

Metoda filtriranja podataka iz oblaka točaka dobivenog laserskim skeniranjem

Plazonić, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:537320>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Lucija Plazonić

**Metode filtriranja podataka iz oblaka točaka dobivenog laserskim
skeniranjem**

Završni rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Građevinarstvo
Fizika**

**Lucija Plazonić
JMBAG: 0114029627**

**Metode filtriranja podataka iz oblaka točaka dobivenog laserskim
skeniranjem**

Završni rad

Rijeka, rujan 2021.

ZAVRŠNI/DIPLOMSKI ZADATAK

(ispunjava mentor, preuzima se u Referadi - mora biti ispisan na memorandumu Fakulteta)

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Lucija Plazonić

U Rijeci, 21. rujna 2021.

Zahvala

Mojima.

SAŽETAK

U radu je iznesen pregled optičkih tehnologija za prostorno skeniranje na bazi refleksije laserske svjetlosti. Navedeni su dijelovi i principi rada skenera korištenih u građevinarstvu te ukratko o prirodi i nastanku laserske svjetlosti. Radi lakšeg razumijevanja problema filtriranja opisan je i princip procesuiranja signala dobivenih skeniranjem u digitalni 3D zapis zvan oblak točaka. Provedeno je istraživanje dostupnih filtera oblaka točaka s naglaskom na uklanjanje ne pripadajućih točaka stvorenih nepravilnim odbijanjem laserskih zraka. Naposljetku je navedeno trenutno stanje istraživanja područja filtriranja oblaka točaka za široku upotrebu u cilju sveukupnog poboljšanja točnosti rezultata skeniranja.

Ključne riječi: laserski skener, refleksija, oblak točaka, ne pripadajuće točke, filteri

ABSTRACT

In this paper an overview of optical technologies for spatial scanning based on reflection of laser light is put forward. Parts and methods of operating are stated of scanners used in Civil Engineering practices as well as a short preview of laser light nature and origin. For better comprehension of filtering issue, the principle of processing signals acquired by scanning into a digital 3D record know as Point Cloud is also brought forth. Research of available Point Cloud filters has been carried out with emphasis on removing outliers produced by defective laser light backscattering. Ultimately, the current state of research on the subject of filtering Point Clouds for a wide range of purposes is established with the aim of advancing the overall accuracy of scanning results.

Keywords: laser scanner, reflection, point cloud, outliers, filters

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. VRSTE I PRINCIPI RADA LASERSKOG SKENIRANJA	2
2.1. Dijelovi laserskog skenera	4
2.1.1. <i>Senzori</i>	5
2.1.2. <i>Laserska svjetlost</i>	7
2.2. Impulsni laserski skener.....	8
2.3. Fazni laserski skener.....	9
3. OBRADA PODATAKA DOBIVENIH SKENIRANJEM.....	10
3.1. Registracija skenova.....	11
4. METODE FILTRIRANJA OBLAKA TOČAKA	12
4.1. ROR metoda	13
4.3. FCSOR metoda	14
4.4. DROR	15
ZAKLJUČAK	16
LITERATURA I IZVORI	17

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
s	[m]	Put
c	[m/s]	Brzina svjetlosti
Δt	[s]	Promjena vremena
f	[Hz]	Modulacijska frekvencija
λ	[m]	Valna duljina
v	[m/s]	Brzina vala
n		Indeks loma

POPIS KRATICA

ALS – eng. Airborne Laser Scanning, hrv. zračno lasersko skeniranje

TLS – eng. Terrestrial Laser Scanning, hrv. terestričko lasersko skeniranje

GPS – eng. Global Positioning System, hrv. globalni položajni sustav

IMU – eng. Inertial Measurement Unit, hrv. inercijalna mjerna jedinica

Lidar – eng. Light detection and ranging, hrv. detektiranje svjetla i dometa

GNSS – eng. Global Navigation Satellite System, hrv. globalni navigacijski satelitski sustav

HDR – eng. High Dynamic Range, hrv. visoki dinamički raspon

RGB – eng. Red, Green, Blue, hrv. crvena, zelena, plava

VIS – eng. Visual Inertial System, hrv. vizualni inercijalni sustav

SLAM – eng. Visual Simultaneous Localization and Mapping, hrv. vizualno simultano lokaliziranje i mapiranje

TOF – eng. Time of Flight, hrv. vrijeme leta

ROR – eng. Radius Outlier Removal, hrv. radijalno uklanjanje ne pripadajućih točaka

SOR – eng. Statistical Outlier Removal, hrv. statističko uklanjanje ne pripadajućih točaka

PCL – eng. Point Cloud Library, hrv. baza podataka oblaka točaka

FCSOR – eng. Fast Cluster Statistical Outlier Removal

POPIS SLIKA

Slika 1: Zračno lasersko skeniranje [1]	2
Slika 2: TLS skener marke Leica RTC360 [2]	3
Slika 3: Unutrašnjost skenera Leica RTC360 [4]	4
Slika 4: Prozor snimanja različitih izvedbi TLS-a [5]	5
Slika 5: 6 stupnjeva slobode IMU senzora [7]	6
Slika 6: Stimulirana emisija zračenja prema Einsteinovoj teoriji [8]	7
Slika 7: Princip rada TOF skenera [9]	8
Slika 8: Fazni pomak odaslanog i primljenog signala [11]	9
Slika 9: Prikupljanje podataka o sfernim koordinatama točke [3]	10
Slika 10: Referenciranje dva skena iz suprotnih gledišta	11
Slika 11: Raspršene ne pripadajuće točke prema intenzitetu povratnog signala [14]	12
Slika 12: kd-stablo za 3 dimenzije [16]	13
Slika 13: SOR filter iz CloudCompare 2.9.1 verzije [17]	14
Slika 14: Kompresija podataka voxel strukturama [18]	15
Slika 15: rekonstrukcija objekta prema oblaku točaka u programu Revit	15

