



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU  
UPRAVLJANJE RIZIKOM OD KATASTROFALNIH  
DOGAĐAJA I POŽARA



## MAPIRANJE HAZARDA I PROCENA RIZIKA

## LASERSKO SKENIRANJE

Vanr. prof. Marko Marković, master inž. geodez.

Novi Sad, 2024/2025

1

### Istorija LiDAR-a

- Prvi optički laser nastao je 60-tih godina 20-og veka.
- Prvo određivanje dužina upotrebom lasera takođe 1960-tih.
- Prvi put u kasnim 1980-im, upotreba GPS-a učinila je precizno lasersko skeniranje terena iz vazduha mogućim (Univerzitet u Štutgartu, Prof. Akerman).
- Početkom 1990-tih profilari zamenjeni skenerima za snimanje iz vazduha (*Airborne Laser Scanning*), GPS tehnologija kombinovana sa Inercijalnim Navigacionim Sistemima (INS).
- Od 2000: ALS ubrzano nailazi na sve veću primenu; povećanje obima naučnog istraživanja i testiranja, razvoj novih metoda; konstantno unapređivanje ALS sistema, procesiranje kompletnog povratnog signala – full waveform (od 2004) simultani ALS (od 2006); kvalitetniji softver; više provajdera i korisnika.

3

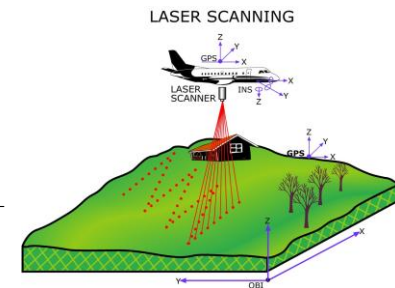
## LiDAR

- LiDAR je skraćenica od *Light Detection And Ranging*.
- Pored ovog naziva koriste se i sledeći nazivi:
  - lasersko merenje visina;
  - avionsko lasersko skeniranje.
- Ovaj aktivni sistem za daljinsku detekciju koristi lasere.
  - LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj koji emituje usmeren koherentan snop fotona samo jedne talasne dužine.
  - Laseri manjih snaga se koriste u raznovrsnim komercijalnim i lako dostupnim uređajima (CD plejer i sl.).
  - Laseri većih snaga koriste se u medicini, vojnoj industriji i sl.
  - LiDAR sistemi koriste lasere srednjih snaga.

2

### Komponente LiDAR sistema

- LiDAR sistemi poseduju sledeće komponente:
  - laserski skener;
  - GNSS prijemnik;
  - inercijalnu mernu jedinicu (*Inertial Measurement Unit – IMU*);
  - digitalnu kameru;
  - upravljačku jedinicu.



4

## Laser

- Laseri mere udaljenost do objekta od kojeg se reflektovao laserski zrak:

$$\rho = \frac{\Delta t \cdot c}{2},$$

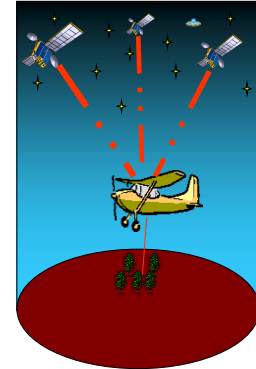
gde je  $c$  brzina svetlosti,  $\Delta t$  vreme koje je potrebno da emitovani laserski zrak dođe do objekta, reflektuje se od njega i vrati nazad.



5

## GNSS

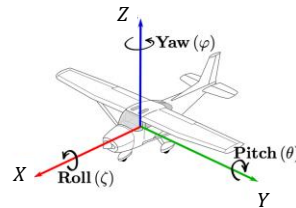
- Globalni navigacioni satelitski sistem (*Global Navigation Satellite System – GNSS*).
- GNSS RTK metoda koja omogućava precizno pozicioniranje u realnom vremenu.
- Naknadna obrada GNSS merenja.
- GNSS tehnologija omogućava centimetarsku tačnost pozicioniranja.



6

## Inercijalna merna jedinica

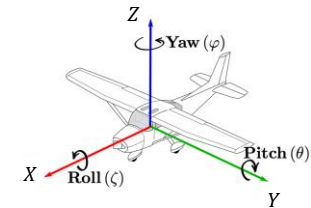
- Inercijalna merna jedinica koristi žiroskope i uređaje za merenje ubrzanja.
- Inercijalna merna jedinica meri rotacije oko koordinatnih osa:
  - X osa – u pravcu leta aviona;
  - Y osa – leži u horizontalnoj ravni i u pravna je na X osu;
  - Z osa – leži u vertikalnoj ravni i u pravna je na horizontalnu ravan kojoj pripadaju X i Y osa.



