
Miodrag Đukić

Optoelektronski uređaj za 3D skeniranje objekata primenom metoda triangulacije

Prikazana je upotreba laserskog daljinometra kao 3D skenera. Detaljno je objašnjena upotreba CCD čipa kao preciznog sredstva za merenje pomeraja laserskog zraka. Ova metoda je zanimljiva jer omogućava veliku tačnost merenja upotrebom jevtine i lako dostupne opreme.

Uvod

3D skeniranje predmeta ima veliku praktičnu primenu – od jednostavnih primena za računarsku grafiku, preko analize reljefa neke površine, pa sve do upotrebe u analizi morfoloških osobina nekih tela. Takođe, zanimljiva je upotreba ovog skenera kao sastavnog dela mašine za trodimenzionalno kopiranje predmeta – u sprezi sa računarski vođenim alatima za obradu materijala (strugovi, glodalice...).

Trodimenzionalno skeniranje objekata razvija se duži niz godina i veoma je rasprostranjena njegova primena u naučne, tehnološke, medicinske i druge svrhe. Metode 3D skeniranja mogu se podeliti u tri osnovne grupe:

- Direktne/indirektne – ako je zasnovana na neposrednoj viziji metoda je direktna, a ako je zasnovana na analizi slike ona je indirektna
- Aktivne/pasivne – metode kod kojih postoji kontrolisan izvor svetlosti (laser, infracrvena svetlost) su aktivne, a pasivne su zasnovane na primeni prirodnog (nekontrolisanog) svetla.
- Monokularne/binokularne – metode merenja rastojanja iz jedne tačke su monokularne, a ako predmet snimamo iz dve ili više tačaka metoda je binokularna (Popović 1996)

U ovom radu prikazana je jedna od metoda 3D skeniranja koja se zasniva na principu triangulacije; metoda je direktna, aktivna i monokularna. Ova metoda je izabrana zbog jednostavnosti realizacije (u pogledu potrebne opreme), ali i zbog velike tačnosti i preciznosti. U radu je data blok šema uređaja, objašnjena je postavka aparature, opisan je matematički apa-

*Miodrag Đukić
(1983), Novi Sad,
Narodnog fronta 34,
učenik 3. razreda
Gimnazije "Jovan
Jovanović Zmaj" u
Novom Sadu*

*MENTOR:
Ljubomir Vračar,
Elektronski fakultet
Niš*

rat korišćen u programu za obradu podataka skeniranja, kao i primer skeniranja jednog predmeta. Uređaj pruža mogućnost daljeg razvoja u pogledu brzine rada i tačnosti skeniranja, na čemu se trenutno radi.

Princip rada 3D skeniranja

Princip 3D skeniranja korišćen za rad ovog uređaja zasnovan je na merenju daljine laserom metodom triangulacije. Objekat se nalazi na rotirajućem postolju čije je kretanje moguće pratiti na računaru. He-Ne laser postavljen je tako da osvetljava objekat. Na objektu se javlja crvena svetla tačka čije dimenzije i osvetljenost zavise od karaktera površine (mat – sjajna, svetla – tamna...). Sabirno sočivo postavljeno je tako da mu se u žiži nalazi CCD čip, na kome se javlja lik svetle tačke. U zavisnosti od udaljenosti površine predmeta čiji oblik želimo da ispitamo, menja se i položaj svetle tačke na CCD čipu. Dalje, znajući određene dimenzije aparature moguće je odrediti rastojanje pojedinih tačaka površine tela od centra ose rotacije, a time i njegov oblik.

Prikaz uređaja

Ceo 3D skener se može podeliti na tri glavne celine: optička klupa na koju je postavljen mehanički deo uređaja; CCD čip sa pratećom optikom (koja nije sastavni deo CCD kamere – što je omogućilo dodatnu prilagodivost uređaja u pogledu rezolucije skeniranja i veličine objekta koji se skenira); i računar sa programom za obradu podataka sa CCD čipa kao i kontrolom za mehanički deo uređaja (slika 1).

Na slici 2 obeležene su tačke koje su korišćene u matematičkim izračunavanjima. A je referentna tačka u odnosu na koju su vršena merenja potrebnih dužina, tačka B je centar rotirajućeg postolja, dok tačka X predstavlja tačku u kojoj laserski zrak pada na skenirani objekat. Zatim, C predstavlja centar sočiva, a F njegovu projekciju na osnovni pravac optičkog stola. Duž ED i tačka S predstavljaju redom CCD čip i položaj lika svetle tačke X na njemu. Očigledno su sve tačke osim X i S fiksne. Postavka uređaja je takva da su dobijene sledeće vrednosti za navedene dužine:

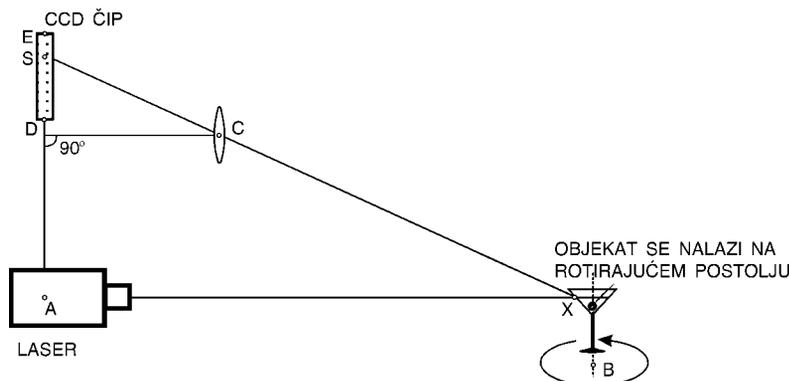
$$AB = 476 \text{ mm}$$

$$FD = 34 \text{ mm}$$



Slika 1.
Blok šema 3D skenera

Figure 1.
Simplified scheme of
a 3D scanner



Slika 2.
Postavka uređaja na
optičkoj klupi

Figure 2.
Optical bench device
setup

$$AF = 136 \text{ mm}$$

$$CF = 108 \text{ mm}$$

Upotrebjeni CCD čip izrađen je po standardu $3.6 \times 4.8 \text{ mm}$ tako da je $ED = 4.8 \text{ mm}$.

Sledi opis matematičkog aparata koji je korišćen i iz koga će biti jasan princip na kom je zasnovan rad skenera. Iz sličnosti trouglova CSF i XSA imamo:

$$\frac{CF}{FD + DS} = \frac{AX}{AF + FD + DS} \quad (1)$$

$$AX = \left(\frac{AF}{FD + DS} + 1 \right) \cdot CF \quad (2)$$

Sada je: $BX = AB - AX$ tako da je konačna formula po kojoj se ovo rastojanje računa:

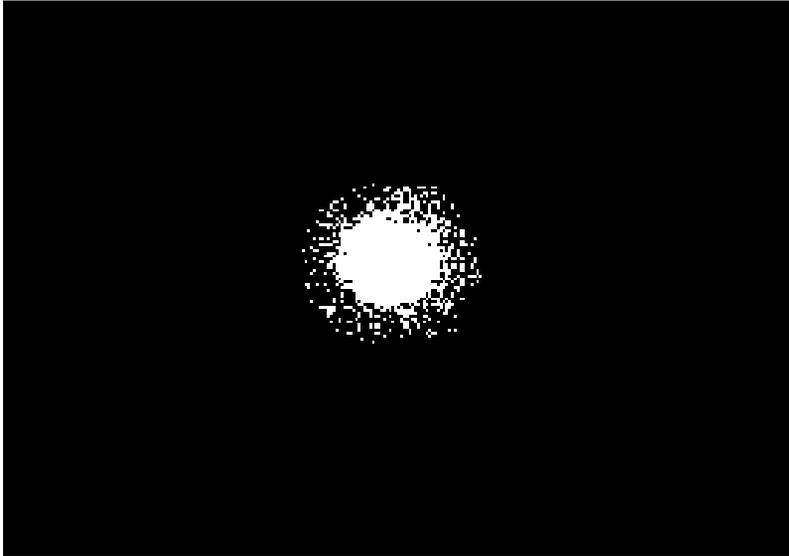
$$BX = AB - \left(\frac{AF}{FD + DS} + 1 \right) \cdot CF \quad (3)$$

Očigledno da za rotirajući objekat i odabrani ugao (u našem konkretnom slučaju korak rotacije je 5) dobijamo niz udaljenosti omotača od centra (tačke B) u radijalnom pravcu (7).

CCD čip je povezan sa računarom preko kartice za kompozitni ulaz, i služio je za merenje rastojanja DS. Uz pomoć preciznog postavljanja aparature i plavog filtera (postavljen između sočiva i CCD-a služio je da smanji intezitet svetla, a time i površinu svetle tačke) dobijena je vrlo pravilna i relativno mala svetla tačka (slika 3) čiji se centar koristio za računanje udaljenosti DS – jednačina (4).

$$DS = ED \cdot \frac{\text{broj piksela} - X_{\text{koordinata}}}{\text{broj piksela}} \quad (4)$$

Zahvaljujući jednostavnosti dobijenih jednačina (1), (2), (3) procena greške merenja se vrlo jednostavno izvodi i važe sledeće relacije:



Slika 3.
Projekcija laserskog snopa na CCD čip prikazana na monitoru računara

Figure 3.
Laser beam projection on a CCD chip as seen on a computer monitor

$$\frac{\Delta AX}{AX} = \frac{\Delta AF + \Delta FD + \Delta DS}{AF + FD + DS} + \frac{\Delta AF + \Delta DS}{AF + DS} + \frac{\Delta CF}{CF} \quad (5)$$

odakle je:

$$\Delta BX = \Delta AB + \Delta AX \quad (6)$$

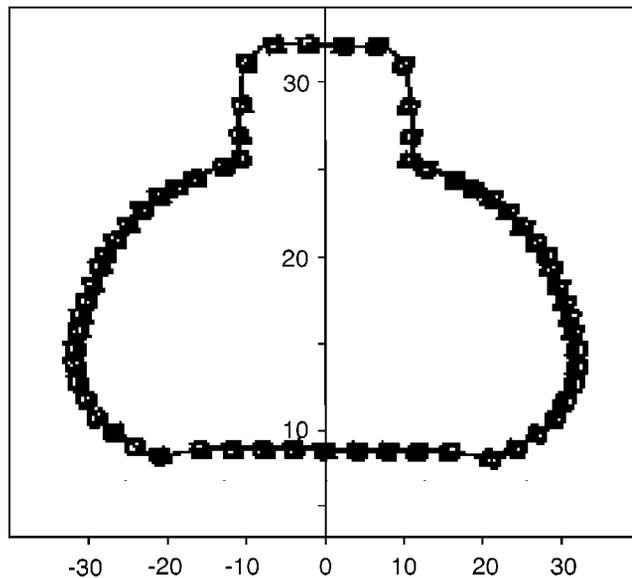
Trebalo bi još napomenuti da greška za veličinu DS praktično teži nuli jer je za njeno izračunavanje korišćen vrlo precizan metod kao i dimenzije pločice po fabričkom standardu.

Rezultati

Slike su obrađene u programu napisanom u Paskalu koji je učitavao slike tretirajući ih kao matrice osvetljenosti. Algoritam za određivanje centra svetlog kruga sastoji se u tome da se najpre izdvoje tačke sa najvećim intezitetom, a zatim nađe X koordinata koja se nalazi u centru tako dobijene figure. Ovaj parametar je korišćen za izračunavanje udaljenosti DS. Takođe je napisan algoritam baziran na matematičkom delu koji je prethodno prikazan i na kraju su izračunati parametri grafički prikazani. Naime, svakoj tački dodeljene su koordinate po sledećem pravilu:

$$\begin{aligned} x_i &= l_i \cos(i \cdot \alpha) \\ y_i &= l_i \sin(i \cdot \alpha) \end{aligned} \quad (7)$$

gde je l_i udaljenost i -te snimljene tačke od centra rotacije, a pomeraj (odnosno korak rotacije) u našem konkretnom slučaju jednak je 5. Na slici 4 se vidi kako izgleda položena flašica šampona skenirana ovim uređajem.



Slika 4.
Položena flašica
šampona skenirana u
jednoj ravni

Figure 4.
A bottle of shampoo
placed horizontally
scanned in one plain

Ovom metodom se ne mogu dobro skenirati prozirni predmeti, predmeti sjajne površine (jedino uz odgovarajući filter) kao i veliko broj nekonveksnih predmeta kod kojih dolazi do zaklanjanja određenih delova drugim delovima. Preciznije skeniranje bi se postiglo sužavanjem laserskog snopa, povećavanjem broja koraka i tačnijim merenjem konstantnih udaljenosti koje se koriste u računjanju. Treba napomenuti da je za puno 3D skeniranje neophodno pomerati ravan skeniranja pomeranjem laserskog snopa u vertikalnom pravcu. Problem bi se mogao rešiti propuštanjem lasera kroz cilindrično sočivo kako bi svetlost padala na predmet u uzanom snopu duž cele visine, tako da bi se potpuna informacija o obliku predmeta mogla dobiti samo jednim prolazom zraka-jednom punom rotacijom skeniranog objekta oko svoje ose.

Zaključak

Završen uređaj za 3D skeniranje predmeta pokazao se kao izuzetno tačan i prilagodiv raznim objektima (u odnosu na njihove optičke osobine: prozirnost, boju, refleksiju površine, kao i u odnosu na njihov oblik i veličinu). Uz jednostavne modifikacije aparature moguće je dobiti potpuni 3D prikaz predmeta, na čemu se i trenutno radi.

Literatura

Popović M. 1996. *Senzori u robotici*. Beograd: Viša elektrotehnička škola Beograd

Miodrag Đukić

Optoelectronic Device for 3D Scanning Using Triangulation Method

Object 3D scanning has great practical use: in simple computer graphic, relief analysis, morphological features analysis of objects, etc. This paper demonstrates the way laser range-finder can be used as 3D scanner. This method is chosen because its simple to realise (considering the equipment required), but also for its precision. The device consists of three main units: optical bench, CCD chip with the necessary optics and computer with the program for data analysis (Figure 1). The images have been processed by the program written in Pascal. Figure 4 shows a bottle of shampoo placed horizontally scanned in one plain. This device has proved to be highly precise and adaptable to different objects concerning their optical features. With some simple modifications, which are currently being developed, it is possible to gain the complete 3D view of objects.

