

GLIDAR: NAPREDNO ORODJE ZA OBDELAVO LIDARSKIH PODATKOV

GLIDAR: ADVANCED TOOL FOR LIDAR DATA PROCESSING

Domen Mongus, Denis Horvat

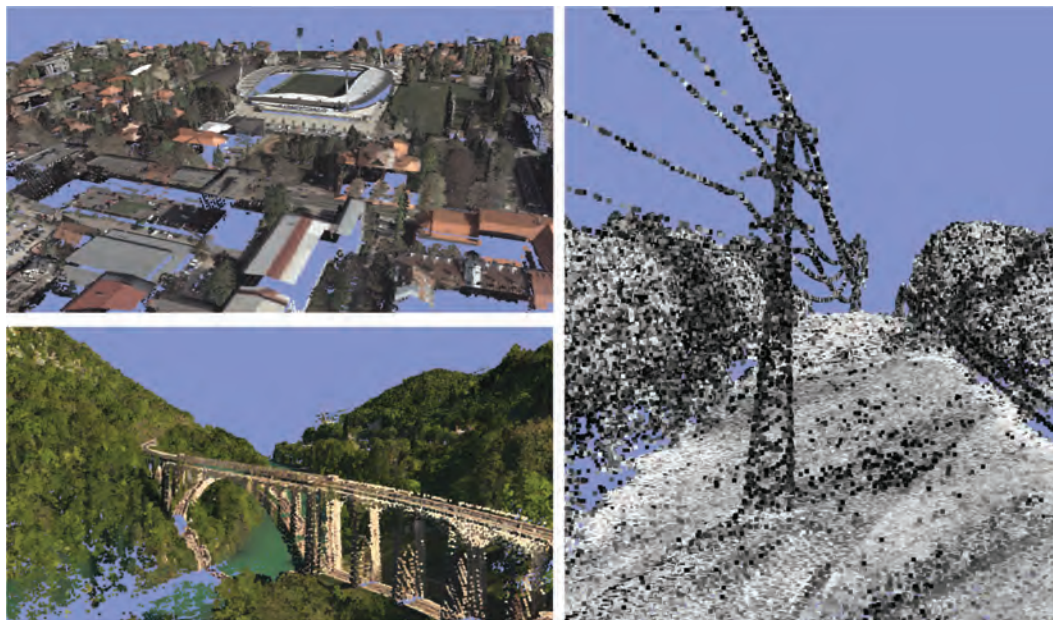
1 UVOD

S sodobnimi optičnimi metodami daljinskega zaznavanja je močno napredovalo opazovanje površja Zemlje ter odkrivanje tridimenzionalnih vzorcev in karakteristik. V zadnjem desetletju so vodilno vlogo na tem področju prevzele tehnologije laserskega prebiranja (skenerjanja), ki omogočajo hiter zajem 3D-točk na velikih geografskih območjih. Laserske prebirmike (skenerje) v ta namen običajno namestimo na letala ali helikopterje, od koder opravljajo natančne meritve karakteristik odbitega laserskega žarka od oddaljenih objektov. Ključna meritev je razdalja do merjenega objekta, ki jo določa časovni zamik med oddajo laserskega impulza in zaznavo odbitega signala. Položaj prebirmika je pri tem določen s sprejemnikom GNSS (angl. *global navigation satellite system*), podporni inercialni merilni sistem (angl. *inertial measurement unit – IMU*) pa meri njegovo rotacijo, naklon in usmerjenost. Tako se izvede georeferenciranje točk. Današnji laserski prebirmiki lahko s posameznim laserskim impulzom hkrati zaznajo tudi več objektov. Tako lahko prodrejo skozi majhne reže v vegetaciji in zaznajo tla pod njimi (Popescu, 2011). Ker so ti sistemi aktivni (v nasprotju s pasivnimi sistemi, kot so digitalni fotoaparati, za meritve uporabljajo lasten vir energije), je natančnost meritev manj odvisna od zunanjih svetlobnih razmer. Med aktivnimi optičnimi merilniki so danes najbolj poznani sistemi LiDAR (angl. *light detection and ranging*), ki dosegajo natančnost merjenja do 0,02 metra (Maune, 2008). Opravijo lahko več kot 200.000 meritev na sekundo in zajamejo več kot 40 točk na kvadratni meter zemeljskega površja.

