

Razpoznavna delov telesa na podlagi kožne barve ob raznobarvnem ozadju z videoposnetkov dojenčkov

Andraž Rihar¹, Matjaž Mihelj¹, Jurij F. Tasič², Marko Munih¹

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

¹ Laboratorij za robotiko

² Laboratorij za digitalno obdelavo signalov, slik in videa

E-pošta: andraz.rihar@robo.fe.uni-lj.si

Povzetek. Zaznavanje delov telesa na podlagi kožne barve je pogosto v številnih aplikacijah, ki imajo opravka z videokamerami, kot so nadzorni sistemi, prepoznavanje uporabnikov in medsebojno sodelovanje človeka in računalnika. Aplikacije, predstavljene v literaturi, se večinoma osredinjajo na odrasle, malo pa je raziskav na področju analize videoposnetkov otrok in dojenčkov. Tako v tem delu predstavljamo računalniški program, ki omogoča obdelavo videa za detekcijo in identifikacijo delov telesa. Opisana je pripadajoča metodologija, kot so filtriranje v RGB in YC_bC_r barvnem prostoru, algoritem identifikacije glave in rok ter metoda sledenja pripadajočim pozicijam. Zaradi raznobarnega ozadja ter vplivov neposredne in posredne osvetlitve z lučkami elementarnih barv sta dodatno implementirani in predstavljeni metodi maskiranja in adaptivne nastavitve uporabljenih barvnih filtrov. Kombinacija predlaganih algoritmov, metod in filtrov je testirana na videoposnetkih dveh dojenčkov, starih manj kot šest mesecev. Predstavljeni rezultati ilustrativno prikažejo sosledje celotnega poteka obdelave in uspešno razkrijejo določene pomanjkljivosti posameznih metod. Končni rezultati potrjujejo pravilnost, točnost in ustreznost predlagane kombinacije algoritmov za zaznavanje kožne barve in razpoznavne delov telesa ob raznobarvnem ozadju z videoposnetkov dojenčkov.

Glavne besede: kožna barva, raznobarvno ozadje, videoposnetki dojenčkov, barvni filtri

Body parts detection using skin colour recognition in video recordings of infants

The body parts detection based on the skin colour recognition is part of numerous applications, such as surveillance systems and human-computer interaction. Since such applications mostly focus on adults and those concerning children and infants are scarce, a computer program to analyse the infants' video recordings was developed. The paper presents implementation of the methodology, focusing on the RGB and YC_bC_r colour filters for skin detection, and the applied algorithms for body parts recognition (head and both hands). The method to track the body parts is presented as well. The program also incorporates methods for masking and adaptive adjustment of the colour filters to diminish effects of external lighting. A combination of the used algorithms and filters is tested on video recordings of two infants. The results reveal certain drawbacks of individual algorithms and confirm the accuracy and suitability of the proposed combination for the skin colour recognition and body parts identification in videos of infants.

1 UVOD

Zaznavanje delov telesa na podlagi kožne barve je pogosto uporabljeno v aplikacijah, kot so detekcija gibanja v nadzornih sistemih [1, 2], prepoznavanje uporabnikov, zaznavanje sprememb na koži [3] ter medsebojno sodelovanje človeka in računalnika [4].

Avtorji navadno uporabljajo filtre raznolikih barvnih prostorov in mešanice Gaussovih modelov [5]. Haj et al. za robustno zaznavanje obraza predlagajo uporabo barvnega prostora RGB (R rdeča, G zelena in B modra barvna komponenta) [6], Aldasouqi in Oliveira predlagata barvni prostor HSV (H barvni odtenek, S nasičenost in V vrednost svetlosti) [7, 8], pogosta pa je tudi uporaba barvnih prostorov YC_bC_r (Y svetlost, C_b modra in C_r rdeča barvna razlika) [9, 10] oziroma YUV (Y svetlost, U modra in V rdeča barvna razlika) [11].

Barvni prostori v tem delu, razen kratkega opisa RGB in YC_bC_r v sklopu metodologije, ne bodo podrobneje opisani, saj so že intenzivno predstavljeni v tujih člankih. Poglobljen pregled uporabe raznovrstnih barvnih prostorov v namene analize ter prepoznavanja kožne barve na videoposnetkih za zaznavanje obraza predstavi Chaves-González [12], podoben pregled pa ponudita tudi Kakumanu [13] in Vezhnevets [14].

Raziskave analiz barvnih prostorov poleg prednosti kažejo na številne težave in pomanjkljivosti posameznih metod. Eden izmed problemov, katerega iskanje rešitve je zadnje čase v ospredju, je zaznavanje kožne barve ob raznobarvnem, kompleksnem ozadju. Druga težava je sprememba osvetlitve videoposnetkov. Pri premagovanju obeh tipov težav avtorji uporabljajo

