

## Laserski daljinomer

---

*U ovom radu opisana je konstrukcija sistema za izračunavanje udaljenosti od objekta pomoću lasera i kamere. Na osnovu položaja laserske tačke na slici koju je kamera zabeležila preračunava se udaljenost. Hardverska konstrukcija se sastoji od kamere i lasera fiksiranog za nju. Algoritam je realizovan u programskom paketu MATLAB. Merenjem je utvrđena zadovoljavajuća preciznost sistema za daljinu do 300 cm.*

---

### Uvod

Daljinomeri su uređaji koji mere udaljenost predmeta od posmatrača. Postoji više pristupa ovom problemu:

1. korišćenjem lasera i računanjem udaljenosti na osnovu vremena potrebnom da zrak stigne do predmeta, odbije se od njega i vrati nazad do uređaja.
2. korišćenjem lasera i računanjem udaljenosti na osnovu pozicije laserske tačke na snimku (Todd 2009).
3. korišćenjem zvuka ili ultrazvuka, i merenjem vremena potrebnog da se zvučni talas odbije o predmet i vrati nazad do uređaja (Elfes 1987).
4. korišćenjem dve kamere (stereo vision) i na taj način imitiranjem sistema koji koristi čovek. Na osnovu razlike između snimaka dobijenih sa tih kamera određuje se udaljenost svakog objekta na slici (Wang *et al.* 1999).

U ovom projektu je korišćena druga metoda zbog jednostavnosti uređaja i ekonomičnosti.

Ovakvi uređaji imaju vrlo široku primenu. Napredniji oblici ove tehnologije imaju vojne primene. Oni

omogućavaju merenje udaljenosti do čak 25 km. Dalju primenu laserski daljinomeri nalaze u 3D modeliranju. Zahvaljujući podacima o udaljenosti iz više uglova moguće je napraviti 3D sliku predmeta ili prostorije. Takođe se koriste u arhitekturi, prostornom planiranju, kao i u sportovima poput golfa, lova i streljaštva i u sistemima automatskog upravljanja.

### Opis uređaja

U ovom radu konstruisan je uređaj za aktivno merenje udaljenosti predmeta od posmatrača (Montano i Asensio 1997). Uređaj je pokretljiv i lagan i na osnovu toga omogućava široku primenu i lako implementiranje u sistem sa automatskim upravljanjem. Sistem se sastoji od kamere povezane sa računom i lasera koji je fiksiran za kameru:

- kamera – korišćena je web kamera rezolucije  $320 \times 240$  piksela i 15 fps-a
- laser snage 1mW crvene boje
- računar na kome je instaliran MATLAB – programski paket korišćen zbog svojih mogućnosti obrade slike i numeričke analize

### Metod rada

Algoritam (slika 1) se sastoji od pronalaženja laserske tačke, određivanja njene pozicije na slici i, na osnovu te pozicije, računanja udaljenosti predmeta na kom se ta tačka nalazi (slika 2) (Todd 2009). Laser se na slici vidi kao beli krug sa crveni oreolom, zbog velike količine svetlosti koju kamera

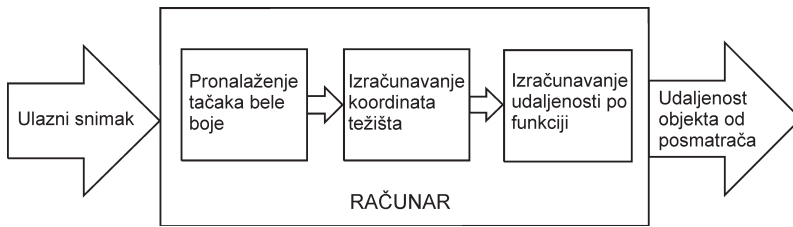
---

*Vladimir Ranković (1992), Beograd, Dr Ivana Ribara 146/4, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu*

#### MENTORI:

*Marko Bežulj, Pančevo, student Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu*

*Miroslav Bogdanović, Beograd, student računarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu*



Slika 1.  
Tok rada programa

prima. Pozicija lasera na slici određena je kao težište tačaka bele boje (slika 3). Preciznije to su pikseli koji ni po kojoj komponenti (RGB – crvena, plava i zelena boja) ne odstupaju od bele boje za više od 20. Kako ti pikseli (tačke) imaju svoje koordinate na slici određujemo koordinate njihovog težište formulama:

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$y_t = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Pozicija lasera na slici zavisi od udaljenosti predmeta od kamere na sledeći način:

$$R = \frac{d \cdot N}{2y \cdot (\sin \varphi + \cos(\theta/2))}$$

gde je:

$d$  – razdaljina između lasera i kamere

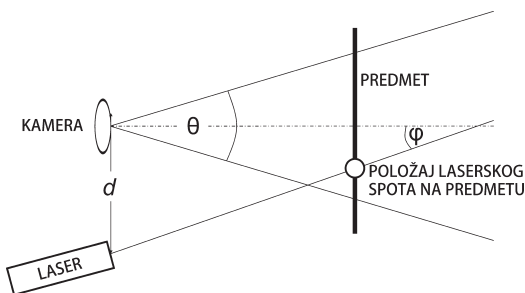
$y$  – pozicija težišta laserske tačke na slici po vertikalnoj osi