V Sloveniji se ravnokar izvaja nacionalni projekt zajema lidarskih podatkov z gostoto od 2 do 10 točk na kvadratni meter. Rezultat zajema je množica topološko nestrukturiranih 3D-točk s prirejenimi skalarnimi vrednostmi (glej sliko 1). Količina informacij takšne množice postavlja razpoznavo vzorcev v velikih oblakih 3D-točk med najpomembnejše raziskovalne izzive na področju informacijskih tehnologij, medtem ko se za vsebinsko interpretacijo podatkov zahteva poglobljeno strokovno znanje. Z razvojem naprednih tehnologij daljinskega zaznavanja in vzpostavitvijo ustrezne informacijske infrastrukture lahko tako pričakujemo tudi utrjevanje pomena ved, kot sta geodezija in geografija, ki bosta v bližnji prihodnosti pridobili vodilno vlogo pri vsebinski zasnovi aplikacij.

V članku predstavljamo programsko orodje gLiDAR za razpoznavo objektov v lidarskih podatkih, ki omogoča izdelavo digitalnih modelov reliefa (DMR) ter razdvajanje točk terena, stavb in vegetacije. Z

njim je mogoče pripraviti vsebine za aplikacije in prostorske analize velikih geografskih območij z nekajcentimetrovsko natančnostjo. V poglavju 2 je podan splošen opis algoritmov za razpoznavo objektov, sledi opis delovanja aplikacije v poglavju 3. Rezultati so predstavljeni v poglavju 4, v poglavju 5 pa je podan sklep članka.



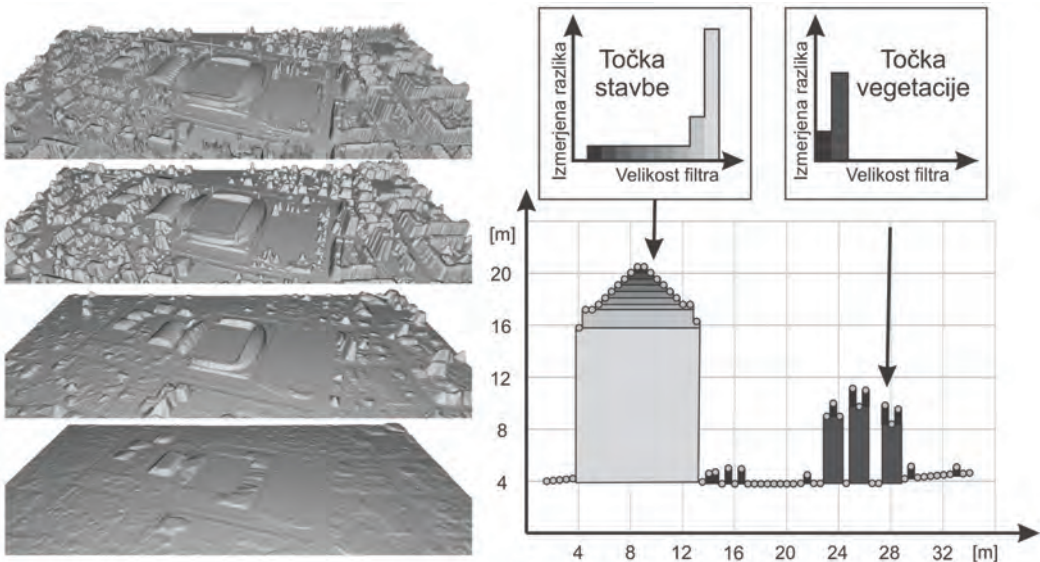
Slika 1: Oblaki lidarskih točk in objekti, predstavljeni v njih.

2 POSTOPKI RAZPOZNAVNE OBJEKTOV V LIDARSKIH PODATKIH

Delovanje orodja gLiDAR temelji na predpostavki, da so točke nižje od drugih objektov (slika 1). Teren torej določimo tako, da iz oblaka lidarskih točk izločimo izstopajoče visoke množice. Izločenim točkam nato izmerimo geometrijske in oblikovne lastnosti (na primer površino, višino ali hrapavost površja) ter glede na te sklepamo, kakšen objekt opisujejo. V ta namen orodje gLiDAR uporablja filtre matematične morfologije.