različne metode. Rahman in Afrin predlagata filtriranje $YCbCr$, pri čemer za razpoznavo obraza predlagata iskanje trikotnika iz pozicij oči in ust [15]. Z rezultati potrđita ustreznost predlagane metode in med drugim predstavita tudi uspešno analizo otroške slike. Kot morebitna pomanjkljivost algoritma pa se kaže predvsem reševanje težave zastiranja objektov, kot na primer zaradi mižanja ali postavitve roke pred usta. Hu et al. prav tako predlagajo uporabo $YCbCr$ filtriranja, pri čemer za razpoznavo obraza predlagajo preverjanje ujemanja s predlogo [16]. Omenjena metoda sicer daje relativno dobre rezultate, je pa težavna s staljšča računske zahtevnosti. Podobno metodo predlagajo tudi Wan et al., pri čemer se znova poraja dvom o pravilnosti delovanja algoritmov v primeru zakritosti dela obraza [17]. Wang in Yuan predlagata uporabo kombinacije filtrov RGB in HSV, valjčne dekompozicije in nevronske mreže za razpoznavo obraza [18]. Metoda sicer da boljše in hitreje rezultate kot preverjanje ujemanja s predlogo, ima pa težave zaradi premajhne učne množice. Težave ima tudi z razpoznavo obrazov, slikanih s strani.

Pregled literature pokaže, da se večina avtorjev osredinja na zaznavanje kožne barve odraslih. Veliko redkeje so aplikacije, ki se osredinjajo na videoposnetke otrok in dojenčkov. Posebno pri zadnjih sta analiza in prepoznavanje delov telesa kompleksnejša zaradi specifičnih potez, svetlejših odtenkov kožne barve in manjših dimenzij. Na tem področju se razvija predvsem analiza videoposnetkov za detekcijo otroške pornografije [19], delno pa tudi analiza otroških odzivov in počutja [20]. Avtorji tudi na tem področju navadno aplicirajo dodatno obdelane barvne filtre YUV [19], kombinacije komponent barvnih filtrov [20] in dodatne, naprednejše algoritme.

Raziskav na področju analize videoposnetkov dojenčkov je relativno malo, zato smo izdelali računalniški program, ki omogoča obdelavo videa za detekcijo in identifikacijo delov telesa. V tem članku torej najprej predstavljamo metodologijo zaznavanja kožne barve s kombinacijo filtrov v barvnih prostorih RGB in $YCbCr$. Dodatno je opisan algoritem, ki omogoča razpoznavo oziroma določitev območja glave in obeh rok ter v nasprotju z nekaterimi drugimi metodami [15–18] ni vezan na frontalno perspektivo snemanja. Opisana je tudi metoda sledenja pozicije omenjenih delov telesa, ki izboljšuje robustnost in zanesljivost sistema. Končno, predstavljamo tudi metodo zmanjševanja vplivov neposredne in posredne osvetlitve prostora na proces obdelave videoposnetka.

2 METODOLOGIJA

2.1 Strojna in programska oprema

V okviru raziskave so bili narejeni videoposnetki dveh otrok, mlajših od šestih mesecev. Uporabljeni sta bili dve digitalni USB videokameri (Webcam C210, Logitech) z zornim kotom 53° in ločljivostjo

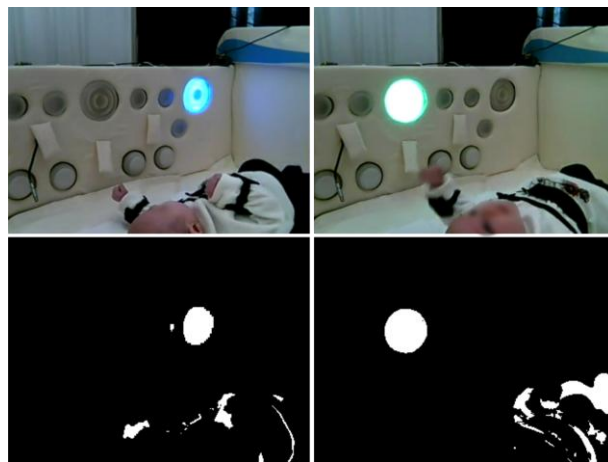
320 pikslov x 240 pikslov. Kameri sta zajemali sliko s frekvenco 10 Hz.

Otroka sta bila med meritvami položena v hrbtni položaj v namenski igralnici in animirana s pomočjo zvočnih in vizualnih efektov. Uporabljene so bile LED-lučiči zelene, modre in rdečkasto-rumene barve. Tako je bila zagotovljena zelena dinamika in stimulirana njuna aktivnost. Za meritve je bilo pridobljeno soglasje staršev, ki so bili med meritvami tudi prisotni.

Za izdelavo računalniškega programa so bile uporabljene vgrajene knjižnice programskega paketa MATLAB® (The MathWorks, Inc.).

2.2 Izločitev vpliva neposredne osvetlitve

Neposredna osvetlitev igralnice z barvnimi lučkami, ki je pomembna za zagotovitev otrokovega gibanja, lahko pomeni določeno težavo pri obdelavi videoposnetka z barvnimi filtri. Pri osvetlitvi z eno od elementarnih barv se namreč barvni spekter igralnice, ki je v osnovi bež barve, lahko zelo približa barvi kože in tako oteži izluščitev točnega področja delov telesa. Osvetlitev z barvnimi lučkami je prikazana na zgornji polovici slike 1. Ob poznavanju intervalov prižganih luči, njihovih barv in približnih dimenzij so tako posamezne slike videoposnetkov najprej predobdelane z algoritmom, ki izloči vpliv neposredne osvetlitve.



Slika 1: Zgoraj sta prikazana dva primera osvetlitve igralnice z modro in zeleno lučko. Spodaj sta prikazani pripadajoči binarni sliki, izračunani kot razlika zaporednih slik.

