

ZNANSTVENO STRUČNI SKUP

VIZIJA I IZAZOVI UPRAVLJANJA ZAŠTIĆENIM
PODRUČJIMA PRIRODE U REPUBLICI HRVATSKOJ

AKTIVNA ZAŠTITA I ODRŽIVO UPRAVLJANJE U
NACIONALNOM PARKU „KRKA”

Zbornik radova

Šibenik, 28. rujna – 3. listopada 2015.

ZBORNİK RADOVA SA ZNANSTVENO-STRUČNOG SKUPA VIZIJA I IZAZOVI UPRAVLJANJA
ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA PRIRODE U REPUBLICI HRVATSKOJ: AKTIVNA ZAŠTITA I ODRŽIVO
UPRAVLJANJE U NACIONALNOM PARKU „KRKA”

NAKLADNIK:

Javna ustanova „Nacionalni park Krka”

ZA NAKLADNIKA:

Krešimir Šakić

UREDNIK:

Drago Marguš

LEKTOR:

Vilijam Lakić

KOREKTOR:

Drago Marguš

LIKOVNO OBLIKOVANJE I OBRADA KOLORA:

iDesign, Šibenik

TISAK:

Kerschoffset, Zagreb

NAKLADA:

300 primjeraka

Šibenik, 2017.

ISBN 978-953-7406-50-9

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne
i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 000973843.

ORGANIZATOR:

Javna ustanova „Nacionalni park Krka”

POKROVITELJ:

Ministarstvo zaštite okoliša i energetske učinkovitosti

ORGANIZACIJSKI ODBOR:

Krešimir Šakić, predsjednik

Nenad Strizrep, dopredsjednik

Drago Marguš, tajnik

Anka Sladić, blagajnica

ČLANOVI:

Mate Bačić, Doris Banić, Ivona Cvitan, Silvija Čaleta, Tamara Čimbora Zovko, Stanislav Frančišković Bilinski, Gordana Goreta, Tihana Jurić, Mladen Kerovec, Vilijam Lakić, Marin Malenica, Ivan Martinić, Valentina Mejić, Nataša Zaninović, Katia Župan

PROGRAMSKI ODBOR:

Predsjednik: Drago Marguš

Dopredsjednik za prirodne znanosti: Ivan Martinić

Dopredsjednik za društvene znanosti: Nenad Cambj

ČLANOVI:

Anita Babačić Ajduk, Neven Cukrov, Stanislav Frančišković Bilinski, Matija Franković, Vladimir Hršak, Mladen Kerovec, Tarzan Legović, Gordan Lukač, Marko Mendušić, Kazimir Miculinić, Zvonko Seletković, Joško Zaninović

MJESTO I VRIJEME ODRŽAVANJA:

Hotel Ivan, Solaris Hotel Resort, Hoteli Solaris 86, 22000 Šibenik, Hrvatska,
28. rujna – 3. listopada 2015.

OBRADA LiDAR PODATAKA I STVARANJE GIS BAZE POMOĆU ORTO SKY ALATA NA PRIMJERU SKRADINSKOG BUKA

Vlatko Roland¹, Ante Šiljeg² i Anja Batina¹

¹ Prehnit d.o.o., Garićka 11, 10000 Zagreb, Hrvatska (vlatko@prehnit.hr, anja@prehnit.hr)

² Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Hrvatska (asiljeg@unizd.hr)

LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) je tehnologija prostornog laserskog skeniranja za automatizirano i efikasno prikupljanje prostornih podataka. Zbog velike frekvencije mjerenja (do 200 kHz), moguće je detaljno izmjeriti oblik terena i objekata na njemu u kratkom vremenskom roku. Rezultat laserskog skeniranja je skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka. Područje slapova u NP „Krka” snimljeno je 2014. godine LiDAR tehnologijom gustoće ~30 točaka/m². S obzirom na veliku količinu prikupljenih podataka, izvršena je segmentacija oblaka točaka, odnosno podaci su grupirani prema geometrijskim karakteristikama objekta na koji se odnose, zbog provođenja naknadnog filtriranja i klasifikacije podataka. Filtriranjem su odvojene korisne informacije od neželjenih, a klasifikacijom su iz oblaka točaka izdvojeni različiti objekti na terenu i preraspodijeljeni u klase (slojeve). Za topografsku primjenu laserskog skeniranja iz zraka u području Skradinski buk korištene su sljedeće klase: visoka vegetacija, niska vegetacija, građevina, voda i teren. Iz klase visoka vegetacija dobiveni su podaci o visini vegetacije i količini biomase. U klasu građevina spadaju građevine, komunalne infrastrukture, ceste, dalekovodi i drugi izgrađeni objekti. Svrha rada je prikazati mogućnost interpretacije LiDAR snimki i automatizirano popunjavanje GIS baze podataka (vektorskim podacima i atributima) iz prikupljenog oblaka točaka korištenjem ortoSky alata. Provođenjem filtriranja, klasifikacije i modeliranja oblaka točaka izvršena je topografska izmjera, određena visina i gustoća vegetacije i postavljeni uvjeti za generiranje digitalnog modela reljefa i digitalnog modela površina. Tako dobiveni podaci bit će korišteni za kartiranje područja Nacionalnog parka „Krka” i praćenje stanja sedrenih barijera.

Ključne riječi: LiDAR, oblak točaka, klasifikacija, ortoSky, GIS baza podataka, NP „Krka”

Uvod

LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) je tehnologija daljinskih istraživanja za prostorno lasersko skeniranje. S obzirom na potrebu za snimanjem veće površine terena i za većom pokretljivošću skenera, često se koristi zrakoplov ili helikopter kao platforma na koju je postavljen skener. Ta tehnologija prostornog laserskog skeniranja zove se lasersko skeniranje iz zraka. Pri skeniranju iz zraka sustav aktivno šalje svjetlosnu energiju prema zemlji. Emitirana svjetlost naziva se laserski signal. LiDAR tehnologija mjeri svjetlost reflektiranu natrag prema senzoru, odnosno vrijeme potrebno da se reflektirani signal vrati do skenera [1]. Dakle, svjetlosni signali putuju prema zemlji i vraćaju se a senzor ih detektira i daje raspon (promjenjivu udaljenost) na Zemlji.

