

PRIMENA LIDAR TEHNOLOGIJE ZA PRIKUPLJANJE PROSTORNIH PODATAKA DUŽ TRANSPORTNIH KORIDORA

Nataša Bojković, Marijana Petrović, Tanja Parezanović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
n.bojkovic@sf.bg.ac.rs, marijanap@sf.bg.ac.rs, t.parezanovic@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *LiDAR tehnologija (eng. Light Detection and Ranging) predstavlja savremen sistem laserskog snimanja područja radi prikupljanja geo-informacija. Primenom ove tehnologije dobija se veliki broj tačaka sa preciznim koordinatama, samim tim i visok kvalitet i detaljnost snimka objekta. Jedna od oblasti primene koja je u ekspanziji je prikupljanje prostornih podataka o elementima transportne infrastrukture, pre svega o transportnim koridorima. Kako transportni pravci predstavljaju stabilne i relativno nepromenljive elemente saobraćajnog sistema primenom ove tehnologije se dobijaju trajni i precizni podaci koji imaju višestruku primenu u planiranju i održavanju infrastrukturnih elemenata. U radu su analizirane mogućnosti LiDAR tehnologije i prikazani neki od domena njene primene u saobraćaju i transportu.*

Gljučne reči: *geo-informacije, transportni koridori, lasersko snimanje, obrada podataka*

1. Uvod

Kvalitetni prostorni podaci su od fundamentalnog značaja za pouzdano planiranje razvoja i održavanja transportnih koridora. U vreme ekspanzije transportnih mreža, ekonomično, brzo i efikasno prikupljanje geo-informacija je od ne manje važnosti. Jedno od rešenja je sistem zasnovan na laserskom snimanju područja i modeliranju podataka.

LiDAR tehnologija funkcioniše na bazi emitovanja svetlosnih impulsa i merenja vremena refleksije sa područja istraživanja. Uz pomoć senzora beleži se vremenska razlika između trenutka upućivanja laserskog zraka i povratnog reflektujućeg signala. Ovaj vremenski interval se zatim konvertuje u podatke o rastojanjima. Poznavanjem pozicije i orijentacije senzora, dobijaju se trodimenzionalne koordinate površinskih tačaka koje omogućavaju kreiranje digitalnih mapa terena. LiDAR sistemom sprovodi se snimanje velikog broja tačaka sa zavidnom preciznošću i brzinom (i do 500.000 tačaka u sekundi). Tačnost laserskih tačaka se kreće u opsegu (+/-)10cm po položaju i visinama. Pored lasera koji mogu biti različitih talasnih dužina, zatim skenera, optičkih sistema i fotodetektora, sastavni deo LiDAR tehnologije jesu i sistemi za navigaciju i pozicioniranje. U tom smislu koristi se sistem globalnog pozicioniranja (GPS) za

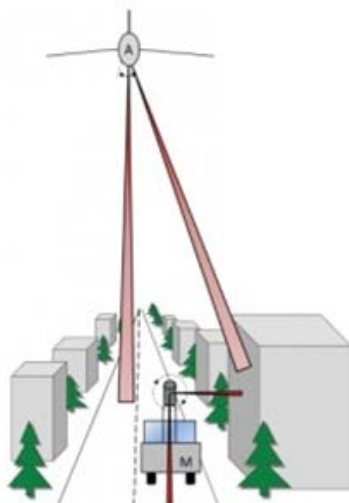
preciznu informaciju o poziciji senzora kao i inercijalni navigacioni sistemi koji obezbeđuju informaciju o orijentaciji senzora na lokaciji.

Tehnologija trodimenzionalnog laserskog skeniranja datira iz 1960-tih godina, a inicijalno je razvijena za detektovanje podmornica iz aviona. Šira primena bila je uslovljena razvojem GPS tehnologije koja je omogućila pozicioniranje senzora i samim tim dobijanje preciznih geo-informacija. Od 90-tih godina, kada je započeta komercijalna upotreba, LiDAR tehnologija se ubrzano razvija kako u brzini i kvalitetu snimanja tako i u domenu obrade podataka.