7

## Inercijalna merna jedinica

- U stranoj literaturi i softverima za obradu podataka navedene rotacije poznate su kao:
  - Roll – rotacija oko X ose;
  - Pitch – rotacija oko Y ose;
  - Yaw – rotacija oko Z ose.



8

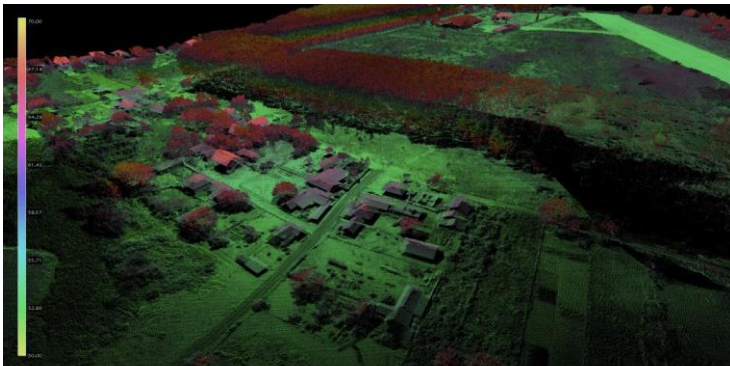
## Digitalna kamera

- Digitalne kamere se koriste za prikupljanje fotografija koje se koriste za izradu digitalnih ortofoto planova.



9

## Oblak tačaka



11

## Upravljačka jedinica

- Upravljačka jedinica skladišti podatke sa laserskog skenera, GNSS prijemnika, inercijalne merne jedinice i digitalne kamere.
- Na osnovu prikupljenih podataka određuju se trodimenzionalne koordinate svake tačke od koje se reflektovao laserski zrak.
- Oblak tačaka – skup svih tačaka od koji su reflektovani laserski zruci koje je emitovao laserski skener.



10

## Šta LiDAR jeste?

- Aktivni sistem za daljinsku detekciju.
  - Koristi sopstveni izvor energije.
- Rastojanja se određuju na osnovu vremenske razlike između emitovanja i prijema signala (nakon refleksije).
- Generiše oblak tačaka sa X, Y, Z koordinatama.
- Dnevna i noćna funkcionalnost, osim u slučaju kad je sistem opremljen i digitalnom kamerom.
- Direktna upotreba podataka sa terena, za razliku od fotogrametrije.

12

## Šta LiDAR nije?

- Nije namenjen svim vremenskim prilikama.
  - Objekat koji je predmet skeniranja mora biti vidljiv u okviru izabranog dela elektromagnetnog spektra.
  - Ne sme biti kiše ili magle.
  - Mora biti ispod oblaka.
- Nema mogućnost snimanja kroz vegetaciju.
  - LiDAR može da prođe kroz retko rastinje ali ne i kroz guste krošnje.

13

## LiDAR platforme

- Tipovi LiDAR platformi:
  - svemirske platforme;
  - avionske platforme;
  - terestričke platforme.



15

## Razlike između LiDAR sistema

- LiDAR sistemi se međusobno razlikuju po:
  - tipu platforme;
  - principu skeniranja;
  - broju odbitaka laserskog zraka;
  - spektralnim karakteristikama lasera;
  - veličini otiska laserskog zraka;
  - gustini skeniranja;
  - nameni.

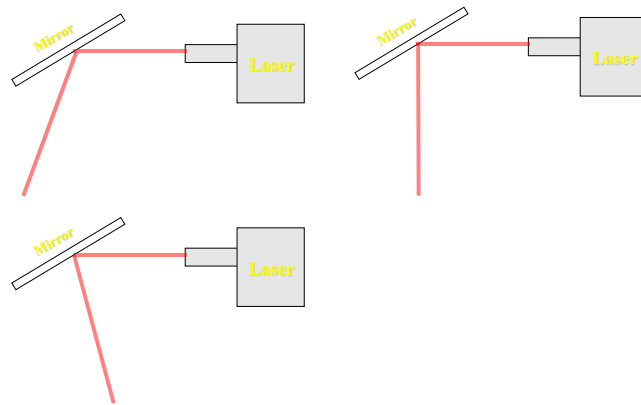
14

## Principi skeniranja

- LiDAR sistemi za snimanje profila.
  - Laser je fiksno postavljen na avionu i snima samo jednu liniju direktno ispod terena.
- LiDAR sistemi novije generacije koriste rotirajuće ogledalo.
- Laser koji je fiksno postavljen emituje laserske zrake prema ogledalu koje se rotira velikom brzinom.
- Traka – deo površine terena koji se snima.
- Prilikom skeniranja većih površina realizuje se više preleta, a smim tim i snimi više traka koje se međusobno preklapaju.

