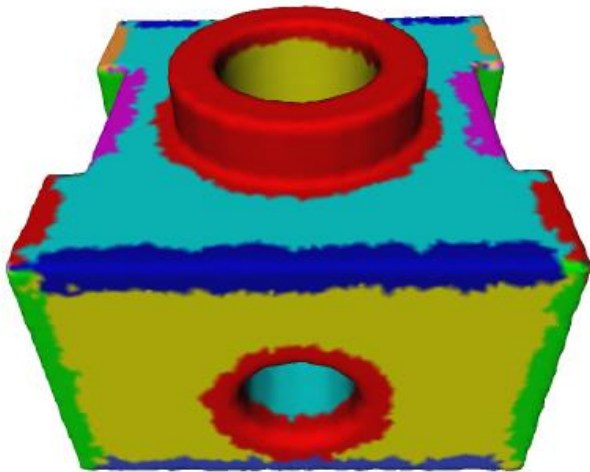
Metode na bazi modela

- Koriste geometrijske primitive (sfera, kupa, ravan, cilindar) za grupisanje tačaka.
- Tačke sa istom matematičkom reprezentacijom su grupisane kao jedan segment.
- RANSAC (RANdom SAmple Consensus) je robusni model za detektovanje matematičkih karakteristika poput pravih linija, kružnica itd. Ovaj model je danas standard za fitovanje modela.



Metode na bazi modela

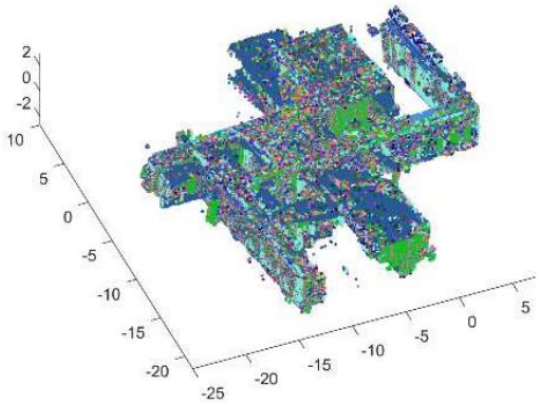
- + Odlikuje ih čist matematički princip.
- + Brze su i robusne u odnosu na impulsne greške (outliers).
- Odlikuje ih niska tačnost u slučaju primene na oblacima tačaka iz različitih izvora.



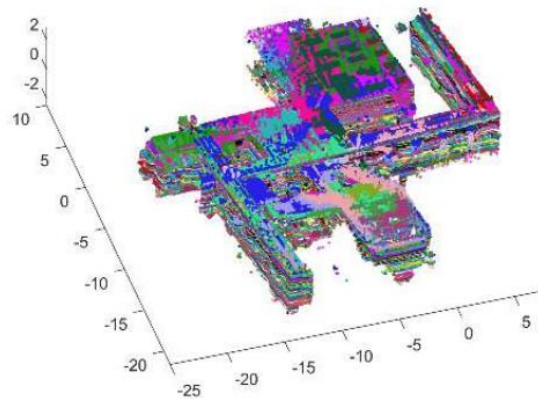
Hibridne metode za segmentaciju oblaka tačaka

U nekoj vrsti pristupa se kombinuje više metoda, npr. da se otkriju ravni segmenti, kako bi se iskoristila snaga metode i zaobišle slabosti drugih metoda.

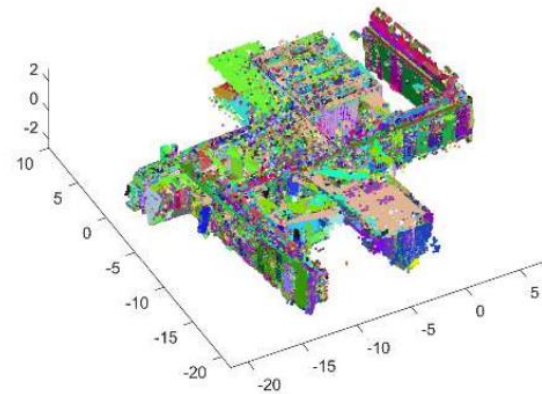
Uspeh ovih hibridnih metoda zavisi od uspeha osnovnih metoda koje se kombinuju.