Prednosti LiDAR sistema u odnosu na klasične geodetske metode snimanja jesu brže, efikasnije i ekonomičnije prikupljanje podataka, mogućnost kreiranja digitalnog modela terena (DMT) sa velikom tačnošću i stvaranje geodetske osnove za GIS. S druge strane, korišćenjem laserskih zraka sa manjom talasnom dužinom, LiDAR omogućava detektovanje malih objekata što mu daje prednost u odnosu na radarsku ili sonarnu tehnologiju koje su zasnovane na sličnim principima refleksije.

2. Sprovođenje procesa snimanja i isporuka LiDAR podataka

U odnosu na načine snimanja, razlikujemo fiksne i mobilne sisteme. U fiksnim sistemima snimanje se vrši skenerima koji su ugrađeni na stacionarnim geodetskim stativama. Kada je reč o istraživanju terena na dužim deonicama transportnih koridora, veću primenu imaju mobilni sistemi koji se ugrađuju na vozila kopnenog transporta (drumska, železnička ili plovna sredstva) ili na vazдушnu platformu (aviona ili helikoptera) [1].

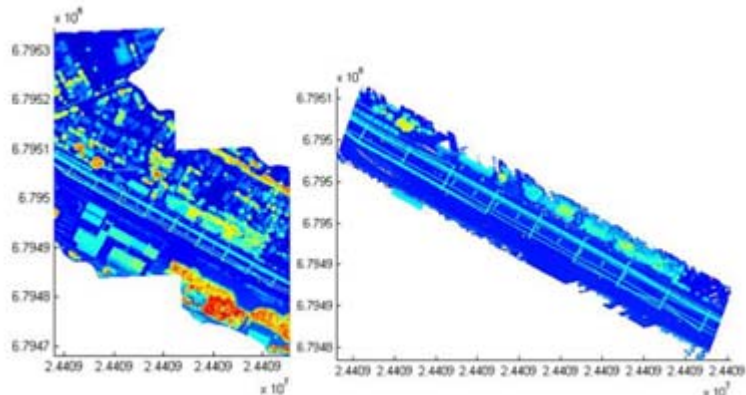


Slika 1. Mobilno i vazdušno LiDAR skeniranje [2]

Iako je u oba slučaja reč o mobilnom laserskom skeniranju, u literaturi se sistem snimanja sa zemlje skraćeno naziva Mobilno LiDAR skeniranje (MLS, eng. *Mobile LiDAR Scanning*), dok se za snimanje iz vazduha koristi termin Vazdušno LiDAR skeniranje (ALS, eng. *Airborne LiDAR Scanning*). Izbor između MLS i ALS zavisi kako od raspoloživog vremena i troškova tako i od zahteva u pogledu isporuke podataka. Tako

na primer, za razliku od MLS koji je ograničen na snimak oblasti koja je vidljiva sa koridora, ALS može obuhvatiti širi pojas oko koridora (Slika 2). Oba sistema obezbeđuju visoku vertikalnu preciznost tačaka, ali MLS daje njihovo tačnije horizontalno pozicioniranje. Pored toga, MLS daje veću gustinu tačaka u odnosu na ALS, ali je ona neravnomerna jer se smanjuje prilikom udaljavanja od trajektorije skenera [2]. Mnoga istraživanja zahtevaju kombinaciju ALS i MLS ili kombinaciju fiksnog i mobilnog snimanja.

Poslednjih godina došlo je do značajnog unapređenja performansi laserskih sistema snimanja, zahvaljujući razvoju mobilne senzorske tehnologije. Tako na primer, frekvencija ponavljajućih impulsa ALS sistema početkom 90-tih godina bila je 2 kHz, do 2007. godine se povećala na 200 kHz, dok je poslednjih godina uvećana do 800 kHz. Gustina tačaka je takođe znatno povećana-od malog broja do nekoliko desetina tačaka po kvadratnom metru [3].