Platforma korištena za snimanje područja Skradinskog buka 2014. godine je helikopter Eurocopter EC120B na koji je postavljena fotokamera Hasselblad H39 i LiDAR sustav Riegl LMS-Q780.

U procesu laserskog skeniranja iz zraka LiDAR jedinica skenira tlo od jedne strane na drugu stranu kako avion leti, te tako pokriva veće područje. Neki signali bit će izravno na osi nadira, no većina signala putuje pod kutom (oko 20° od osi nadira) (URL 1) pa se laserska zraka raspršuje na vegetaciji, ostalim objektima i od površine terena. Dakle, energija laserskog sustava širi se u svim smjerovima pa se mali dio bilježi u senzoru, pri čemu LiDAR sustav uzima u obzir kut kada računa visinu.

LiDAR podaci pohranjeni su u LAS formatu kao oblak točaka. Taj format održava ASPRS (engl. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*). LAS format olakšava razmjenu između dobavljača i klijenata bez gubitka informacija.

LiDAR je koristan alat koji nudi brzu, široku kolekciju vrlo detaljnih podataka o površini terena. Visinski podaci prikupljeni LiDAR tehnologijom služe kao skupovi podataka za ispitivanje geomorfološke promjene i izradu modela. Ta tehnologija može snimiti stotine četvornih kilometara u jednom danu. Mjerenjem ~30 točaka po četvornom metru može se generirati detaljan digitalni model terena. Točnost mjerenja točke omogućuje da se generirani modeli mogu koristiti za proces planiranja, dizajna i odlučivanja.

LiDAR signal može se probiti kroz guste krošnje, što omogućava prikupljanje podataka o terenu koje sateliti ne mogu snimiti, kao i snimanje pokrovnosti terena dovoljno detaljno kako bi se omogućila kategorizacija vegetacije i praćenje. Rezolucija i pozicijska točnost LiDAR tehnologije rezultiraju korištenjem tehnologije za snimanje i mjerenje nadzemnih značajki na velikim područjima, uključujući vodove, obrise građevina i tornjeve.

Zračni LiDAR sastoji se od laserskog skenera visoke frekvencije koji bilježi vremensku razliku između emisije laserskog signala i prijama reflektiranog signala iz okoline. Kombinirajući te podatke s podacima položaja i orijentacije skenera (određenim diferencijalnim kinematičkim GPS-om i inercijalnom mjernom jedinicom) LiDAR stvara vrlo precizne i detaljne modele Zemljine površine s visinskom točnošću do +/- 10 cm. Prednosti i ograničenja rukovanja LiDAR tehnologijom dani su u tablici 1.

Tablica 1. Pregled prednosti, ograničenja i postupaka korištenja LiDAR tehnologije

Prednosti	<ul style="list-style-type: none"> • brz • točan • puno podataka • izvrsna prostorna pokrivenost • može se koristiti za mjerenje visine vegetacije • s pravim softverom može izračunati razlike u volumenu između različitih vremenskih razdoblja
Ograničenja	<ul style="list-style-type: none"> • skup • ne može prodrijeti kroz vodu za mjerenje visine terena • LiDAR tehnologija zahtijeva visoko specijalizirane instrumente i obuku

LiDAR

Komponente LiDAR sustava

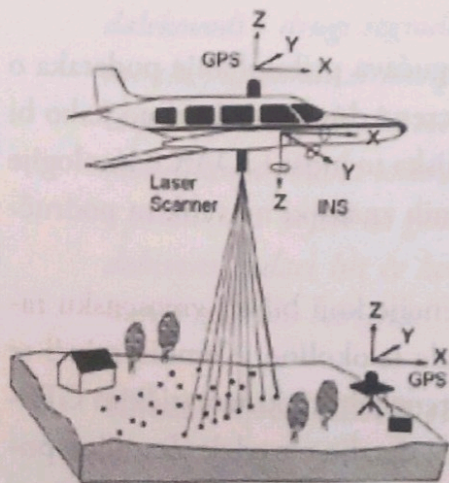
Komponente LiDAR sustava neophodne za proizvodnju vrlo preciznih, upotrebljivih rezultata (URL 1) (sl. 1):

LiDAR senzori skeniraju tlo s jedne strane na drugu stranu kako zračna platforma leti. Senzor snima najčešće u bliskoinfracrvenom kanalu

GPS prijamnici prate visinu i položaj aviona. Te su varijable važne u postizanju točne visine leta

Inercijalne mjerne jedinice prate nagib zračne platforme u letu. Izračuni visina koriste nagib za točno mjerenje kuta signala

Računala (snimanje podataka) bilježe sve podatke o visini dok LiDAR skenira površinu.



Slika 1. Prikaz komponenti LiDAR sustava

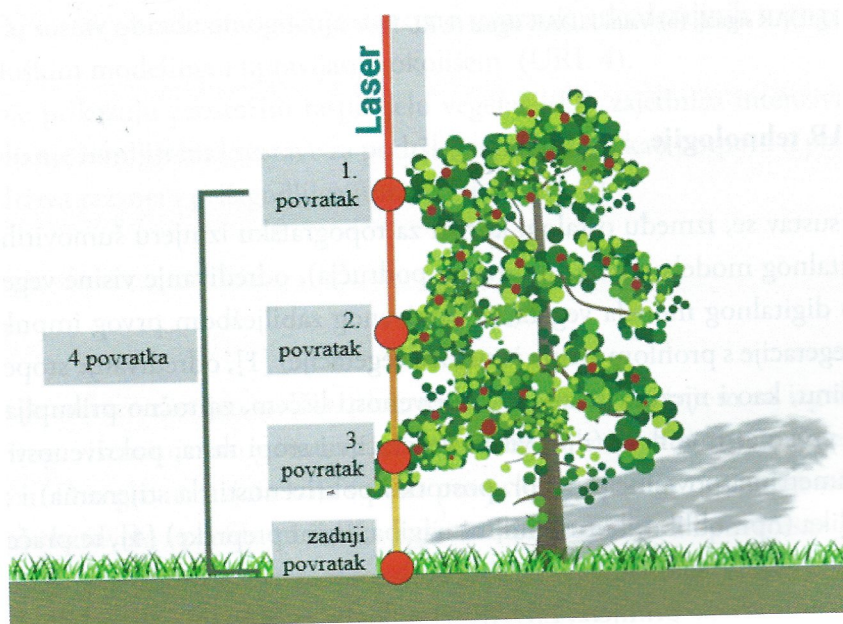
Laserski senzor mjeri samo udaljenost, a stvarni položaj točaka može se odrediti iz poznatog položaja i orijentacije senzora dobivene pomoću GPS prijamnika i inercijalne mjerne jedinice. Za svaki poslani signal u izabranom koordinatnom sustavu (za snimanje Skradinskog buka referentni koordinatni sustav je HTRS96) mora biti poznat položaj i kut snimanja senzora. Za uspješno geokodiranje mjerenja LiDAR tehnologijom, potrebno je sinkronizirati sve komponente sustava [3]. Također, sustav često sadrži kameru (koja snima vertikalno u odnosu na teren) za prikupljanje digitalnih snimki u kombinaciji s LiDAR podacima.

