

Sistem za projekciju zasnovan na otkrivanju i praćenju pokreta objekata pomoću optičke kamere u realnom vremenu

Miloš Pilipović, *Member IEEE*, Ivan Kaštelan, Milko Leporis, Dragan Kukulj, *Member IEEE*

Sadržaj — U ovom radu je predstavljen i opisan sistem za projekciju slike tj. video sadržaja na regione od interesa (ROI) pokretnih objekata (čovjek) u realnom vremenu pomoću projektor, zasnovan na otkrivanju i praćenju pokreta objekata pomoću optičke kamere. Predstavljene su tehnike za korelaciju ulazno/izlaznog slika/video toka kamere i projektor dizajnirane u cilju uspešnog prevazilaženja problema različitih koordinatnih prostora istih. Dinamički adaptivni mehanizam za poboljšanje performansi je takođe opisan. U našem rešenju objekat od interesa je označen u prvom okviru, a potom njegovo kretanje se prati u ograničenom području na slici čime se smanjuje vreme potrebno za obradu. Algoritam je realizovan u programskom jeziku C/C++. Po našim saznanjima, nije bilo studija u cilju realizacije gore opisane aplikacije.

Ključne reči — algoritam, kamera, otkrivanje, praćenje, projektor, slika, video.

I. UVOD

OTKRIVANJE i praćenje različitih delova ljudskog tela i klasifikacija istih predstavlja važan problem u širokom spektru aplikacija interakcije između čoveka i računara [1]. Osnovni cilj segmentacije slike u okviru ove namene je razdvajanje područja pozadine od regiona kretanja koji su od interesa za praćenje.

Na primer, u [2] je predstavljena realizacija jednostavnog sistema Ambijentalne Inteligencije zasnovanog na prostornoj lokalizaciji korisnika unutar prostorije korišćenjem 3D (TOF) kamere. Rezultati ispitivanja pokazuju da sistem uspešno reaguje na osobe koje miruju ili su u pokretu, međutim osnovni problem

Ovaj rad je delimično finansiran od Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 161003, od 2008. god.

Miloš Pilipović, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (tel.: 381-21-4801-217; e-mail: milos.pilipovic@rt-rk.com).

Ivan Kaštelan, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (tel.: 381-21-4801-131; e-mail: ivan.kastelan@rt-rk.com).

Milko Leporis, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (tel.: 381-21-4801-195; e-mail: milko.leporis@rt-rk.com).

Dragan Kukulj, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (tel.: 381-62-8880-080; e-mail: dragan.kukulj@rt-rk.com).

ovakvog pristupa jeste korišćenje 3D kamere čija je cena mnogostruko veća nego za realizaciju sistema pomoću niza optičkih kamera. Kao razlog korišćenja 3D kamere u sistemu navodi se rešenje problema opažanja objekata pri pojavi senke ili odbijanja svetlosti, kao i problem izdvajanja objekta iz pozadine ukoliko su sličnih boja, što su neke od prednosti 3D kamere u odnosu na optičku. Pošto okruženje u kom naš sistem radi ima osvetljenje koje je korisnički podesivo, nama za realizaciju nije značajna opisana prednost 3D kamere.

Složenost predstavljenog sistema je u daljnjem produbljena odgovarajućom projekcijom, imajući u vidu problem različitih koordinatnih prostora ulazno/izlaznog slika/video toka kamere i projektor.

Ovaj rad opisuje ideju i realizaciju sistema za projekciju slike/video sadržaja na regione od interesa (ROI) pokretnih objekata pomoću projektor, zasnovanog na otkrivanju i praćenju pokreta objekata pomoću optičke kamere u realnom vremenu.

U daljem tekstu, u poglavlju II, biće dat opis algoritma, kao i opis funkcionalnih blokova koji ga čine. U poglavlju III je predstavljen opis rešenja problema korelacije ulazno/izlaznog slika/video toka kamere i projektor. Na kraju rada su predstavljeni rezultati ispitivanja sistema kao i budući pravci razvoja i zaključak.