Slika 2. ALS (levo) i MLS (desno) laserski podaci [3]

Početni korak procesiranja podataka jesu 3D merenja rastojanja tačaka područja u odnosu na vozilo (skener) i set podataka o trajektoriji i orijentaciji vozila (skenera). U sledećoj fazi vrši se georeferenciranje, odnosno spajanje ovih podataka čime se dobija oblak tačaka koji je smešten u trodimenzionalni koordinatni sistem. Ovaj oblak tačaka koji može biti različitog formata, na primer ASCII, LAS, SVY, PTS/PTX, daje osnov za dobijanje svih daljih neophodnih informacija. U daljem postupku vrši se redukovanje i grupisanje podataka kroz procese filtriranja i klasifikacije. Filtriranjem se odstranjuju tačke koje nisu od značaja, odnosno uklanjaju nepotrebne informacije, kao na primer vozila u pokretu na transportnim koridorima. Klasifikacija, odnosno grupisanje omogućava da se sagledaju različite celine u oblaku tačaka odnosno diferenciraju objekti područja. Za dalju obradu podataka, odnosno kreiranje finalnih mapa koriste se različiti sistemi podrške od CAD (eng. *Computer Aided Design*) modela do sofisticiranih i specijalizovanih softvera prilagođenih za razne vrste vizuelizacije, premera i proračuna.

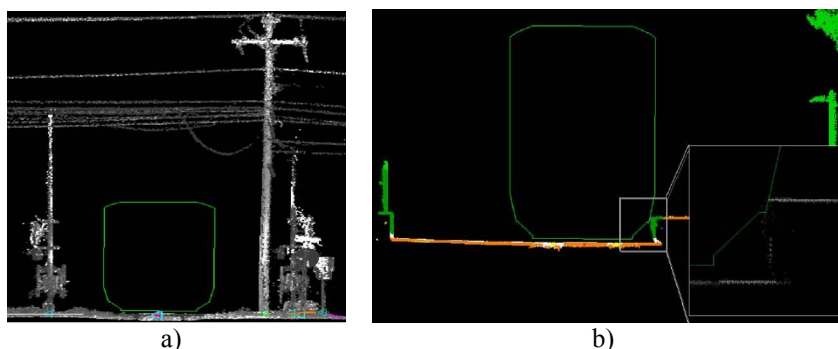
Prilikom korišćenja LiDAR tehnologije postoje tri vrste troškova koje se vezuju za prikupljanje podataka, informacione tehnologije i ekstrakciju podataka [4]. Za prikupljanje podataka potrebna je nabavka ili najam opreme za skeniranje, investicije u njeno održavanje, angažovanje posade i odgovarajućih vozila. Troškovi informacionih tehnologija odnose se na softver za ekstrakciju podataka, infrastrukturu i server za

digitalno skladištenje podataka, kao i na računarske radne stanice za obradu, analizu, skladištenje i transfer LiDAR podataka. Troškovi ekstrakcije podataka zapravo predstavljaju ukupne troškove koji su potrebni za dobijanje konačnih prostornih podataka i svode se na ljudske resurse, vreme i znanje koje je potrebno da se oblaci tačaka prevedu u finalne rezultate.

