

SIMULACIJSKI SOFTVER ZA PRIMJENU LiDAR TEHNOLOGIJE U SAOBRAĆAJU
APPLICATION OF LiDAR TECHNOLOGY IN TRAFFIC ON A SIMULATION SOFTWARE

Abidin Deljanin^{*}
Emir Deljanin^{*}
Asima Deljanin^{*}

Kategorizacija rada: Stručni rad (Professional paper)^{*}
UDK 528.8.044.6:656.11

SAŽETAK: *Kako bi autonomni automobili postali komercijalna stvarnost, proizvođači automobila opremaju vozila senzorskim tehnologijama koje mogu planirati put kroz virtualnu kartu svijeta. Senzorska tehnologija koja se temelji na samoupravnim automobilima je detekcija i rangiranje svjetlosti (LiDAR), koja pruža visoku rezoluciju i trodimenzionalne informacije o okolini. LiDAR može istovremeno locirati položaj ljudi i objekata oko vozila te procijeniti brzinu i put kojim se kreću. Koristeći te informacije, ugrađeni računarski sistem u vozilu (OBC) može odrediti najsigurniji način da vozilo stigne do odredišta. Ovaj rad istražuje principe rada LiDAR tehnologije i njegove primjene u simulacijskom okruženju. Uz pomoć softverskog programa ima za cilj da prikaže efikasnost i učinkovitost njegove uloge u saobraćaju. Ograničenim 2D slikama koje su kamere mogle pružiti, LiDAR tehnologija izrađuje 3D mapu okoline u stvarnom vremenu prikazujući područje od 360 stepeni, te kao takva ima potencijal da unaprijedi razvoj autonomnih vozila.*

KLJUČNE RIJEČI: *senzorska tehnologija, trodimenzionalna stvarnost, 3D mape.*

ABSTRACT: *In order for autonomous cars to become a commercial reality, car manufacturers equip vehicles with sensory technologies that can plan a journey through a virtual map of the world. Sensor technology based on self-governing cars is the detection and ranking of light (LiDAR), which provides high resolution and three-dimensional environmental information. LiDAR can simultaneously locate the position of people and objects around the vehicle and estimate the speed and the way they are moving. Using this information, the embedded in-car computer system (OBC) can determine the safest way for the vehicle to reach its destination. This paper aims to present the principle of LiDAR technology and its application in a simulation environment. With the help of the software program, it shows the efficiency and effectiveness of its role in traffic. With limited 2D images that the cameras could provide, LiDAR technology creates a 3D real-time map of the environment by displaying an area of 360 degrees, and as such has the potential to improve the development of autonomous vehicles.*

KEY WORDS: *sensor technology, three-dimensional reality, 3D maps.*

UVOD

Potpuno autonomna vozila predstavljaju kvantni tehnološki napredak u odnosu na današnja vozila. Istaknuto je šta je to autonomno vozilo i potencijalne društvene, ekonomske i ekološke prednosti autonomne revolucije. Opisano je kako autonomna vozila ovise o podacima dobivenim od njihovih senzora kako bi percipirali i upravljali okolinom. Autonomni automobili (koji se nazivaju i vozila bez vozača, automobili koji se sami voze ili robotski automobili) više nisu ograničeni na djela znanstvene fantastike. Već danas postoje vozila na cesti s naprednim sistemima za pomoć vozačima (ADAS) koji održavaju brzinu, kočnicu i manevrisanje s ograničenim ili nikakvim angažmanom vozača. Prateći ta dostignuća, autonomna vozila su naredni korak automobilske industrije, a inicijative za razvoj i testiranje odvijaju se diljem svijeta. Opremljena su veoma složenim senzorskim sistemom koji promatrajući okolinu stvara sliku o istoj. Na osnovu tih podataka te temeljnog cilja putovanja računarski sistem donosi različite odluke u zavisnosti od problema. Strateške odluke koje rješavaju

^{*} Prof. dr. Abidin Deljanin, Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, BiH

^{*} Emir Deljanin MA - dipl. inž. saobr., Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, BiH; IFSTTAR-Nantes, France

^{*} Asima Deljanin MA - dipl. inž. saobr.

