

Sledenje objektov v prostoru s pomočjo stereo kamere

Gregor Podrekar, Andrej Zdešar

Mentor: Asst. Prof. dr. Gregor Klančar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

{gregapo, andrej.zdesar} @gmail.com

Object tracking in 3D environment using stereo camera

In this paper we address the problem of object identification, stereo matching and depth recovery from two 2D stereo images. First the object recognition on single image is described. Following the stereo matching problem solution is presented. Then it is shown, how object position in 3D environment is obtained. At the end the results of experiments are given and examples of applicability are shown.

Keywords: stereo matching, machine vision, object recognition, RGB, HSI.

1 Uvod

Cilj našega projekta je bila izdelava sistema za sledenje objektov v prostoru s pomočjo stereo kamere. Tak sistem je uporaben na mnogih področjih: v pasivni navigaciji, kartografiji, za nadzor in mnogo v mobilni robotiki.

Mobilni roboti se lahko orientirajo v prostoru na različne načine z uporabo različnih senzorjev. Eden izmed senzorjev, ki omogočajo pridobitev informacije o okolici robota, je tudi digitalna kamera. Seveda lahko s samo eno kamero sledimo objektu, vendar ne moremo določiti globinske komponente objekta v prostoru. Problem se da rešiti na več načinov, z različnimi senzorji. V našem primeru smo uporabili sistem, ki je dokaj podoben človeškemu, torej stereo kamero. Stereo kamera nam omogoča pridobitev vseh treh koordinat objekta s pomočjo le dveh 2D slik objekta. Sistem imenujemo stereo vid.

Postopek določitve vseh treh koordinat objekta v prostoru lahko razdelimo na več podsklopov: zajem slik, obdelava posameznih slik, razpoznavo objektov na

posameznih slikah, stereo ujemanje objektov na obeh slikah, kompenzacija napak leč kamer in nazadnje še izračun koordinat objekta v prostoru.

Glavne zahteve algoritma, ki bo opravljal to nalogo so: časovna učinkovitost, zanesljivost, natančnost, robustnost na šum, odpornost na neenakomerno osvetljenost.

2 O sistemu

Zajem slik smo izvedli s stereo kamero Bumblebee2 podjetja Point Grey Research Inc. (slika 1, tabela 1). Kamera je priklopljena na računalnik preko vmesnika IEEE-1394.

Tabela 1: Specifikacije kamere.

Senzor	2 × Sony 1/3" progressive scan CCDs, Color/BW
Resolucija	640×480 pri 48 FPS
Leče	3.8 mm (65° HFOV)
Kalibracija	Pre-calibrated to within 0.05 pixel RMS error



Slika 1: Stereo kamera.

Obe kameri sta fiksno pritrjeni v ohišju, in imata vzporedni osi.

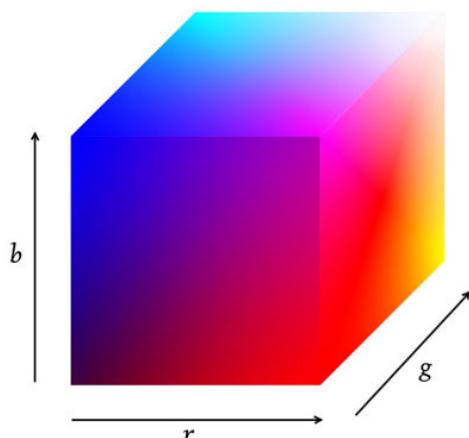
Sistem smo realizirali v programskem jeziku C++ (okolje Borland Builder) na platformi Windows XP. Uporabljena je bila procesna enota Pentium IV 2 GHz, 2 GB pomnilnika RAM.

3 Zajem slik in razpoznavanje objektov

Zajem slik izvedemo ločeno za levo in za desno sliko. Na obeh zajetih slikah nato izvršimo iskanje objektov, ki temelji na barvi objekta. Zato moramo najprej definirati barvno območje, ki najbolje barvno opisuje dani objekt.

3.1 Barvni model

Obstajajo različni barvni modeli: RGB, HSI, YUV in drugi. Slika, ki jo pridobimo iz kamere, je opisana z barvnim modelom RGB. RGB model nam pove kakšen je delež treh osnovnih barvnih komponent (rdeče, zelene in modre) določene barve. Barvo objekta lahko torej predstavimo kot kvader v RGB prostoru – t. i. barvni model objekta (slika 2).



Slika 2: Barvni model RGB.