1. UVOD

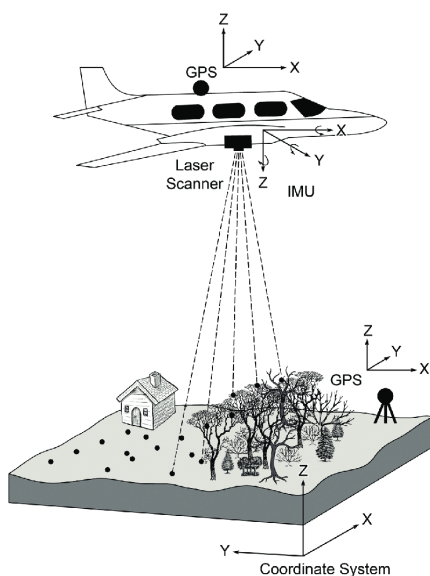
3D skeniranje građevinskih objekata postao je neizbježan korak u stvaranju pouzdanog digitalnog prikaza njihovog postojećeg stanja. Primjena 3D skenera omogućuje relativno brzo prikupljanje podataka o udaljenosti točaka na površini objekta koje potom generiraju oblak točaka u obliku objekta. Oblak točaka se može samostalno koristiti kao svojevrsan model ili kao podloga za daljnju digitalnu rekonstrukciju. Iako ova metoda posjeduje mnoge prednosti u vidu stvaranja preciznije dokumentacije i uštede vremena na terenske izmjere, još uvijek ima mjesta za poboljšanje.

3D skeneri koji se koriste u građevinarstvu djeluju na jednom od sljedeća dva principa; na mjerenju vremena refleksije laserskog impulsa te na mjerenju faznog pomaka reflektirane laserske zrake. U drugom poglavlju, uz vrste i dijelove laserskih skenera, detaljnije su opisane obje metode sa svojim prednostima i manama. Današnji laserski skeneri imaju mogućnost skeniranja u doseg od više stotina metara s brzinom prikupljanja podataka i do dva milijuna točaka u sekundi no glavni nedostatak leži u njihovoj zavisnosti o reflektivnim svojstvima skeniranih materijala. Naime, zbog zakona refleksije i refrakcije, reflektivni i transparentni materijali uzrokuju nepravilne povratne informacije o položaju točaka koje se u oblaku točaka očituju kao raspršene ili duplo projicirane površine. U mehaničkoj industriji to su primarno metali dok se u građevinarstvu obično nailazi na staklene površine i ogledala. Rezultat refleksije i refrakcije svjetla u oblaku točaka potrebno je „očistiti“ tj. filtrirati kako bi cjelokupni model bio sukladan onome u stvarnosti što često predstavlja utrošak vremena i ljudskih resursa u fazi registracije skenova.

Treće poglavlje opisuje obradu podataka skeniranja a četvrto rješenja za automatsko prepoznavanje i uklanjanje neželjenih točaka u oblaku koja su komercijalno još uvijek jako slabo zastupljena. Mnoga od njih i dalje su neprimjenjiva zbog velikih zahtjeva računalne memorije i snage procesuiranja. Cilj rada je sinteza aktualnih pristupa rješavanju ovog problema i usporedba različitih kombinacija već postojećih tehnologija kako bi se olakšao napredak u grani koja obećava mnoge primjene.

2. VRSTE I PRINCIPI RADA LASERSKOG SKENIRANJA

Prostorno skeniranje pomoću lasera može se vršiti iz zraka (ALS) i sa zemlje (TLS) ovisno o zahtjevima i primjeni. Zračno skeniranje važan je alat za discipline poput geodezije, zrakoplovnog i vojnog inženjerstva, šumarstva, poljoprivrede, i mnoge druge. Vršiti se i za nadzor teško pristupačnih područja te evaluaciju štete nastale elementarnim nepogodama. Slika 1 sadrži pojednostavljeni prikaz najosnovnijih instrumenata korištenih pri zračnom laserskom skeniranju s odgovarajućim koordinatnim sistemima: laserski skener, GPS te IMU uređaj.

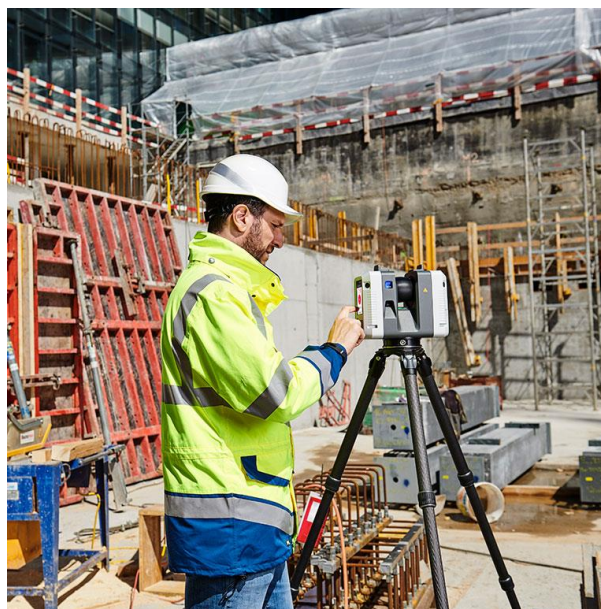


Slika 1: Zračno lasersko skeniranje [1]

Terestričko lasersko skeniranje s druge strane nalazi svoje primjene u strojarstvu, speleologiji, građevinarstvu, medicini, auto industriji i svim ostalim disciplinama kojima je potrebno precizno mjerenje i prikupljanje prostornih podataka o različitim predmetima i njihovom okruženju. Za precizno skeniranje velikih objekata kao što su zgrade i mostovi u građevinarstvu, industrijski pogoni ili brodska postrojenja koriste se beskontaktno aktivne metode.

Beskontaktna metode mjerenja omogućile su revoluciju mjernih uređaja jer su dotad mjerni instrumenti morali ostvariti kontakt između sonde i površine kako bi prikupili prostorne podatke što je bilo primjenjivo samo na predmetima malih dimenzija. Zbog činjenice da postoje neinvazivni načini korištenja svjetlosti i zračenja u tu svrhu, usporedno s tehnološkim napretkom u zadnjih 30 godina, otvorila su se mnoga vrata za primjenu i proučavanje ovog područja. Lidar ili optički radar, popularan je naziv za jednu od aktivnih beskontaktnih mjernih metoda koja se danas može naći i na mobilnom telefonu dok je najpoznatiji oblik pasivnog beskontaktnog skeniranja fotogrametrija. Pomoću fotogrametrije 3D oblik se može rekonstruirati samo na bazi podataka iz fotografija.