***Prilmljeno / Received:** 03. 06. 2019.

Prihvaćeno/Recenzirano /Accepted/ Reviewed: 08. 06. 2019.

problem rutiranja vozila od polazne do ciljne tačke, taktičke odluke pronalaze rješenje za probleme preticanja, obilaženja, te operativne odluke usmjerene su na održavanje brzine i razmaka između vozila. Pored toga postoji i niz drugih sistema manje složenih koji upravljaju informacijskim i energetskim procesima i uređajima. Korištenje električne energije za pogon nije izravno povezano s konceptom autonomnosti, nego je došlo kao buduća moguća uspješna zamjena za fosilna goriva. Odluke se provode prema sistemima i uređajima vezanima za pojedine funkcije vozila (pogon, manevar, signalizacija). Sve ovo stvara veliku količinu podataka (big data) i potrebu za procesiranjem u stvarnom vremenu. Većina iz automobilske industrije za proizvodnju autonomnih vozila temelji rad svojih vozila na sistemu detekcije poznat kao LiDAR.⁴ Tehnologija predstavlja sistem najsavremenijih senzora koji koriste pulseve laserskog svijetla za precizno prikazivanje okruženja automobila odnosno interakciju između samog vozila i svih objekata u njegovom okruženju. 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.⁵

1. PRINCIP RADA LIDAR TEHNOLOGIJE

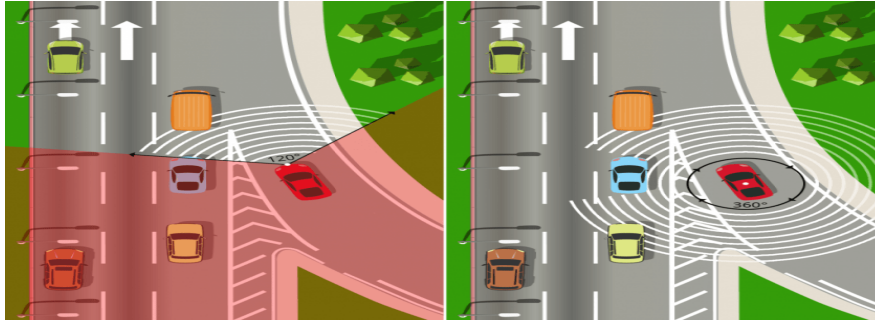
Posljednjih godina došlo je do značajnog unapređenja performansi laserskih sistema snimanja, zahvaljujući razvoju mobilne senzorske tehnologije. Tako na primjer, frekvencija ponavljajućih impulsa ALS (eng. Airborne Laser Scanning- Lasersko skeniranje u zraku) sistema početkom 90-tih godina bila je 2 kHz, do 2007. godine se povećala na 200 kHz, dok je posljednjih godina uvećana do 800 kHz. Vrhunske značajke performansi koje se mogu koristiti u istraživanju LiDAR tehnologije su vidno polje, domet, razlučivost i brzina rotacije/slike.⁶ To su sposobnosti potrebne za pouzdano i sigurno vođenje autonomnog vozila kroz složen skup elemenata u vožnji koje će se pojaviti na cesti. LiDAR je sistem koji koristi lasersku svjetlost i šalje impulse van vidljivog spektra kako bi definisao udaljenost nekog objekta.

Vidno polje: Tehnologija LiDAR za siguran rad autonomnih vozila i optimalnu vožnju omogućuje horizontalno vidno polje od 360 stepeni (nemogući stepen vidnog polja osobe). Široko horizontalno vidno polje posebno je važno za navigaciju u situacijama koje se javljaju u svakodnevnoj vožnji. Na primjer, možemo razmotriti scenarij izvođenja brzog spajanja na autocestu predstavljeno na slici 1. Za manevar je potreban pogled dijagonalno iza autonomnog vozila kako bi se vidjelo da li se drugi automobil kreće u susjednoj traci. To također zahtijeva pogled približno okomito na mjesto kojim se trenutno kreće vozilo kako bi se procijenila vozila u susjednoj traci i potvrdilo da postoji mjesto za spajanje. Kroz ovaj proces, vozač mora pratiti situaciju naprijed kako bi mogao reagovati na dešavanja u saobraćaju ispred njega. Iz tih razloga, usko vidno polje bilo bi nedovoljno da vozilo sigurno izvrši manevar spajanja. LiDAR senzori koji se okreću optimalni su za primjene jer je jedan senzor sposoban za snimanje punog prikaza od 360 stepeni. Nasuprot tome, ako autonomno vozilo koristi senzore s ograničenim horizontalnim vidnim poljem, tada je potrebno više senzora, i OBC (On-Board-Computer) vozila mora spojiti podatke prikupljene ovim različitim sensorima.

