

# Aplikacija za merjenje razdalj s pomočjo stereoskopskih posnetkov

Jernej Mrovlje<sup>1</sup>, Damir Vrančič<sup>1</sup>

Institut »Jožef Stefan«

<sup>1</sup>Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

[jernej.mrovlje@ijs.si](mailto:jernej.mrovlje@ijs.si), [damir.vrancic@ijs.si](mailto:damir.vrancic@ijs.si)

*Position measuring application based on stereoscopic pictures*

*Stereoscopy is a technique used for recording and representing stereoscopic (3D) images by using one stereoscopic camera or two single-lens cameras. Stereoscopic pictures allow us to calculate the distance from the camera(s) to the chosen object within the picture. The distance is calculated from differences between the pictures and additional technical data like focal length and distance between the cameras. In this paper we present a system for measuring distance using stereoscopic pictures.*

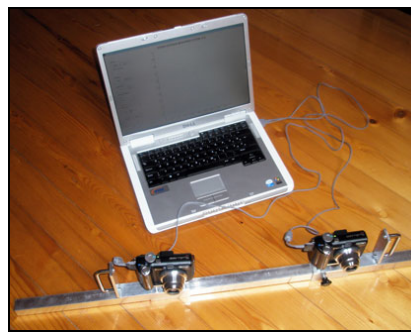
## 1 Uvod

Metode za merjenje razdalj lahko razdelimo na pasivne in aktivne. Med slednje prištevamo merjenje razdalj s pomočjo laserskih, ultrazvočnih in radijskih valov. Pasivne metode so manj razširjene, njihova prednost pa je predvsem v tem, da se razdalja izračunava samo na podlagi prejete informacije (npr. svetlobe).

Merjenje razdalj s pomočjo stereoskopskih posnetkov spada med pasivne metode, razdaljo pa izračunavamo na podlagi podatkov pridobljenih iz zajetih stereoskopskih slik. V prispevku predstavljamo aplikacijo za merjenje razdalj s pomočjo stereoskopskih slik, ki smo jo izdelali v programskem paketu Matlab. Aplikacija je zamišljena kot del neinvazivnega sistema za merjenje razdalj, ki omogoča takojšnjo analizo, preko stereoskopskega sistema, zajetih slik.

## 2 Zajem stereoskopskih slik in izpeljava razdalje

Obstoji več različnih metod zajema stereoskopskih posnetkov. Prvotno so v ta namen uporabljali stereoskopske kamere, danes pa so jih izpodrinili modernejši stereoskopski sistemi [1]. Gre za kombinacijo dveh enakih kamer, ki ju združimo na vodilu. Pri tem moramo paziti na to, da sta kameri med seboj vodoravno in horizontalno poravnani. Poglavitnega pomena je tudi hkratno proženje obeh kamer, izvedemo pa ga s posebni upravljalniki, ki omogočajo sinhronizacijo in upravljanje dveh kamer hkrati [6, 7]. Slika 1 prikazuje stereoskopski sistem dveh kamer Canon PowerShot A640, ki smo ga uporabili za zajem slik.