Metoda sa regionima



Metoda na bazi modela



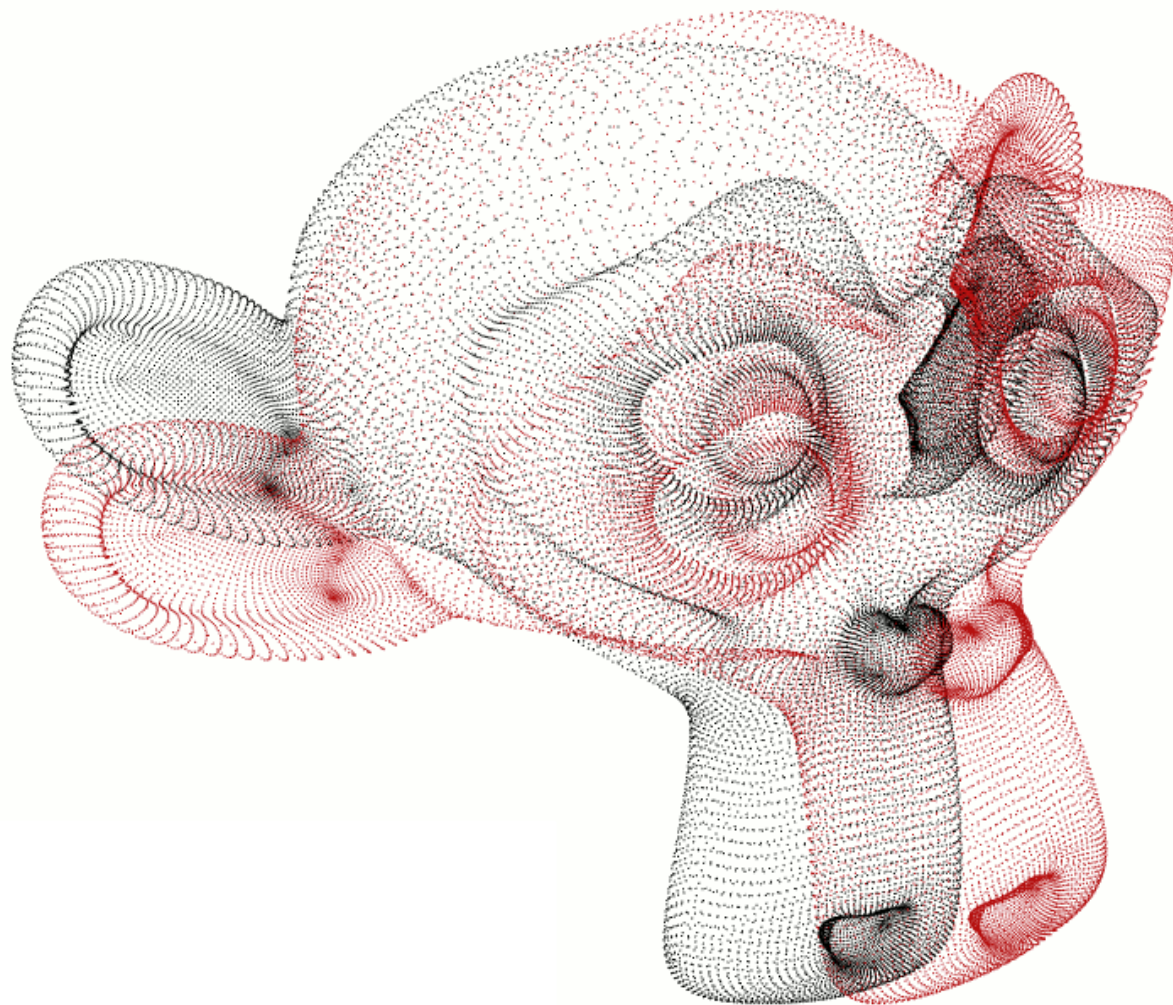
Hibridna metoda

Metode mašinskog učenja za segmentaciju oblaka tačaka

Mašinsko učenje (uključujući duboko učenje, neuronske mreže, itd.) je naučna disciplina koja se bavi dizajnom i razvojem algoritama veštačke inteligencije koji omogućavaju računarima da donose odluke na osnovu empirijskih podataka i podataka o obuci.

- +Uopšteno govoreći, metode mašinskog učenja se ističu u učenju semantičkih karakteristika visokog nivoa iz oblaka tačaka za tačnu segmentaciju.
- Imaju visoke računarske zahteve.

Registracija oblaka tačaka

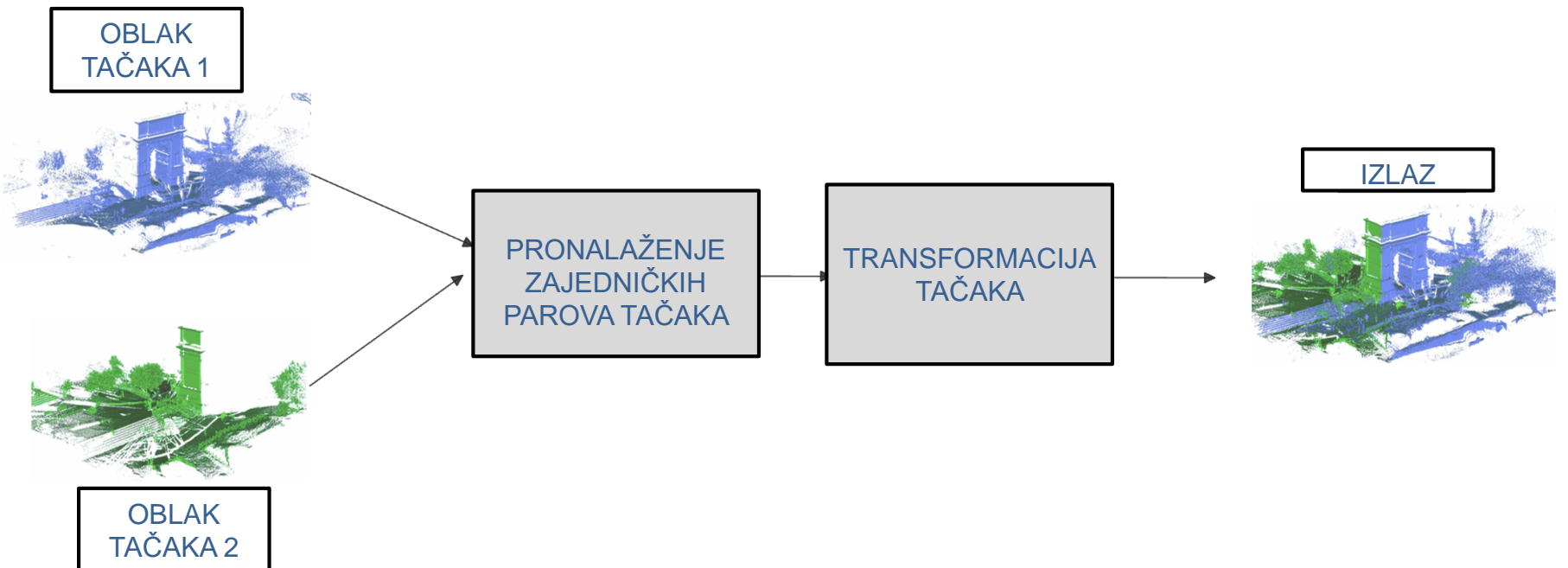


Registracija podataka-tačaka

- **Registracija oblaka tačaka** predstavlja fundamentalni problem u oblasti 3D kompjuterske grafike.
- S obzirom na postojanje više oblaka tačaka u različitim koordinatnim sistemima, **cilj registracije je pronalaženje transformacije koja ih sve najbolje poravnava u jedan zajednički koordinatni sistem.**
- Registracija oblaka tačaka igra značajnu ulogu u mnogim aplikacijama kao što su:
 - rekonstrukcija 3D modela,
 - Artefakti kulturnog nasleđa,
 - Praćenje procesa, sistema, itd i
 - Analize procesa.

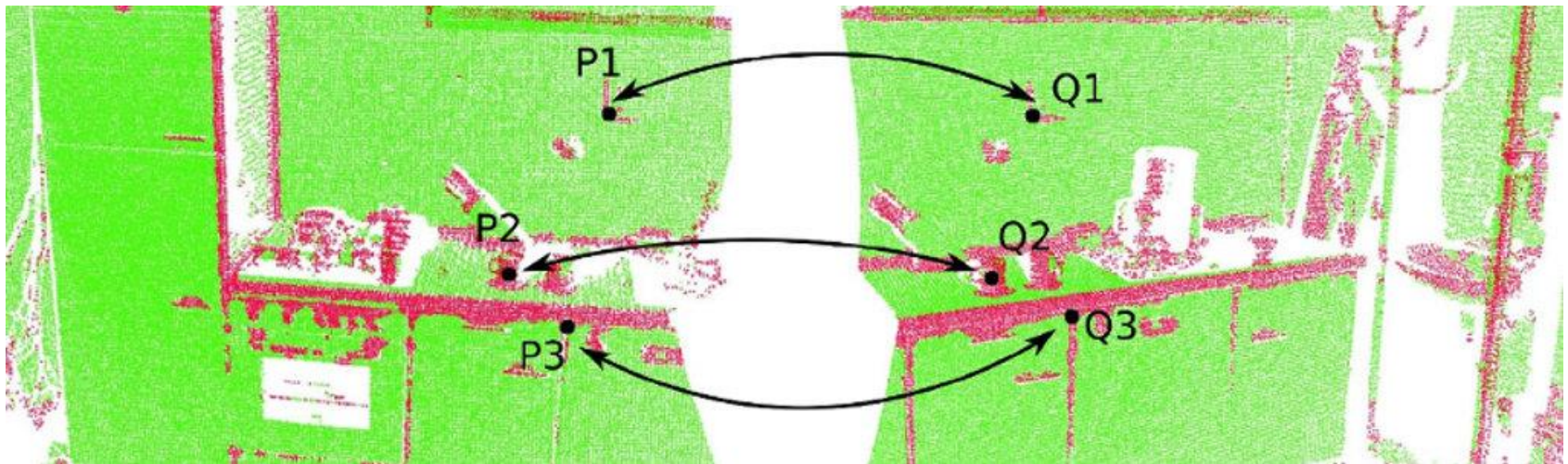
Registracija podataka-tačaka

- Registracija oblaka tačaka se zasniva na dva procesa, a to su:
- Pronalaženje zajedničkih parova tačaka (korespodencija) i
- Transformacija tačaka.



