

## Mapiranje prostora pomoću Turtlbota

---

*Izvršeno je trodimenzionalno mapiranje prostora korišćenjem Turtlbot robota kao mobilne platforme i na robotu postavljenog Kinect senzora za akviziciju trodimenzionalne slike. Opisan je proces spajanja point klauda (dubinske mape prostora) slikanih sa iste pozicije robota, pri rotaciji oko svoje ose. Algoritam iskorišćen za spajanje point klauda je ICP (eng. Iterative closest point). Za merenje ugla rotacije robota korišćena su dva metoda: očitavanje podataka sa enkodera i primena Kalmanovog filtra nad podacima sa enkodera i žiroskopa. Posmatran je odraz načina merenja ugla rotacije na kvalitet trodimenzionalnog mapiranja. Zaključeno je da pri malim zaokretima obe metode daju slične rezultate, dok se pri većim zaokretima podatak sa Kalmanovog filtra pokazao kao statistički bolji.*

---

### Uvod

Osnovni činilac rešavanja problema navigacije u prostoru jeste posedovanje određenih informacija o samom prostoru koje se prikupljaju tokom samog kretanja ili su od ranije poznate. Ukoliko su informacije o izgledu prostora unapred poznate reč je o problemu navigacije unutar, do nekog nivoa, poznatog prostora. Radi izvršavanja praktičnih zadataka navigacije u poznatom prostoru poželjno je poznavati što precizniju trodimenzionalnu reprezentaciju (mapu) prostora.

Trodimenzionalna reprezentacija prostora se dobija procesom mapiranja. Taj proces predstavlja vršenje merenja položaja reprezentativnog skupa tačaka celokupnog prostora u odnosu na neki referentni sistem. Sam proces mapiranja se primenjuje i pri navigaciji unutar nepoznatog prostora. Tada objekat koji se kreće kroz prostor vrši mapiranje, čime se dobija

informacija o lokalnom izgledu prostora u odnosu na referentni sistem vezan za taj objekat.

U opštem slučaju, za mapiranje prostora potrebno je imati senzor koji može da izmeri položaj tačaka u prostoru, kao i pokretnu platformu čiji je zadatak da pomera senzor kroz prostor koji se mapira. Radi primene algoritama za mapiranje prostora potrebno je poznavati položaj mobilne platforme, odnosno položaj senzora koji se nalazi na mobilnoj platformi u prostoru, jer se time omogućava lokalizacija snimljenog skupa tačaka prostora u odnosu na neki referentni sistem, npr. referentni sistem vezan za početni položaj mobilne platforme.

U ovom radu prikazana je implementacija mapiranja trodimenzionalnog prostora pomoću Turtlbota (web1) i poreden je kvalitet dobijene trodimenzionalne mape u zavisnosti od korišćene metode za određivanje položaja mobilne platforme. Implementirane su dve različite metode za određivanje položaja mobilne platforme.

Turtlbot je robot koji se sastoji od Majkrosoft Kinecta, koji predstavlja senzor za prikupljanje podataka o koordinatama tačaka posmatranog prostora, iRobot Createa, koji predstavlja mobilnu platformu opremljenu senzorima za praćenje položaja platforme (enkodera i žiroskopa), i računara koji omogućava komuniciranje i upravljanje robotom.

Kinect senzor omogućava merenje reprezentativnog skupa tačaka posmatranog prostora. Point klad (eng. Point Cloud) predstavlja dubinsku mapu prostora u obliku skupa tačaka prostora koji je posmatran. Za spajanje više point kladova radi mapiranja posmatranog prostora u celini korišćen je ICP algoritam (web2). Implementacija ICP je izvršena pomoću biblioteke PCL (web3).