3. Prikupljanje i obrada podataka duž transportnih koridora

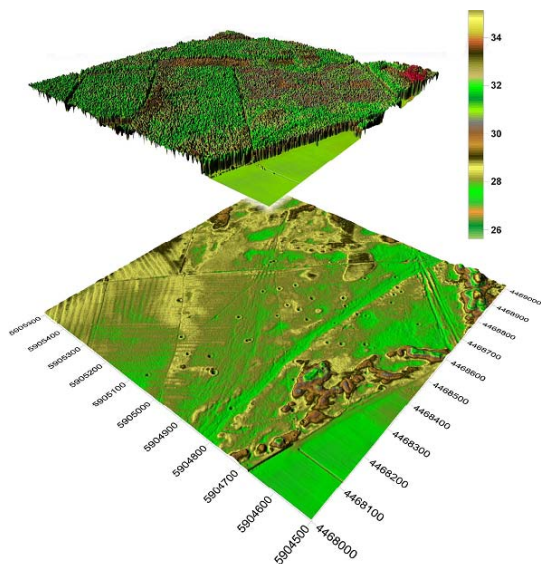
Trodimenzionalno modelovanje terena u području transportnih mreža neophodno je kako za dokumentovanje postojećeg/izvedenog stanja, tako i za buduće planove rekonstrukcije i izgradnje. Duž drumskih koridora, LiDAR podaci se najčešće primenjuju za detektovanje stanja/oštećenja kolovoza, nagiba terena i odrona, kao i za utvrđivanje položaja svih pratećih objekata. Slična primena postoji i na železničkim pravicima, s tim što na njima postoje i dodatni zahtevi koji potiču od fiksne veze između vozila i šina. U tom smislu je neophodna vizuelizacija i tačan premer udaljenosti svih objekata koji potencijalno mogu da ometaju saobraćanje. U narednom delu data su dva primera snimanja za potrebe konkretnih problema i to: 1) određivanje maksimalnih dimenzija železničkih vozila u odnosu na vertikalna i horizontalna ograničenja okruženja i 2) kontrolu vegetacije.

Uzimajući u obzir različite standarde za dimenzije železničkih vozila, moguću primenu tehnologije duplih platformi, jedno od pitanja jeste efikasno određivanje maksimalnih dozvoljenih dimenzija vozila na određenoj deonici. Primer na Slici 3(a) pokazuje oblak tačaka i dimenzije vozila koje se uklapaju u odnosu na vertikalna ograničenja. Na Slici 3(b) prikazano je isto vozilo u odnosu na horizontalnu platformu, pri čemu se uočava potencijalni kontakt sa platformom, što upućuje ili na smanjivanje dimenzija vozila ili na redizajniranje platforme.



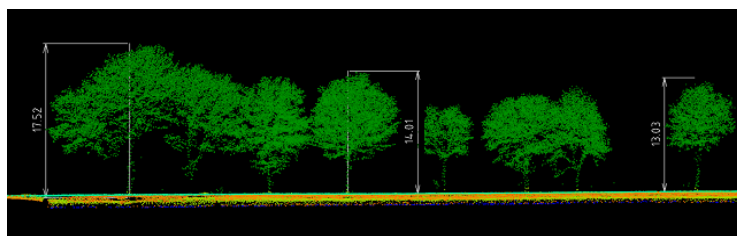
Slika 3. Oblak tačaka i dimenzije vozila koje se uklapaju u odnosu na vertikalna (a) i horizontalna ograničenja (b) [5]

Železničke pruge spadaju u transportne koridore koji su u interakciji sa ekosistemom, pre svega vegetacijom koja ih okružuje. Nekontrolisan rast vegetacije (korenja drveća) može da ugrozi stabilnost i integritet donjeg stroja pruge. Drveće koje se nalazi uz prugu takođe može da ometa slobodan prolaz železničkih vozila. S druge strane, potrebno je precizno određivanje položaja vegetacije jer je određeno rastinje neophodno za sprečavanje erozije tla. LiDAR omogućava jasno razdvajanje rastinja od terena (Slika 4).

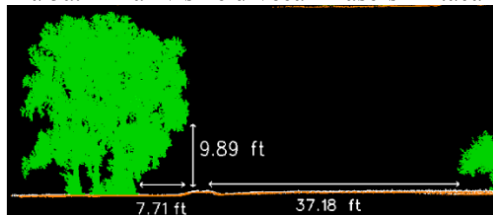


Slika 4. Digitalni model terena sa preciznim razdvajanjem vegetacije od terena¹

Snimanjem terena LiDAR sistemom mogu se dobiti precizne informacije o tipu rastinja (visoko ili nisko) i trenutnoj poziciji (Slike 5a i 5b). Poznajući maksimalne dozvoljene visine i širine železničkih kompozicija, uočavaju se potencijalni problemi i indikuje obrezivanje ili uklanjanje rastinja.