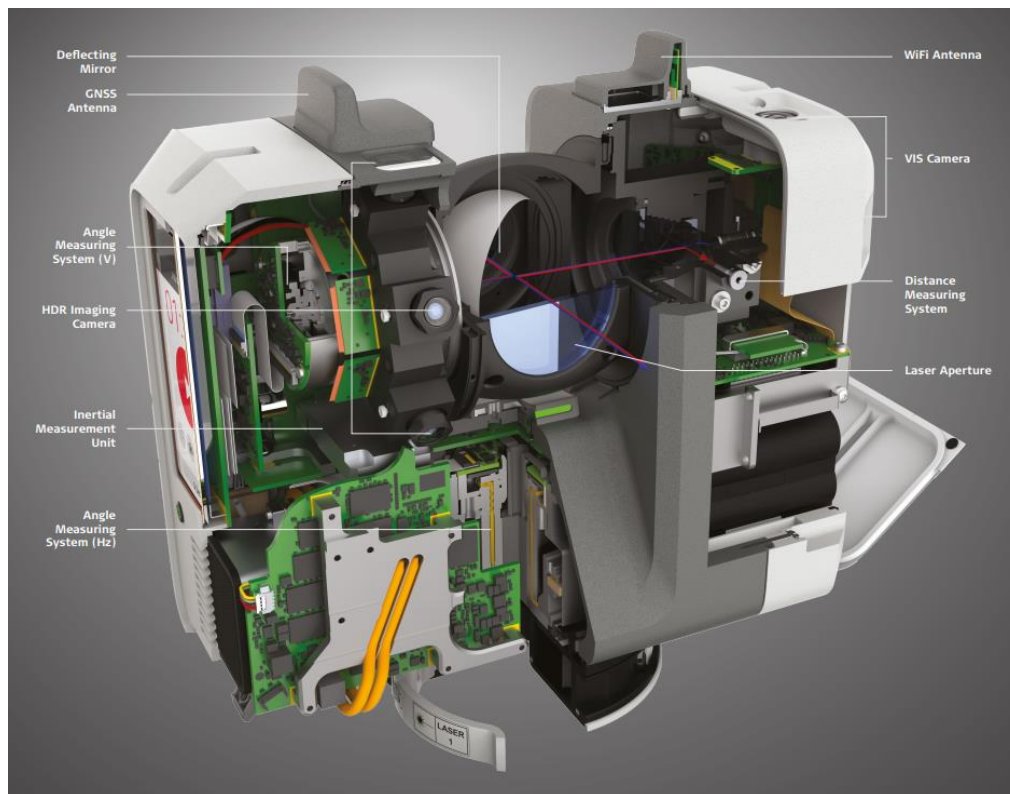
Aktivne beskontaktna metode razlikuju se od pasivnih po tome što emitiraju određenu vrstu zračenja na predmet i mjere vrijeme povratne zrake, dok pasivne samo detektiraju zračenje odbijeno od predmeta, najčešće dnevnu svjetlost. Na slici 2 prikazan je klasični TLS skener marke Leica RTC360 u građevinskom okruženju čiji su dijelovi i specifikacije korišteni za opis glavnih elemenata u nastavku poglavlja.



Slika 2: TLS skener marke Leica RTC360 [2]

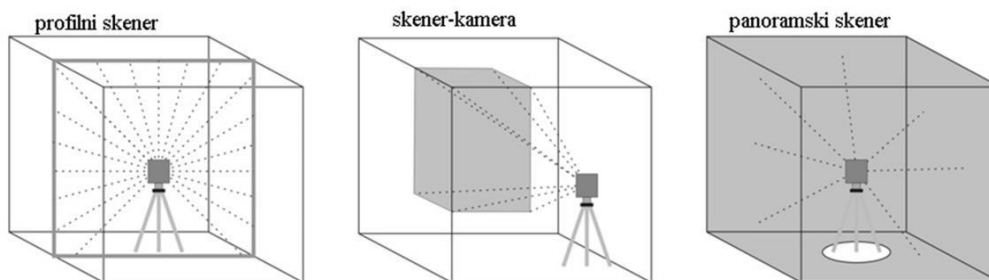
2.1. Dijelovi laserskog skenera

Slika 3 prikazuje unutrašnjost laserskog skenera Leica RTC360 sa svim ključnim komponentama. GNSS prijemnik omogućuje pozicioniranje skenera u okviru geografske širine, geografske dužine i visine dok WiFi prijemnik omogućuje povezivanje s internetom. Tu je još i HDR kamera koja služi za opcionalno pripisivanje podatka o boji svake točke u obliku RGB zapisa. Važno je napomenuti da svaki sken koji ujedno prikuplja i RGB podatke uvelike ovisi o količini (dnevnog) svjetla reflektiranog s objekta snimanja. Kvaliteta prikupljenih RGB podataka time direktno ovisi o razini osvjetljenja objekta [3]. Doduše, najvažniji elementi sa slike 3 su uređaj za mjerenje udaljenosti i dva uređaja za mjerenje kutova s naponskim izlazom (V) i frekvencijskim odzivom (Hz). Podatci dobiveni iz ovih uređaja i njihova konverzija opisani su u trećem poglavlju dok je senzorski sklop IMU uređaja i VIS kamere detaljnije objašnjen u nastavku ovog poglavlja.



Slika 3: Unutrašnjost skenera Leica RTC360 [4]

Osim navedenog, na slici 3 vidljiv je i otvor za laser te sustav rotirajućeg zrcala. Laserska svjetlost koja se emitira iz otvora ima konusno vidno polje koje u kombinaciji s rotirajućim zrcalima i okretnim kućištem postiže panoramsku pokrivenost tj. prozor snimanja od 300 puta 360 stupnjeva. Na taj način omogućuje se snimanje svog prostora oko skenera osim onog ispod nosača kućišta. Na slici 4 navedene su tri vrste prozora snimanja, uključujući panoramski.



