

PRIMER ALGORITMA ZA DETEKCIJU I PREPOZNAVANJE MARKERA PROŠIRENE STVARNOSTI

AN EXAMPLE OF ALGORITHM FOR DETECTION AND RECOGNITION OF AUGMENTED REALITY MARKERS

Milorad Paskaš , *Inovacioni centar Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu*
Ana Gavrovska, Dragi Dujković, Branimir Reljin, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

Sadržaj – Opisana je algoritam za detekciju i prepoznavanje veštačkih markera u zatvorenim prostorijama, za sistem proširene realnosti. To je prva faza u lokalizaciji robota u zatvorenom prostoru, koji za određivanje i/ili proveru pozicije koristi video signal dobijen kamerom koja je fiksirana za koordinatni sistem robota. Marker su postavljeni na zidovima prostorija, dok kamera ima mogućnost rotacije u ravni paralelnoj sa ravni poda. Korišćeni su pravougaoni pasivni binarni (crno-beli) markeri sa kodnom strukturom koja olakšava njihovo izdvajanje od pozadine i prepoznavanje tipa markera. U prvom koraku se izdvajaju markeri u slici na osnovu postavljenog praga nivoa sivog, a zatim se određuju parametri projekcione transformacije pomoću kojih će se odrediti položaj kamera-marker. Zatim se vrši poređenje detektovanih markera sa uzorcima markera iz baze podataka. Na osnovu vrednosti koeficijentata korelacije određuje se tip markera. U budućem radu će se ovi rezultati koristiti u cilju lokalizacije robota u koordinatnom sistemu prostorije u kojoj se robot kreće.

Abstract – An algorithm for detection and recognition of artificial markers in indoor environment, for augmented reality systems, is described. This is the first step in localization and/or position recovery of robot within the closed space, using video signal obtained with camera mounted on robot. Markers are placed on the walls while the camera can be rotated in the plane parallel to the ground. Passive binary markers of the rectangular shape are used with embedded code patterns which allow easier marker extraction from the background and the recognition of the marker type. In the first step markers are extracted from the image using grayscale threshold, and then the parameters of projective transformation are calculated which are later used in camera-marker position estimation. Thereafter the detected marker is compared with marker patterns from database. From correlation coefficients the marker type is determined. In future work the results obtained in this paper will be used for robot localization in the coordinate system of the room where the robot is moving.

1. UVOD

Pozicioniranje u prostoru moguće je, osim korišćenjem senzora za blizinu, izvršiti pomoću snimaka dobijenih kamerom. Obradom slike izdvajaju se komponente u slici koje odgovaraju objektima u prostoru koji će zatim poslužiti kao referentne tačke za položaj kamere, odnosno platforme na kojoj se kamera nalazi.

Referentne objekte mogu predstavljati postojeći predmeti u prostoru kao što su delovi nameštaja koji neće biti pomerani. Njihovo prepoznavanje u slici vrši se, najčešće, putem upoređivanja oblika i boja komponenti u slici sa bazom oblika u unapred zadatoj bazi. Izbor karakteristika (vektora obeležja), koje će se koristiti za prepoznavanje, dodatno uslođjava proces pozicioniranja u prostoru.

U ovom radu koristili smo dodavanje veštačkih objekata u prostorije u kojima se kreće robot sa kamerom. To je tehnika koja se uveliko koristi u oblasti proširene stvarnosti, gde se u slici veštački objekti zamenjuju virtuelnim objektima [1]. Virtuelni objekti mogu biti predstavljeni vizuelnim dodacima u slici, tekstom ili audio signalom.

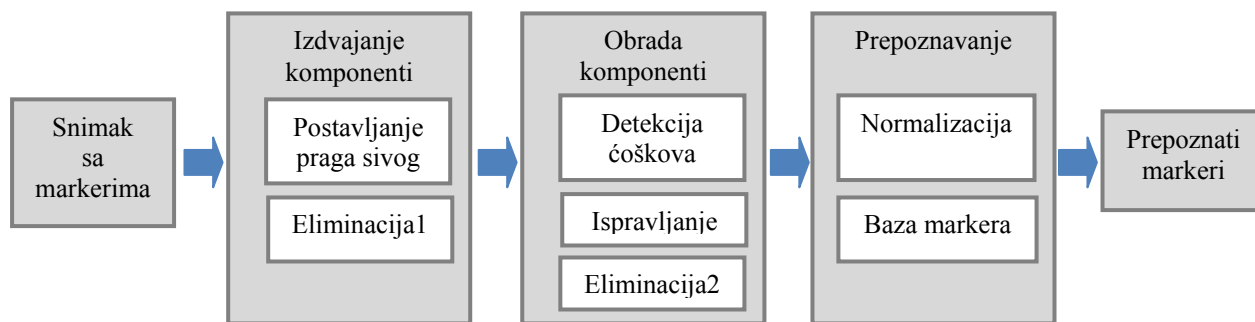
Dodati objekti u radu su realizovani u vidu pravougaonih, crno-belih markera, koji su postavljeni na zidovima prostorija na unapred poznatim lokacijama. Pretpostavljeno je da će administrator zadavati koordinate markera unutar prostorije i njihov tip, na osnovu čega se formira baza markera i njihovih

položaja unutar poznatog tlocrta prostorije. Primer detekcije markera u stanu ilustrovan je na sl.1.