Slika 5a. Prikaz visine drveća iz laserskih tačaka¹



Slika 5b. Prikaz visine i horizontalnog rastojanja debla od centra železničke pruge iz laserskih tačaka [6]

¹ Izvor: JIE engineering

Pored prikaza pojedinačnih objekata, LiDAR tehnologija se primenjuje za projekte vizuelizacije celokupnog okruženja transportnih koridora. Potreban nivo detaljnosti za dobijanje finalnog 3D modela (kao na Slici 6) zahteva kombinaciju ALS i MLS sistema, odnosno odvojenu obradu podataka. ALS se smatra pogodnijim za snimanje terena jer može da obuhvati širi pojas oko koridora. Objekti kao što su vrhovi krovova, pravci dalekovoda i drveće takođe su vidljiviji iz ALS oblaka tačaka. S druge strane, MLS daje potpuniji prikaz stubova, osvetljenja, saobraćajnih znakova i drugih vertikalnih objekata kao i fasada građevina duž koridora [3].



Slika 6. Primer 3D modela područja dužine oko 1000m i širine oko 100m oko železničke stanice (Kokemaki, Finska) [3]

4. Primena LiDAR u novim tehnologijama saobraćaja i transporta

LiDAR sistem prisutan je i u drugim domenima saobraćaja i transporta. Pored primarne primene koja je vezana za prikupljanje prostornih podataka radi planiranja, izgradnje i održavanja infrastrukture, LiDAR nalazi svoje mesto i u specifičnim zadacima saobraćaja i transporta. Jedan od domena primene jeste u ekspertizama saobraćajnih nezgoda. Najviše se koriste fiksni LiDAR sistemi kojima se dokumentuju materijalni dokazi sa lica mesta. Trodimenzionalno lasersko mapiranje znatno skraćuje procese evidentiranja stanja nakon saobraćajnih nezgoda, samim tim omogućava bržu normalizaciju saobraćaja.

LiDAR je i sastavni deo novih tehnologija automatske navigacije. Tako je, na primer, sistem za kontrolu rastojanja između vozila (eng. *Adaptive Cruise Control - ACC*) zasnovan na laserskim senzorima. Neželjeno napuštanje saobraćajne trake takođe se kontroliše laserskim snimanjima (eng. *Lane Departure Warning system – LDW*) [7].

Za uvođenje potpuno autonomnih vozila neophodno je tačno pozicioniranje vozila u odnosu na ivičnjak i sve vertikalne objekte duž puta. U tom smislu od ključnog je značaja razvoj preciznih i detaljnih navigacionih mapa (eng. *High Accuracy Driving Maps - HADMs*). Sistem MLS nudi efikasno rešenje za brzo i precizno formiranje oblaka tačaka koje predstavljaju okruženje puta. Međutim, budući da oblaci tačaka sadrže komplikovane, nekompletne strukture različite gustine, automatska ekstrakcija podataka radi dobijanja informacija u realnom vremenu, odnosno sastavljanja HADM još uvek predstavlja zahtevan zadatak. S tim u vezi, intenzivno se razvijaju nove metode i

procedure za automatsko prepoznavanje ne samo objekata već i oznaka na putu, kao što je, na primer predloženo u radovima [8] i [9].

5. Zaključak

Imajući u vidu kvalitet i ekonomičnost prikupljanja podataka, LiDAR sistemi se mogu smatrati prekretnicom u kreiranju informacione osnove za različite projektne zadatke u saobraćaju i transportu. Istovremeno, savremeni sistemi snimanja i obrade podataka omogućavaju transfer od reaktivnog ka proaktivnom menadžmentu transportne infrastrukture.