Najprej je uporabljena preprosta metoda razlike zaporednih slik, ki v osnovi po komponentah odšteje posamezne istoležeče piksele dveh zaporednih slik. Dobljena slika razlike je zatem pretvorjena v binarno sliko z uporabo vnaprej določenega praga in je prikazana za dva primera osvetlitve v spodnji polovici slike 1. Binarna slika se naprej obdelava s funkcijama *bwconncomp* in *regionprops*. Prva omogoči združevanje sosednjih povezanih pikslov v skupine večjih objektov. Funkcija za vsak piksel na sliki, ki ima vrednost 1, preveri vrednosti sosednjih osmih pikslov. Tiste, ki imajo vrednost 1, označi kot del enakega objekta. Tako

je omogočena združitev vseh pikslov z vrednostjo 1 v pripadajoče objekte. Ti so pozneje obdelani z drugo funkcijo, ki izračuna površino posameznih objektov in ekscentričnost najbolje prilegajočih se elips. Površino izračuna tako, da prešteje vse piksele, ki so označeni kot del posameznega objekta, ekscentričnost pa določi z metodo, opisano v [21]. Upoštevajoč dobljene vrednosti in prednastavljene pragove so objekti s primerno površino in ekscentričnostjo, manjšo od 0,7, prepoznani kot krogi oziroma okrogle lučke. Na določenih pozicijah sliko videoposnetka primerno maskiramo in tako izločimo vpliv neposredne osvetlitve na obdelavo.

2.3 Filtriranje v barvnem prostoru RGB in YC_bC_r

Videoposnetki so obdelani s pomočjo filtrov v dveh predstavitev barvnih prostorov.

RGB je trikomponentni barvni spekter, sestavljen iz osnovnih barv, to je rdeče R , zelene G in modre B . Naštete barvne komponente lahko v digitalnem prostoru opišemo z osmimi biti v vrednostih od 0 do 255 in tako spekter predstavimo v 256 odtenkih.

Na podlagi enačbe (1) je z določitvijo omejitev posameznim barvnim komponentam model barve kože najprej opisan v RGB-prostoru.

$$\begin{aligned} 85 < R < 120 \\ 40 < G < 80 \\ 40 < B < 90 \end{aligned} \quad (1)$$

Vhodna slika je zatem z Matlabovo vgrajeno funkcijo $rgb2ycbcr()$ še transformirana v barvni prostor YC_bC_r , kjer je filtrirana z uporabo enačbe (2).

YC_bC_r ni absoluten barvni prostor, temveč je izpeljan iz barvnega modela RGB in je v primerjavi z omenjenim manj odvisen od zunanje osvetlitve in spremembe svetlosti. Y označuje tako imenovano luminanco oziroma svetlost, vrednosti pa ob digitalni predstavitvi z osmimi biti obsegajo območje od 16 do 235. C_b in C_r pomenita modro in rdečo barvno razliko, njuni vrednosti pa ob digitalni predstavitvi obsegata območje od 16 do 240.

$$\begin{aligned} 35 < Y < 235 \\ 115 < C_b < 155 \\ 135 < C_r < 160 \end{aligned} \quad (2)$$

Tako pridobljeni črno-beli sliki vsaka zase pomenita območja, ki bi lahko ustrezala delom telesa dojenčka.

V nadaljevanju so podatki obeh črno-belih slik združeni s funkcijo disjunkcije, kar omogoča določeno redundanco informacij, s tem pa večjo zanesljivost zaznave in primernejše, kakovostnejše rezultate. Po združitvi je začasna črno-bela slika naprej obdelana s funkcijo morfološkega odpiranja, ki v resnici pomeni sosledje operacij morfološke erozije in dilatacije. Tako je iz slike izločen šum, ki zajema predvsem majhne, nepovezane objekte, ki navadno ne ustrezajo delom telesa in so ponavadi v ozadju.

2.4 Izločitev vpliva posredne osvetlitve in prilagoditev barvnih filtrov

Pri osvetlitvi igralnice z eno od barvnih lučk se poleg težav, opisanih v razdelku 2.2, pokaže še težava posredne osvetlitve igralnice zaradi odboja svetlobe. Ponovno se zaradi bež barve igralnice barvni spektri približajo spektru kože barve in obdelava je otežena. Dodatna težava je značaj odboja svetlobe, ki nelinearno vpliva na barvne spektre.

Za izločitev omenjenih vplivov predlagamo algoritem avtomatske prilagoditve barvnih filtrov. Pri tej metodi so uporabljene porazdelitve barvnega spektra kože barve ter omejena dinamika otroškega gibanja in algoritem sledenja, opisana v razdelku 2.6. Algoritem si eno sliko pred prižigom lučke zapomni pozicije oziroma masko prepoznanih delov telesa. To masko program nato najprej morfološko erodira in se s tem znebi vpliva manjših premikov med dvema zaporednima slikama. Zatem se tik po prižigu lučke maska aplicira na trenutno sliko in izračuna porazdelitev barvnih spektrov RGB ter YC_bC_r prepoznanih delov telesa kože barve. V nadaljevanju se prilagodijo meje barvnih filtrov, opisanih z enačbama (1) in (2). RGB-filtru se spodnja in zgornja meja nastavi na 25 in 75 percentil porazdelitve, YC_bC_r -filtru pa istosmiselno na 5 in 95 percentil porazdelitve. Meje filtrov ostanejo na novih vrednostih do izklopa lučke.