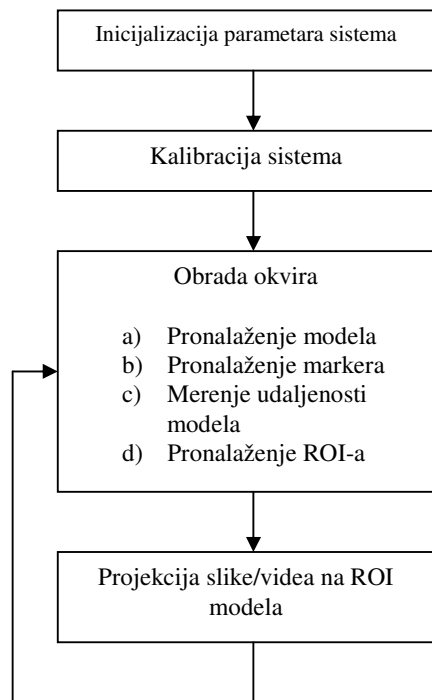
II. KORACI ALGORITMA

Algoritam razvijen u ovom radu se sastoji iz više koraka, koji su objašnjeni u ovom poglavlju. Na sl. 1 je predstavljen opis funkcionalnih delova algoritma. Prvi korak predstavlja inicijalizacija parametara sistema kao što su rezolucija kamere/projektor, visina tj. međusobni/položaj kamere/projektor, broj okvira u sekundi itd. Pod uslovom da se centar projektne ravni projektor i centar ravni kamere nalaze u istoj vertikalnoj ravni, algoritam ne zavisi od drugih parametara uzajamnog položaja između kamere i projektor. Korišćen projektor je EPSON EMP-S1H [3]. Korišćena kamera je Logitech QuickCam Pro 9000 USB web kamera [4]. Broj okvira u sekundi je inicijalno 15, stim da je omogućena dinamička adaptacija istog. Rezolucija kamere je 960x720 piksela.

Drugi korak je kalibracija sistema. U odsustvu bilo kakvih senzora postavljenih na različitim delovima tela, izdvajanje ROI, je računski veoma zahtevno. U cilju rada tj. performansi sistema u realnom vremenu, model nosi specifičan marker u boji na određenom delu tela npr. na

vratu (simulirajući senzor), poput priveska na ogrlici. Ovo omogućava da sistem brzo i efikasno prati pokrete tela i razlikuje višestruke regione od interesa. U okviru kalibracije pronalazi se pozicija markera u okviru (RGB) i dobijaju se proporcije modela [5][6].

Sistem kontinualno vrši obradu digitalnog video toka kamere, otkriva pokrete različitih delova ljudskog tela (glave, torza, ruku i nogu) i klasifikuje iste u određena stanja.



Sl.1. Algoritam.

U našem rešenju objekat od interesa je označen u prvom okviru, a potom njegovo kretanje se prati u ograničenom području na slici čime se smanjuje vreme potrebno za obradu [7]. Ograničeno područje pretrage u slici se dalje adaptivno prilagođava na osnovu predviđenog kretanja regiona od interesa između 2 okvira. Ukoliko se desi situacija da u trenutno obrađivanom okviru nije pronađen marker, za poziciju istog se koristi pozicija markera pronađenog u prethodnom okviru, čime se obezbeđuje kontinualna projekcija.

U poglavlju III je opisano rešenje za merenje udaljenosti modela od kamere tj. projektora.

Na osnovu pronađene pozicije markera u okviru, visine, širine modela izraženih brojem piksela, proporcija modela dobijenih kalibracijom i udaljenosti modela od kamere/projektora [cm] moguće je pretvoriti dimenzije ROI predstavljene brojem piksela u cm.

Poslednji korak algoritma je projekcija slika/video sadržaja na ROI objekta. U ovom koraku neophodno je izvršiti pretvaranje dimenzija ROI iz cm u dimenzije ROI izražene brojem piksela koje projektor može prikazati (poglavlje III).

III. REŠENJE PROBLEMA KORELACIJE U/I TOKA KAMERE I PROJEKTORA

A. Merenje udaljenosti modela

Na sl. 2 je dat šematski prikaz sistema. Idealizovani model je označen plavom podebljanom linijom. Udaljenost modela od kamere (d_c) tj. od projektora (d_p) je moguće odrediti na sledeći način.