⁴A. Holgado-Barco, D. González-Aguilera, P. Arias-Sánchez, J. Martínez-Sánchez, An automated approach to vertical road characterization using mobile LiDAR systems: longitudinal profiles and cross-sections, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 96 (2014) 28–37.

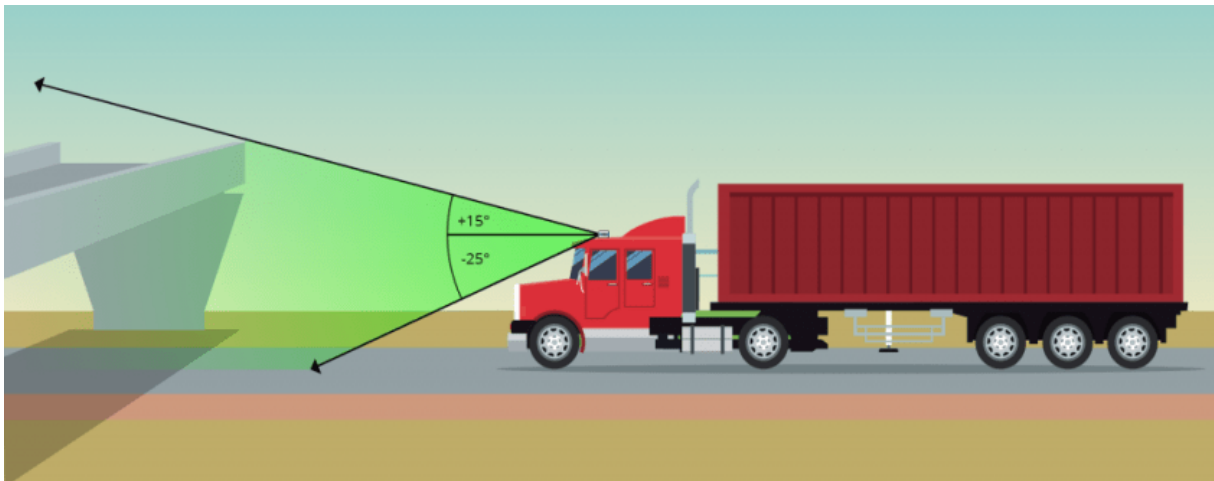
⁵Carter, J., Schmid, K., Waters, K., Betzhold, L., Hadley, B., Mataosky, R., Halleran, J., 2012. An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, NOAA Coastal Services Center 2234 S. Hobson Ave. Charleston, SC 29405 (843)740-1200.

⁶ Wu, J., Xu, H., Zheng, J., 2017. Automatic background filtering and land identification with roadside LiDAR data. In: 20th International Conference on Intelligent Transportation (ITSC), str.4.



Slika 1. Vidno polje vozila opremljeno sa i bez LiDAR tehnologije

Domet: Vertikalno vidno polje je drugo područje gdje je važno da LiDAR sposobnosti odgovaraju stvarnim potrebama vožnje. LiDAR treba vidjeti cestu kako bi prepoznao područje na kojem se može voziti, izbjegavajući predmete i objekte, ostajući u svojoj traci i mijenjajući trake ili vršiti polukružno skretanje na raskrsnici. Autonomnim vozilima također su potrebni LiDAR senzori koji su postavljeni dovoljno visoko da otkriju visoke objekte, saobraćajne znakove kao i kretanje gore ili dolje na nagibima.