Slika 4: Prozor snimanja različitih izvedbi TLS-a [5]

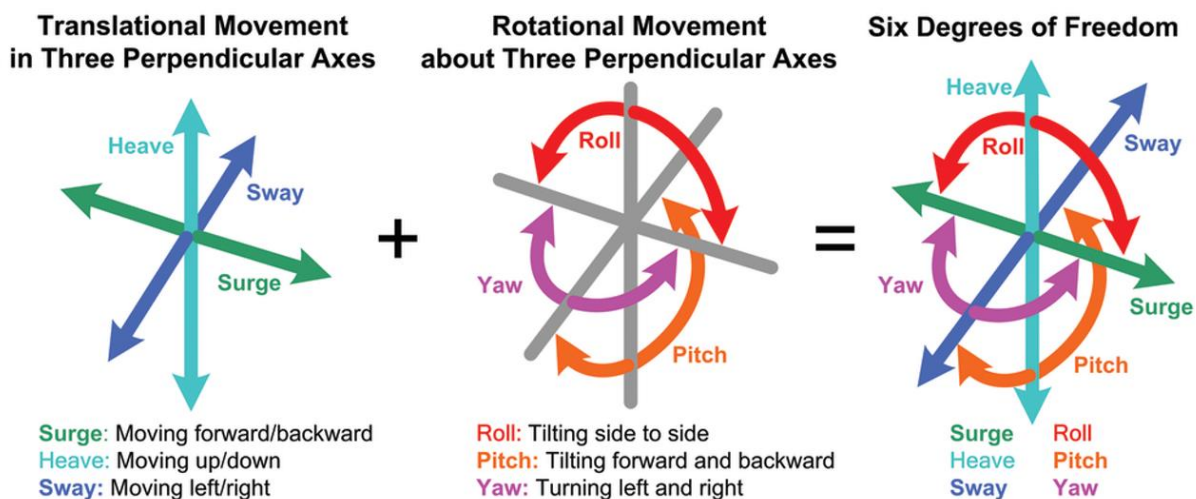
2.1.1. Senzori

RTC360 izdanje Leica terestričkog skenera posjeduje i integrirani sustav za vizualno pozicioniranje i mapiranje zajedno s inercijalnom mjernom jedinicom. Kombinacija VIS kamere i IMU uređaja omogućuje samostalno praćenje i povezivanje stajališta u stvarnom vremenu što uvelike olakšava snalaženje na terenu i obradu podataka. Sistem se bazira na SLAM tehnologiji koja se inače koristi u robotici, proširenoj stvarnosti, dronovima i autonomnim vozilima.

SLAM predstavlja proces određivanja pozicije i orijentacije uređaja u odnosu na trenutnu okolinu uz istovremeno mapiranje te okoline radi navigacije. Podatci se prikupljaju pomoću kamere koje prate karakteristične točke iz jednog kadra u drugi te algoritma koji triangulacijom određuje približava li se skener njima ili udaljava, premješta li se u desnu ili u lijevu stranu.

IMU uređaj ili inercijalna mjerna jedinica sastoji se od sklopa akcelerometara, žiroskopa, ponekad i magnetometara. Osnovna funkcija IMU-a je izračun linearnog i kutnog ubrzanja na svakoj od tri koordinatne osi kako je prikazano na slici 5. Translacija duž osi naprijed/nazad (eng. surge), gore/dolje (eng. heave), lijevo/desno (eng. sway), te rotacija oko osi s jedne na drugu stranu (eng. roll), naprijed/nazad (eng. pitch) te lijevo/desno (eng. yaw) daju sveukupno 6 stupnjeva slobode.

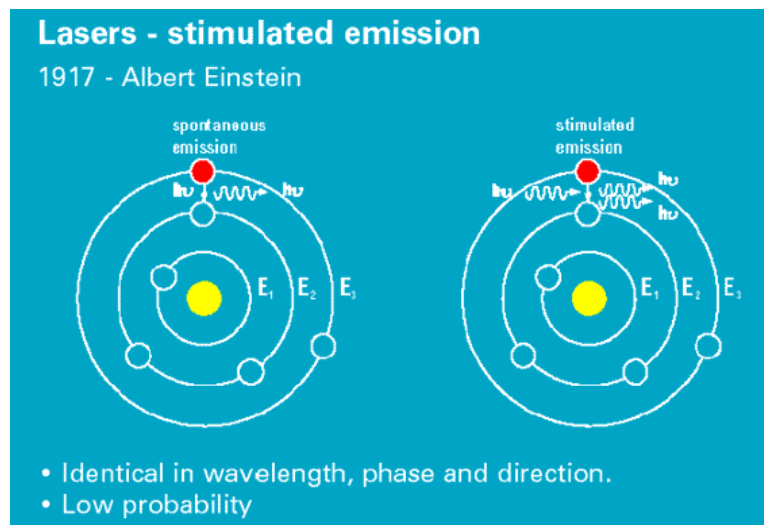
Integriranjem ubrzanja te potom brzine dobiva se položaj i orijentacija uređaja no veliku manu predstavlja nakupljanje grešaka. Čak i minimalno odstupanje rezultira integriranjem konstante pri ubrzanju što dovodi do linearne greške pri brzini te kvadratne u položaju. Kod podataka iz žiroskopa konstanta greška integrira se u obliku kvadratnog povećanja u brzini i kubnog u položaju. [6] Iz tog razloga podaci prikupljeni od strane IMU uređaja služe samo kao ispomoć SLAM tehnologiji.