2.5 Identifikacija glave in rok

Za identifikacijo območja glave in rok sta ponovno uporabljeni integrirani Matlabovi funkciji $bwconncomp$ in $regionprops$. Ta je zdaj uporabljena za izračun lastnosti objektov, kot so površina oziroma število pikslov, koordinate središča in pripadajoče pozicije robnih točk. Izmed vseh objektov se kot območje glave določi in prepozna tisti z največjo površino, seveda ob predpostavki, da je del glave vedno prisoten na videoposnetku. Shranjene so tudi koordinate središča objekta glave.

S pomočjo prednastavljenih pragov (3) program v nadaljevanju iz obdelave izloči objekte, ki s svojimi dimenzijami zagotovo ne ustrezajo objektom rok.

$$30 < \text{Površina objektov rok} < 2000 \quad (3)$$

Koordinate središč in dimenzije preostalih ustreznih objektov so s pomočjo več pravil uporabljene za identifikacijo leve, desne ali obeh rok. V osnovi je identifikacija odvisna predvsem od števila objektov in njihovih lastnosti. Dodatno so pomembne tudi medsebojne razdalje, izračunane s funkcijo $pdist$, ter razdalje objektov do glave.

2.6 Sledenje pozicijam delov telesa

Sledenje pozicijam delov telesa je pomemben modul programa, ki temelji na dejstvu, da je dinamika človeških gibov omejena. Zaradi dovolj visoke

frekvence zajemanja videokamer lahko namreč sklepamo, da se pozicija delov telesa v času med dvema zaporednima slikama lahko spremeni le za končno, omejeno razdaljo. To lahko seveda s pridom uporabimo tudi pri analizi otroškega gibanja, ki so mu sicer lastni povsem naključni gibi omejene hitrosti.

Takoj ko program prvič zazna in določi pozicije objektov glave in rok, se pripadajoče koordinate shranijo v globalno spremenljivko, ki jo program znova priključuje ob obdelavi naslednje zaporedne slike. Glede na to, ali sledimo glavi ali rokam, program okoli koordinat določi kvadrat primernih dimenzij in izračuna vsoto znotraj ležečih pikselov, enakih 1. Če je vsota večja od prednastavljenega praga, so iskani deli telesa na sliki še prisotni in program izračuna težišče oziroma središče teh objektov. Tako neposredno pridobimo koordinate delov telesa, prisotnih na trenutni sliki.

Dodatna pravila so naprej uporabljena za zagotavljanje večje točnosti in pravilnosti delovanja opisanega algoritma. Ta s pomočjo dodatno izračunanih medsebojnih razdalj in drugih lastnosti med drugim skrbijo za preprečevanje lezenja posameznih koordinat in izogibanje sledenju napačnim objektom. Vsakih nekaj sekund se pravilnost posameznih koordinat tudi preveri s pomočjo algoritma, opisanega v razdelku 2.5, s čimer se izognemo naključnemu pobegu koordinat zaradi nepredvidenih, neželenih zunanjih vplivov, kot je

lahko neugodna osvetlitev stene v ozadju otroka, ki je potencialno ne bi mogli izločiti z metodo iz sekcije 2.4.

3 REZULTATI

V naslednjih šestih slikah so postopoma sosledno prikazani potek obdelave in končni rezultati za vsako od desetih najbolj reprezentativnih slik obeh videoposnetkov.

Sliki 2 in 3 sta vhodni sliki videoposnetkov v barvnem prostoru RGB in YC_bC_r . Prikazana sta oba dojenčka v raznolikih orientacijah hrbtnega položaja. Drugi in peti stolpec slike prikazujeta igralnico ob neposredni osvetlitvi z lučkami.

Sliki 4 in 5 sosledno prikazujeta rezultate obdelave s filtrom RGB in YC_bC_r .

Slika 6 že predstavlja del končnih rezultatov in ilustrira videz črno-belih slik po združevanju podatkov iz obeh barvnih filtrov, apliciranju morfoloških operacij in uporabi algoritma zaznave delov telesa. S črnimi črkami na sivem ozadju je z oznako »Glava« markirano območje glave, »L« in »D« pa označujeta območji leve in desne roke.

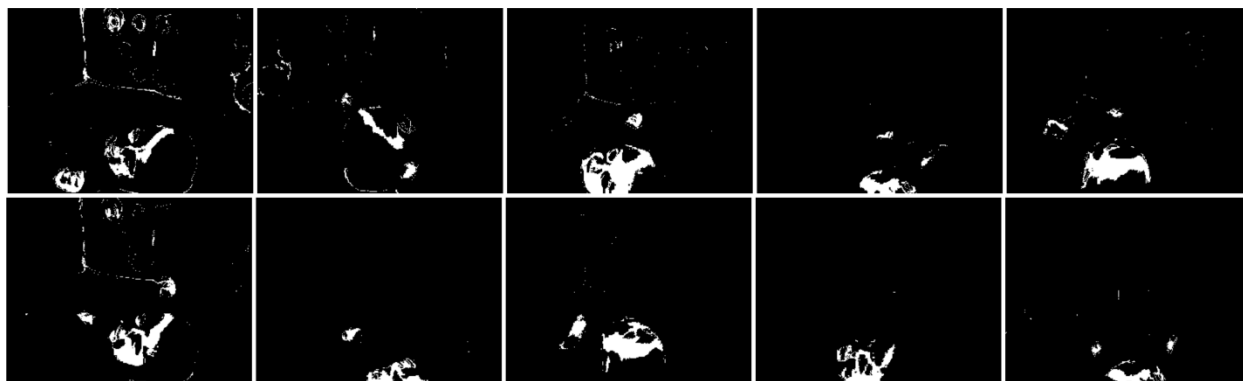
Slika 7 prikazuje končne rezultate obdelave. S pravokotniki so označena območja glave in prisotnih rok. Posamezni deli telesa so podobno kot na sliki 6 označeni s črnim besedilom.