$\varphi$  – ugao između lasera i kamere

$\theta$  – ugao vidljivosti kamere

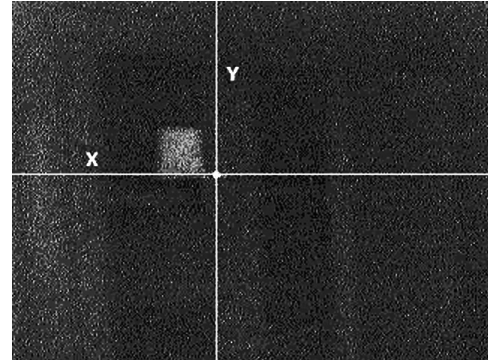
$N$  – visina slike izražena u pikselima

$R$  – rastojanje predmeta od kamere



Slika 2. Šema sistema

Figure 2. System schematics: camera (top left), laser (bottom left), object (top right), and laser position



Slika 3. Primer slike koju program obrađuje

Figure 3. Example of an image that is being processed

U ovoj formuli su konstantni  $d$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$  i  $N$  pa se formula može prikazati u obliku:

$$R = \frac{1}{y} \cdot C,$$

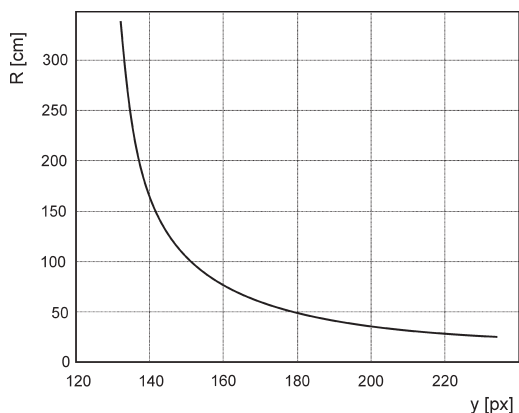
gde je  $C = \frac{d \cdot N}{2(\sin \varphi + \cos(\theta/2))}$ . Odavde se može

videti da udaljenost inverzno linearno zavisi od pozicije lasera na slici.

## Kalibracija

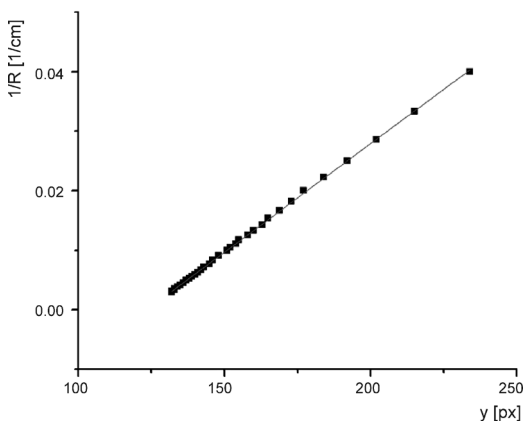
Iako je poznata teorijska zavisnost u praksi se dešavaju greške pri merenju parametara potrebnih za izračunavanje. Zbog toga je pribegnuto drugačijoj metodi – kalibraciji. Kalibracija omogućava dobijanje konstante  $C$ , bez merenja parametara od kojih ona zavisi. Vršena je merenjem vrednosti  $y$  na različitim daljinama. Očekivano dobijena zavisnost je obrnuto proporcionalna (slika 4).

Pri daljoj obradi podataka skiciran je grafik zavisnosti  $1/R$  od  $y$  (slika 5). Sa grafika se vidi da je



Slika 4. Zavisnost udaljenosti od pozicije lasera na slici

Figure 4. Relation between distance from an object and the position of the laser on the picture



Slika 5. Zavisnost invertovane udaljenosti od pozicije lasera na slici

Figure 5. Relation between inverted distance from an object and the position of the laser on the picture

zavisnost linearna, dakle možemo izračunati koeficijent pravca koji nam je potreban.

Dobijena je linearna funkcija  $\frac{1}{R} = k \cdot y + n$

gde je

$R$  – rastojanje predmeta od kamere

$y$  – pozicija težišta laserskog spota na slici po vertikalnoj osi

$k$  – koeficijent pravca; dobijena vrednost

$$k = (3.64 \pm 0.01) \cdot 10^{-4}$$

$n$  – translatorni pomeraj; dobijena vrednost

$$n = (4.5 \pm 0.02) \cdot 10^{-2}$$

Na ovaj način dobijeni rezultati se slažu sa očekivanjima.

