

Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Predmet: 3D digitalizacija objekata

PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE

(MENADŽMENT OBLAKA TAČAKA)

STRUKTURIRANOST OBLAKA TAČAKA **FILTRIRANJE I URAVNAVANJE OBLAKA TAČAKA I** **POLIGONALNE MREŽE**

Uvodne napomene

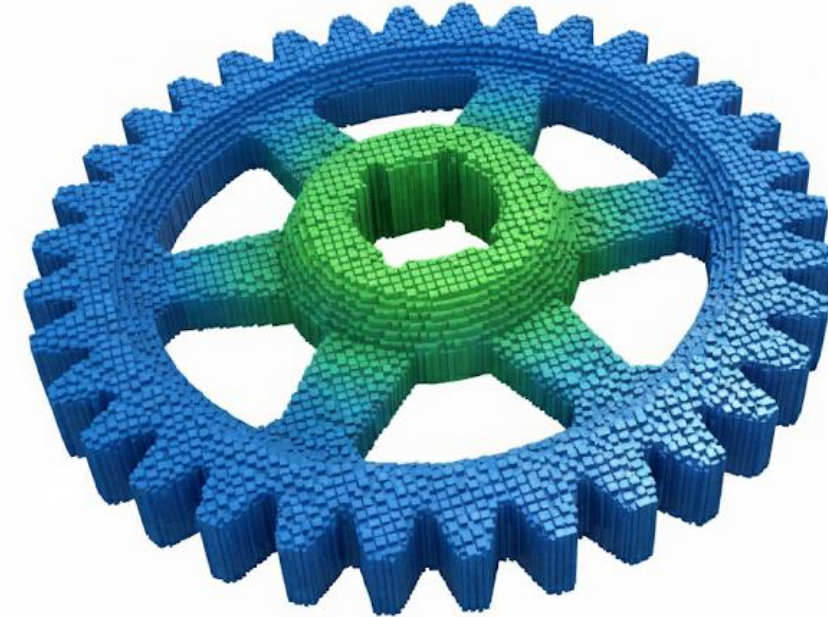
Digitalno predstavljanje 3D objekata i prostora nakon 3D digitalizacije može se izvršiti preko:



oblaka tačaka



**poligonalne mreže
(površinski model)**



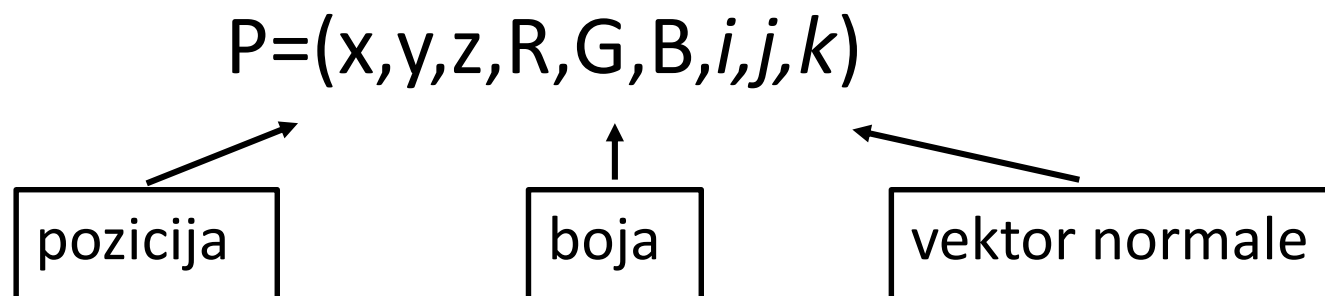
**voksela
(zapreminski model)**

Oblak tačaka

Predstavlja skup pojedinačnih tačaka definisanih u trodimenzionalnom Euklidskom prostoru, gde je svaka tačka nezavisna jedna od druge i svaka tačka je definisana preko tri koordinate koje čine poziciju tačke.

$$P=(x,y,z)$$

Pored pozicije, svaka tačka može nositi informacije o boji (RGB), intenzitetu refleksije ili normalni (smeru površine).



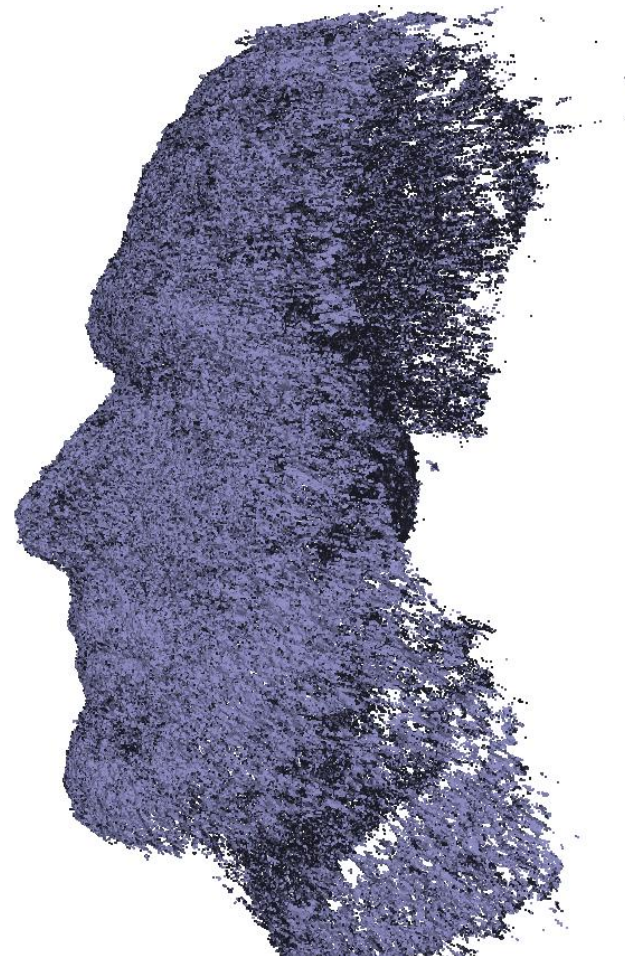
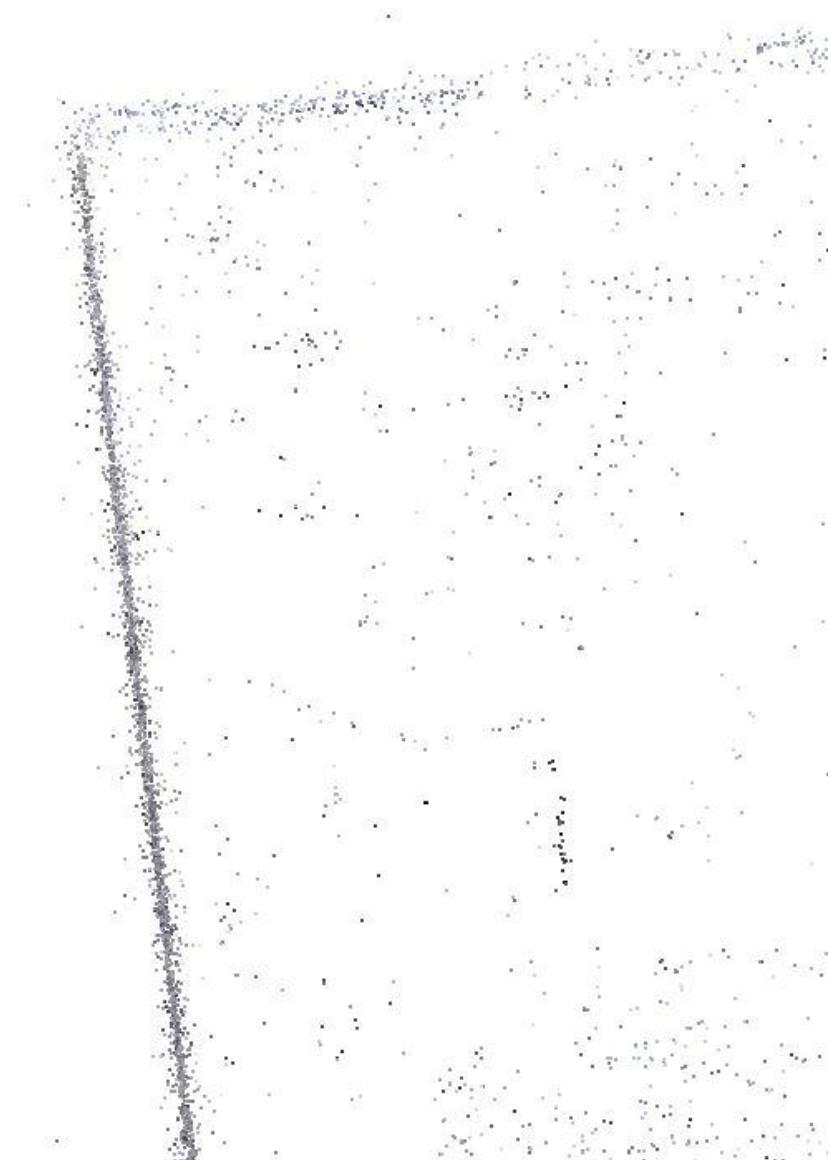
Uvodne napomene

Nakon procesa 3D digitalizacije javlja se veliki broj praktičnih problema vezanih za oblak tačaka, kao što su:

- prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova,
- (pre)veliki broj (suvišnih) tačaka,
- neorganizovanost podataka-tačaka u oblaku tačaka,
- nepotpunost oblaka tačaka itd.

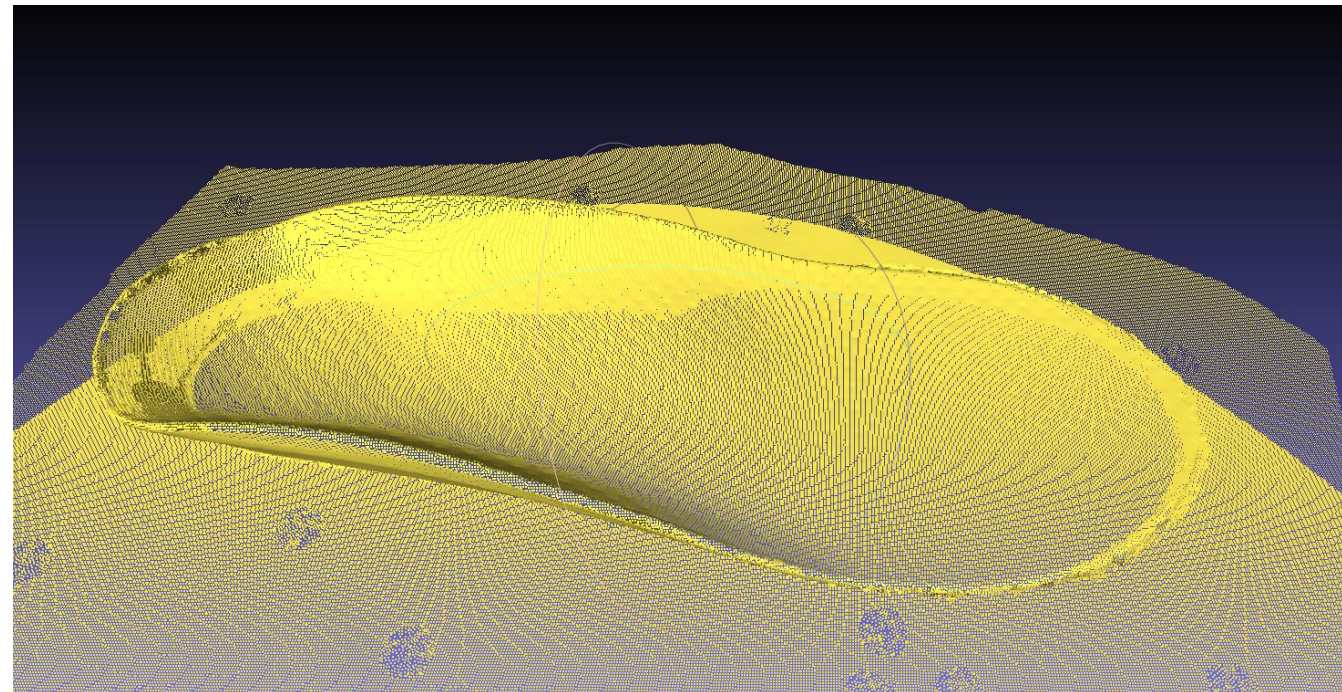
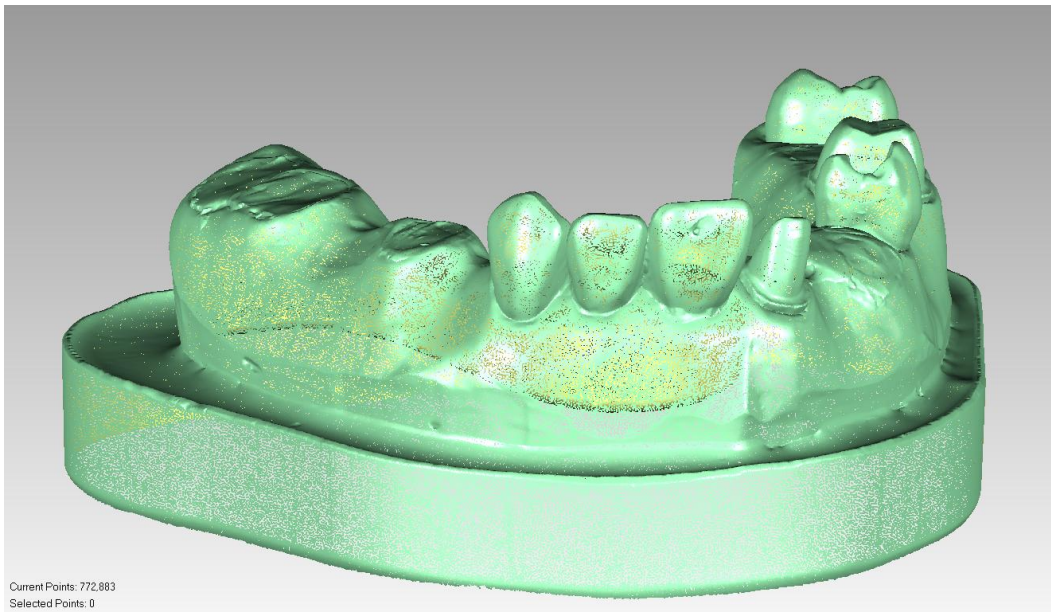
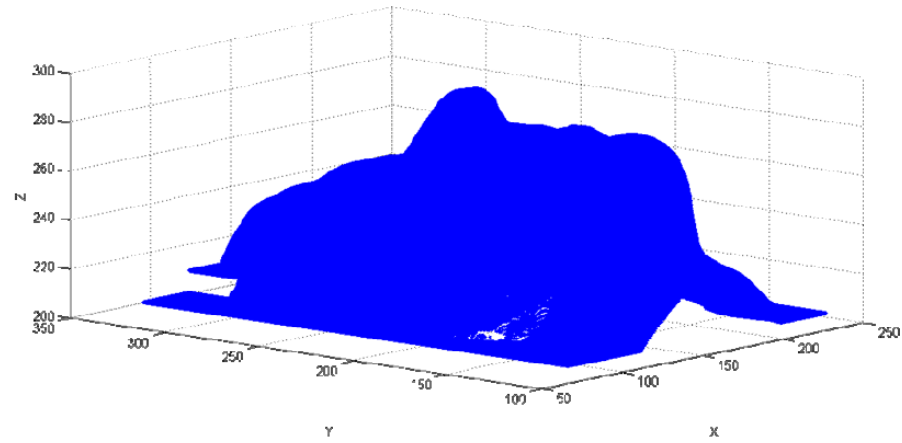
Osnovna posledica navedenih problema jeste neadekvatni CAD model, koji ne odgovara originalnom objektu, zbog čega je neophodno obezbediti kvalitetno **preprocesiranje** podataka.

