

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

Miloš M. Milovanović

**PRIMENA CBIR TEHNIKA U BIOMETRIJSKOJ  
IDENTIFIKACIJI OSOBA NA OSNOVU HODA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, 2013.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Miloš M. Milovanović

**APPLICATION OF CBIR TECHNIQUES FOR THE  
PURPOSE OF BIOMETRIC IDENTIFICATION BASED ON  
HUMAN GAIT**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2013.



Mentor:

Prof. dr Dušan Starčević, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Članovi Komisije:

1. Doc. dr Miroslav Minović, docent  
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka
2. Prof. dr Zoran Jovanović, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

Datum odbrane: \_\_\_\_\_ 2013. godine

# Zahvalnica

Na prvom mestu zahvaljujem se mome **sinu Djordju**. Prve značajne uspehe postignute radom na ovoj disertaciji podelio sam sa njim dok je još bio u majčinom stomaku. U trenutku završetka ove disertacija on je beba od nepuna tri meseca i postao je moja najveća motivacija za sve buduće uspehe koje se nadam da ću postići, od kojih je najvažniji da budem dobar otac.

Posebnu zahvalnost dugujem mojoj **supruzi Veri**, koja mi je uvek bila preko potrebnii oslonac, i koja je svaku moju ideju sa ushićenjem saslušala i pomogla mi u svakom pogledu da je ostvarim. Njena vera u mene i moje sposobnosti je uvek bila neumoljiva. Svaki uspeh dugujem njoj i njoj ga posvećujem.

Veoma sam zahvalan mojim roditeljima, **Ljilji i Ćiri**, koji su puno strpljenja i živaca uložili u moje školovanje i koji su nekako uvek imali poverenja da ću ispuniti njihova očekivanja. Zahvaljujem se i mojoj **sestri Miri**, od koje sam naučio koje stvari u životu su bitne i koja mi je uvek bila svetli primer.

Izuzetnu zahvalnost dugujem mentoru, **profesoru Dušanu Starčeviću**, koji je u meni probudio ljubav za naučno-istraživačkim radom, i što je još važnije, naučio me kako se taj predivan posao ispravno radi. Ovu temu disertacije sam odabrao isključivo zahvaljujući njemu, obzirom da me je na vrlo vešt način naveo da idem rizičnijim putem. Kao i u svemu, bio je u pravu.

Zahvaljujem se i kolegi i prijatelju **docentu Miroslavu Minoviću**, sa kojim sam napravio prve naučne korake i koji je nesebično svoje znanje delio sa mnom.

Konačno, zahvaljujem se svim kolegama sa Katedre, kao i svima onima koji su nesebično slušali moje ideje, podelili sa mnom svoje mišljenje i time doprineli uspehu ove doktorske disertacije.

# Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

## *Apstrakt*

Intenzivan razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija otvorio je vrata primeni biometrijskih tehnologija u menadžmentu identiteta. Biometrijski modalitet koji ima veliki potencijal za primenu u praksi je ljudski hod. Njega odlikuju neinvazivnost i neintruzivnost. Ovakve osobine posebno pogoduju primeni u uslovima tehnologije prisмотрe. Zahvaljujući tome, ovaj biometrijski modalitet tokom prethodnih godina izaziva veliko interesovanje akademske zajednice. Ovo interesovanje rezultiralo je razvojem velikog broja pristupa za prepoznavanje osoba na osnovu hoda. Uprkos tome, primena biometrijskih tehnologija zasnovanih na ljudskom hodu u praksi i dalje zaostaje za dobro ustanovljenim modalitetima poput otiska prsta, lica ili glasa. Glavni razlog je nedostatak odgovarajućeg pristupa koji bi omogućio stabilnu primenu u realnim uslovima. Cilj ovog rada je predlog novog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda koji bi omogućio razvoj robusnog i pristupačnog biometrijskog sistema. Inicijalno, urađen je sveobuhvatan pregled oblasti i aktuelnih istraživanja na osnovu čega je predložen novi postupak. Predloženi postupak se zasniva na ideji da se sekvenca ljudskog hoda može predstaviti kao jedna nepomična 2D slika. Ovakav postupak omogućio bi da se za potrebe prepoznavanja primene generičke metode za pretragu slika na osnovu sadržaja. Na ovakav način problem bi bio prenet iz prostorno-vremenskog domena u prostorni domen, konkretno domen 2D nepomične slike, koji je poznat i u kome postoji veliki broj dokazanih rešenja. Za potrebe akvizicije, postupak se oslanja na novu tehnologiju iz oblasti interakcije čovek-računar, Microsoft Kinect. Na osnovu predloženog postupka razvijen je modularni laboratorijski prototip kao i okruženje za testiranje i evaluaciju. Naučna zasnovanost i opravdanost predloženog postupka proverena je nizom eksperimenata. Eksperimenti su organizovani na takav način da ispituju različite faktore koji tokom primene postupka mogu uticati na konačne performanse u prepoznavanju. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da predloženi postupak odlikuje visok stepen robusnosti kao i visoka preciznost u prepoznavanju.

**Ključne reči:** Prepoznavanje osoba na osnovu hoda, Biometrija, CBIR, Microsoft Kinect

**Naučna oblast:** Organizacione nauke

**Uža naučna oblast:** Informacione tehnologije

UDK 57.087.1:004

# Application of CBIR techniques for the purpose of biometric identification based on human gait

## *Abstract*

Intense progress of information and communications technology enabled application of biometric technology in identity management. Human gait, as a biometric modality, has great potential for practical application. This is due to its noninvasive and nonintrusive nature. Surveillance technology is especially fertile ground for recognition based on human gait. These facts caused spike in academic interest for this biometric modality. This in turn resulted in development of large number of different approaches to human gait recognition. Nevertheless, practical application of biometric technology based on human gait still trails those well established modalities such as fingerprint, face or voice. Main reason for this is lacking of such approach that would enable stable use in realistic conditions. Goal of this paper is to propose a new approach for human gait recognition that would result in robust and affordable biometric system. Initially, a comprehensive review of research area and existing research was done that served as a base for the proposition of new approach. This new approach is based on the idea that human gait sequence can be represented as a single 2D still image. Using images would open the possibility of applying Content Based Image Retrieval (CBIR) techniques for the purpose of final recognition. This procedure shifts the problem from spatio-temporal towards spatial domain, specifically the space of 2D still image that is well researched and familiar. For acquisition purposes approach relies on new human-computer interaction technology, Microsoft Kinect. As proof of concept, a modular laboratory prototype was developed as well as environment for testing and evaluation. Foundation of the proposed approach was tested through a series of experiments. Empirical evaluation was performed in such a manner to investigate the influence of different contributing factors to system performance. Based on retrieved results a conclusion is reached that the proposed approach is highly robust and achieves high recognition rates.

**Keywords:** Human gait recognition, Biometry, CBIR, Microsoft Kinect

**Scientific area:** Organizational sciences

**Specific scientific area:** Information technology

UDK 57.087.1:004

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. BIOMETRIJA, BIOMETRIJSKI SISTEMI I BIOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE</b>	<b>3</b>
2.1 NAČIN RADA I EVALUACIJA BIOMETRIJSKIH SISTEMA	6
2.1.1 UPIS	8
2.1.2 VERIFIKACIJA	9
2.1.3 IDENTIFIKACIJA	9
2.2 BIOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE	9
<b>3. BIOMETRIJA LJUDSKOG HODA</b>	<b>16</b>
3.1 PREPOZNAVANJE NA OSNOVU HODA	18
3.2 PRISTUPI SA <i>A PRIORI</i> MODELOM (MODELNI PRISTUPI)	23
3.3 PRISTUPI BEZ <i>A PRIORI</i> MODELA (BEZMODELNI PRISTUPI)	32
3.4 UTICAJ UGLA SNIMANJA NA POSTOJEĆE PRISTUPE	42
3.5 UTICAJ BRZINE I TEMPA HODA NA POSTOJEĆE PRISTUPE	47
3.6 UTICAJ ODEĆE I ASESORA NA POSTOJEĆE PRISTUPE	49
3.7 UTICAJ LUMINGA I OKLUZIJE NA POSTOJEĆE PRISTUPE	52
3.8 PREPOZNAVANJU NA OSNOVU HODA PRETRAGOM SLIKA NA OSNOVU SADRŽAJA (CBIR)	55
3.9 SUMARNA KRITIKA POSTOJEĆIH PRISTUPA	56
<b>4. PREDLOG REŠENJA ZA PREPOZNAVANJE OSOBA NA OSNOVU HODA</b>	<b>59</b>
4.1 POSTUPAK PREDLOŽENOG REŠENJA I POLAZNE HIPOTEZE	60
4.2 ARHITEKTURA PREDLOŽENOG REŠENJA	62
<b>5. AKVIZICIJA PODATAKA O HODU</b>	<b>65</b>
5.1 MICROSOFT KINECT – NOVI UREĐAJ ZA INTERAKCIJU ČOVEK-RAČUNAR	66
<b>6. BAZA BIOMETRIJSKIH PODATAKA</b>	<b>70</b>
6.1 MODEL BAZE PODATAKA	70
<b>7. TRANSFORMACIJA PODATAKA IZ PROSTORNO-VREMENSKOG U DOMEN NEPOMIČNE 2D SLIKE</b>	<b>73</b>
7.1 GENERIČKI MODEL TRANSFORMACIJE	74
7.2 MODEL TRANSFORMACIJE ZAVISAN OD FORMATA NEPOMIČNE SLIKE	75
<b>8. PREPOZNAVANJE PRIMENOM CBIR TEHNIKA</b>	<b>77</b>
8.1 ODABIR CBIR TEHNIKA ZA PRIMENU U NOVOM POSTUPKU	78
<b>9. KRITIČKI OSVRT NA PREDLOŽENO REŠENJE</b>	<b>80</b>
<b>10. IMPLEMENTACIJA LABORATORIJSKOG PROTOTIPA</b>	<b>82</b>
10.1 APLIKATIVNO REŠENJE ZA POTREBE AKVIZICIJE	82
10.2 APLIKATIVNO REŠENJE BAZE BIOMETRIJSKIH PODATAKA	84

<b>10.3 APLIKATIVNO REŠENJE ZA POTREBE TRANSFORMACIJE</b>	<b>85</b>
<b>10.4 APLIKATIVNO REŠENJE ZA PRIMENU CBIR TEHNIKA I EVALUACIJU USPEŠNOSTI POSTUPKA</b>	<b>87</b>
<b><u>11. EMPIRIJSKA EVALUACIJA PREDLOŽENOG REŠENJA</u></b>	<b><u>90</u></b>
<b>11.1 UTICAJ VREMENSKE DUŽINE UZORKA SEKVENCE HODA NA PRECIZNOST U PREPOZNAVANJU</b>	<b>91</b>
<b>11.2 UTICAJ RAZLIČITIH CBIR TEHNIKA NA PRECIZNOST U PREPOZNAVANJU</b>	<b>94</b>
<b>11.3 UTICAJ RAZLIČITIH DELOVA Ljudskog TELA NA PRECIZNOST U PREPOZNAVANJU</b>	<b>105</b>
<b>11.4 UTICAJ RAZLIČITIH FORMATA NEPOMIČNIH 2D SLIKA NA PRECIZNOST U PREPOZNAVANJU</b>	<b>116</b>
<b><u>12. ZAKLJUČAK</u></b>	<b><u>120</u></b>
<b>12.1 OSTVARENI DOPRINOS</b>	<b>120</b>
<b>12.2 MOGUĆNOSTI PRIMENE</b>	<b>121</b>
<b>12.3 MOGUĆI DALJI PRAVCI ISTRAŽIVANJA</b>	<b>122</b>
<b><u>LITERATURA</u></b>	<b><u>124</u></b>

### 1. Uvod

Prošlo je nešto više od pet decenija od trenutka kada je prvi put primenjena tehnologija integrisanih kola (Texas Instruments Incorporated, 2008). Relativno kratak period u razvoju jedne civilizacije pokazao se kao značajan period tehnološke revolucije. Računarska tehnologija postala je sastavni i neizbežni deo funkcionisanja modernog društva. Računari su postali važan deo našeg svakodnevnog funkcionisanja, počev od redovnih radnih aktivnosti pa sve do trenutaka slobodnog vremena koje sve radije provodimo uz neki pojavni oblik računara.

Stalna interakcija putem računarskih tehnologija dovodi u pitanje zaštitu privatnosti korisnika. Sve više usluga se pruža digitalno i na taj način se dobija mogućnost da se prati ponašanje korisnika. Zabrinutost zajednice za očuvanjem privatnosti sve je veća i značajni su naporu različitih društvenih grupa da se spreči prodiranje tehnologije u najrazličitije sfere života.

Obzirom na postojeći trend brige o privatnosti korisnika računarskih tehnologija polako se zaboravljaju sve dobre strane koje tehnologija sa sobom donosi. Jedno od polja gde se trenutno vodi velika polemika na tom planu su biometrijske tehnologije. Biometrijske tehnologije imaju za svrhu da omoguće računarskim sistemima da ostvare sposobnost koju ljudi već poseduju, a to je mogućnost prepoznavanja osoba na osnovu različitih fizioloških i ponašajnih parametara. Porast u popularnosti biometrijskih tehnologija izaziva oprečna mišljenja o njenoj ispravnosti i opravdanosti. Evidentna je briga da se korišćenjem takvih tehnologija ugrožava privatnost i sloboda kretanja. Ove tvrdnje su u izvesnoj meri zasnovane ali se mora napomenuti da biometrijske tehnologije pružaju veoma mnogo modernoj civilizaciji. Samo korišćenje biometrijskih tehnologija obezbeđuje viši stepen sigurnosti u zaštiti informacija. Takođe bezbednosne strukture uz pomoć biometrijskih tehnologija mogu značajno uticati na smanjenje stope kriminala i podizanje kvaliteta života. Čak i pojedinci imaju značajnu korist od biometrijskih tehnologija jer omogućavaju lakšu migraciju, smanjenje birokratije i jednostavniji odnos sa organima vlasti.

Posebno interesantna grana biometrije bavi se problemom prepoznavanja ljudi na osnovu hoda. Poslednjih nekoliko godina došlo je do značajnog pada cene tehnologija prismoire što je u velikoj meri pokrenulo interesovanje akademske zajednice za ovu oblast. Trenutno je u pitanju relativno mlada oblast, u kojoj postoji puno prostora za nove naučne doprinose. Praktična primena biometrijskih tehnologija kada je ljudski hod u pitanju i dalje nije dostigla zadovoljavajuć nivo.

Osnovni cilj ovog rada je da se ispita prostor za predlog novog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda a potom i da se odgovarajućom metodologijom takav postupak razvije i evaluira. Novi postupak se zasniva na ideji da se sekvenca ljudskog hoda može na odgovarajući način predstaviti kao nepomična 2D slika. Potom bi se na tako formiranoj slici mogle primeniti tehnike za pretragu slika na osnovu sadržaja (eng. Content Based Image Retrieval CBIR) u svrhu prepoznavanja. Osnovna ideja koja će se testirati u ovom radu je da čovek svojim hodom kreira jedinstven "potpis" koji se može predstaviti kao nepomična 2D slika.

U narednom poglavlju dat je opis biometrije kao nauke, biometrijskih sistema i biometrijskih karakteritika. Posebna pažnja posvećena je načinu rada biometrijskih sistema i koje se tehnike koriste za

potrebe evaluacije. Biometrijske karakteristike su klasifikovane i dat je opis istaknutih biometrijskih modaliteta kao i diskusija o najpopularnijim nadolazećim modalitetima.

Treće poglavlje bavi se klasifikacijom i pregledom postojećih pristupa u oblasti biometrije ljudskog hoda. Klasifikacija je urađena prema faktorima uticaja na postupak prepoznavanja. Posebna pažnja posvećena je grupama bezmodelnih i modelnih pristupa. Ispitan je stepen upotrebe tehnika pretrage slika na osnovu sadržaja u postojećim pristupima. Konačno data je kritička analiza istaknutijih pristupa.

U četvrtom poglavlju dat je predlog novog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda, koje je rezultat analize oblasti i kritičkog osvrta na postojeća rešenja. Definisani su osnovni koraci postupka, definisane su polazne hipoteze i predložena je arhitektura biometrijskog sistema.

Peto poglavlje je posvećeno postupku akvizicije sa detaljnim pregledom karakteristika predložene akvizicione tehnologije.

U šestom poglavlju predložen je postupak izrade multimedijalne biometrijske baze podataka i definisan je model podataka koji će služiti kao strukturna osnova sistema.

U sedmom poglavlju razvijen je matematički model transformacije koji omogućuje akumulaciju podataka iz sekvence ljudskog hoda u nepomičnu 2D sliku. Za potrebe sistema razvijeni su generički model za transformaciju kao i specifični model za transformaciju u standardne digitalne formate slika.

Osmo poglavlje bavi se pregledom postojećih tehnika za pretragu slika na osnovu sadržaja i odabirom kandidata za primenu u predloženom postupku za prepoznavanje osoba na osnovu hoda.

Deveto poglavlje pruže kritički osvrt na naučnu zasnovanost predloženog postupka. Takođe je data uporedna analiza sa istaknutim postojećim postupcima na osnovu kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja.

Poglavlje deset posvećeno je razvoju laboratorijskog prototipa koji prema predloženoj arhitekturi sistema obezbeđuje primenu predloženog postupka. Dat je detaljan pregled razvoja aplikativnog rešenja za potrebe akvizicije, baze biometrijskih podataka, transformacije u 2D nepomičnu sliku i za primenu tehnika za pretragu slika na osnovu sadržaja.

U jedanaestom poglavlju dat je prikaz urađene empirijske evaluacije predloženog rešenja. Eksperimentalnim postupkom ispitan je uticaj vremeske dužine uzorka sekvence hoda na krajnju preciznost u prepoznavanju. Nakon toga skupom eksperimenata vršena je selekcija najuspešnijih tehnika za pretragu slika na osnovu sadržaja. Specifična priroda ljudskog hoda bila je motiv da se empirijski ispita uticaj pojedinih delova ljudskog tela na krajnje performanse u prepoznavanju. Konačno, ispitan je uticaj različitih digitalnih formata nepomičnih 2D slika na preciznost predloženog postupka.

Poslednje, dvanaesto poglavlje iznosi zaključke i diskusiju o postignutim rezultatima. Posebna pažnja posvećena je ostvarenim naučnim i stručnim doprinosima rada. Predložene su različite praktične primene biometrijskog sistema i definisani su budući pravci istraživanja i razvoja.

## 2. Biometrija, biometrijski sistemi i biometrijske karakteristike

Tehnološki napredak u nekoliko prethodnih decenija u velikoj meri je uticao na komunikaciju i transport. Moderni računarski sistemi omogućuju razmenu velike količine informacija, velikom brzinom bez obzira na udaljenost. Ljudi su u mogućnosti da razgovaraju putem video poziva, da udaljeno pristupaju različitim resursima, razmenjuju različite vrste sadržaja počev od dokumenata pa sve do složenih multimedijalnih aplikacija. Osim komunikacije, došlo je do razvoja novih motornih vozila, brzih železnica, kao i do značajnog napretka u avio industriji. Samo u prošloj deceniji broj avio letova je rastao 7% godišnje (Kroo, 2010). Tokom prethodne godine avio kompanije širom sveta prevezle su preko 1.5 milijardi ljudi. U gusto naseljenim oblastima, kao što je Evropa, ljudi po nekoliko puta godišnje prelaze državnu granicu. Dolazi do konstantnih migracija u potrazi za boljim zaposlenjem, poslovnim prilikama, edukacijom kao i radi turizma.

Uprkos činjenici da ljudi moraju imati slobodu u komunikaciji kao i kretanju, takva politika slobodnog kretanja i razmene informacija nosi i značajne poteškoće i sigurnosne rizike. Pre svega kada osoba promeni lokaciju na kojoj živi proces prilagođavanja novoj sredini može biti dugotrajan. Osoba mora da ustanovi veze sa novom civilnom upravom, administracijom, edukativnom institucijom... Tu na scenu stupa važnost identiteta određene osobe. Na primer, ukoliko određena osoba želi da nastavi obrazovanje u drugoj zemlji, obrazovna institucija mora da potvrdi identitet te osobe i da bude svesna mnogih informacija koje je prate, kao što je prethodni nivo obrazovanja. Problem koji se ovde javlja je problem upravljanja identitetom (Williamson, 2009). Identitet se može posmatrati iz različitih uglova. Iz ugla filozofije, identitet predstavlja jedinstvenu psihološku sliku individue i određen je različitošću između osoba. Uz pomoć identiteta se razlikujemo od drugih ljudi i identitet nas čini jedinstvenim. U informacionom svetu identitet pre svega označava skup podataka koji se vezuje za određenu osobu u konkretnom sistemu za upravljanje identitetom (Kent & Millet, 2003). Ograničenje pristupa određenim resursima nekog sistema se pre svega zasniva na identitetu određene osobe. Najvažniji korak u procesu odobravanja pristupa određenom sistemu nekoj osobi je utvrđivanje identiteta te osobe i povezivanje identiteta sa skupom prava u sistemu.

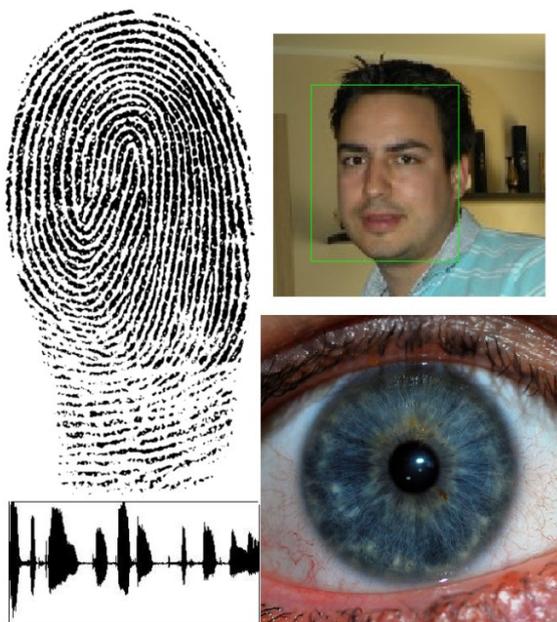
Proces utvrđivanja identiteta je vrlo osetljivo pitanje. Kroz istoriju razvoja informacionih sistema korišćeni su različiti principi utvrđivanja prava pristupa. Postupak se inicijalno sastojao od toga da korisnik mora da zna određenu tajnu frazu da bi pristupio sistemu. Tajna fraza (eng. password) je ili generisana od strane sistema ili je samom korisniku omogućeno da je izabere. Takav pristup je i dan danas najčešći način za autorizaciju u svetu informacionih tehnologija. Obzirom da sistemi uglavnom imaju više od jednog korisnika potrebno je da korisnik prvo izrazi svoj identitet a da ga potom potvrdi tajnom frazom. Ovakav pristup poznat je kao kombinacija username + password. Problem ovakvog pristupa je najčešće takozvani „ljudski faktor“. Ukoliko se korisniku prepusti opcija da sam izabere svoju tajnu frazu, vrlo često se dešava da izabrana fraza bude nebezbedna i ranjiva na različite oblike napada. Najčešće korisnici za formiranje tajne fraze koriste neke lične informacije do kojih se lako dolazi, kao što su datum rođenja, ili naprotiv koriste često popularne fraze. Tome svedoči činjenica da je do nedavno najčešća tajna fraza u informacionim sistemima postavljana od strane korisnika bila upravo „password“. Intenzivne kampanje da se korisnici edukuju o važnosti kreiranja složenijih tajnih fraza kao i preporuke da se koriste i brojevi i specijalni karakteri pored slova urodili su plodom te je trenutno najpopularnija

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

---

tajna fraza u informacionim sistemima „password1“ (Schneier, 2006). Ukoliko je sistem zadužen da generiše tajnu frazu, one su u tom slučaju mnogo sigurnije ali samim tim ih korisnici teško pamte pa su skloni da je negde zapišu i time učine dostupnom osobama bez prava pristupa. Autentikacija putem tajnih fraza zasniva se na nečemu što osoba zna. Napredak u oblasti zaštite informacionih sistema napravljen je uključivanjem drugog koraka u utvrđivanju identiteta koji se zasniva na nečemu što osoba poseduje. Najčešće se pored klasičnog sistema sa tajnom frazom dodaje i neki oblik tehnologije koji se da u posed korisniku sistema. Prilikom autorizacije korisnik pruža tu tehnologiju na uvid sistemu. Tehnologija koja se dominantno koristi su smart kartice ali pored toga postoje i tokeni sa vremenskim kodovima, cd i usb memorijski uređaji sa sertifikatom i sl. Najsloženiji oblik su smart kartice koje imaju poseban čip koji se aktivira uz pomoć napona priključnog uređaja i direktno na čipu se izvršava neki oblik sistemskog softvera koji potvrđuje autentičnost kartice. Uprkos činjenici da se ovakvim postupkom stepen sigurnosti podiže na viši nivo, i on ima svoje ranjivosti. Svaki uređaj u posedu korisnika može biti otuđen ili dupliran i time se ugroziti sigurnosna procedura. Iako ti sistemi uglavnom imaju svoju sopstvenu zaštitu, jednom kada oni dođu u pogrešne ruke, mogu se primeniti razne tehnike za razbijanje ugrađene zaštite.

Poslednji stepen zaštite poštuje paradigmu onoga što jesi i podrazumeva oslanjanje na karakteristike osobe u utvrđivanju identiteta. Pretpostavka uspešnosti takvog postupka je da je nemoguće ili je u najmanju ruku teško otuđiti karakteristike osobe koje ga čine prepoznatljivim ili ih eventualno replicirati. U ovu svrhu se koristi biometrija. Biometrija predstavlja nauku o utvrđivanju identiteta zasnovanom na fizičkim ili bihejviorističkim (ponašajnim) karakteristikama individue (Slika 1) kao što su lice, otisak prsta, glas ili dužica oka (Jain, Flynn, & Ross, 2010).



Slika 1 Biometrijski modaliteti – otisak prsta, lice, glas i dužica oka

Na osnovu toga, biometrijski sistemi predstavljaju poseban podskup informacionih sistema koji koriste fizičke ili bihejviorističke karakteristike, uključujući otisak prsta, geometriju šake, dužicu, zenicu, potpis, hod, otisak šake, glas, uho, vene ruke, miris ili DNK informacije da bi utvrdili identitet osobe (Jain, Bolle, & Pankanti, 1999; Wayman, Jain, Maltoni, & Maio, 2005). U literaturi iz oblasti biometrije te karakteristike su navođene kao osobine, indikatori, identifikatori ili modaliteti.