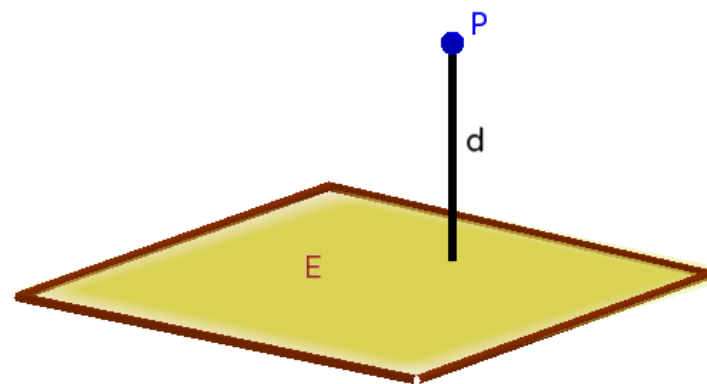
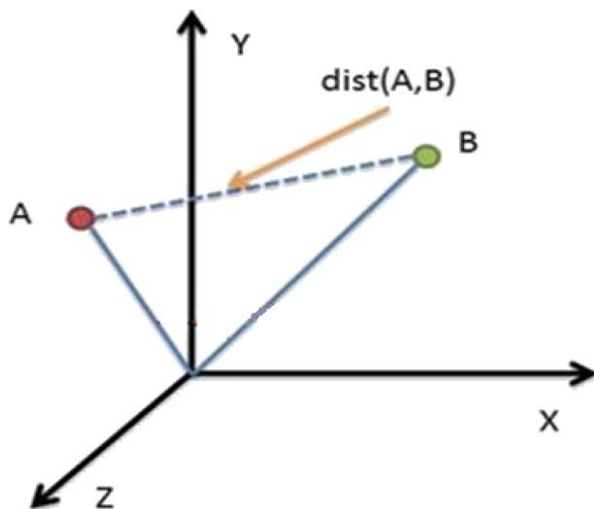
Registracija podataka-tačaka

- Pronalaženje zajedničkih parova tačaka (korespondencija)
- Korespondencija parova tačaka se zasniva na principu pronalaženja tačke u oblaku tačaka A, koja odgovara tački u oblaku tačaka B.



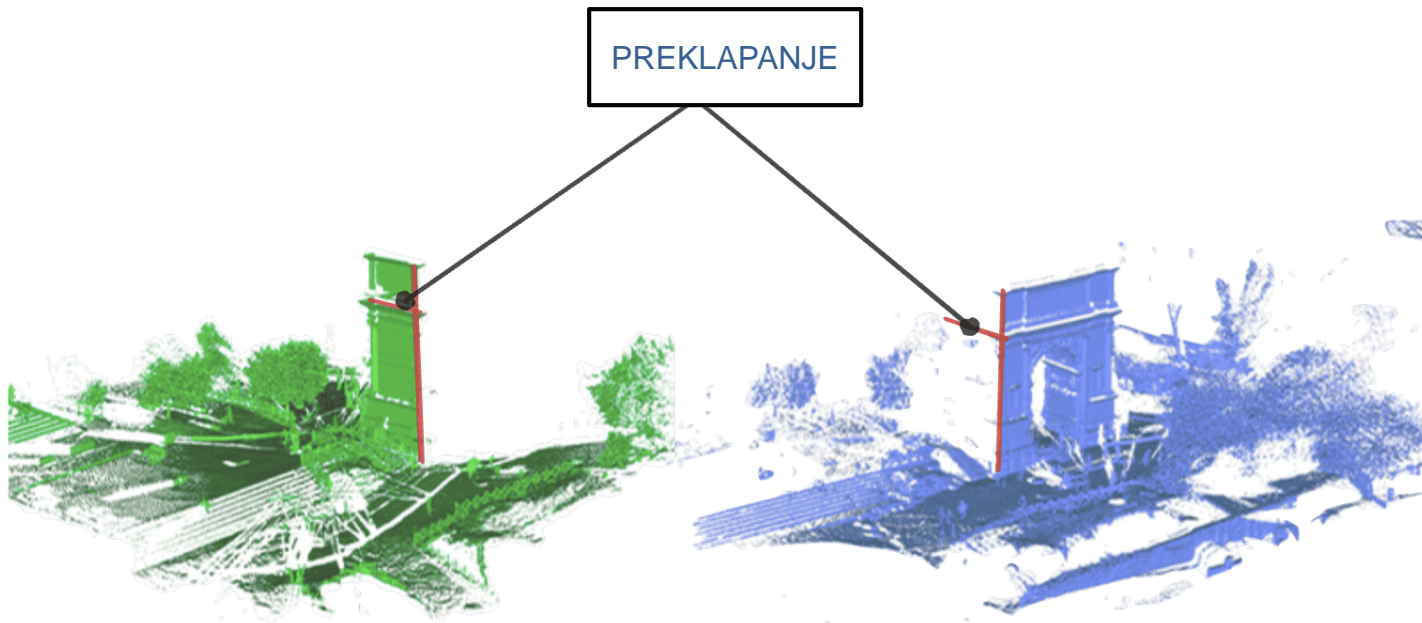
Registracija podataka-tačaka

- Pronalaženje zajedničkih parova tačaka (korespodencija)
- Pronalaženje zajedničkih parova tačaka se bazira na:
 - Euklidskom rastojanju (u matematici, euklidsko rastojanje između dve tačke predstavlja najkraće rastojanje između njih – prava linija),
 - Rastojanju od tačke do ravni (rastojanje između date tačke i njene ortogonalne projekcije na ravan - upravno rastojanje do najbliže tačke na ravni).



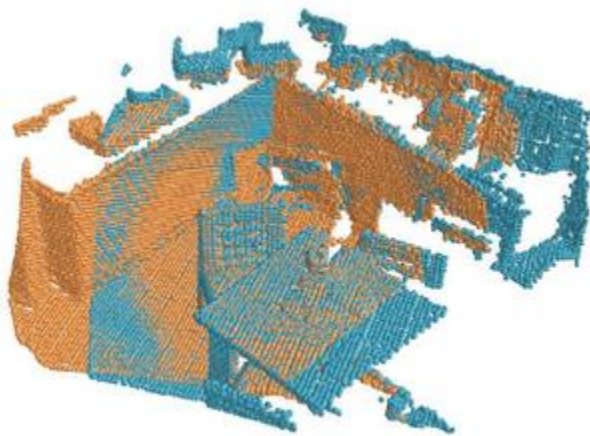
Registracija podataka-tačaka

- Pronalaženje parova tačaka (korespodencija)
- Preklapanje različitih delova oblaka tačaka ima veliku ulogu (crvena linija).
- Ako ne postoji dovoljan broj zajedničkih parova tačaka, registracija i većini slučajeva **neće uspeti**.