Lokalizacija platforme sa kamerom se obavlja na osnovu detekcije markera (daje informaciju o poziciji markera u sobi) i određivanje njegove udaljenosti od kamere (daje informaciju o položaju kamere u odnosu na koordinatni sistem sobe).



Slika 1. Mogući scenario detekcije markera u stanu



Slika 2. Blok-dijagram algoritma za detekciju

Rad je organizovan na sledeći način: U drugom poglavlju dat je pregled sistema za detekciju markera. U njemu su opisane korišćene tehnike. Treće poglavlje predstavlja rezultate dobijene korišćenjem algoritma iz drugog poglavlja. U zaključku su diskutovani dobijeni rezultati.

2. PREGLED SISTEMA ZA DETEKCIJU

Blok-dijagram korišćenog algoritma za detekciju markera prikazan je na sl.2. Blokovi unutar njega ukazuju na svaki od koraka u detekciji.

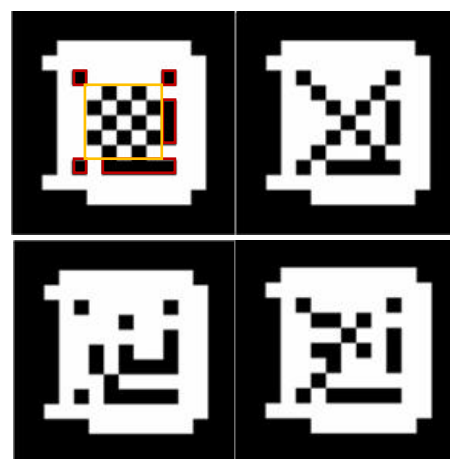
Prvi korak u detekciji predstavlja izdvajanje povezanih komponenti u slici. To se postiže postavljanjem praga sivog. Na osnovu izdvojenih komponenti moguće je eliminisati one komponente koje ne zadovoljavaju neki od kriterijuma kao što su veličina (u pikselima) i položaj u slici (komponente koje su na ivicama slike, odnosno samo delimično su snimljene).

Naredni blok se odnosi na procesiranje izdvojenih komponenti. Prvo se detektuju temena potencijalnih markera da bi se, na osnovu toga, odredili parametri za ispravljanje markera. Na osnovu detektovanih tačaka moguće je, s druge strane, izvršiti drugi stepen eliminacije i to na osnovu površine koju zauzima komponenta u odnosu na opisani pravougaonik (pogledati za objašnjenje kasnije kada bude reči o ispravljanju markera).

Konačno, da bi se izvršilo prepoznavanje izdvojenih komponenti one se moraju normalizovati na veličinu markera iz baze.

2.1. Markeri

Na sl.3. su prikazani neki od korišćenih markera. Oni su veličine 600x600 piksela. Odštampani su na formatu A4 (dimenzije markera su tada 15x15 cm), tako da im je pozadina bela. Time je postignut kontrast koji će, kasnije, olakšati izdvajanje markera iz pozadine.



Slika 3. Primeri korišćenih markera

Kao što se sa sl.3. vidi, markeri imaju centralnu matricu crno-belih polja (na gornjem levom markeru okvireno žutom bojom), dimenzija 5x5 polja, na osnovu kojih se međusobno razlikuju. Broj mogućih kombinacija, odnosno ukupan broj različitih markera koji se ovim postiže, iznosi 2^{25} . Ovu matricu okružuju dve kraće i dve duže linije (uokvireno crvenom bojom), kojima se definiše koordinatni sistem markera. Ostala polja su identična za sve markere.

Svi marker su postavljeni na istu visinu. Kamera ima mogućnost rotacije samo u ravni poda. Time se postiže da markeri upadnu u pretpostavljen prostorni opseg u slici.

2.2. Izdvajanje komponenti

Slika dobijena kamerom se binarizuje kako bi se izdvojili markeri. Postavljanje statičkog praga (recimo na 50% od maksimalne vrednosti sivog u slici) ne daje dobre rezultate s obzirom na promene osvetljenja. Zbog toga se pristupa dinamičkom određivanju praga. Za izračunavanje praga koristi se Otsu-ov metod koji je opisan u [2]. Ovo je ilustrovano na sl.4.