Algoritem preveri vsak piksel na posamezni sliki, ali pripada objektu ali ne. Za kar mora algoritem izvesti 6 logičnih operacij:

```
If ( R<=R_zgornja_meja AND
    R>=R_spodnja_meja AND
    G<=G_zgornja_meja AND
    G>=G_spodnja_meja AND
    B<=B_zgornja_meja AND
    B>=B_spodnja_meja )
    Barva_pixla=barva_objekta;
else
    Barva_pixla=barva_ozadja;
```

Izkaže se, da se da isto izvesti s samo dvema AND logičnima operacijama, kar

znatno pohitri celoten postopek obdelave slik [1].

Sledi združevanje dotikajočih se razpoznanih pikslov v večje enote – packe. Vsaki packi se priredita naslednji lastnosti:

- površina packe v piksljih in
- koordinate središča packe v piksljih.

Algoritem vse najdene packe tudi razvrsti po velikosti površine od največje proti najmanjši. Postopka razpoznavanja in združevanja potekata sočasno.

Celoten algoritem je podrobneje opisan v [1].

3.2 Neenakomerna osvetljenost

Opis objekta z RGB barvnim modelom, je močno odvisna od osvetljenosti. Boljšo barvno predstavitev objekta lahko dosežemo z uporabo dodatnega modela HSI. Komponenta I (*illumination*) predstavlja osvetljenost. Tako lahko s H (*hue*) in S (*saturation*) komponentama predstavimo barvo, ki je neodvisna od osvetljenosti. Z barvnim modelom, ki upošteva tudi HS komponenti, postane razpoznavanje objektov mnogo bolj robustna.

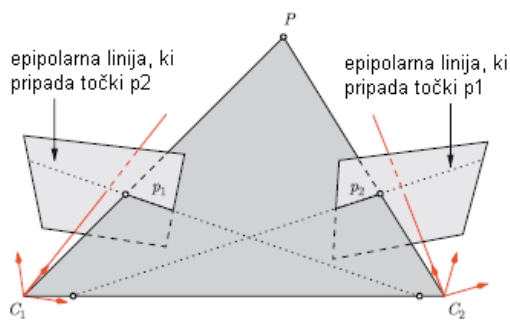
4 Stereo ujemanje

Z dosedaj opisanim postopkom imamo na voljo po velikosti razvrščene packe za vsako sliko posebej. Stereo ujemanje izvedemo tako, da vsaki packi na levi sliki poiščemo pripadajočo packo na desni sliki. Prvo omejitev pri določevanju ustreznih parov predstavlja epipolarna omejitev.

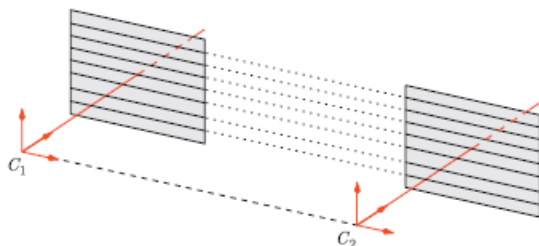
4.1 Epipolarna omejitev

Epipolarna omejitev govori o tem, da se lahko projekcije točke v prostoru na obe sliki nahajata le na ravnini, ki poteka skozi obe gorišči kamer in točko v prostoru. Situacijo prikazuje slika 3.

V primeru, ko sta obe kamere usmerjeni vzporedno v isto smer, se pravilo poenostavi. Ustrezni par točke na prvi sliki leži na vodoravni premici druge slike, ki gre skozi točko na prvi sliki (slika 4).



Slika 3: Skupna ravnina in epipolarni liniji.



Slika 4: Vzporedne epipolarne linije.

Epipolarna omejitev nam torej poenostavi iskanje ustreznih parov z dvodimenzionalnega problema na enodimenzionalen problem.

4.2 Dodatne omejitve

Definirajmo dispariteto:

$$d = x_{\text{leva}} - x_{\text{desna}} \quad (1)$$

kjer sta x_{leva} in x_{desna} vodoravni koordinati na slikah z izhodiščem na levem robu. Tako lahko postavimo dodatno omejitev pri iskanju parov:

$$d > 0 \quad (2)$$

Pri iskanju ustreznih parov upoštevamo še naslednje omejitve, ki dodatno izločijo vplive motenj:

- minimalna površina enote,
- relativno ujemanje površin enot,
- primerjanje velikosti enote z dejansko površino objekta.

4.3 Ukrivljenost leč

Do sedaj smo obravnavali idealizirani model kamere. Da se čimbolj približamo idealnemu modelu, moramo izvesti kalibracijo. Cilj kalibracije je, da izničimo vpliv ukrivljenosti leč, na določitev pozicije objekta.