Slika 2. Vertikalna detekcija objekata pomoću LiDAR tehnologije

Tehnologija LiDAR-a je tema koja stvara značajne novosti u auto industriji. Autonomnim vozilima mora se obezbijediti što više mogućnosti kako bi se optimizirala sigurnost. Pri brzinama na autocesti, minimalni domet od 200 metara omogućuje vozilu vrijeme koje je potrebno za reagovanje na promjenjive uslove na cesti i u okolini. Pri nižim brzinama na magistralnim ili lokalnim cestama a ne autoputevima koriste se senzori sa kraćim dometom ali vozila još uvijek moraju da reaguju brzo na neočekivane događaje na cesti, kao što je osoba koja je fokusirana na mobilni telefon a nalazi se između dva vozila ili objekti koji ispadaju iz kamiona, ostaci na cesti, te životinje koje prijelaze kolovoz. U svakoj od ovih situacija, sensorima na vozilu je potreban određeni raspon kako bi vozilo imalo dovoljno vremena da detektuje osobu ili predmet, klasificira šta je to, utvrdi da li i kako se kreće, a zatim poduzme korake da to izbjegne kako ne bi udarilo u drugi automobil ili objekt.⁷

Razlučivost: Drugi faktor povezan s rasponom je razlučivost. Ovo podrazumjeva reflektivnost, odnosno sklonost objekta da reflektira svjetlo natrag do senzora. Svjetliji predmeti odražavaju više svjetla od tamnijih objekata. Dok mnogi senzori mogu detektovati objekte s visokom reflektivnošću na velikom dometu, daleko manje ih je u stanju detektovati objekte niske reflektivnosti u rasponu. Najnoviji LiDAR senzori mogu detektovati objekte niske reflektivnosti na rasponima koji su potrebni za sigurnost na autocesti.

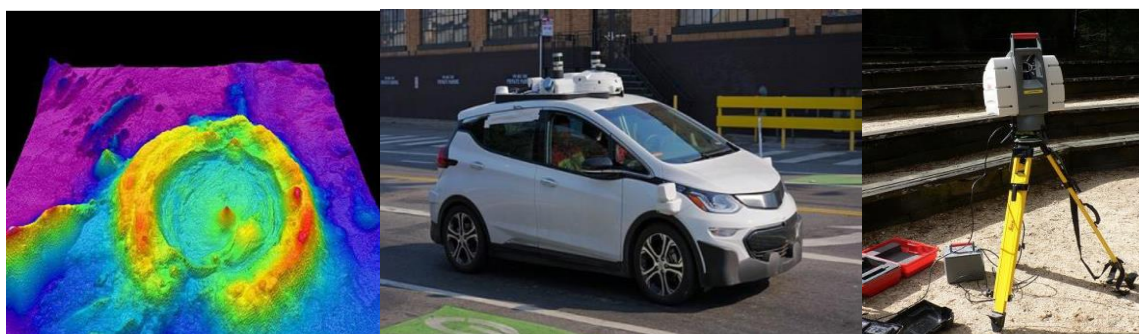
⁷ M. Varela-González, H. González-Jorge, B. Riveiro, P. Arias, Automatic filtering of vehicles from mobile LiDAR datasets, Measurement 53 (2014) 215-223.

Rezolucija: LiDAR visoke rezolucije je kritičan za otkrivanje objekata i izbjegavanje sudara pri svim brzinama. Veća rezolucija omogućuje senzoru da preciznije odredi veličinu, oblik i lokaciju objekata, pri čemu najnapredniji LiDAR senzori mogu detektovati objekte unutar 3 cm, a neki se približavaju i uočavanju objekata unutar 2 centimetra. Ova veća rezolucija nadmašuje čak i radar visoke rezolucije i daje vozilu najjasniju moguću viziju kolovoza. Da bismo ispitali važnost rezolucije, možemo razmotriti primjer fragmenta gume na cesti. Sistem LiDAR mora ne samo da detektuje objekat, nego mora i prepoznati šta je to. To nije nevažan zadatak s obzirom da zahtijeva otkrivanje tamnog objekta na tamnoj površini, tako da senzor s većom rezolucijom povećava sposobnost vozila da tačno detektuje i klasificira objekt. Kako bi pomogao u procesu reagiranja na događaje na kolovozu, za razliku od kamera, LiDAR nudi 3D slike okoline s preciznim mjerenjem udaljenosti objekata od vozila.