Primer: prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova

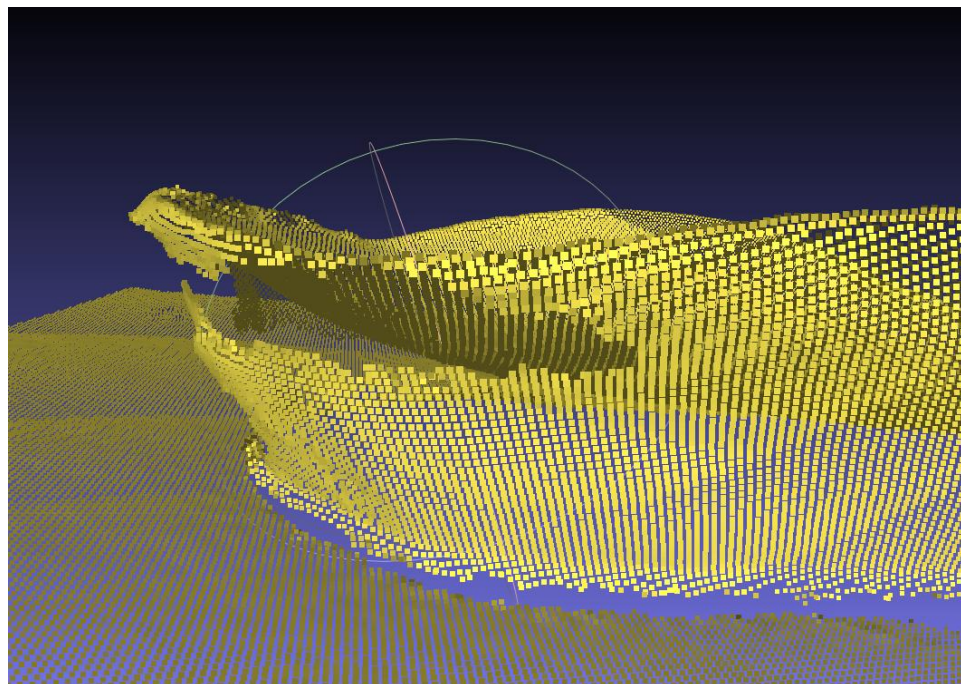
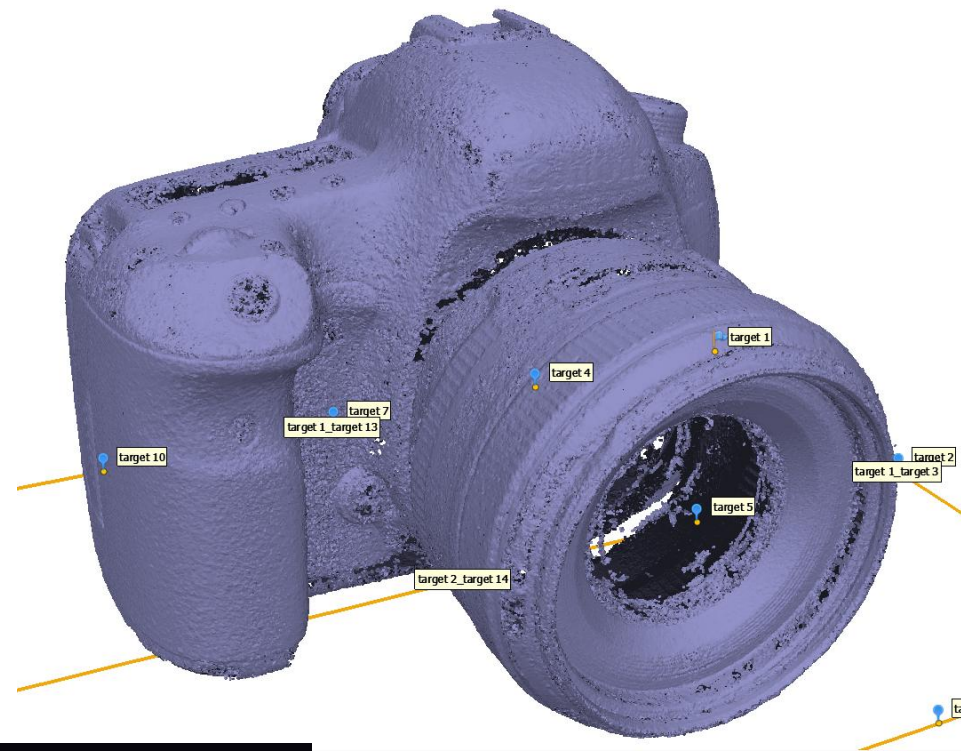
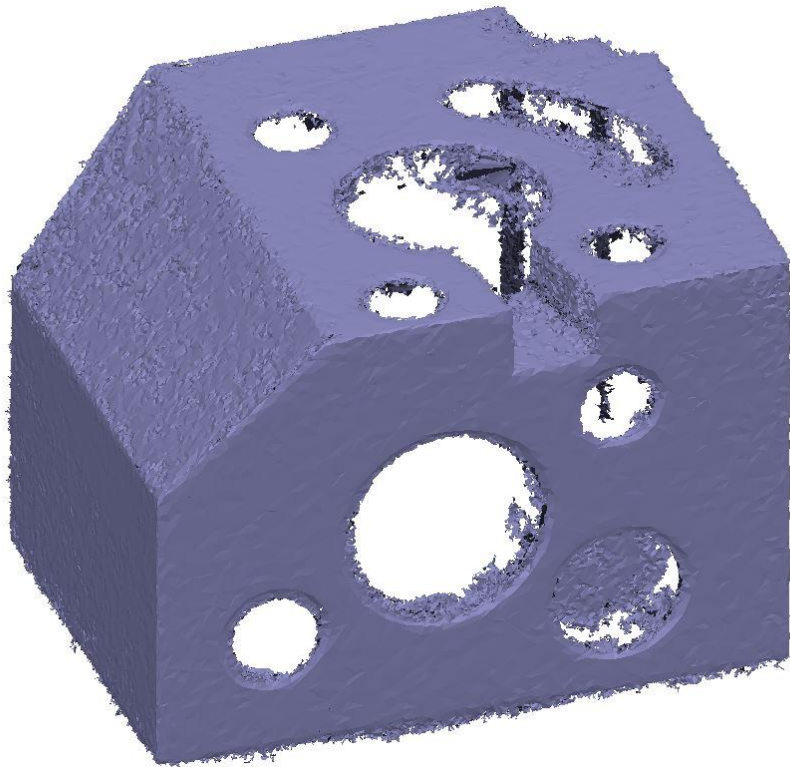


Tipične greške
merenja kod
fotogrametrijske
3D digitalizacije

Primer: (pre)veliki broj (suvišnih) tačaka



Primer: nepotpunost podataka

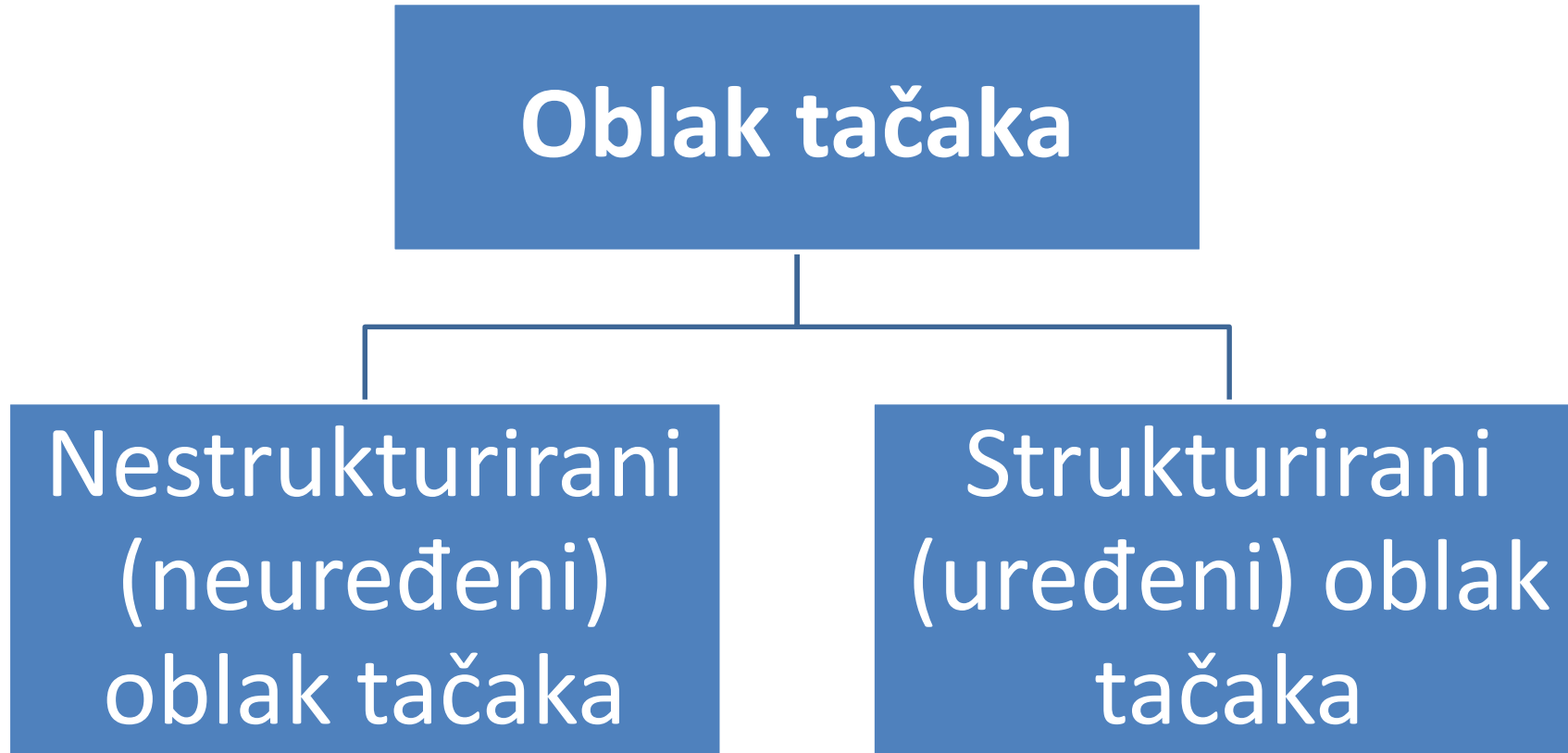


Faze pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije

Kao osnovne faze procesa pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, mogu se izdvojiti:

- 1) Strukturiranje oblaka tačaka;**
- 2) Filtriranje podataka u oblaku tačaka;**
- 3) Segmentacija podataka u oblaku tačaka;
- 4) Registracija oblaka tačaka i
- 5) Redukovanje podataka u oblaku tačaka.

Vrste oblaka tačka



Nestrukturirani (neuređeni) oblak tačaka

Karakteristike neuređenog oblaka tačaka:

- Oblaci tačaka dobijeni metodama 3D digitalizacije su uglavnom nestrukturirani 3D podaci (sa nekoliko izuzetaka).
- Nema inteligencije između tačaka, nema pravila gde će se koja tačka nalaziti u 3D prostoru, ne postoji obrazac slaganja tačaka.
- Osim koordinata mogu da sadrže i dodatne informacije kao što su podaci o vektorima normale i boji (RGB).