Vertikalna rezolucija kamere (izražena u pikselima) tj. dužina duži između tačaka A i C je $d(A,C)$. Tada:

$$d(A,B) = d(A,C) - (d(B,M_x) + d(M_x,C)). \quad (1)$$

Ugao φ je jednak:

$$\varphi = \arctan \left((d(A,O) - d(A,B)) * \frac{\tan(\alpha)}{d(A,O)} \right). \quad (2)$$

Ugao θ je jednak:

$$\theta = \alpha - \varphi. \quad (3)$$

Ugao β je jednak:

$$\beta = \arctan \left(\frac{D_b}{H_c} \right). \quad (4)$$

Stoga d_c se može predstaviti sledećim izrazom:

$$d_c = |\tan(\beta + \theta)| * H_c. \quad (5)$$

Na osnovu dobijenog rastojanja d_c moguće je odrediti rastojanje d_p uzevši u obzir rastojanje između kamere i projektora.

B. Računanje visine modela izražene u cm

U nastavku će biti opisano rešenje računanja visine modela h izražene u cm.

Jednačina prave 1) kroz tačku M i tačku B se može predstaviti sledećim izrazom:

$$y = \tan(\phi) * x + \left(\frac{a}{2} - z \right) * \tan(\phi). \quad (6)$$

Može se pokazati da koordinate tačke M (projekcije na x i y osu respektivno) su:

$$M_x = z - \frac{a}{2} + h * \cos(\phi). \quad (7)$$

$$M_y = h * \sin(\phi). \quad (8)$$

Dalje, jednačina prave 2) kroz tačku N i tačku M se može zapisati u sledećem obliku:

$$y = H_T + \frac{M_y - H_T}{M_x} * x. \quad (9)$$

Stranice jednakokrakog trougla koga obrazuju tačke A, C i N su obeležene sa a , b , b ($b=L+1$ sa sl. 2). Visina ovog jednakokrakog trougla H_T je:

$$H_T = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{4}}. \quad (10)$$

Iz proporcije:

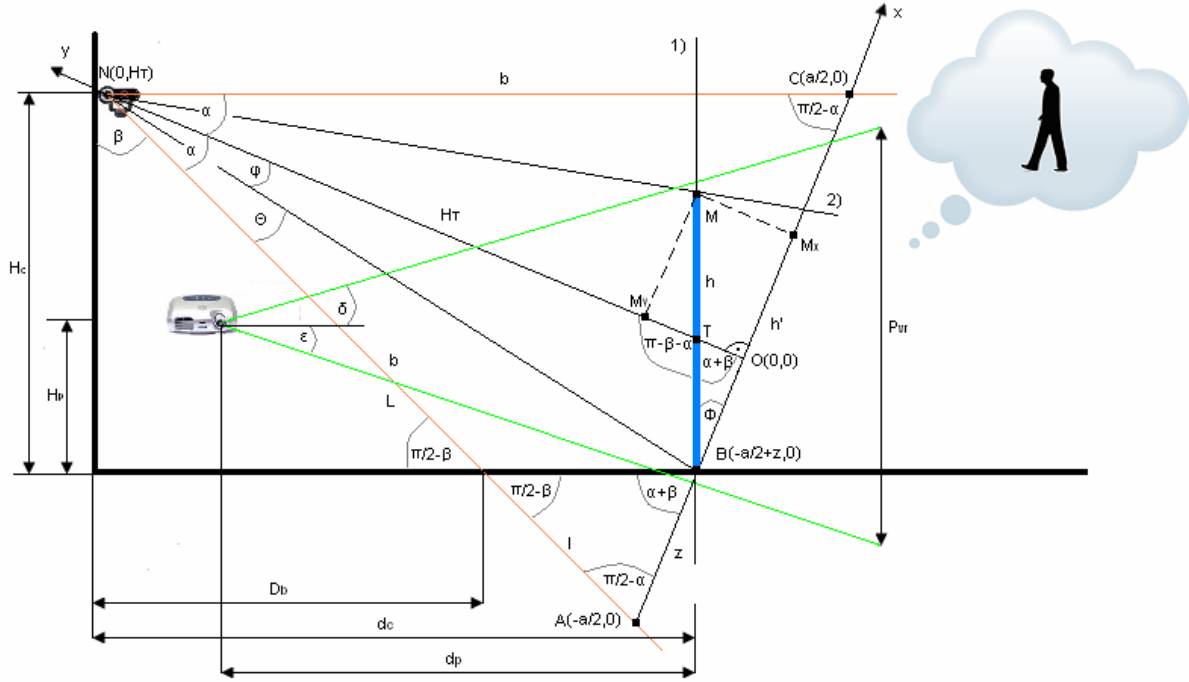
$$\frac{d_c - D_b}{\cos(\alpha)} = \frac{z}{\cos(\beta)} \quad (11)$$

sledi da se z može izraziti kao:

$$z = (d_c - D_b) * \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha)}. \quad (12)$$