2. ULOGA LIDAR TEHNOLOGIJE U SIGURNOSTI UPRAVLJANJA AUTONOMNIM AUTOMOBILIMA

Primjena softverskog alata pri simulaciji LIDAR tehnologije:

- ◆ Detekcija i rangiranje svjetla
- ◆ Optička svojstva: $v > 10\text{THz}$
- ◆ Opto-elektronski lanac
 - Izvor
 - Svjetlosni kolektor
 - Lanac za prikupljanje signala
 - Foto detektor



a) b) c)
Slika 3. Različite oblasti primjene LiDAR tehnologije

Na predhodnim slikama prikazane su različite mogućnosti korištenja LiDAR tehnologije i šta obezbjeđuju u različitim oblastima kao što su:

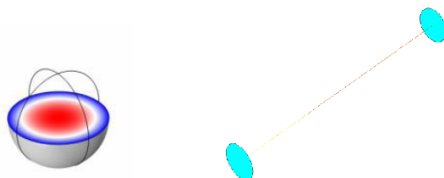
- Geodetsko geografski položaj tla, gdje kao rezultat se prikazuje kartografija morskog dna. (Slika 3.(a)). LiDAR, ili 3D laser skeniranje, je osmišljen još davnih 1960-ih za otkrivanje podmornica iz aviona, a rani modeli su uspješno korišteni početkom 1970-ih u SAD-u, Kanadi i Australiji.
- Cestovni saobraćaj, uređaji LiDAR tehnologije smješteni su na krovu autonomnog vozila, pružajući percepciju okoline vozaču unutar vozila, upozoravajući ga na predmete ili objekte u blizini vozila kao i njihovu tačnu udaljenost od automobila. (Slika 3.(b)).
- Građevinska industrija, LiDAR tehnologija nije samo pronašla svoje mjesto u oblasti saobraćaja, laserski daljinomjer je primjer korištenja senzora popularne LiDAR tehnologije. (Slika 3.(c)). Svaki oblak tačaka mora biti prikazan i upotrebljiv u određenom koordinatnom sistemu, georeferenciran i modeliran na način da u konačnici predstavlja prostornu informaciju koja se prezentira kao plan, karta ili 3D model.

Metoda Ray Casting (eng. Render – prikazati) jeste postupak stvaranja slike od nekog modela uz pomoć posebnog programa. Model je opis trodimenzionalnih objekata u definiranom jeziku ili strukturi podataka. Ti podaci mogu sadržavati podatke o geometriji, tački gledišta, teksturi i podatke o osvjetljenju. Ray Casting svoju upotrebu nalazi najčešće u utvrđivanju vidljivih površina u prikazu. Metoda se zasniva na karakterističnim dimenzijama sistema (L) i valnoj dužini (λ). Karakteristična

dimenzija sistema se odnosi na rezoluciju na položaju radijusa (q), valnu dužinu karakterizira rezolucija na valnom vektoru (k).

$$L \gg \lambda$$

Metoda predstavlja slabo lasersko svjetlo koje je praćeno usmjeravanjem laserskih svjetlosnih zraka vrlo usmjerenog širenja.



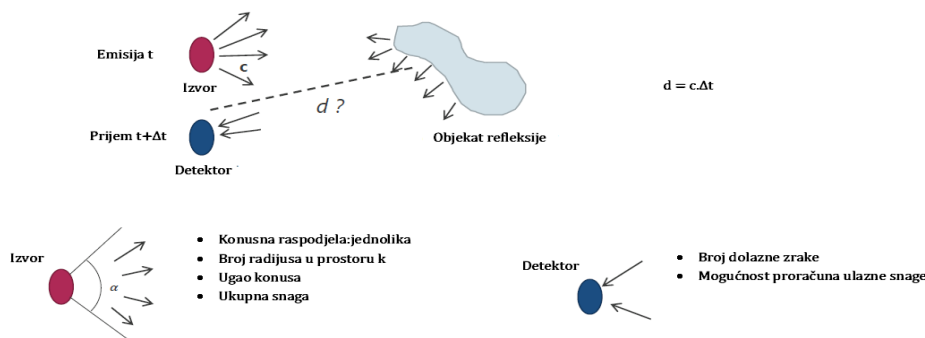
a) b)

Slika 4. Dva različita načina mjerenja učinkovitosti metode Ray Casting

Na slici 4. a) prikazana je heterogena okolina ($\epsilon = \epsilon(r)$) proučavanja leće Lunenburg. Dok je na slici 4. b) predstavljeno proučavanje stabilnosti laserske šupljine zasnovana na interakciji laserske svjetlosne zrake sa preprekama. Nadalje, rad definiše softverske alate za primjenu LiDAR tehnologije i metode potrebne za realizaciju iste.