---

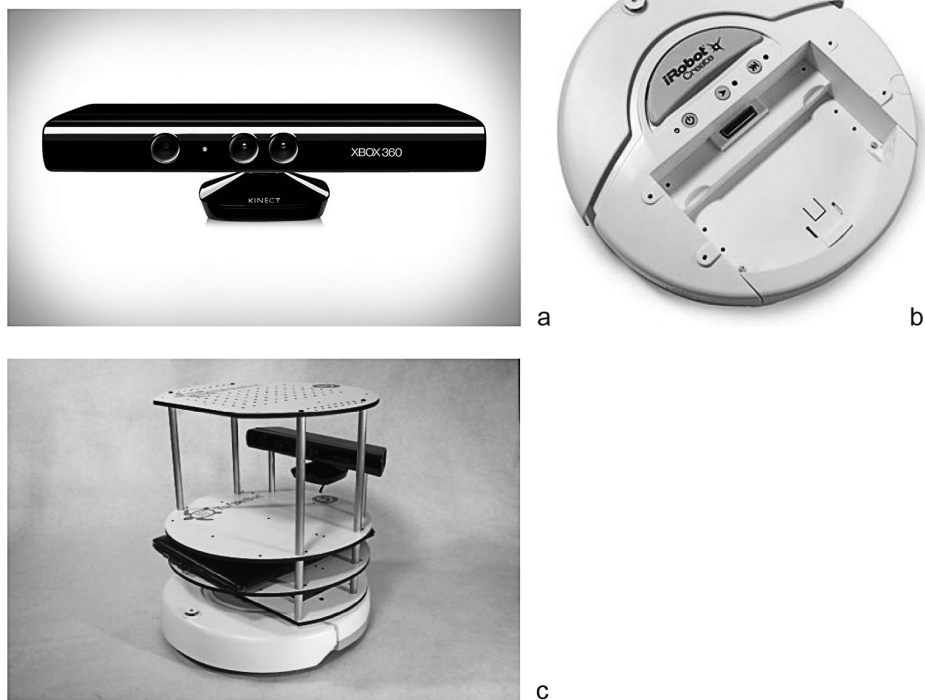
*Miloš Stojanović (1993), Beograd, Bulevar Arsenijeva Čarnojevića 183/13, učenik 4. razreda IX gimnazije „Mihajlo Petrović Alas” u Beogradu*

*Miloš Arbanas (1993), Sremska Mitrovica, Iriška 27, učenik 4. razreda Mitrovačke gimnazije*

**MENTORI:**

*Dorđe Nijemčević, MDCS, Beograd*

*Damjan Dakić, student Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu*



Slika 1. Elementi Turtlbota: a) Kinect senzor, b) iRobot Create, c) kompletiran Turtlbot sa pomoćnom konstrukcijom.

Figure 1. Turtlebot elements: a) Microsoft Kinect, b) iRobot Create developer kit c) TurtleBot assembled

Uobičajan metod određivanja položaja mobilne platforme je akvizicija sirovih podataka sa enkoder senzora. U ovom radu se predlaže korišćenje podataka dobijenih primenom Kalmanovog filtra nad podacima sa enkodera i podacima sa žiroskopa. Izvršeno je ispitivanje da li i u kojoj meri predložena metoda daje bolje rezultate pri mapiranju prostora od uobičajne metode.

## Aparatura

U radu je korišćen Turtlebot (web1) koji se sastoji od: Kinect senzora koji se nalazi na Turtlebotu, iRobot Createa i konstrukcije (slika 1).

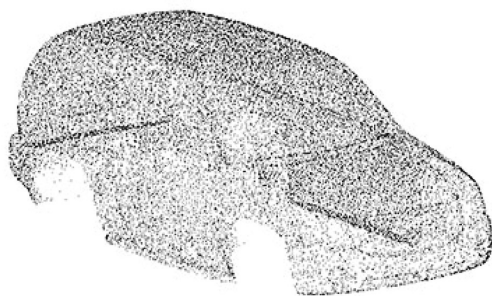
**iRobot Create** predstavlja mobilnu platformu koja ima mogućnost planarnog kretanja pomoću dva ugrađena točka i motora kojima je putem računara moguće upravljati sa udaljene pozicije. iRobot Create

poseduje veći skup senzora od kojih su od značaja za ovaj rad enkoder i žiroskop.