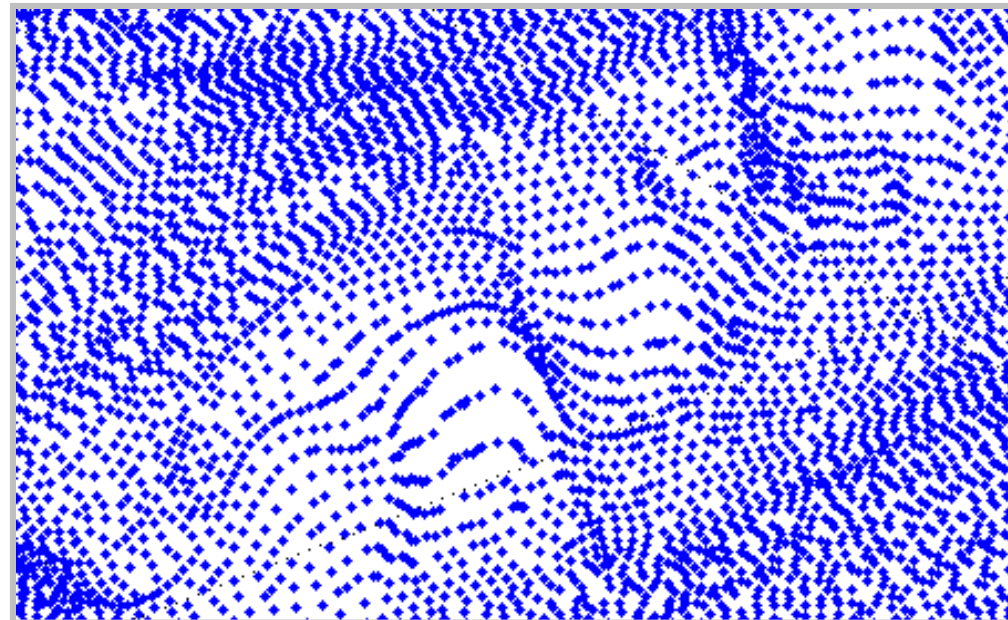
Strukturirani (uređeni) oblaka tačaka

Strukturiranost obuhvata dva nivoa uređenosti:

1. nivo: **uređenost po 1 osi** u okviru oblaka tačaka – tačke su grupisane **po skeniranim linijama** (paralelnim poprečnim presecima) i

2. nivo: **Uređenost po 2 ose** – **po i u okviru skeniranih linija** (redni broj tačke u datoteci odgovara poziciji u okviru skenirane linije).

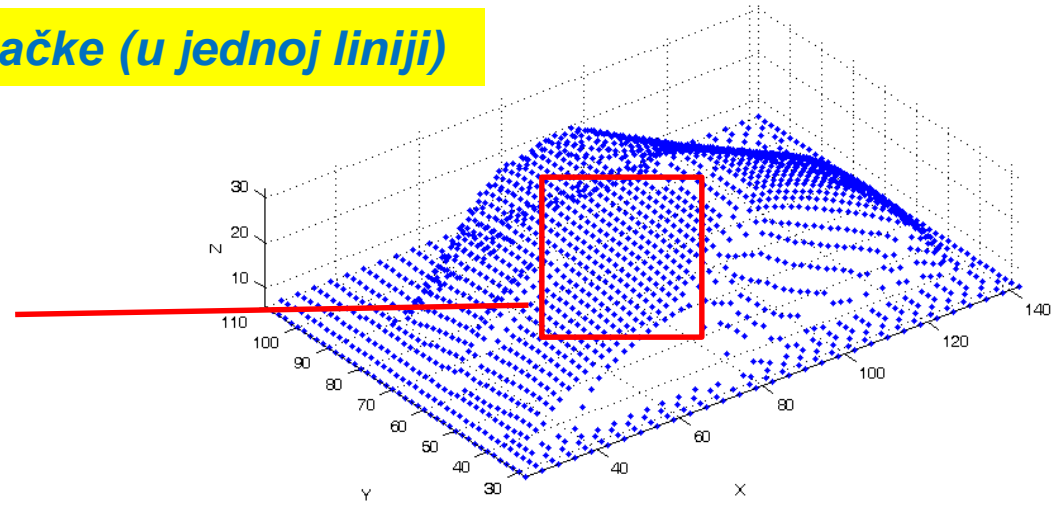
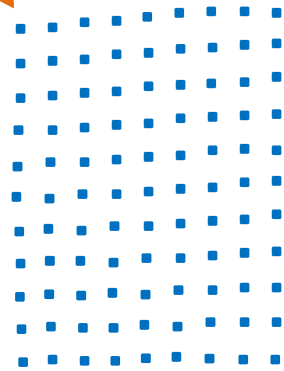
Osim koordinata mogu da sadrže i dodatne informacije kao što su podaci o vektorima normale i boji (RGB).



Strukturirani (uređeni) oblaka tačka

1. Osa – skenirane tačke (u jednoj liniji)

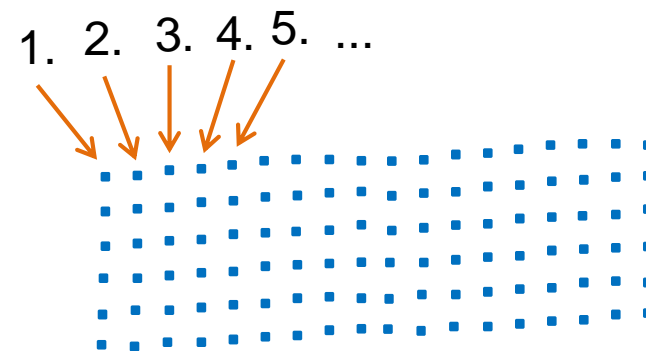
2. Osa – skenirane linije



Strukturirani (uređeni) oblaka tačka

Datoteka u TXT formatu zapisa sa uređenim oblakom tačka

	x	y	z
1.	-62.1	-100.5	22.498
2.	-19.7	-100.5	22.499
3.	-62.1	-100.4	22.498
4.	-19.7	-100.4	22.499
5.	-62.1	-100.3	22.498
	-19.7	-100.3	22.499
...	-62.1	-100.2	22.498
	-19.7	-100.2	22.499
	-62.1	-100.1	22.498
	-19.7	-100.1	22.499
	-62.1	-100	22.498
	-19.7	-100	22.499
	-62.1	-99.9	22.498
	-19.7	-99.9	22.499
	-62.1	-99.8	22.498
	-19.7	-99.8	22.499



Strukturirani (uređeni) oblaka tačaka

Datoteka u IBL formatu zapisa sa uređenim oblakom tačaka

IBL format je razvijen od strane PTC-a za potrebe Pro/SCAN-TOOLS modula.

Struktura datoteke IBL formata je složenija od prethodne, a čine je sledeće celine:

- 1) Zaglavlje datoteke,
- 2) Identifikacija sekcija
- 3) Identifikacija poprečnih-presečnih krivih i
- 4) Koordinate (x, y, z) tačaka numerisane u okviru pojedinačnih krivih.

zaglavlje datoteke

redni broj krive

```
Open Index ArcLength
Begin section ! 1
Begin curve ! 1

1 23. 28. 5.998
2 24.983 28. 5.998
3 26.967 28. 5.998
4 28.95 28. 5.998
5 30.933 28. 5.998
6 32.917 28. 5.998
7 34.9 28. 5.998
8 36.883 28. 5.998
9 38.867 28. 5.998
10 40.85 28. 5.998
11 42.833 28. 5.998
12 44.817 28. 5.998
13 46.8 28. 5.999
14 48.783 28. 5.999
15 50.767 28. 5.999
16 52.75 28. 5.999
17 54.733 28. 5.999
```

*redni broj tačke
u okviru krive*

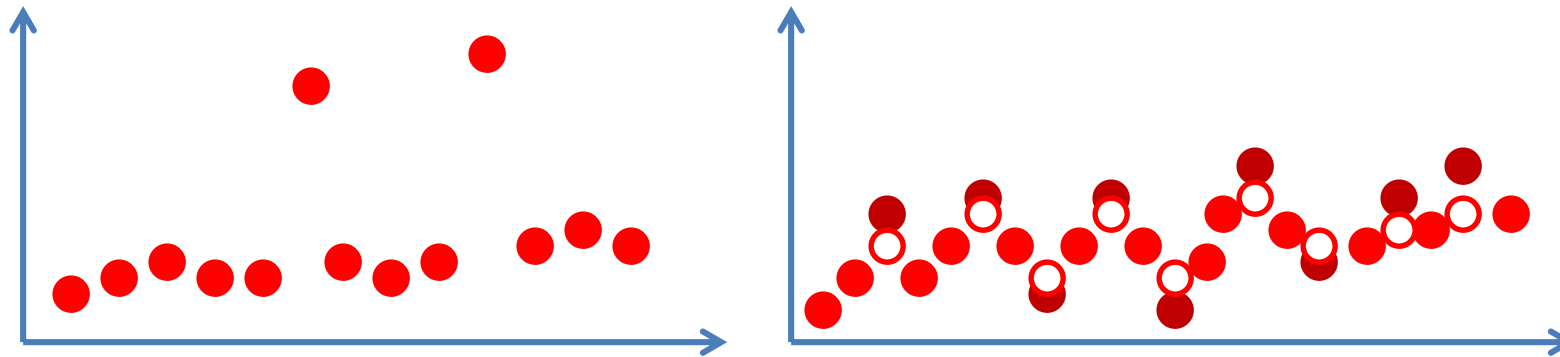
x

y

z

Filtriranje podataka-tačaka

Neki od češćih problema vezanih za oblak-tačaka su prisustvo impulsnog šuma i neuravnjenost tačaka u okviru niza podataka.



Prvi korak u okviru pre-procesiranja je filtriranje, čije su dve osnovne funkcije:

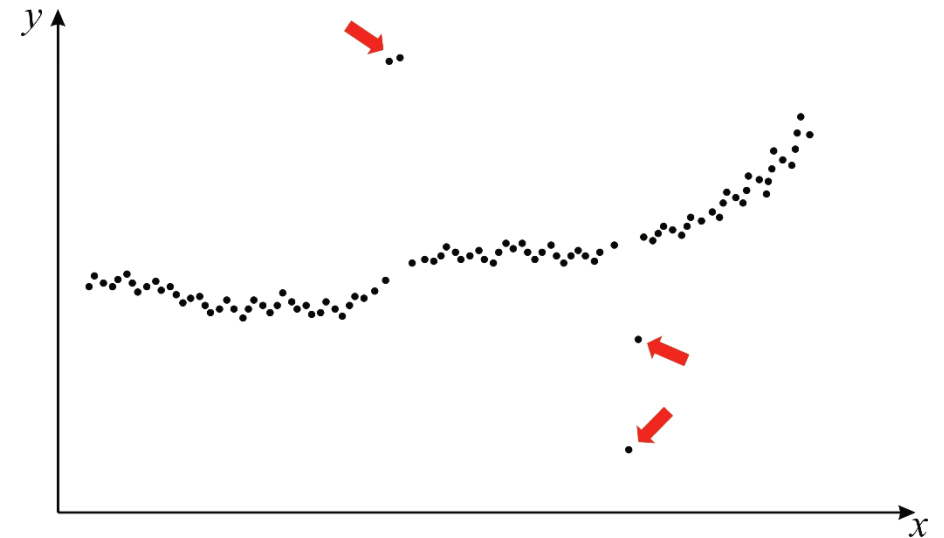
- 1) filtriranje (eliminisanje) impulsnog šuma i
- 2) uravnavanje (glačanje) podataka-tačaka.

Filtriranje impulsnog šuma

Cilj ove faze je eliminisanje grešaka merenja u vidu impulsnog šuma, odnosno tzv. "outlier" tačaka (tačaka-izvan-opsega).

U tu svrhu, razvijeno je više metoda, od kojih se, kao češće primenjivane u praksi, mogu izdvojiti:

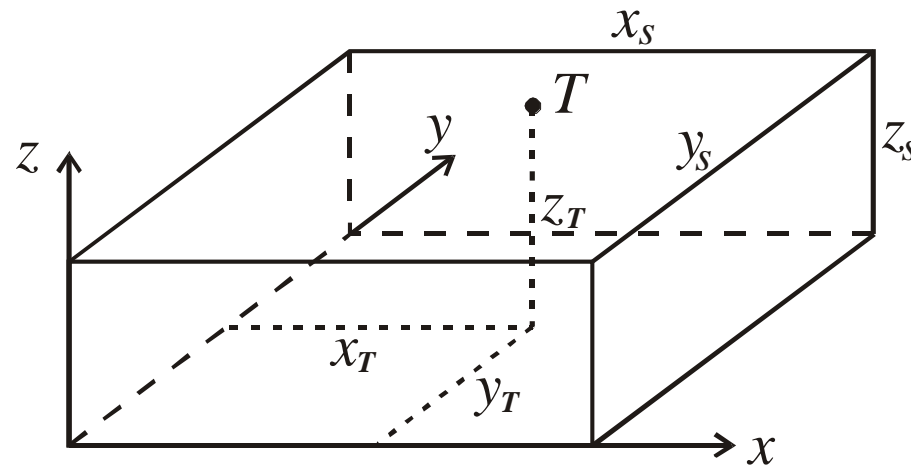
- 1. Metoda zapreminskog filtriranja**
- 2. Metoda segmentirane linije**
- 3. Metoda ugla**
- 4. Metoda medijane**
- 5. Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (preko statističke ocene)**



Metoda zapreminskog filtriranja

Primenom ove metode se, iz rezultata 3D digitalizacije, odstranjuju tačke koje leže izvan područja skeniranja.