Obstaja več napak leč. Najbolj problematična med njimi je radialna popačitev. Le to odpravimo z uporabo modela radialne popačitve, ki temelji na geometrijski predstavitvi kamere in leč [1]:

$$R = H \sinh\left(\frac{r}{H}\right) \quad (3)$$

Kjer je R popravljen radij, r je radij popačenj slike in H goriščna razdalja. Naj bosta x in y koordinate enega piksla popačene slike, X in Y pa koordinate istega piksla popravljene slike. Izhodišče transformacije (3) naj bo postavljeno v središče slike. Tako lahko dobimo naslednjo relacijo:

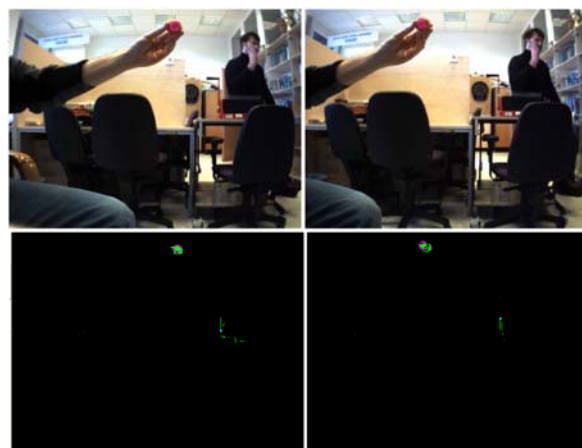
$$R = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$A = \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$X = R \cos(A)$$

$$Y = R \sin(A)$$

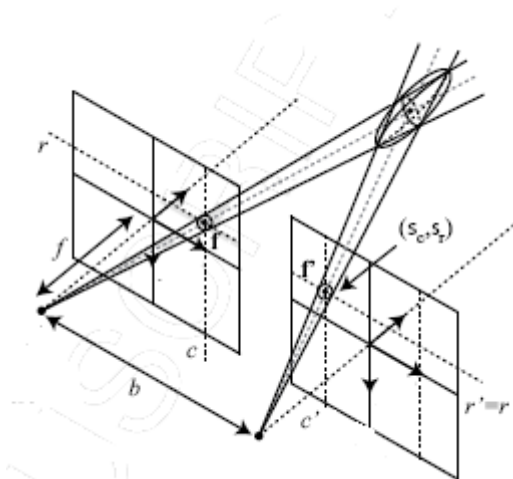
Z opisanim modelom zaradi časovne učinkovitosti popravimo samo koordinate središč najdenih enot.



Slika 5: Leva in desna slika razpoznave in stereo ujemanja objekta.

5 Izračun koordinate objekta

Sedaj, ko smo določili vse stereo pare, lahko izračunamo njihove koordinate. Koordinatni sistem postavimo točno na središče med obema kamerama tako, da kaže x os v smeri pogleda, z os v vertikalni smeri, os y pa je določena po pravilu desnoučnega koordinatnega sistema.



Slika 6: Konfiguracija stereo kamere.

Koordinate izračunamo po naslednjih enačbah:

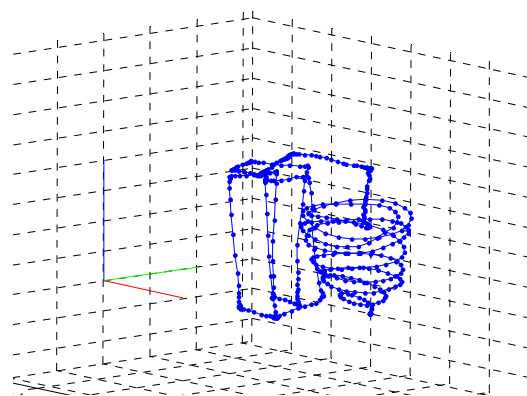
$$\begin{aligned} x &= b \left(\frac{f}{d} \right) \\ y &= - \left(\frac{x}{f} \right) (x_d - u_0) - \frac{b}{2} \\ z &= - \left(\frac{x}{f} \right) (y_d - v_0) \end{aligned} \quad (5)$$

kjer je b razdalja med središčema kamer, f goriščna razdalja, d dispariteta, x_d in y_d pa koordinati enote na desni sliki. u_0 in v_0 predstavljata horizontalno ter vertikalno središče slike.

6 Eksperiment

Cilj eksperimenta je bil beleženje trajektorije objekta. Sledili smo objektu okrogle oblike premera približno 4 cm in razpoznavne barve, ki se je jasno ločila od okolice. Eksperiment smo izvedli pri umetni, nespreminjajoči se osvetlitvi. Koordinate sledenega objekta smo skupaj s časom zapisovali v datoteko s frekvenco 10 Hz. Primer trajektorije objekta prikazuje slika 7.