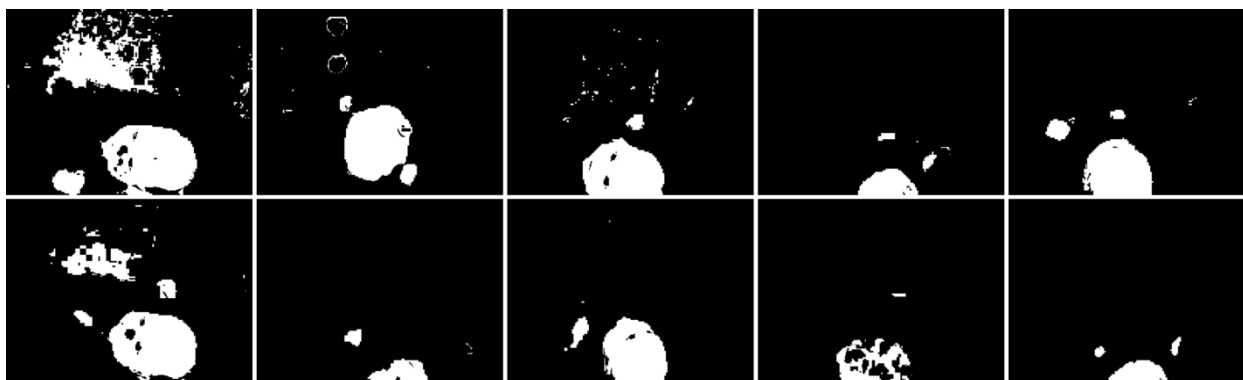
Slika 2: Deset reprezentativnih slik videoposnetkov v barvnem prostoru RGB. Oba otroka sta v raznolikih orientacijah hrbtnega položaja. Drugi in peti stolpec slike prikazujeta igralnico ob neposredni osvetlitvi z lučkami.



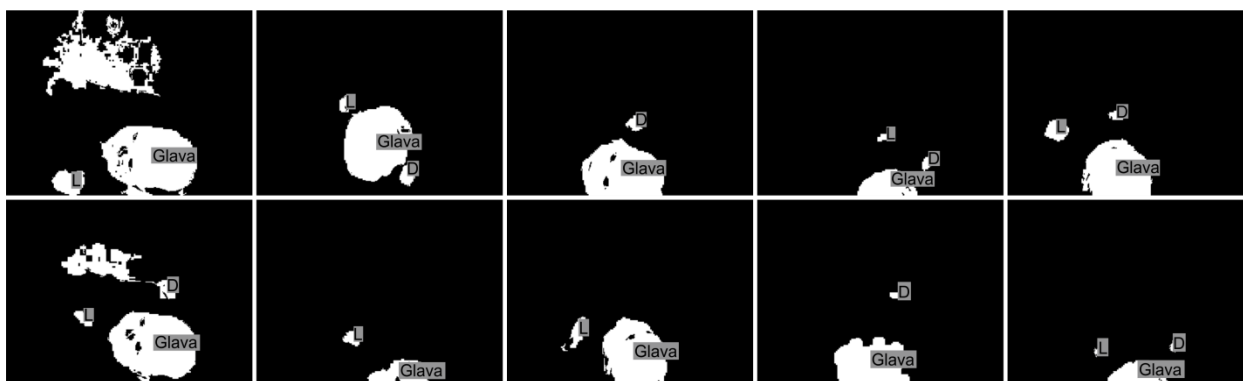
Slika 3: Slike obeh videoposnetkov v barvnem prostoru YC_bC_r . Otroka sta v raznolikih orientacijah hrbtnega položaja. V drugem in petem stolpcu je viden vpliv spremembe barvnega spektra igralnice zaradi osvetlitve z lučkami.