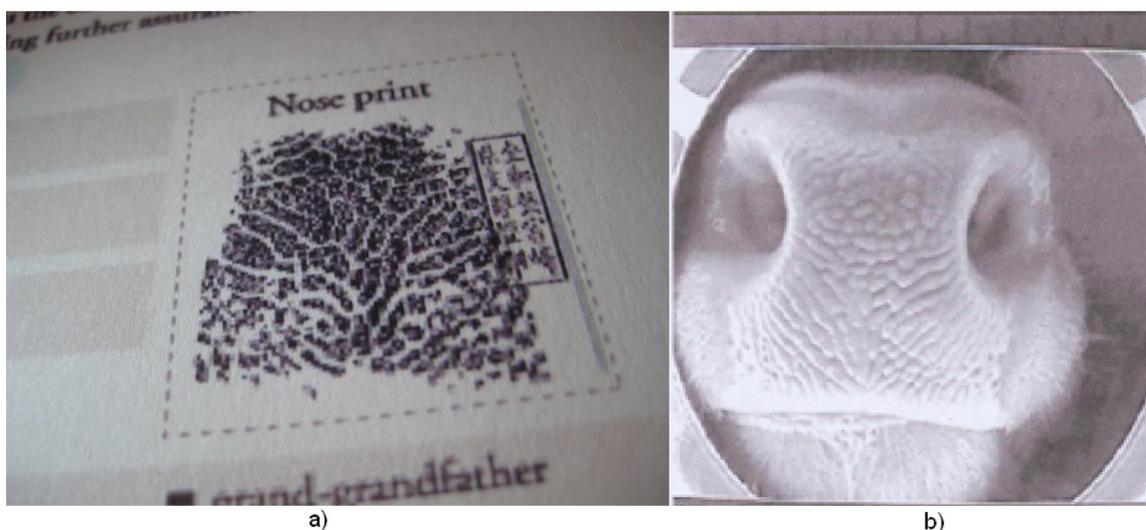
Prepoznavanje osoba zasnovano na biometrijskim karakteristikama u velikoj meri oponaša način na koji se ljudi međusobno raspoznaju. Takav vid identifikacije je svojstven čoveku. Naše poznanike prepoznamo na osnovu skupa biometrijskih karakteristika kao što su izgled lica, oblik figure ali i prepoznamo ih na daljinu na osnovu načina hoda ili putem glasa ukoliko je u pitanju komunikacija telefonom. Čovek je vrlo uspešan u identifikaciji i upravo takva uspešnost se pokušava postići u računarskim sistemima.

Biometrijski sistemi u modernom društvu mogu naći široku primenu. Sigurnosni biometrijski sistemi se mogu koristiti pre svega da bi omogućili autorizovan pristup određenim oblastima. Ovakva situacija je česta na graničnim prelazima ili u aerodromskim terminalima. U takvim slučajevima potrebno je potvrditi nečiji identitet koji se predstavlja uz pomoć putne isprave. Ali to nije jedina primena. Sve je češća primena takvih sistema u komercijalne svrhe od strane kompanija. Moderno informatičko društvo zahteva da se pristup osetljivim informacijama štiti, tako što će samo ovlašćena lica moći da se autorizuju. Neretka je pojava da se u kompanijama određenim delovima upravne zgrade pristupa uz pomoć čitača otiska prsta postavljenim na sigurnosnim vratima. Alternativno, biometrijska očitavanja se u kompanijama mogu koristiti za praćenje redovnosti dolazaka zaposlenih na radno mesto i njihovih radnih navika. Ukoliko se beleži vreme dolaska radnika na posao, uz pomoć čitača otiska prsta, kao i odlazak na pauze, može se meriti produktivnost i uticati na radnu disciplinu zaposlenih.

Može se tvrditi da je najveća rasprostranjenost biometrijskih sistema trenutno u vojnom sektoru. Obzirom na osetljivost delatnosti jako je važno da postoji sistem privilegija za pristup osetljivim oblastima koji bi se kontrolisao pre svega na osnovu biometrijskih karakteristika. Obzirom da vodeće svetske ekonomije izdvajaju visoka sredstva iz budžeta za vojnu industriju, nije neobično da je trenutno najveći napredak u biometrijskoj tehnologiji postignut upravo u vojnoj industriji. Nažalost, obzirom da vojna industrija većinu pronalazaka ne otvara za javno korišćenje, trenutno akademija i komercijalni sektor u izvesnoj meri zaostaju u istraživanju te oblasti. Važno je napomenuti da je čak akademija tu verovatno na začelju obzirom na najniža sredstva ulaganja.

Biometrijski sistemi se ne koriste samo u zaštiti i kontroli pristupa različitim resursima. Jako važan segment korišćenja je vojna i civilna bezbednost. Uz pomoć raznih sistema prismothe biometrijski sistemi mogu pratiti kretanje i vršiti identifikaciju u slučajevima kada dolazi do visokih bezbednosnih rizika. Takođe, policijski sistemi koriste biometriju za pronalaženje i u identifikaciji krivičnih počinitelaca.

Biometrija danas pronalazi primenu u sve širem opsegu delatnosti, upravo zahvaljujući brojnim koristima koje nudi. Jedan od primera se može videti u aktivnostima Japanskih odgajivača čuvene rase Wagyu goveda, za koju se vrlo revnosno prati rodovnik po više generacija u nazad. Kao potvrdu identiteta svakog pojedinačnog goveda koristi se otisak njuške (Minagawa, Fujimura, Ichiyanagi, & Tanaka, 2002) za koji je potvrđeno da ima slične osobine kao otisak prsta kod čoveka (Slika 2).



Slika 2 Otisak njuške Wagyu goveda na autentičnom rodovniku propisanom od Japanske vlade a) i postupak akvizicije otiska optičkim uređajem b)

### 2.1 Način rada i evaluacija biometrijskih sistema

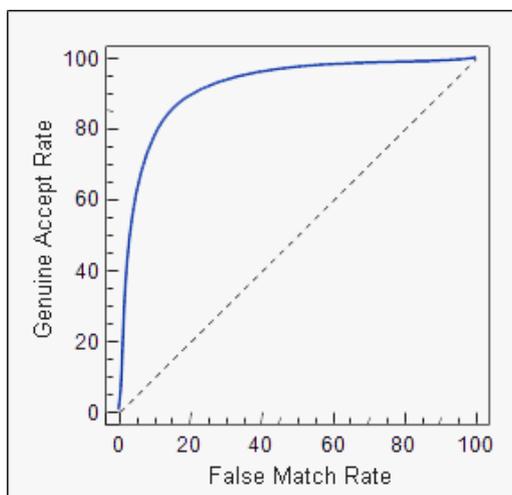
Način funkcionisanja biometrijskih sistema se značajno razlikuje u odnosu na rad sa tajnim frazama. Svaka tajna fraza se vrlo lako uporedi sa frazom koja je uskladištena u sistem i ukoliko se u potpunosti poklope odobrava se pristup. To znači da je poklapanje uvek 100%, odnosno da je nophodno da se svi karakteri date tajne fraze poklope sa onom pohranjenom u sistemu. Upravo zbog toga korisnik ili ima privilegije pristupa ili ih nema, treća opcija ne postoji. Biometrijski sistemi sa druge strane koriste zakon verovatnoće prilikom autorizacije i samim tim se nazivaju sistemima zavisnim od verovatnoće. Ovakvi sistemi nisu u mogućnosti da imaju 100% poklapanje između uzetog biometrijskog uzorka i onog koji se već nalazi pohranjen u sistemu. Razlog tome je što je prilikom akvizicije uzorka nemoguće napraviti dva puta identične uslove. Jako puno faktora utiče na to. Najčešće su u pitanju razlike između senzora ili nesavršenosti akvizicionih uređaja. Takođe jak uticaj imaju uslovi u kojim se vrši akvizicija, da li je osvetljenje dobro, da li je ugao snimanja adekvatan, da li korisnik nosi neki maskirajući predmet. Osim toga obzirom da biometrijske karakteristike u mnogo čemu zavise od fizionomije osobe, svi faktori koji utiču na fizionomiju utiču i na kvalitet uzorka. Ukoliko prođe izvesno vreme između dva snimka, osoba može da promeni boju tena, da stekne neke bore, ili doživi neku povredu koja će uticati na izmenu biometrijskih karakteristika (Slika 3).



Slika 3 Otisak prsta pre povrede a) i nakon povrede sa vidljivim ožiljkom b)

Upravo iz tog razloga biometrijski sistemi nakon poređenja dva biometrijska uzorka mogu samo doneti odluku o procentu poklapanja, zavisno od implementiranog algoritma poređenja. Samim tim biometrijski sistemi nakon dobijanja rezultata poklapanja moraju doneti odluku da li je dobijena verovatnoća poklapanja prihvatljiva da bi se korisniku dozvolio pristup. Svaki biometrijski sistem ima takozvanu granicu ili prag prihvatanja (eng. threshold) koja određuje graničnu verovatnoću za prihvatanje rezultata poklapanja. U zavisnosti od potrebe biometrijskog sistema taj prag se može podešavati. Da bi se razumela uloga praga prihvatanja moramo pre svega objasniti na koji način se u biometrijskim sistemima mogu vršiti poređenja. Pre svega mogu se uporediti dva biometrijska uzorka koja pripadaju istoj osobi. Rezultat takvog poređenja se naziva rezultat istinskog poređenja (eng. genuine matching score). Ukoliko se porede biometrijski uzorci dve različite osobe takav rezultat se naziva rezultat poređenja uljeza (eng. impostor matching score). Upravo tu stupa na scenu prag prihvatanja. Ukoliko prilikom poređenja dva biometrijska uzorka rezultat prevaziđe postavljeni prag, utvrđuje se da postoji poklapanje uzoraka. Ukoliko rezultat poređenja bude ispod zadatog praga proglašava se da uzorci pripadaju različitim osobama. Na ovaj način se proizvode dve vrste grešaka. Prva vrsta je lažno poklapanje (eng. false match), kada se uzorak uljeza prihvati kao legitiman. Druga vrsta je lažno odbijanje (eng. false nonmatch), kada se legitimni uzorak odbije kao da pripada uljezu (Li, 2009). Jedna od ključnih pitanja u svakom biometrijskom sistemu je na koju vrednost postaviti prag prihvatanja. Ovo pre svega zavisi of potreba sistema. Ukoliko su u pitanju sistemi koji imaju izuzetno poverljive podatke, gde se pristup sme omogućiti isključivo ovlašćenim licima, u takvim sistemima se prag prihvatanja postavlja visoko i pravi se veća greška lažnog odbijanja ali se smanjuje mogućnost da neovlašćeno lice pristupi podacima. Ovo je karakteristično za vojne i policijske sisteme. Ukoliko je tajnost podataka u manjoj važnosti u odnosu na funkcionalnost sistema prag se postavlja niže i pravi se veća greška lažnog prihvatanja. Ovo je karakteristično za sisteme gde se prati dolaznost ili vodi statistika prisustva, gde se izvrši veliki broj poređenja. Prag prolaznosti se može podešavati i automatski gde se za glavni faktor odluke uzimaju krajnje performanse sistema za poređenje. Takođe on se može pomerati i dinamički zavisno od samog funkcionisanja sistema.

Performanse biometrijskog sistema najbolje se sagledavaju kroz takozvanu ROC (Receiver Operating Characteristic) krivu (Vacca, 2007). Ona se prikazuje kao odnos ispravnog prihvatanja i lažnog prihvatanja za prag koji se dinamički pomera (Slika 4).



Slika 4 Primer Receiver Operating Characteristics krive

Drugi način za evaluaciju performansi biometrijskog sistema je korišćenje stope identifikacije. Stopa identifikacije predstavlja procenat uspešnih identifikovanja prethodno upisanih korisnika u biometrijski sistem (Ross, Nandakumar, & Jain, 2011). Stopa identifikacije se dobija vrlo jednostavno. Međusobno se porede biometrijski uzorci osoba koje se već nalaze upisane u sistem i potom se pokušava identifikacija. Meri se broj uspešnih identifikovanja naspram broja pokušaja i time se dobija stopa identifikacije. Ona se kreće od 0 do 1 ili ukoliko se izražava u procentima od 0% do 100%. Stopa identifikacije je dobar pokazatelj preciznosti sistema ali može se reći da je bolji pokazatelj preciznosti sistema ROC kriva pošto uzima u obzir i položaj praga prolaznosti i stopu pogrešnih identifikacija. Još jedan faktor koji utiče na stopu identifikacije je količina uzoraka po osobi u bazi. Uglavnom je lakše postići višu stopu identifikacije ukoliko ima više uzoraka po osobi u bazi jer se mogu uzeti i prosečne vrednosti skorova i primeniti razne tehnike usrednjavanja i povlačenja najpovoljnijeg skora. Takođe algoritam odlučivanja znatno utiče na stopu za razliku od ROC krive koja je na to indiferentna.

Biometrijski sistemi mogu da rade u tri operativna moda. To su upis, verifikacija i identifikacija (Jain, Flynn, & Ross, 2010).

### 2.1.1 Upis

Mod upisa podrazumeva unos novog subjekta (eng. enrollment) u biometrijsku bazu podataka putem akvizicije njegovih biometrijskih podataka. Ovaj proces se odvija ukoliko subjekt nije prethodno bio upisan u bazu. Predstavlja ključan proces kome se u literaturi posvećuje puno pažnje i koji je neophodan za kasniji rad u modu verifikacije ili identifikacije. Proces akvizicije biometrijskih podataka predstavlja složen proces od koga veoma zavisi budući uspeh biometrijskog sistema. Izuzetno su važne odluke o izboru senzora za snimanje, načina organizacije podataka, formata u kome se podaci čuvaju kao i uslova u kome se uzorak uzima. Kasnije performanse sistema mogu puno zavisiti od formata u kom se podaci

čuvaju jer određeni formati pružaju visok kvalitet podataka ali ujedno produžavaju potrebno vreme procesiranja i utiču nepovoljno na izvođenje u realnom vremenu. Dobro projektovanje procesa upisa zahteva i izvesno težinsko ocenjivanje pojedinih faktora koji će kasnije uticati na performanse sistema.

### 2.1.2 Verifikacija

Mod verifikacije je verovatno najčešće korišćeni mod u biometrijskim sistemima. U izvesnoj meri se može porediti sa sistemom zasnovanom na korisničkom imenu i tajnoj frazi. U tom sistemu je neophodno da se korisnik prvo izjasni o svom identitetu (davanje korisničkog imena) pa ga potom potvrđuje (korišćenjem tajne fraze). Za razliku od tog sistema u ovom slučaju se identitet potvrđuje davanjem biometrijskog uzorka i poređenjem sa onim koji je prethodno upisan u bazu. Kao što se može videti poređenje se ovde vrši 1 na 1 što nije preterano zahtevno za procesorsku obradu i rezultat se može relativno brzo dobiti u vidu potvrdnog ili odričnog odgovora. Takav operativni mod se najčešće koristi za otključavanje vrata i pristup zaštićenim oblastima ili za pristup podacima u računarskim sistemima. Obzirom da unos korisničkog imena može da bude nepraktičan u situacijama kada se prilazi vratima često se koriste pomoćni načini za izjašnjavanje subjekta o identitetu pre poređenja. Ti načini najčešće uključuju izražavanje glasovnim komandama ili korišćenje RFID (Radio Frequency Identification) kartica.

### 2.1.3 Identifikacija

Identifikacioni operativni mod je performansno najzahtevniji. Od prethodnog moda ga razlikuje to što ne postoji izjava o identitetu od strane subjekta. Proces se sastoji od toga da se za uzeti biometrijski uzorak pretraži celokupna baza biometrijskih uzoraka i pronađe uzorak sa najvišim poklapanjem. Za osobu čiji se uzorak koristi u pretraživanju se vezuje identitet vezan za uzorak sa najvišim poklapanjem u bazi. Time se smatra da je osoba identifikovana. Poređenje se u ovom slučaju odvija 1 na N gde N predstavlja broj uzoraka u bazi. Ovakvo pretraživanje je veoma zahtevno za procesor i zahteva primenu različitih optimizacionih tehnika za funkcionisanje u realnom vremenu. Od veličine baze direktno zavisi brzina odziva i pronalaženje adekvatnog identiteta. Upravo zahvaljujući zahtevnosti ovakvog operativnog moda velika istraživačka pažnja se posvećuje ovoj oblasti. Ovakav operativni mod se najčešće koristi u forenzičkim ispitivanjima, kad je potrebno utvrditi identitet osobe ili počinioca zločina na osnovu tragova a vrlo često se koristi u sistemima prismotre gde ne postoji mogućnost da se subjekt izjasni o identitetu.

## 2.2 Biometrijske karakteristike

Osnovna odlika svakog biometrijskog sistema jeste upravo koje biometrijske karakteristike koristi za svoje funkcionisanje. Jedan od sinonima koji se često koristi za biometrijske karakteristike je biometrijski modalitet. Odabir koju biometrijsku karakteristiku ili više njih će biometrijski sistem koristiti zavisi od mnogo faktora. Pre svega važno je razmišljati o stepenu zaštite koji se želi postići, potom primenljivost takve karakteristike u potrebnim okolnostima ali tu su i cena koštanja i dostupnost akvizicionih uređaja. Svakom projektantu biometrijskih sistema je neophodno da ima u vidu specifičnosti pojedinačnih biometrijskih karakteristika kao i da ima odgovarajuće metode evaluacije istih pri odabiru odgovarajuće

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

---

za svoj sistem. Definirano je sedam faktora biometrijskih karakteristika (Jain, Bolle, & Pankanti, 1999) koji se koriste prilikom određivanja njihovih pogodnosti za određeni biometrijski sistem:

1. *Univerzalnost* – svaki korisnik koji pokušava da pristupi biometrijskom sistemu mora posedovati biometrijsku karakteristiku koju taj sistem koristi. Svaka karakteristika koju ne poseduje izvesan deo populacije koji može doći u priliku da koristi sistem nije adekvatna.
2. *Jedinstvenost* – biometrijska karakteristika mora imati tu osobinu da se ne ponavlja u populaciji, da nije moguće pronaći parove osoba koji imaju identične biometrijske karakteristike.
3. *Trajnost* – biometrijska karakteristika mora biti otporna i invarijantna na prolazak vremena. Jako je važno da algoritam koji se koristi ne bude osetljiv na promene koje mogu nastati vremenom, a jedan od najčešćih faktora je starenje osoba.
4. *Merljivost* – svaka karakteristika mora biti merljiva. Moraju postojati uslovi i senzori da se izvrši akvizicija biometrijskog uzorka i da se on digitalizuje u odgovarajući format koji će koristiti algoritam za poređenje. Svaki akvizicioni postupak mora biti takav da ne uzrokuje stres osobe čiji se uzorak uzima. Metode akvizicije moraju poštovati ljudska prava i biti maksimalno neinvanzivne. Upravo zato se najmanje koriste metode koje zahtevaju uzimanje uzorka telesnih tečnosti ili tkiva.
5. *Performanse* – preciznost prepoznavanja i resursi koji su neophodni za postizanje te preciznosti moraju biti u skladu sa mogućnostima aplikacije.
6. *Prihvatljivost* – populacija koja će koristiti biometrijski sistem mora da bude spremna da voljno uđe u postupak akvizicije i rad sa aplikacijom.
7. *Izigravanje* – odnosi se na lakoću kojim se određena biometrijska karakteristika može imitirati ili lažno duplicirati, bilo da je u pitanju mimikrija kad su fizičke karakteristike u pitanju ili imitacija za ponašajne.

Nijedna od biometrijskih karakteristika ili osobina ne može u potpunosti zadovoljiti sve pomenute faktore. Prilikom razvoja biometrijskog sistema moraju se uzeti faktori u obzir i napraviti adekvatna ravnoteža između mogućnosti koje određene karakteristike nude.

Biometrijske karakteristike se mogu podeliti u dve osnovne grupe: **fiziološke** i **ponašajne** (bihejviorističke) (Li, 2009).

**Fiziološka** grupa biometrijskih karakteristika zasniva se pre svega na anatomiji osobe. Fiziološke biometrijske karakteristike najčešće osoba stiče rođenjem. Šaka osobe nastaje tokom fetalnog razvoja u materici, između 6 i 13 nedelje starosti ploda, dok se otisak prsta razvija od 13 do 19 nedelje. Koščana struktura lica se zatvara kod nosne kosti zaključno sa 12-om nedeljom starosti ploda. U drugoj polovini fetalnog razvoja razvijaju se druge karakteristike lica kao što su nosna hrskavica, obrve, kapci i popunjavaju se usne.

I dalje nije u potpunosti otkriveno koji sve faktori utiču na jedinstvenost određenih biometrijskih karakteristika. Još uvek se traži odgovor na pitanje da li je način formiranja karakteristika pre svega genetski uzrokovan ili zavisi od posebnih uslova razvoja individue. Upravo u istraživanju ove oblasti izuzetnu ulogu imaju blizanci i to pre svega jednojajčani. Identični blizanci predstavljaju specifičnu pojavu kad dve ili više osoba mogu imati identičnu DNK strukturu. Uprkos činjenici da kod takvih osoba

razvoj počinje od istog genetskog materijala, tokom razvoja se dešavaju mnoge mutacije koje kasnije mogu izazvati međusobne razlike. Trenutno, najslabiji uticaj faktora genetike i najveća genetska sličnost se nalazi upravo kod identičnih blizanaca. U jednoj studiji (Jain, Prabhakar, & Sharath, 2002) na osnovu poređenja otisaka prstiju 94 identična para blizanaca ustanovljeno je da im otisci prsta nisu identični iako im je sličnost prema određenim algoritmima prepoznavanja veća nego kod osoba koje nisu u srodstvu. Zaključak izveden iz ovog istraživanja je da postoji uticaj genetike na princip formiranja otiska prsta ali da isto tako utiču i izvesne okolnosti razvoja u prenatalnom periodu. Uprkos činjenici da se blizanci razvijaju u istoj materici, širine pupčane vrpce im nisu jednake, te i količina i brzina protoka krvi nije jednaka. Takođe se i drugačije kreću, dodiruju unutrašnji zid materice, dok se i plodova voda drugačije kreće zavisno od kretanja ploda. Svi ovi faktori pored genetske uslovljenosti verovatno utiču na formiranje jedinstvenog otiska prsta.

Fiziološke biometrijske karakteristike su prisutne kao predmet izučavanja od samog nastanka biometrije kao nauke i do sada su izdvojene sledeće fiziološke biometrijske karakteristike (Li, 2009):

- **Lice**, predstavlja karakteristiku čoveka koju i sam čovek najčešće koristi za prepoznavanje. Struktura lica je pre svega definisana oblikom kranijuma čoveka ali i teksturom i pigmentom kože. Postoje razni algoritmi za prepoznavanje zasnovani na licu koji koriste mnoge osobine čovekovog lica, kao što su distance između različitih delova lica, oblik glave kao i oblik pojedinih delova lica. Jako je važno da algoritmi koji koriste lice kao osnovu za prepoznavanje koriste osobine lica koje nisu sklone promenama. Iz tog razloga se ne koristi boja kože, facijalne dlake, mladeži, bradavice i ostale moguće privremene pojave na licu.
- **Uho**, postaje sve popularnije kao sredstvo za identifikaciju. Obzirom da je uho znatno jednostavnije od lica, pre svega oblikom a potom i uniformnijom distribucijom boje, opterećenje biometrijskog sistema može biti znatno manje, te performanse mogu biti bolje. Takođe, može biti vrlo korisno u situacijama kada je osoba slikana iz profila i kada algoritmi za prepoznavanje lica nisu naročito uspešni. Uho je uglavnom u tim situacijama dostupno za akviziciju.
- **Otisak prsta**, je najkorišćenija biometrijska karakteristika u biometrijskim sistemima. Odlikuje ga visok stepen jedinstvenosti a ujedno je postignuta visoka preciznost u algoritmima poređenja. Otisak prsta je suštinski otisak ostavljen od frikcionih grebena ljudskog prsta. Frikcioni greben predstavlja izdignuti sloj epidermisa. Povezani grebeni čine sliku čovekovog prsta. Ovi grebeni služe da pojačaju osećaj dok prst prelazi preko neravnog terena tako što šalju signale nervima u prstu. Poređenje otisaka prstiju se uglavnom zasniva na poređenju oblika frikcionih grebena gde se naročita pažnja posvećuje prekidima ili račvanjima istih. Akvizicija otiska prsta je relativno jednostavan i ne previše invazivan proces. U početku se vršila tako što osoba umoči prst u mastilo i potom ostavi otisak na papiru da bi se danas koristili napredni optički i kapacitivni skeneri koji omogućuju digitalizaciju uzorka.
- **Geometrija šake**, predstavlja odnos pre svega dimenzija ljudske šake. Uzimaju se u obzir širina šake, dužina prstiju, odstojanje od početka šake do završetaka prstiju... Ovu metodu odlikuje veoma laka upotreba obzirom da se otisak šake jednostavno uzima. Može se postići visoka preciznost uz očuvanje dobrih performansi sistema, pre svega zahvaljujući činjenici da se ne koristi previše detalja u procesu upoređivanja uzoraka.

- **Dužica oka**, je trenutno jedan od najpouzdanijih metoda u biometrijskoj identifikaciji i verifikaciji. Postiže visoku preciznost a da pritom metoda nije previše invazivna, obzirom da je moguće zabeležiti sliku dužice oka snimkom sa izvesne udaljenosti. Metoda ne zahteva direktan kontakt sa senzorom, a koristi se relativno jednostavna CCD kamera (eng. Charge Coupled Device) koja omogućuje zapis u vidu elektro signala koji se skladišti uz pomoć niza poluprovodnika.
- **Mrežnjača oka**, predstavlja karakteristiku koja je pokazala izuzetnu preciznost i samim tim je našla najveću primenu u vojnim i bezbednosnim sistemima. Nažalost, odlikuje je visok stepen invazivnosti, jer je potrebno da subjekt nasloni oko na senzor i fokusira oko u određeni položaj da bi se izvršila akvizicija.
- **DNK**, ili dezoksiribonukleinska kiselina je osnovna materija nasleđa - prenošenja osobina sa roditelja na potomke. Smeštena je unutar ćelijskog jezgra u strukturnim jedinicama zvanim hromozomi. Biometrijska identifikacija na osnovu DNK smatra se neprikosnovenom i neoborivom osim u slučaju identičnih blizanaca. Metoda akvizicije je vrlo invazivna i podrazumeva uzimanje biološkog materijala koji sadrži DNK kao što je bris bukalne sluzokože ili uzorak krvi.
- **Nadolazeće tehnologije**, su sve češće u oblasti fizioloških biometrijskih karakteristika. Kao vrlo popularna oblast biometrija konstantno rađa nove ideje za primenu novih biometrijskih karakteristika. Neke od novih uključuju korišćenje čovekovog mirisa, korišćenje tempa pulsa, specifičnog rasporeda vena, pa dotle da se u Japanskoj auto industriji pojavila ideja za korišćenje otiska pozadine radi identifikacije vozača (Blagdon, 2011) i na osnovu toga automatsko postavljanje uslova u vozilu prema vozačevim preferencijama.