Podaci prikupljeni senzorima referencirani su u odnosu na zemlju metodom kinematičkog diferencijalnog globalnog sustava pozicioniranja (GPS), pružajući vertikalnu točnost unutar 20 cm. Mala veličina točke lasera i visoka frekvencija signala rezultiraju mogućnošću generiranja digitalnog modela terena s rezolucijom od 50 cm.

Korištenje LiDAR tehnologije

LiDAR tehnologija može se koristiti za snimanje šumovitih područja. Laserski signal prolazi između stabala i reflektira se od niske vegetacije, različitih dijelova šume i, konačno, od terena. Refleksije od različitih dijelova šumskog pokrova i grana zovu se redovi refleksije/povratka. Šumari koriste LiDAR tehnologiju za bolje razumijevanje strukture šuma i oblika stabala (URL 1).

Skeniranjem šumskog pokrova dobiju se refleksije s različitih dijelova šume – 1., 2., 3. povratak signala, dok se konačno ne dogodi refleksija od terena (sl. 2). LiDAR sustavi mogu snimati podatke počevši od vrha krošnje kroz krošnju sve do terena. To LiDAR čini vrlo vrijednim za razumijevanje strukture šume i oblika stabala. Ako nema šumskog pokrova na putu širenja signala, signal će se reflektirati samo od površine Zemlje (URL 1).



Slika 2. Broj povratka laserskog signala (URL 1)

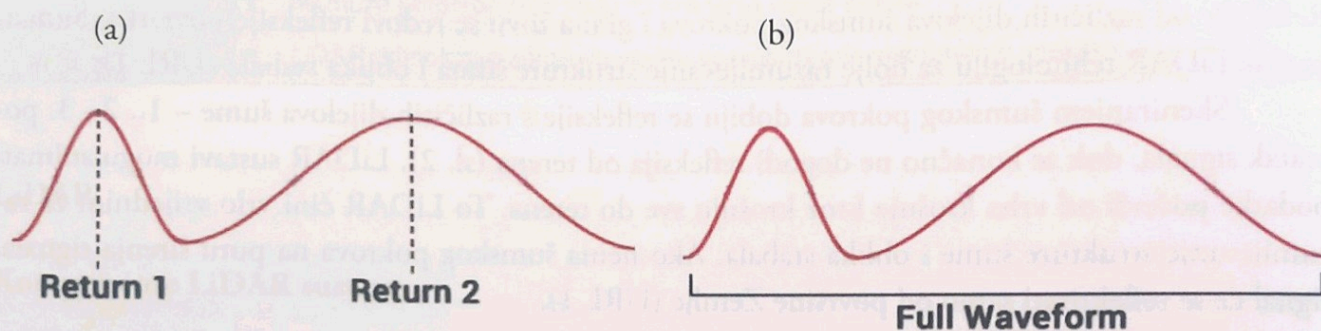
Skladištenje podataka: valni LiDAR signal vs. diskretni LiDAR signal

LiDAR signali pohranjuju se na dva načina: kao diskretni i kao valni LiDAR signal. Diskretni (pulsni) LiDAR signal emitira kratke impulse elektromagnetskog zračenja i mjeri njihove reflek-

sije (barem jednom, a najčešće dva ili više puta). Diskretni LiDAR ima visoku prostornu rezoluciju i mogućnost povećavanja gustoće mjerenja. Nedostatak korištenja sustava koji koriste diskretni signal jesu složeni algoritmi za obradu velike količine podataka [2].

Diskretni signal dobije se snimanjem podataka kao zasebnih povratnih signala u slučaju refleksije od grana pri prolasku kroz, na primjer, šumu. Diskretni signal uzima svaki vrh i odvaja svaki povratak (URL 1) (sl. 3a).

Valni LiDAR signal emitira se kontinuirano i mjeri refleksije prema faznom pomaku između poslanog i prihvaćenog signala (sl. 3b). Glavna prednost valnog signala (u odnosu na diskretni) je mogućnost snimanja vertikalnog profila objekata na kojima je došlo do refleksije. Kada se snima cijeli povratak kao jedan kontinuirani val, to se naziva valni LiDAR (URL 1).



Slika 3. (a) Diskretni LiDAR signal; (b) Valni LiDAR signal (URL 1)

Primjena LiDAR tehnologije

LiDAR sustav se, između ostalog, koristi za topografsku izmjeru šumovitih područja (npr. generiranje digitalnog modela terena šumovitog područja), određivanje visine vegetacije i količine biomase (preko digitalnog modela vegetacije dobivenog zabilježbom prvog impulsa ili digitalnog modela visina vegetacije s profilom visine i gustoće vegetacije) [1], određivanje stope rasta vegetacije iz godine u godinu, kao i njezine gustoće i pokrivenosti lišćem, za točno prikupljanje kvantitativnih podataka o parametrima flore (npr. visini vegetacije i stopi rasta, pokrivenosti lišćem, gustoći vegetacije), parametrima površine tla (npr. postotku pokrivenosti tla stijenama) i atributima geomorfoloških oblika (npr. obliku, kutu i duljini nagiba, širini prepreke) [4], te praćenje ugroženosti dalekovoda vegetacijom.