U dosadašnjem usavršavanju LiDAR tehnologije najviše se uznapredovalo na polju snimanja odnosno brzine i performansi laserskih i senzorskih sistema i inicijalnog procesiranja podataka. S druge strane, razvoj modela za ekstrakciju podataka, odnosno finalno prepoznavanje objekata zahteva specijalizovana softverska rešenja. Jedan od ključnih izazova je automatska ekstrakcija podataka radi dobijanja informacija u realnom vremenu.

LiDAR tehnologija dobija na značaju prilikom prikupljanja podataka na manje pristupačnim terenima kao i na dužim transportnim deonicama. S tim u vezi u razvijenim zemljama se smatra da snimanje klasičnim geodetskim metodama nije isplativo već na trasama koje su duže od 20km. Prilikom snimanja transportnih koridora mogu se koristiti i vazdušni i mobilni sistemi. Iskustva iz prakse pokazuju da je u slučajevima kada je neophodan visok nivo detaljnosti, optimalno korišćenje oba sistema, jer su neki objekti vidljiviji iz ALS, a drugi iz MLS oblaka tačaka.

Procesiranjem LiDAR podataka dobijaju se formati koji su ne samo praktični za korišćenje, već se mogu koristiti i kao geodetska osnova za GIS, čime se krug korisnika širi na različite institucije, javna preduzeća i lokalne samouprave.

Literatura

- [1] Chang, J. C., Tsai, M. K., Findley, D. J., & Cunningham, C. M. (2012). Infrastructure investment protection with LiDAR (No. FHWA/NC/2012-15).
- [2] Williams, K., Olsen, M. J., Roe, G. V., & Glennie, C. (2013). Synthesis of transportation applications of mobile LiDAR. *Remote Sensing*, 5(9), 4652-4692.
- [3] Zhu, L., & Hyypä, J. (2014). The use of airborne and mobile laser scanning for modeling railway environments in 3D. *Remote Sensing*, 6(4), 3075-3100.
- [4] Yen, K., Ravani, B., and Lasky, T. (2011). LiDAR for Data Efficiency. WSDOT Research Report WA-RD 778.1. Office of Research & Library Services. Washington State Department of Transportation.
- [5] Lesler, M., Perry, G., & McNease, K. (2010, April). Using mobile LiDAR to survey a railway line for asset inventory. In *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) 2010 Annual Conference*, San Diego, CA, USA (Vol. 2630).
- [6] Morgan, D. (2009). Using mobile LiDAR to survey railway infrastructure. Lynx mobile mapper. *Proceedings of FIG Commissions*, 5(6).

- [7] Brenner, C. Extraction of Features from Mobile Laser Scanning Data for Future Driver Assistance Systems. In *Advances in GIScience*; Springer: Berlin, Germany, 2009; pp. 25–42
- [8] Yang, B., Liu, Y., Liang, F., & Dong, Z. (2016). Using Mobile Laser Scanning Data for Features Extraction of High Accuracy Driving Maps. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 433-439.
- [9] Kumar, P., McElhinney, C. P., Lewis, P., & McCarthy, T. (2014). Automated road markings extraction from mobile laser scanning data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32, 125-137.

Abstract: *LiDAR technology (Light Detection and Ranging) is a modern system of collecting geo-information with laser scanning of the area. The utilization of this technology facilitates producing a large number of points with precise coordinates, therefore the high quality of snapshots and detailed survey. One of the expanding domain of application, is the collection of spatial data related to elements of transport infrastructure, primarily on transport corridors. As transportation routes are relatively stable and unchanging elements of the transport system, the use of this technology allows for permanent and precise data that have a wide variety of function in planning and maintenance of infrastructure elements. The paper analyzes the possibilities of LiDAR technology and presents some of the domains of its application in traffic and transport.*

Keywords: *geo-information, transportation corridors, laser scanning, data processing*

APPLICATION OF LIDAR TECHNOLOGY FOR SPATIAL DATA COLLECTION ALONG TRANSPORT CORRIDORS

Nataša Bojković, Marijana Petrović, Tanja Parezanović