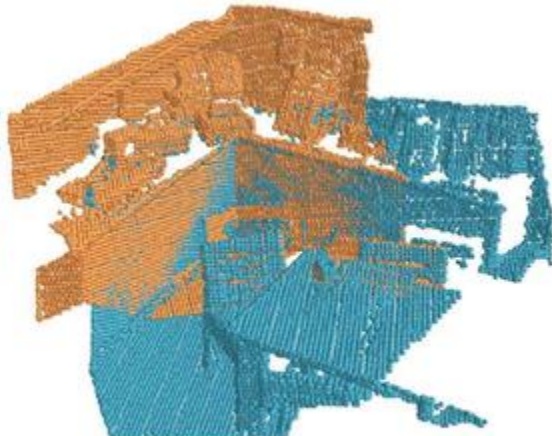


Registracija podataka-tačaka

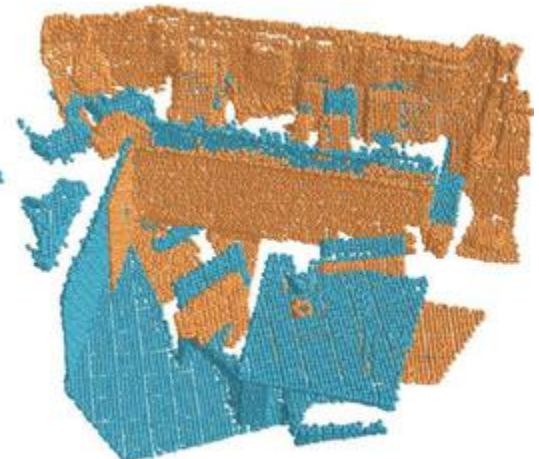
- Pronalaženje parova tačaka (korespodencija)
- Što je veći procenat preklapanja dva oblaka tačaka, njihova registracija će biti tačnija.



PREKLAPANJE 80%



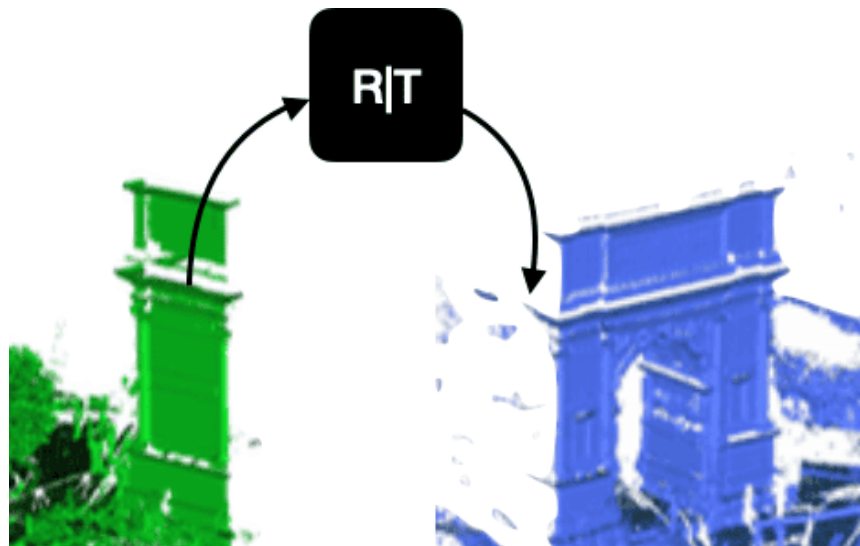
PREKLAPANJE 50%



PREKLAPANJE 30%

Registracija podataka-tačaka

- Transformacija tačaka
- Kada se uspostave zajednički parovi tačaka, vrši se transformacija iz jednog oblaka tačaka u drugi.
- Transformacija oblaka tačaka može biti:
 - Rigidna (čvrsta) transformacija (translacija i rotacija),
 - Ne-rigidna (nečvrsta) transformacija (skaliranje, preslikavanje, smicanje,...)



Registracija podataka-tačkaka

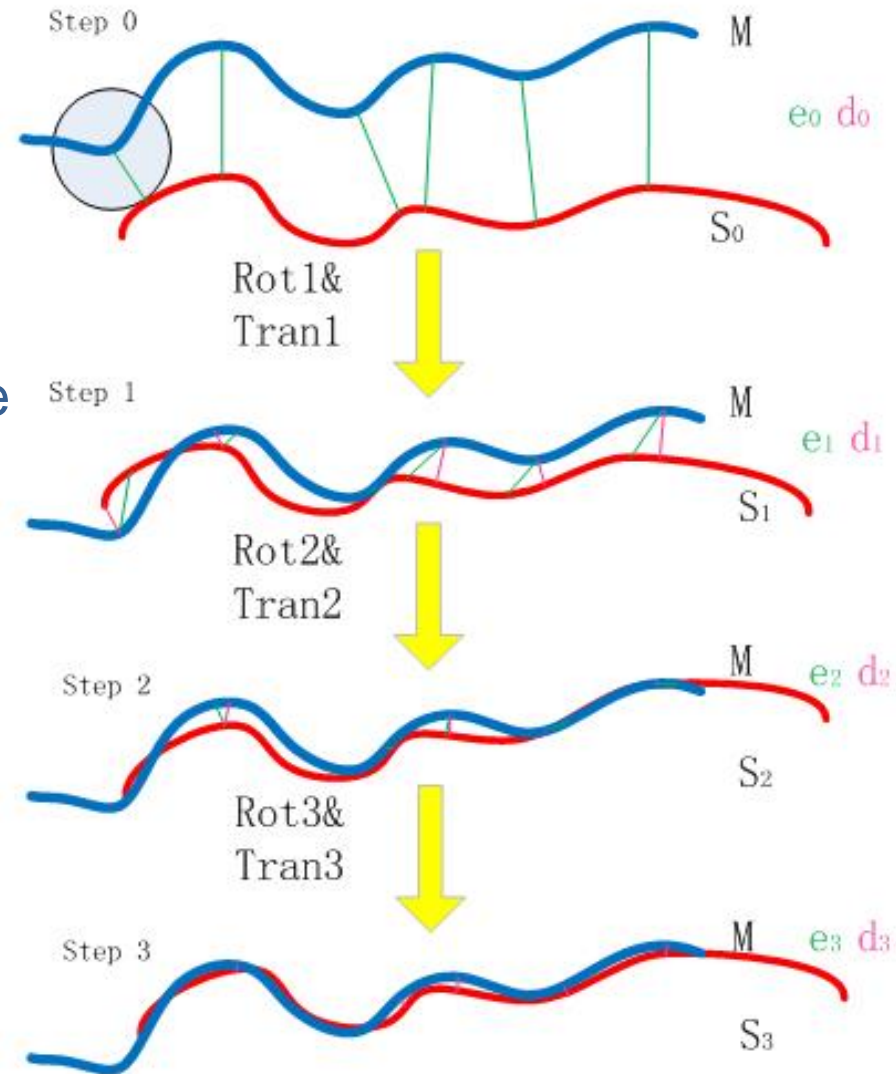
- Transformacija tačkaka
- Oblak tačkaka se može transformisati na osnovu 3 različite tehnike:
 - Tehnike zasnovane na optimizaciji,
 - Tehnike zasnovane na karakteristikama,
 - Od kraja do kraja (end-to-end) - (metoda dubokog učenja – *deep learning*)

Registracija podataka-tačkaka

- Tehnike zasnovane na optimizaciji za registraciju (poravnavanje) oblaka tačkaka
- Optimizacija znači da se sprovodi iterativni proces i da se kroz ovaj proces pokušava u više korespondencija i transformacija iterativno izabrati najbolje rešenje.
- Danas se koristi nekoliko algoritama za rešavanje ova dva koraka:
 - **Iterativno najbliža tačka (ICP),**
 - Gausovi modeli mešavine (GMM),
 - Pristupi zasnovani na grafikonima.