U radu je razmatrana primjena LiDAR tehnologije za snimanje dijela NP „Krka” koji karakterizira bujan šumski pokrov. S obzirom na definiranu primjenu i mogućnost generiranja digitalnog modela reljefa i površine i digitalnog modela vegetacije snimanog područja Skradinskog buka, šumari i biolozi mogu imati višestruke koristi od snimanja područja tom tehnologijom za provođenje procesa inventarizacije i monitoringa.

Inventarizacija i monitoring Nacionalnog parka

Inventarizacija podrazumijeva primjenu niza postupaka koji će dati popis flore nekog područja, s manje ili više opsežnim pratećim podacima, i dati odgovor na pitanje „što imamo”. Osim popisa flore, svojstava treba pridružiti i prostorne informacije, tj. podatke o njihovoj rasprostranjenosti. Taj se dio inventarizacije naziva kartiranjem flore i odgovara na pitanje „gdje imamo”. U kontekstu inventarizacije i praćenja stanja, geokodiranje se odnosi na određivanje geografske koordinate nalazišta neke svojte ili koordinate područja na kojem se obavljaju promatranja [3].

Na području inventarizacije i praćenja stanja, GIS (Geografski informacijski sustav) se može koristiti za pripremu terenskih aktivnosti, pohranu prikupljenih podataka, analizu rezultata i planiranje budućih vezanih aktivnosti. S adekvatnim prostornim podacima sadržanima u GIS-u, sakupljeni podaci o flori i staništima mogu se kartografski prikazati na različitim tematskim kartama (topografskim, pedološkim, geološkim, klimatološkim i dr.), mogu se analizirati područja pojavljivanja neke svojte ili cjelokupna raznolikost flore, pratiti promjene u distribuciji i ovisnost o abiotičkim čimbenicima i dr. [3].

Da bi se zadovoljila razina detalja i učestalost ažuriranja potrebna za inventarizaciju i praćenje vegetacije, koristi se LiDAR tehnologija. Ta tehnologija pruža točne skupove podataka visoke razlučivosti koji se mogu često prikupljati, a prikupljeni LiDAR podaci mogu se obrađivati u softveru ortoSky. Taj sustav obrade omogućuje sustavno stvaranje vrlo detaljnih topografskih karata za upotrebu u ekološkim modelima i upravljanju okolišem (URL 4).

Karte koje prikazuju prostornu raspodjelu vegetacijskih zajednica intenzivno se koriste za očuvanje, upravljanje zemljištem i sustave za podršku odlučivanju kao potpora u postupcima donošenja odluka, održiva razvoja i prilagodljiva upravljanja (URL 4).

Softver ortoSky

OrtoSky je softver razvijen u C++ programskom jeziku s težnjom za izgradnjom čvrstog, stabilnog, ugodivog, višenamjenskog sustava jednostavnog za korištenje koji je orijentiran na vezu s drugim sustavima. Dva glavna uvjeta koja su bila postavljena tijekom razvijanja softvera jesu uklanjanje ograničenja hardvera i profila korisnika radi smanjenja troškova i povećanja produktivnosti i postizanje pristupačnijeg okruženja stereoskopskog rada za sve korisnike (URL 2).

Vizualizacijski mehanizam bazira se na OpenGL grafičkom standardu, kao neprofitnoj standardnoj specifikaciji, kojim se dobivaju bolje grafičke performanse s dostupnim hardverom. Stoga se ortoSky može optimalno pokrenuti na računalima i grafičkim karticama srednjih do niskih performansi (URL 2).

Tijekom razvoja softvera ortoSky korišteni su *open source* moduli za pristup podacima i za „*on-the-fly*” projekciju, kao što su GDAL, OGR i Proj4. Jedan aspekt u razvoju sustava bilo je izbjegavanje potrebe za korištenjem moćnog računala za pokretanje softvera. Stoga je optimizirano

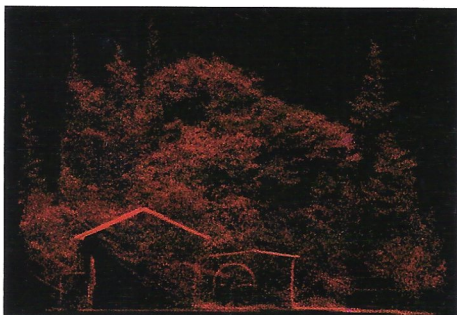
korištenje grafičke kartice, uz uvjet da kartica podržava *quad buffer*¹ jer se na njemu bazira vizualizacijski sustav (URL 2).

OrtoSky omogućuje simultanu integraciju podataka iz različitih izvora, a jedan od izvora mogu biti LiDAR podaci. Softver je dizajniran kako bi olakšao vizualizaciju, uređivanje i upravljanje LiDAR podacima u isto vrijeme kao i s ostatkom izvora podataka, da bi se dobila homogena visinska vrijednost konačnih rezultata. Na primjer, izrada 3D vektorskih podataka i digitalnog modela reljefa i digitalnog modela površina iz stereoskopskih parova snimki i LiDAR točaka u istom prozoru rezultirat će konačnim proizvodom koji je potpuno dosljedan u svojim visinskim vrijednostima (URL 2).

Jedna od karakteristika softvera ortoSky je mogućnost prikazivanja LiDAR podataka, stereoskopskih parova i ortosnimki generiranih iz njih istovremeno u istom prozoru. S obzirom da je moguće raditi simultano s vektorskim podacima i snimkama u softveru dvodimenzionalno ili stereoskopski, iz LiDAR podataka može se dobiti visina elemenata (URL 2).

Za maksimalnu iskoristivost svih mogućnosti koje ovaj softver pruža za trodimenzionalnu vizualizaciju stereoskopskih parova, preporuča se korištenje 3D monitora uz 3D naočale. Rad s 3D podacima puno je jednostavniji u softveru ortoSky, za razliku od korištenja stereoskopske platforme – za navigaciju se može koristiti 3D miš. Za vizualizaciju LiDAR podataka dovoljno je korištenje 2D monitora.