3. SOFTVERSKI ALATI ZA SIMULIRANJE LiDAR TEHNOLOGIJE

LiDAR nalazi svoje mjesto i u specifičnim zadacima u oblasti saobraćaja. Jedan od područja primjene jeste u ekspertizama saobraćajnih nezgoda. Najviše se koriste fiksni LiDAR sistemi kojima se dokumentuju materijalni dokazi sa lica mjesta. Trodimenzionalno lasersko mapiranje znatno skraćuje procese evidentiranja stanja nakon saobraćajnih nezgoda, samim tim omogućava bržu normalizaciju saobraćaja. LiDAR je i sastavni dio novih tehnologija automatske navigacije. Tako je, na primjer, 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). 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).⁸

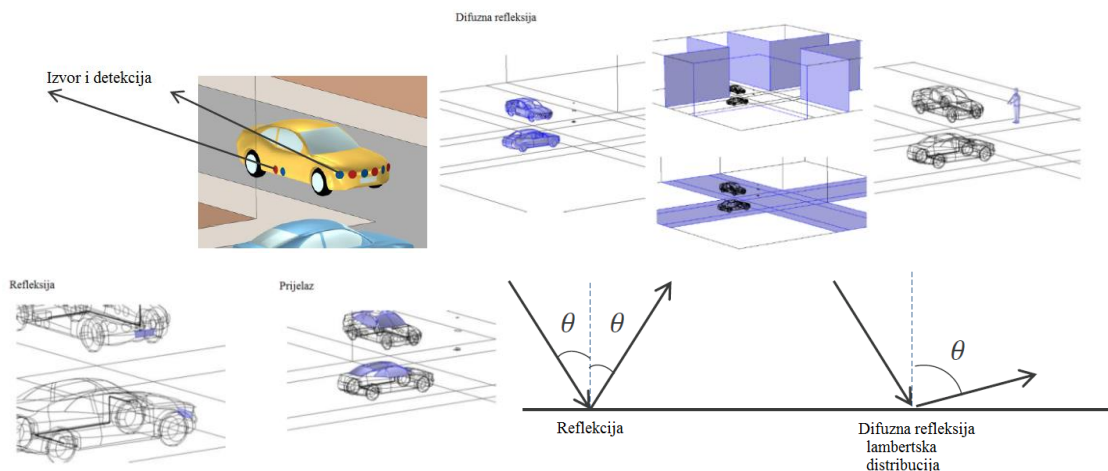


Slika 5. Princip rada LiDAR tehnologije

Sistem MLS (Mobilno LiDAR skeniranje) nudi efikasno rješenje 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

⁸ Wang, H., Wang, B., Liu, B., Meng, X., Yang, G., 2017. Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle. Robot. Autom. Syst. 71-78.

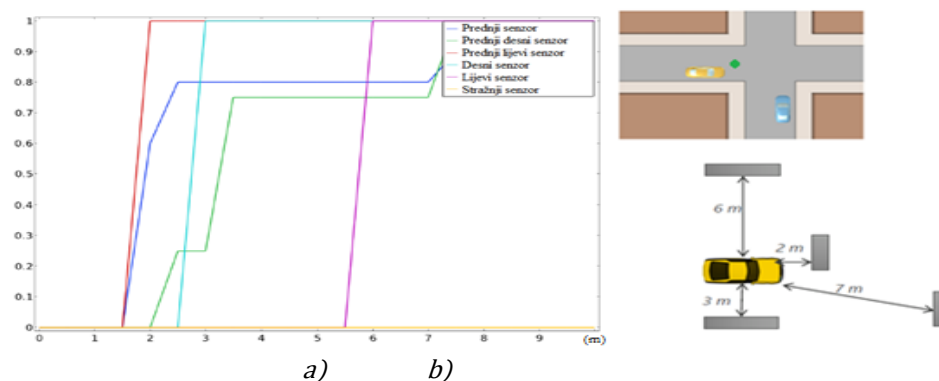
realnom vremenu, odnosno sastavljanja HADM-a još uvijek predstavlja zahtjevan zadatak.⁹ S tim u vezi, intenzivno se razvijaju nove metode i procedure za automatsko prepoznavanje ne samo objekata već i oznaka na putu.¹⁰