Čeprav je danes matematična morfologija že precej dobro poznana teorija, na katero se pogosto naslanjajo metode obdelave slik in geometrijskih podatkov, so teoretični detajli zunaj obsega tega članka. Celovit pregled področja sta predstavila Najman in Talbot (2014), tu pa opišemo le osnove, ki so potrebne za razumevanje delovanja orodja gLiDAR. Podobno kot običajni filtri tudi morfološki filtri iz vhodne množice podatkov izločijo informacije in na izhodu podajo okrnjeno množico točk. Morfološki filtri pri tem ne brišejo točk, temveč zgolj spremenijo njihove višine. Iz vhodnih lidarskih podatkov lahko odstranimo izbokline, tako da jih izravnamo z njihovo okolico. Velikost filtra pri tem določa velikost izboklin oziroma objektov, ki jih bo filter izravnal. Kadar želimo iz lidarskih podatkov izločiti vse objekte in ohraniti zgolj teren, moramo uporabiti filter, ki je večji od največjega vsebovanega objekta. Pri tem obstaja velika nevarnost, da tako odstranimo tudi detajle terena (na primer nasipe, grebene ali vrhove gora). Po drugi strani lahko z majhnim filtrom ohranimo detajle terena in izločimo majhne objekte, velike

objekte pa ohranimo (slika 2). Za razpoznavo objektov v lidarskih podatkih je tako ključnega pomena izbira pravilne velikosti filtra (Mongus in Žalik, 2014).



Slika 2: Filtriranje lidarskih podatkov z različnimi velikostmi filtra (levo) in izmerjene razlike (desno); opazimo lahko, da je pri majhnem objektu (vegetacija) največja razlika pri majhni velikosti filtra, pri stavbah pa nastane, če je filter velik.

Orodje gLiDAR izvaja filtriranje z različnimi velikostmi filtra. Postopek poteka iterativno, od majhnega filtra proti velikemu, tako da se v vsakem koraku postopno izravnava večje množice točk. Pri tem se v vsakem koraku izmerijo višinske razlike pred filtriranjem in po njem, kot optimalna velikost filtra pa se izbere vrednost, pri kateri so nastale največje višinske razlike (slika 2). Pokažemo lahko namreč, da se takšen filter optimalno prilega dani okolici, njegova velikost pa hkrati opisuje širino visokih izstopajočih množic točk. Pomembno informacijo pri tem nosi tudi višinska razlika, ki jo je filter povzročil. Ta nam namreč pove, koliko je množica točk dvignjena nad svojo neposredno okolico (Mongus in Žalik, 2014).

Orodje gLiDAR izbere točke terena glede na razmerje med velikostjo množice točk in njeno višinsko razliko z okolico. Tako lahko izloči majhne množice točk, tudi če njihove višinske razlike z okolico niso posebno velike, medtem ko velike množice točk izloči le, kadar so občutno dvignjene nad okolico. Nad odstranjenimi množicami točk nato izvede analizo površja, na podlagi katere je mogoče razlikovanje med stavbami in vegetacijo. Pri tem se naslanja na dejstvo, da točke na strehah stavb opisujejo eno ali več ravnin, medtem ko so točke v vegetaciji le redko na ravnini. Orodje gLiDAR loči med točkami stavb in točkami vegetacije, tako da v okolico vsake točke vstavi najboljše prilegajočo se ravnino. To določi analitično, z metodo najmanjših kvadratov. Če je razdalja točk od najboljše prilegajoče se ravnine dovolj majhna, pri čemer je sama množica izločenih točk dovolj velika, dano točko prepoznamo kot točko na stavbi (Mongus in sod., 2014), sicer jo gLiDAR uvrsti med točke vegetacije ali pa med nepoznane objekte, če geometrijske lastnosti množice ne ustrezajo merilom vegetacije (glede na višino, širino ali obliko). Pozneje gLiDAR razdeli razred vegetacije še v točke nizke, srednje in visoke vegetacije. V ta namen jih gruči in določi razred celotni gruči glede na njeno višino.

Čeprav smo podali zgolj posplošen opis postopkov, na katerih temelji delovanje orodja gLiDAR, je njihovo razumevanje pomembno, da lahko uporabniki kar se da dobro izkoristimo zmožnosti, ki jih ponuja. V naslednjem poglavju predstavimo nekaj osnovnih funkcionalnosti z uporabniškega vidika.

3 DELOVANJE PROGRAMSKEGA ORODJA GLIDAR

V prejšnjem poglavju opisani koncepti so vgrajeni v programsko orodje gLiDAR. Orodje je razdeljeno na več modulov, od katerih vsak skrbi za svoj izdelek (na primer izdelavo DMR, klasifikacijo stavb ali klasifikacijo vegetacije). Preden izvedemo posamezno nalogo, program gLiDAR omogoča predoglede rezultatov, ki jih bomo dobili ob danih nastavitvah (slika 3). Te prikaže v obliki analitično senčenega površja, izdelanega iz lidarskih podatkov. Pri tem z barvo označi objekte, ki jih bo izbrani modul odstranil oziroma razpoznal kot stavbe ali vegetacijo. To je seveda odvisno od predogleda operacije, ki jo želimo izvesti. Če med predogledom spreminjamo nastavitve filtra, se predogled samodejno osvežuje, kar uporabnikom omogoča ugaševanje nastavitev filtrov za kar se da natančen rezultat. Čeprav je samodejna izbira prepoznanih objektov večinoma uspešna, ima uporabnik možnost ta območja tudi ročno popravljati. To lahko izvede z orodjema pero in radirka.