Vizualizacija LiDAR podataka



Slika 4. Primjer oblaka točaka na području Skradinskog buka – jasno se razaznaju stabla, kuće i teren

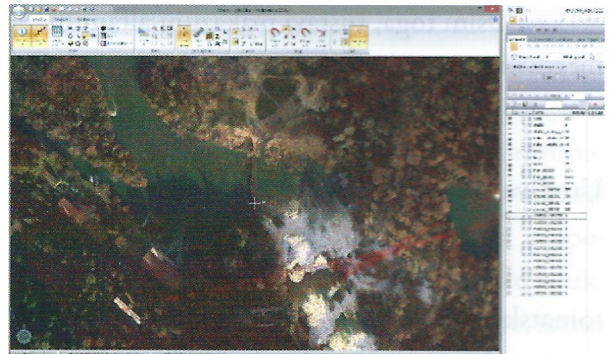
Snimanjem LiDAR tehnologijom dobiju se dva skupa podataka: podaci o položaju sustava i podaci o refleksijama. Točkama se kao atributi pripisuju red refleksije (prvi, drugi ... posljednji) i intenzitet. Krajnji rezultat snimanja LiDAR tehnologijom je oblak točaka koji predstavlja refleksije na različitim objektima [2] (sl. 4). OrtoSky čita LiDAR podatke direktno iz LAS formata.

OrtoSky ima mnoge opcije prikazivanja LiDAR točaka, ovisno o intenzitetu signala, klasifikaciji, smjeru skeniranja, elevaciji, intervalima elevacije koje definira operator, broju povrataka, RGB vrijednosti terena, LAS datotekama kao izvorima informacija, korištenju prethodno definiranih boja koje dodjeljuje korisnik, smjeru linije leta, kao i mnogim drugim varijacijama ovisno o visini točaka (URL 2) (sl. 5).

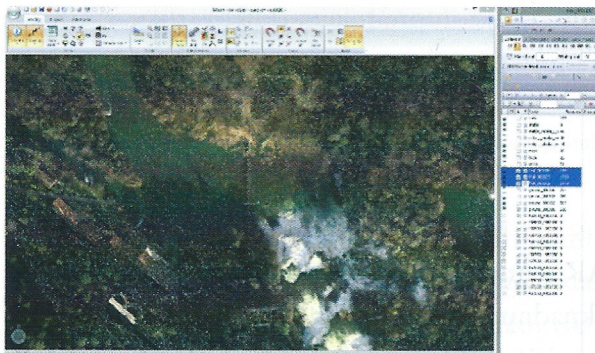
¹ *Quad buffer* koristi se i u stereoskopskim implementacijama, a označava korištenje dvostruke *buffer-zone* za svaku od lijeve i desne slike oka, dakle četiri *buffer-zone* ukupno. *Quad buffer* tehnologija za provođenje renderiranja stereoskopskog okvira u računalnoj grafici. Za stereoskopsko renderiranje svako oko mora primiti posebnu sliku (URL 3).



Snimljeno područje slapa



ID



Intenzitet



Klasifikacija



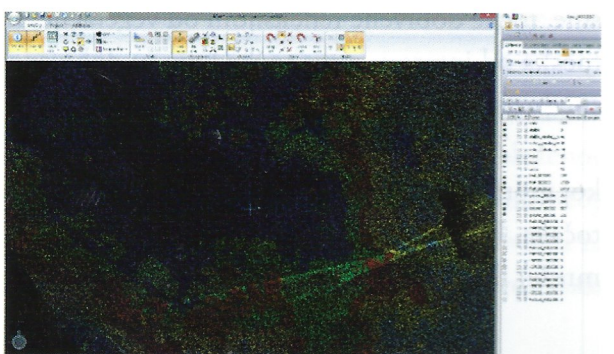
RGB



Visine



Visine (siva skala)



Visine (korisnik definira boje)

Osim toga, sustavi prikazuju alfanumeričke informacije o geometrijskom položaju impulsa, njegovom intenzitetu i vremenu snimanja LiDAR točke na koji je pokazivač postavljen itd.

Uređivanje LiDAR podataka

OrtoSky ima moćne alate za obradu LiDAR podataka, koji se mogu koristiti ručno i automatski. Obrada LiDAR podataka obuhvaća filtriranje, klasifikaciju i modeliranje (rasterizaciju).

Osim alata za obradu oblaka točaka, ortoSky omogućava korištenje vektorskih elemenata prikupljenih iz stereoskopskog modela za reklasifikaciju ili označavanje LiDAR točaka. Na taj način osigurava se potpuna usklađenost između svih kartografskih produkata (URL) (slika 5). Prikaz nekih vizualizacijskih prozora LiDAR podataka Skradinskog buka

Metodologija obrade oblaka točaka

S obzirom da je česta svrha snimanja LiDAR tehnologijom generiranje digitalnog modela reljefa ili površine, sirovi LiDAR podaci trebaju naknadnu obradu, koja uključuje filtriranje, klasifikaciju i modeliranje. Kvaliteta konačnih rezultata ovisi u velikoj mjeri o načinu obrade podataka pa obradu treba provoditi stručnjak u odgovarajućem softveru, kao što je ortoSky. Iz oblaka točaka može se generirati vrlo precizan digitalni model reljefa i provoditi analize terena.

Filtracija

Filtriranje je postupak odvajanja korisnih informacija od neželjenih [1]. Filtracija podataka provodi se da bi se izvukle sve neželjene refleksije [2].

Za izradu digitalnog modela reljefa potrebne su samo točke dobivene refleksijom od terena, a sve točke dobivene refleksijom od izgrađenih objekata, vegetacije i sl. u tom su slučaju neželjeni podaci i treba ih izvući. Ako se, pak, filtracija provodi u svrhu generiranja digitalnog modela površine, točke dobivene refleksijom od vegetacije, kuća, infrastrukturnih objekata, vode i sl. čine oblak točaka od interesa, a sve točke koje su dobivene refleksijom od terena kroz vegetaciju ili kroz vodu suvišne su i treba ih ukloniti.

Za uklanjanje neželjenih točaka koriste se različiti algoritmi koji se zasnivaju na matematičkoj morfologiji, iterativnom uklanjanju točaka, segmentaciji ili modeliranju reljefa cijelim oblakom točaka. Rezultat filtriranja je digitalni model reljefa ili površine zapisan u vektorskom (u obliku TIN mreže) ili u rasterskom (u matrici visina s intenzitetom refleksije kao atributom) obliku [2].