Enkoder senzor vrši merenje ugla rotacije neke osovine i pretvara izmerene podatke u električni signal, koji se dalje može obrađivati putem računara.

Žiroskop daje podatak o ugaonoj brzini iz koga, se putem integracije, dobija podatak o relativnom ugaonom položaju (orijentaciji) mobilne platforme.

**Kinect** je senzor koji uz pomoć kamere i dubinskog senzora proizvodi sliku u kojoj je svakom pikselu, osim boje, pridružen i podatak o udaljenosti od senzora (Red Blue Green Depth), odnosno vraća relativne koordinate konačnog skupa tačaka prostora u odnosu na položaj samog senzora – point cloud (slika 2). Ograničenje senzora se ogleda u tome da ne može da snimi tačke bliže od pola metra i dalje od tri metra i postojanje ograničenog ugaonog opsega snimanja (Fairhead 2012).



Slika 2. Point klaud (primer)

Figure 2. Example of point cloud

## Metod

Radi kreiranja trodimenzionalne mape prostora robot vrši ugaono kretanje oko vertikalne fiksne ose, gde je potrebno izmeriti ugaoni pomeraj. Vršiti se uzastopno snimanje koordinata tačaka prostora putem kinekt senzora za različite ugaone pomeraje robota. Na taj način je dobijen skup point klaudova, gde je svakom point klaud dodeljen ugao pod kojim je snimljen, koji se putem ICP algoritma uparaju, i time se dobija potpuna mapa prostora u odnosu na položaj robota (slika 3). Vršanjem rotacije i snimanjem više point klaudova je prevaziđeno ograničenje konačnog ugaonog opsega merenja kinekt senzora.

## Određivanje ugla rotacije robota

Enkoder je senzor koji vrši merenje ugla rotacije neke osovine. On postoji na Turtlbotu, tako da je moguće prikupiti podatke o uglu rotacije osovine za

koju su vezani točkovi kojima robot vrši planarno kretanje, čime je omogućeno vršenje procene relativnog položaja robota u odnosu na početni položaj.

Poznati problemi kod ovog metoda su što se tokom vremena nagomilava greška i tačnost procene položaja značajno opada.

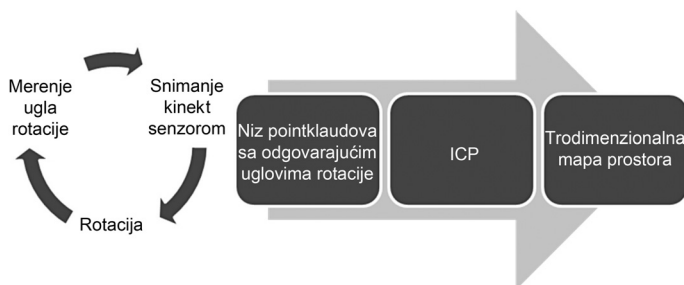
Ako pri vršenju merenja neke veličine tokom vremena postoji više izvora podataka o toj veličini, i svaki od izvora podataka sadrži određenu količinu šuma, moguće je primeniti Kalmanov filter nad oba niza podataka sa ciljem da se dobiju merni rezultati koji su pouzdaniji od svakog od ulaznih izvora podataka pojedinačno. Kalmanov filter, dakle, predstavlja algoritam kojim se smanjuje količina šuma u mernom rezultatu, tj. dobija se statistički bolja predstava posmatranog fizičkog sistema. Kalmanov filter koristi matematički model sistema da bi predvideo kako će se sistem ponašati. Predviđeno stanje sistema i izmerno stanje sistema se usrednjava, čime se dobija nova procena realnog stanja sistema koja ima manju nesigurnost i od predviđenog stanja i od izmerenog stanja. Ovaj algoritam se izvršava rekurzivno u diskretnim vremenskim intervalima (Kalman 1960).