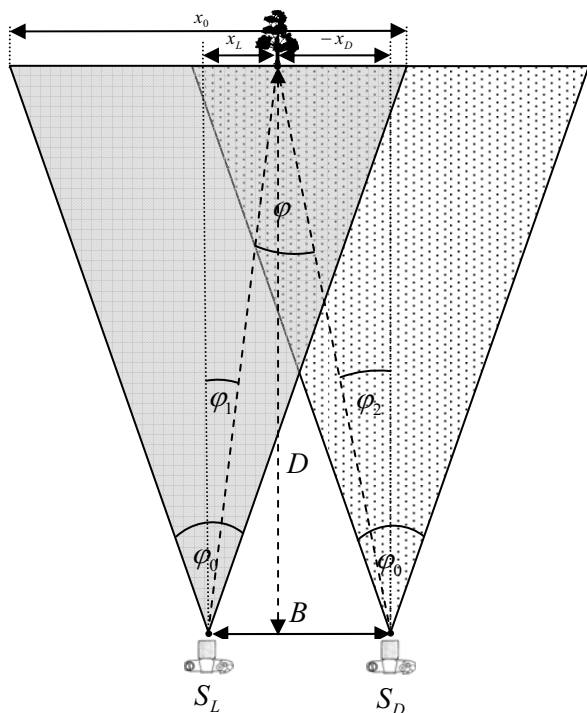


Slika 1: Stereoskopski sistem dveh kamer Canon PowerShot A640

Stereoskopske slike so vedno posnete v parih, posamezni sliki v paru pa prikazujeta isti motiv. Odločilna razlika med slikama je ta, da sta slednji zajeti z različnih položajev oziroma iz različnih zornih kotov. Shematični prikaz zajema s stereoskopskim sistemom je prikazan na sliki 2.

Levo sliko zajamemo v točki  $S_L$ , desno sliko pa v točki  $S_D$ . B je t.i. stereoskopska baza

(razdalja med kamerama),  $\varphi_0$  zorni kot kamer in  $D$  razdalja med stereoskopskim sistemom in objektom na sliki (npr. drevesom). Razdalji  $x_L$  in  $x_D$  opisujeta lokacijo objekta na levi in desni sliki,  $\varphi_1$  in  $\varphi_2$  pa sta pripadajoča kota.



Slika 2: Shematični prikaz zajema stereoskopskih posnetkov

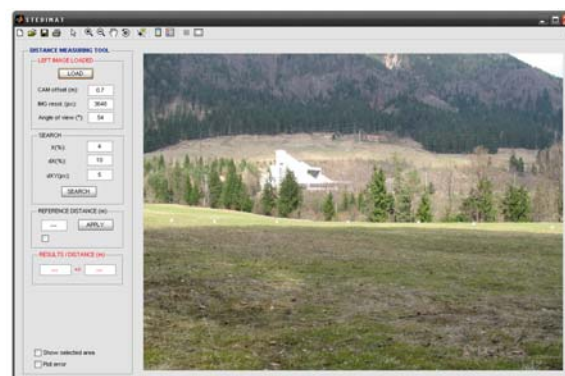
S pomočjo geometrijskih izpeljav iskano razdaljo  $D$  zapišemo kot funkcijo stereoskopske baze ( $B$ ), zornega kota kamer ( $\varphi_0$ ), širine zajetih slik ( $x_0$  – v slikovnih točkah) in razlike lokacije objekta med levo in desno sliko ( $x_L - x_D$ ):

$$D = \frac{Bx_0}{2 \tan\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)(x_L - x_D)}. \quad (1)$$

### 3 Algoritem

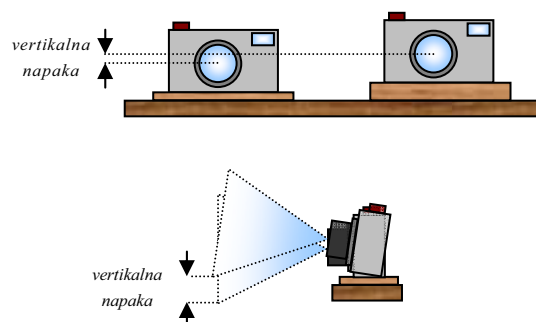
Algoritem za merjenje razdalj s pomočjo stereoskopskih slik je bil napisan v programskem paketu Matlab in pozneje s pomočjo orodja Matlab Compiler preveden v

samostojno aplikacijo. Uporabniški vmesnik aplikacije je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Uporabniški vmesnik

Aplikacija trenutno omogoča »off-line« delovanje, torej obdelavo predhodno zajetih stereoskopskih slik. Znotraj aplikacije na izbrani levi sliki določimo objekt, katerega oddaljenost želimo izračunati. Velikost izbirnega okna prilagajamo z vrtenjem miškega kolesčka. Lokalizacija izbranega objekta na desni sliki se izvrši avtomatsko, poteka pa v dveh korakih. Najprej se izvrši primarno, nato še sekundarno iskanje.