Slika 3: Prikaz površja z analitičnim senčenjem in samodejna zaznava objektov.

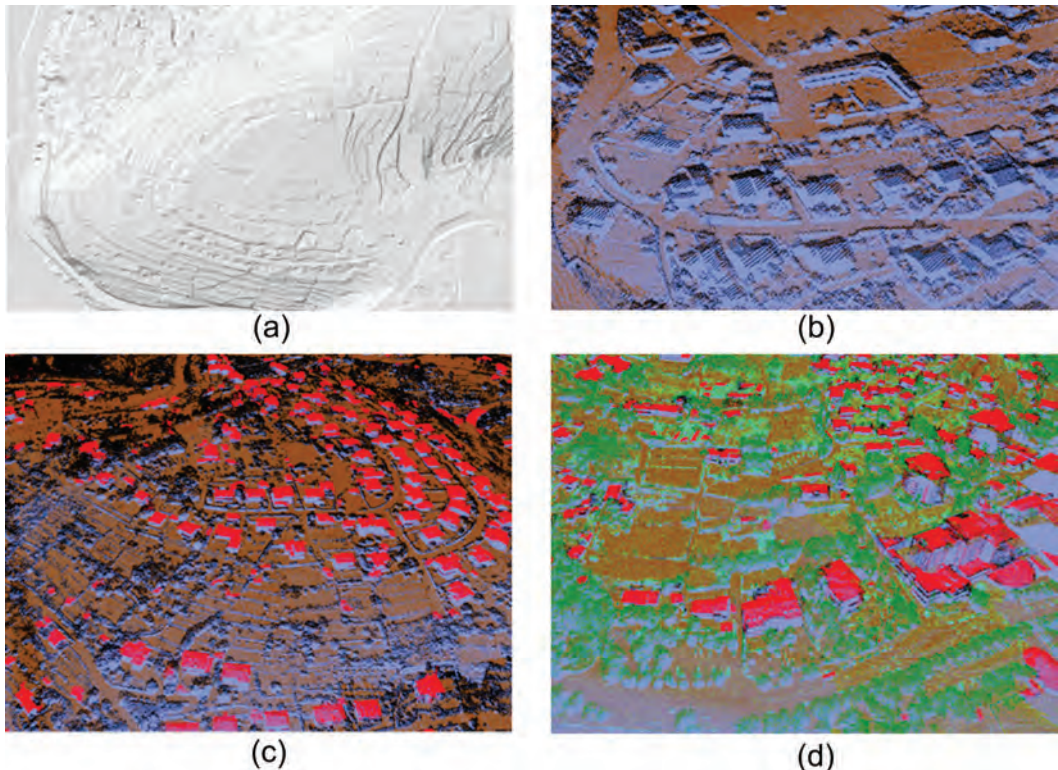
Moduli programa gLiDAR za zdaj omogočajo izdelavo DMR, podobo analitičnega senčenja (PAS) in klasifikacijo terena, stavb ter nizke, srednje in visoke vegetacije. Vsak modul je uporabniku dostopen v ločenem zavihku, kjer lahko nadzira parametre obdelave. Pomembnejši uporabniško nastavljeni parametri posameznih modulov so podani v preglednici 1.

Čeprav ima vsak zavihkek nastavljljive parametre, ki so specifični zanj, je vsem zavihkom skupna funkcionalnost obdelovanja več datotek hkrati. Tako lahko uporabnik naloži seznam datotek, ki jih želi obdelati, in v celoti izkoristi procesorsko moč sistema, saj datoteke pri razpoložljivosti več procesorskih jeder obdelujemo paralelno, zaradi česar se zelo skrajša čas obdelave. Program nam med obdelavo izpisuje datoteke, ki so v obdelavi, datoteke, ki so bile že obdelane, in datoteke, pri katerih se je pojavila napaka. Slednje se beležijo, da lahko uporabnik ugotovi, kje in zakaj so se zgodile napake, ter jih poskuša odpraviti.

Preglednica 1: Pregled in pomen pomembnejših parametrov posameznega modula.