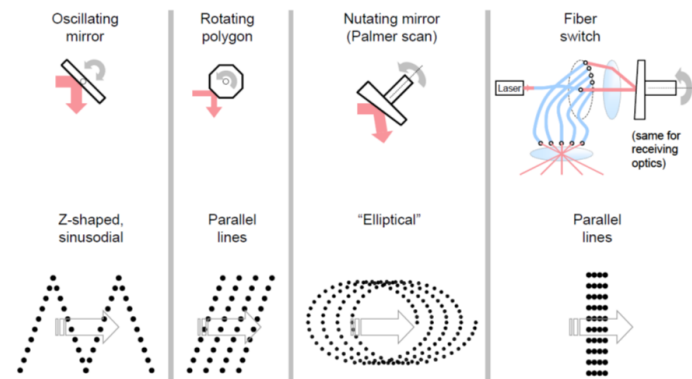
16

## Principi snimanja



17

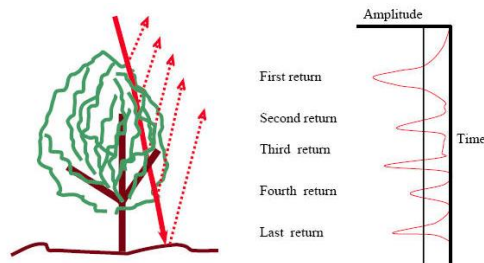
## Principi snimanja



18

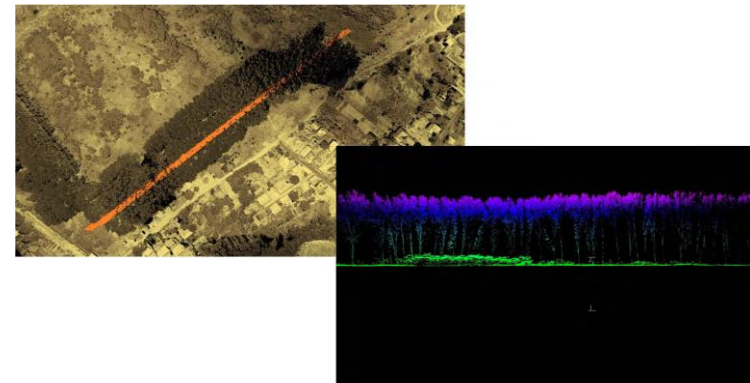
## Broj odbitaka

- Sa aspekta broja odbitaka razlikujemo LiDAR sisteme sa jednim odbitkom, više odbitaka i kontinualnim odbitkom.
- U slučaju jednog odbitka registruje se jedna X, Y, Z vrednost.
- U slučaju više odbitaka registruje se više X, Y, Z vrednosti.



19

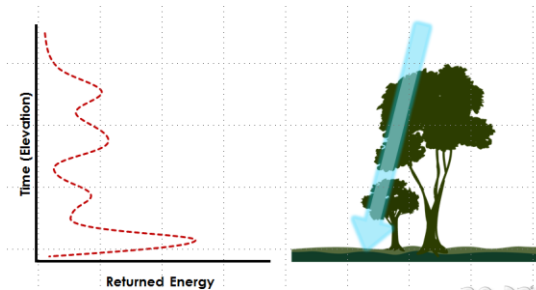
## Višestruka refleksija



20

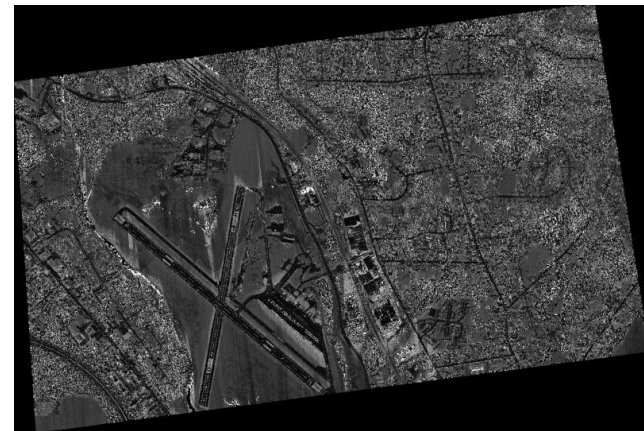
## Intenzitet reflektovanog zraka

- Veoma bitan parametra je intenzitet refleksije, koji predstavlja količinu energije koja je reflektovana.
- Laserski zrak se različito reflektuje od različitih površina.