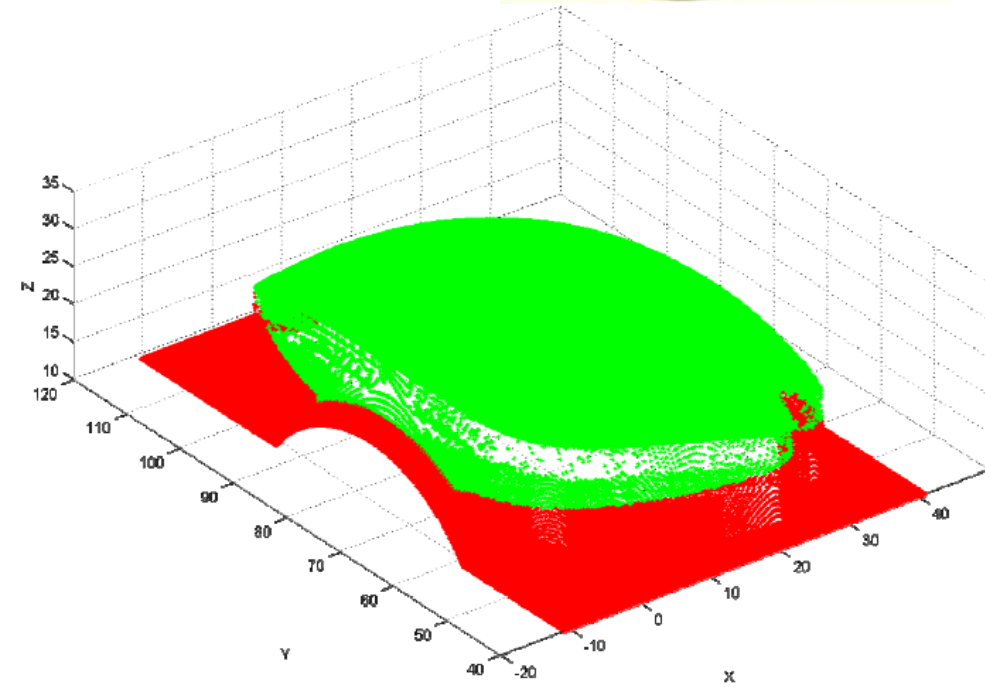
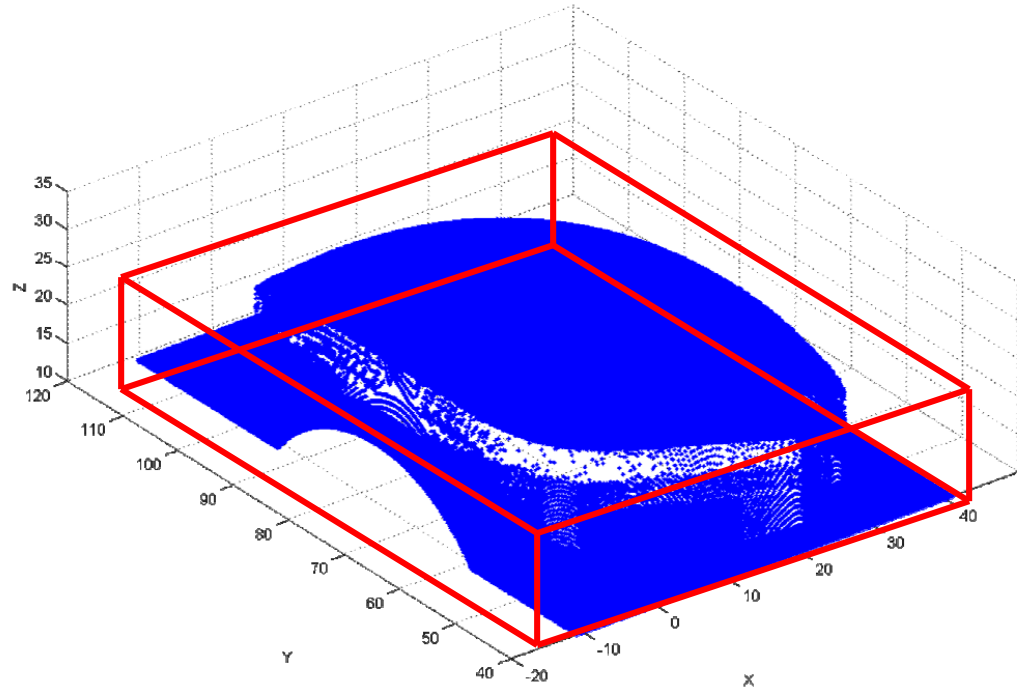
Princip metode je zasnovan na formiranju pravougaone zapremine, definisane dužinom i širinom skeniranja (x i y-ose) i visinom skeniranja, odnosno realnom visinom skeniranog objekta (z-osa). Može da se primeni na sve vrste oblaka tačaka.



Podaci-tačke koji se nađu izvan ove zapremine smatraju se za greške merenja i eliminišu se.

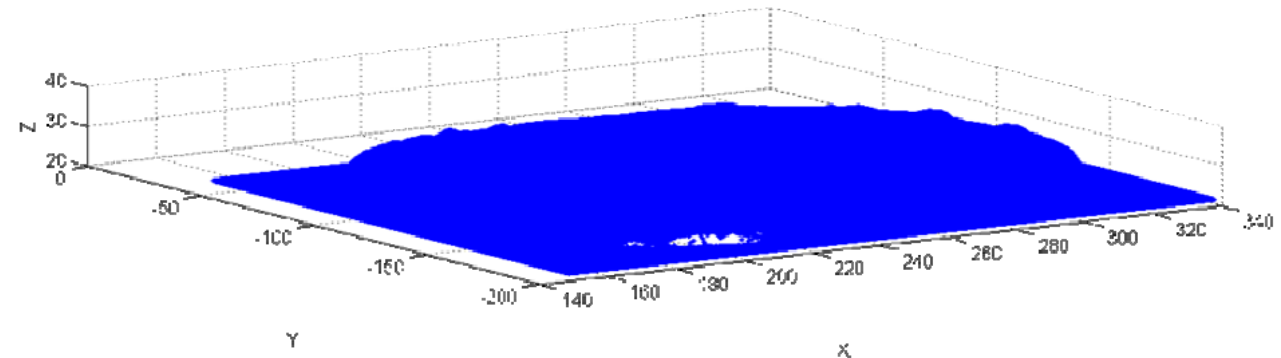
Ova metoda spada u grublje i primenjuje se za eliminisanje ekstremnih grešaka, koje se mogu javiti u rezultatu 3D digitalizacije.

Primer zapremninskog filtriranja

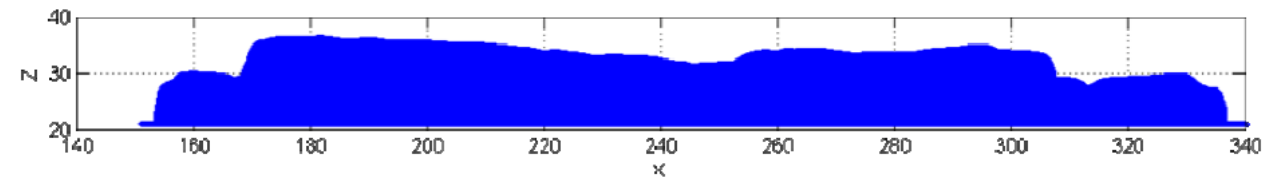


- filtered points
- retained points

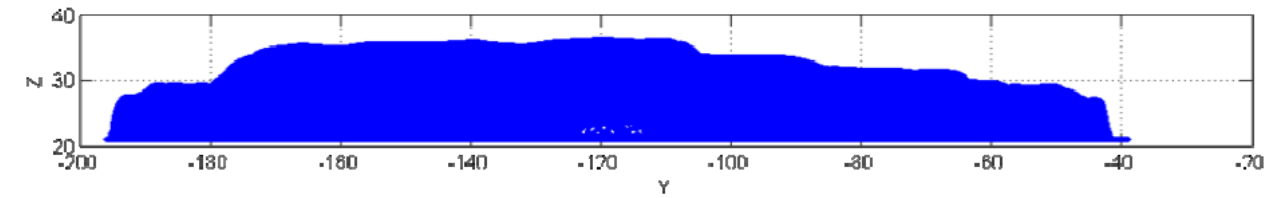
Primer zapreminskog filtriranja



a) Isometric projection

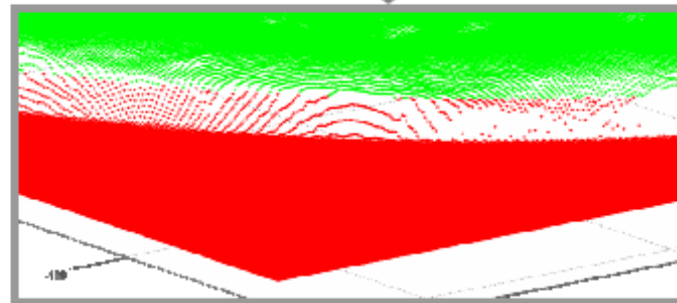
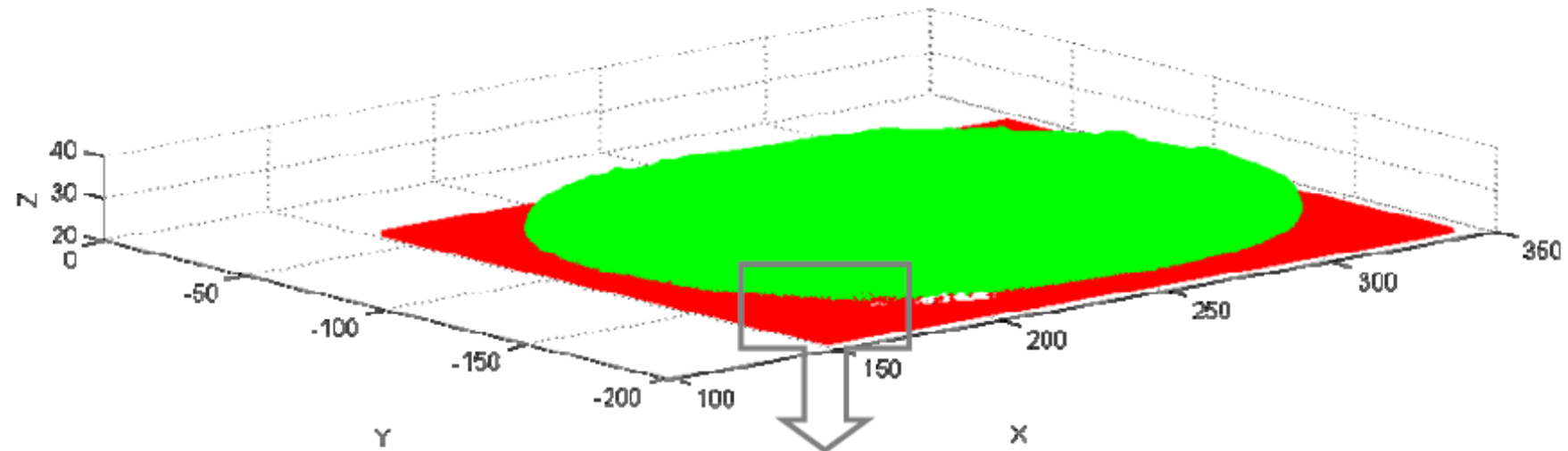


b) Orthogonal projection in x-z plane



c) Orthogonal projection in y-z plane

Primer zapreminskog filtriranja

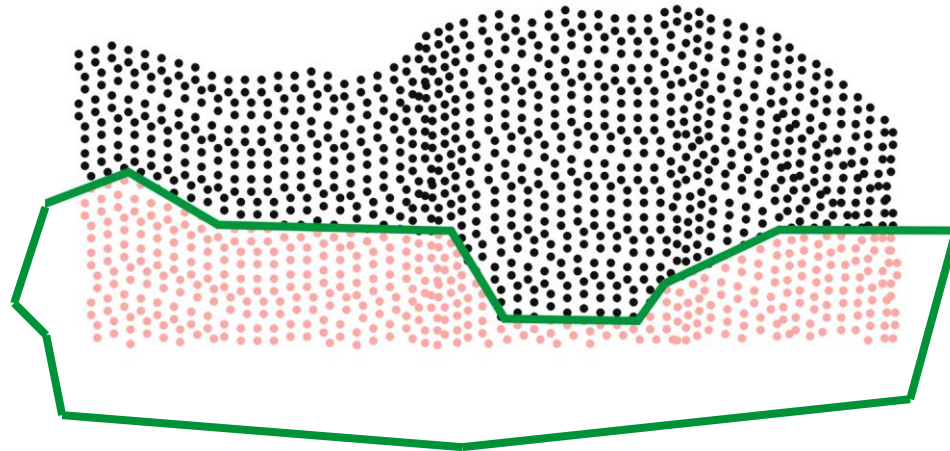


- filtered points
- retained points

Metoda segmentiranog regiona

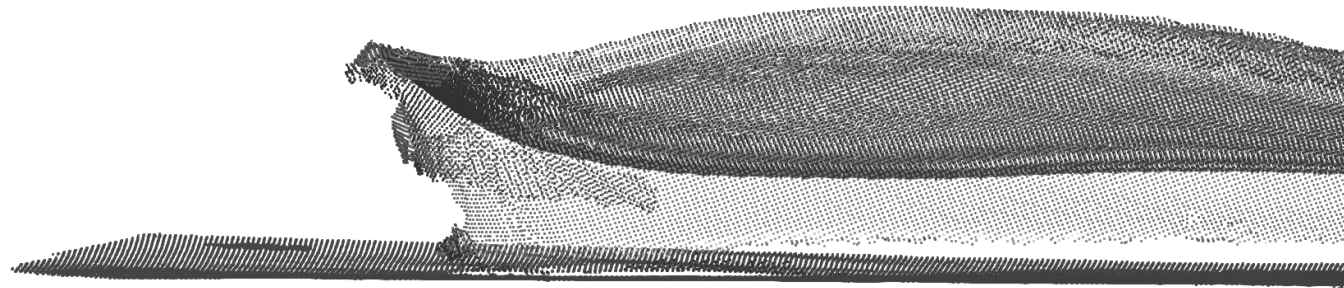
Ova metoda je “sofisticiranija” varijanta prethodne i podrazumeva odvajanje (separaciju) delova oblaka-tačaka koji predstavljaju greške merenja (ili neželjene tačke) pomoću filter linije.

Najčešće varijante filter linija su “izlomljene” linije koje čine pravolinijski segmenti.

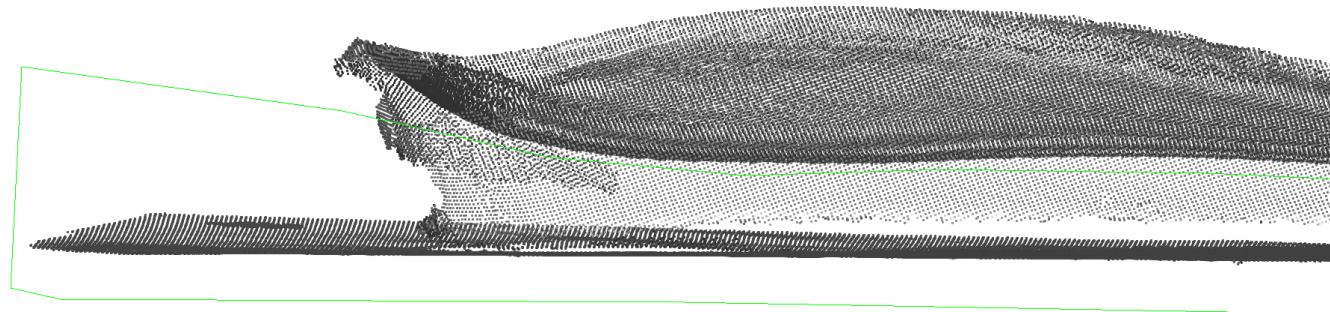


Nakon kreiranja filter linije, eliminišu se tačke koje se nalaze unutar definisane regiona.