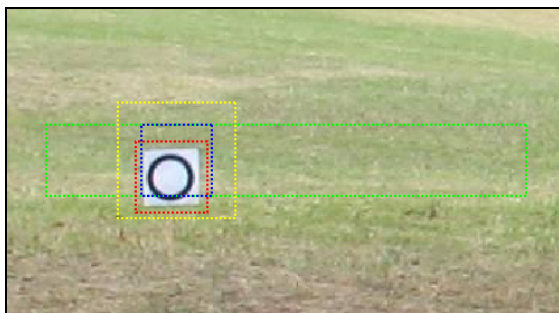


Slika 4: Prisotnost vertikalne napake

Na podlagi lastnosti stereoskopskih slik sklepamo, da se bo izbran objekt leve slike na desni sliki nahajal na podobni lokaciji – delno zamaknjen ali levo ali desno. Primarno iskanje objekta tako poteka samo v horizontalni smeri [4].

Zaradi vertikalne napake prisotne na slikah, so objekti med levo in desno sliko v manjši meri zamaknjeni tudi po vertikali, zato smo v

algoritem vključili tudi sekundarno iskanje. Izhodišče sekundarnega iskanja predstavlja rešitev primarnega iskanja, poteka pa dveh smereh: v vertikalni in horizontalni smeri. S pomočjo sekundarnega iskanja objekt v primeru prisotne vertikalne napake lokaliziramo še natančneje. Slika 5 prikazuje primer iskalnih področji in pripadajočih rešitev. Z zeleno barvo je obrobjeno področje primarnega oz. horizontalnega iskanja, z modro barvo pa njegova rešitev. Podobno je z rumeno barvo obrobjeno področje sekundarnega iskanja, z rdečo barvo pa končna rešitev.



Slika 5: Področja in pripadajoče rešitve primarnega ter sekundarnega iskanja

Primerjava med področji leve in desne slike se vrši po metodi SAD (Sum Of Absolute Differences):

$$\sum_{(x,y) \in O} |I_D(x,y) - I_L(x+u, y+v)|, \quad (2)$$

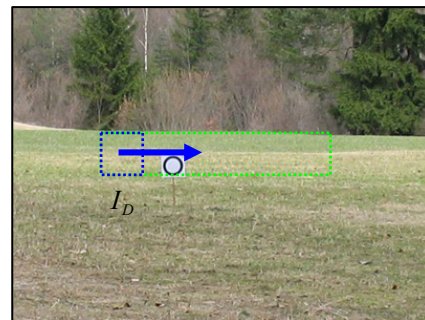
kjer  $I_L$  predstavlja področje izbranega objekta desne slike,  $I_D$  pa podpodročje znotraj iskalnega področja. Z izbirnim oknom, ki je na sliki 6 prikazan z modro barvo, se pomikamo od levega do desnega robu iskalnega področja v korakih po eno slikovno točko. V vsakem koraku področji  $I_L$  in  $I_D$  med seboj primerjamo po enačbi 2.

Bolj kot sta si področji ki ju primerjamo podobni, manjša je povprečna vrednost njune absolutne razlike. Podpodročje  $I_D$ , ki mu po enačbi 2 pripada najmanjša povprečna vrednost, predstavlja najboljše ujemanje s področjem  $I_L$ , obenem pa tudi lokacijo izbranega objekta leve slike na desni sliki. Povprečne vrednosti absolutnih razlik  $I_D$  in  $I_L$  za vse korake znotraj

področja primarnega in sekundarnega iskanja lahko prikažemo tudi grafično (glej sliko 7).

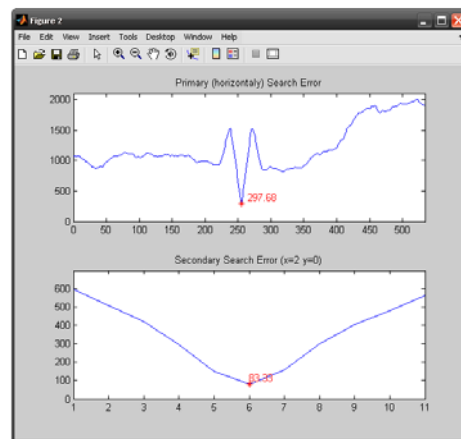


leva slika



desna slika

Slika 6: Proces horizontalnega iskanja

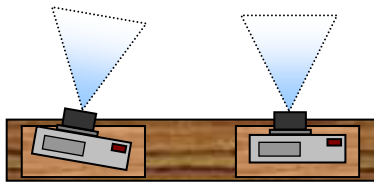


Slika 7: Grafični prikaz povprečnih vrednosti absolutnih razlik  $I_D$  in  $I_L$

Na podlagi razlik položaja izbranega objekta na levi in desni sliki, izračunamo končno razdaljo do objekta (glej enačbo 1) in podamo napako lokalizacije objekta.