21

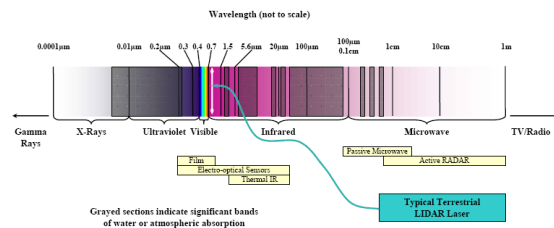
## Intenzitet odbitka



22

## Spektralne karakteristike lasera

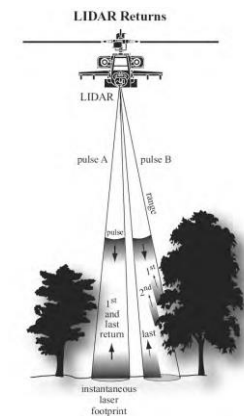
- LiDAR sistemi koji se koriste za topografsko mapiranje koriste blisko infracrvenu oblast elektromagnetnog spektra, odnosno svetlost talasnih dužina od oko 1064 nm.
- Plavo-zeleni laseri rade sa talasnim dužinama od oko 532 nm i zbog osobine dubljeg prodiranja svetlosti iz ovog dela elektromagnetnog spektra, ovi laseri se koriste u batimetriji.



23

## Veličina otiska laserskog zraka

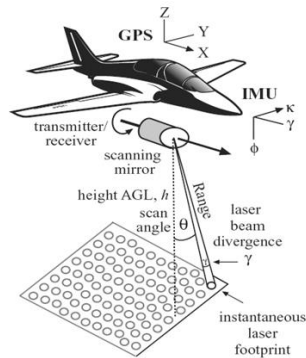
- Laserski zrak koga emituje predajnik se na terenu projektuje u oblik blizak krugu koji se naziva otisak laserskog zraka.
- U stvarnosti, otisak laserskog zraka ima oblik elipse ili neki nepravilan oblik.
- Veličina otiska laserskog zraka zavisi od visine iznad terena i ugla pod kojim je emitovan laserski zrak.



24

## Gustina skeniranja

- Gustina skeniranja – rastojanje između tačaka (odbitaka) na terenu.
- Gustina skeniranja se izražava u broju tačaka po jedinici površine.
- Gustina skeniranja zavisi od:
  - frekvencije emitovanja laserskih zraka;
  - ugla skeniranja;
  - visine i brzine leta.



25

## Mobile Mapping Systems

- *Mobile Mapping* sistemi sastoje se od sledećih komponenti:
  - jedan ili više laserskih skenera;
  - GNSS prijemnik;
  - inercijalna merna jedinica;
  - upravljačka jedinica;
  - odometar;
  - jedna ili više kamera.

27

## Greške merenja LiDAR sistema

- Greška određivanja dužina kreće se u rasponu od 2 do 3 cm.
- Greška GNSS merenja iznosi 5 - 10 cm.
- Greška inercijalne merne jedinice iznosi 0.27 m na visini leta od oko 3000 m.

26



Trimble MX9

28

## Formati podataka

---

➤ Najčešće korišćeni formati podataka za skladištenje oblaka tačaka su:

- LAS;
- PTS;
- PTX;
- E57;
- FBI;
- PLY;
- XYZ;
- XYZRGB.

29

## LAS format

---

➤ Klase tačaka:

- 0 – tačka nije do sada klasifikovana;
- 1 – tačka u postupku klasifikacije nije smeštena ni u jednu klasu;
- 2 – tačka je klasifikovana kao teren;
- 3 – niska vegetacija;
- 4 – srednja vegetacija;
- 5 – visoka vegetacija;
- 6 – objekti;
- 7 – niske tačke (šum);
- 8 – ključne tačke modela;
- 9 – voda;
- 10 – rezervisano za buduće primene;
- 11 – rezervisano za buduće primene;
- 12 – tačke na preklopu traka (linija) skeniranja;
- 13-31 – rezervisano za buduće primene.