**Ponašajna** (bihejvioristička) grupa biometrijskih karakteristika ne oslanja se dominantno na anatomske odlike osobe. Pre svega važno je razumeti šta predstavlja bihejvioristička biometrija. Ona predstavlja verifikaciju i/ili identifikaciju određenih pojedinaca na osnovu načina pružanja informacija biometrijskom sistemu, tačnije na osnovu načina ponašanja učesnika tokom akvizicije (Revett, 2008). Kod fizioloških biometrijskih karakteristika od korisnika se zahteva da neki deo svoje fizionomije da na uvid radi autentifikacije. Ovde se odluka o identitetu donosi tako što se porede obrasci ponašanja osobe koja bi da pristupi sistemu sa onima koji su pohranjeni u bazi. Obzirom da je ljudsko ponašanje veoma složeno i na njega utiču mnogi faktori samim tim ovaj vid biometrije je vrlo komplikovan i ne odlikuje ga visok stepen preciznosti kao kod primene fizioloških karakteristika. Osnovna razlika između psiholoških i bihejviorističkih karakteristika jeste da na bihejviorističke karakteristike dominantan uticaj ima razvoj čoveka. Obrasci ponašanja se razvijaju tokom vremena i to pod uticajem raznih okolnosti. Čovekov govor je na primer posledica kako urođene boje glasa, tako i prolaska kroz period puberteta ali i lokacije življenja obzirom da jezik i lokalni dijalekt utiču na razvoj ljudskog govora. Uprkos tome, evidentno je da značajan uticaj na bihejviorističke karakteristike ima i anatomija čoveka. Jasno je da su na primer pokreti čoveka delom uslovljeni njegovom fizičkom građom. Čovekov potpis je verovatno u izvesnoj meri pod uticajem anatomije ruke. Upravo zbog toga vrlo je teško izolovati uticaj fizioloških karakteristika na ponašajne i samim tim se one vrlo često prihvataju kao njihov sastavni deo.

Bihejviorističke karakteristike imaju veliki potencijal u novoj eri komunikacija. Obzirom da se veliki deo komunikacija odvija na daljinu, putem računarskih mreža i da nije moguć direktan kontakt,

biheviorističke karakteristike se mogu koristiti u potvrdi nečijeg identiteta. Tipičan primer je kada dve osobe komuniciraju tako što koriste sistem zasnovan na tekstualnim porukama (eng. chat). U takvoj situaciji je veoma teško sa sigurnošću potvrditi identitet druge strane u komunikaciji i otvara se mogućnost za niz mogućih zloupotreba baziranih na lažnom predstavljanju. Ovaj problem se u izvesnoj meri može prevazići praćenjem na primer dinamike kucanja ili korišćenja miša ili specifičnog načina konstruisanja rečenica. Bihevioristička biometrija je vrlo popularna istraživačka oblast i do sada se radi na korišćenju sledećih biometrijskih karakteristika za potrebe prepoznavanja (Yampolskiy & Govindaraju, 2009):

- **Glas ili govor**, je predmet velikog interesovanja istraživača i jedan je od od najranijih biheviorističkih modaliteta razmatranih u istraživanjima. Ovaj modalitet odlikuje jednostavan način akvizicije i može se koristiti bez saglasnosti subjekta, putem opreme za prisluškivanje. Često se koristi u istražnim kriminalističkim postupcima kao deo digitalne forenzike. Veliki udeo u ovom modalitetu imaju fiziološke osobine kao što su anatomija glasnih žica i disajnog aparata. Algoritmi za prepoznavanje na osnovu glasa su među najpreciznijima, od algoritama koji koriste biheviorističke karakteristike, i približavaju se preciznosti nekih algoritama zasnovanih na fiziološkim karakteristikama. Posebnu primenu imaju kao deo multimodalnih sistema, najčešće u kombinaciji sa otiskom prsta ili nekim drugim fiziološkim modalitetom. Može biti zavisn od sadržaja ili nezavisn. Oni koji su zavisni od sadržaja postižu veću preciznost ali su invazivniji i zahtevaju od subjekta da ponovi istu frazu tokom upisa kao i kasnije tokom verifikacije ili identifikacije.
- **Hod (eng. Gait)**, je najzučavanija biometrijska karakteristika koja se zasniva na motornim sposobnostima ljudskog tela. Izučava se u mnogim oblastima počev od medicine, preko robotike i računarskih nauka. Posebno interesovanje se javlja baš u medicinskim naukama jer se koristi pre svega u pronalaženju načina da se nadomesti neki invaliditet i takođe u razvoju protetičkih naprava. Samo prepoznavanje na osnovu hoda je relativno mlada disciplina ali vrlo interesantna. Podrazumeva korišćenje video kamere ili nekih senzora koji se mogu postaviti na telo kojima se beleži ljudski hod i potom se dobijeni snimci koriste za kreiranje jedinstvenog obrasca hoda. Uspešnost biometrijskih sistema koji se zasnivaju na hodu je obećavajuća i pruža dobru osnovu za dalja istraživanja i unapređenja.
- **Potpis**, se kroz istoriju dominantno koristio kao potvrda nečijeg identiteta. Čovekov potpis je služio kao potvrda da je saglasan sa sadržajem nekog dokumenta. Čak i danas u pravosudnim sistemima čovekov potpis predstavlja pravosnažnu potvrdu identiteta. Još u doba pre računarskih sistema razvijane su razne tehnike za utvrđivanje verodostojnosti nečijeg potpisa. Zasnivale su se na dinamici pokreta tokom pisanja, karakterističnim prelazima gde osoba podiže olovku od papira, intenzitetu pritiska na papir, obliku slova... Nakon pojave računarskih sistema došlo je do mogućnosti da se potpis sa papira putem skeniranja prebaci u digitalni oblik. Time je došlo do razvoja raznih algoritama za potvrdu autentičnosti potpisa. Uglavnom su se u početku zasnivali na tehnikama koje su prethodno korišćene i samo prenete u mašinski čitljiv oblik. Algoritmi za prepoznavanje potpisa mogu raditi *online* i *offline*. *Online* podrazumevaju prepoznavanje potpisa u realnom vremenu na osnovu otiska koji korisnik daje potpisom na specijalan uređaj kao što je grafička tabla. Ovakvi algoritmi mogu uzeti i dinamičke karakteristike potpisa kao što su brzina povlačenja

linija i jačina pritiska. *Offline* su oni algoritmi koji rade uglavnom sa skeniranim potpisima i nemaju mogućnost provere dinamičkih karakteristika potpisa nego se zasnivaju pre svega na obliku slova, njihovoj visini i drugim karakteristikama.

- **Treptaj**, je modalitet koji polako dobija na interesovanju. Za sada nema mnogo napretka u njegovom korišćenju ali se smatra da ima solidan potencijal. Koristi se tako što korisnik pokuša da treptajem isprati neku spoljnu stimulaciju, kao na primer neku muzičku numeru. Može se meriti vreme između treptaja, dužina pojedinačnog treptaja, broj treptaja u nizu.
- **Dinamički pokreti lica**, podrazumeva aktivnost lica korisnika tokom perioda autorizacije ili prepoznavanja. Bilo je pokušaja u korišćenju specifičnosti nečijeg osmeha. Takođe, izvesna pažnja je posvećena ponašanju pora na ljudskoj koži tokom izvesnih pokreta lica. Osnovna ideja koja stoji iza ovih metoda je da mišići lica prouzrokuju karakteristične pokrete lica koje kamera može zabeležiti i na osnovu toga vršiti poređenje i prepoznavanje.
- **Pokreti usana**, zasniva se na modelnom pristupu, gde se na osnovu dinamike pokreta usana generiše model koji se kasnije koristi u poređenju. Ključni aspekt je segmentacija usana iz video snimka na osnovu koga se radi prepoznavanje. Karakteristike koje se koriste u kreiranju modela su dinamika otvaranja i zatvaranja usta kao i neke fiziološke karakteristike poput širine, debljine ili oblika usana.
- **Korišćenje kreditne kartice**, pre svega se koristi u bankovnim sistemima i to kao poseban deo *monitoring* sistema koji služi za prevenciju *frauda*. Uglavnom se koriste tehnike *data mininga* koje uzimaju u obzir širok spektar faktora počevši od lokacije trošenja, dinamike trošenja, vrste robe ili prodajnog objekta u kome kupuje. Osnovna svrha je da se potvrdi identitet korisnika koji koristi kreditnu karticu i da se spreči zloupotreba.
- **Bihejvioristički modaliteti nastali iz interakcije čovek-računar**, odlikuje ih sve češća pojava novih modaliteta koji nastaju sa razvojem uređaja za upravljanje računarskim sistemima. Neke od najčešće pominjanih su *dinamika korišćenja tastature*, *dinamika korišćenja miša*, *način korišćenja komandnih reči*, *način programiranja*, *specifičnost interakcije sa grafičkim korisničkim interfejsom*, *generisan mrežni saobraćaj* i *mnoge druge*. Razvoj uređaja za interakciju gotovo momentalno povlači ideje za korišćenje tih uređaja kao akvizicionih uređaja za različite tehnike prepoznavanja. Jedan od njih je *stil dodira ekrana* prouzrokovan pojavom nove generacije ekrana osetljivih na dodir.
- **Nadolazeći bihejvioristički modaliteti**, su tesno povezani sa napretkom tehnologije i senzora. Obzirom da motorna vozila stižu opremljena sa sve više senzora jedan od novopredloženih modaliteta je *stil vožnje*. Takođe sve su popularniji modaliteti koji se vezuju za specifičnost korišćenja nekog softvera kao što je *email ponašanje* koje prati niz faktora vezan za korisnikovo korišćenje emaila. Analogno tome postoji i *web ponašanje*. U poslednje vreme posebnu pažnju izazivaju različite igre i mogućnost identifikovanja igrača na osnovu njegovog ponašanja u igri. Ovakav modalitet najčešće se naziva *strategija igre* i odnosi se kako na ponašanje čoveka u virtualnim svetovima igre tako i na ponašanje u različitim društvenim igrama gde se najčešće pominje strategija i način igranja pokera.

Nakon kratkog pregleda postojećih biometrijskih modaliteta i sistema koji ih implementiraju može se zaključiti da biometrija predstavlja vrlo interesantnu istraživačku oblast sa visokim stepenom tehnološkog napretka. Komunikacija na daljinu dodatno podstiče razvoj pre svega bihejviorističkih

## **Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda**

---

modaliteta i njihovu primenu u biometrijskim sistemima. Posebnu pažnju izaziva hod kao biometrijski modalitet. Značajan pomak je postignut u razvoju različitih tehnika za prepoznavanje osobe na osnovu hoda. Sa druge strane potencijal ovog modaliteta je izuzetan. Proces akvizicije je vrlo jednostavan, sve što je potrebno je video snimak osobe tokom hoda. Senzori koji se mogu koristiti, uglavnom su u pitanju video kamere, su veoma pristupačne i sa relativno niskim novčanim sredstvima mogu se kupiti kamere vrlo visokih performansi i rezolucija. Hod kao biometrijski modalitet se može akvizirati bez znanja subjekta, nije potrebna njegova kooperacija i metoda je vrlo neinvazivna. Upravo zato se može vrlo lako koristiti na mnogim javnim mestima. Dodatna prednost hoda je što se lako može kombinovati sa drugim modalitetima tako čineći multimodalne biometrijske sisteme. Korišćenjem istog akvizicionog uređaja, video kamere, može se zabeležiti i čovekov snimak lica ili uha ukoliko ugao snimanja nije direktno u pravcu lica. Kombinacijom dva modaliteta bi se mogla postići veća preciznost prepoznavanja. Upravo iz navedenih razloga, hod kao biometrijski modalitet, pruža mnogo mogućnosti za dalja istraživanja i razvoj novih rešenja i pristupa. U nastavku fokus rada će biti na biometriji čovekovog hoda, dostignućima u toj oblasti kao i prostoru za predlaganje novih tehnika i za razvoj novih algoritama za prepoznavanje.

### 3. Biometrija ljudskog hoda

Za našu sadašnjicu možemo reći da je doba tehnologija prismotre. U razvijenim zemljama, većina javnih površina pokrivena je nekim oblikom prismotre, najčešće video kamerama. Ljudi su konstantno izloženi snimanju, dok se kreću kroz supermarkete, prolaze kroz aerodromske terminale, prilaze bankomatima pa čak i dok neobavezno šetaju ulicama određenih gradova.

Upravo iz pomenutih razloga može se primetiti značajan rast popularnosti neintruzivnih biometrijskih tehnologija. Neintruzivne biometrijske tehnologije se odnose na utvrđivanje nečijeg identiteta na transparentan način, bez ometanja legitimnih korisničkih aktivnosti (Rodwell, Furnell, & Reynolds, 2007). Ovakva tehnologija najbližnja je načinu na koji čovek prepoznaje druge osobe. U ljudsko iskustvo je ugrađeno da druge osobe prepoznaje na osnovu njihovog lica, ukoliko su blizu, ili na osnovu njegovih pokreta, hoda, ukoliko su udaljeni (Cutting & Kozlowski, 1977). Pre svega mora se jasno odrediti šta predstavlja ljudski hod (eng. Gait) kao pojam istraživanja. Postoje razni pokreti koje čovek pravi tokom svakodnevnih aktivnosti. Ono što je glavna odlika gait-a jeste cikličnost. Čovek koji baca neki predmet ili skače u vis čini karakteristične pokrete, ali te pokrete ne odlikuje cikličnost. Za razliku od ovog slučaja, hod, trčanje i penjanje uz stepenice poseduju cikličnost i pripadaju nečemu što se u literaturi označava kao gait. Samim tim, prepoznavanje na osnovu gait-a se može definisati kao: "Prepoznavanje nekih važnih karakteristika, identiteta, stila hoda ili patologije na osnovu koordinisanih, cikličnih pokreta koji rezultuju ljudskom lokomocijom" (Boyd & Little, 2005).

Čovečanstvo je pre prvih istraživanja u oblasti prepoznavanja na osnovu hoda bilo svesno da se osobe mogu prepoznati na taj način. U literaturi se mogu naći reference na tu temu nekoliko stotina godina unazad. U drami *The Tempest (Bura)* William Shakespeare-a u činu 4 sceni 1 može se naći rečenica: „High'st Queen of state, Great Juno comes; I know her by her gait". Takođe u njegovoj tragediji *Troilius and Cressida* u činu 4 sceni 5 Ulysses, Kralj Itake navodi: „Tis he, I ken the manner of his gait; He rises on the toe: that spirit of his in aspiration lifts him from the earth". Ono što važi i danas i u vreme nastanka tih dela je da je veoma teško opisati kako uspevamo da prepoznamo nekoga na osnovu hoda. Veoma veliki broj faktora utiče na čovekovu odluku u ovom slučaju: specifičan tempo hoda, naginjanje glave, pomeranje torzoa, zaokreti ruku i nogu i mnogi drugi. Upravo iz tog razloga je jako teško razviti računarski algoritam koji će replicirati čovekovo iskustvo u prepoznavanju ljudi na osnovu hoda. Uprkos činjenici da je prepoznavanje na osnovu hoda deo ljudskog iskustva i ljudi ga koriste oduvek, da bi se hod koristio kao biometrijski modalitet, morala bi se potvrditi jedinstvenost te biometrijske karakteristike. U naučnim krugovima je postignut koncenzus i prikupljeno je dovoljno dokaza da bi mogli da tvrdimo da ljudski hod odlikuje dovoljan stepen jedinstvenosti da se može koristiti za biometrijsko prepoznavanje. Ovakav zaključak je postignut kroz razna istraživanja iz različitih naučnih oblasti kao što su medicina, psihologija i matematika (Nixon & John, 2004).

Čovekov hod poseduje određene prednosti u odnosu na druge biometrijske modalitete. Pre svega mora se istaći da za razliku od drugih modaliteta za akviziciju hoda senzor se može postaviti na značajno veću udaljenost. Ljudski hod je specifičan, i informacije se dobijaju na osnovu pokreta pre svega čovekovih ekstremiteta ali i pokreti torzoa i glave se često uzimaju u obzir. Upravo ta specifičnost omogućuje da se ne moraju koristiti snimci koji sadrže dosta detalja, pre svega snimci visoke rezolucije (Nixon & John, 2004). Ukoliko to uporedimo sa snimkom čovekovog lica, u tom slučaju je potrebno da

kamera bude znatno bolje rezolucije, obzirom da mnogi algoritmi zahtevaju da se jasno identifikuju oči, usta i ostali regioni koji zavisno od kvaliteta snimka mogu biti komplikovani za detekciju. Kamera za snimanje čovekovog hoda može se postaviti i na 10 i više metara udaljenosti. Ovo značajno olakšava praćenje i omogućuje da se više subjekata prati istovremeno obzirom da mogu stati u kadar kamere. Što je blizina između kamere i subjekta koji se snima veća, on zauzima više mesta u kadru i time smanjuje prostor za druge subjekte. Još jedna vrlo važna prednost ovog modaliteta je što je neintruzivan i neinvazivan. Iako ova dva pojma zvuče veoma slično i deluju kao sinonimi postoje suptilne razlike. Neintruzivnost podrazumeva da nije neophodna kooperacija subjekta za proces snimanja i nije potrebna njegova saglasnost. Naravno uvek se moraju uzeti u obzir pravne posledice snimanja čoveka bez njegovog pristanka. Sa druge strane neinvazivnost podrazumeva da nije potrebno da zahtevamo od subjekta da se ponaša na neki poseban način ili da izvodi neke posebne pokrete. Primer vrlo invazivne tehnologije je snimanje mrežnjače oka gde je potrebno da subjekt približi oko neposredno do skenera da bi se napravio odgovarajući snimak.

Ljudi svakodnevno hodajući prelaze različitu udaljenost. Neki su više skloni hodanju dok se drugi više oslanjaju na različita prevozna sredstva. Ali bez obzira na to svi dobar deo svog života provedu hodajući. Upravo iz tog razloga ljudi razviju specifičan način hoda koji stalno koriste dok su im sasvim druge stvari na umu. Pokazalo se da su u čovekovom hodu vrlo male varijacije i da ljudi najčešće koriste isti obrazac hodanja. Upravo to čini da se ovaj biometrijski modalitet teško prikriva. Ukoliko znate da ćete prilikom pristupa nekom objektu biti snimljeni da bi se utvrdio vaš identitet na osnovu lica, možete relativno lako sakriti karakteristike svoga lica. Dovoljno je da stavite kačket, velike naočare za sunce i na primer lažnu bradu i da zavarate skoro svaki algoritam za prepoznavanje lica koji trenutno postoji. Sa druge strane da biste sakrili svoj specifičan hod vi bi morali da hodate drugačije nego što to radite svakoga dana svog života. Ovo zahteva uključivanje potpuno drugih delova mozga od onih koji inače upravljaju vašim hodom i taj proces iziskuje veliku koncentraciju. Vrlo je moguće da će takav hod delovati neprimodno i izazvati sumnju a pored toga dovoljno je za mali segment vremena da se izgubi koncentracija i vaš prirodni obrazac hoda će se pokazati. Čovekov hod čini jako puno faktora, kako aktivnih tako i pasivnih. Pored pokreta faktori koji utiču su specifična građa čoveka, počevši od visine, dužine ekstremiteta, težine... Zato je osim prikrivanja načina hoda veoma teško imitirati nečiji hod sa ciljem krađe identiteta. U jednoj opsežnoj studiji (Mjaaland, Bours, & Gligoroski, 2010) ispitivana je osetljivost postojećih algoritama za prepoznavanje na osnovu hoda na imitaciju i došlo se do zaključka da je čovekov hod veoma teško imitirati.

Jako važan faktor kod sistema za prismostru jesu uslovi snimanja. Vrlo često uslovi nisu idealni za video kamere, nema dovoljno osvetljenja i samim tim je teško dobiti kvalitetan snimak na osnovu kog se može vršiti prepoznavanje. U ovakvim situacijama kada nema osvetljenja veliku primenu mogu imati infra-crvene kamere koje snimaju u nižim talasnim dužinama vidljivog spektra i time prevazilaze nedostatak svetla. Ljudski hod se može snimati i sa ovakvim kamerama pošto boje ne utiču na algoritme prepoznavanja, već je bitna dinamika pokreta. Obzirom da je u prethodnom periodu došlo do značajnog pada cene infra-crvenih kamera, njihova primena u akviziciji podataka o hodu otvara nove mogućnosti za potrebe prepoznavanja osoba.

### 3.1 Prepoznavanje na osnovu hoda

Ljudski hod predstavlja podskup ljudskih pokreta. Način na koji nastaje hod je vrlo složen. Upravo iz tog razloga ova oblast je interesovala istraživače iz nekoliko različitih naučnih disciplina. Puno pažnje su mu posvetili psiholozi, specijalisti različitih oblasti medicine kao što su pedijatri ili kinestezičari, fizičari, kibernetičari, matematičari i informatičari. Svaka od ovih grupa naučnika je gledala na problem iz svog ugla i rešavala pitanja koja su aktuelna u njihovoj oblasti. Moderna shvatanja ljudskog hoda posmatraju ga pre svega kao psiho-fiziološki fenomen. Neke rane studije ljudskog hoda su pokazale da na stotinu različitih segmenata tela - udova, zglobova, mišića i tetiva se kombinuju da kreiraju ono što raspoznamo kao karakterističan čovekov hod. Takođe sav taj proces se odvija pod nadzorom čovekovog nervnog sistema. Rane studije su se pre svega koncentrisale na medicinsku primenu analize ljudskog hoda. Pokušali su da utvrde da li se analiza ljudskog hoda može koristiti u dijagnostikovanju oboljenja, za detekciju raspoloženja pa čak i da se razlikuju polovi. Ideja o korišćenju hoda kao faktora za razlikovanje ljudi ili identifikaciju konkretne osobe stupila je na scenu tek kasnije.

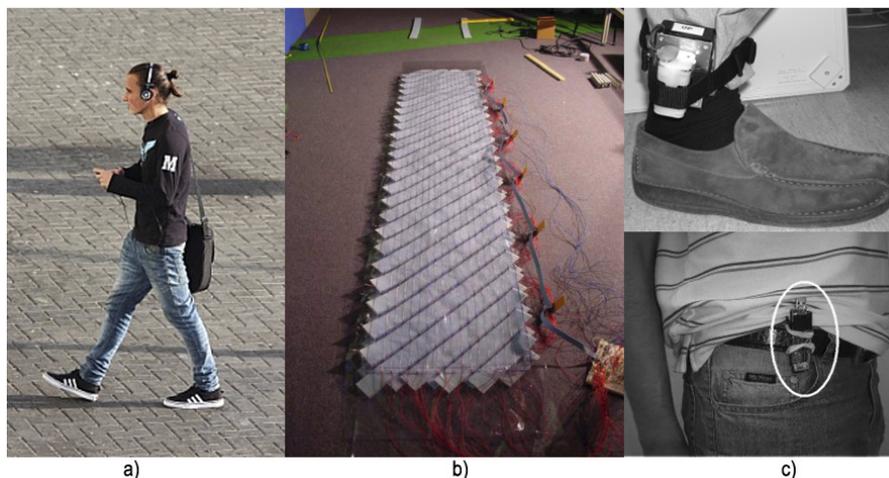
Prve studije koje su uvele ideju da se osoba može prepoznati na osnovu hoda bile su iz oblasti psihologije. Ovo je logična činjenica kada se uzme u obzir da je jedino čovek bio sposoban da prepozna druge ljude na osnovu hoda. Prirodan korak je bio da se pokuša utvrditi koje čovek kriterijume koristi pri prepoznavanju. Obzirom da se takve informacije nisu mogle dobiti od ljudi jer je ceo proces vrlo teško objasniti, vršeni su različiti eksperimenti koji su trebali da pruže više informacija o tom fenomenu. Jedan zanimljiv pristup je bio da se na osobu strateški postave sjajni markeri koji će vizuelno predstaviti ljudski hod. Markeri su postavljeni obradom video snimka i ucrtavanjem na odgovarajuća mesta na osobi. U svakom slučaju ključ je bio da se slika osobe u potpunosti ukloni i da kao reprezent ostanu samo markeri koji označavaju određene delove tela (Johansson, 1973). Takva predstava čovekovog hoda je potom prikazivana grupi ispitanika. Pokazalo se da kada ispitanici gledaju statične tačke nisu u stanju da povežu to sa ljudskim oblikom dok čim tačke počnu da se kreću momentalno uspevaju da detektuju da je u pitanju čovekov hod. Jedan od zaključaka ove studije je da se sa samo 10 tačaka može uspešno predstaviti čovekov hod.

Ideja korišćenja sjajnih markera kao repera na čovekovom telu je postala interesantna i drugim istraživačima i vremenom će postati jedan od dominantnih pristupa u biometriji hoda. Postavilo se pitanje da li bi čovek mogao da detektuje hod na osnovu sjajnih markera i iskoristi zapažanje za razlikovanje osoba. Jedna studija (Cutting & Kozlowski, 1977) je pokazala da je uz vrlo malo treninga čovek u stanju da identifikuje osobu na osnovu hoda. U ovom slučaju je pored činjenice da je moguće identifikovati da određeni pokreti pripadaju čovekovom hodu, dokazano da je moguće i određeni hod povezati sa određenom osobom.

Dalji napredak istraživanja u oblasti prepoznavanja hoda odredio je način akvizicije podataka potrebnih za prepoznavanje. Način na koji se vrši akvizicija podataka potrebnih za prepoznavanje na osnovu hoda predstavlja dosta dobar kriterijum za klasifikaciju (Gafurov, 2007). Takva klasifikacija podrazumeva podelu na sisteme koji vrše akviziciju uz pomoć **računarske vizije, podnih senzora i nosivih senzora**. Prva grupa sistema pokriva sve sisteme koji koriste neku vrstu video kamere za snimanje čovekovog hoda (Slika 5a). Ova grupa predstavlja najstariji pristup ali ujedno i najpopularniji. Na tome se može zahvaliti pristupačnosti i neintruzivnosti metode. Druga grupa podrazumeva korišćenje specifičnih

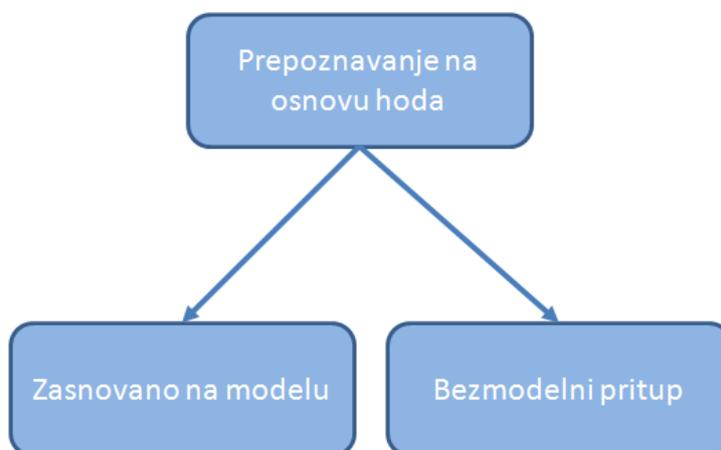
## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

senzora pritiska koji se postavljaju u pod po kome subjekt hoda (Slika 5b). Na osnovu brzine, tempa i snage pritiska čovekovih nogu vrši se identifikacija. Poslednja grupa za akviziciju koristi različite grupe nosivih senzora od kojih su najpopularniji sistemi zasnovani na tehnologiji akceleratorometra (Slika 5c). Najčešće se postavljaju na čovekov struk ili noge.