Klasifikacija



Slika 6. Primjer klasifikacije dijela područja Skradinskog buka u tri klase: visoka vegetacija, građevina i teren

Klasifikacija je postupak svrstavanja preostalih korisnih informacija u klase [1]. Nakon provođenja klasifikacije iz oblaka točaka prepoznaju se određene geometrijske strukture kao što su građevine, ceste, stabla i sl. Za topografsku primjenu laserskog skeniranja iz zraka u području Skradinski buk korištene su klase visoka vegetacija, niska vegetacija, građevina, voda i teren (sl. 6).

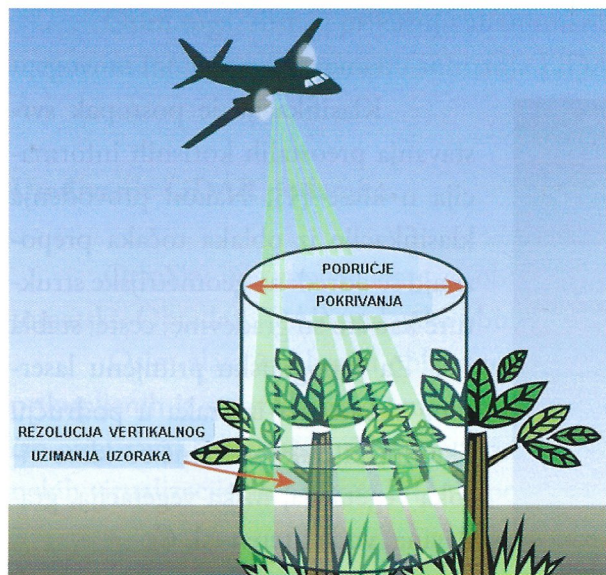
Za vrijeme skeniranja bilježi se prijamni signal digitaliziran u vremenskoj domeni, što omogućava provođenje tzv. *first pulse – last pulse* klasifikacije [1]. U slučaju snimanja šumskog predjela, kao što je to bio slučaj pri snimanju Skradinskog buka, laserska zraka djelomično se reflektirala od dijelova krošnji, a potpuno na dijelovima gdje je dosegla teren. *First pulse – last pulse* klasifikacija temelji se na primanjima reflektiranih impulsa, odnosno prvog, drugog, trećeg i posljednjeg impulsa koji se reflektiraju od krošnji stabala i posljednjeg od terena.

Za klasifikaciju oblaka točaka za Skradinski buk korištena je klasifikacija s navedenim klasama. Iz klase vegetacije dobiveni su podaci o visini vegetacije i količini biomase. U klasu građevine dolaze sljedeći slojevi: građevine, komunalne infrastrukture, ceste, dalekovodi i drugi izgrađeni objekti.

Klasifikacija se u softveru ortoSky može provoditi ručno ili automatski. Integrirani algoritmi u ortoSkyu za sada podržavaju samo automatsku klasifikaciju terena (*ground class*), a u izradi su i algoritmi za automatsku klasifikaciju drugih prirodnih i izgrađenih značajki.

Metrika vegetacije bazirana na LiDAR tehnologiji

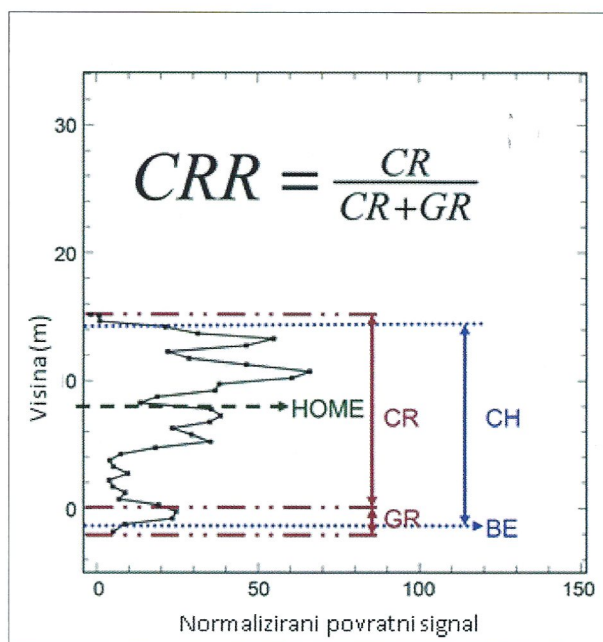
Za opisivanje vertikalne strukture krošnje vegetacije kombinira se nekoliko pojedinačnih laserskih signala koji tvore veće područje pokrivanja (sl. 7). Veličina područja pokrivanja složenog od nekoliko pojedinačnih laserskih signala ovisi o gustoći LiDAR podataka, prirodi šumovitog terena (guste šumovite krošnje teško je probiti pa može biti potrebno veće područje pokrivanja za opisivanje kompletne vertikalne strukture) i željenoj horizontalnoj razlučivosti krajnjeg proizvoda (URL 4).



Slika 7. Kompozitno područje pokrivanja

relativna mjera pokrivenosti krošnji. Neovisno znanje o prosječnoj refleksiji od krošnji i terena unutar područja pokrivanja nužno je za pretvaranje CRR u apsolutnu mjeru pokrivenosti krošnji. CRR može pružiti daljinski istražen atribut kroz koji se mogu razlikovati vrste vegetacija (URL 4).

HOME je srednja visina cijelog signala iz valnog oblika, uključujući reflektiranu energiju od krošnji i terena. HOME bi trebao biti osjetljiv na promjene u vertikalnoj strukturi krošnje i stupnju otvorenosti krošnje (uključujući gustoću stabla). HOME je dobar za predviđanje biomase i strukturnih obilježja u tropskim šumama (URL 4).



Slika 8. Grafički prikaz normaliziranog povratnog signala (URL 4)

Složeni valni oblik područja pokrivanja koristi se za dobivanje tri metrike: visine krošnje (CH), omjera refleksije krošnje (CRR) i visine medijana energije (HOME) (sl. 8). CH je udaljenost od prvog povratka do terena. Visina terena određuje se kao prosjek visina terena koje proizlaze iz pojedinih valnih oblika unutar složenog valnog oblika područja pokrivanja. CH je pokazatelj kvalitete predjela u šumarstvu (URL 4).