*Izvor: LAS Specification, Version 2.1 (www.lasformat.org)*

31

## LAS format

---

➤ LAS format definisan od strane *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)* ima sledeću strukturu:

- X;
- Y;
- Z;
- Intenzitet – *Intensity* (0 – 255);
- Broj odbitka – *Return number*;
- Ukupan broj refleksija (datog impulsa) – *Number of returns*;
- Pravac skeniranja – *Scan direction flag*;
- *Edge of Flight Line* (ima vrednost 1 ako je duž jedne linije leta data tačka istovremeno i poslednja);
- (1.1) Klasifikacija – *Classification*;
- Ugao skeniranja – leva strana (-90 do +90) – *Scan Angle Rank*;
- (1.1) Korisnički podaci – *User Data*;
- (1.1) ID tačaka – *Point Source ID*;
- GPS vreme; *Izvor: LAS Specification, Version 2.1 (www.lasformat.org)*

30

## Oblasti primene

---

➤ Geodetski premer

➤ Inženjerska geodezija

➤ Hidrologija

➤ Šumarstvo

➤ Autonomna vožnja

➤ Virtuelna realnost

➤ ...

32



## Inicijalna obrada podataka

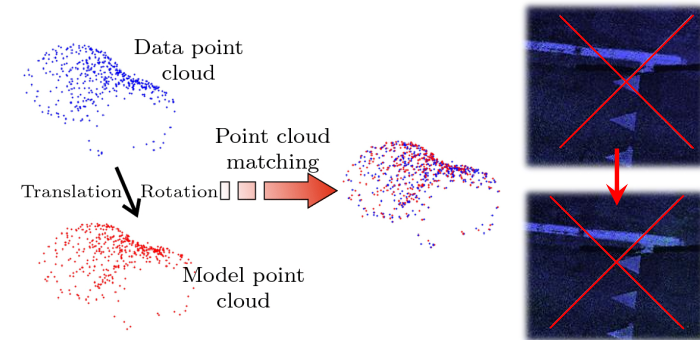
### ➤ Inicijalna obrada podataka:

- naknadna obrada GNSS merenja;
- generisanje oblaka tačaka;
- bojenje oblaka tačaka na osnovu fotografija prikupljenih digitalnom kamerom;
- eksport oblaka tačaka u odgovarajući format.

33

## Uklapanje oblaka tačaka

### ➤ Relativno i apsolutno uklapanje oblaka tačaka – registracija i georeferenciranje oblaka tačaka.



34

## Klasifikacija oblaka tačaka

### ➤ Klasifikacija oblaka tačaka – pridruživanje tačaka iz oblaka u neke prethodno definisane klase.

### ➤ Postupak klasifikacije oblaka tačaka može se podeliti na dve kategorije:

- gruba klasifikacija oblaka tačaka – podela tačaka u nekoliko osnovnih klasa (tlo, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, objekti i slično);
- detaljna klasifikacija oblaka tačaka – podela tačaka u znatno veći broj klasa, koji u urbanim područjima može biti i preko dvadeset.

### ➤ Manuelni i poluautomatski postupak klasifikacije.

35

## Postupci klasifikacije oblaka tačaka

### ➤ *Low Points* – klasifikuje tačke koje su niže u odnosu na ostale tačke u okruženju.

### ➤ *Isolated Points* – klasifikuje tačke koje nemaju bliskih tačaka u definisanom radijusu.

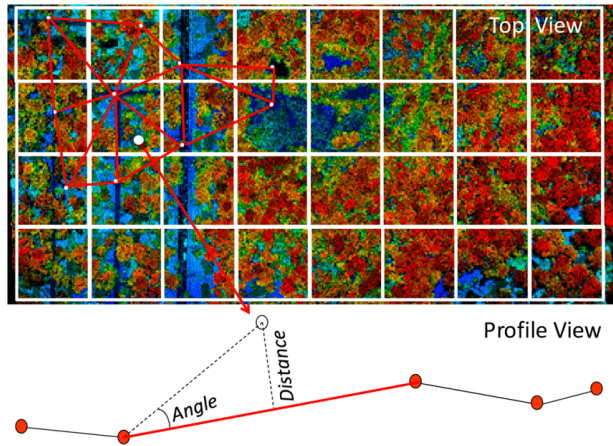
### ➤ *Air Points* – klasifikuje tačke koje imaju veću visinu u odnosu na srednju visinu okolnih tačaka.