<p>Klasifikacija terena in izdelava DMR</p>	<p>Ločljivost: določa velikost celic v mreži, ki jo bomo uporabili pri izdelavi DMR. Večja, kot je ločljivost, bolj natančen bo DMR, vendar bo daljši tudi čas obdelave. Standardni ločljivosti DMR sta 0,5 m × 0,5 m ali 1 m × 1 m. Ta ločljivost pa ni vedno mogoča, saj je omejena z gototo oblaka točk, ki ga obdelujemo.</p> <p>Največja velikost filtra: predstavlja dolžino/širino največjega objekta, ki ga bomo še lahko filtrirali. Večji, kot je filter, večje objekte bomo lahko filtrirali, vendar nam bo to vzelo več časa. Hkrati pri strmih gorovjih ni priporočljivo uporabljati velike vrednosti tega filtra, saj lahko izločimo tudi vrhove gora in ostrih grebenov.</p> <p>Vrednosti k in n: opisujeta razmerje med velikostjo in višinsko oddaljenostjo množic točk od okolice. To razmerje je določeno z linearno funkcijo, pri čemer n opisuje minimalno višinsko razliko, pri kateri bo množica odstranjena, k pa, kako se ta razlika povečuje s povečevanjem velikosti množice.</p>
<p>Klasifikacija stavb</p>	<p>Največja napaka ravnine: določa maksimalno odstopanje točk od najbolj prilagajoče se ravnine (ukrivljenost), da točko še vedno razpoznamo kot del objekta.</p> <p>Velikost okolice: velikost ploskve, ki jo uporabljamo za iskanje najboljšega prilaganja.</p>
<p>Klasifikacija vegetacije</p>	<p>Najmanjša napaka ravnine: ker vegetacija proizvede velike napake pri računanju ravnin, ta parameter določa, kolikšna mora biti najmanjša napaka, da točko prepoznamo kot del vegetacije.</p> <p>Velikost okolice: ima enak pomen kot pri klasifikaciji stavb.</p>

4 REZULTATI OBDELAVE



Slika 4: Prikaz a) DMR, b) izločitve terena, c) izločitve zgradb in d) izločitve vegetacije.

Zaradi paralelne implementacije je obdelava podatkov v orodju gLiDAR hitra. Izračunali smo, da za obdelavo 1 giga zloga podatkov in izdelave vseh navedenih izdelkov potrebujemo približno 7 minut. Izdelki ohranjajo visok standard kakovosti na urbanih in podeželskih območjih. Povprečna napaka DMR pri ločljivosti 1 m × 1 m je manjša od 8 centimetrov, pravilnost klasifikacij pa je v vseh primerih nad 90 %. Na sliki 4 so prikazani izdelki, ki jih je mogoče izdelati z orodjem gLiDAR.

5 SKLEP

V članku predstavljamo orodje gLiDAR za obdelavo lidarskih podatkov. Orodje je plod slovenskega znanja in je bilo izdelano na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Omogoča obdelavo lidarskih podatkov, ki jih glede na standardni datotečni format LAS (ASPRS, 2014) prepoznamo kot točke terena, stavb ter nizke, srednje in visoke vegetacije. Orodje je enostavno za uporabo in dosega zavidljivo kakovost rezultatov, ki večinoma presega 90-odstotno pravilnost in celovitost razpoznavne. S hkratno obdelavo več datotek dosežemo tudi visoko računsko učinkovitost, ki nam omogoča, da 1 giga zlog podatkov obdelamo v manj kot sedmih minutah.

Viri:

- ASPRS (2014). LAS specifications version 1.4, The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. <http://www.asprs.org/Committee-General/LASer-LAS-File-Format-Exchange-Activities.html>, pridobljeno 24. 2. 2015.
- Format standard. www.asprs.org, pridobljeno 7. 8. 2009.
- www.liblas.org, pridobljeno 7. 8. 2009.
- Najman, L., Talbot, H. (2013). *Mathematical Morphology*. John Wiley & Sons.
- Maune, D. F. (2008). *Aerial mapping and surveying*. V: *Land Development Handbook* (3rd edn), S. O. Dewberry in L. N. Rauenzahn (ed.), McGraw-Hill Professional, 877–910.
- Mongus, D., Lukač, N., Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 145–156. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.002>
- Mongus, D., Žalik, B., (2014). Computationally Efficient Method for the Generation of a Digital Terrain Model From Airborne LiDAR Data Using Connected Operators. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(1), 340–351. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jstars.2013.2262996>
- Popescu, S. (2011). *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications*. V: Weng, Q. (ed.), CRC Press, Boca Raton, 57–84.

Doc. dr. Domen Mongus, univ. dipl. inž. rač. in inf.
Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor
e-naslov: domen.mongus@um.si

Denis Horvat, mag. inž. rač. in inf. tehnol.
Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor
e-naslov: denis.horvat@um.si