## Rezultati i diskusija

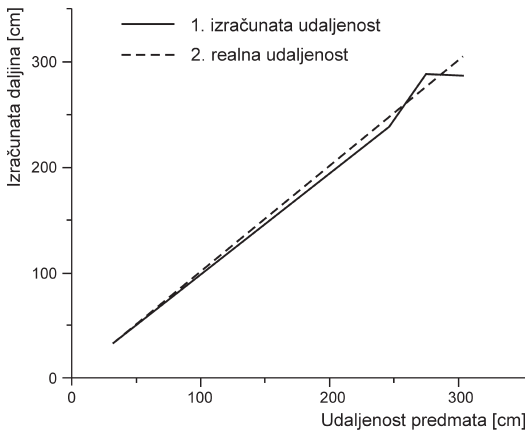
Uređaj je testiran merenjem većeg broja različitih udaljenosti. Vreme potrebno za obradu jedne fotografije je oko 4 milisekunde što je više nego zadovoljavajuće za rad u realnom vremenu.

U tabeli 1 se može videti deo dobijenih rezultata. Odatle se može videti da relativna greška merenja nije konstantna, već varira od 0.5% do 5.2%. Greška se objašnjava nepreciznošću samog uređaja, odnosno malom rezolucijom kamere. Kao što se može videti iz poslednje dve kolone za promenu razdaljine od 29 cm pozicija lasera na snimku je ostala ista. Greška se povećava sa razdaljinom, ali zavisi i od razdaljine koju merimo jer je na većim daljinama potrebna veća promena u daljini da bi došlo do promene u poziciji laserske tačke, pa jedna pozicija obuhvata veći opseg razdaljine sa većom daljinom (slika 6). Veća preciznost se može postići većim uglom između kamere i lasera ali posledica toga je smanjenje dometa uređaja.

Pri radu najveći problem nastaje zbog jakog osvetljenja, koje čini bele predmete svetlim i pravi odsjaje koje program pogrešno tumači. Problem se

Tabela 1. Rezultati testiranja uređaja (deo)

Stvarna razdaljina od predmeta (u cm)	32	60	88	100	141	195	245	274	303
Pozicija laserske tačke na slici (u pikselima)	210	168	155	151	143	138	135	133	133
Razdaljina izmerena sistemom (u cm)	31.7	61.5	87	99.5	140.2	188.4	237.4	287.1	287.1
Apsolutna greška merenja (u cm)	0.3	0,5	1	0.5	0.8	6.6	7.6	13.1	16.1
Relativna greška merenja (u procentima)	0.93	0.83	1.1	0.5	0.5	3.3	3.1	4.7	5.2



Slika 6. Odnos stvarne udaljenosti i izmerene udaljenosti

Figure 6. Relation between real distance (2) and measured distance (1)

može rešiti konverzijom slike u hsv format, ali uz značajno usporenja i gubljenja mogućnosti za rad u realnom vremenu. Takođe, kamera veće rezolucije bi omogućila veću tačnost, ali takođe prouzrokovala i dužu obradu slike iz istog razloga.

Sistem je ograničen na rad od 20-400 centimetara čak i u mraku. Objašnjenje ovog problema leži u tome da je laser izuzetno slab i na većoj daljini zbog divergencije, to jest širenja laserskog snopa, dolazi do slabljenja inteziteta sjaja laserske tačke. Osim jačim laserom ovaj problem može biti rešen kamerom većeg kvaliteta.

## Zaključak

Sistem omogućava merenje daljine objekta od kamere u realnom vremenu. Dalje unapređenje projekta je trodimenzioni skener prostorije, što uključuje mehanizovani sistem koji određuje udaljenost tačaka okoline i tako pravi dubinsku mapu tog prostora. Moguće je odrediti brzinu i ubrzanje tela koje nosi

ovakav sistem, kao i tela koje se kreće u pravcu tela koje nosi ovakav sistem, i na taj način omogućiti automatsko izbegavanje prepreka.

## Literatura

- Elfes A. 1987. Sonar-based real-world mapping and navigation. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, **3** (3): 233.
- Montano L., Asensio, J. R. 1997. Real-time robot navigation in unstructured environments using a 3D laser rangefinder. *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Grenoble, France, str. 526-532.
- Todd D. 2009. Webcam Based DIY Laser Rangefinder. Dostupno na: [http://sites.google.com/site/toddanko/home/webcam\\_laser\\_ranger](http://sites.google.com/site/toddanko/home/webcam_laser_ranger)
- Wang Y., Liu K., Hao Q., Wang X., Lau D., Hassebrook L. 1999. Robust Active Stereo Vision Using Kullback-Leibler Divergence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **99** (1): 5555.

Vladimir Ranković

## Laser Rangefinder

This paper describes the construction and testing of a laser rangefinder. It uses the position of the laser dot on the image taken by a camera to calculate the distance from a camera to the object the laser is pointing at. The hardware of this system consists of a laser fixed to the camera so that the angle and distance between them are constant. The camera is connected to a computer which then handles the image processing. The algorithm was implemented in MATLAB. The resulting accuracy that has been achieved depends on the distance from the object.