Registracija podataka-tačaka

- Registracija primenom (široko primenjivanog) **ICP (Iterative Closest Point) algoritma**.
- Dva delimična oblaka tačaka istog objekta su po pravilu delimično preklapljeni (sadrže deo zajedničkih tačaka). Cilj je transformisati KS (rotacije i translacije) tako da se nadje najbolje poklapanje dva oblaka tačaka.
 1. iteracija: Najbliže tačke su povezane zelenim linijama.
 2. iteracija: Nakon Rotacije 1 i Translacije 1 najbliže tačke su povezane roze linijama.
- Proces se ponavlja do postizanja konvergencije tj. zadovoljavajućeg poravnanja oblaka tačaka

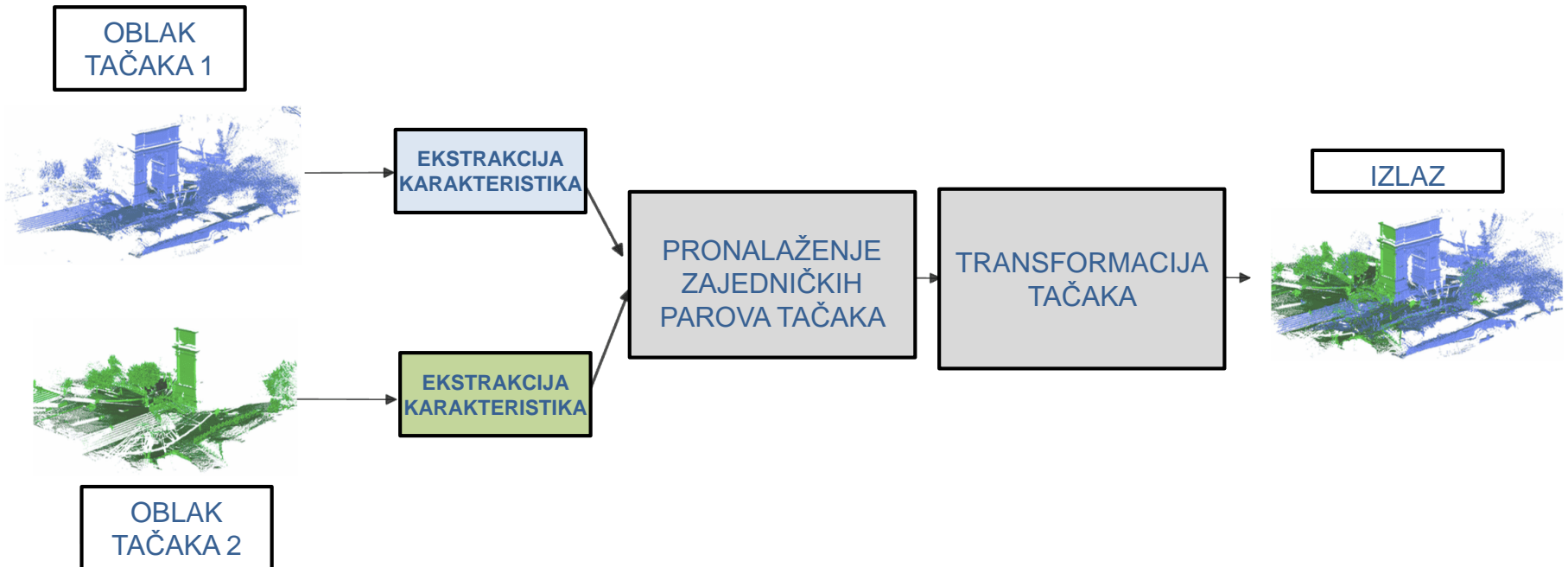


Registracija podataka-tačkaka

- Tehnike zasnovane na karakteristikama za robusnu registraciju tačkaka
- Glavni problem sa pristupima zasnovanim na optimizaciji je to što će se oslanjati isključivo na udaljenosti ili osnovnim informacijama o tačkakama (njihove koordinate).
- Tehnike zasnovane na karakteristikama uparuju tačke na osnovu njihovih karakteristika.
- Podrazumeva se da oblak tačkaka ima određene karakteristike:
 - XYZ pozicija tačke,
 - Informacije o boji, (u RGB domenu)
 - Intenzitet tačke (ako ga obezbeđuje LiDAR)
 - Informacije o refleksiji (LiDAR)

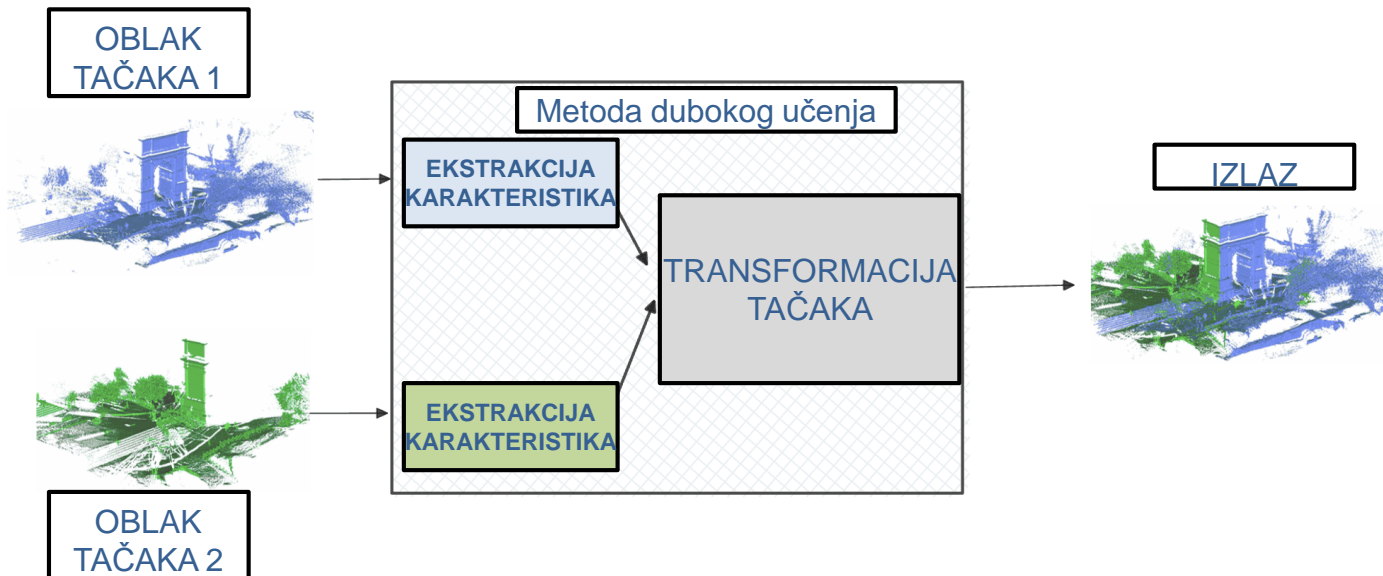
Registracija podataka-tačaka

- Tehnike zasnovane na karakteristikama za robusnu registraciju tačaka
- Oblak tačaka može imati mnogo različitih tipova karakteristika, kao što su normale površine, uglovi, ključne tačke, itd...