Slika 6. Simulacija refleksije svjetlosti na različite površine primjenom tehnologije LiDAR

Slika 6. Predstavlja scenarij djelovanja različitih vidova refleksije na objekte u okolini kretanja vozila. LiDAR senzori prepoznaju različite vidove refleksije i na osnovu toga definišu prepreku na putu ili objekat u svojoj okolini. Pješak na kolovozu reflektuje određenu svjetlost i vozilo ga prepoznaje kao takvu prepreku a s druge strane definisana je na drugi način refleksija objekata i kao takve ih autonomno vozilo opremljeno LiDAR tehnologijom prepoznaje. LiDAR instrument emituje automatske brze impulse laserske svjetlosti na površinu i do 150.000 impulsa u sekundi, senzor na instrumentu mjeri količinu vremena koja je potrebna da se svaki impuls odbije nazad. Svjetlost se kreće konstantnom brzinom tako da LiDAR instrument može da izračuna distancu između sebe i cilja sa viskom preciznošću. Ponavljanjem toga postupka izuzetno velikom brzinom instrument pravi složenu mapu površine koju je izmjerio. Sistem stvara detaljnu 3D mapu terena koja omogućava vozilu da primijeti razliku između automobila i kamiona, bicikla i motocikla i dr. To je od velike važnosti zato što se svi ti objekti ponašaju drugačije pa tako i vozilo mora drugačije reagirati na svaki objekt koji susretne u saobraćaju. Korištenjem više-brojnih senzora lociranim na svim stranama vozila, u rezultatima ćemo prikazati detaljno funkcionisanje senzora i njihovu primjenu u saobraćaju.

4. REZULTATI



Slika 7. Sistem reagovanja LiDAR senzora

⁹ Ai, C., Tsai, Y.J., 2016. An automated sign retroreflectivity condition evaluation methodology using mobile LIDAR and computer vision. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 63, 96–113.

¹⁰ Azim, A., Aycard, O., 2012. Detection, classification and tracking of moving objects in a 3D environment. In: *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, str. 805.

Slika 7. predstavlja sistem reagovanja LiDAR senzora u okolini kojom se vozilo kreće. Na slici 7 a) definisan je grafikon djelovanja senzora u odnosu na udaljenost objekata ili predmeta od vozila opremljenog LiDAR tehnologijom. Grafikonom je prikazano reagovanje svakog senzora, odnosno percepcija objekata na različitim udaljenostima. Na slici 7. b) je prikazana tačna udaljenost objekata od vozila detektovanih od strane LiDAR senzora. Lijevi senzor automobila registruje objekat na udaljenosti 6m od vozila, prednji lijevi senzor detektuje pješaka na udaljenosti 2m od vozila. Na raskrsnici prikazanoj na slici senzor automobila na desnoj strani detektuje još jedan objekat, dok prednji desni senzor detektuje vozilo u drugoj kolovoznoj traci. Najprije se vozaču pali prednji lijevi senzor koji detektuje pješaka ispred vozila, zatim se pale prednji senzori, onda senzori sa desne i lijeve strane. Pulsirajući laserski zrak se reflektuje od objekata, kao što su prednje strane zgrada koje se nalaze na pravcu kretanja laserskog zraka, stubova ulične rasvijete, vegetacije, drugih vozila, te ljudi i životinja. Povratni impulsi se snimaju, a rastojanje između senzora i predmeta se obračunava. Prikupljeni podaci su u "point cloud" formatu, što je trodimenzionalni niz tačaka, od kojih svaka ima x, y i z pozicije u odnosu na izabrani koordinatni sistem. Stvarna računica za mjerenje koliko daleko je povratni svjetlosni foton putovao do i od objekta je prilično jednostavna.¹¹

$$\text{Distanca} = \frac{\text{brzina svjetlosti} \times \text{vrijeme leta}}{2}$$

Tačnost laserskih tačaka se kreće u rasponu (+/-) 10cm po položaju i visinama. Pored lasera koji mogu biti različitih talasnih dužina, zatim skenera, optičkih sistema i fotodetektora, sastavni dio LiDAR tehnologije jesu i sistemi za navigaciju i pozicioniranje.