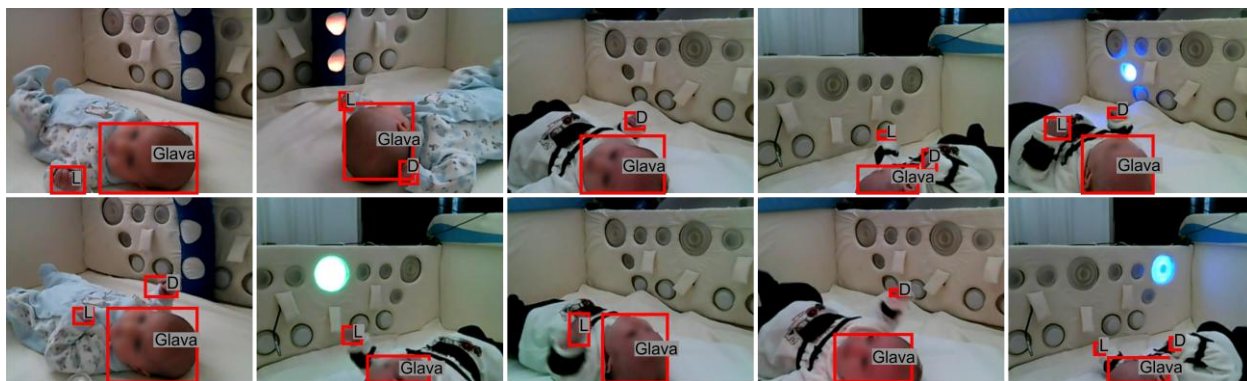
Slika 4: Binarne slike rezultatov obdelave slik videoposnetkov z RGB-filtrom. Deset reprezentativnih slik je prikazanih pred odstranitvijo šuma.



Slika 5: Binarne slike rezultatov obdelave slik videoposnetkov s filtrom $YCbCr$ pred odstranitvijo šuma. V prvem stolpcu je opazna neuspešna izločitev vpliva posredne osvetlitve igralnice. Šum na preostalih slikah večinoma povzročajo majhni objekti, ki so izločeni z nadaljnjo obdelavo.



Slika 6: Binarne slike rezultatov obdelave z označenimi vidnimi deli telesa. Na vseh desetih slikah »Glava« označuje območje glave, »L« in »D« pa označujeta objekta leve in desne roke. Kljub raznolikim pozicijam so objekti delov telesa detektirani pravilno.



Slika 7: RGB-slike končnih rezultatov obdelave. Pravokotniki in besedilo označujejo razpoznane vidne dele telesa. »Glava« označuje območje glave, »L« in »D« pa označujeta objekta leve in desne roke.

4 RAZPRAVA IN SKLEP

Namen predstavljene raziskave je bil izdelati računalniški program, ki bi omogočal zaznavanje kožne barve dojenčkov in s tem prepoznavanje njihovih delov telesa z digitalnih videoposnetkov. To je bilo realizirano z uporabo barvnih filtrov RGB in $YCbCr$, morfoloških operacij ter dodatnih algoritmov razpoznave delov telesa in sledenja pripadajočim pozicijam. Zaradi težav z neposredno in posredno osvetlitvijo s svetlobo elementarnih barv sta bili dodatno aplicirani metodi maskiranja in prilagoditve barvnih filtrov.

Rezultati kažejo, da ima RGB-filtr precejšnje omejitve glede dovoljene osvetljenosti slike, kar se zrcali v potrebi po precejšnjem zoženju manevrnega prostora filtra. Omejitve posameznim barvnim komponentam morajo biti postavljene precej strožje kot pri drugih podobnih filtrih, s čimer se v večini primerov lahko izognemo opisanim slabostim. Alternativno so meje barvnega filtra $YCbCr$ lahko postavljene nekoliko ohlapneje, saj je ta predstavitev barvnih modelov bolj neodvisna od zunanje osvetlitve slike. Luminanca Y sicer vpliva tudi na obe barvni komponenti prostora, ki pa se je v našem primeru izkazal za nemotečega.

Težava osvetlitve z lučkami elementarnih barv je bila odpravljena z uporabo metode maskiranja in adaptivne nastavitve barvnih filtrov. Ti metodi sta se izkazali za primerni in dajeta dobre rezultate. Rezultati obdelave po odpravi vpliva neposredne osvetlitve so prikazani v drugem in petem stolpcu slik 6 in 7 ter potrjujejo primernost algoritma. Rezultati izločanja vpliva posredne osvetlitve so predstavljeni na tretji in četrti sliki spodnje vrstice slik 6 in 7. Razvidno je, da adaptivno nastavljanje filtrov večinoma deluje uspešno in pravilno določi iskane dele telesa. Prvi stolpec slik od 4 do 6 dokazuje, da nastavljanje filtrov ne deluje vedno, saj se barvni spekter igralnice občasno vseeno nahaja znotraj novih meja barvnih filtrov. Te težave odpravlja metoda sledenja pozicijam.

Sliki 4 in 5 nazorno indicirata opisane prednosti in slabosti. Vidno je, da $YCbCr$ -filtr bolje zazna večji del območja glave in v večini primerov tudi rok, izkaže pa se, da je RGB-filtr izjemno uporaben s stališča

dopolnjevanja slike 5. Je namreč nekoliko bolj prilagojen barvnemu spektru rok, ki se za malenkost razlikuje od glave, in tako večkrat pravilno zazna pozicijo območja rok. RGB-filtr tudi pridoda k detekciji območja glave in s tem večkrat pravilno dopolni označene objekte. Tako veliko pripomore k izboru oziroma določitvi potencialnih območij za objekte glave in obeh rok. $YCbCr$ -filtr se končno res izkaže za izjemno robustnega in manj odvisnega od osvetlitve. Osvetlitev z modro in zeleno lučko je za obdelavo manj moteča kot osvetlitev z rdečo oziroma temno rumeno barvo, kot je razvidno iz drugega in petega stolpca slik. Najtežje je odpraviti odboj svetlobe lučk. To je razvidno iz obdelave v prvem stolpcu slik. Ob kontrolirani zunanji osvetlitvi oba filtra delujeta nezmotno in povsem zanesljivo. Predel glave in obeh rok je določen zelo natančno.