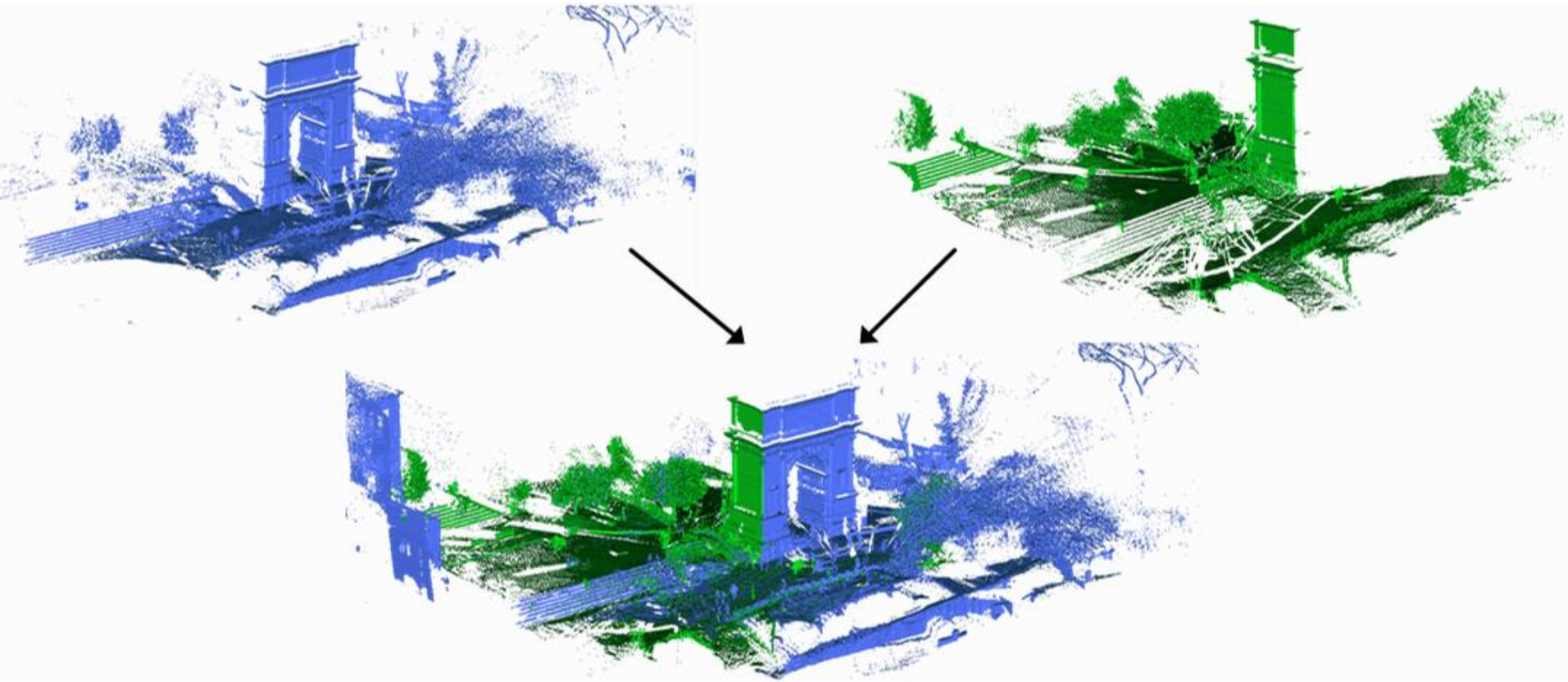


Registracija podataka-tačaka

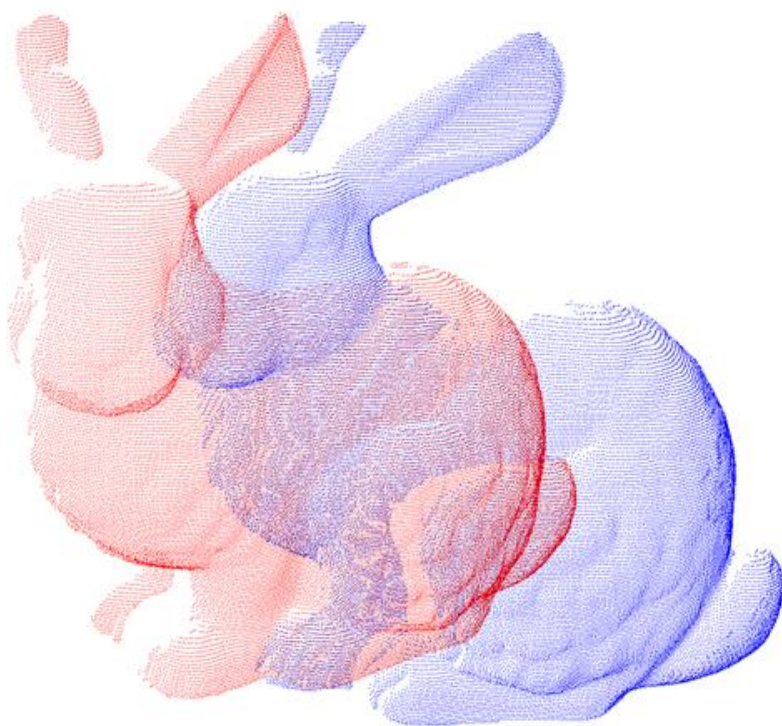
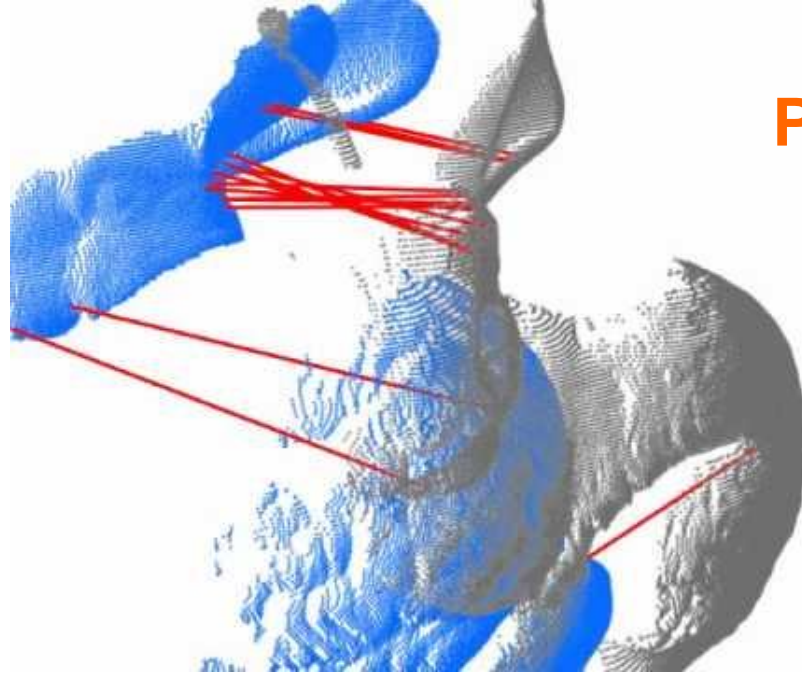
- Od kraja do kraja (end-to-end) - (metoda dubokog učenja – deep learning)
- Glavno ograničenje prve dve metode kod registracije oblaka tačaka je to što se uvek oslanjaju na to da mi izračunamo rastojanje između tačaka ili karakteristika da bismo obavili posao.
- Kod primene tehnike dubokog učenja, može da se definiše neki okvir koji, s obzirom na dva oblaka tačaka koji treba da se registruju, automatski daje parametre transformacije.