Slika 5: 6 stupnjeva slobode IMU senzora [7]

2.1.2. Laserska svjetlost

Laser je akronim za svjetlost pojačanu stimuliranom emisijom zračenja. Stimulirana emisija je proces kada atom iz pobuđenog stanja prelazi u niže energetska stanje potaknut nazočnošću fotona koji ima upravo energiju jednaku razlici dva atomska stanja između kojih se događa prijelaz. [8]



Slika 6: Stimulirana emisija zračenja prema Einsteinovoj teoriji [8]

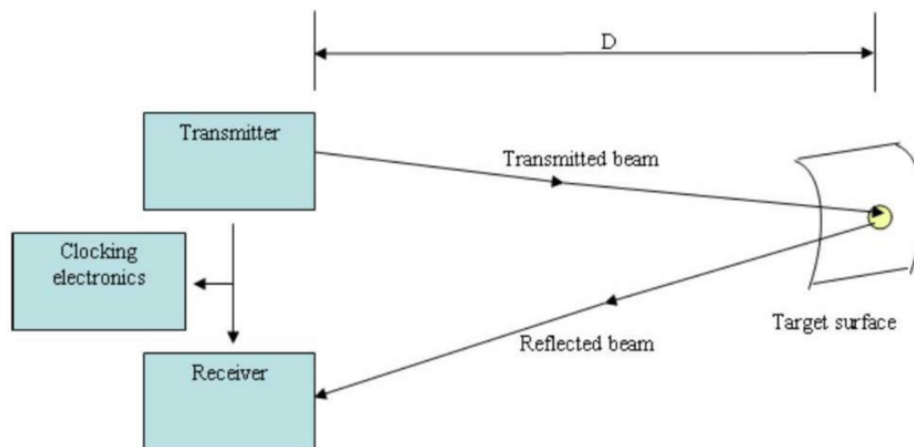
Glavne karakteristike laserske svjetlosti su monokromatičnost, usmjerenost i koherentnost. Osnovni elementi potrebni za nastanak laserske svjetlosti su optičko pojačalo (medij koji svakim prolazom pojačava lasersku svjetlost), optički rezonator (dva paralelna zrcala od kojih jedno ima nešto manju reflektivnost) te vanjska energetska pobuda sustava. Za energetska pobuda može se koristiti apsorpcija fotona, sudari između elektrona, aktivnih molekula i atoma, rekombinacije i kemijske reakcije. Vanjskom pobudom u mediju se odvija spontana i stimulirana emisija fotona od kojih se dio vraća u medij i putuje po osi rezonantne šupljine a dio pomoću zrcala izlazi van i stvara snop laserske svjetlosti.

2.2. Impulsni laserski skener

Impulsni laserski skener temelji se na TOF metodi (eng. Time of Flight) tj. mjeri vrijeme potrebno emitiranoj laserskoj zruci da se odbije od površine i vrati do senzora. Put s (m) koji zraka prijeđe odgovara polovici brzine svjetlosti c (m/s) pomnoženoj s proteklim vremenom Δt (s) kako je prikazano u sljedećoj jednažbi:

$$s = \frac{c\Delta t}{2} \quad (1)$$

Prednost ovog pristupa je mogućnost velikog dometa dok je preciznost mjerena narušena. Kako bi mjerna nesigurnost bila ispod 5 mm, preciznost kojom je potrebno izmjeriti vrijeme putovanja mora biti $\pm 0.03\text{ns}$. Takva preciznost može biti postignuta kratkim laserskim impulsima elektroničkim brojačem s visoko frekventnim oscilatorom i osrednjavanjem rezultata mjerenja. [3] Slika 7 prikazuje pojednostavljeni prikaz TOF metode s odašiljačem, prijemnikom, vremenskim diskriminatorom i označenim putom emitirane tj. reflektirane zrake između uređaja i površine.



Slika 7: Princip rada TOF skenera [9]

2.3. Fazni laserski skener

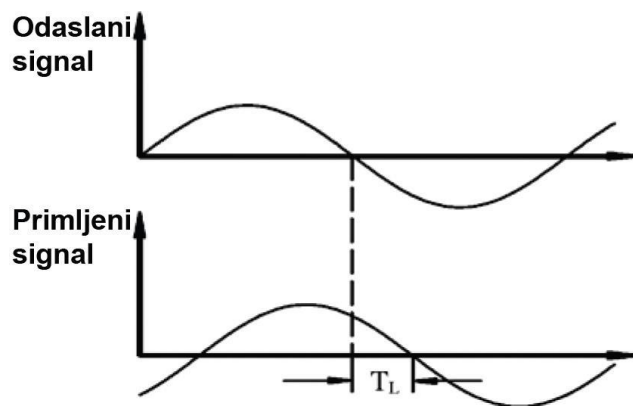
Kod faznog laserskog skenera odasлана zрака modulira se frekvencijom od 10 do 100 MHz te se mjeri pomak u fazi $\Delta\varphi$ reflektirane zраke kao što je prikazano na slici 8. Fazni pomak između odaslanog i primljenog signala predstavlja rezidualni dio udaljenosti nakon integralnog broja potpunih valnih duljina λ . [10] Vrijeme putovanja Δt pritom odgovara sljedećoj jednadžbi gdje je N broj potpunih perioda a f modulacijska frekvencija:

$$\Delta t = N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi f} \quad (2)$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{n\lambda} \quad (3)$$

Konačno, udaljenost uređaja s od skenirane površine iznosi:

$$s = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \quad (4)$$



Slika 8: Fazni pomak odaslanog i primljenog signala [11]

Kod ove metode mjerenja udaljenosti, preciznost mjerenja može se povećati korištenjem dodatnih valnih duljina moduliranih na val nosač. Pri tome je maksimalni doseg mjerenja određen najduljom valnom duljinom, a preciznost mjerenja najkraćom valnom duljinom. [3] Domet faznog laserskog skenera s druge strane ograničen je na stotinjak metara.

3. OBRADA PODATAKA DOBIVENIH SKENIRANJEM

Svakim skenom prikupljaju se podatci o kosoj dužini s' , kutu horizontalnog pravca W_2 , te vertikalnom kutu W_1 određene točke kako je prikazano na slici 9. Koordinate točke se potom konvertiraju iz sfernog u pravokutni sustav prema sljedećem odnosu:

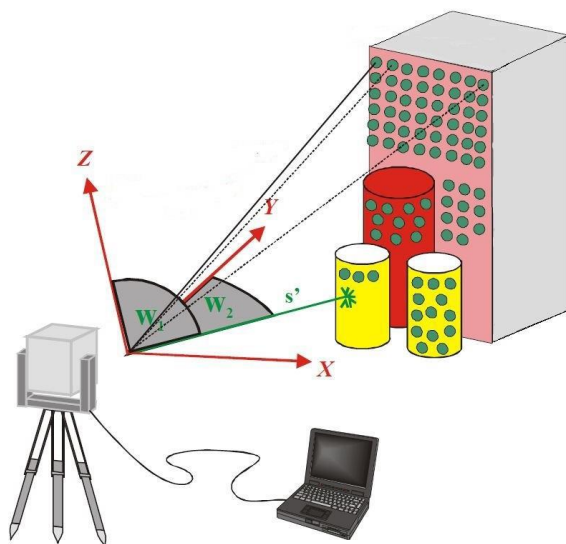
$$x = r \sin \theta \cos \alpha \quad (5)$$

$$y = r \sin \theta \sin \alpha \quad (6)$$

$$z = r \cos \theta \quad (7)$$

gdje je r kosa dužina sa slike, α kut horizontalnog pravca i θ vertikalni kut.