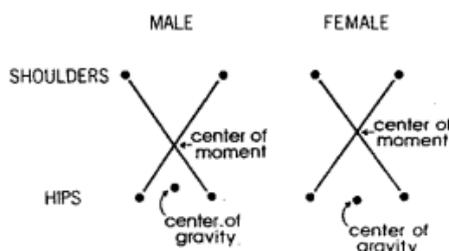
**Slika 5** Snimak kamere za prismostru, pristup računarske vizije a); senzorska strunjača, pristup podnih senzora b); akceleratorometarski senzori, pristup nosivih senzora c)

Rane studije su pokrenule brojna pitanja o tome kako čovek poima ljudski hod. Obzirom da su u njima korišćene samo tačke kao reprezenti određenih mesta na telu postavlja se pitanje kako čovek koji to posmatra zaključiti da je u pitanju čovekov hod? Da li možda čovek poveže tačke u svojoj glavi i onda oko toga izgradi figuru da bi ona odgovarala njegovom iskustvenom shvatanju čovekovog hoda? Takođe postoji i mogućnost da čovekova figura nije ključna i da se utisak o hodu stiče pre svega iz pokreta i pritom je sve jedno da li je predstavljen preko tačaka ili postoji realna figura čoveka kako hoda. Upravo iz ovoga potiču dva osnovna pravca u istraživanju prepoznavanja na osnovu hoda: zasnovan na modelu ili bezmodelni pristup (Slika 6). Ova podela se koristi pre svega za pristupe koji se zasnivaju na računarskoj viziji.



**Slika 6** Klasifikacija pristupa u prepoznavanju na osnovu hoda

Suštinska razlika između ova dva pristupa nastala je kao posledica dva pravca istraživanja. Jedan je išao u pravcu toga da pre svega proučava čoveka i njegove karakteristike i time ustanovi kakav je uticaj tih faktora na pokret. Samim tim dobio bi se način da se čovek identifikuje koristeći te karakteristike. U početku fokus je bio na specifičnim karakteristikama ljudskog tela (Cutting, Proffitt, & Kozlowski, 1978), kao što su odnosi delova tela, odstojanje od kukova do ramena, procenat uvijanja torzoa... Iskorak je napravljen pre svega u oblasti fizike gde je ljudsko telo modelovano na poseban način tako što su udovi posmatrani kao matematičko klatno dok je torzo posmatran kao opruga. Model se pokazao kao prilično uspešan i prema studiji je uticao čak na  $\frac{3}{4}$  varijabilnosti u hodu. Posebna pažnja je posvećena korišćenju odnosa na telu da bi se utvrdio pol subjekta (Cutting & Proffitt, 1981). Autori su prvenstveno uzeli odnos između različitih delova tela na svim subjektima i utvrdili da kod muškaraca postoji proporcionalno veća širina ramena dok kod žena postoji proporcionalno veća širina kukova. Problem je bio jer su snimci hoda subjekata uzimani pogledom sa strane pa nisu mogli da primene algoritam na kreiranoj bazi jer nije bilo načina da se ove dve mere izračunaju i uzmu u obzir. Na osnovu odnosa širine ramena i širine karlice, autori su uspeali da dođu do dve kritične tačke na čovekovom telu. Te tačke su gravitacioni centar i centar momenta (Slika 7).

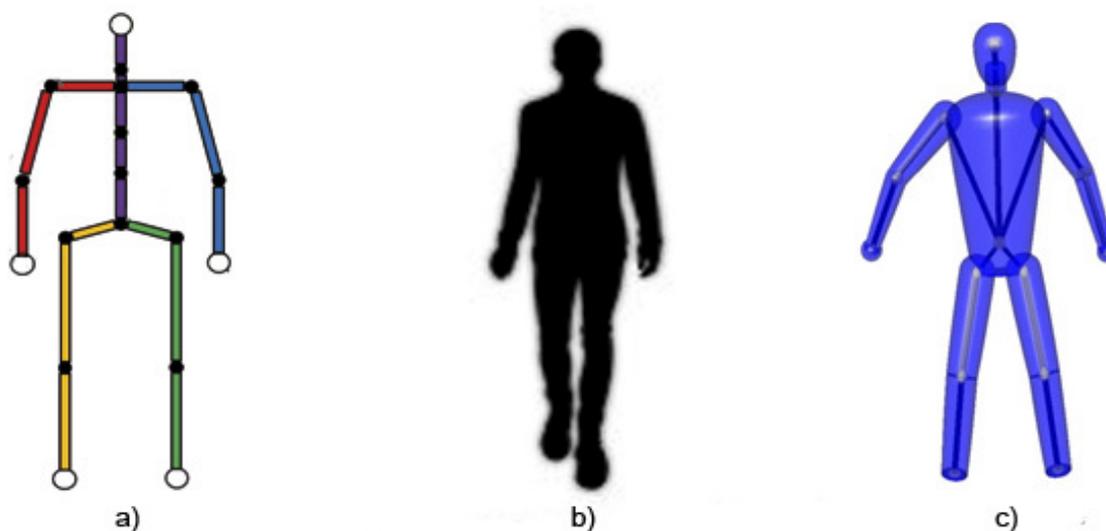


Slika 7 Utvrđeni centar momenta i centar gravitacije prema (Cutting & Proffitt, 1981)

Centar momenta predstavlja invarijantnu tačku na ljudskom telu oko koje se ostatak tela pokreće. Centar gravitacije ili centar mase se nalazi niže i zavisi od distribucije mase. Na osnovu kretanja oko centra momenta autori su uspeali da sintetišu hod koji je odgovarao originalu u odnosu od 80%. Grafička reprezentacija na osnovu programa objavljenog u (Cutting, 1978) je pokazala konzistentnost sa rezultatima dobijenim sa ljudskim subjektima.

Sa druge strane, bilo je pokušaja da se dokaže da ljudi ne dobijaju strukturne informacije kada posmatraju svetlosne markere. Ovo bi trebalo da dokaže da ljudi ne formiraju sliku osobe kada posmatraju pokrete markera već da je sam pokret dovoljan (Boyd & Little, 1998). Tvrdnja je zasnovana na činjenici da je frekvencija svih pokretnih tačaka na telu ista te samim tim raspored markera nije bitan. Uprkos tome, kada se izvrne redosled, testovi pokazuju da nije moguće povezati pokrete sa ljudskim.

Jedna pregledna studija (Aggarwal & Cai, 1999) predlaže dodatni način klasifikacije koji se zasniva na karakteristikama ljudskog tela koje se koriste u analizi pokreta. Delom se zasniva na načinu akvizicije ljudskog pokreta a delom na procesiranju koje se radi pre algoritama analize. Ta klasifikacija podrazumeva tri pristupa (Slika 8): korišćenje „štapne figure“, korišćenje **2D konture**, korišćenje **volumetričkog modela**.



Slika 8 a) štapna figura dobijena iz ključnih tačaka, b) 2D konture osobe i c) volumetrički model

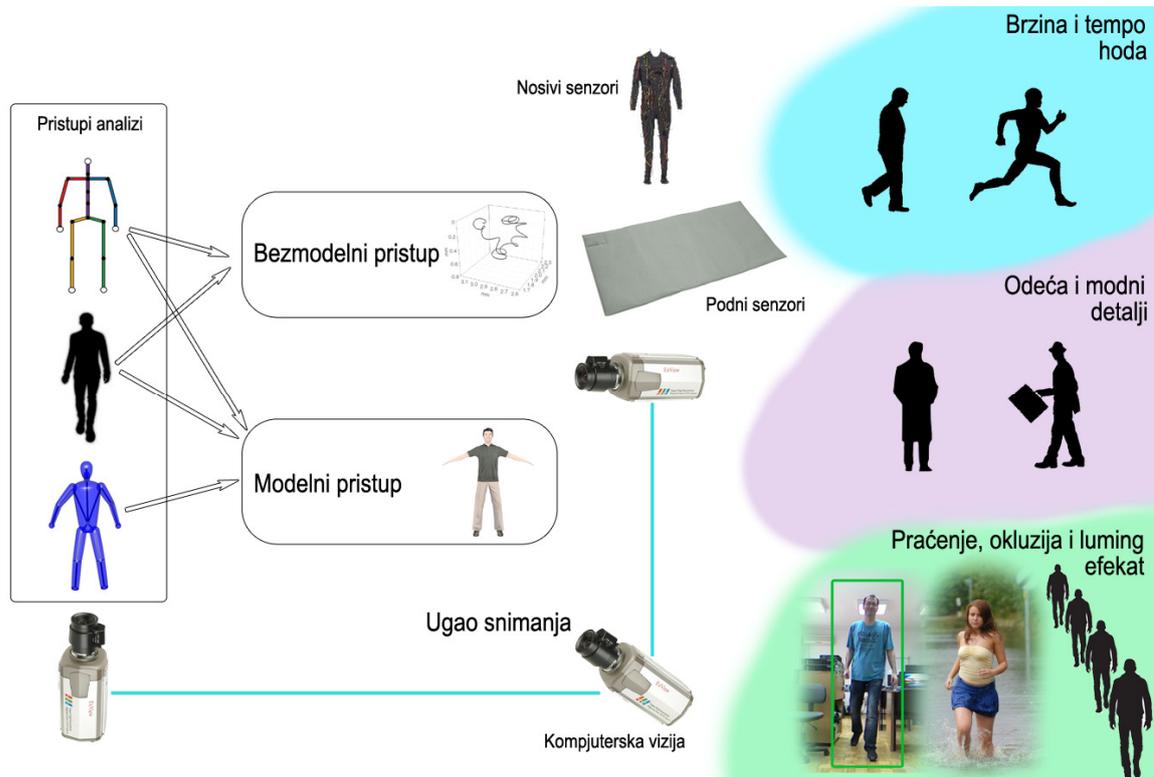
Korišćenje **štapne figure (eng. stick figure)** je nastalo od ideje da se markerima označavaju ključne tačke na ljudskom telu i da se one koriste u analizi hoda. Povezivanjem ključnih tačaka se dobija tzv. štapna figura koja izgleda kao figura čoveka napravljena uz pomoć šibica. Zavisno od pristupa koriste se različiti aspekti štapne figure. Najčešće su bitne samo ključne tačke između kojih se nalazi veza u prostoru i vremenu i time se pokušava prepoznavanje. Sa druge strane mogu se koristiti i drugi faktori kao što su rastojanja između ključnih tačaka koje čine duži na figuri. U suštini, razdaljine između tačaka predstavljaju nešto što se može nazvati mekom biometrijom (eng. soft biometrics) koja nosi određene informacije o individui, ali sa nedovoljno jedinstvenosti i trajnosti da u potpunosti razdvoji neke dve osobe (Jain, Dass, & Nandaku, 2004). Ova vrsta biometrije se koristi kod različitih biometrijskih modaliteta, a kada je hod u pitanju, uticaj meke biometrije je još značajniji. Primeri meke biometrije mogu biti visina, težina, pol, boja očiju pa čak i godine. Obzirom da se čovekova figura koristi u prepoznavanju hoda to sa sobom povlači dosta meke biometrije koja se indirektno uključuje u algoritme prepoznavanja. Čak iako se ne koristi na primer odstojanje između dve tačke koje predstavlja neki deo tela kao što je nadlaktica, samim tim što imamo početne vrednosti tih tačaka u koordinatnom sistemu indirektno imamo zabeleženu visinu ramena i lakta od poda i time je uključena meka biometrija u izvesnoj meri. Pristup štapne figure je do sada u istraživanjima zahtevao laboratorijske uslove. Najčešće se figura osobe formirala tako što bi se na osobu postavili markeri na ključne tačke i potom bi određeni algoritam preprocesiranja dobio iz video snimka koordinate tih tačaka u referentnom prostoru. Ovakav pristup je vrlo teško replicirati u realnim uslovima video prisмотра. Da bi se uspešno detektovale ključne tačke na čovekovom telu bez postavljanja markera potrebni su vrlo složeni algoritmi koji zahtevaju dosta procesne obrade i relativno dobri uslovi akvizicije. Za sada je predložen interesantan pristup da se štapna figura ekstrahuje kombinacijom statističkog pristupa i topološke analize a zasnovano na anatomskom modelu (Yoo & Nixon, 2011). Iako takav pristup pokazuje potencijal i dalje zahteva laboratorijske uslove. Konkretno, autori koriste zeleni hodnik da bi dobili što bolju ekstrakciju figure dok pritom procedura ostaje procesorski veoma zahtevna. Štapna figura se može formirati od različitih ključnih tačaka. Neki pristupi uzimaju u obzir celu figuru, dok neki izoluju samo delove tela sa kog koriste

ključne tačke kao što su donji ekstremiteti (Santoso Lie, et al., 2005) ili kombinacija gornjih i donjih ekstremiteta (Kim, Pradhan, & Prabhakaran, 2009). Kod pristupa sa štapnom figurom postoji značajan uticaj ugla snimanja. Zavisno od toga gde je postavljena kamera može doći do prikriivanja ključnih tačaka prilikom hoda tako što bivaju zaklonjene nekim drugim delom tela (Lee, Belkhatir, & Sanei, 2009). Ovaj problem se naziva *okluzija* i predstavlja posebnu oblast od interesa u biometriji hoda.

Pristup koji se zasniva na **2D konturama** osobe je verovatno najpopularniji u oblasti analize ljudskog hoda. Zavisno od toga da li se koristi modelni ili bezmodelni pristup 2D konture mogu biti zasnovane na čovekovoј figuri ili na nekoј apstraktnoј predstavi čovekovog hoda. Zasniva se na ekstrakciji ivica čovekove figure prilikom hoda i time se dobijaju 2D konture osobe. Tako dobijene konture se kasnije na veliki broj različitih načina koriste za prepoznavanje osobe. Formiranje 2D konture se najčešće radi segmentacijom ljudske figure iz pozadine slike. Rezultujuća slika se naziva silueta. Ukoliko kamera nije uperena u subjekat pod normalnim uglom javlja se problem pomeranja ljudske figure kroz prostor u određenom vremenu. Svakim narednim frejmom figura čoveka se pomera u prostoru. U tom slučaju se nalazi neka karakteristična tačka ljudske figure, najčešće centroid (Wang, Tieniu, Ning, & Weiming, 2003) koji predstavlja presek različitih odstojanja na ljudskom telu, prema kome se slike slažu jedna na drugu. Alternativni pristup je korišćenje mehaničke trake za trčanje koja omogućuje da figura osobe uvek bude poravnata sa pravcem snimanja uređaja (Tsuji, Makihara, & Yagi, 2010).

**Volometrički model** se zasniva na ideji da se čovekova figura može sintetički izgraditi u 3D model korišćenjem geometrijskih tela kao gradivnih elemenata. Najpoznatiji je cilindrični model (Hogg, 1983; Marr & Nishihara, 1978) gde je ljudsko telo predstavljeno cilindrima koje određuju dužine segmenata tela i položaji osa koje određuju cilindrične segmente. Početak koordinatnog sistema je u centru momenta definisanom ranijim istraživanjem (Cutting & Proffitt, 1981) (Slika 8c). Da bi se dobio adekvatan volometrički model najčešće se koristi kombinacija štapne figure, 2D kontura i dodatnih informacija dobijenih uz pomoć više kamera koje snimaju iz različitih uglova. Može se tvrditi da ovaj model predstavlja jedinstveni hibridni pristup.

Sama oblast prepoznavanja na osnovu hoda zavisi od velikog broja faktora (Slika 9). Ti faktori utiču na celokupan proces izgradnje nekog sistema za prepoznavanje na osnovu hoda. Počevši od izbora senzora, preko pristupa analizi ljudskog tela, potom da li će se uzimati modelni ili bezmodelni pristup. Osim toga na svaku od ovih odluka veoma utiče ugao snimanja osobe. Pogledom spređa izražen je problem luminga, tj. pojave da nam objekti kako prilaze deluju sve veći. Sa druge strane pogled sa strane prouzrokuje dosta više blokiranja delova tela, okluzije od frontalnog pogleda, obzirom da se noga ili ruka subjekta tokom hoda konstantno pokrivaju drugom nogom ili telom. Veoma važan faktor je i brzina kretanja osobe. Obzirom da promena brzine kretanja veoma utiče na algoritme koji su zavisni od vremenske dimenzije ovaj problem postaje veoma značajan. Takođe važan faktor može predstavljati odeća ili neki modni detalji koji se nose u ruci. Dugački kaputi mogu pokriti segmente nogu dok široka odeća utiče na izražajnost gornjih ekstremiteta.



Slika 9 Brojni faktori koji utiču na klasifikaciju postojećih istraživačkih pristupa u prepoznavanju na osnovu hoda

Obzirom da postoji puno faktora koji se mogu koristiti kao osnova za klasifikaciju, pregled oblasti mora da posveti izvesnu pažnju svakom od njih. Postoji puno preplitanja i uticaja različitih faktora tako da će osnovna klasifikacija biti vršena prema pristupu analizi ljudske figure i činjenici da li se koristi modelni ili bezmodelni pristup. Dosta važan faktor predstavlja ugao snimanja i različiti efekti koje taj faktor proizvodi na postojeće metode. Pored toga, posebna pažnja će biti posvećena faktorima brzine hoda, odevnih predmeta kao i problemima praćenja, okluzije i luminga. Ovi faktori biće posmatrani kao integralni deo postojećih pristupa, a i kao posebna, važna tema u ovoj istraživačkoj oblasti.

### 3.2 Pristupi sa *a priori* modelom (modelni pristupi)

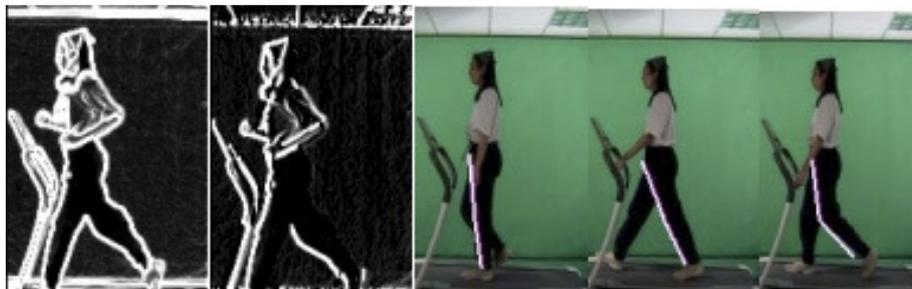
Modelni pristup ima za cilj da eksplicitno modeluje ljudsko telo ili pokrete prema prethodnom znanju (Liu, Jia, & Zhu, 2009). Samim tim potrebno je da postoji određeni model, kreiran na osnovu prethodnog znanja, prema kome se dobijeni podaci modeluju. Proces najčešće podrazumeva da se svaki frejm zabeleženog video snimka ugrađuje u model i parametri, kao što su na primer trajektorije kretanja, se mere na modelu i koriste kao karakteristike za prepoznavanje. Ovakav pristup je računarski intenzivan, zahteva dosta procesorskog rada i samim tim ima dugačak period izvršavanja. Sa druge strane prednosti ovakvog pristupa su značajne. Ukoliko postoji postavljen *a priori* model lakše se rešavaju prateći problemi kao što su osvetljenje, mešanje senke i figure, problemi okluzije, zato što postojanje modela uzrokuje lakše odvajanje čovekove figure od eventualnih šumova i smetnji.

Za prepoznavanje na osnovu hoda mogu se koristiti dve vrste modela, **strukturni** i **model pokreta (dinamički)** (Chew-Yean & Nixon, 2009). Strukturni model opisuje fizionomiju ljudskog tela i uglavnom se sastoji od geometrijskih primitiva kao što su cilindri, kupe, ili zatvorene krive, takođe i štapne figure ili posebni oblici koji opisuju ivice delova tela. Kada je u pitanju model pokreta, on opisuje kretanje čoveka i delova njegovog tela. U ovom slučaju se uzimaju u obzir međuzavisnosti pokreta povezanih delova tela, te sloboda njihovog pokreta po raznim osama zavisno od čovekove fizionomije.

Da bi se kreirao adekvatan model čovekove figure potrebno je naći pravu reprezentaciju takvog modela. Problem se javlja u činjenici da video snimak čoveka pruža pogled u dve dimenzije, obzirom da je video snimak ništa više od niza dvodimenzionalnih slika u vremenu. Prvi korak je naći način kako da se predstavi neki 3-dimenzioni objekat da bi on mogao da se prepozna na osnovu 2-dimenzionalne slike. Puno uticaja na razvoj različitih pristupa imalo je istraživanje (Marr & Nishihara, 1978) koje se bavilo 3D reprezentacijom 2D oblika. Predloženi model predstavlja korišćenje geometrijskih primitiva za izgradnju oblika a zasnovano na osama segmenata štapne figure. Ovo je u mnogo čemu odredilo dalje pravce istraživanja.

Chen i Lee (1992) su na osnovu 2D projekcije postavili 3D konfiguraciju osobe u pokretu. Njihov metod se zasniva na činjenici da je ljudsko telo objekat koji se sastoji iz delova. Ti delovi se uglavnom spajaju u „zglobnim“ tačkama dok su sami delovi kruti. Samim tim se čovekovo kretanje posmatra kao pomeraj krutih delova, oko zglobnih spojeva po određenim osama. Suštinski čovekovo telo je podeljeno na određeni broj delova: glavu, torzo, karlični deo i gornje i donje ekstremitete. Ovi autori su u svom modelu koristili štapnu figuru kao model, predložen u prethodnom radu (Lee & Chen, 1985), koji se sastoji od 14 spojeva i 17 delova. Proces se sastoji od toga da se na osnovu 2D konfiguracije vrši pretraga kroz sve moguće pojave 3D konfiguracija dok se ne pronađe odgovarajuća. Ovakva pretraga je vrlo izazovna za računarsku obradu.

Pristup koji se oslanja na dvodimenzionalne modele ima svoje prednosti i nedostatke. Glavni nedostatak leži u činjenici da su osetljivi na promenu ugla snimanja. Jedna od pozitivnih strana je manja količina izračunavanja u odnosu na 3D modele. Istraživači su pristupili korišćenju štapne figure na različite načine i nisu se svi složili oko jedinstvenog modela. Iako su prvobitni modeli uključivali celo telo u kreiranju štapne figure, to nije bio obavezan slučaj u daljim istraživanjima. Istraživači su imali različite poglede na to koje ključne tačke i segmenti treba da formiraju štapnu figuru i da li je možda korisno uzeti samo deo čovekovog tela u modelovanju. Yoo i drugi (2008) koriste svega 9 tačaka ljudskog tela, zasnovanih na znanjima iz anatomije čoveka, da konstruišu 2D štapnu figuru. Takva figura ne uzima u obzir gornje ekstremitete, već samo telo, glavu i donje ekstremitete. Pojam korišćenja samo određenih segmenata tela pojavio se još ranije (Bharatkumar, Daigle, Pandey, Cai, & Aggarwal, 1994), korišćenjem samo donjih ekstremiteta. Autori su primenili transformacije oko medijalne ose radi izvlačenja 2D štapne figure. Ugao između donjih ekstremiteta i pomeraj spojeva su mereni da bi se dobio zajednički kinematički obrazac za svaki ciklus hoda. Yam i drugi (2004) su pokušali da konstruišu strukturni model i model pokreta za noge da bi se analizirao hod pa čak i trčanje korišćenjem biomehanike čoveka i teorije matematičkog klatna. Figura se izdvaja pre svega detekcijom takozvane „ivice vodilje“ tokom kretanja čoveka unapred (Slika 10).



Slika 10 Detekcija pokreta nogu ekstrakcijom "ivica vodilja" prema (Yam, Nixon, & Carter, 2004)

Razvojem modelnih pristupa problem ekstrakcije ljudske figure je postao sve izraženiji. Obzirom da su rane modelne metode uglavnom kao osnovu koristile štapne figure, problem ekstrakcije iste postaje dominantan. U slučaju da se kao uređaj za snimanje koriste nosivi senzori ovaj problem se lako rešava. Postavljanjem senzora na ključne tačke čovekovog tela mogu se dobiti brojne informacije koje mogu rezultirati formiranom slikom čovekove figure. Različiti aspekti ljudskog hoda se mogu meriti različitim senzorskim uređajima. Neki od njih su akcelerometri, žiroskopski senzori, merači sile, merači napona ili istegnuća, inklinometri (senzori nagiba), goniometri. Različiti tipovi senzora mogu se koristiti za utvrđivanje različitih aspekata ljudske figure i dinamike hoda (Engina, Demirelb, & Zeki, 2005; Bonato, 2003). Znatno je veći problem kada se aspekti ljudske figure koji su potrebni za analizu hoda ekstrahuju iz snimka video kamere, koja ima 2D percepciju. Jedan od ranih pristupa (Iwasawa, Kazuyuki, Ohya, & Morishima, 1997) je pokazao dosta dobre rezultate ekstrakcije ljudske figure u realnom vremenu pri brzini od 20 frejmova po sekundi. Metod se oslanja na video snimak dobijen termalnim zapisom infracrvene kamere bez obzira na pozadinu i uslove osvetljenja. Uz pomoć izračunatih odstojanja segmenata dobijene ljudske figure se pronalazi centar gravitacije. Nakon toga se pronalazi orijentacija gornje polovine ljudskog tela na osnovu momenta inercije. Sledi heurističko pronalaženje vrha glave i najudaljenije tačke ekstremiteta. Primenom genetskog algoritma se procenjuje položaj laktova i kolena.

Alternativni pravac je prikazan u istraživanju Niyogi i Adelson (1994) koji se oslanjaju na analizu prostorno-vremenskog obrasca u (XYT) koordinatnom sistemu. Oni posmatraju obrazac koji kreiraju donji udovi čoveka tokom hoda. Potom se utvrđuju trajektorije pokreta glave kao i ostalih ekstremiteta. Potom se ove trajektorije koriste da se oiviči ljudska figura, zasnovano na pretpostavci da je ljudsko telo kontinualno. Na kraju se vrši analiza hoda na osnovu identifikovanih 2D figura i metoda se pokazala kao dosta uspešna u procesu prepoznavanja. Jedan od skorijih pristupa koji je hronološki naslednik (Jean, Branzan, & Bergevin, 2009) predlaže korišćenje trajektorija nogu i glave subjekta. Na osnovu tih trajektorija utvrđuje se sagitalna ravan niz koju se subjekt kreće i onda se putem transformacija vrši usklađivanje sa fronto paralelnom ravni.

Iskorak je napravljen uvođenjem stereo pogleda koji je pokušao pre svega da reši manjkavost prethodnog postupka usled promene ugla gledanja. Konkretno, ukoliko je korisnik okrenut tako da su mu ruke pokrivene drugim delom tela, cela metoda postaje neupotrebljiva obzirom da je inicijalni korak zasnovan na utvrđivanju trajektorije ekstremiteta. Stereo pogled je omogućio bolju aproksimaciju 3D figure koja se koristi za kreiranje štapne figure (Urtasun & Pascal, 2004). Dodatna preciznost u prepoznavanju je postignuta kombinovanjem sa modelom pokreta.

Osim štapne figure korišćeni su i modeli zasnovani na geometrijskim primitivama. Jedan od pristupa (Lee & Grimson, 2002) je da se slika siluete dobijena ekstrakcijom od pozadine podeli u 7 karakterističnih

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

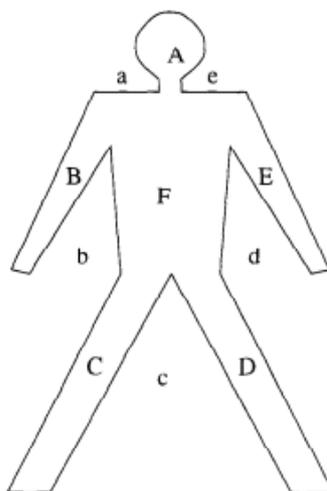
---

regiona (Slika 11). Za osnovu modela korišćene su elipse i svaki izdvojeni region je ugrađen u odgovarajuću elipsu. Potom se parametri elipsi posmatraju kao karakteristike hoda za prepoznavanje.