ZAKLJUČAK

Rad je ilustrirao metodologiju detekcije okruženja u saobraćaju pomoću LiDAR senzora, tip LiDAR senzora, specifikacije i pristup prikupljanju podataka. Primjenom metodologije prikupljanja podataka rezultati modela skeniranja pokazali su da LiDAR senzor sa preciznošću može detektovati sve objekte u saobraćajnom okruženju. Podaci dobiveni iz ovog modela mogu se koristiti u sistem oslanjanja vozila kako bi se predvidilo cestovno okruženje (izbočina, rupa i nepravilnosti na cesti) ili upozorenje vozaču vozila na okolinu ceste i prilagođavanje brzine kretanja. Prikazana simulacija emulira postojeće komercijalne senzore i modelira generički LiDAR senzor za generiranje podataka preko terena određenog korisnika. Korisnik softvera može s lakoćom izmijeniti parametre senzora i trajektorije te generirati dobivene LiDAR podatke. Simulacija može biti korisna za generiranje LiDAR podataka te istraživanja za testiranje algoritama. Također je korisna za demonstraciju procesa prikupljanja LiDAR podataka i razumijevanja utjecaja parametara i njihovih pogrešaka. Predstavljanje terena u velikoj je mjeri riješilo problem reprezentacije objekata. Međutim, to rezultira velikom količinom podataka kojom se upravlja strukturiranjem podataka tako da se podaci unose u simulaciju u dijelovima po potrebi.

U pogledu modela radara, fotoaparata, imamo potpuno validirane i dokumentirane modele senzora temeljenih na fizici. U dosadašnjem usavršavanju LiDAR tehnologije najviše se unapređovalo na polju snimanja odnosno brzine i performansi laserskih i senzorskih sistema i inicijalnog procesiranja podataka. Razvoj modela za ekstrakciju podataka, odnosno finalno prepoznavanje objekata zahtjeva specijalizovana softverska rješenja. Jedan od ključnih izazova je automatska ekstrakcija podataka radi dobijanja informacija u realnom vremenu što smo uspjeli prikazati primjenom simulacijskog softvera. Možemo zaključiti da primjenom simulacijskih softvera i razumjevanju njegovog rada možemo iskoristiti u svrhu generiranja relevantnih podataka. U oblasti ekspertiza saobraćajnih nezgoda može doprinijeti veliki značaj te uspostaviti vezu između naprednih tehnologija vozila sa obučavanjem ljudi koji vrše ekspertize.

LITERATURA:

1. Ai, C., Tsai, Y.J., 2016. An automated sign retroreflectivity condition evaluation methodology using mobile LIDAR and computer vision. Transport. Res. Part C: Emerg. Technol. 63, 96–113.

¹¹ Tonini, M., Abellan, A., 2014. Rockfall detection from terrestrial LiDAR point clouds: a clustering approach using R. J. Spatial Inf. Sci. 2014 (8), str. 102.

2. Azim, A., Aycard, O., 2012. Detection, classification and tracking of moving objects in a 3D environment. In: Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 802–807.
3. A. Holgado-Barco, D. González-Aguilera, P. Arias-Sánchez, J. Martínez-Sánchez, An automated approach to vertical road characterization using mobile LiDAR systems: longitudinal profiles and cross-sections, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 96 (2014) 28–37.
4. Carter, J., Schmid, K., Waters, K., Betzhold, L., Hadley, B., Mataosky, R., Halleran, J., 2012. An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, NOAA Coastal Services Center 2234 S. Hobson Ave. Charleston, SC 29405 (843)740-1200.
5. M. Varela-González, H. González-Jorge, B. Riveiro, P. Arias, Automatic filtering of vehicles from mobile LiDAR datasets, *Measurement* 53 (2014) 215–223.
6. Tonini, M., Abellan, A., 2014. Rockfall detection from terrestrial LiDAR point clouds: a clustering approach using R. *J. Spatial Inf. Sci.* 2014 (8), 95–110.
7. Wang, H., Wang, B., Liu, B., Meng, X., Yang, G., 2017. Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle. *Robot. Autonom. Syst.* 71–78.
8. Wu, J., Xu, H., Zheng, J., 2017. Automatic background filtering and land identification with roadside LiDAR data. In: 20th International Conference on Intelligent Transportation (ITSC), pp. 1–6.