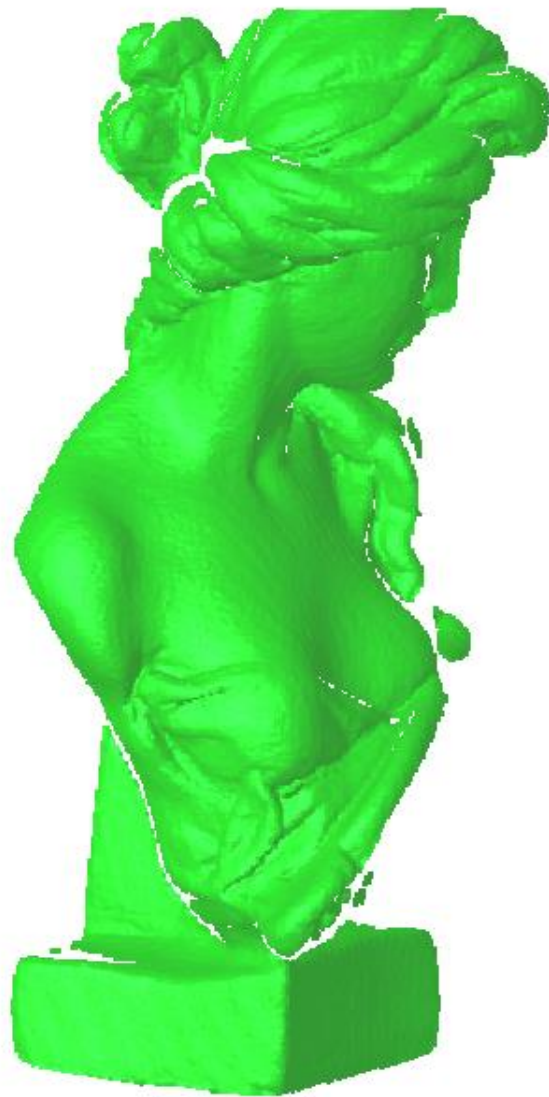
PRIMERI



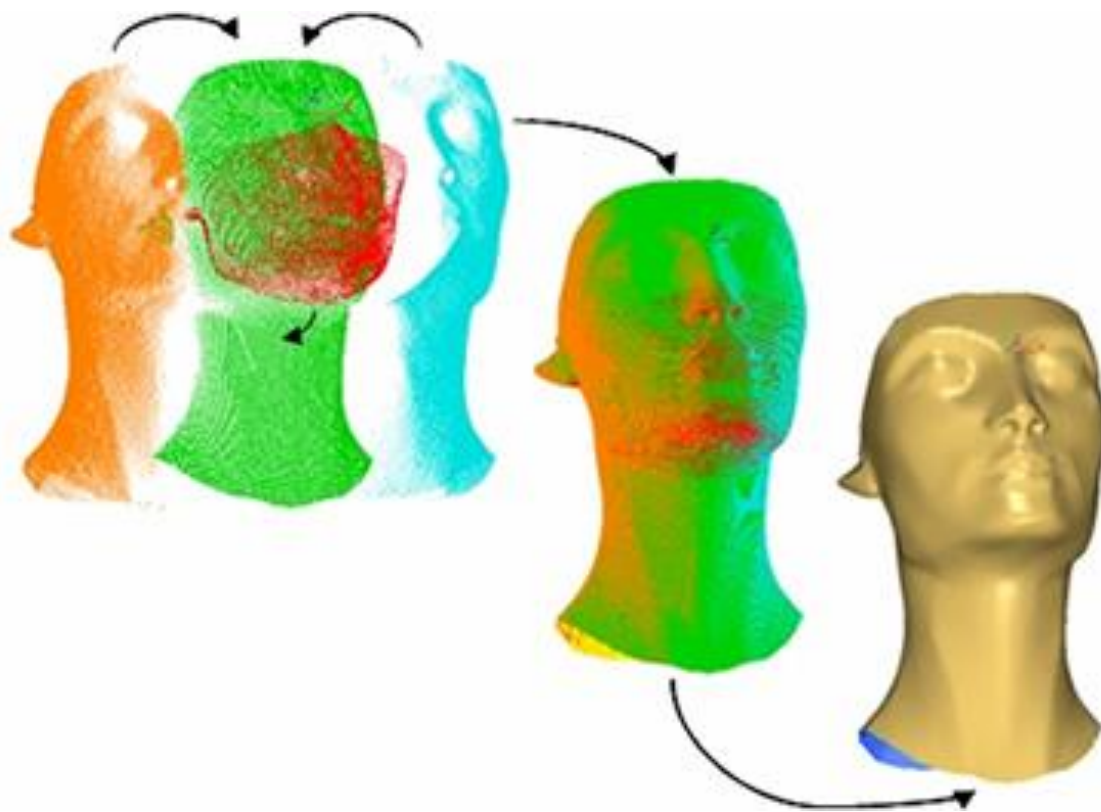
PRIMERI



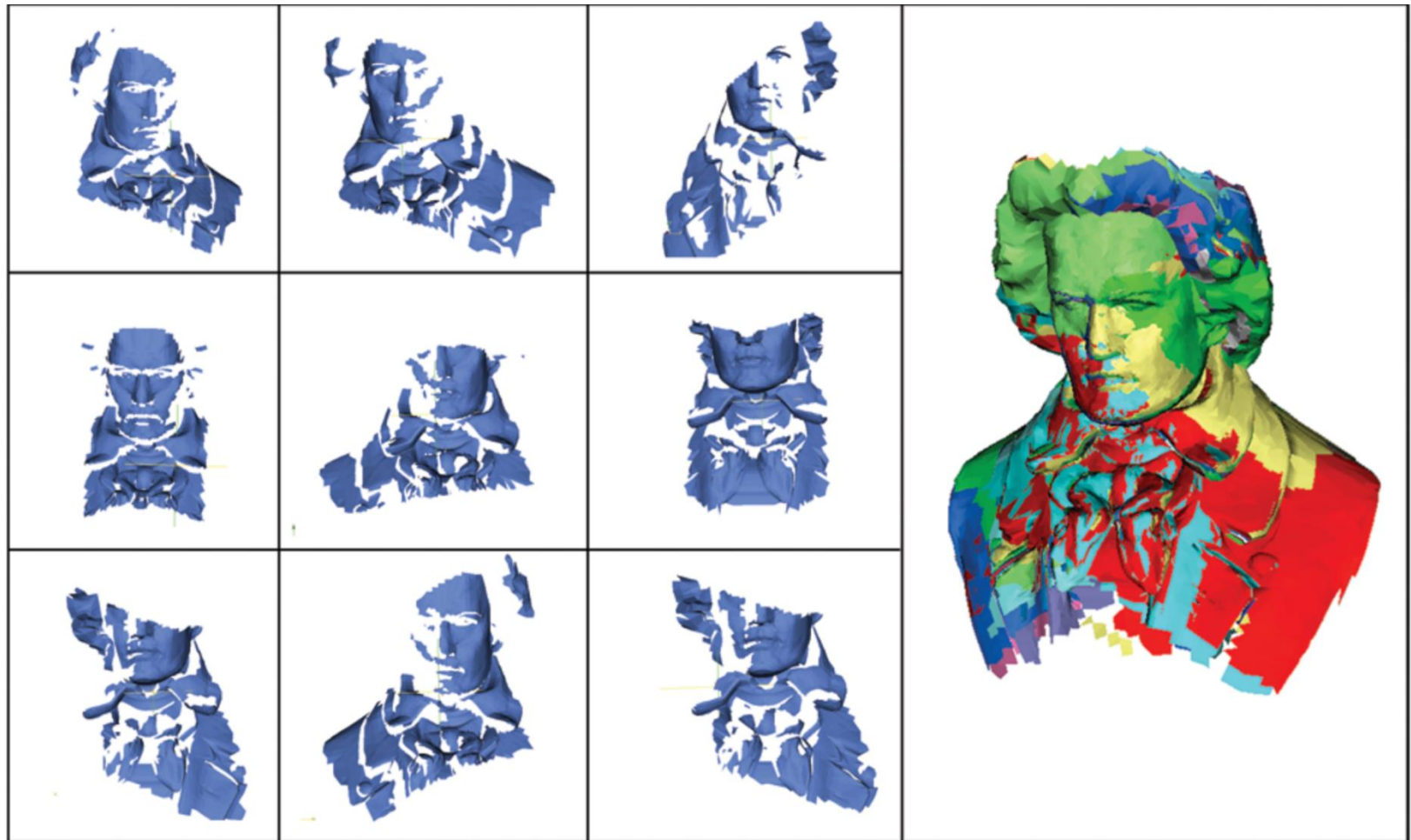
PRIMERI



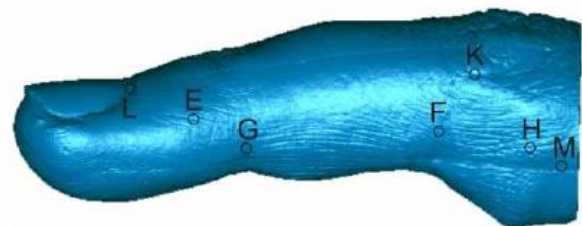
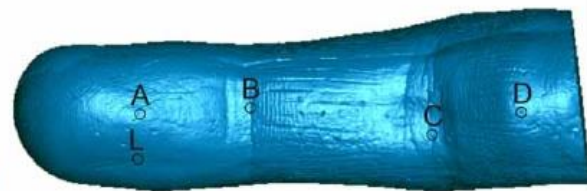