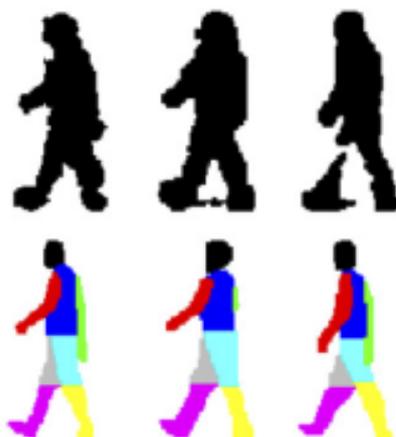
Slika 11 Segmentacija siluete u 7 regiona radi predstavljanja hoda preko modela elipsi (Lee & Grimson, 2002)

Pored modela elipsi, jedan od predloženih modela se zasniva na geometrijskom obliku koji autori nazivaju traka (Leung & Yang, 1995). Proces koji autori predlažu je dvostepen. Prvo se primenjuje specifični model traka (Slika 12) koji ima za svrhu da ukaže na strukturne međuzavisnosti delova tela. Nakon toga se utvrđuje na osnovu prostorno vremenske analize da li određena traka pripada telu ili pozadini da bi konačno bili izolovani spojevi tela na osnovu pokreta. Autori su primenljivost ovog metoda za analizu ljudskog pokreta testirali u studiji na snimcima gimnastičara tokom izvođenja svoje rutine. Kao dokaz koncepta razvili su sistem po nazivu *FirstSight* koji vrši automatsku analizu pokreta na osnovu predloženog modela.



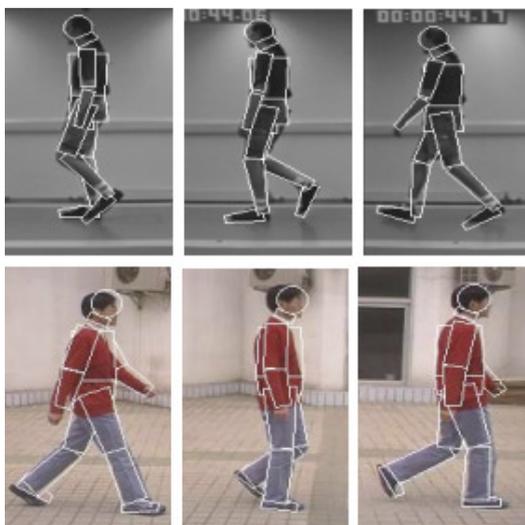
Slika 12 Model traka tela i pozadine predložen od strane (Leung & Yang, 1995)

Jedan od skorijih pristupa predlaže model komponenti ljudske figure (Boulgouris & Chi, 2007). Za razliku od korišćenja standardnih takozvanih binarnih silueta koje su ranjive na šumove i na loše odvajanje od pozadine model komponenti nudi dobru ekstrakciju (Slika 13). Autori su predložili detaljnu analizu uticaja pojedinih komponenti ljudskog tela na stopu prepoznavanja i došli do zaključka da se korišćenjem pojedinih komponenti sa boljom performansom podiže ukupna stopa prepoznavanja u odnosu na prethodna istraživanja (Kittler, Hatef, Duin, & Matas, 1998).



Slika 13 Model komponenti naspram binarne siluete iste sekvence hoda (Boulgouris & Chi, 2007)

Interesantan model (Wang, Ning, Tan, & Hu, 2004), koji ima izvesne sličnosti sa prethodnim, predlaže korišćenje geometrijskih oblika koji su analogni trapezu, tj zarubljenoj kupi u 2D projekciji, kao gradivnih elemenata ljudskog tela, izuzev glave za koju se koristi sfera (Slika 14). Ovaj model znanja uključuje tri zasebna modela: model ljudskog tela, model pokreta kao i model ograničenja. Ukupan broj segmenata tela koji se modeluju kao trapez je 14.



Slika 14 Praćenje subjekta korišćenjem modela trapeza(Wang, Ning, Tan, & Hu, 2004)

Pored strukturnih modela koji se koriste u prepoznavanju osobe na osnovu hoda veliku ulogu imaju i modeli pokreta. Strukturni modeli koriste pre svega informacije o fiziološkoj strukturi čoveka, kao što su dužina i oblik pojedinih segmenata tela, visina čoveka, položaj zglobova. Postoji izvesno nepoverenje u istraživačkim krugovima u snagu uticaja čovekove fizičke strukture na prepoznavanje. Obzirom da mali broj faktora utiče na strukturne informacije postoji verovatnoća da se sa povećanjem skupa subjekata u biometrijskoj bazi mogu značajno sniziti performanse prepoznavanja. Ovo je pre svega zahvaljujući činjenici da postoje ljudi koji su vrlo slične građe koji u uslovima niske rezolucije i lošeg osvetljenja mogu

biti pogrešno poistovećeni od strane algoritma za prepoznavanje ukoliko se on oslanja samo na strukturne informacije. Upravo iz ovog razloga modeli pokreta dobijaju na značaju. Oni zbog specifičnosti ponašanja ljudi daju veći stepen različitosti i veći broj faktora koji utiču na prepoznavanje a samim tim i razlikovanje između individua.

Jedan od ranih istaknutih 2D modela pokreta zasnovan je na strukturnom modelu koji autori nazivaju *kartonski model čoveka* (Ju, Black, & Yacoob, 96). Autori su predložili model ograničenja geometrijskih primitiva. Parametrisovan pokret slike konkretnih *kartonskih* segmenata ljudske figure je ograničen da bi se sproveo artikulisani pokret i primenjeni princip koristi vrlo robusnu tehniku procene. Parametri koji se dobijaju iz ekstrahovanog pokreta pružaju dobru osnovu za koncizan opis aktivnosti koji se može koristiti za prepoznavanje.

Značajan doprinos modelima pokreta doneo je Skalirani Prizmatični Model (eng. Scaled Prismatic Model – SPM) (Morris & Rehg, 1998). Njihov pristup pre svega pokazuje napredak u rešavanju problema singulariteta u snimcima iz jednog izvora. Singulariteti predstavljaju nestabilne tačke koje se mogu izgubiti iz perspektive minimalnim unosom energije. Ovaj problem znatno komplikuje na primer izdvajanje ivica, što je čest pristup u detekciji ljudske figure, zato što dovodi do gubljenja ključnih tačaka u snimku. SPM rešava ovaj problem pre svega tako što mapira željena stanja time čineći da kinematički model očekuje tranziciju iz jednog stanja u drugo. Prednost SPMa je što se iz njega može rekonstruisati trodimenzionalni model koji bi potom bio značajno očišćen od singulariteta. Proces rekonstrukcije se obavlja kao dvostepeni proces, prvo registracija a potom rekonstrukcija. Taycher i drugi (2002) su pristupili proceni modela kao višestepenog procesa. U prvoj fazi se kruti segmenti prate nezavisno. Potom se izgrađuje topologija tela tako što se za čvorove uzimaju segmenti a veze između čvorova označavaju da li su povezani tako što nose vrednost nula ili jedan. Nakon što se utvrdi topologija, pozicije spojeva i ograničenja uglova na spojevima se uspostavljaju.

Jedan interesantan pristup predlaže korišćenje kinematičkog zajedno sa strukturnim modelom (Zhang & Fan, 2010). Autori su ga nazvali Dvostruki Generativni Model Hoda (eng. Dual Gait Generative Model) koji povezuje Kinematički Generativni Model (eng. Kinematic Generative Model) i Vizuelni Generativni Model (eng. Visual Generative Model). Oba modela nastaju učenjem na velikom trening skupu. Kinematički model se pre svega zasniva na sekvenci Eulerovih<sup>1</sup> uglova, koji predstavljaju orijentaciju rigidnih delova tela. Na model dominantno utiču dva faktora, poza (konkretan stav tokom sekvence hoda) i tip hoda koji se odnosi na individualnost hoda. Mapiranje između dva modela se vrši primenom topologija.

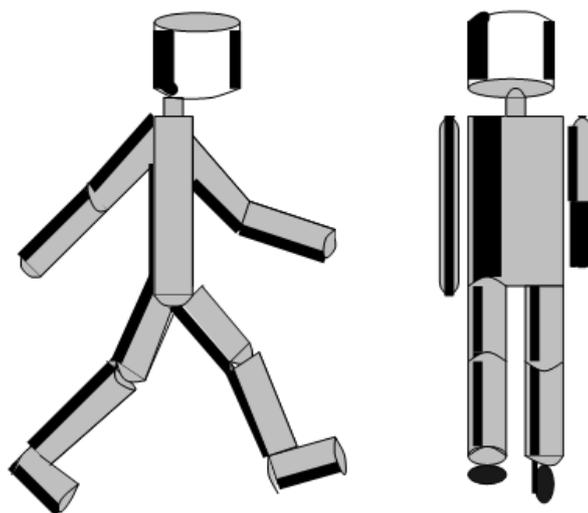
Uprkos velikim prednostima korišćenja 2D modela koji se ogledaju u brzini procesiranja postoje i veliki nedostaci ovog pristupa od kojih je najveći osetljivost na ugao snimanja. 2D modeli su vrlo osetljivi na promenu ugla snimanja obzirom da se uglavnom zasnivaju na 2D projekciji slike. Ovaj nedostatak se može prevazići oslanjanjem na 3D modele. U ranim radovima takvi modeli su se najčešće nazivali volumetričkim. Jedan od najranijih modela (O'Rourke & Badler, 1980) predlaže korišćenje 24 kruta segmenta i 25 spojeva na telu. Površina svakog krutog segmenta je zasnovana na modelu koji su autori predložili u jednom od ranijih radova (O'Rourke & Badler, 1979). Taj model podrazumeva kreiranje 3D oblika preklapanjem sfera. Proces podrazumeva četiri koraka. Prvo se vrši predviđanje na osnovu koga

---

<sup>1</sup>Leonhard Euler (15 April 1707 – 18 Septembar 1783) je jedan od Švajcarskih pionira matematike i fizike. Između ostalih doprinosa predložio je model uglova koji se može koristiti u analizi anatomije čovekovih zglobova.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

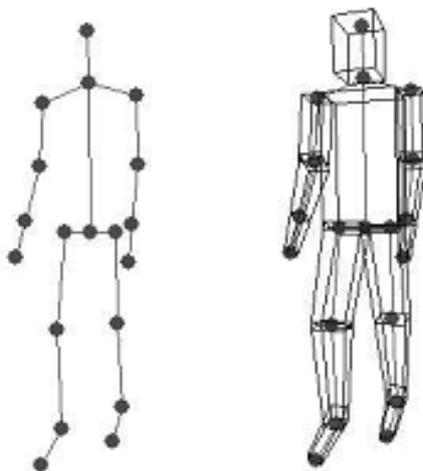
se putem analize slike pronalaze kritični delovi tela. Potom se primenom linearnih funkcija utvrđuju veze između prostora i vremena. Potom se vrši predviđanje pozicije kritičnih delova u narednom frejmu. Nakon toga simulator koji poseduje značajno znanje o ljudskom telu, vrši translaciju u 3D regione koji se koriste kao ulaz za prvi korak u narednom frejmu. Osnovni problem ovog pristupa je što se u inicijalnom koraku metode predviđanje vrši nasumično bez potrebnih informacija i postoji mogućnost da u narednim koracima ne dođe do adekvatnog pozicioniranja modela. Takođe ovaj model odlikuje izuzetna složenost. Obzirom da se koristi vrlo sofisticirani model za izgradnju ljudskog tela, potrebna je visoka moć izračunavanja da bi se algoritmi izvršili. Dovodi se u pitanje činjenica da li je neophodan tako složen model ukoliko je potrebno samo uraditi analizu pokreta segmenata ljudskog tela. Znatno jednostavniji model koji koristi svega 14 cilindričnih tela (Slika 15.) za formiranje ljudske figure korišćen je nešto kasnije (Hogg, 1983; Rohr, 1994). Velika prednost ovog modela je što se dobija na osnovu snimka monokularne kamere. Hogg je predložio i računarski program WALKER, koji je objavio i time ga učinio dostupnim široj naučnoj zajednici. Proces izgradnje modela počinje detekcijom tela i kreiranjem okvirnog pravougaonika oko tela. Potom se detekuju spoljne ivice figure i vrši se poređenje sa predloženim modelom. Na jednostavnoj bazi podataka se pokazala uspešnost u praćenju snimka na osnovu modela. Rohr je primenio nešto drugačiji pristup. Osnovna razlika je u procesu detekcije ljudske figure. On se oslanja na detekciju ivica korišćenjem tehnika eigenvektora. Potom radi ugradnju 2D oivičene figure na 3D model korišćenjem merenja sličnih odstojanja. Wachter i Nagel (1999) se kreću istom linijom i uvode novinu u proces ugradnje detektovane 2D figure u 3D model. Oni za tu svrhu predlažu korišćenje tehnike zvane Iterativni Prošireni Kalman Filter (eng. Iterative Extended Kalman Filter). Kalman filteri se mogu koristiti u posebnim uslovima dinamičkih problema koji se zasnivaju na stanje-prostor formi, koja je karakteristična za ljudski hod. IPKF koristi iterativni postupak. Razlike između položaja ključnih tačaka u slici i modela se koriste u inkrementalnom ispravljanju vektora karakteristika.



Slika 15 Cilindrični model predložen od strane (Marr & Nishihara, 1978) a korišćen od (Hogg, 1983)

Jedno od novijih istraživanja (Saboune, Rose, & Charpillat, 2007) koristi sličan strukturni model koji se sastoji od 19 ključnih tačaka, koje karakterišu ugaone pozicije segmenata. Model ima 31 stepen

slobode. Osnova pristupa je da se problem praćenja čovekove figure postavi kao problem procene stanja. Parametri 3D modela čine vektor  $X$  dok realnu sliku čini opservacija  $Y$ . Autori su primenili kondenzacione algoritme obzirom da imaju sposobnost da rade sa multimodalnom verovatnoćom opservacije distribucije koja nema odlike normalne. Uz pomoć sekvencijalne Monte Carlo metode (SMC) prevazilaze predimenzionisanost faktora u ovom složenom problemu.



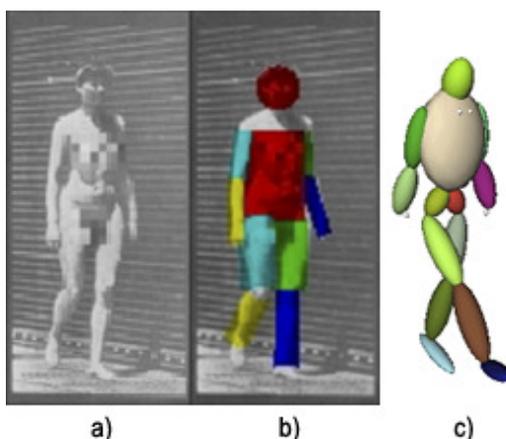
Slika 16 Model 19 spojeva sa analognih 19 3D ključnih tačaka (Saboune, Rose, & Charpillet, 2007)

Pristupi koji se zasnivaju na 2D modelima prema autorima (Gavrila & Davis, 1996) ne pokazuju dovoljno potencijala da reše pitanja promene ugla snimanja i samookluzije. Oni kao zagovornici 3D modela predlažu model sa 22 stepena slobode. Do njega dolaze primenom snimka iz dva ugla koji su u ortogonalnom odnosu. Time se dobija fronto normalni i fronto paralelni snimak. Njihov model koristi kvadarske segmente zasnovane na radu (Metaxas & Terzopoulos, 1993), obzirom da smatraju da jednostavni cilindri kakve predlažu (Marr & Nishihara, 1978) ne opisuju dobro pojedine segmente tela kao što su glava ili vrat. Ugradnja figure u model se vrši primenom *chamfer matching* procedure koja je opisana u radu do detalja. Manjkavost ovog metoda je što se oslanja na pogled iz više uglova koji nije uvek primenljiv u realnim situacijama.

Jedan od načina da se kreira volumetrički model predlaže segmentaciju ljudskog tela. Segmenti se predstavljaju elipsoidnim regionima koji se postavljaju na 2D projekciju slike. Autori (Bregler & Malik, 1998) predlažu korišćenje kinematičkog lanca koji određuje slobodu pokreta segmenata. Umesto da se poze i sloboda kretanja dobiju korišćenjem Eulerovih uglova, što se dosta koristi u praksi, oni se odlučuju za korišćenje uvertaja (eng. *twists*), što je koncept koji se može pronaći u robotici. Različiti segmenti tela su povezani i time čine kinematički lanac. Slobodu kretanja karika tog lanca određuju uvertaji udova uzimajući u obzir međusobnu povezanost i ograničenja. Na osnovu 3D projekcija se kreira eksponencijalna mapa koja se koristi prilikom projekcije 3D elipsoida na 2D snimak i time se segmentira koji deo tela pripada kom delu modela. Proces se odvija iterativno ali za inicijaciju postupka je potrebna interakcija. Autori su potom na osnovu parametara modela kreirali 3D animaciju koja predstavlja zabeleženi hod. Interesantno je da su za svoj eksperiment koristili sekvencu slika koja je sačinjena još

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

daleke 1884 godine od strane Eadweard Muybridge-a (1901). U to vreme nije bilo mogućnosti da se napravi video snimak već samo nepokretna fotografija. On je snimio nekoliko modela koji su hodali u otvorenoj šupi. Paralelno sa šupom su bile postavljene 24 kamere, po 12 sa obe strane šupe pod uglom od 90° ili 60°. Postignut *frame rate* sa ovom tehnologijom je upola manji od modernih kamera što je dodatno zakomplikovalo postupak. Uprkos tome autori su uspeali da ožive hod kroz animaciju 3D modela (Slike 17a i 17b).



**Slika 17** Elipsoidni model kinematičkog lanca zasnovan na uvtajima primenjen na Muybridge-ovim snimcima; a) originalni snimak iz 1884; b) primenjeni model na snimku; c) savremeni elipsoidni model predložen od (Urtasun & Pascal, 2004)

Sličan model zasnovan na elipsoidnim telima koristili su i (Urtasun & Pascal, 2004) (Slika 17c). Njihov pristup predlaže 3D temporalni model koji nije ranjiv na okluziju, stilove oblačenja i ugao snimanja obzirom da izvlači parametre stila 3D pokreta iz kompletne sekvence i koristi ih za klasifikaciju.

Pored strukturnih modela koji se dominantno zasnivaju na znanju iz anatomije i primenjenim konceptima iz fizike, značajan udeo u 3D modelovanju pokreta zauzimaju i pristupi koji se u nekom koraku procesa oslanjaju na statističke metode. Jedan od takvih metoda je predložen od strane Leventon i Freeman (1998). U njihovom modelu pokret se posmatra kao problem Bajesovog zaključivanja gde su 3D osobine modela zavisne od 2D reprezentacije subjekata u sekvenci slika. Procedura inicijalno primenjuje 2D praćenje pokreta i pritom pronalazi štapnu figuru na osnovu detekcije ključnih tačaka koje potom povezuje. A priori se formira model verovatnoća ljudskih pokreta zasnovano na visoko dimenzionalnoj Gausovoj raspodeli, tačnije kreiraju se pretpostavke narednog pokreta. Potom se podaci iz praćenja obrađuju na kraćem uzorku frejmova, konkretno na uzorku od 10 obzirom da su autori taj broj odredili kao relevantan. Na kraju algoritam izračunava najverovatniji trodimenzionalni isečak na osnovu podataka praćenja. Model je testiran na video sekvenci plesa baletana Mikhail Nikolaevich Baryshnikov-a i za prikaz modela je korišćen cilindrični model sličan (Hogg, 1983).

Statistički parametri su bili osnova pristupa (Ning, 2002) koji predlaže kombinovanje artikulisanog strukturnog 3D modela sa modelom pokreta. Kao ključni faktori se koriste uglovi spojeva na telu i brzina pokreta. U pristupu se inicijalno koristi Gausova raspodela za potrebe učenja modela pokreta, da bi se na osnovu utvrđenih karakteristika pokreta ustanovila zavisnost parametara pokreta i da bi se predstavili

kao zavisna distribucija. Obzirom da autori nisu zainteresovani za individualne sekvence hoda srednja vrednost i varijansa se uzimaju kao faktori sa celog trening skupa. Potom se integrišu u dinamički model da bi se postigla koncentracija uzoraka faktora u prostoru i vremenu sa a posteriori informacijama. Poređenje se radi korišćenjem dvodimenzionih slika primenom tehnika poređenja ivica i regiona (Ning, Wang, Hu, & Tan, 2002).

Na osnovu rada Leventona i Freemana (1998) predloženo je unapređenje modela (Howe, Leventon, & Freeman, 2000) kreiranjem a posteriori funkcije korišćenjem sume Gausove distribucije kao a priori raspodele verovatnoće. Autori koriste algoritam za praćenje predložen od (Ju, Black, & Yacoob, 96) koji je unapređen praćenjem celokupne ljudske figure i model svakog dela tela se kreira na osnovu proseka iz nekoliko prethodnih frejmova podešenih težinskim koeficijentima čime se eliminišu greške koje se često prenose u susedne frejmove. Za kreiranje vektora uzimaju se odsecci od 11 sukcesivnih frejmova, što čini oko trećinu sekunde. Ti podaci se koriste za grupisanje putem *k-means* algoritma i formira se Gausova raspodela za svaki klaster. Algoritam za očekivanje maksimizacije se koristi u a posteriori pristupu da bi se pronašao optimalni mix Gausove raspodele verovatnoće kao i da bi se utvrdio najbolji podskup trodimenzionalnog pokreta koji opisuje 2D pokret. Problemi su konstatovani u slučajevima lošeg osvetljenja, okluzije i nagle promene osvetljenja te uzrokuju grešku u algoritmu praćenja, naročito u dugačkim sekvencama.

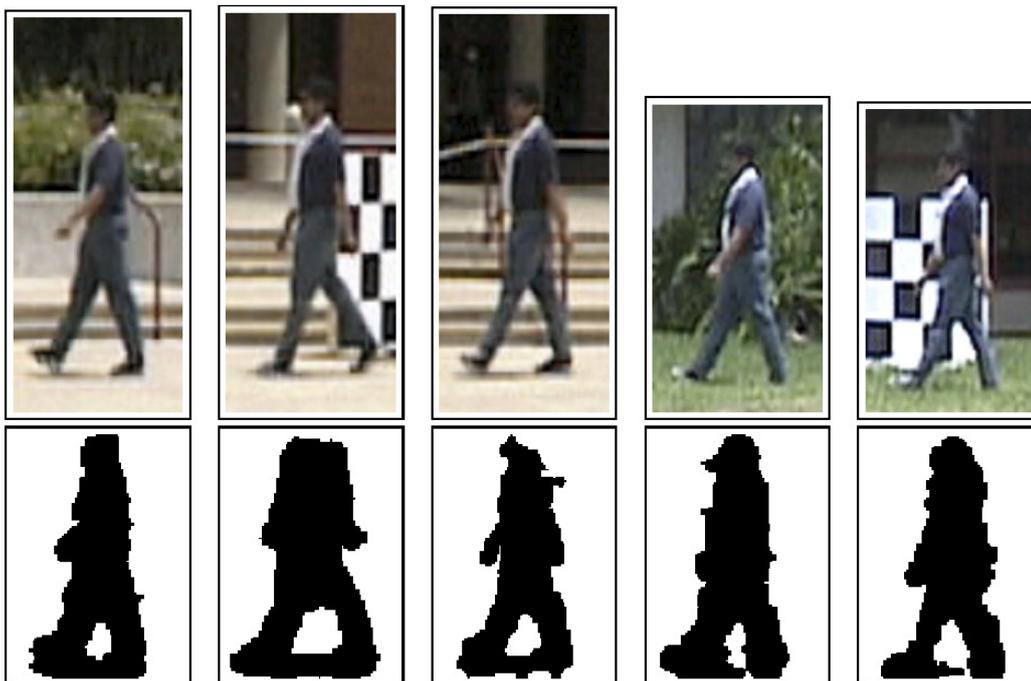
Jedan interesantan pristup (Moeslund & Granum, 2000) predlaže korišćenje faznog prostora za opis pokreta modela. Odlike faznog prostora podrazumevaju da se sva stanja sistema nalaze istovremeno u prostoru dok je dimenzionalnost sistema određena brojem karakteristika koje određuju stanja sistema. Autori koriste pristup analize putem sinteze (eng. analysis-by-synthesis AbS.) da detektuju model faznog prostora sa realnim slikama i na osnovu toga dobijaju pozu. Potom predlažu redukovani fazni prostor sa mnogo manje dimenzija i time dobijaju na pojednostavljenju modela. Fazni prostor se dodatno redukuje na osnovu motorike kretanja. Konačno se dobija fazni prostor malih dimenzija koji je pogodan kako za kako za inicijalnu procenu poze tako i za njenu procenu u realnom vmenu. Poklapanje se odvija na osnovu šeme boja i siluete što se pokazalo kao komplementarno.

### 3.3 Pristupi bez *a priori* modela (bezmodelni pristupi)

Osnovna karakteristika bezmodelnih pristupa je da se ne oslanjaju na model u procesu prepoznavanja hoda. Najbolji način da se objasni ovaj pristup je da se istakne da nije neophodno nikakvo prethodno znanje o ljudskoj figuri ili hodu da bi se krenulo u proces prepoznavanja. Najčešće se u bezmodelnim pristupima koriste siluete osoba koje se dobijaju subtrakcijom ljudske figure od pozadine slike. Nakon toga se pronalaze neke strukturne ili dinamičke karakteristike koje se koriste za prepoznavanje. U oblasti prepoznavanja na osnovu hoda nije neuobičajeno da se bezmodelne metode nazivaju metodama zasnovanim na siluetama, kako je između ostalih referencirano i u poznatoj enciklopediji biometrije (Li, 2009). Osnovna pretpostavka najvećeg broja pristupa, koji se zasnivaju na siluetama subjekta, je da se snimak dobija sa fiksirane kamere koja snima pod određenim uglom. Ideja koja pokreće radove u ovoj oblasti je proistekla iz osnovne činjenice da čovekov hod sadrži strukturne informacije i dinamičke informacije o samom pokretu. Obzirom da je tako, predpostavlja se da je moguće prepoznati određenu osobu na osnovu hoda tako što ćemo uzeti u obzir promene izgleda čovekove siluete tokom sekvence hoda (Wang, Tieniu, Ning, & Weiming, 2003).

U ovom skupu metoda jedan od vrlo važnih uvodnih procesa je segmentacija pozadine od ljudske figure. Jedna od najjednostavnijih metoda (Phillips, Grother, Sarkar, Robledo, & Bowyer, 2002) koje se koriste u ovu svrhu podrazumeva izračunavanje srednje vrednosti boja i vrednosti kovarijanse za svaki piksel kroz celu sekvencu. Potom se uz pomoć Mahalanobisove distance utvrđuje koji pikseli u svakom frejmu su dovoljno udaljeni da bi se moglo smatrati da su u prvom planu. Jedan od alternativnih pristupa predlaže korišćenje metode najmanje medijane kvadratnog odstojanja (Yang & Levine, 1992). Prvenstveno se određuje medijana odstojanja osvetljenosti svih piksela od pozadinskog osvetljenja, koja se potom koristi kao diskriminator za odvajanje objekta u prvom planu od pozadine.