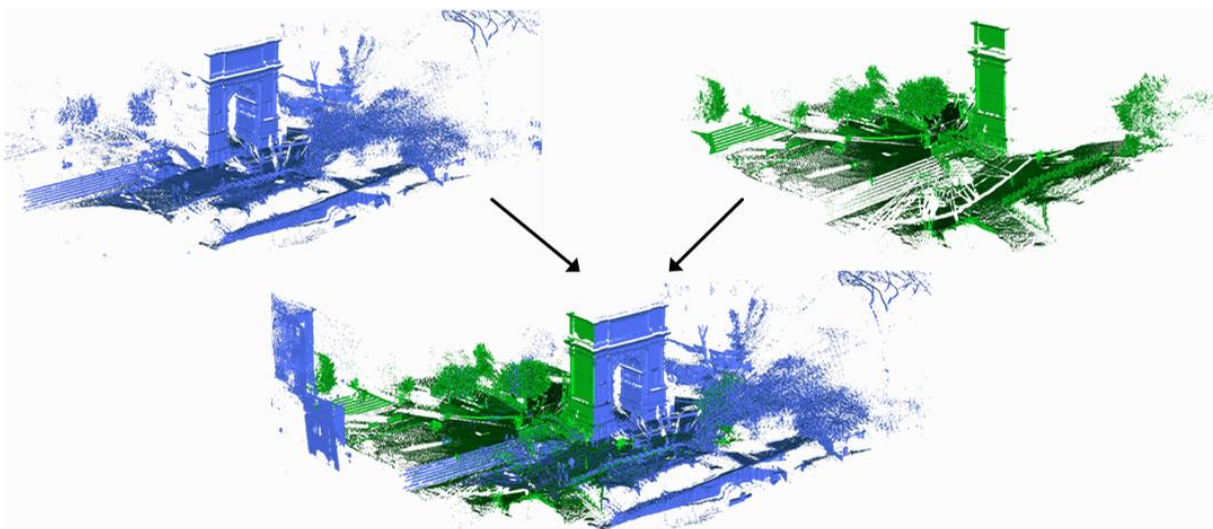
Osim koordinata točaka, prikuplja se i podatak o intenzitetu tj. jačini elektroničkog signala dobivenog pretvaranjem i pojačavanjem optičke snage povratnog raspršivanja. Intenzitet je važno svojstvo za klasifikaciju i registraciju skenova tj. obradu podataka koja je opisana u nastavku poglavlja te se može koristiti i u svrhu uklanjanja ne pripadajućih točaka jer između ostalog ovisi o transparentnosti skeniranog materijala.



Slika 9: Prikupljanje podataka o sfernim koordinatama točke [3]

3.1. Registracija skenova

Registracija ili georeferenciranje je proces povezivanja skenova iz različitih stajališta u jedinstveni referentni sustav objekta. S obzirom da uređaj ima svoj lokalni koordinatni sustav svaki sken potrebno je vizualno usporediti i povezati u zajednički koordinatni sustav kako bi se stvorio konačni proizvod tj. oblak točaka. Povezivanje skenova vrši se pomoću podudarnih točaka i drugih oblika koji su jasno vidljivi na barem dva skena. [11] Tvrtke koje proizvode laserske skenere obično nude i računalne programe za registraciju uz ostatak opreme. Na slici 10 mogu se vidjeti dva skena iz različitog kuta gledanja na objekt povezana u jednu prostornu cjelinu.

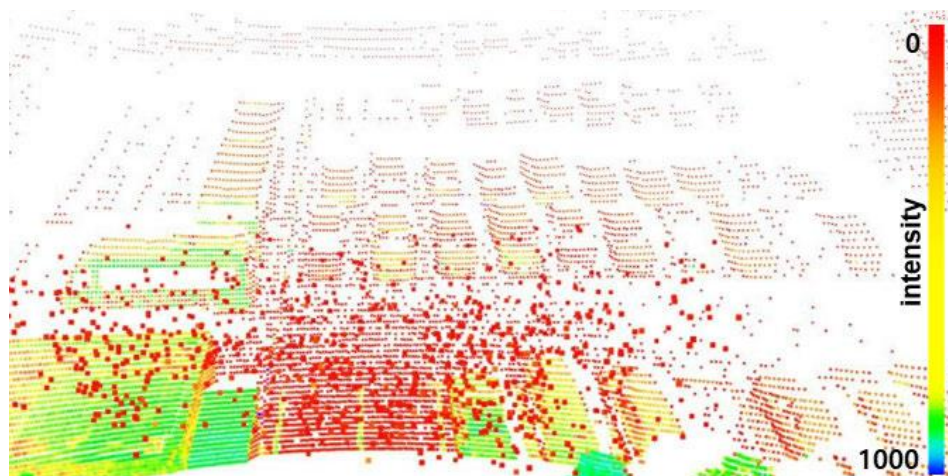


Slika 10: Referenciranje dva skena iz suprotnih gledišta

4. METODE FILTRIRANJA OBLAKA TOČAKA

Svaki oblak točaka nedvojbeno sadrži pogreške. Raspršene i pogrešno smještene točke nastaju zbog ograničenja instrumenata, geometrije objekta ili nepogodnih uvjeta pri skeniranju. Današnji računalni programi nude nekoliko opcija za filtriranje ovakvih točaka no većinom se baziraju na idealnoj raspodijeli. Točke koje su nastale prilikom odbijanja od reflektivnu ili transparentnu površinu mogu biti vrlo udaljene i lako prepoznatljive ovim algoritmima ali također i ne moraju. Priroda loma svjetlosti jako je nepredvidiva stoga postoji potreba za kompleksnijim pristupom prepoznavanja i uklanjanja točaka koje ne pripadaju objektu tj. „outliera“.