### ➤ *Ground* – klasifikuje tačke koje pripadaju tlu.

- Postupak počinje selekcijom nekih niskih tačaka na tlu.
- Kreira se inicijalni model na osnovu odabranih tačaka, nakon čega se kreće sa uklapanjem modela dodavanjem novih tačaka.
- Parametri algoritma, ugao i rastojanje iteracije, određuju koliko blizu trouglova mora biti tačka da bi bila svrstana u klasu tlo.

36

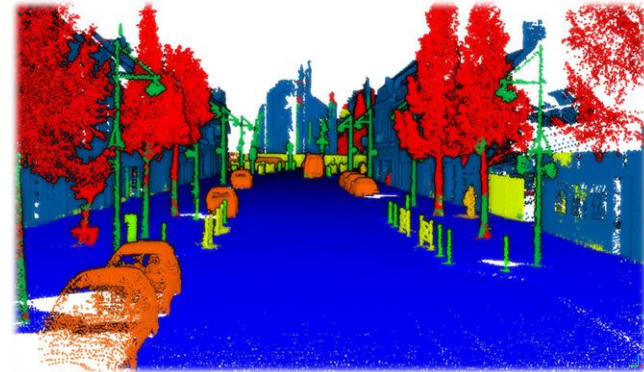
## Ground klasifikacija



37

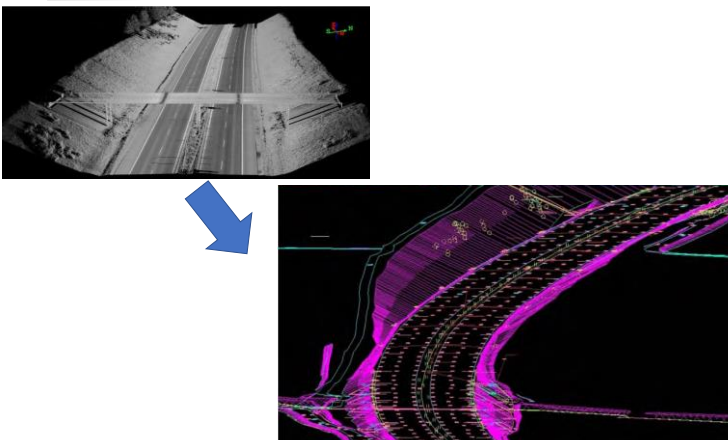
## Klasifikacija oblaka tačaka

➤ Klasifikovan oblak tačaka.



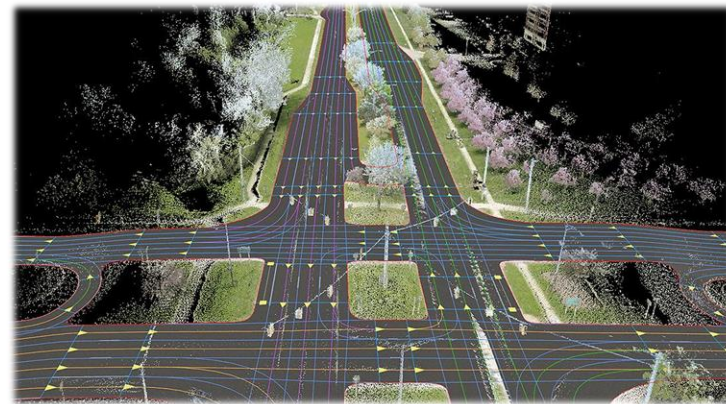
38

## Ekstrakcija prostornih entiteta iz oblaka tačaka



39

## High-definition maps



40

## Softverska rešenja za obradu oblaka tačaka

---

- TerraSolid
- TopoDOT
- Trimble Business Center
- LAStools
- CloudCompare
- Leica Cyclone
- Orbit GT
- PointCAB
- FME – Feature Manipulation Engine
- PDAL – Point Data Abstraction Library
- ...

41

## PITANJA?

42

## Literatura

---

- B. Bajat i S. Ašanin: Primena geodezije u saobraćajnicama, Akademska misao, Beograd, 2015.
- Ž. Cvijetinović: Razvoj metodologije i tehnoloških postupaka za formiranje digitalnog modela terena za teritoriju države, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 2005.
- J. C. Fernandez-Diaz, W. E. Carter, R. L. Shrestha, C. L. Glennie: *Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica*, Remote Sensing, Vol. 6, No. 10, pp. 9951-10001. [LINK](#)
- TerraSolid UserGuide. [LINK](#)
- H. Butler, B. Chambers, P. Hartzell, C. Glennie: *PDAL: An open source library for the processing and analysis of point clouds*, Computers & Geosciences, Vol. 148, pp. 1-9. [LINK](#)

43