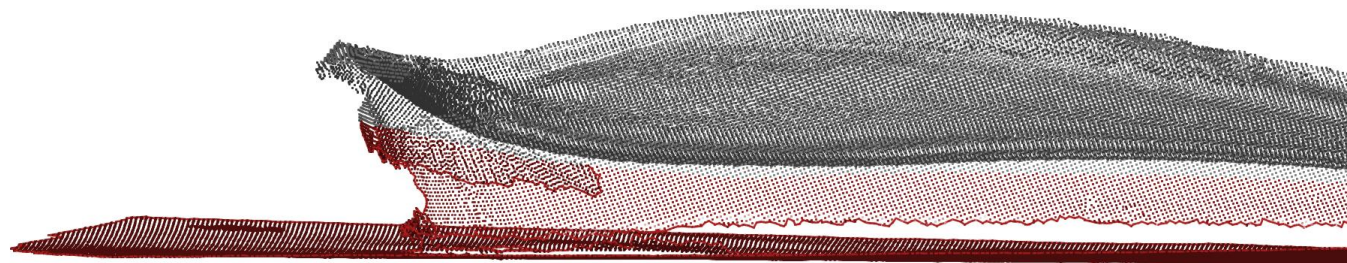
Nefiltriran oblak tačaka



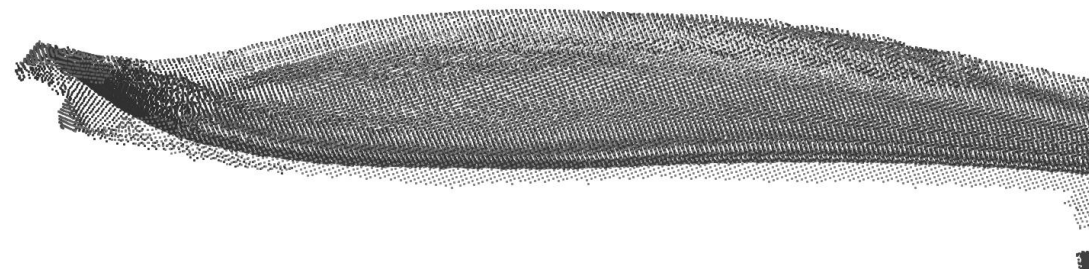
Definisana segmentirana linija



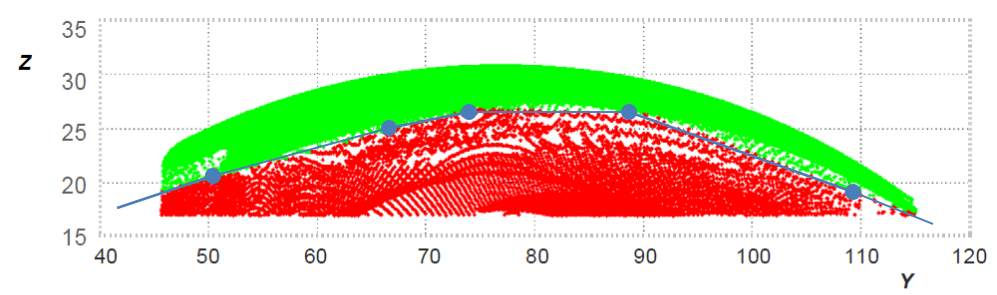
Selektovane tačke
unutar segmentirane linije



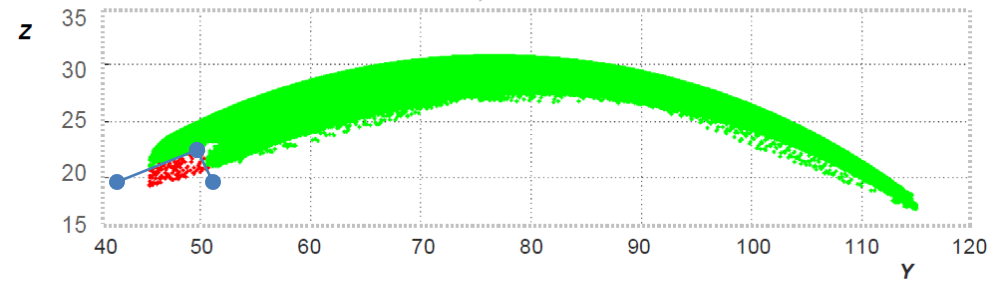
Filtriran oblak tačaka



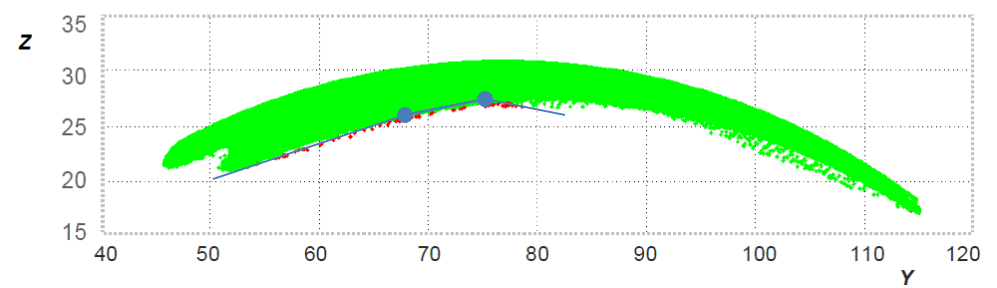
Primer segmentirane linije



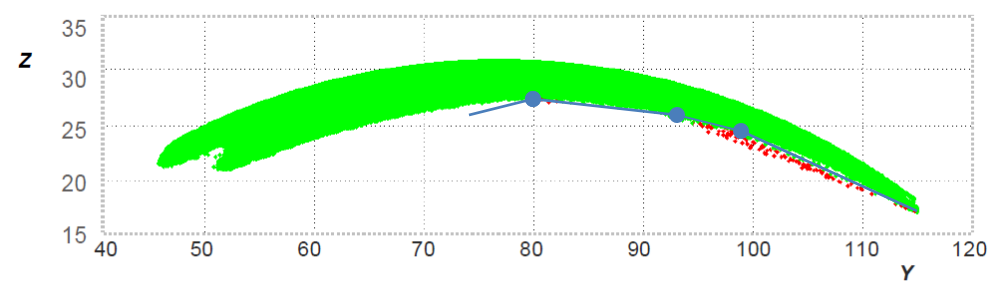
a) 1st iteration



b) 2nd iteracija



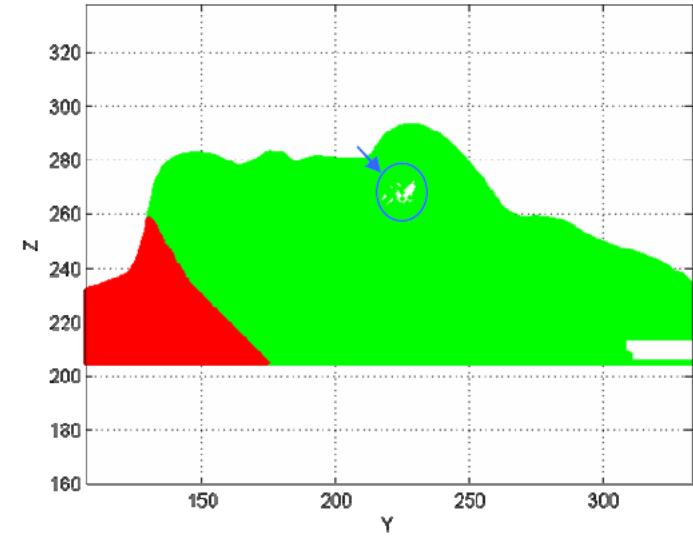
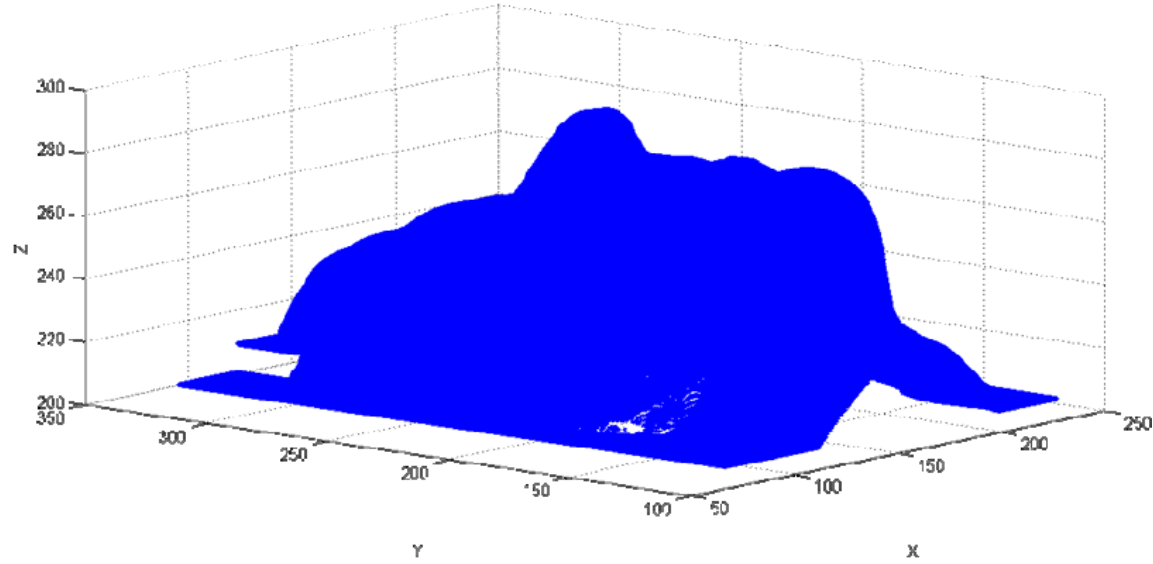
c) 3rd iteration