Algoritem za razpoznavo glave in obeh rok se je izkazal za dovolj učinkovitega. Računalniški program glavo identificira povsem pravilno, medtem ko se identifikacija rok izkaže za precej zahtevnejšo nalogo. To je predvsem posledica relativno majhnega zornega kota digitalnih videokamer in majhne oddaljenosti teh do otrok. Medtem ko je glava pravzaprav ves čas vidna in prisotna na videoposnetku, so roke izpostavljene dvema pomanjkljivostma. Prva je zagotovo omejeno območje snemanja, ki ne ustreza območju gibanja dojenčka. To je razvidno predvsem iz rezultatov drugega stolpca spodaj, tretjega stolpca zgoraj in četrtega stolpca spodaj slik od 2 do 7, kjer otrok eno od rok premakne zunaj zornega kota kamer in tako povzroči nezmožnost detekcije ter identifikacije. Druga pomanjkljivost je razvidna iz prvega stolpca zgoraj in tretjega stolpca spodaj slik od 2 do 7 in je lahko poimenovana »zastiranje pogleda«. Zaradi nekoliko nerodne postavitve kamer se v videoposnetku nekajkrat pripeti, da otrok roko skrije za glavo, kar ponovno ne dopušča zaznave. Obe pomanjkljivosti sta sicer preprosto rešljivi, vendar kličeta po uporabi večjega števila kamer in pametni razporeditvi okoli snemanega subjekta. To ima posledice predvsem v višji ceni sistema, večjem številu pridobljenih podatkov in pripadajočih morebitnih težavam s senzorno integracijo.

Algoritem sledenja pozicijam delov telesa se je izkazal za izjemno koristnega. Izkaže se, da hipoteza omejene dinamike otroškega gibanja drži tudi v praksi, saj ta algoritem primerno sledi tako glavi kot tudi obema rokama. S tem algoritmom lahko poskrbimo tudi za pravilno detekcijo obeh rok pri prekrivanju, ki bi bilo težko prepoznano zgolj z algoritmom, opisanim v razdelku 2.5. Opisani algoritem sledenja zelo veliko pripomore k stabilnosti in pravilnosti delovanja sistema. Poskrbi za nemoteno identifikacijo posameznih delov telesa ob neželenih in neodpravljenih zunanjih vplivih, kot je odboj svetlobe od ozadja, viden v prvem stolpcu slik od 2 do 7. Program tu pravilno sledi objektu glave vkljub objektu v ozadju, ki bi po dimenzijah prav tako lahko ustrezal glavi.

Končno, pridobljeni rezultati torej neposredno potrjujejo pravilnost izdelanih algoritmov, primernost uporabljenih barvnih filtrov in uporabnost računalniškega programa.

Nadaljnje raziskave bodo potekale v smeri dodatne verifikacije predstavljenega računalniškega programa na večjem številu videoposnetkov in potencialne modularne vključitve obstoječih algoritmov v sklop kompleksnejšega sistema za podrobnejšo analizo otroškega gibanja.

ZAHVALA

Raziskava je bila financirana iz projekta Evropske unije CareToy, pogodba ICT-2011.5.1-287932, dodatno pa jo je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