U ovom radu za ulaze u Kalmanov filter su korišćeni podaci uglu rotacije sa dva senzora: enkodera i žiroskopa.

Obrada podataka sa enkodera i primena Kalmanovog filtra predstavljaju dva načina merenja ugla rotacije robota za koje je vršeno poređenje uspešnosti izvršenja ICP algoritma.

## ICP algoritam

Algoritam služi da se point klaud koji je slikan nakon rotacije robota spoji sa point klaudom slikanim pre rotacije. Način na koji to radi je da iterativno vrši rotacione transformacije sve dok se dva point klauda dovoljno dobro ne preklape (web2).



Slika 3. Dijagram procesa trodimenzionalnog mapiranja prostora

Figure 3. 3d surface reconstruction – process phases

Ulazne informacije su dva point klauda koje treba spojiti, procena transformacije (koja predstavlja izmeren ugao rotacije robota) i kriterijum za stopiranje algoritma.

Izlaz je spojeni point klaud.

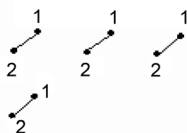
Na samom početku se vrši transformacija tačaka drugog point klauda za procenjenju transformaciju, odnosno za ugao rotacije robota. Dobijaju se dva point klauda koji se nalaze u približno istom koordinatnom sistemu i približno se preklapaju. Parovi tačaka koji se isuviše razlikuju bivaju odbačeni, jer one predstavljaju tačke koje postoje samo u jednom od point kladova – koriste se samo tačke koje su zajedničke za oba (preklapljenе tačke). Na slici 4 su prikazani primeri oba point klauda pre i posle primene procenjene transformacije.

Uparivanje tačaka, se vrši da bi se proverilo koliko se dva point klauda dobro preklapaju i da bi se našla transformacija koja će to preklapanje popraviti. Ako imamo dva point klauda A1 i A2, i pretpostavimo da je rotacija mala, tada će nekoj tački iz A1



Slika 4. Tačke prvog i drugog point klauda pre i posle transformacije za procenjen ugao. Bela tačka predstavlja položaj robota.

Figure 4. Points of the first and the second point cloud before and after transformation for estimated angle. The white point defines the robot's position.



Slika 5. Uparivanje tačaka. Tačke obeležene brojem 1 su tačke prvog point klauda, a brojem 2 drugog.

Figure 5. Point pairing. Numbers define point cloud source.

najbliža tačka iz A2 biti par, odnosno to je tačka rotirana za neki ugao. Na slici 5 je predstavljeno uparivanje tačaka.

Za parove tačaka koje su približno preklapljenе se zatim traži transformacija koja će to preklapanje još popraviti. To se vrši tako sto se odaberu slučajne tačke i za te tačke se odredi najbolja transformacija koja preslikava tačke drugog point klauda u prvi. Na slici 5 transformacija bi bila translacija koja tačke 2 preslikava u tačke 1.

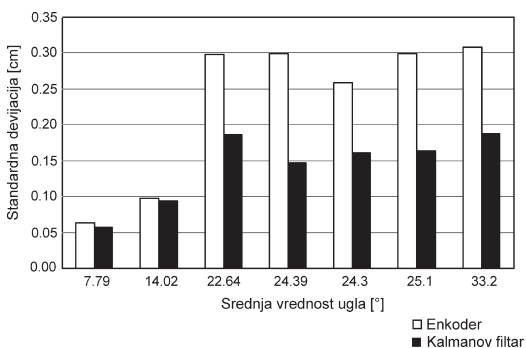
Transformacija se izvršava nad svim tačkama.