Pri blinjih razdaljah smo dobili dobre neprekinjene trajektorije (vedno smo našli objekt), pri večjih razdaljah temu ni bilo vedno tako. Poskusi so pokazali tudi, da natančnost z večanjem oddaljenosti objekta od kamere močno pada.



Slika 7: Trajektorija sledenega objekta.

7 Eksprimet 2

Ena od pomanjkljivosti sistema je majhen zorni kot. Sledeni objekt lahko zato hitro izgubimo iz našega vidnega polja. Ena rešitev bi predstavljala uporaba širokokotnih leč, drugo pa uporaba sistema, ki lahko suka kamero v smeri proti predmetu. V ta namen smo uporabili t. i. enoto za zasuk in naklon (Pan-tilt unit PTU-D46 podjetja Directed Perception), ki je prikazan na sliki 8.



Slika 8: Enota za zasuk in naklon.

Sistem smo avtomatizirali tako, da je bil objekt vedno v vidnem polju kamere.

Da smo lahko pretvorili koordinate objekta iz koordinatnega sistema kamere v bazni koordinatni sistem, smo zgradili direktni kinematični model enote za zasuk in naklon. Sistem je deloval zelo dobro, vendar je ob premikanju kamere prišlo do določenih pogreškov pri transformaciji koordinat iz k. s. kamere v bazni k. s. Glavni vzrok za pogrešek je bil, da nismo imeli neposrednega dostopa do senzorjev kotov obeh sklepov.

Z uporabo enote za zasuk in naklon smo torej povečali uporabnost stereo sistema.

8 Zaključek

Uspelo nam je zgraditi enostaven in cenovno ugoden sistem za sledenje objektov. Seveda ima sistem še določene pomanjkljivosti in omejitve.

Velika občutljivost na neenakomerno osvetljenost je gotovo velika pomanjkljivost. Problem ne pride toliko do izraza pri sledenju aktivnim virom svetlobe. Veliko omejitev predstavlja zahteva, da se v okolici ne nahaja noben drug predmet iste barve kot sledeni objekt. V praksi se slednjo zahtevo lahko izpolni le v kontroliranih prostorih. Cilj nadaljnega raziskovanja je zato gotovo dopolnitev sistema tako, da razpozna objekta ne bi temeljila zgolj na barvi objekta, temveč tudi na njegovi obliki in/ali teksturi.

Izkazalo se je, da je sistem primeren le za manjše oddaljenosti objekta od kamere. Tu je igrala pomembno vlogo resolucija kamere, zato bi z boljšo kamero lahko dosegli boljše rezultate.

Stereo vid je uporaben na mnogih področjih, saj poveča umetno inteligenco robota in s tem njegovo splošno uporabnost. Robot se tako lahko orientira v prostoru, avtonomno giblje in doseže razpoznane cilje. Eden izmed primerov uporabe v mobilni robotiki predstavlja sledenje robota svojemu predhodniku (drugemu robotu, človeku, ...).

Zaradi svoje cenovne ugodnosti, enostavnosti in splošnonamenskosti bo tehnologija stereo vida v prihodnosti gotovo deležna velike pozornosti in bo pripomogla,

da bo robot lahko zaznaval okolje tako uspešno kot človek – morda bolje.

9 Reference

- [1] G. Klančar, M. Kristan, S. Kovačič, O. Orqueda, *Robust and efficient vision system for group of cooperating mobile robots with application to soccer robots*. Elektrotehniški vestnik, letn. 68, št. 5, pp. 306-312, 2001.
 - [2] J. Orteu, *3-D computer vision in experimental mechanics*. Optics and Lasers in Engineering, volume 47, pp. 282-291, 2009.
 - [3] J. Sun, N. Zheng, H. Shum, *Stereo matching using belief propagation*. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, volume 25, issue 7, pp. 787-800, 2003.
 - [4] R. Lane, N. Thacker, *Tutorial: Overview of stereo matching research*. Vir: <http://www.tina-vision.net>
 - [5] G. Medioni, R. Nevatia, *Segment-based stereo matching*. 1985.
 - [6] F. Moreno, J. Blanco, J. Gonzalez, *Stereo vision-specific models for particle filter-based SLAM*. Robotics and Autonomous Systems, volume 57, issue 1, pp 64-74, 2008.
- Drugi uporabljeni viri:
- [7] spletna stran: <http://www.ptgrey.com>
 - [8] spletna stran: <http://www.dperception.com>
 - [9] spletna stran: <http://www.wikipedia.com>