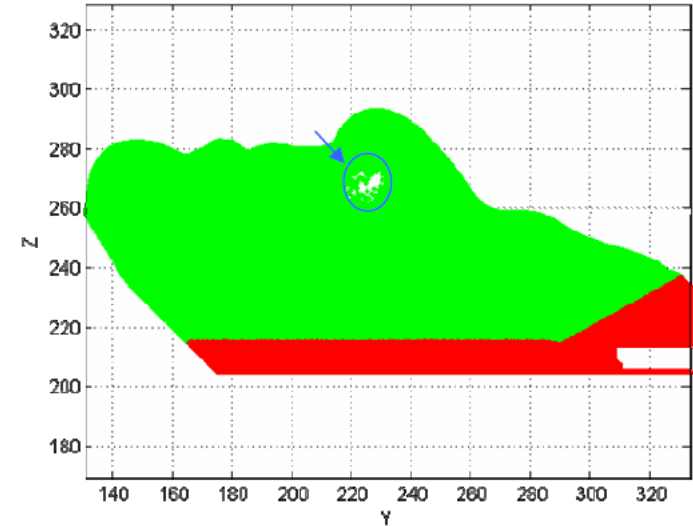
d) 4th iteration

- filtered points
- retained points

Primer segmentirane linije



a) 1st iteration



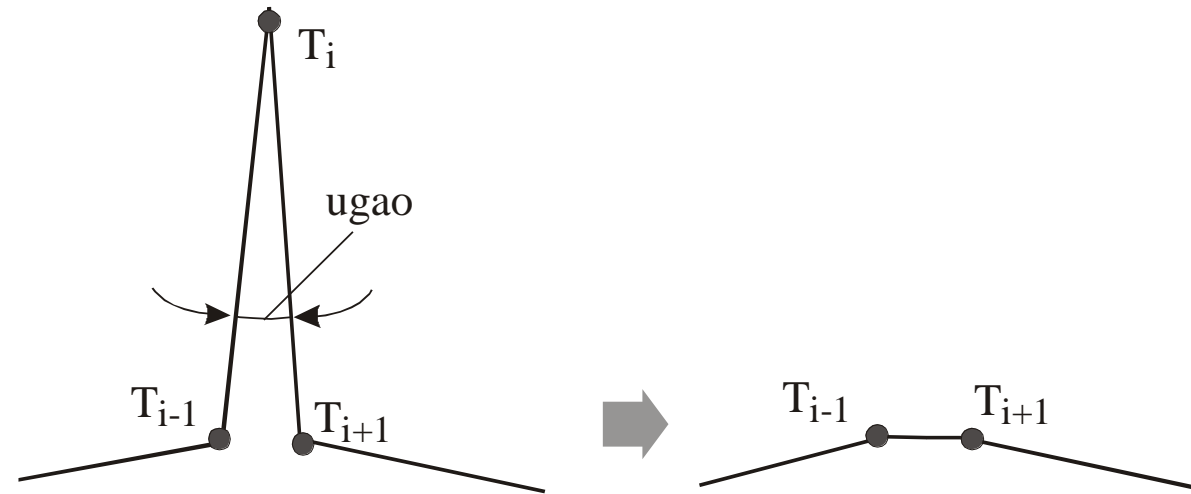
b) 2nd iteration

- filtered points
- retained points

Metoda ugla

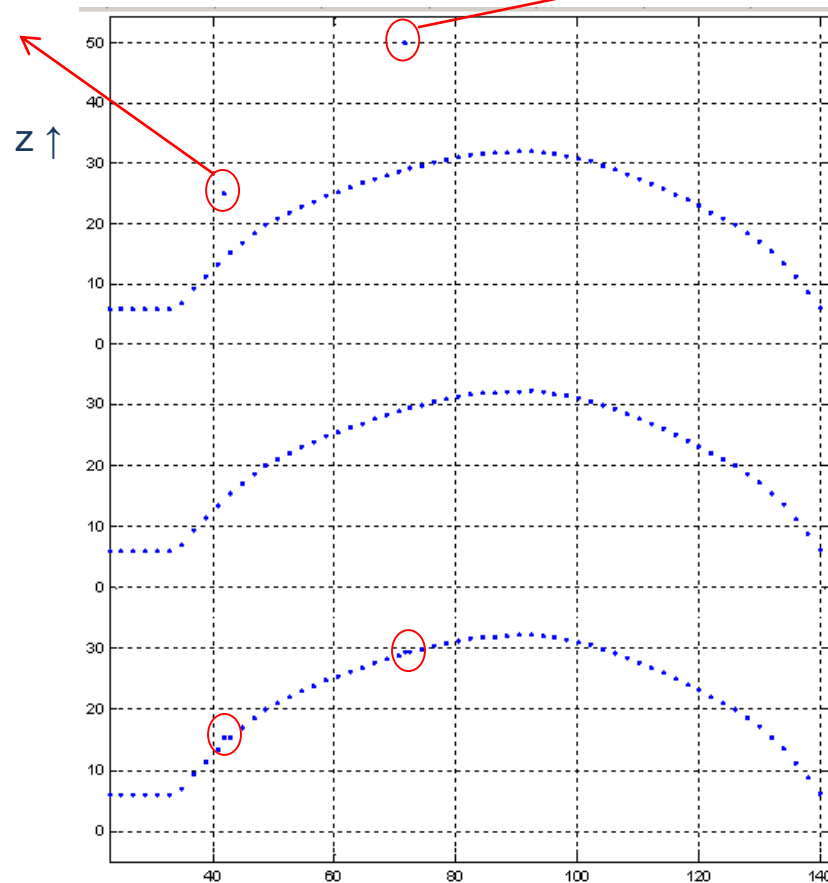
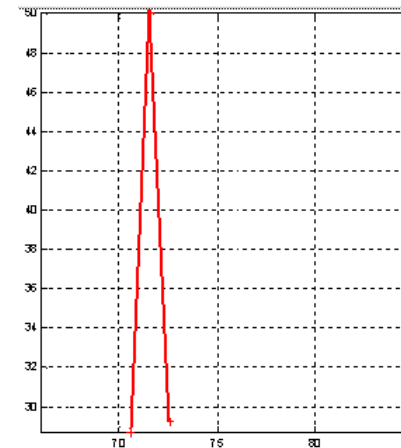
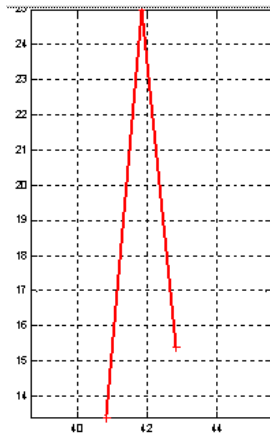
Ova metoda se primenjuje za uklanjanje tačaka-izvan-opsega iz niza tačaka u okviru sekcijskih preseka.

Kod odstranjivanja ovih tačaka, dve susedne tačke analiziranoj tački se povezuju pravom linijom, a kao kriterijum za odlučivanje da li se radi o tački-izvan-opsega, primenjuje se ugao koji čine posmatrana tačka (T_i) i njoj susedne dve (T_{i-1}) i (T_{i+1}).



Ukoliko je taj ugao manji od minimalno dozvoljenog, zadatog od strane korisnika (neka vrednost koja se primenjuje u praksi je oko 10-15°) posmatrana tačka se eliminiše.

Preprocesiranje podataka Eliminisanje impulsnog šuma

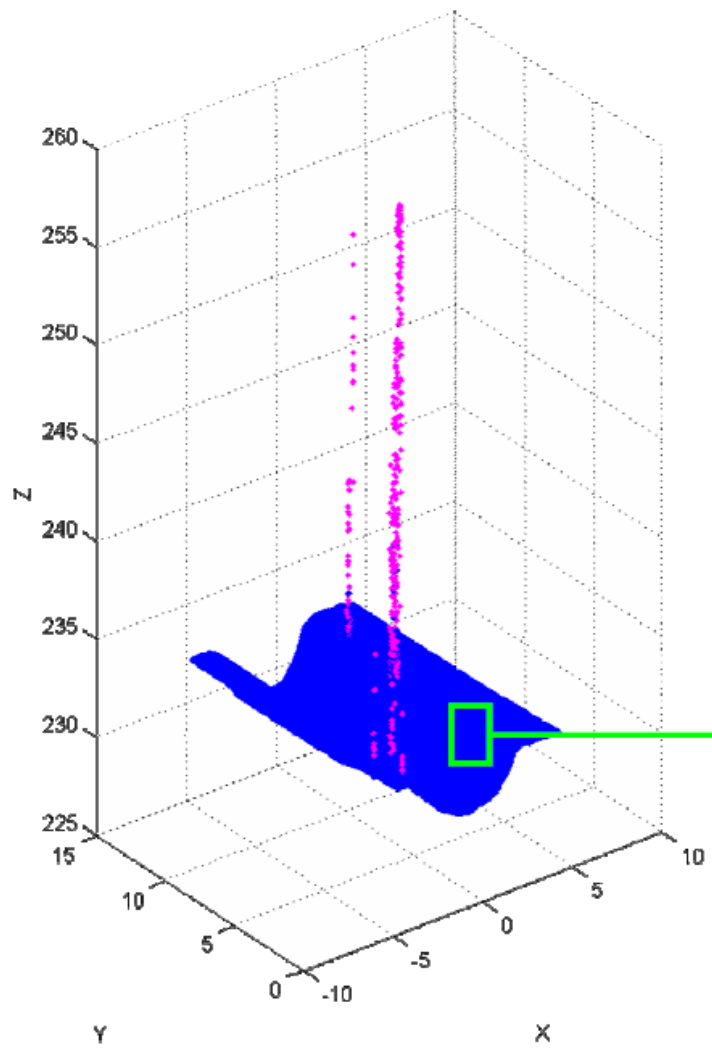


originalni podaci
(sa impulsnim
šumom)

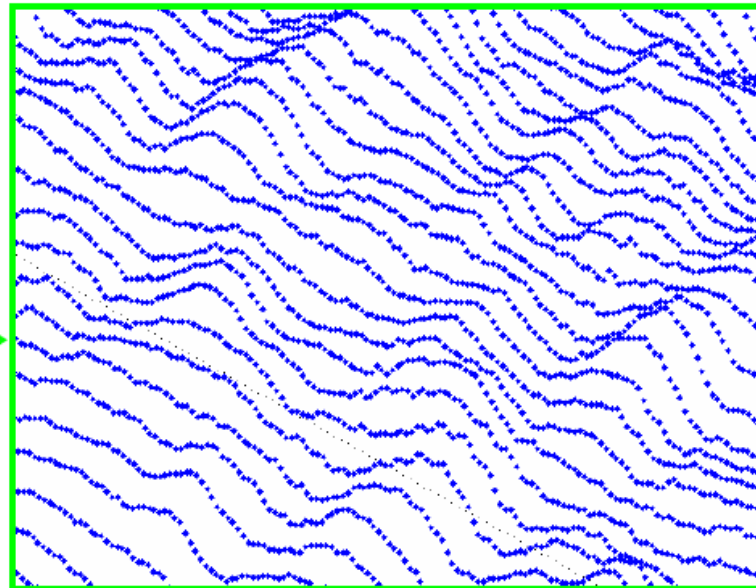
ugaona metoda

metoda medijane

x
→



- eliminisane tačke
- zadržane tačke

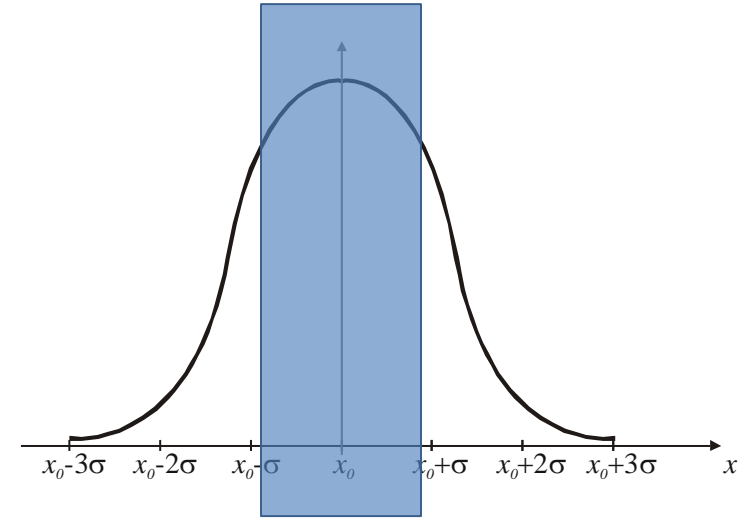


Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (statističke ocene)

Ova metoda je zasnovana na određivanju pojasa poverenja u okviru kojeg se, sa određenom verovatnoćom, može očekivati da će se nalaziti posmatrana karakteristika osnovnog skupa.

Ako se raspodela empirijski dobijenih rezultata prilagodi opštoj krivoj normalne raspodele, moguće je izračunati površinu ispod krive normalne raspodele (Gausove krive) za bilo koje granice, odnosno izračunati količinu empirijski dobijenih podataka koji leže unutar ili izvan zadatih (kontrolnih) granica.

Metoda se može uspešno primenjivati u slučajevima skeniranih krivih bez velikih promena nivou krivosti.



Udaljenost bilo koje vrednosti slučajno promenljive X do srednje vrednosti X_0 , može se izraziti preko višestruke standardne devijacije σ

$$X - x_0 = t \cdot \sigma$$

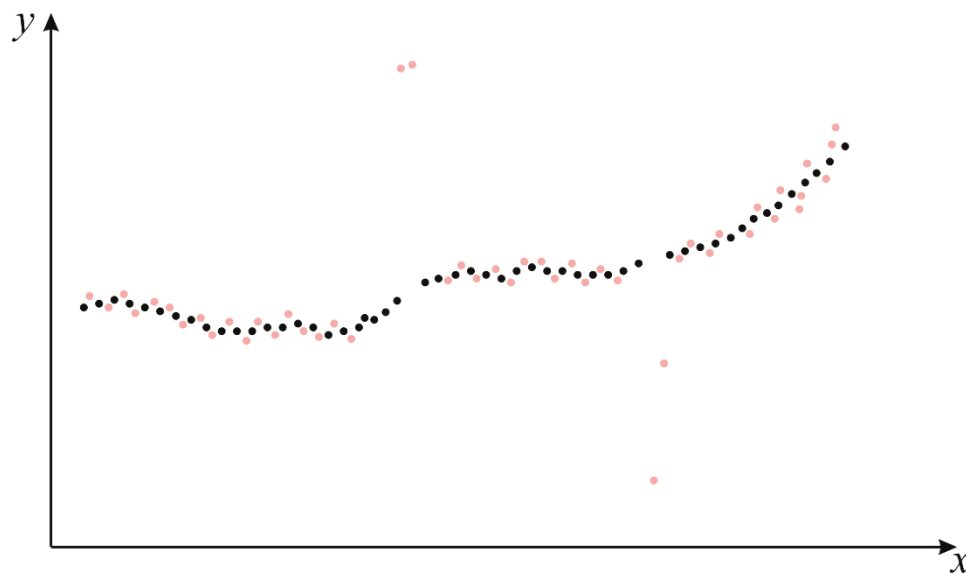
Uravnavanje podataka-tačkaka

Nakon uklanjanja pikova, kvalitet rezultata 3D-digitalizacije može se dalje poboljšati operacijom uravnavanja (glačanja) niza podataka-tačkaka.