CRR je zbroj udjela povratka valnog oblika reflektiranog od krošnje (CR) podijeljen zbrojem dijela povratka valnog oblika reflektiranog od krošnje i terena (CR + GR). CRR je

Metrika vegetacija izvedena LiDAR tehnologijom može se, dakle, koristiti za računanje postotka visine krošnji i srednje visine krošnji (računa se korištenjem svih povrataka ili samo prvih povrataka) i standardne devijacije visine krošnji (računa se korištenjem svih povrataka). Za relativno stabilna šumska staništa ekolozi mogu koristiti LiDAR podatke za istraživanje ili praćenje.

Prorjeđivanje podataka

S obzirom na veliku količinu podataka prikupljenih laserskim skeniranjem iz zraka, potrebno je izvršiti prorjeđivanje podataka da bi se olakšalo pokretanje, upravljanje i rad s po-

dacima na uobičajenoj računalnoj i softverskoj opremi (ortoSky) [1]. Cilj prorjeđivanja je zadržavanje minimalnog skupa podataka koji neće ići na štetu kvalitete opisivanja predmeta izmjere.

Modeliranje

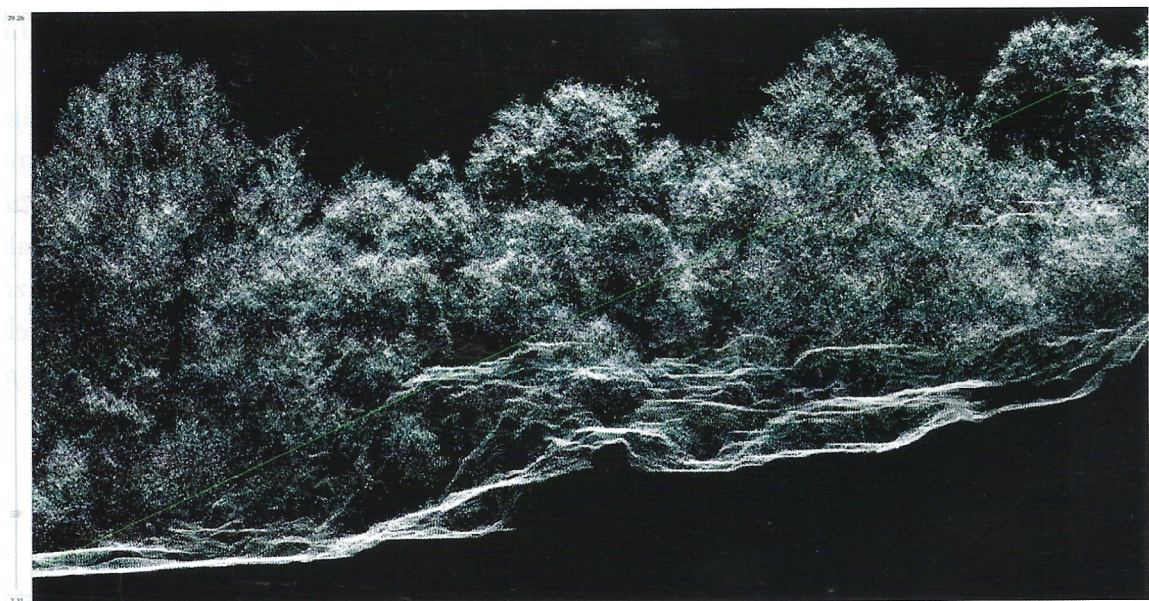
Posljednji korak obrade LiDAR podataka je modeliranje. Modeliranjem se dobije npr. model zgrada ili vertikalni profil vegetacijskog pokrova [2]. Također se može izraditi digitalni model reljefa ili površine kao konačni produkt obrade LiDAR podataka.

Mjerenja koja provodi LiDAR omogućavaju stvaranje preciznih modela reljefa i površina. Sirovi ili obrađeni LiDAR podaci mogu se koristiti za različite svrhe – u šumarstvu za promatranje visina stabala i mjerenja parametara biomase, u telekomunikacijama za planiranje širenja valova, u geologiji i seizmologiji za otkrivanje rasjeda, za promatranje urbanih područja, dobivanje trodimenzionalnih modela zgrada, u arheologiji za otkrivanje i kartiranje nalazišta itd. [2].

Generiranje vertikalnih profila vegetacije

Vertikalni profil vegetacije može se izraditi u softveru ortoSky stvaranjem puta duž kojega će se raditi profil (sl. 9).

Osim toga, može se načiniti statistika pokrivenosti krošnji, visine krošnji i sl. korištenjem oskTasker, posebne aplikacije za provođenje zahtjevnijih zadataka. Osk Tasker je vrlo koristan jer se mogu ugoditi i provesti naredbe za sve datoteke sadržane u folderu i može se fokusirati na koliko god zadataka ili naredbi je potrebno.



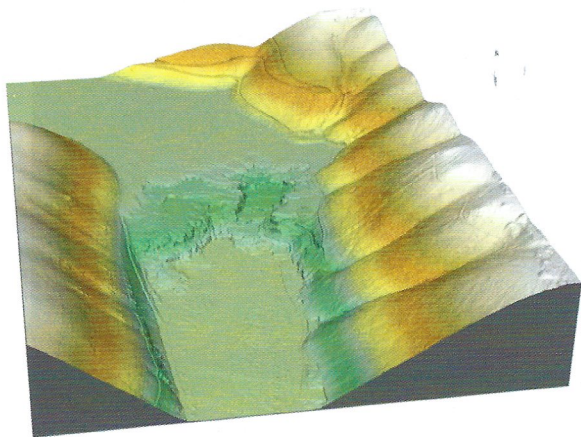
Slika 9. Prikaz vertikalnog profila vegetacije s dimenzijama duž proizvoljnog puta

Generiranje digitalnog modela reljefa

Digitalni model reljefa u softveru ortoSky generira se kroz nekoliko koraka. Prvo treba generirati LiDAR repozitorij u izabranom koordinatnom sustavu (za područje Skradinskog buka referentni koordinatni sustav je HTRS96). Sljedeći korak podrazumijeva generiranje CSV datoteka. S obzirom da se radi digitalni model reljefa, potrebno je primarno filtrirati sve LiDAR točke i koristiti samo točke klasificirane u klasu teren, odnosno *last pulse* oblak točaka. Nakon toga treba generirati dijelove digitalnog modela reljefa i proširene CSV datoteke, koje potom treba rezati po rubovima blokova da ne bude razlike između pojedinih blokova. Idući korak u izradi digitalnog modela reljefa obuhvaća generiranje blokova s proširenim raspodjelom. Zatim se blokovi režu prema raspodjeli a proizvod treba eksportirati kao ASCII GRID of ESRI. Konačno se dobije gotovi digitalni model reljefa koji se može vizualizirati u softveru ortoSky.