### 3.1 Horizontalna napaka

V kolikor kameri znotraj stereoskopskega sistema nista popolnoma horizontalno poravnani, je na zajetih slikah prisotna horizontalna napaka (glej sliko 8). Za pravilni izračun razdalj je slednje potrebno odpraviti. V ta namen smo v aplikacijo vgradili funkcijo vnosa referenčne točke (znane razdalje do poljubnega objekta).



Slika 8: Horizontalno neparavnani kameri

### 4 Napaka razdalje

Pravilna lokalizacija izbranega objekta na desni sliki odločilno vpliva na končno napako izračunane razdalje. Bolj natančno kot določimo lokacijo objekta, bolj točna bo izračunana razdalja.

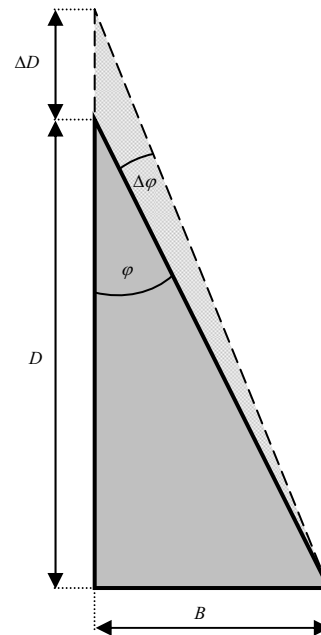
Primerjavo med desno in levo sliko vršimo v korakih ene slikovne točke, torej lokacijo objekta na desni sliki določimo na eno slikovno točko natančno. V primeru ko je zorni kot kamere enak  $\varphi_0$ , širina zajetih slik pa je  $x_0$ , potem z določeno stopnjo posplošitve lahko rečemo, da eni slikovni točki pripada zorni kot:

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_0}{x_0}. \quad (3)$$

Iz sheme na sliki 9 izpeljemo napako razdalje  $\Delta D$ , ki je posledica napačne lokalizacije objekta za  $\Delta\varphi$ :

$$\Delta D \approx \frac{D^2}{B} \tan \Delta\varphi. \quad (4)$$

Zavedati se moramo tudi napak samega optičnega sistema kamer, ki prav tako odločilno vplivajo na končni rezultat (izračunano razdaljo). Na tem mestu omenimo predvsem radialna distorzijo, ki je najbolj problematična.



Slika 9: Relativna napaka izračunane razdalje

Ločimo dve obliki radialne distorzije in sicer »blazino« (angl. pincushion) ter »sodček« (angl. barrel). Pojavu blazine, ki je značilen predvsem za telefoto objektivne, upogne ravne linije proti središču slike. Pojav sodčka upogne ravne linije proti robovom slike. Slednji pojav je pogostejši, pojavlja pa se predvsem pri širokokotnih objektivih.

### 5 Rezultati

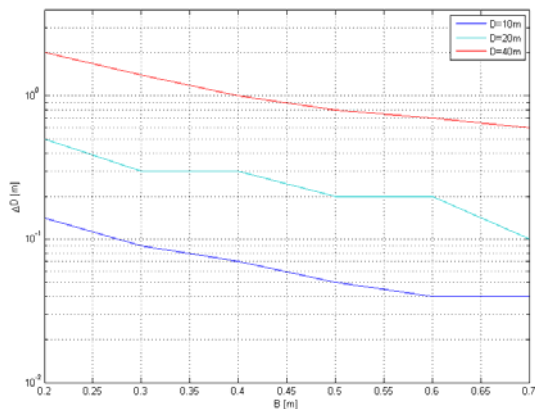
Delovanje aplikacije smo preverili na množici stereoskopskih slik zajetih v naravnem okolju. Pri tem smo uporabili stereoskopski sistem prikazan na sliki 1. Na razdaljah 10, 20, 30, 40, 50 in 60 metrov pravokotno na stereoskopski sistem smo na štirih različnih lokacijah namestili testne objekte (tablice). Slike testnih objektov smo z največjo možno ločljivostjo (3648x2736) zajeli pri šestih različnih vrednostih stereoskopske baze B (20, 30, 40, 50, 60 in 70 cm). Napaki sferične distorzije smo se izognili na ta način, da smo testne objekte zajeli v centralnem delu slik, kjer so napake minimalne.