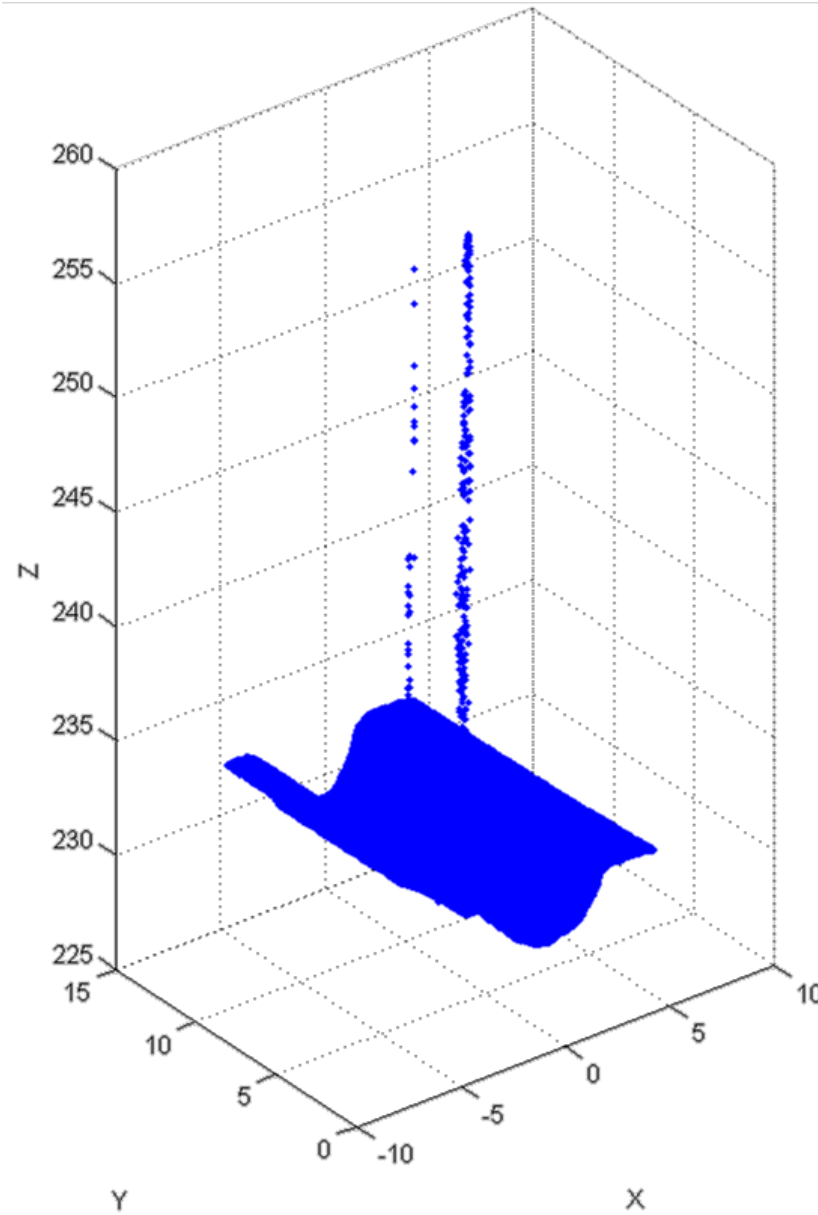
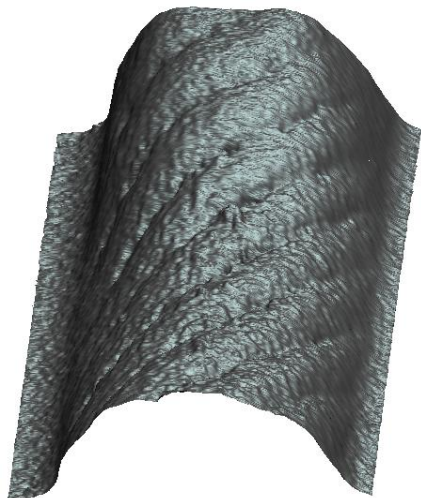
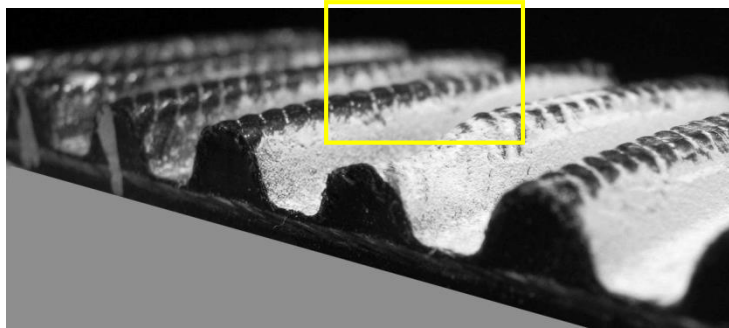
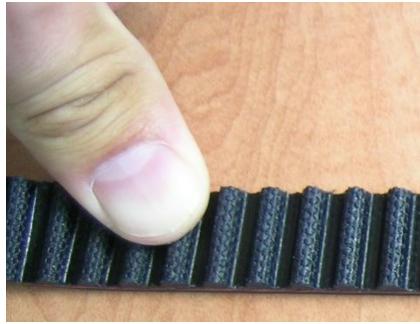
Primena ove operacije eliminiše velike oscilacije tačkaka i ima za rezultat mirniju raspodelu tačkaka, koja kasnije obezbeđuje kreiranje kvalitetnijih sekcijskih krivih, odnosno 3D modela.

Među metodama za uravnavanje podataka-tačkaka se ističu:

- 1) metoda srednjih vrednosti i
- 2) metoda medijane.



✓ Prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova



Metoda srednjih vrednosti

Jednostavna za implementaciju.

Princip je zasnovan na izračunavanju statističke srednje vrednost za specificirani niz podataka u cilju njihovog uravnavanja:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

gde su: x_i – koordinate tačaka i n – ukupan broj tačaka.

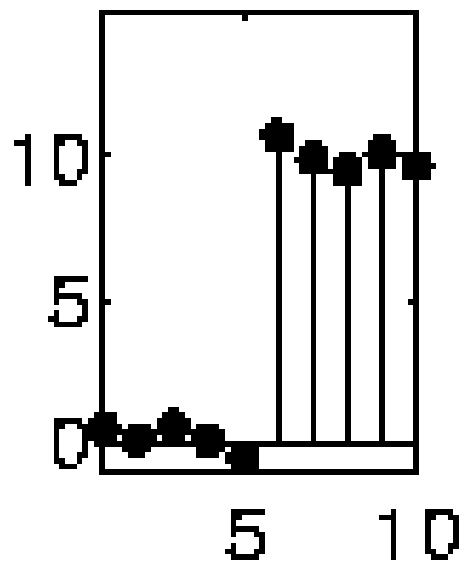
Ova vrsta filtera vrši “omekšavanje” pikova u rezultatu 3D digitalizacije pomeranjem svake od tačaka na srednju poziciju te tačke i njoj susednih (najčešće se primenjuje u varijanti sa po jednom ili dve susedne tačke).

Sličan je filteru na principu medijane.

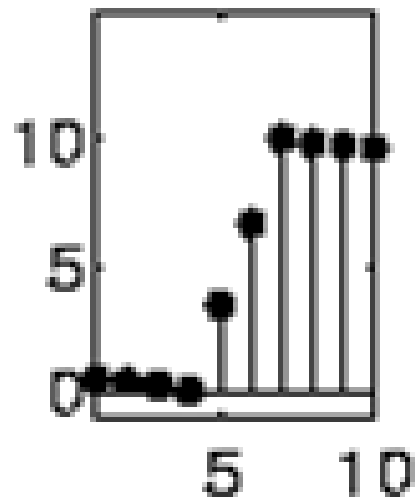
Daje dobre rezultate kod nizova podataka-tačaka sa puno šuma.

Nije dobar za primenu na nizovima podataka-tačaka sa stepenastim skokovima (ivice).

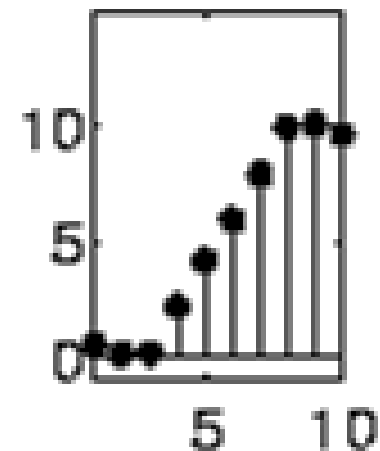
Filtriranje metodom srednjih vrednosti - efekat u slučaju stepenastih prelaza



originalni podaci



po 1 susedna tačka



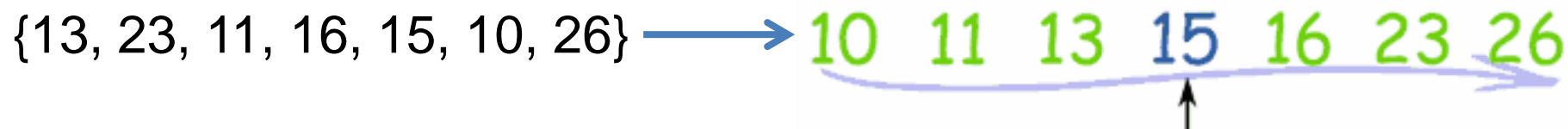
po 2 susedne tačke

Metoda medijane

Metoda zasnovana na vrednosti medijane je nelinearna tehnika koja objedinjuje funkcije za uravnavanje niza podataka i uklanjanje tačaka-izvan-opsega.

Princip ovog filtera bazira na “pomeranju” tačaka niza na pozicije koje odgovaraju statističkoj vrednosti medijane analizirane tačke i određenog broja (najčešće dve ili četiri) susednih tačaka.

Definicija: “medijana predstavlja onu vrednost u nizu koja deli (prethodno sistematizovan po veličini) niz na dva jednaka dela”.



Metoda medijane

Princip ovog filtera, u matematičkom obliku, je predstavljen sledećom relacijom:

$$y(i) = \text{Med}[x(i-N), x(i+N)]$$

gde su:

$x(i)$ - ulazni podaci,

$y(i)$ - izlaz,

N - polovina širine prozora filtera.

Prozor filtera predstavlja broj tačaka koji se uzima u obzir sa jedne strane analizirane tačke.

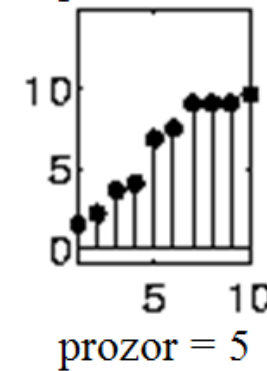
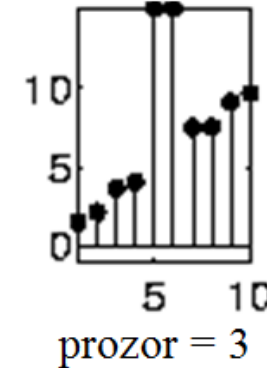
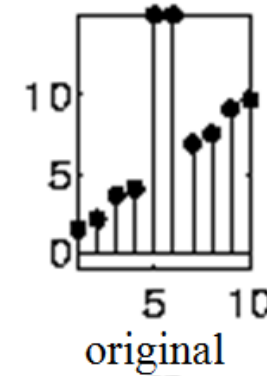
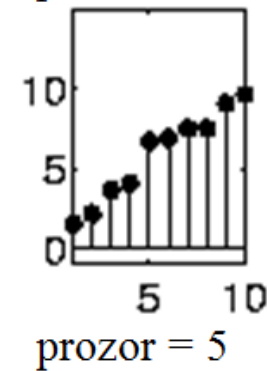
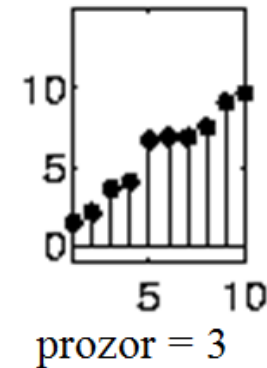
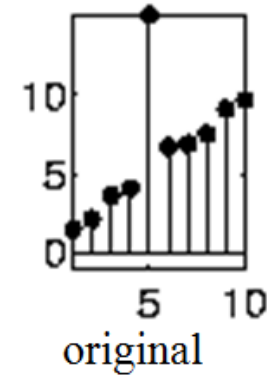
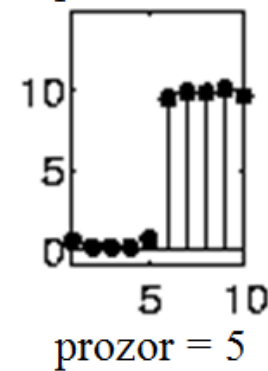
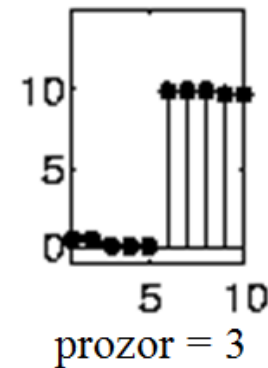
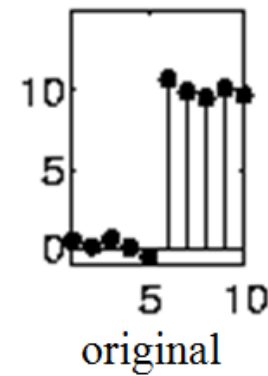
Proces filtriranja se izvršava nad celokupnim nizom sa prozorom širine $2N + 1$.

Metoda medijane

Primenu filtera na bazi medijane karakteriše tendencija očuvanja oblika.

Vrlo dobro se ponaša kada su u pitanju stepenasti oblici, što i jeste osnovna prednost u odnosu na filtriranje srednjom vrednošću.

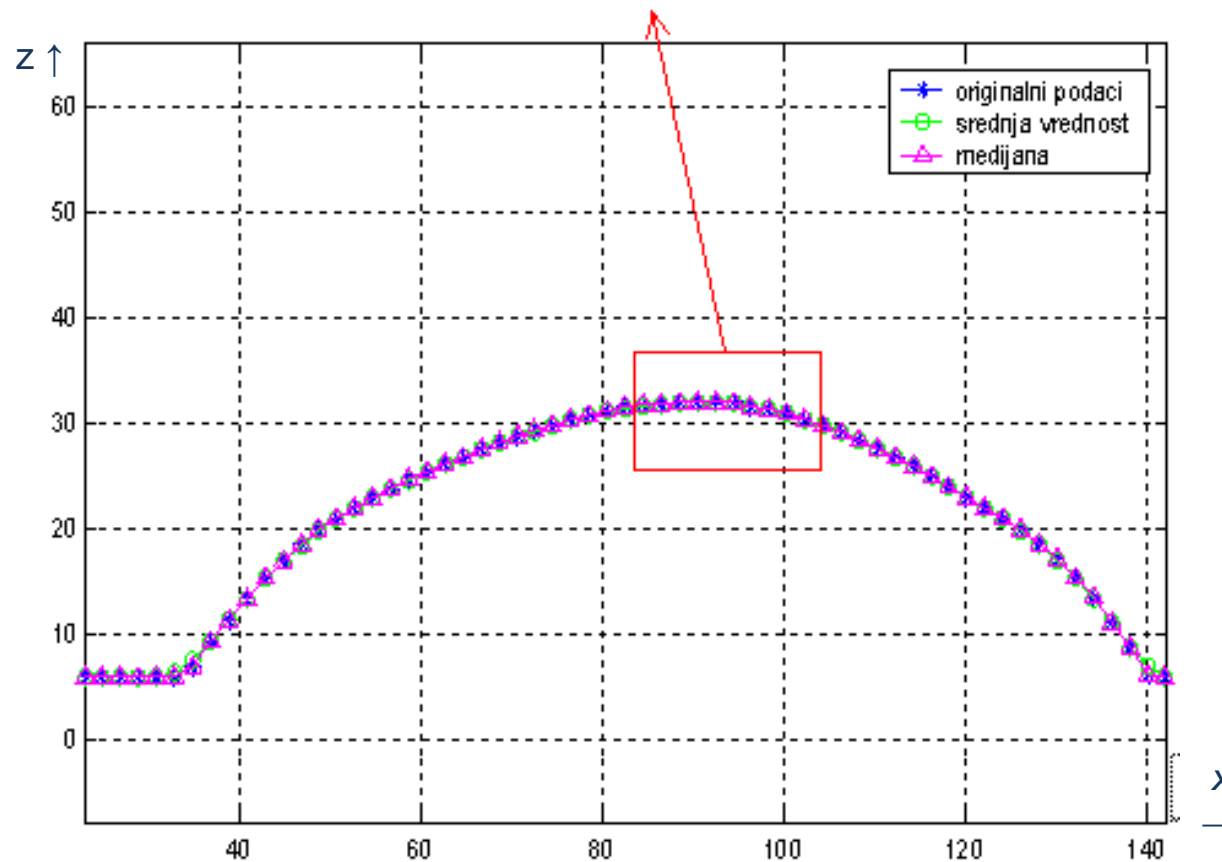
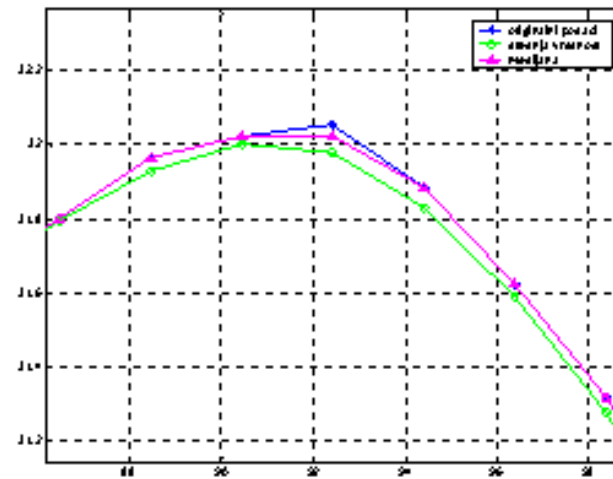
Ovaj filter je pogodan i za eliminisanje impulsnog šuma, pri čemu je bitna širina prozora filtera.