Slično se može izraziti i l :

$$l = (d_c - D_b) * \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha)}. \quad (13)$$



Sl. 2. Šematski prikaz sistema.

Ugao ϕ je jednak:

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \alpha - \beta. \quad (14)$$

Stranica jednakokrakog trougla a je jednaka:

$$a = \sqrt{2 * b^2 * (1 - \cos(2\alpha))}. \quad (15)$$

L je jednako:

$$L = \sqrt{H_c^2 + D_b^2}. \quad (16)$$

Izjednačavanjem izraza (9) sa nulom dobijamo da je x jednako:

$$x = \frac{M_x * H_T}{H_T - M_y}. \quad (17)$$

Projekcija h' visine modela se sada može zapisati kao:

$$h' = -z + \frac{a}{2} + \frac{M_x * H_T}{H_T - M_y}. \quad (18)$$

Uvrštavanjem gore izvedenih izraza (7) i (8) u izraz (18), dobija se visina modela izražena u cm i ona je jednaka:

$$h = \frac{h' * H_T}{h' * \sin(\phi) - \left(\frac{a}{2} - z\right) * \sin(\phi) + H_T * \cos(\phi)}. \quad (19)$$

C. Pretvaranje dimenzija ROI iz cm u dimenzije ROI izražene brojem piksela koje projektor može prikazati

U svrhu pretvaranja dimenzija ROI iz cm u dimenzije ROI izražene brojem piksela koje projektor može prikazati izveden je sledeći izraz koji označava odnos broja piksela i cm. tj. koliko piksela odgovara jednom cm.

Sa sl. 2:

$$P_{vr}[cm] = d_p * \tan(\delta) + d_p * \tan(\epsilon). \quad (20)$$

Slično važi i za horizontalnu rezoluciju projektora:

$$P_{hr}[cm] = d_p * \tan(\omega) + d_p * \tan(\psi). \quad (21)$$

gde su sa ω i ψ označeni uglovi koji u zbiru čine ukupan horizontalni ugao projekcijske ravni projektora, tako da pošto se dobija ekvivalentna proporcija, faktor η koji označava odnos broja piksela po cm se može zapisati kao:

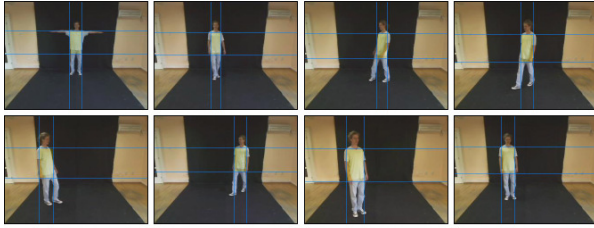
$$\eta \equiv \frac{P_{vr}[\text{piksel}]}{P_{vr}[cm]} \quad (22)$$

tj. važi sledeće:

$$x[\text{piksel}] \equiv x[cm] * \eta \quad i \quad y[\text{piksel}] \equiv y[cm] * \eta. \quad (23)$$