Traženje transformacije i primenjivanje iste se vrši dok greška transformacije, odnosno dok srednja vrednost kvadrata rastojanja između parova tačaka, ne postane dovoljno mala ili se ne desi maksimalan broj iteracija (definisana vrednost je 10).

Algoritam je realizovan u programskom jeziku C++ i korišćenjem biblioteke otvorenog koda PCL (eng. Point Cloud Library).

## Rezultati merenja i diskusija

Merenje je izvedeno tako što se za isti zadat signal motorima vrši očitavanje rezultata merenja ugla rotacije robota paralelno, i sa obrađenog signala iz enkodera i iz Kalmanovog filtra. Zatim se vrši merenje point klauda i dva izvršavanja ICP algoritma – jedno kao meru ugla rotacije koristi podatak sa obrađenog signala iz enkodera, a drugo podatak iz Kalmanovog filtra.



Slika 6. Upoređeno standardno odstupanje kod obe metode u funkciji srednje vrednosti ugla

Figure 6. Comparing standard deviation of average rotation angle using both methods (white – Encoder only, black - Kalman filter)

Tabela 1. Rezultati merenja

Izmereni ugao [°]		Broj preklopljenih tačaka		Standardna devijacija [cm]	
enkoder	Kalmanov filtar	enkoder	Kalmanov filtar	enkoder	Kalmanov filtar
6.27	9.31	32632	32513	0.063	0.056
12.37	15.67	32606	32585	0.097	0.094
19.53	25.76	32696	32514	0.298	0.187
20.51	28.27	32647	32712	0.299	0.147
21.42	27.18	32609	32659	0.259	0.161
22.31	27.89	32137	32201	0.299	0.164
31.21	35.19	32601	32672	0.308	0.186

Kao rezultat merenja, a radi poređenja preciznosti spajanja dva point klauđa korišćenjem jednog od dva metoda merenja ugla rotacije, u tabeli 1 su prikazane standardne devijacije rastojanja tačaka dva preklopljena dela point klauđa koje pronalazi ICP algoritam.

Grafik na slici 6 prikazuje uporedo zavisnost standardne devijacije merenja kod obe metode zavisno od srednje vrednosti ugla.

## Zaključak

Iz navedenih rezultata merenja se zaključuje da nezavisno od metoda merenja uglova rotacije pri malim zaokretima obe metode daju sličan rezultat, dok se pri većim zaokretima metoda Kalmanovog filtra pokazala kao statistički bolja. U daljim radovima je potrebno izvršiti slično ispitivanje i kada se vrši translatorno kretanje.

## Literatura

Kalman R. E. 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Journal of Basic Engineering*, **82** (Series D): 35.

Fairhead H. 2012. Open Source Kinect Fusion – Instant Interactive 3D Models. Dostupno na <http://www.i-programmer.info/news/144-graphics-and-games/3616-open-source-kinect-fusion-instant-interactive-3d-models.html> [Pristupljeno 25.10.2013]

web 1. <http://download.ros.org/downloads/turtlebot/TurtleBot-Hardware-2011-07-23.zip> [Pristupljeno 10.25.2013]

web 2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Iterative\\_closest\\_point](http://en.wikipedia.org/wiki/Iterative_closest_point)

web 3. <http://pointclouds.org/documentation/>

*Miloš Stojanović and Miloš Arbanas*

## Online 3D Mapping Using Turtlebot

3d space mapping is performed using a Turtlebot robot as a mobile platform and his Kinect for 3d imagery generation. Merging multiple points created by the rotating robot (and kinect sensor) is described. The used merging algorithm is known as Iterative Closest Point (ICP). For the measurement of the rotation angle two different approaches are used: encoder only and encoder and gyroscope filtered using the Kalman filter. Two different approaches gave different 3d maps. The quality of the 3d map is measured using these two approaches. The conclusion (Figure 6) is that if the rotation angle is small, then the 3d map is of similar quality for both approaches, while if it is larger, the Kalman filter gives better matches.