Velika prednost bezmodelnih metoda je činjenica da u principu zahtevaju znatno manje računarske snage od modelnih metoda, te samim tim pružaju veći potencijal za korišćenje u realnom vremenu (Wang, Mary, Nahavandi, & Kouzani, 2010). Najveća prekretnica u oblasti bezmodelnih algoritama postavljena je predlogom takozvanog baznog algoritma (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005). Autori su uradili opsežnu studiju na velikoj bazi podataka. Primenili su bazni algoritam koji bi trebao da se koristi kao osnova za buduće poređenje svih drugih algoritama. Algoritam radi kroz četvorostepeni proces. Prvo se vrši detekcija figure u svakom frejmu koja se postavlja u detekcioni okvir. Ovaj proces se odvija poluautomatski. Drugi korak izvlači siluete iz detekcionih okvira (Slika 18). Treći korak zahteva izračunavanje perioda hoda iz silueta. Period se koristi za poravnavanje hoda za potrebe prostorno-vremenske korelacije. Konačno se izračunava sličnost između dve sekvence primenom prostorno vremenske korelacije. Važnost ove studije je istaknuta činjenicom da su autori koristili raznovrsnu bazu podataka koja je uključivala promene u obući, uglu snimanja i odeći. Uprkos činjenici da je studija rađena generički da bi se drugi algoritmi mogli testirati na istoj bazi i time se vršilo poređenje, problem se javlja kada neka od metoda značajnije odstupa od pristupa baznog algoritma. Na primer ukoliko se koriste drugačije karakteristike, alternativni način akvizicije podataka ili ukoliko se predloženi algoritam bavi problemom promenljive brzine hoda.



Slika 18 Izdvojene siluete iz video sekvence hoda za primenu baznog algoritma (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005)

Predlog baznog algoritma je doneo i druge pogodnosti. Osim što je bilo predviđeno da se taj algoritam koristi da bi se sa njim poredili drugi algoritmi, istraživači su dobili i drugu mogućnost. Ukoliko oni predlože neku promenu u procesu akvizicije ili ekstrakcije siluete mogu koristiti bazni algoritam da utvrde ispravnost svog metoda. Ova mogućnost je iskorišćena u jednom istraživanju (Kale, Roy Chowdhury, & Chellappa, 2003) gde su autori predložili metodu za ispravljanje ravni u odnosu na ravan snimanja i dovođenje u fronto paralelni pogled. Korišćenjem baznog algoritma dokazali su da ta metoda može biti relativno uspešna i pri uglu snimanja od  $45^\circ$ .

Kale i drugi (2004) uvode nekoliko novina u pristupe zasnovane na siluetama. Za subtrakciju silueta iz pozadine koriste neparametrički model (Elgammal, Harwood, & Davis, 2000). Nakon toga se postavlja okvir oko siluete. Kao karakteristiku autori predlažu korišćenje odstojanja krajnje leve i desne ivice siluete, tačnije širine siluete. Širina se računa za svaki red slike i time se dobija vektor karakteristika. U radu autori diskutuju o ispravnosti korišćenja ivica siluete u procesu računanja vektora karakteristika obzirom da u mnogome zavisi od kvaliteta siluete dobijene subtrakcijom. Korišćenjem dobrog modela za izdvajanje siluete i kombinovanjem sa erozijom šuma autori opravdavaju korišćenje ove mere. Ispitivanja sprovedena u ranijem istraživanju (Kale, Naresh, & Krüger, 2002) su pokazala da je svega polovina ciklusa hoda dovoljna i da nosi dovoljno i strukturnih i dinamičkih informacija za prepoznavanje, te se i u ovom postupku autori oslanjaju na polovinu ciklusa. Usled velike količine informacija koje se dobijaju iz ciklusa autori se odlučuju da primene neki metod redukcije informacija. Pažljivim ispitivanjem autori uviđaju da je moguće izolovati određene segmente ciklusa hoda koji se ponavljaju kod svih subjekata. Ti segmenti se mogu nazvati stavovi (Slika 19). U prvom stavu osoba je u stanju mirovanja. Drugi stav inicira korak i ruka je u blagoj elevaciji. U trećem stavu ruke i noge su razdvojene dok su u četvrtom

stavu na maksimalnoj međusobnoj udaljenosti. Peti stav predstavlja situaciju povratka u stanje mirovanja.



Slika 19 Pet detektovanih stavova kod dva subjekta u bazi (Kale, i drugi, 2004)

Na osnovu proučavanja stavova autori odlučuju da izaberu  $N$  stavova za svaku sekvencu hoda koji će predstavljati primere (eng. exemplars) na kojima će se raditi dalje procesiranje. Da bi izabrali najbolji uzorak primenjuje se *k-means* klasterovanje. Nakon određivanja reprezentativnih stavova, autori predlažu korišćenje Skrivenih Markovljevih Lanaca da bi se mapirale tranzicije između stanja i odredile verovatnoće prelaska iz stanja u stanje. Za svaku osobu se izračunava Skriveni Markovljev Lanac i oni se porede radi sličnosti. Sprovedeni eksperimenti pokazuju dobre rezultate.

Osnovna ranjivost ove metode je osetljivost na promenu ugla snimanja, obzirom da se stavovi teško izdvajaju u nekom drugom uglu snimanja osim fronto paralelnog. Pored toga činjenica da se sekvenca hoda redukuje na nekoliko stavova podrazumeva smanjenje informacija u odnosu na ono što je prikupljeno u procesu akvizicije, što može uticati na krajnju uspešnost metode.

Algoritmi koji analiziraju ljudski hod za potrebe prepoznavanja imaju pred sobom vrlo složen problem. Ljudski hod predstavlja prostorno vremenski problem. Čovekovo kretanje se odvija kroz vreme, a u video snimku je predstavljeno kao niz frejmova. Obzirom da se video snimak često kreće od 20 do 30 frejmova u sekundi, zavisno od metode analize i karakteristika koje se koriste, ovaj problem može biti visoko dimenzionalan. Uprkos visokim performansama današnjih računarskih sistema, ovakav problem koji uključuje previše faktora može biti i nerešiv ili bar nerešiv u domenu realnog vremena. Upravo iz tog razloga istraživači su pokušali da pronađu odgovarajuće metode za smanjenje dimenzionalnosti problema.

Istraživači se za potrebe redukcije dimenzionalnosti karakteristika najčešće okreću statističkim metodama. Najviše korišćene su analiza glavnih komponenti i linearna diskriminaciona analiza. One

pripadaju grupi tradicionalnih metoda ali se veoma često koriste u biometriji, naročito u metodama koje se zasnivaju na licu kao modalitetu (Belhumeur, Hespanha, & Kriegman, 1997).

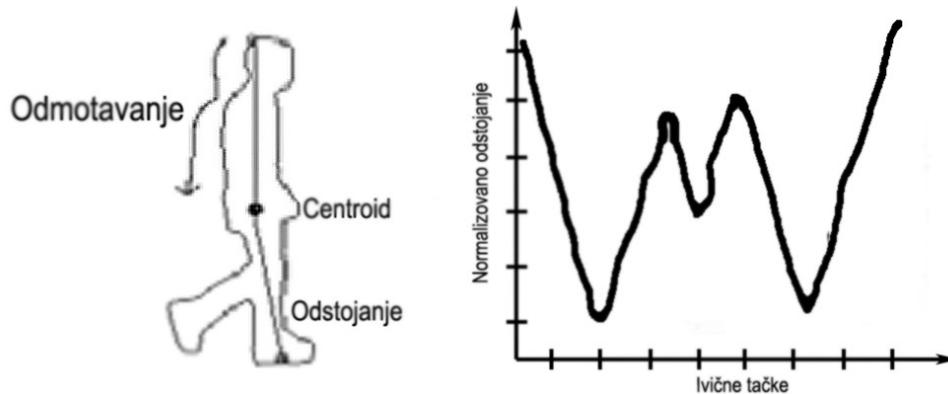
Hu i drugi (2010) su inicijalno primenili Gabor filter da bi oblik ljudskog tela predstavili kroz lokalne orijentacije i skaliranje. Nakon toga primenjuju analizu glavnih komponenti da bi smanjili dimenzionalnost karakteristika a kao dodatna tehnika se koristi i maksimizacija zajedničkih informacija (eng. Maximization of Mutual Information MMI). Nakon toga se za klasifikaciju i poređenje primenjuju Skriveni Markovljevi Lanci koji uzimaju pol osobe u obzir.

Tan i drugi (2007) se takođe oslanjaju na siluete kao način predstavljanja ljudskog hoda ali poseban osvrt daju na problem promene ugla snimanja. Predlažu proces koji će uključiti postprocesiranje da bi se silueta upravlja sa očekivanom pozom nakon čega sledi izdvajanje karakteristika, redukcija dimenzija i prepoznavanje. Da bi redukovali dimenzionalnost, prvo primenjuju analizu glavnih komponenti. Obzirom da ta metoda ne iskorišćava u potpunosti međuzavisnost u trening podacima kao što su unutar klasne i međuklasne karakteristike, autori primenjuju i linearnu diskriminacionu analizu. LDA se primenjuje da bi se maksimiziralo Euklidsko odstojanje između različitih klasa i minimiziralo unutar iste klase.

Značajna karakteristika analize glavnih komponenti je da ona očuvava one komponente koje najviše doprinose varijansi. Obzirom da postoji potreba da se očuvaju diskriminativne informacije predložena je generalna tenzorska diskriminativna analiza (Tao, Li, Wu, & Maybank, 2007) koja se koristi kao korak u preprocesiranju i pripremi za LDA. U odnosu na analizu glavnih komponenti ova metoda se bolje nosi sa problemom predimenzioniranosti u odnosu na trening uzorak. Pored toga očuvane su diskriminacione informacije. Konačno, postižu se bolje stope prepoznavanja jer algoritam za optimizaciju promenljivih projekcija za pronalaženje rešenja vremenom postiže konvergenciju.

Wang i drugi (2002) se oslanjaju na anлізу glavnih komponenti prilikom treninga skupa. Za proces prepoznavanja predlažu tehniku kojim značajno smanjuju troškove izračunavanja. Ta tehnika se zasniva na konverziji siluete u jednodimenzionu funkciju zasnovano na principu *skeletizacije* predloženom od strane (Fujiyoshi & Lipton, 1998). Kao ključna tačka se uzima centroid siluete do koga se dolazi statistički računanjem prosečnog odstojanja od ivice siluete ka unutrašnjosti figure. Računa se odstojanje od centroida do ivice siluete u smeru suprotnom od kazaljke na satu i tako se formira jednodimenzioni signal koji predstavlja karakteristiku siluete (Slika 20). Nakon toga se svi signali, dobijeni iz svih sekvenci svih subjekata, podvrgavaju eigenvektor dekompoziciji radi redukcije dimenzionalnosti problema. Predložena su i određena unapređenja procesa konverzije siluete u jednodimenzioni signal i jedan predloženi model (Baltazar, Guedes, Pennycook, & Gouyon, 2010) podrazumeva odstupanje od zvezdane strukture koja koristi centroid kao osnovu i oslanja se na tačke koje su referentne za kretanje ekstremiteta kao što je centar odstojanja između ruku i glave kao i centar karlice.

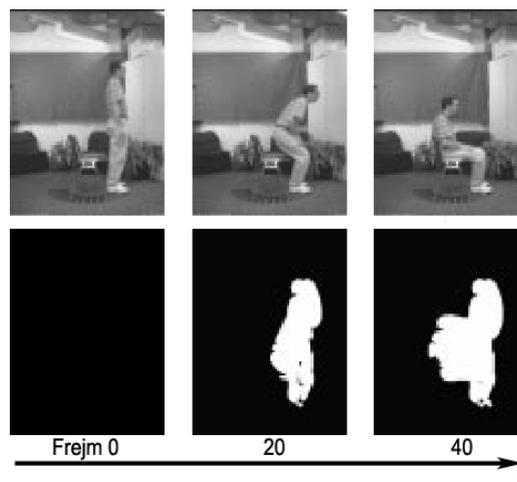
Princip odmotavanja silueta se može koristiti i na uzorcima silueta dobijenih iz nekoliko različitih perspektiva snimanja (Lu & Zhang, 2007). Iz dobijenih signala se potom uzimaju odgovarajuće karakteristike koje se mogu koristiti u svrhu prepoznavanja. Autori koriste tri različite analize za tri različite perspektive snimanja i za tako dobijene jednodimenzione signale.



Slika 20 Konverzija siluete u jednodimenzioni signal odmotavanjem figure (Wang, Hu, & Tan, 2002)

Osnovni razlog za korišćenje metoda za redukciju dimenzionalnosti je da se pokuša smanjenje obima izračunavanja i time utiče na poboljšanje performansi metode. Osim statističkih metoda koje su pokazale puno potencijala postoje i drugi mogući pristupi. Obzirom da video sekvenca predstavlja smenu nepokretnih slika kroz vreme, svaki pokušaj analize nekog sadržaja video snimka predstavlja prostorno-vremenski problem. Suštinski značajna redukcija kompleksnosti sistema se može učiniti primenom takozvane akumulacije. Akumulacija se može vršiti prostorno, vremenski ili prostorno vremenski. Ovaj pravac je pokrenuo jednu vrlo uspešnu granu u prepoznavanju na osnovu hoda.

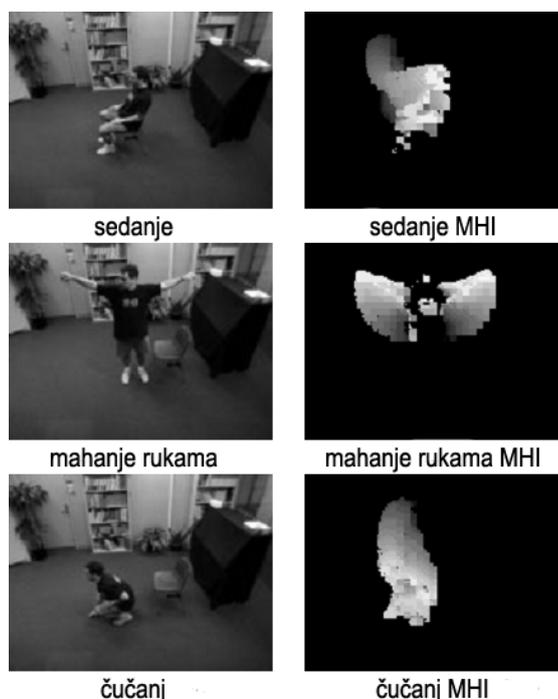
Jedan od prvih načina vršenja prostorno-vremenske akumulacije je korišćenje Slike Istorije Pokreta (eng. Motion History Image) (Bobick & Davis, 2001) u daljem tekstu MHI. Osnovna ideja iza MHI je da se predstavi kako se odvija pokret tako što će se video sekvenca akumulirati u jednu nepokretnu 2D sliku koja će oslikavati segmente gde se događa pokret. Inicijalno autori kreiraju Sliku Energije Pokreta (eng. Motion Energy Image) u daljem tekstu MEI. Pretpostavka je da se subjekt kreće ispred nepokretne pozadine i da je moguće detektovati promene u pokretu u odnosu na pozadinu. MEI se kreira tako što se u sekvenci video snimka zabeleže svi pikseli koji su od početka do kraja snimka doživeli promenu i time odrazili pokret. Na osnovu toga se formira oblik subjekta u kretanju koji predstavlja MEI (Slika 21).



Slika 21 MEI slika dobijena na kraju sekvence od 40 frejmova osobe koja seda.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Nakon kreiranja odgovarajuće MEI, prelazi se na kreiranje MHI. Oblik utvrđen sa MEI omogućuje da se funkcija ne primenjuje u celom opsegu slike tokom video sekvence već samo u oblasti koju je MEI identifikovala kao segment slike u kome se pokret događa. U MHI intenzitet svetline svakog piksela u slici se određuje vremenskom istorijom promene tog piksela u video sekvenci. Kao rezultat dobija se slika gde su pikseli koji su u prethodnim frejmovima promenjeni, svetliji i time ukazuju na nedavni pokret (Slika 22).



Slika 22 MHI reprezentacija pokreta (desno) predstavljenog završnom slikom (levo) (Bobick & Davis, 2001)

Pošto su kreirani obrasci u vidu MEI i MHI može se preći na proces prepoznavanja. Za taj proces mogu se podjednako koristiti i MEI i MHI ili pojedinačno. Prepoznavanje se može raditi standardnim metodama za prepoznavanje paterna ili nekim koje će biti razvijene za tu svrhu. Konkretno se mogu koristiti i CBIR (Content Based Image Retrieval) tehnike, a naročito one zasnovane na obliku pogotovo u slučaju MEI. O važnosti ovog pristupa u računarskoj analizi ljudskog pokreta i različitim primenama u praksi nedavno su pisali Ahad i drugi (2012).

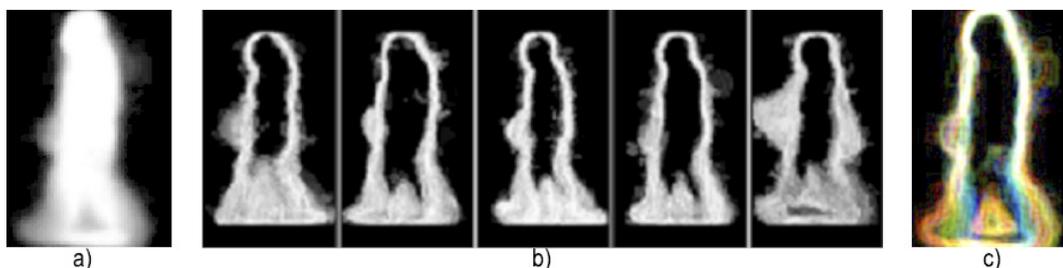
MHI i MEI predstavljaju generičke metode koje omogućuju rad sa bilo kakvim pokretom na slici. Kada je u pitanju ljudski hod potrebno je uzeti u obzir neke faktore koji hod razlikuju od drugih ljudskih pokreta. Hod je pre svega cikličan, određeni obrasci se ponavljaju tokom vremena. Takođe čovek tokom hoda menja položaj i kreće se duž nekog konkretnog pravca u određenom smeru. Samim tim ukoliko se kreira MEI za hod subjekta koji na primer prolazi paralelno pored kamere, dobila bi se MEI koja bi oslikavala oblik kompletne sekvence hoda i verovatno bi ispunjavala ceo kadar video snimka. Kada bi se nakon toga kreirala MHI ona bi predstavljala takozvani efekat „duha“ gde bi ostao jasan trag čovekove siluete tokom prolaska. Takva slika bi bila neadekvatna za potrebe prepoznavanja jer bi se izgubile karakteristike ljudske siluete dok bi se istovremeno dobila prevelika površina za pretraživanje. Upravo iz tog razloga zasnovano na MEI i MHI predložen je novi obrazac pod nazivom Energetska Slika Hoda (eng.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Gait Energy Image) (Han & Bhanu, 2006) u daljem tekstu GEI. GEI se formira tako što se prvenstveno izvrši ekstrakcija siluete iz svih frejmova video sekvence. Nakon toga se siluete poravnavaju tako da se stiže utisak da osoba hoda u mestu. Poravnavanje se vrši uz pomoć horizontalnog centroida figure koji se na poseban način izračunava i takođe se prilikom poravnanja vrši skaliranje figure ukoliko je potrebno u slučaju pojave efekta luminga tokom kretanja. Ukoliko se subjekt snima na mehaničkoj traci moguće je preskočiti ovaj korak poravnavanja. Na ovako kreiranoj reprezentaciji pikseli sa većim intenzitetom predstavljaju segmente gde je kretanje intenzivnije (Slika 23a). Pozitivna strana ovog metoda je, pored ostalog, i znatno manja ranjivost na šumove u siluetama obzirom da se preklapanjem slika gubi uticaj šuma i dolazi do izraženosti realne ivice siluete. Za potrebe prepoznavanja na osnovu kreiranih slika autori primenjuju analizu komponenti i diskriminacionu analizu. U ovom konkretnom istraživanju autori su pristup testirali na USF HumanID bazi podataka (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005) i postigli poboljšanje u odnosu na bazni algoritam.

Uprkos činjenici da GEI predstavlja dobar princip akumulacije sekvence hoda, problem je što se dinamičke varijacije između susednih frejmova u hodu gube iterativnim postupkom akumulacije. Da bi se rešio taj problem i očuvale i prostorne ali i vremenske informacije Liu i Zheng (2007) predlažu novu vrstu akumulacije hoda zvanu Istorijska Slika Hoda (eng. Gait History Image GHI). Obzirom da se kreiranjem GEI i GHI dobija jedna slika kao reprezentacija sekvence hoda, rezultujući trening skup može biti dosta ograničen što prema mišljenju naučne zajednice ne pruža dovoljno podataka za proces treninga. Kao rešenje Ma i drugi (2007) predlažu korišćenje Slika Trenutaka Hoda (eng. Gait Moment Image) u daljem tekstu GMI. Za razliku od prethodnih tehnika akumulacije GMI predlaže uzimanje određenog uzorka frejmova iz video sekvence i za svaki od njih kreiranje adekvatne GMI. U GMI intenzitet piksela je određen verovatnoćom da će se silueta naći na mestu odgovarajućeg piksela u odgovarajućem ključnom momentu (Slika 23b).

Interesantan pristup u očuvanju vremenskih informacije predlažu Wang i drugi (2010) uvođenjem boja u postojeće tehnike. Njihova osnovna pretpostavka se zasniva na ideji da se boje mogu koristiti kao funkcija vremena, koju pozajmljuju iz oblasti vremenskog kodiranja na osnovu boja, a koje je poznato u zajednici računarske vizije (Woodring & Shen, 2003). Korišćenjem iste tehnike za preklapanje silueta kao kod GEI i GHI i uvođenjem novine da se umesto intenziteta svetline piksela koristi boja koja odgovara poziciji u spektru zavisno od vremena (Slika 23c), dobija se Hrono Slika Hoda (eng. Chrono-Gait Image CGI).



Slika 23 Primeri prostorno vremenskih sumarizacija: a) Gait Energy Image (GEI); b) Gait Moment Image (GMI); c) Chrono-Gait Image (CGI)

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

---

Prostorno-vremenska akumulacija u metodama koje su zasnovane na siluetama ima puno prednosti. Znatno se smanjuje količina potrebnog izračunavanja i skraćuje vreme potrebno za prepoznavanje. Takođe velika je prednost što se akumulacijom postiže uspeh u odstranjivanju šumova kod silueta. Šumovi se uglavnom javljaju sporadično kad dođe do neuspešne segmentacije od pozadine. Ali značajno veći problem se dešava u situacijama kada su šumovi drastični, što je karakteristično u situacijama ozbiljne okluzije. Akumulacija u tim slučajevima može dati pogrešnu sliku obzirom da je uticaj okluzije značajan na sumarnu sliku što nije slučaj kada se radi sa pojedinačnim frejmovima gde se takva odstupanja mogu zanemariti ili im se može umanjiti značaj. Upravo iz tog razloga predložen je specifičan model Energetske Slike Razlike Frejmova (eng. Frame Difference Energy Image) (Chen, Liang, Zhao, & Tian, 2009) u daljem tekstu FDEI. Osnovna ideja iza ovog pristupa je da se nekompletnosti siluete u jednom frejmu mogu ispraviti korišćenjem informacija iz drugih frejmova sekvence. Proces se odvija tako što se ciklus hoda deli u klaster za koje se kreira posebna energetska slika. Broj frejmova u klasteru se dobija analizom distorzije kroz frejmove i ukoliko ne dolazi do promene nakon izvesnog broja taj broj se uzima za veličinu klastera. Razlika između frejmova se računa kao razlika između dva uzastopna frejma. Pozitivni deo dobijene razlike sadrži pokretne piksele i nekompletne delove. FDEI reprezentacija frejma se formira kao suma odgovarajuće energetske slike klastera i pozitivnog dela razlike između frejmova (Slika 24).



**Slika 24 Primer kreiranja FDEI slike (skroz desno) na osnovu nekompletne siluete (skroz levo) i narednog frejma (sredina)**

Alternativni pristup (Liu, Zheng, & Xiong, 2009) predlaže korišćenje težinskih koeficijenata za dobijene akumulacije u procesu prepoznavanja. Težinski koeficijenti bi zavisili od kvaliteta siluete koja predstavlja jednu sekvencu hoda. Autori su predložili metod za kvantifikaciju kvaliteta siluete zasnovan na konverziji prvog plana u jednodimenzioni signal i potom procesiranju dobijenog signala. Nakon toga se određuju težinski koeficijenti koji određuju kompetentnost određene akumulacije u procesu prepoznavanja.

Jedan vrlo interesantan pristup (Xue, Ming, Song, Wan, & Jin, 2010), koji takođe kao akumulacionu tehniku koristi GEI, predlaže da se akvizicija sekvence ljudskog hoda radi uz pomoć infracrvene termalne kamere. Osnovni doprinos ovakve tehnike je da bi se termalnom kamerom znatno bolje izdvojila ljudska figura od pozadine. Najčešće subjekt prolazi ispred pozadine čija je temperatura znatno niža od njegove telesne temperature. Upravo iz tog razloga čovekova figura se jasno segmentira na osnovu boja koje su određene temperaturom pojedinih delova tela. Iako temperatura čovekovog tela nije u svim delovima podjednaka, pa time ni boje zabeležene termalnom kamerom nisu u svim segmentima iste, ipak se

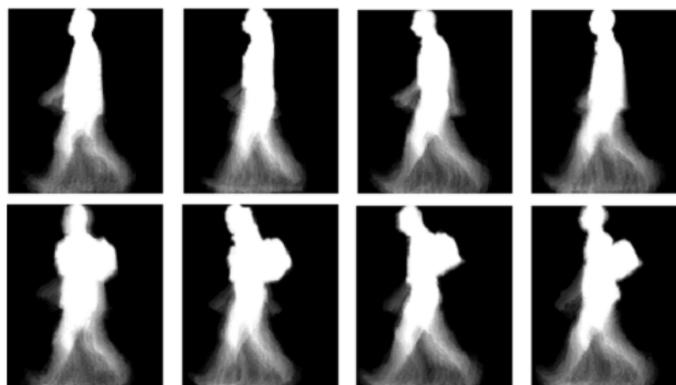
## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

postiže značajna razlika u odnosu na pozadinu ispred koje hoda i segmentira se znatno pravilnija silueta (Slika 25.). Nakon što se izvrši ekstrakcija siluete postupak kreiranja GEI je isti kao i u prethodnim primerima i mogu se koristiti iste tehnike za prepoznavanje.