IV. REZULTATI

Rezultati ispitivanja pokazuju da sistem uspešno reaguje na osobe koje miruju ili su u pokretu. Ovo se odnosi kako na otkrivanje i praćenje tako i na odgovarajuću projekciju. Na sl. 3 je prikazana projekcija slike na odgovarajući ROI (torzo) modela, i može se vizuelnom percepcijom uočiti da sistem izvršava postavljene ciljeve. Podrazumevana vrednost prosečne brzine hoda čoveka pri merenju odziva sistema je oko 4.9km/h, odnosno oko 1.35m/s [8]. Najzahtevniji delovi algoritma su otkrivanje modela kao i njegovog ROI. Uočljivo je da model ne mora da bude okrenut licem ka kameri da bi praćenje bilo uspešno, niti da su ruke u prirodnom položaju spuštene uz torzo prilikom hoda. Može se zaključiti da je sistem na vreme opazio model koji prosečnom brzinom prolazi i pokrenuo odgovarajuću projekciju koja prati ROI modela. Ukoliko je hod modela brži može nastupiti kašnjenje u prikazu projektovanog multimedijalnog sadržaja u odnosu na kretanje modela, odnosno model će proći odgovarajuću zonu projekcije ROI. Rešenje ovog problema je u povećanju broja okvira u sekundi.



Sl.3. Prikaz praćenja i projekcije na ROI objekta u mirovanju/pokretu.

V. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen sistem za projekciju slike/video sadržaja na pokretne objekte pomoću projektor. U cilju otkrivanja i praćenja objekata korišćena je optička kamera. Proces pretraživanja okvira u cilju pronalaženja objekta tj. njegovih regiona od interesa, kao i proces ažuriranja oblasti pretrage, smanjuje vreme potrebno za obradu i pruža mogućnost da objekat u toku vremena može menjati svoj oblik. Dalje, korišćenjem jeftine optičke kamere, bez potrebe za složenom senzorskom opremom (RF/infracrveni senzori, TOF kamera...), sveukupna cena sistema je značajno smanjena. Cilj ovog rada je takođe resurs-optimizovana implementacija sistema na ciljnoj PC platformi. Primena algoritma je moguća u sistemima za nadzor, zabavu, marketing... Pokazano je da je važno naći kompromis između performansi i kompleksnosti sistema, koji se odnosi na skup različitih parametara sistema. Implementirani sistem predstavlja dobru polaznu osnovu za dalji razvoj i proširenje. Dalji pravci razvoja ovog rešenja mogu biti usmereni na realizaciju novih metoda otkrivanja i praćenja jednog tj. više objekata, optimizaciju rešenja po pitanju zauzimanja neophodnih resursa, filtriranja sa ciljem isticanja bitnih karakteristika različitih regiona od interesa i samim tim poboljšanje performansi po pitanju praćenja istih, 3D korelaciju više kamera-projektora itd.

LITERATURA

- [1] F. Karray, M. Alemzadeh, J. A. Saleh, and M. N. Arab, "Human-Computer Interaction: Overview on State of the Art", *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 137-159, March 2008.
- [2] Bojan Mrzavac, Milan Z. Bjelica, Ištvan Papp, Vladimir Kovačević, "Sistem za raspodeljenu reprodukciju video sadržaja zasnovanu na 3D lokalizaciji korisnika," *Zbornik radova ETRAN 2010*, Srbija
- [3] EPSON EMP-S1H, <http://www.epson.com>.
- [4] QuickCam Pro 9000 USB, <http://www.logitech.com>.
- [5] Body Proportions, http://en.wikipedia.org/wiki/Body_proportions
- [6] Human height, http://en.wikipedia.org/wiki/Human_height
- [7] Nikola Teslic, Vladimir Radenkovic, Snezana Crnogorac: *Camera Object Tracking Fast Algorithm*, IEEE Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, Ghent, September, 2003.
- [8] Human walking speed, <http://en.wikipedia.org/wiki/Walking>.

ABSTRACT

In this paper we present and describe a real-time system for projection of image i.e. video content on a moving objects regions of interest (ROIs) using projector based on human motion detection and tracking using optical camera. We present techniques for correlation camera and projection/or I/O image/video stream designed to successfully combat different coordinate spaces. Dynamic adaptive mechanism to improve performance is also described. In our solution the object of interest is marked in the first frame, and afterwards its movement is tracked in limited area of the picture thereby reducing the time required for processing. The algorithm was implemented in the programming language C/C++. To the best of our knowledge, there have been no studies for the above mentioned application to be realized.

PROJECTION SYSTEM BASED ON DETECTION AND MONITORING OF OBJECTS MOTION USING OPTICAL CAMERA IN REAL TIME

Miloš Pilipović, *Member IEEE*, Ivan Kaštelan, Milko Leporis, Dragan Kukulj, *Member IEEE*