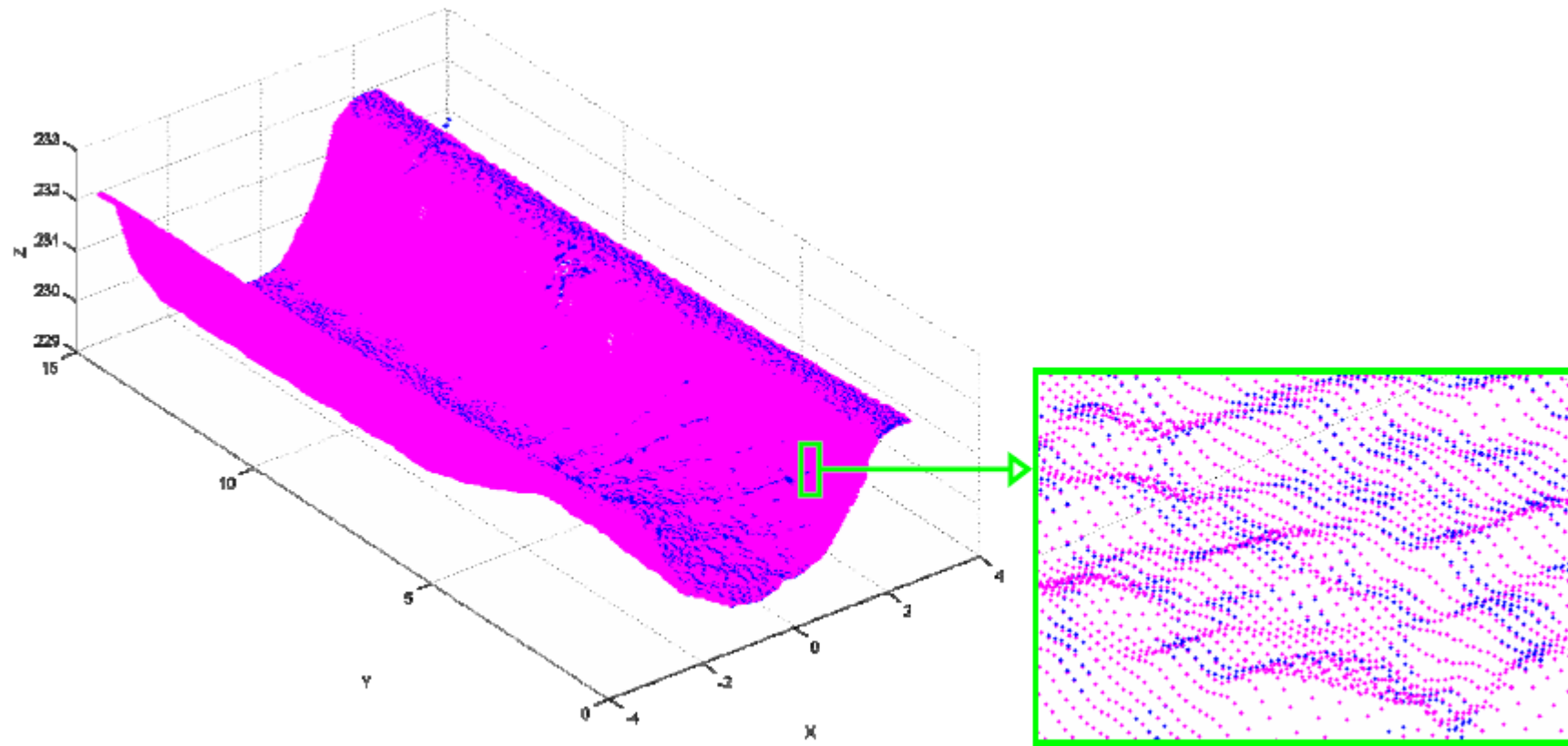


a) očuvanje ivice b) impulsni šum i širina prozora filtera

Osobine filtera na bazi medijane

Uporedni prikaz metoda za uravnavanje podataka (na primeru jedne krive)





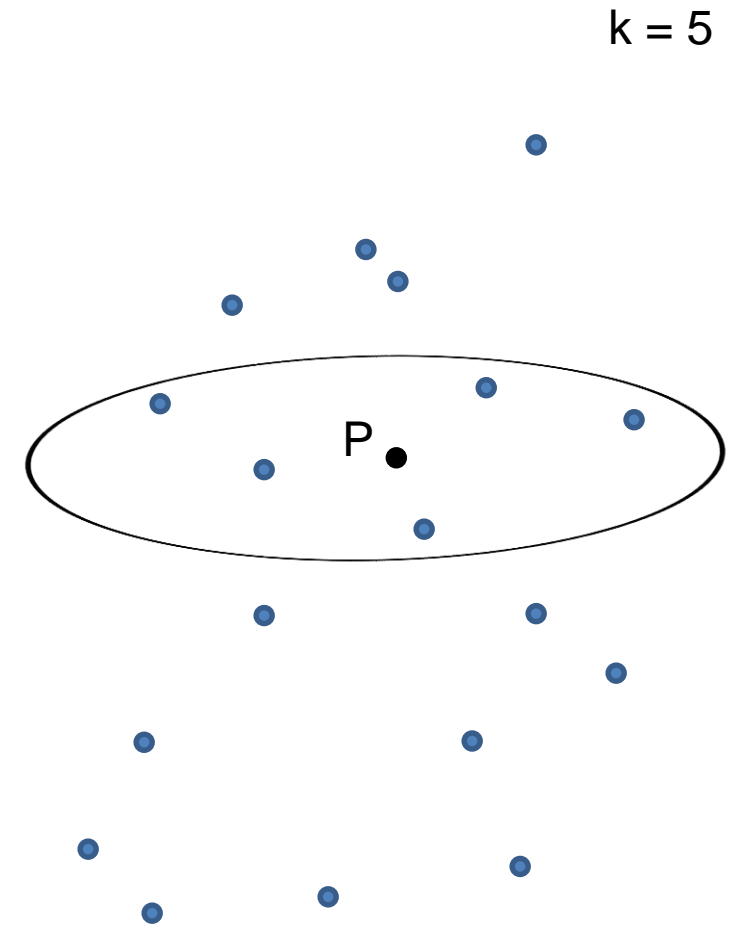
- original points
- smoothed points

Metoda određivanja normala u oblaku tačaka

Principal Component Analysis (PCA)

Korak 1: Izbor suseda (k-Nearest Neighbors)

- Za svaku tačku P u oblaku, prvo se mora definisati njeno **lokalno susedstvo**. To se radi odabirom fiksiranog broja najbližih tačaka (k) ili svih tačaka unutar određenog radijusa (r).
- Broj k je kritičan: ako je k premalo, rezultat je osetljiv na šum; ako je k preveliko, PCA će "ispeglati" fine detalje i oštre ivice.



Metoda određivanja normala u oblaku tačaka

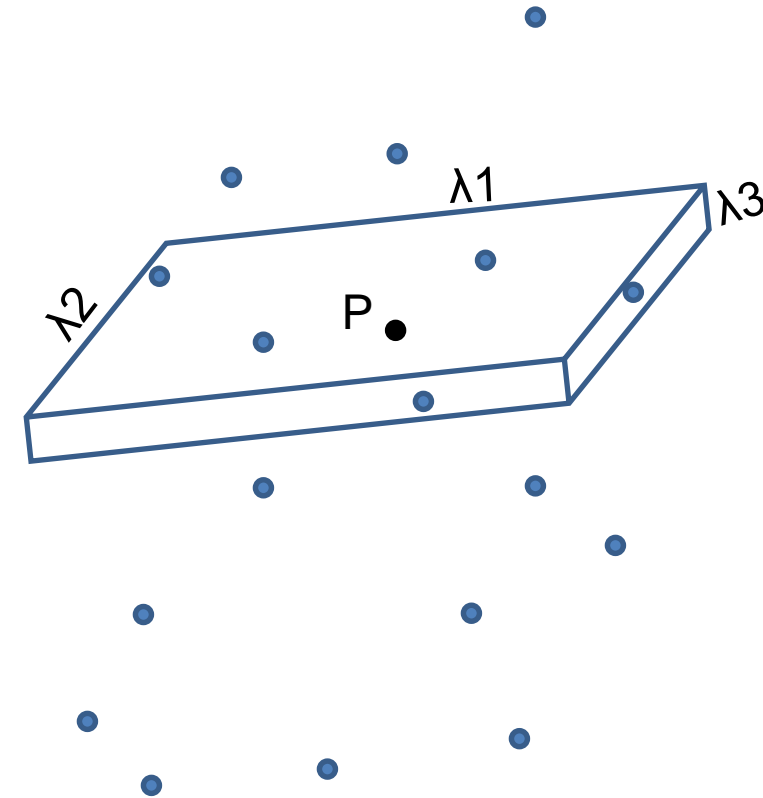
Principal Component Analysis (PCA)

Korak 2: Fitovanje ravni (PCA)

1. **PCA** se primenjuje na odabrano susedstvo. PCA pronalazi **glavne komponente** (pravce) u kojima podaci imaju najveću varijaciju. U 3D prostoru, PCA generiše tri ortogonalna pravca i tri pripadajuće **sopstvene vrednosti** ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$).

2. PCA se koristi za *fitovanje* najbolje ravnine (tangentne ravni) kroz odabrane k tačaka:

1. **Prva glavna komponenta** (najveća λ_1) pokazuje pravac najvećeg prostiranja tačaka (dužina ravni).
2. **Druga glavna komponenta** (srednja λ_2) pokazuje pravac drugog najvećeg prostiranja (širina ravni).
3. **Treća glavna komponenta** (najmanja λ_3) pokazuje pravac **najmanjeg prostiranja**, odnosno pravac koji je okomit na ravan.



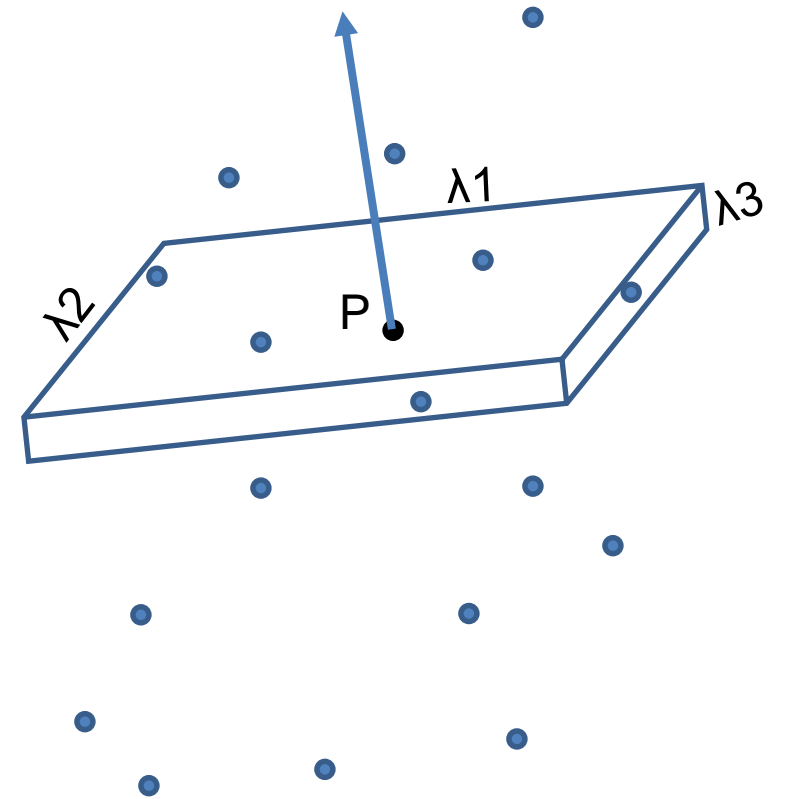
Metoda određivanja normala u oblaku tačaka

Principal Component Analysis (PCA)

Korak 3: Određivanje vektora normale

Vektor normale posmatrane tačke je upravo **sopstveni vektor** koji odgovara **najmanjoj sopstvenoj vrednosti** (λ_3).

To je pravac u kojem se tačke najmanje šire, što znači da je to pravac okomit na ravan koju tačke formiraju.



Osnovni elementi poligonalne mreže

Poligonalna mreža se sastoji od:

Temena (Vertices): To su pojedinačne tačke u 3D prostoru definisane koordinatama (x, y, z) .

Ivice (Edges): Linije koje spajaju dva temena.

Poligona (Faces/Polygons): Zatvorene površine koje formiraju trouglovi ili četvorougli (quads), a mogu biti i poligoni sa više stranica.

Sve ove komponente su povezane u topološku strukturu, gde svaki poligon ima svoje ivice, a ivice spajaju temena, čime se opisuje oblik objekta.