Slika 25 Proces segmentacije siluete iz snimka termalne kamere i kreiranje odgovarajuće GEI

Prilikom kreiranja akumulacije kao što je GEI, jasno se mogu uvideti delovi slike u kojima je znatno izražen pokret kao i delovi slike koji su većinom statični. Na osnovu toga Pratheepan i drugi (2009) predlažu da se kreiraju Obrasci Dinamičke Siluete (eng. Dynamic Silhouette Templates (DST)) i Obrasci Statične Siluete (eng. Static Silhouette Templates (SSTs)). DST uzima u obzir karakteristike pokretnog dela slike, konkretno ruku i nogu dok se SST oslanja na karakteristike dobijene iz torzoa. Konačno formira se i Dinamičko Statični Obrazac Siluete (eng. Dynamic Static Silhouette Template (DSST)) koji je spoj dve prethodne i na kome se takođe može raditi prepoznavanje. U svojoj studiji su testirali prepoznavanje na dva skupa sekvenci hoda, prvom kontrolnom u kom subjekti nisu imali objekte u rukama, i drugom testnom u kome su bili opterećeni različitim torbama i težom odećom (Slika 26). Obzirom da je u testnom skupu snažan uticaj asesoara na SST, autori primenjuju izvesne algoritme da uklone varijacije izazvane tim objektima. Tom prilikom se oslanjaju na rad Hu i drugih (2006) koji su dokazali da je ljudsko telo simetrično pri prirodnom hodu. Upravo im simetrija pomaže da dobiju stalnu osnovu u odnosu na koju se vrši subtrakcija odevnih predmeta i asesoara. Rezultati testiranja su pokazali značajan napredak njihove metode u odnosu na konvencionalnu GEI metodu u slučajevima promene u garderobi i asesoaru.



Slika 26 GEI slike kontrolnih sekvenci u normalnim odevnim uslovima (prvi red) i testnih sekvenci u uslovima sa otežanim odevnim predmetima i sa asesoarom (drugi red)(Pratheepan, Condell, & Prasad, 2009)

### 3.4 Uticaj ugla snimanja na postojeće pristupe

Čovekov hod predstavlja ciklični događaj koji odlikuje jedna vrlo važna osobina, usmerenost. Tokom hoda čovek se uglavnom kreće tokom relativno prave putanje u određenom smeru. Ukoliko je potrebno da se prilikom hoda zaobiđe neka prepreka ili skretanjem promeni pravac, čovek će to uraditi tako da maksimalno skрати moguću putanju i ukoliko je moguće maksimalno zadrži postojeći pravac kretanja.

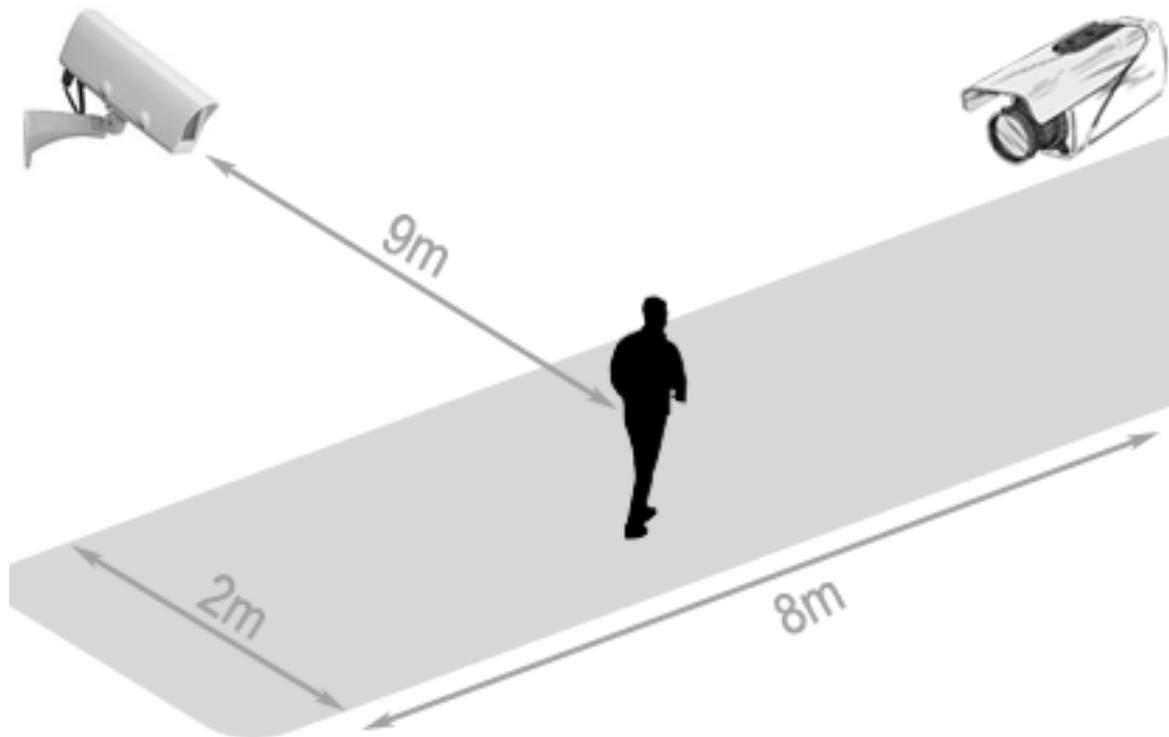
Ukoliko se snima nepokretnom kamerom, kakva je najčešće situacija u sistemima za prismotru, čovekov hod će biti snimljen iz određenog ugla koji posmatra jednu ravan. Zavisno od toga kojim se pravcem čovek kreće u odnosu na statičnu kameru dobija se snimak koji odslikava određenu perspektivu ljudskog hoda. Zavisno od položaja čovekovog tela u odnosu na statičnu kameru, određeni delovi tela su izloženi pogledu dok su drugi prikriiveni.

Specifičnost ljudskog hoda oslikava se u činjenici da se najviše kretanja odvija medijalno u pravcu ose kojom se čovek kreće. Lateralni pokreti su znatno umereniji i teže se detektuju. Upravo iz tog razloga, najviše interesovanje istraživača izaziva upravo ugao snimanja gde subjekt prolazi normalno sa pravcem snimanja kamere (Fronto-Paralelni ugao) i ujedno su u njemu postignuti najveći uspesi (Kale, Roy Chowdhury, & Chellappa, 2003). Nažalost, primenljivost Fronto-Paralelnog (FP) snimanja u realnim uslovima prismotre je diskutabilna. U najvećem broju slučajeva CCTV (Closed Circuit Television) kamere, koje su najčešće u sistemima za prismotru, se postavljaju na uglove zgrada i plafone u hodnicima (Constant & Ridgeon, 2000) i time su mnogo bliži snimanju subjekta kako se kreće u pravcu objektiva kamere (Fronto-Normalni (FN) ugao). Analizom postojećih metoda koje se oslanjaju na FP ugao snimanja može se zaključiti da je upravo priroda pokreta tokom hoda omogućila uspeh nekim istaknutim metodama. Najviše uspeha postignuto je u grupi bezmodelnih pristupa koji se zasnivaju na FP uglu snimanja. Bez obzira da li se radi analiza kompletne sekvence video snimka hoda ili se vrši neki oblik prostorno-vremenske akumulacije, najviše dinamike pokreta se može zabeležiti posmatranjem subjekta sa strane. Ukoliko je umanjena mogućnost detekcije dinamičkih informacija ostaju samo fiziološke karakteristike figure koje teško mogu dati dobro razdvajanje nad većim grupama subjekata. Osnovno ograničenje koje dovodi do ovog problema je korišćenje takozvane monokularne kamere za potrebe akvizicije. Kada monokularna kamera snima osobu iz FN ugla, rezultat je sekvenca dvodimenzionalnih slika koje se menjaju u vremenu. Za razliku od FP ugla snimanja, razlike između slika koje čine frejmove video sekvence su znatno manje. Pomeraj nekog ekstremiteta se vrlo teško detektuje jer se kroz veliki broj frejmova ruka ili noga praktično nalaze u istom regionu slike. Obzirom da se osoba kreće prema objektivu kamere većina medijalnih pokreta ostaje prikriivena. Takođe izražen je problem luminga o kome će biti više reči u kasnijim sekcijama.

Uprkos činjenici da korišćenje FN ugla snimanja za potrebe prepoznavanja na osnovu hoda donosi mnoge izazove i potencijalne probleme, njegova primenljivost u realnim životnim situacijama je neporeciva i samim tim se kandiduje kao vrlo interesantan problem za istraživanje. Postoje mnoge realne situacije u kojima je FN ugao snimanja prirodan i već se koristi kao deo sistema prismotre. Najčešće ukoliko se osoba kreće prema nekom objektu logično je da se kamera nalazi upravo na objektu prema kome se osoba kreće. Takve situacije su brojne, a najčešće su vezane za pristup određenim prostorijama ili objektima. Ukoliko osoba prilazi nekim vratima ili se kreće uskim hodnikom pod prismotrom, najjednostavnije je koristiti FN ugao snimanja. Dodatni argument za istraživanje pristupa

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

koji se oslanjaju na FN ugao snimanja jeste činjenica da je za takav pristup potrebno znatno manje prostora nego za FP ugao snimanja. Iako su prostorna ograničenja u velikoj mjeri određena potrebama algoritma za analizu, evidentno je da je zbog prirode kretanja i vidljivog ugla kamere potrebno više prostora za akviziciju FP uglom snimanja nasuprot FN ugla (Slika 27).



**Slika 27 Dimenzije prostora potrebne za akviziciju Fronto-Paralelnim i Fronto-Normalnim uglom snimanja**

Uprkos mnogim izazovima koji su karakteristični za pristupe zasnovane na FN uglu snimanja, istraživači su uvideli važnost ovakvog pristupa i FN ugao snimanja dobija sve više pažnje u ovoj oblasti. Obzirom da je smanjen broj informacija koje se mogu očitati putem FN ugla snimanja neki istraživači su pribegli tumačenju ljudskog pokreta kroz efekte koje kretanje proizvodi. Obzirom da se znatno teže detektuje iskorak Goffredo i drugi (2008) su pokušali da vide kakav efekat iskorak ima na ostale segmente tela koji ulaze u vidno polje kamere. Ljudski hod je cikličan i utiče na promenu simetrije ljudske figure. Konkretno, iskorakom se pomera centar teže i telo se naginje u jednu stranu. Takođe telo pravi izvesne kompenzacije ekstremitetima radi održanja ravnoteže. Autori predlažu da se na osnovu položaja koje telo zauzima mogu vršiti prepoznavanja. Da bi zabeležili promene u pozama ljudskog tela oni uzimaju pojednostavljenu meru koju određuje širina i visina siluete subjekta kroz frejmove video sekvence. Suštinski oni ljudsku siluetu, koja se prvo ekstrahuje iz pozadine, stavljaju u takozvanu ograničavajuću kutiju (eng. bounding box). Konkretno u pitanju je pravougaonik koji određuju najudaljenije tačke siluete u svakom frejmu video sekvence (Slika 28). Kao meru poze u datoj tački u

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

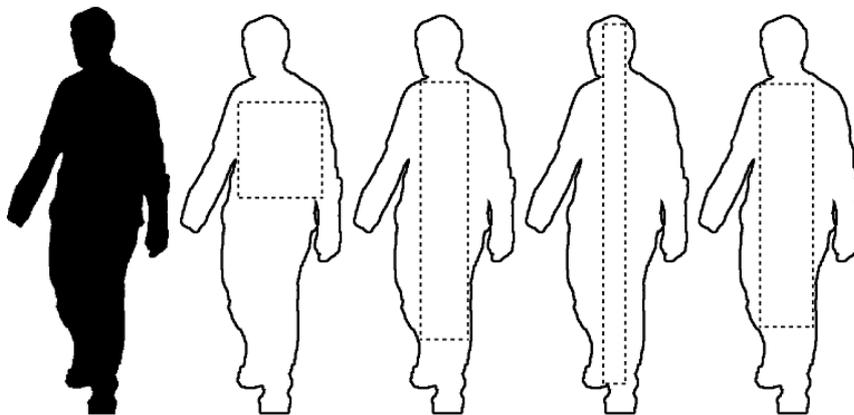
---

vremenu uzima se površina pravougaonika koji ovičava figuru. Pošto subjekt hoda u pravcu kamere, dolazi do vizuelnog povećanja njegove figure usled izmenjene vizuelne percepcije, i autori primenom skaliranja prvo normalizuju siluete. Testiranje je rađeno na sopstvenoj bazi od 10 korisnika kao i na dve otvorene od kojih je veća imala 50 subjekata. Prijavljeni rezultati su obećavajući.



Slika 28 Korišćenje "bounding box" dimenzija kao karakteristike (Goffredo, Carter, & Nixon, 2008)

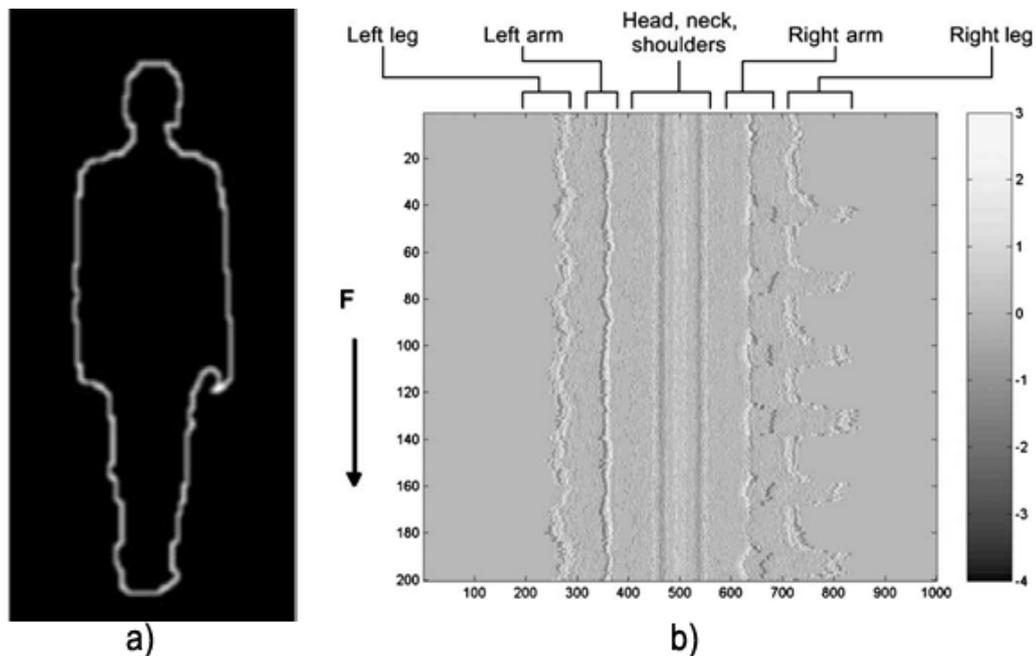
Vrlo sličan pristup (Barnich & Van Droogenbroeck, 2009) podrazumeva korišćenje umetnutih pravougaonika u siluetu subjekta. Da bi se utvrdila karakteristika za proces prepoznavanja koristi se poseban oblik pretraživanja prostora siluete tako što se kreira unija svih mogućih pravougaonika čije maksimalne dimenzije staju u siluetu bez prekida ivice (Slika 29). Autori su uzeli u obzir da je broj mogućih pravougaonika koji se mogu ugraditi u siluetu za pojedine siluete izuzetno visok, nekad prevazilazi i hiljadu, te su predložili izvesnu redukciju problema tako što će se koristiti distribucija koja je ograničena sa nekoliko pravila, na primer uzima se najveći broj pravougaonika koji sadrži određeni piksel u torzou i pravougaonici sa najvećom visinom koji prolaze kroz noge i glavu siluete. Autori su testirali performanse na nekoliko sopstvenih baza i jednoj otvorenoj i postigli zavidne rezultate, čak i na snimcima kamera za prismostru niske rezolucije. Takođe analizom se pokazalo da metoda ne dobija značajno na uspešnosti ukoliko se koriste snimci zabeleženi u višoj rezoluciji.



Slika 29 Korišćenje unije umetnutih pravougaonika (Barnich & Van Droogenbroeck, 2009)

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Osim silueta postoje i alternativni pristupi koji se zasnivaju na FN uglu snimanja. Jedan od tih pristupa podrazumeva korišćenje ivice figure subjekta tokom hoda (Soriano, Araullo, & Saloma, 2004). Proces podrazumeva prvenstveno morfološko čišćenje slike da bi se dobila kontrastna slika figure na pozadini suprotne boje. Nakon toga se vrši detekcija ivice i dobija se oivičena figura (Slika 30a). Autori predlažu korišćenje takozvanog rasporeda krivih linija, koje opisuju kretanje pojedinih delova tela. Konkretno, tokom hoda iscrtavaju se pomeraji segmenata ljudskog tela u prostoru slike tako što se izračunava njihovo odstojanje od centra. Kao rezultat se dobija zapis signala koji zavisi od pokreta u vremenu. Najlakše je objasniti poređenjem sa Elektro-Encefalogram (EEG) tehnologijom. Ukoliko se zamisli da su igle EEG aparata zakačene za krajnje delove tela, kao što su glava, vrat, ramena, ruke i noge, igle će iscrtavati pokrete delova tela. Ukoliko ima manje lateralnih pokreta linija će biti ravnija dok će kod delova gde je više pokreta linija će biti sa više krivina (Slika 30b). Tako kreiran raspored krive može se koristiti kao jedinstveni potpis čovekovog hoda i koristiti u prepoznavanju. Ispravnost metode je proverena na izuzetno maloj bazi od 12 video sekvenci, 4 osobe sa po 3 prolaska i dobijeni su dobri rezultati. Nažalost veličina korišćene baze ne daje dovoljno prostora da se metoda ozbiljnije ispita.



Slika 30 a) oivičena figura; b) raspored krivih za različite delove tela (osa Y (F) predstavlja broj frejmova)

Razvijanjem posebnih metoda za različite uglove snimanja rešava se svega deo problema. Bez obzira koliko je određeni ugao snimanja zastupljen i praktičan, kao na primer FN, uvek će postojati različite situacije u kojima se koriste drugačiji uglovi. Ono što znatno otežava situaciju jeste činjenica da određeni biometrijski sistem najčešće se oslanja na određeni ugao snimanja, za koji se i vrši upisivanje u bazu putem akvizicije, ali se vrlo često dešava da se zavisno od okolnosti zabeleži subjekt koji prolazi pod potpuno ili delimično drugačijim uglom. U tim situacijama sistem je primoran da vrši prepoznavanje na skupu koji ima u bazi, koji je akviziran na jedan način, dok mu je uzorak za poređenje pribavljen na

potpuno drugi način. Kada su takve okolnosti u pitanju, biometrijskim sistemima značajno padaju performanse i prepoznavanje vrlo često nema mnogo bolju preciznost od pukog pogađanja.

Iz napomenutih razloga sve više na značaju dobijaju metode i algoritmi koji su nezavisni od ugla snimanja. Da bi se postigla nezavisnost od ugla snimanja postoji nekoliko različitih pristupa.

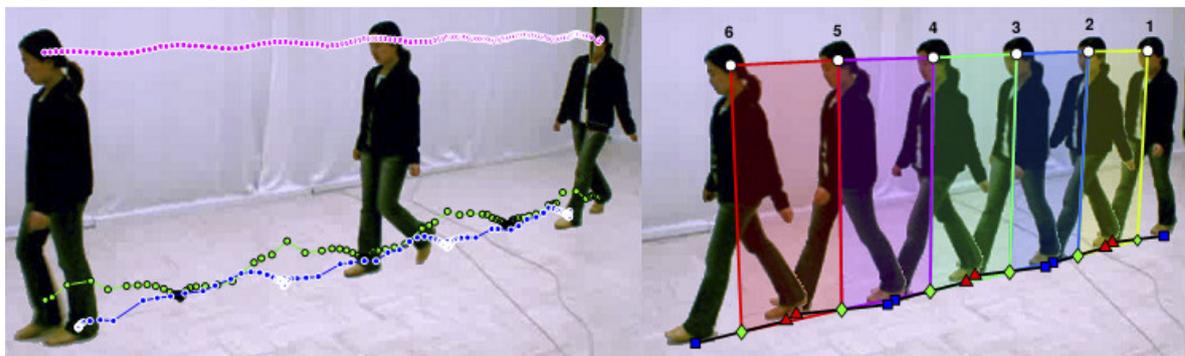
Prvi podrazumeva korišćenje specijalizovanih senzora koji omogućuju da se dobije adekvatan model čoveka i da se potom prati nezavisno od ugla tako što će se podaci ugraditi u model. Takvi senzori mogu biti nosivi ili to mogu biti napredne 3D kamere. Drugi način podrazumeva kreiranje sofisticiranih 3D modela koji bi omogućili da se podaci dobijeni 2D monokularnim kamerama ugrade u model i prate nezavisno. Ovakve metode su veoma ranjive, obzirom da se uvek nađe određena situacija i položaj u kome je vrlo teško poistovetiti segmente slike sa delovima modela. O prvom i drugom pristupu je bilo više reči u prethodnim poglavljima.

Treći pristup podrazumeva primenu neke vrste translacije ravni kretanja u željenu ravan. Ukoliko je vektor karakteristika zavisan od usmerenosti ljudske figure mogu se primeniti razne tehnike koje bi nakon akvizicije tehnikama preprocesiranja postavile figuru čoveka u odgovarajući položaj time lažirajući situaciju kao da kamera snima pod željenim uglom.

Jedan takav pristup (Kusakunniran, Wu, Zhang, & Li, 2010) predlaže akviziciju putem jednog ugla snimanja, konkretno FP ugla obzirom da je najpovoljniji za detekciju dinamike pokreta, i potom transformaciju u različite uglove snimanja zasnovano na trening grupi gde su svi ti uglovi zabeleženi. Ovakav pristup se naziva Model Transformacije Pogleda (eng. View Transformation Model (VTM)). Autori koriste GEI akumulacije kao karakteristiku za prepoznavanje. Potrebno je samo da se za potrebe prepoznavanja detektuje ugao pod kojim se subjekt kreće i da se za prepoznavanje koristi baza dobijena transformacijom u taj ugao. Autori su na jednoj otvorenoj bazi izvršili nekoliko eksperimenata za nekoliko različitih uglova snimanja. Takođe su se pozabavili sličnošću karakteristika između konkretnih uglova snimanja i indikovano je da je najveća sličnost u transformaciji iz  $36^\circ$  u  $54^\circ$ ,  $54^\circ$  u  $72^\circ$  i  $72^\circ$  u  $90^\circ$ . Može se zaključiti da se malim pomeranjem ugla kamere postiže veća sličnost nego većim pomeranjem.

Makihara i drugi (2006) se nisu zadovoljili mišljenjem da je najpovoljnije osloniti se na FP ugao snimanja kada se koristi model sa jednom referencom, već su nizom eksperimenata pokušali da ustanove koji uglovi snimanja daju najbolje performanse za primenu VTM. Njihov rezultati su pokazali da je najbolje koristiti ugao snimanja koji je između FP i FN od  $45^\circ$  i  $135^\circ$  jer se tako postižu najbolje performanse u transformaciji.

Osim korišćenja kumulativnih slika i njihovih transformacija, moguće je koristiti i trajektorije delova tela kao osnovu za transformaciju. Jedan pristup (Jean, Branzan, & Bergevin, 2009) se oslanja na pokrete glave, leve i desne noge da bi se došlo do informacije o ravni kojom se subjekt kreće. Sistem prati trajektorije pomenutih delova tela i pronalazi ravan kretanja za svaki poluciklus hoda. Poluciklus je najbolja odrednica jer se onda za uglove pravougaonika koji određuju ravan može uzeti glava iz početka i kraja poluciklusa hoda, dok se za druga dva ugla uzima srednje odstojanje iskoraka (Slika 31). Konačno se vrši matematička transformacija iz ravni kretanja u očekivanu ravan. Autori konkretno koriste preslikavanje u FP ravan i potom se transformisana sekvenca koristi za prepoznavanje. Takođe uzeta je u obzir mogućnost krivolinijskog kretanja, gde se pokazalo da je odabir poluciklusa hoda prilikom detekcije ravni pružio dovoljno male segmente pravolinijskog kretanja koji zajedno sačinjavaju krivolinijsku putanju. Transformacije u dalju željenu ravan se jednostavno dobijaju konvertovanjem pojedinačnih ravni i njihovim povezivanjem u isti pravac kretanja.



Slika 31 Detekcija trajektorija glave i nogu i potom utvrđivanje ravni za poluciklus hoda (Jean, Branzan, & Bergevin, 2009)

### 3.5 Uticaj brzine i tempa hoda na postojeće pristupe

Izuzetno važna karakteristika čovekovog hoda je brzina kretanja. Postoji prihvaćeno mišljenje da se ljudi najčešće kreću istom brzinom, koja odražava njihov prirodan način hoda. Ali činjenica je da se različiti ljudi kreću različitim brzinama. Prosečna brzina ljudskog hoda kreće se od  $4.5 \text{ km/h}$  do  $5.4 \text{ km/h}$ . Naravno, postoje situacije kada se ljudi kreću znatno brže od svoje uobičajene brzine. Ljudi imaju mogućnost da menjaju brzinu svog hoda (Rose & Gamble, 2005). Neretko se kreću užurbano i povišenom brzinom hoda ali dosta često se kreću i sporije od uobičajenog, ukoliko učestvuju u razgovoru, uživaju u pogledu ili su pod nekim teretom. Poseban oblik ljudskog hoda je i trčanje. Trčanje pre svega karakteriše povećana brzina kretanja, izvesna promena u tempu, kao i drugačiji način održavanja ravnoteže. Trčanje, za razliku od prirodnog hoda ima jednu specifičnu karakteristiku, a to je činjenica da se tokom iskoraka obe noge mogu istovremeno naći u vazduhu. To zahteva značajno više koordinacije ljudskog motoričkog sistema i aktivno uključuje ljudska čula da bi se održao tempo i stabilnost kretanja. Ova posebnost predstavlja veliki izazov naučnicima koji rade u oblasti robotike obzirom da je veoma teško napraviti robota koji će tu karakteristiku oponašati.

Bez obzira što je trčanje kao poseban oblik ljudskog hoda u izvesnoj meri različito od kretanja prirodnom brzinom, to ne znači da se osoba ne može prepoznati na osnovu trčanja. Upravo naprotiv, jedna studija (Yam, Nixon, & Carter, 2004) je pokazala da je čak trčanje bolji diskriminator od prirodnog hoda kada je u pitanju prepoznavanje. Kada se koriste skupovi sekvenci u kojima subjekti trče postiže se bolja preciznost u prepoznavanju nego kada se koriste skupovi sekvenci prirodnog hoda. Očigledno je da specifična priroda trčanja zahteva više motoričkih aktivnosti tela i samim tim se dobija prilika da se u većoj meri iskažu specifičnosti svake osobe. Obzirom da je kod trčanja intenzivnije kretanje nego kod hoda prirodnom brzinom i stepen diskriminacije je viši.

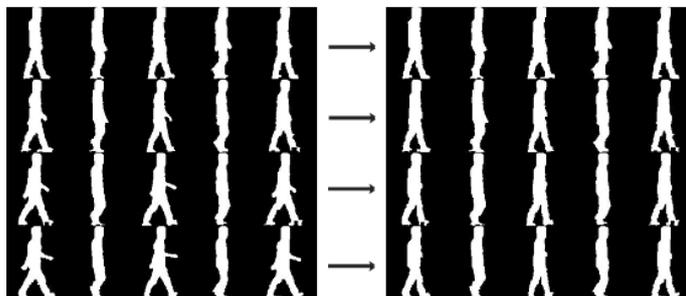
Uprkos činjenici da trčanje odlikuje dobra moć diskriminacije, postoji mnogo drugih izazova u oblasti prepoznavanja na osnovu hoda kada trčanje stupa na scenu. Osnovni problem koji se javlja jeste različitost između trčanja i hodanja prirodnom brzinom. Ukoliko se upisivanje u biometrijsku bazu podataka radi tako što subjekt koristi prirodnu brzinu hoda i od tog uzorka se kreira obrazac za buduće poređenje, ima li mogućnosti da se subjekt uspešno prepozna ukoliko bude snimljen prilikom trčanja?