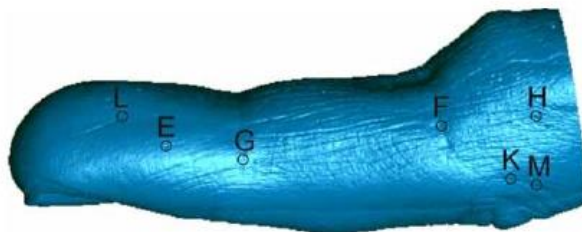
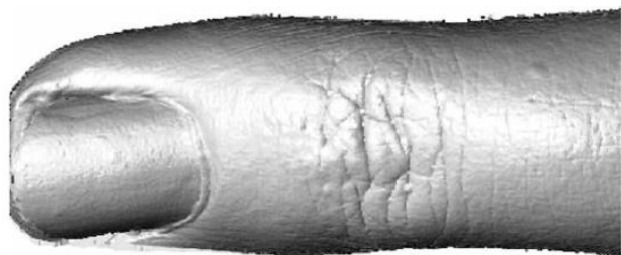
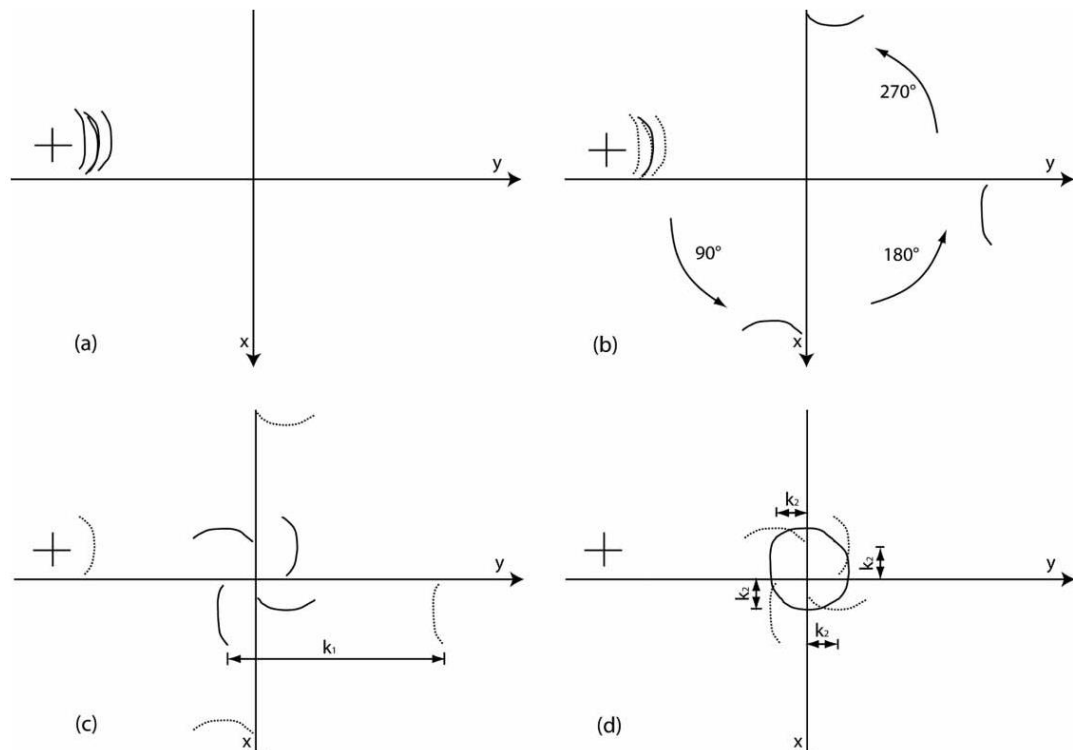
PRIMERI



Registracija više podataka-tačkaka (parcijalnih skenova)



Registracija podataka-tačkaka



HVALA NA PAŽNJI!!