Proces generiranja digitalnog modela reljefa koristi GDAL/OGR usluge. Ograničenja tih usluga odnose se i na sam model. Rezolucija konačnog proizvoda ovisi o svrsi izrade modela i gustoći oblaka točaka. S obzirom na visoku gustoću točaka na primjeru Skradinskog buka (30 točaka/m²), može se izraditi digitalni model reljefa s visokom rezolucijom s obzirom da je vjerojatnost pronalaska točke u malom pikselu velika (ne treba se interpolirati vrijednosti u procesu generiranja modela). Naglasak se stavlja na kompromis između razlučivosti koja se može postići i stvarno potrebne razlučivosti, s obzirom da digitalni model reljefa s prevelikom razlučivošću ne bi bio praktičan. Primjer digitalnog modela reljefa dan je na slici 10.

U slučaju potrebe za korištenjem metode interpolacije, preporuča se korištenje metode *Inverse distance to a power*.



Slika 10. Primjer generiranog digitalnog modela reljefa dijela NP „Krka”

Generiranje digitalnog modela površine

Digitalni model površine dobije se rasteriziranjem generirane nepravilne mreže trokuta (engl. *Triangulated Irregular Network* – TIN). Postupak generiranja digitalnog modela površine sličan je postupku izrade digitalnog modela reljefa, samo se trebaju filtrirati sve točke koje pripadaju *first pulse* oblaku točaka.

Zaključak

Trodimenzionalna struktura temeljni je fizički element staništa i odavno je identificirana kao temelj biološke raznolikosti, osobito u šumama. Lasersko skeniranje iz zraka može prikupiti detaljne informacije o vertikalnoj strukturi šume i njenoj prostornoj varijabilnosti. Iz prikupljanja i obrade LiDAR podataka proizlazi geoprostorni model jednog ili više elemenata vertikalne ili horizontalne strukture šume.

Za razliku od konvencionalnih metoda mjerenja, koje zahtijevaju dugotrajan intenzivan rad, LiDAR tehnologija omogućava mjerenja visoke razlučivosti i dobivanje položaja i topologije krajolika za analizu podataka. Gustoća oblaka točaka od ~ 30 točaka/m² bila je dovoljna za izdvajanje informacija i jednostavnu implementaciju skenera. LiDAR tehnologija može pružiti novu metodologiju bioloških istraživanja, a raširenost upotrebe, točnost i brzina učinit će da LiDAR postane koristan alat za istraživanje u budućnosti.

OrtoSky se pokazao kao kvalitetan softver za upravljanje, obradu i manipulaciju LiDAR podacima, iz kojih se mogu generirati kvalitetni digitalni modeli reljefa i površine, te visinski prikaz vegetacijskog pokrova. On se ekstenzivno može primijeniti u području djelovanja šumara i ekologa za inventarizaciju i praćenje vegetacije. Kombinacijom laserskog skeniranja iz zraka i aerofotogrametrije dobiva se osnova za postizanje zadovoljavajućih rezultata korištenjem aerosnimki i iz njih generiranih stereoskopskih parova za simultano opravljavanje i procesiranje LiDAR podataka i postizanje homogene visinske vrijednosti konačnih rezultata.

Izvori

- [1] Gajski, D., 2007. Osnove laserskog skeniranja iz zraka. Geodetski fakultet, Ekscentar 10, str. 16-22, Zagreb.
- [2] Oštir, K., A. Mulahusić, 2014. Daljinska istraživanja, Građevinski fakultet, Sveučilište u Sarajevu, Sarajevo.
- [3] Nikolić, T., 2006. Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja, Zagreb.
- [4] Mangan, C. M., A. S. Pratt, 2014. The use of LiDAR in rehabilitation performance and landform stability monitoring, Perth.

Popis URL-ova:

URL 1: A Complete Guide to LiDAR: Light Detection and Ranging:

<http://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/>, (28.08.2015.)

URL 2: Prezentacija o ortoSkyu: <https://prezi.com/aisceguvb9ii/ortosky/>, (01.09.2015.)

URL 3: https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_buffering#Quad_buffering, (01.09.2015.)

URL 4: St. Petersburg Coastal and Marine Science Center:

<http://coastal.er.usgs.gov/lstrm/index.html>, (18.09.2015.)

Vlatko Roland, Ante Šiljeg, Anja Batina

LiDAR DATA PROCESSING AND GIS DATABASE CREATION BY ORTOSKY TOOLS ON SKRADINSKI BUK CASE STUDY

Summary

LiDAR (Light Detection and Ranging) is a remote sensing technology for automated and efficient spatial data collection. Due to the high frequency measurements (up to 200 kHz), it is possible to measure details of a terrain and its features in a short term. The result of laser scanning is a collection of three-dimensional XYZ points called point cloud. Waterfalls area in National Park Krka were surveyed in 2014 by LiDAR technology with density of approximately 30 points/m². Due to the large amount of collected data, a segmentation of point cloud was performed, and data was grouped according to the geometric characteristics of the relating objects, for the implementation of subsequent data filtering and classification. Data filtration separates useful information from unwanted and data classification distinguishes different objects on the ground from the point cloud and re-allocates them in classes (layers). The following classes were used for topographic application of aerial laser scanning in the Skradinski Buk area: high vegetation, low vegetation, building, water, and ground. Data on the amount of vegetation and the amount of biomass were obtained from the high vegetation class. Building class consists of buildings, municipal infrastructure, roads, transmission lines, and other built facilities. The purpose of the paper was to show the possibility of LiDAR images interpretation and automated GIS database replenishment (vector data and attributes) from the collected point cloud using ortoSky tools. By point cloud filtration, classification, and modeling, topographic survey was carried out. Also, vegetation elevation and density were determined, and the basis for generating digital terrain model and digital surface model were set. The obtained information will be used for mapping the National Park Krka area and monitoring the status of travertine barriers vegetation.

Keywords: LiDAR, point cloud, classification, ortoSky, GIS databases, Krka NP