Slika 4. Binarizacija slike u procesu izdvajanja markera. Isključena je mogućnost izdvajanja jedne unutar druge komponente

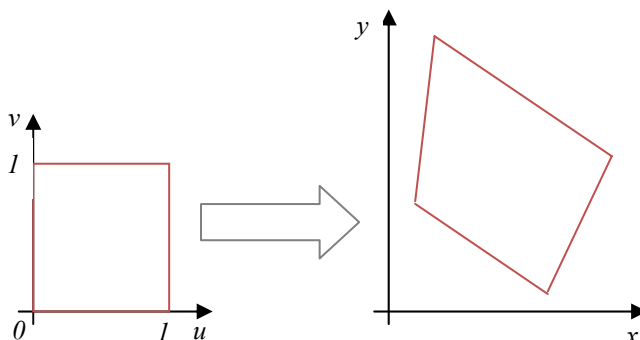
Sada je moguće izvršiti prvu eliminaciju komponenti (po veličini i položaju), koja je opisana na početku ovog poglavlja. Veličina markera (u pikselima) u slici zavisi od dva faktora: vidnog ugla kamere i njene rezolucije. Pri tom je pretpostavljeno da kamera ne menja uvećanje. Što je vidni ugao kamere (fotoaparata) manji biće moguće detektovati marker na većim udaljenostima od kamere. Manji vidni ugao, sa druge strane, utiče na manji razmak između markera s obzirom da u svakom trenutku treba da bude vidljiv bar jedan marker.

U slučaju kada je marker snimljen sa velike daljine, odnosno kada zauzima manju površinu u slici od one koja je zadata pragom eliminacije, on neće biti detektovan. Kada se ne bi odbacivali ovi markeri njihovo prepoznavanje bi bilo, praktično, nemoguće.

2.3. Obrada izdvojenih komponenti

Da bi se izvršilo poređenje markera izdvojenih u slici sa markerima iz baze, potrebno je prethodno ispraviti ih. Naime, kada je ugao pod kojim kamera snima marker različit od pravog ugla doći će do izobličenja markera u slici.

Koordinate markera biće promenjene usled geometrijskih transformacija. Iako se radi o 3D transformacijama, za prepoznavanje markera dovoljno je koristiti 2D model preslikavanja. Model preslikavanja ilustrovan je na sl.5., dok je na sl.6. prikazano kako se mogu detektovati čoškovi, pomoću kojih se određuju parametri matrice projekcione transformacije.



Slika 5. Projekciona transformacija

Projekciona transformacija, prikazana na sl.5., može se analitički zapisati u homogenom obliku [3]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

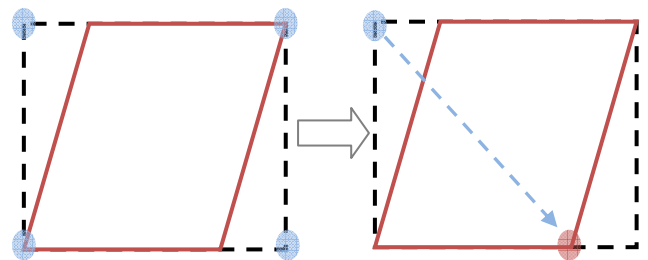
ili, u nehomogenom obliku:

$$x^f = \frac{x}{w} = \frac{au+bv+c}{gu+hv+i} \quad i \quad y^f = \frac{y}{w} = \frac{du+ev+f}{gu+hv+i} \quad (2)$$

S obzirom da projekciona transformacija ima osam stepeni slobode, jedan od devet parametara matrice transformacije se može proizvoljno izabrati i ovde je uzeto da je $i = 1$.

Jednačina (2) može se napisati za četiri para tačaka koje, u našem slučaju, predstavljaju čoškovi markera. Na taj način izračunava se preostalih osam parametara matrice transformacije. Kada su oni poznati, moguće je primeniti inverzno preslikavanje u odnosu na ono iz (1) i dobiti nedeformisan marker.

Za određivanje parametara matrice preslikavanja iz (1) korišćen je algoritam iz [4]. On koristi normalizovane koordinate u (u, v) domenu kao što je prikazano na sl.5.



Slika 6. Detekcija čoškova markera

Za određivanje čoškova markera koristi se postupak opisan u [5]. Oko svake od izdvojenih komponenti opisuje se pravougaonik kao na sl.6. Potom se za svaki od temena opisanog kvadrata određuje tačka na konturi oko komponente koja je najudaljenija od posmatranog temena. Dobijena tačka se uzima kao odgovarajuće teme markera.