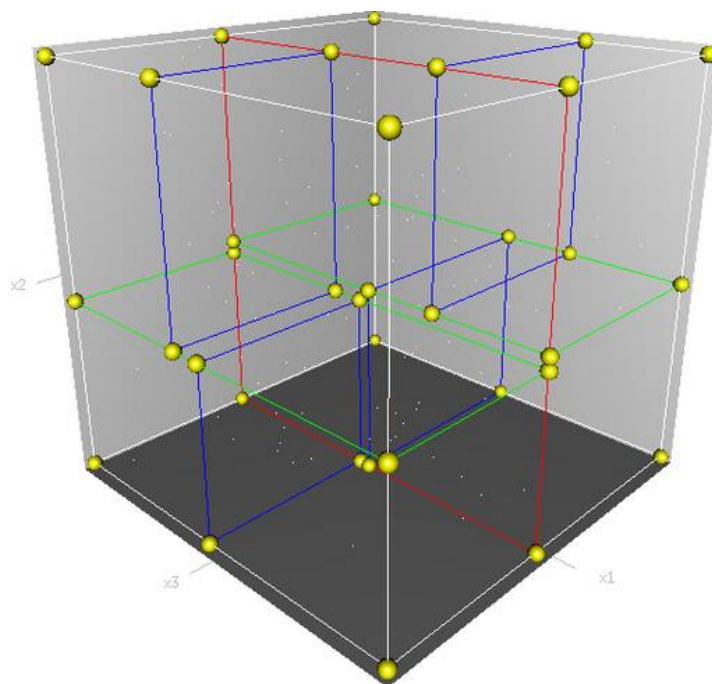
Metode filtriranja podataka u oblaku točaka generalno se mogu podijeliti na statističke metode, metode zasnovane na udaljenosti susjednih točaka, projekcijske metode, metode zasnovane na procesuiranju signala, metode zasnovane na parcijalnim diferencijalnim jednadžbama, hibridne metode i ostale. [13] U ovom poglavlju iznesen je pregled najpoznatijih konvencionalnih metoda, njihove poboljšane verzije i neka novija rješenja. Na slici 11 vidljive su raspršene točke nastale prolaskom laserske zrake kroz snijeg kao točke s najmanjim intenzitetom.



Slika 11: Raspršene ne pripadajuće točke prema intenzitetu povratnog signala [14]

4.1. ROR metoda

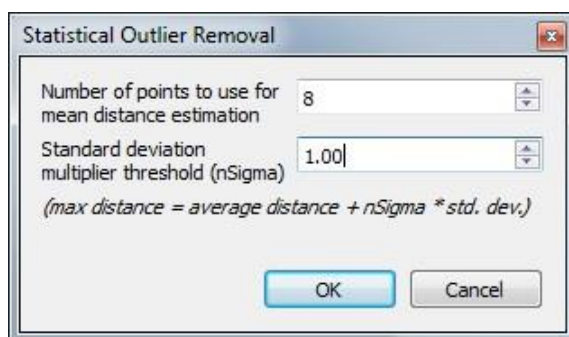
ROR metoda ili metoda filtriranja točaka prema radijusu spada u metode zasnovane na udaljenosti susjednih točaka. Za proračun koristi kd-stablo koje je prikazano na slici a. Kd-stablo (eng. kd-tree) je struktura podataka za podjelu prostora i organiziranje objekata u k-dimenzionalnom prostoru. [15] Princip ROR metode je prilično jednostavan; računa se srednja vrijednost udaljenosti točaka u određenom radijusu te se uklanja svaka točka čija udaljenost spada ispod granične vrijednosti. Radijus i granična vrijednost su pritom fiksne veličine.



Slika 12: kd-stablo za 3 dimenzije [16]

4.2. SOR metoda

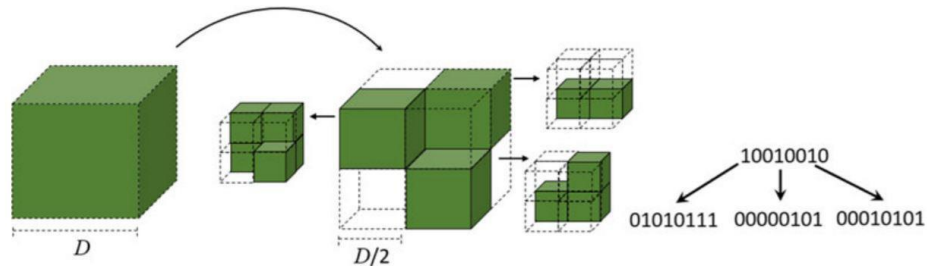
SOR metoda je statistička metoda filtriranja točaka. Razlikuje se od ROR metode po tome što izračunava srednju vrijednost svake susjedne točke u k prostoru. Ako ima više točaka nego zbroj prosječnih vrijednosti i standardne devijacije, odbačene su. Nedostatak ove metode je to što zahtijeva veliku snagu procesuiranja. Slika 13 prikazuje opciju SOR filtera u CloudCompare programu prema algoritmu iz otvorene baze podataka PCL.