Na skupno 24-ih parih stereoskopskih slik smo z našo aplikacijo izračunali razdalje do posameznih tablic. Pri izračunu razdalj smo za

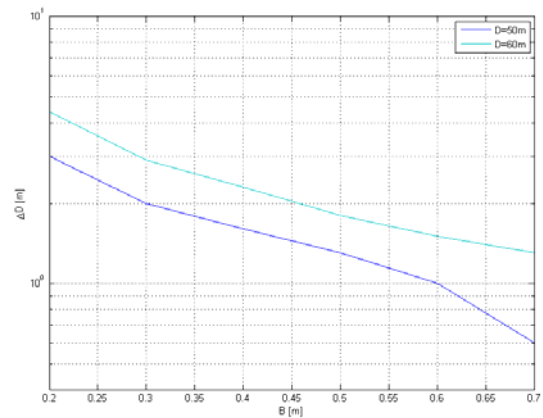
referenčno točko uporabili tablico na razdalji 30 metrov. Za izračun posamezne razdalje je algoritem potreboval manj kot eno sekundo. Čas izračuna razdalje je sicer sorazmeren z velikostjo izbranega iskalnega področja desne slike. Večina dobljenih rezultatov se nahaja znotraj tolerance ene slikovne točke. V tabeli 1 predstavljamo povprečne vrednosti napak izračunanih razdalj. Grafični prikaz rezultatov se nahaja na slikah 10 in 11.

Tabela 1: Povprečne vrednosti napak izračunanih razdalj  $\Delta D$  v odvisnosti od velikosti stereoskopske baze

B [m]	Povprečne vrednosti napak izračunanih razdalj [m]				
	10m	20m	40m	50m	60m
0,2	0,14	0,5	2,0	3,0	4,4
0,3	0,09	0,3	1,4	2,0	2,9
0,4	0,07	0,3	1,0	1,6	2,3
0,5	0,05	0,2	0,8	1,3	1,8
0,6	0,04	0,2	0,7	1,0	1,5
0,7	0,04	0,1	0,6	0,9	1,3



Slika 10: Povprečne vrednosti napak izračunanih razdalj  $\Delta D$  za testne objekte na razdaljah 10, 20 in 40 metrov



Slika 11: Povprečne vrednosti napak izračunanih razdalj  $\Delta D$  za testne objekte na razdaljah 50 in 60 metrov

## 6 Literatura

- [1] M. Vidmar, ABC sodobne stereofotografije z maloslikovnimi kamerami, Cetera, 1998.
- [2] H. Walcher, Position sensing - Angle and distance measurement for engineers, Second edition, Butterworth-Heinemann Ltd., 1994.
- [3] Welt der stereoskopie, <http://www.stereoskopie.com>, (30.4.2008).
- [4] J. Carnicelli, Automatic alignment of stereo cameras, <http://www.alexandria.nu/ai/blog/entry.asp?E=31>, (29.11.2007).
- [5] J. Carnicelli, Stereo vision: measuring object distance using pixel offset, <http://www.alexandria.nu/ai/blog/entry.asp?E=32>, (29.11.2007).
- [6] D. Vrančič and S. L. Smith, Permanent synchronization of camcorders via LANC protocol, Stereoscopic displays and virtual reality systems XIII : 16-19 January, 2006, San Jose, California, USA, (SPIE, vol. 6055).
- [7] D. Vrančič, Synchronisation of two camcorders with PI controller - 3D LANC master, Proceedings of the 6th International PhD Workshop on Systems and Control, October 4-8, 2005, Izola, Simonov zaliv, Slovenia : young generation viewpoint. Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2005, 14.