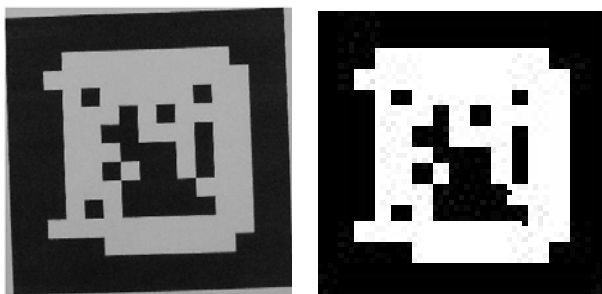
Kao što je na blok-dijagramu na sl.2. predstavljeno, u ovom bloku se obavlja druga eliminacija. Ona se odnosi na površinu markera koju on zauzima unutar opisanog pravougaonika.

2.4. Prepoznavanje markera

Kada je marker ispravljen, preostaje da se uporedi sa markerima iz baze. Međutim, kod inverzne projekcione transformacije koordinate markera su normalizovane na opseg $(0,1)$. Zato ih je potrebno svesti na opseg markera iz baze. Dimenzije markera u bazi su 60x60 piksela. Kod ove operacije, u ispravljenom markeru pojaviće se tačke čija vrednost nije definisana. Ove tačke iskoristiće se da se napravi maska kojom će se, kod daljeg prepoznavanja, u obzir uzeti samo one tačke čija vrednost je izračunata preslikavanjem.

Na sl.7. je prikazan marker izdvojen u originalnoj slici, nakon eliminacije boje, i marker nakon binarizacije i

ispravljanja. Veličina markera posle ispravljanja je fiksna, ali je ovde svedena na dimenzije markera pre inverzne transformacije kako bi se moglo izvršiti njihovo poređenje.



Slika 7. Ispravljanje markera

Za prepoznavanje tipa markera korišćena je korelacija ispravljenog markera sa svim markerima iz baze. Postavljen je fiksni prag za vrednosti korelacije ispod kog se posmatrana komponenta odbacuje iz skupa mogućih markera.

3. REZULTATI

Algoritam je primenjen na više snimaka različitih rezolucija i napravljenih različitim kamerama. Na sl.8. prikazan je jedan od snimaka na kome je pravilno detektovan marker sa rednim brojem devet iz baze. Radi se o slici visoke rezolucije.



Slika 8. Primer pravilno detektovanog markera

Na sl.9. prikazan je primer detekcije markera u slici sa većim brojem markera. Ovde je slika dobijena kamerom niske rezolucije. Zbog toga će biti moguće greške u odlučivanju algoritma za one markere čija je kodna struktura slična. To je očigledno za marker koji je detektovan istovremeno kao marker sa rednim brojem tri i osam. Kodne strukture ova dva markera se minimalno razlikuju i za bolju detekciju treba izabrati veće rastojanje između njihovih kodova.

4. ZAKLJUČAK

Algoritam za detekciju markera, koji je predstavljen u radu, dao je dobre rezultate u pogledu izdvajanja i prepoznavanja markera u slici. Situacije u kojima je doveo do pogrešne detekcije se odnose na slabo osvetljenje i male uglove ravni kamere sa ravni markera. Ispitivali smo, takođe,

uticaj malih razlika u kodnoj strukturi markera, pri čemu su dobri rezultati postignuti samo za slike veće rezolucije.



Slika 9. Slučaj detekcije većeg broja markera

U daljem radu ćemo nastojati da grešku detekcije u navedenim slučajevima svedemo na najmanju meru. Kompromis se, svakako, mora napraviti između jednostavnosti i brzine izvođenja algoritama, s jedne strane, i preciznosti detekcije u diskutovanim slučajevima, s druge.

Nakon prepoznavanja markera, moguće je odrediti poziciju kamere u prostoriji. Za to je potrebno obaviti kalibraciju kamere, odnosno određivanje intrinzičkih parametara kamere na osnovu kojih će se moći odrediti položaj kamere u odnosu na marker.

LITERATURA

- [1] M. Hirzer, Marker detection for augmented reality applications, TU-Gratz, 2008.
- [2] R.C.Gonzalez, R.E.Woods and S.L.Eddins, *Digital Image Processing Using MatLab*, Prentice Hall, 2004.
- [3] R.Hartley, A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2003.
- [4] P. Heckbert, *Fundamentals of texture Mapping and Image Warping*, Master's thesis, 1989.
- [5] D. Diggins, *ARLib: A C++ Augmented Reality Software Development Kit*, Master's thesis, 2005.