Slika 13: SOR filter iz CloudCompare 2.9.1 verzije [17]

4.3. FCSOR metoda

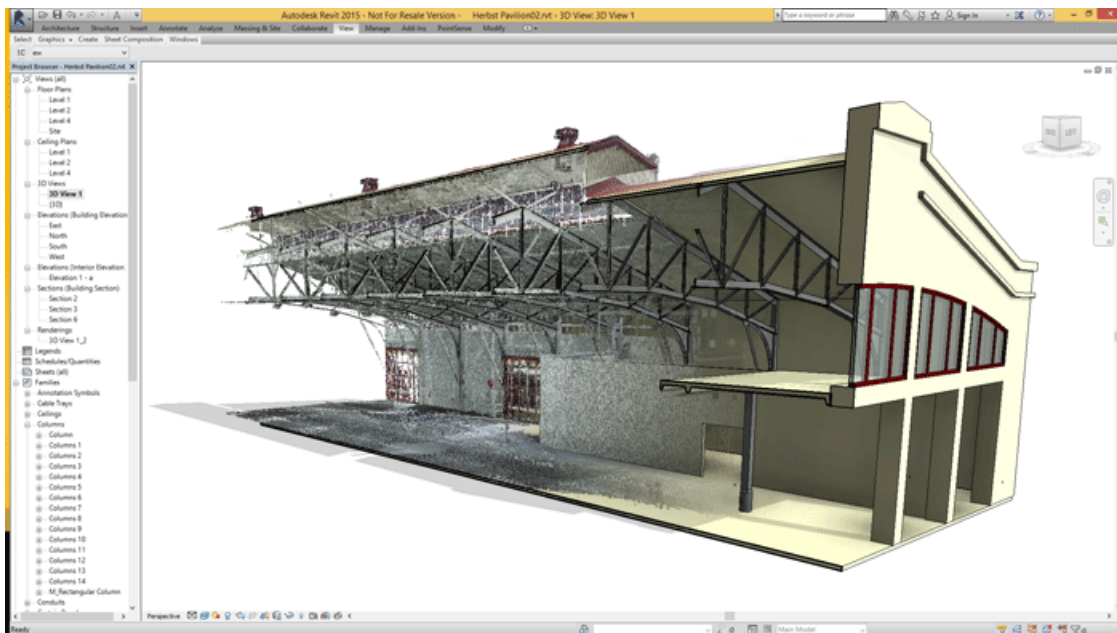
FCSOR filter je ekstenzija SOR filtera koja koristi voxel strukture kako bi smanjila brzinu procesuiranja. Voxeli su 3D prostori sastavljeni od 3x3x3 ćelije unutar kojih se statistička analiza susjednih točaka može odvijati paralelno. Ova metoda donosi preciznije rezultate od klasične SOR metoda no manu predstavljaju veliki zahtjevi radne memorije računala. Slika dva prikazuje kompresiju podataka pomoću voxel struktura



Slika 14: Kompresija podataka voxel strukturama [18]

4.4. DROR metoda

DROR metoda ili dinamičko uklanjanje „outliera“ prema radijusu poboljšana je verzija ROR metode jer prilagođava granični broj točaka u susjedstvu za uklanjanje. DROR metoda ima puno veću preciznost od prethodno navedenih no također i zahtijeva puno više vremena za procesuiranje.



Slika 15: rekonstrukcija objekta prema oblaku točaka u programu Revit

ZAKLJUČAK

Prostorno skeniranje je vrsta brzog prikupljanja prostornih podataka. U radu su opisane metode i vrste prostornog skeniranja koje kao polazište koriste lasersku svjetlost. Primarno u građevinarstvu koriste se laserski skeneri na bazi impulsne i fazne metode. Svi podatci dobiveni ovim načinom mjerenja formiraju konačni rezultat oblaka točaka koji se dobiva registracijom skenova. Nakon obrade podataka i formiranja oblaka točaka potrebno je filtrirati sve pogrešne točke. Provedeno je istraživanje metoda filtriranja te su njihovi opisi izneseni uz naglasak na prednosti i mane.

Iako postojeće metode olakšavaju rukovanje podacima iz oblaka točaka njihova primjena je ograničena. Noviji pristupi okreću se dubinskom učenju i neuronskim mrežama za prepoznavanje i uklanjanje ne pripadajućih točaka. Ostali pristupi uključuju korištenje analize glavnih komponenata, projekcije lokalne gustoće, varijacije površina, globalne minimizacije, polarizacije i druge.

Zbog velike potrebe za preciznim prostornim modelima ovo područje se brzo razvija te se može očekivati da će problem raspršenih točaka i uklanjanja istih biti razriješen i uklonjen iz optičkih tehnologija kao prepreka. Najveća potražnja za brzim i preciznim skeniranjem okoline trenutno se nalazi u industriji autonomnih vozila. Za potrebe ove industrije stvaraju se razne inovacije posebno kod sustava za prepoznavanje okoline stoga se može reći da je samo pitanje vremena kad će se poboljšati tehnologija skeniranja i u građevinarstvu.

LITERATURA I IZVORI

- [1] Roman, Anamaria & Ursu, Tudor. (2016): Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks.
- [2] <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- [3] Marko Miljković (2016.) Lasersko skeniranje, 3D modeliranje i vizualizacija Đulinog ponora, Diplomski rad, Zagreb
- [4] <https://survey.crkennedy.com.au/products/lg6012673/leica-rtc360-scanner-package-incl--gvp730--4x-geb361--2x-ms256-usb--gkl341--1yr-ccp>
- [5] Zogg, M. (2008): Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System, Doktorska disertacija, ETH Zürich, Zürich, Švicarska.
- [6] Siciliano, Bruno; Khatib, Oussama (20 May 2008). Springer Handbook of Robotics. Springer Science & Business Media. ISBN 9783540239574
- [7] https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360/visual_inertial_system_technology
- [8] <http://www.hfd.hr/ljskola/arhiva/1999/skenderovic/skenderovic.pdf>
- [9] Jaafar, Hasan. (2017). Detection and localisation of structural deformations using terrestrial laser scanning and generalised procrustes analysis.
- [10] Torge, W. (2001): Geodesy, 3. izdanje, Walter de Gruyter, Berlin, Njemačka
- [11] Ante Kukavica (2018.) Trodimenzionalna izmjera terestričkim laserskim skenerom i vizualizacija crkve sv. Ante u Splitu, Diplomski rad, Split
- [12] https://prs.igp.ethz.ch/research/completed_projects/automatic_registration_of_point_clouds.html
- [13] Xian-Feng Han (2017.) A review of algorithms for filtering the 3D point cloud, Kina
- [14] JI-IL PARK (2020.) Fast and Accurate Desnowing Algorithm for LiDAR Point Clouds
- [15] <http://www.zemris.fer.hr/predmeti/rg/diplomski/08Obradovic/kd.html>