LITERATURA

- [1] Sarkar R., Bakshi S., Sa P. K. (2012). A Real-time Model for Multiple Human Face Tracking from Low-resolution Surveillance Videos. *Procedia Technology*, 6, 1004–1010.
- [2] Chen Y. H., Hu K. T., Ruan S. J. (2012). Statistical skin color detection method without color transformation for real-time surveillance systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(7), 1331–1337.
- [3] Chang C. Y., Li S. C., Chung P. C., Kuo J. Y., Tu Y. C. (2010). Automatic facial skin defect detection system. In *Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA)*, 2010 International Conference on (pp. 527–532). IEEE.
- [4] Zaletelj J., Perhac J., Tasic J. F. (2007). Vision-based human-computer interface using hand gestures. In *Image Analysis for Multimedia Interactive Services, 2007. WIAMIS'07. Eighth International Workshop on* (pp. 41–41). IEEE.
- [5] Kherchaoui S., Houacine A. (2010). Face detection based on a model of the skin color with constraints and template matching. In *Machine and Web Intelligence (ICMWI)*, 2010 International Conference on (pp. 469–472). IEEE.
- [6] Al Haj M., Bagdanov A. D., Gonzalez J., Roca X. F. (2009). Robust and efficient multipose face detection using skin color segmentation. In *Pattern Recognition and Image Analysis* (pp. 152–159). Springer Berlin Heidelberg.
- [7] Aldasouqi I., Hassan M. (2010). Human face detection system using HSV. In *Proc. Of 9th WSEAS Int. Conf. on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing (CSECS'10)*. Atenas, Grecia (pp. 13–16).
- [8] Oliveira V.A., Conci A. (2009). Skin Detection using HSV color space. In H. Pedrini, & J. Marques de Carvalho, *Workshops of Sibgrapi* (pp. 1–2).
- [9] Lin C. (2007). Face detection in complicated backgrounds and different illumination conditions by using YCbCr color space and neural network. *Pattern Recognition Letters*, 28(16), 2190–2200.
- [10] Tang H. K., Feng Z. Q. (2008). Hand's Skin Detection Based on Ellipse Clustering. In *Computer Science and Computational Technology, 2008. ISCSCT'08. International Symposium on* (Vol. 2, pp. 758–761). IEEE.
- [11] Kovac J., Peer P., Solina F. (2003). Human skin color clustering for face detection. In *EUROCON 2003 Computer as a tool* (Vol. 2, pp. 144–148). IEEE.
- [12] Chaves-González J. M., Vega-Rodríguez M. A., Gómez-Pulido J. A., Sánchez-Pérez J. M. (2010). Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study. *Digital Signal Processing*, 20(3), 806–823.
- [13] Kakumanu P., Makrogiannis S., Bourbakis N. (2007). A survey of skin-color modeling and detection methods. *Pattern recognition*, 40(3), 1106–1122.
- [14] Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A. (2003). A survey on pixel-based skin color detection techniques. In *Proc. Graphicon* (Vol. 3, pp. 85–92).
- [15] Rahman H., Afrin J. (2013). Human Face Detection in Color Images with Complex Background using Triangular Approach. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 13(4).
- [16] Hu W. C., Yang C. Y., Huang D. Y., Huang C. H. (2011). Feature-based face detection against skin-color like backgrounds with varying illumination. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2(2), 123–132.
- [17] Wan C., Tian Y., Chen H., Wang X. (2011). Rapid face detection algorithm of color images under complex background. In *Advances in Neural Networks-ISNN 2011* (pp. 356–363). Springer Berlin Heidelberg.
- [18] Wang Y., Yuan B. (2001). A novel approach for human face detection from color images under complex background. *Pattern Recognition*, 34(10), 1983–1992.
- [19] Ulges A., Stahl A. (2011). Automatic detection of child pornography using color visual words. In *Multimedia and Expo (ICME)*, 2011 IEEE International Conference on (pp. 1–6). IEEE.
- [20] Fang C. Y., Lin H. W., Chen S. W. (2010). An Infant Facial Expression Recognition System based on Moment Feature Extraction. In *VISAPP* (2) (pp. 313–318).
- [21] Haralick R. M., Shapiro L. G. (1992). *Computer and Robot Vision: Vol.1*, Reading, M. A.: Addison-Wesley, Appendix A.

Andraž Rihar je diplomiral leta 2012 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Kot mladi raziskovalec je zaposlen na isti ustanovi v Laboratoriju za robotiko. V sklopu diplome je področje njegovega raziskovalnega dela obsegalo računalniško modeliranje malih hidroelektrarn. Pri podiplomskem študiju je to področje razširil še na analizo in sintezo človeškega gibanja, združevanje multisenzornih informacij in videoanalizo.

Matjaž Mihelj je diplomiral leta 1996, magistriral leta 1999 in doktoriral leta 2002 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zdaj je zaposlen kot redni profesor na isti ustanovi. V letih 2005/2006 je bil gostujoči raziskovalec na ETH v Zürichu. Področje njegovega raziskovalnega dela obsega interakcijo človeka in robota, multimodalne sisteme s haptičnimi roboti in zasnovu naprav za motorično rehabilitacijo bolnikov.

Jurij F. Tasič je diplomiral leta 1971, magistriral leta 1973 in doktoriral leta 1977 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zdaj je redni profesor in predstojnik Laboratorija za digitalno obdelavo signalov, slik in videa na isti ustanovi. Ožja področja njegovega raziskovalnega dela so digitalna obdelava podatkov, obdelava slik, adaptivni sistemi, paralelne strukture in telekomunikacije. Leta 1976 je sodeloval pri razvoju prvega jugoslovanskega procesnega sistema in računalniško vodenega spektralnega analizatorja, leta 1979 pa prvega enokartičnega računalnika. Leta 1980 je s sodelavci razvil sistem visokonapetostnega omrežja Republike Slovenije. Dr. Tasič je znanstveni svetnik na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani, redni član Inženirske akademije Slovenije, gostujoči profesor na Westminster University v Londonu ter vabljeni sodelavec univerz v Parizu in Madridu.

Marko Munih je diplomiral (leta 1986), magistriral (leta 1989) in doktoriral (leta 1993) na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani ter v času dodiplomskega študija prejel Prešernovo nagrado Univerze v Ljubljani. Podoktorsko je deloval na UCL v Londonu.

Raziskovalno in pedagoško deluje na področjih robotike in biomedicinske tehnike. Na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani predava od leta 1998. Raziskovalni interesi so bili prvotno usmerjeni predvsem na področje funkcionalne električne stimulacije vključujoč merjenja, vodenje, biomehaniko in električna vezja. V zadnjem času raziskuje predvsem na področju kontakta robota z okolico, gradnje in uporabe haptičnih vmesnikov ter navidezne resničnosti na področju robotike na splošno in robotike v rehabilitaciji.

Leta 2002 je prejel Zoisovo priznanje, v letu 2010 s kolegi tudi tretje mesto za EUROP/EURON Robotics Technology Transfer Award. V letu 2011 je dobil Vidmarjevo, leto pozneje pa Vodovnikovo nagrado na UL, FE, prvo za pedagoško in drugo za raziskovalno delo.