Da li će algoritam za prepoznavanje koristiti karakteristike hoda koje se podjednako dobro ističu kod različitih brzina hoda? Drugi veoma važan problem koji se javlja kod trčanja je činjenica da se trčanjem za isti vremenski period prelazi veći put nego korišćenjem prirodne brzine hoda. Postavlja se pitanje da li će se za isti vremenski period zabeležiti ista količina informacija za različite brzine hoda i da li će zabeležena količina informacija biti dovoljna za algoritme prepoznavanja? Na sva ova pitanja istraživači pokušavaju da odgovore pre svega analitikom ljudskog hoda na različitim brzinama kretanja ali i pokušajima da se razviju algoritmi koji će moći da prevaziđu očigledne razlike koje nastaju promenom brzine hoda.

Vrlo opsežna studija uticaja varijacija u brzini na proces prepoznavanja na osnovu hoda urađena je u okviru doktorske disertacije Tanawongsuwan (2003). Za potrebe studije autor je kreirao nekoliko različitih baza podataka sa sekvencama hoda pod različitim uglovima snimanja i po različitim brzinama kretanja. Potom je izvršio testiranje postojećih pristupa i algoritama za prepoznavanje uzevši u obzir brzinu kretanja. Interesantno je izvestiti o rezultatima dobijenih korišćenjem baznog algoritma (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005) na skupu sekvenci hoda različitim brzinama. Autor je prijavio da se stepen prepoznavanja pri brzini kretanja od  $2.5 \text{ km/h}$  od čitavih 100% spušta na svega 21% pri brzini od  $5.8 \text{ km/h}$ .

Postoje različiti pristupi u rešavanju problema koje donosi promena brzine hoda. Jedan od najčešćih pristupa je korišćenje normalizacije brzine hoda prema brzini koju sistem očekuje. Ovaj proces sa sobom nosi mnogo izazova. Pre svega potrebno je detektovati brzinu kretanja osobe prilikom snimanja. Nakon toga je potrebno primenom neke tehnike normalizacije snimljene sekvence hoda prepraviti na takav način da one odražavaju očekivanu brzinu hoda. Problem koji se javlja jeste činjenica da se ovakav pristup može primenjivati dokle god se osoba kreće hodom, a ne trčanjem. Osnovni razlog je što se kod hoda, ma koliko on brz bio, ne menjaju osnovni stavovi, već se samo povećava broj stavova u određenom vremenskom periodu i dolazi do više naglašenosti stavova, kao što je povećanje širine iskoraka. Prvi problem se rešava vremenskom normalizacijom, tako što se poveća broj frejmova u snimku dok se ne dobije očekivani protok. Drugi problem zahteva obradu slike i korekciju zabeleženih figura u vremenu.

Interesantan pristup (Tanawongsuwan & Bobick, 2004) predlaže korekciju dužine iskoraka dobijene siluete da bi se hod prilagodio željenoj brzini. Prvo se detektuje brzina hoda na osnovu linearne projekcije populacije u bazi i izračunava se mera za koju je potrebna korekcija. Potom se počevši od poslednjeg reda slike vrši pomeranje piksela ka centru i tako se nastavlja uz sliku, sa tim što se količina pomeraja smanjuje linearno na osnovu znanja iz baze. Tim postupkom se dobija manji razmak između nogu (Slika 32). U ovom pristupu najveći problem predstavljaju ruke, obzirom da ih je ponekad teško detektovati u FP uglu snimanja. Ukoliko se subjekti kreću niskom brzinom znatno manje koriste ruke nego ukoliko se kreću višom brzinom. Iz tog razloga autor zanemaruje uticaj ruku u nadi da će očuvati dovoljno informacija potrebnih za prepoznavanje. Na osnovu rezultata dobijenih u eksperimentalnom testiranju može se zaključiti da primena algoritma normalizacije brzine hoda u izvesnoj meri poboljšava rezultate prepoznavanja.



Slika 32 Korekcija stava siluete skraćivanjem iskoraka radi normalizacije ka brzini od 2.5 km/h

Postoje i generički pristupi koji istovremeno pokušavaju da reše i problem brzine hoda kao i problem kada subjekt nosi neki objekat. Obe situacije izazivaju značajnu promenu u obliku siluete i cilj ovih pristupa je da kreiraju reprezentaciju hoda koja će biti otporna upravo na takve promene.

Lee i drugi (2007) koriste poseban oblik Frieze obrazaca da bi isključili uticaj varijacija u obliku. Glavna karakteristika ovih obrazaca je usmerena repetitivnost. Obrazac se dobija normalizacijom razlike ključnih frejmova tokom vremena. Na osnovu sličnih motiva Kusakunniran i drugi (2012) predlažu korišćenje Prokrustes analize oblika kao osnove za prepoznavanje, nakon čega se koristi konfiguracija oblika putem višeg reda. Prokrustes analiza predstavlja statističku analizu koja se koristi za potrebe analize distribucije oblika. Ova analiza je primenljiva u slučaju hoda obzirom da se ljudske siluete mogu tumačiti kao oblici. Osnovna ideja je kreiranje takozvanog Srednjeg Prokrustes oblika koji predstavlja ceo ciklus hoda i potom se izračunava Prokrustes odstojanje između kreiranih oblika. Uticaj brzine rešava se konfiguracijom oblika putem višeg reda.

Aqmar i drugi (2010) se za osnovnu karakteristiku za prepoznavanje hoda oslanjaju na rad Kobayashi i Otsu (2009) koji predlažu korišćenje takozvane kubne lokalne autokorelacije višeg reda (eng. cubic higher-order local auto-correlation CHALC) za predstavljanje pokreta. CHALC metod je primenljiv na sve probleme koji se mogu opisati kao dvodimenzioni problemi u vremenu. Obzirom da CHALC metod ne uzima u obzir uticaj verijeteta u brzini hoda, autori proširuju metodu uvođenjem Skrivenih Markovljevih Lanaca. Za te potrebe koriste se karakteristike hoda koje su invarijantne na promenu brzine.

Uprkos značajnim doprinosima u rešavanju problema promenljivosti u brzini hoda i uticaja tog faktora na proces prepoznavanja, ovaj problem još uvek nije u potpunosti rešen. Značajni uspesi su postignuti sa pristupima normalizacije brzine ali samo ukoliko hod ne pređe u trčanje koji donosi nove izazove. Takođe bitan uticaj ima i ugao snimanja u zavisnosti od kog je nekad lakše a nekad teže detektovati promene brzine.

### 3.6 Uticaj odeće i asesoara na postojeće pristupe

Ljudski hod kao biometrijska karakteristika se prvenstveno zasniva na pokretu. Za razliku od neki fizičkih modaliteta, kao što je lice, dominantna karakteristika ljudskog hoda je ponašajni obrazac pokreta. To znači da se najveća razlika između hoda dve osobe pravi upravo na osnovu specifičnosti njihovih pokreta.

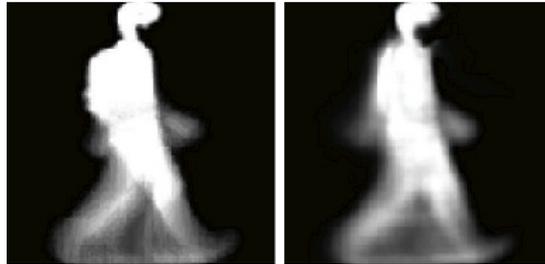
Biometrijski sistemi u velikoj meri gube na efektivnosti ukoliko se neka značajna biometrijska karakteristika prikrije. Tipičan primer je da se biometrijski sistemi koji su zasnovani na licu mogu prevariti

stavljanjem lažne brade, brkova, naočara ili nekog sličnog predmeta koji će zakloniti karakteristike lica. Obzirom da je glavna odlika ljudskog hoda upravo pokret, njega je značajno teže prikriti. Uprkos tome, postoji snažan uticaj odeće koju osoba nosi na krajnju uspešnost metode. Da li će određeni biometrijski sistem zadržati integritet u okolnostima promene odeće zavisi pre svega od algoritma koji se koristi. Neki algoritmi su ranjiviji od ostalih. Ukoliko se za akviziciju ljudskog hoda koriste senzorske tehnologije, odeća praktično ne utiče na preciznost sistema. Naravno, sistemi koji su zasnovani na video zapisu mogu biti ranjivi usled mogućeg prikrivanja ključnih segmenata ljudskog tela.

Ali nije samo odeća potencijalni problem u prikriivanju ključnih pokreta i delova tela prilikom hoda. Razni oblici asesoara takođe mogu uticati na postojeće pristupe. Konkretno neka torba u ruci subjekta može zakloniti delove nogu prilikom koraka. Takođe ranac na leđima može se greškom segmentirati od pozadine zajedno sa ostatkom figure i samim tim postati deo siluete. Osim što određena odeća ili asesoar mogu zakloniti deo tela ili greškom biti protumačeni kao pripadajući segment tela takođe mogu uticati na samu specifičnost pokreta. Ukoliko subjekt nosi neki posebno težak ili glomazan predmet to može uzrokovati pomeranje centra mase, što daje potpuno drugačiju sliku hoda.

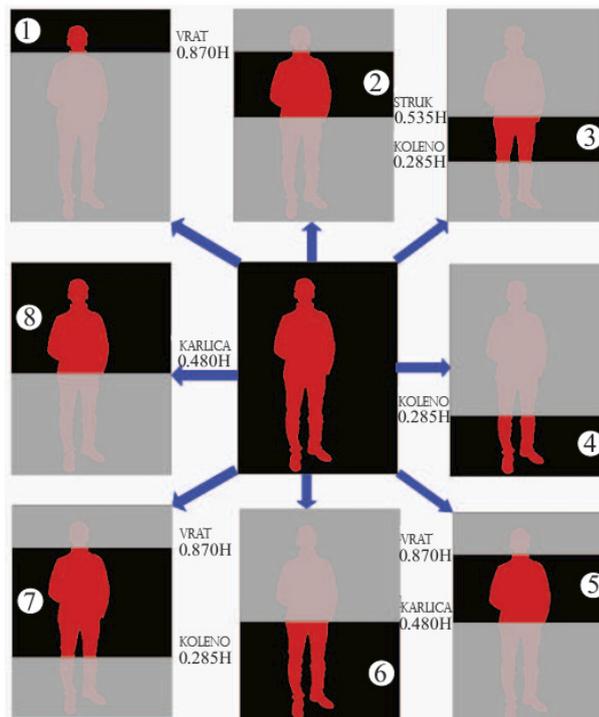
Najčešći pristup rešavanju ovog problema podrazumeva primenu različitih tehnika za uklanjanje asesoara ili odeće koji daju pogrešnu sliku subjekta. Uklanjanje se najčešće obavlja obradom slike, bilo na nivou pojedinačnog frejma ili na nivou rezultujuće akumulacije.

Metode prepoznavanja na osnovu hoda koje se zasnivaju na siluetama su vrlo ranjive na uticaj ovih faktora. Razlog je što se najveći broj algoritama koji segmentira ljudski siluetu od pozadine ne oslanja na model ljudske anatomije već koristi statističke metode u izdvajanju prvog plana od pozadine slike. Samim tim vrlo često se neki odevni predmet ili asesoar pojavi u rezultujućoj silueti koja odslikava čoveka. Jedan od najčešćih problema predstavlja ranac koji se nosi na leđima i vrlo ga je teško segmentirati od ostatka ljudske figure. Ovim problemom su se bavili Lee i drugi (2009), koji su pokušali da iz akumulacije sekvence hoda predstavljene preko GEI uklone ranac koji se pojavljuje na leđima siluete. Njihov pristup podrazumeva dve vrste analize glavnih komponenti, standardnu i rekurzivnu, sa ciljem uklanjanja ranca, uz uslov da ključni segmenti siluete ostanu neoštećeni. GEI slika se rekonstruiše primenom analize glavnih komponenti (eigenvektora) GEI slika bez ranca koje su zabeležene u bazi (Slika 33). Rekurzivna primena analize glavnih komponenti se koristi jer standardna analiza u velikom broju slučajeva ostavlja segmente ranca u slici. Alternativni pristup (Pratheepan, Condell, & Prasad, 2009) predlaže segmentiranje GEI slike u dva obrasca, statički i dinamički, gde jedan oslikava delove tela u kojima je vrlo malo pokreta, kao što je torzo, dok drugi oslikava delove tela sa visokim stepenom pokreta, kao što su ruke i noge. Na osnovu statičkog obrasca, i koristeći uzorke koji su zabeleženi u bazi, kreira se pretpostavka ivice siluete, na njoj se formira prekid i uklanja se ostatak siluete za koji se pretpostavlja da je u pitanju ranac. Jedna od prednosti ove metode je što se statički obrazac koristi kao osnova u odnosu na koju se vrši uklanjanje pa je podjednako efikasna u uklanjanju objekata koji se pojavljuju sa prednje strane. Takođe objekti koji nisu blisko pripijeni uz telo kao ranac se podjednako efikasno uklanjaju. Takvi predmeti mogu biti ženske torbe, torbe za plažu kao i ostali slični predmeti koji se nose na ramenu. Metoda nije naročito uspešna kada su u pitanju objekti koji se nose u ruci jer u velikoj meru unose šum u dinamički obrazac slike, tako što torba prelazi preko predela nogu ili se greškom protumači kao logičan nastavak ruku. Obzirom da dinamički deo GEI slike nije tako jasno izražen kao statični, ta vrsta obrasca se ne može uspešno koristiti za potrebe ekstrakcije asesoara.



Slika 33 GEI slika subjekta sa rancom (levo) i nakon uklanjanja primenom analize glavnih komponenti (desno)

Uticao odeće na izgled siluete je vrlo značajan. Ukoliko je način odevanja različit od onoga koji je korišćen prilikom upisa u bazu može doći do znatnog pada performansi. Upravo iz tog razloga, grupa istraživača (Hossain, Makihara, Wang, & Yagi, 2010) predlaže poseban pristup koji će uzeti u obzir uticaj odeće na proces prepoznavanja. Autori su izvršili klasifikaciju različitih vrsta odeće i prema predloženoj klasifikaciji ocenili uticaj odeće na formiranje siluete tokom snimka. Na osnovu te analize došli su do zaključka da je potrebno podeliti ljudsku figuru u 8 različitih delova od kojih se neki preklapaju (Slika 34). Delovi tela se dobijaju tako što se računa razmera dela tela u odnosu na visinu cele figure. Potom se mogu identifikovati delovi tela koji su slobodni i nepokriveni različitim odevnim predmetima i njima se dodeliti veći koeficijent značajnosti u procesu prepoznavanja.



Slika 34 Podela ljudskog tela na 8 delova na osnovu analize odevnih predmeta (Hossain, Makihara, Wang, & Yagi, 2010)

Delovi ove ideje mogu se pronaći i u radu Singh i Biswas (2009) koji predlažu kreiranje kumulativne slike slaganjem silueta na osnovu zamaha ekstremiteta, radije nego u odnosu na centralni deo figure.

Takođe slično prethodnom pristupu, predlažu korišćenje svega nekoliko redova donjeg dela slike za prepoznavanje, čime se isključuje mogućnost da deo tela koji pokriva neki kaput ili tašna koja se nosi u ruci utiču negativno na proces prepoznavanja.

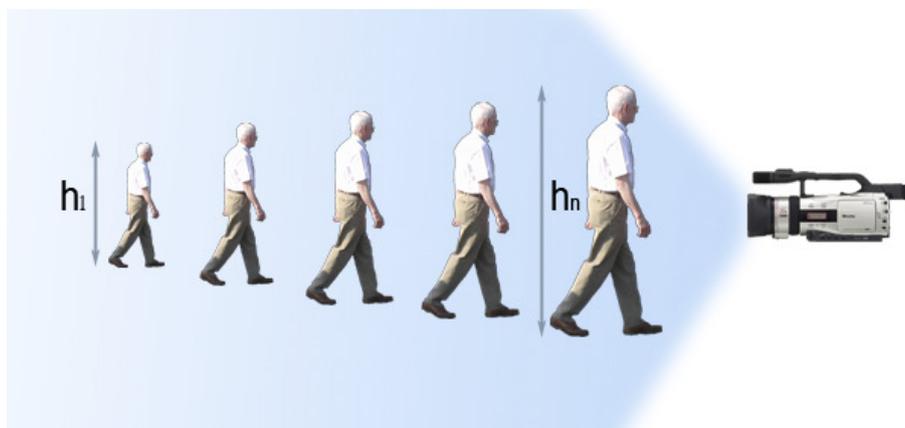
Guan i drugi (2012) se oslanjaju na prednosti mašinskog učenja u rešavanju problema odeće u prepoznavanju na osnovu hoda. Osnovni razlog za okretanje ka mašinskom učenju je što omogućuje korišćenje algoritama induktivne pristrasnosti. Oni obezbeđuju predviđanja izlaza čak i u slučaju pojave nepredviđenih ulaza u sistem. Postoji jasna analogija i primenljivost u situacijama kada se očekuje prepoznavanje osoba koja se nalaze u neočekivanim odevnim predmetima. Ukoliko se trenira na skupu subjekata koji su odeveni na jedan način, algoritmi induktivne pristrasnosti omogućuju prepoznavanje u slučaju pojave subjekta koji je drugačije odeven. Autori su potvrdili da se čak i na malom trening skupu sistem može kvalitetno pripremiti za prepoznavanje u raznim okolnostima odevanja.

Varijante u odevanju i nošenju različitih predmeta su veoma važni faktori koji utiču na uspešnost algoritama za prepoznavanje na osnovu hoda. U prethodnih pet godina ova tema zauzima jednu od centralnih pozicija u ovoj oblasti i posvećuje joj se sve više pažnje. Neki istraživači su istakli da je jedan od najvažnijih faktora uticaja na pad performansi u istraživačkim eksperimentima vezanim za hod upravo varijabilnost u odeći. Uprkos velikoj pažnji koju ova tema trenutno izaziva postoji još puno aspekata ovog problema koji nisu rešeni i koji zahtevaju dalju pažnju istraživača.

### 3.7 Uticaj luminga i okluzije na postojeće pristupe

Prepoznavanje na osnovu hoda je oblast koju prate mnogi izazovi. Mnogi od njih su vezani za pronalaženje najboljih karakteristika, rešavanje problema detekcije ljudske figure i projektovanje algoritama koji će na osnovu prikupljenih podataka dati najbolje stope prepoznavanja. Ali postoje i mnoge poteškoće koje nisu direktno vezane za prirodu problema ali su uzrokovane specifičnošću hoda i načina akvizicije. Najčešći način snimanja ljudskog hoda za potrebe biometrijskih sistema podrazumeva korišćenje statične monokularne kamere, što uzrokuje pojavu takozvanih problema luminga. Luming je pojam koji se javlja u oblasti psihologije ali i optike. Luming podrazumeva dve osnovne pojave. Prva je da posmatrač koji primećuje povećanje veličine nekog objekta dobija utisak da mu se taj objekat približava. Druga pojava podrazumeva da se objekat koji se približava posmatraču prema percepciji posmatrača povećava. Konkretno druga manifestacija ovog problema predstavlja značajan izazov za biometrijske sisteme zasnovane na hodu. Iako se u takvim sistemima posmatranje vrši kamerom a ne ljudskim okom, efekat se takođe manifestuje. Slike objekta na različitim udaljenostima od kamere će na snimku biti različitih veličina (Slika 35). Ovo zadaje velike poteškoće sistemima za praćenje jer moraju konstantno da se prilagođavaju percepciji objekta koja zavisi od udaljenosti. Postoje situacije kada je efekat luminga izraženiji. Svako kretanje prema kameri intenzivira efekat luminga. Upravo zato pristupi koji se zasnivaju na Fronto-Normalnom uglu snimanja trpe najjači izazov.

Efekat luminga se može rešavati na dva osnovna načina. Prvi način u suštini predstavlja zaobilaženje problema tako što će se odabrati one karakteristike ljudskog hoda na koje luming ne ostavlja posledice. Pod tim se podrazumeva da se sve odrednice veličine ljudskog tela ne uzimaju u obzir pri kreiranju skupa karakteristika. Drugi način zahteva pre svega detekciju pojave luminga i potom preduzimanje određenih mera u uklanjanju tog efekta. Najčešće se proces svodi na određenu vrstu skaliranja ljudske figure.



Slika 35 Efekat luminga – udaljenost utiče na percepciju veličine objekta posmatranja

Najveći problem predstavlja određivanje referentnog sistema u odnosu na koji se može vršiti skaliranje. U realnim situacijama retko postoji mogućnost postavljanja raznih repera u okruženje na osnovu kojih će se određivati odstojanje od kamere. Ova činjenica znatno komplikuje pronalaženje rešenja problema.

U suštini ovo je problem koji je dugo istraživani u oblasti robotike. Kretanje robota se u mnogim pristupima zasniva na video snimku i uz pomoć snimka se planira ruta robota radi izbegavanja prepreka i mogućih sudara. Obzirom da se efekat luminga događa dok robot prilazi nekom objektu, moraju se razviti sofisticirani algoritmi koji će detektovati mogući sudar i usmeriti robota da zaobiđe prepreku. U kompjuterskoj viziji ovaj problem se vezuje za pojam zvani vreme do kolizije (eng. Time-To-Collision TTC). TTC predstavlja odnos između odstojanja od objekta i relativne brzine prilaska robota objektu (Lee D. N., 1976). Kada je oblast prepoznavanja hoda u pitanju pojam TTC je jako bitan jer se on može koristiti u normalizaciji veličine ljudske figure. Ukoliko je moguće odrediti TTC, moguće je u odgovarajućoj razmeri normalizovati figuru.

U pristupima normalizacije efekta luminga jasno se izdvajaju dva pravca. Jedan pristup predstavlja korišćenje okruženja u postupku izračunavanja odstojanja, ali ponekad i primenu označavanja subjekta i segmenata njegovog tela. Za ovakav pristup potrebno je prethodno podesiti okruženje snimanja i kalibrisati akvizicioni uređaj. Ovakve preduslove je vrlo teško ostvariti u realnim uslovima. Drugi pristup pokušava da reši problem u uslovima potpune neizvesnosti, gde je subjekt nepoznat kao i okruženje u kom se vrši snimanje. Ovakav pristup je najpovoljniji za tehnologije prismotre ali predstavlja znatno veći izazov.

Lee i drugi (2008) pokušavaju da reše problem luminga tako što u uslovima Fronto-Normalnog snimanja obeležavaju subjekta svetlim markerima na nekoliko ključnih mesta na telu. Autori predlažu dva osnovna načina da se izvrši normalizacija: putem dimenzija i putem pokreta. Ukoliko se koriste dimenzije vrlo jednostavno se utvrdi odstojanje između dva markera na telu i ta vrednost se koristi kao osnova za normalizaciju iz frejma u frejm. Ukoliko se koristi pokret, utvrđuju se trajektorije kretanja svetlih markera i onda se uz pomoć određene matematičke jednačine određuje u kojoj meri se kretanje menja od frejma do frejma. Približavanjem se dobijaju sve veće trajektorije koje se potom normalizuju.

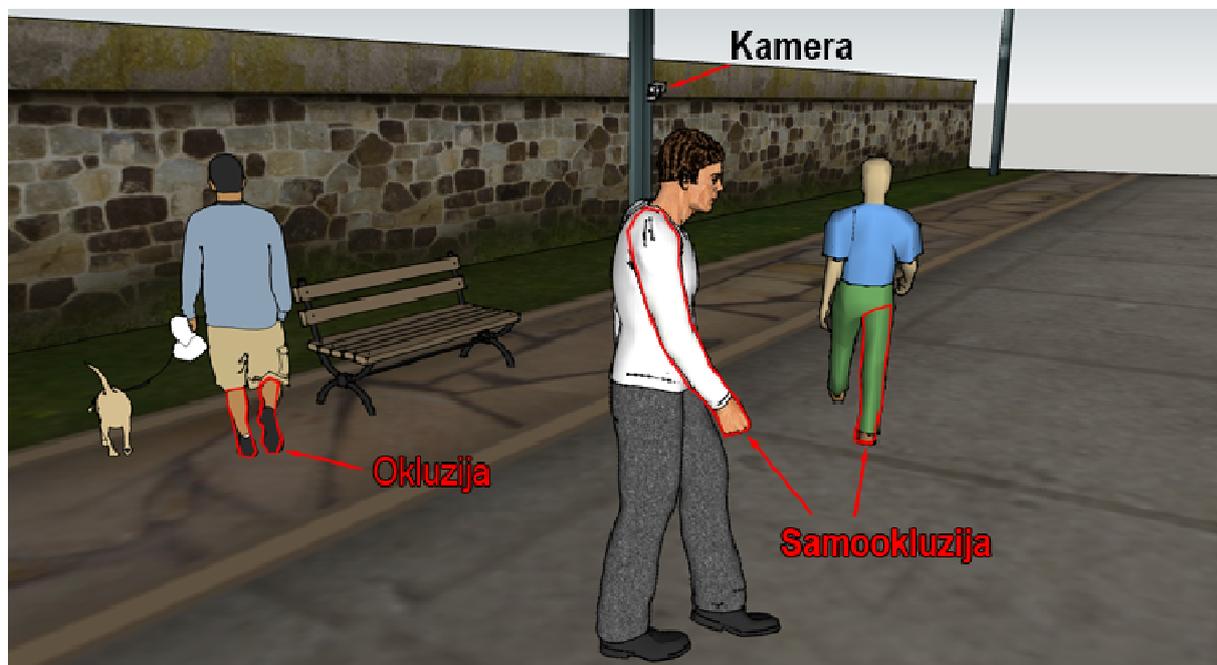
U nameri da se kreira potpuno nezavisan sistem koji neće zavisiti od okruženja i subjekta, u jednom pristupu (Chowdhury, Kale, & Chellappa, 2003) koristi se pravac kretanja subjekta u proceni njegovog položaja u odnosu na kameru. U kombinaciji sa izvesnom kalibracijom kamere moguće je izvršiti normalizaciju a potpom i projekciju u Fronto-Paralelnu ravan koju autori zagovaraju. Ovaj pristup se zasniva pre svega na činjenici da se funkcija kamere proširi i da se od nje ne koristi samo slika jer je iz nje nemoguće doći do informacije o dimenzijama objekta ukoliko prethodno nije precizno postavljena i izračunata udaljenost od određenih lokacija koje slika pokriva. Prednost kamere koja se tek u poslednje vreme intenzivnije koristi je mogućnost da se odredi određena dubina fokusa, koja se može koristiti kao referentna tačka za procenu dimenzija objekata u slici. Takav pristup su usvojili mnogi istraživači koji se u poslednjih nekoliko godina bave procenom ljudske visine na osnovu snimka i kalibrisane kamere (Momeni-K, Diamantas, Ruggiero, & Siciliano, 2012; Jeges, Kispal, & Hornak, 2008). Pored korišćenja prednosti kalibrisane kamere mogu se koristiti i procene zasnovane na vremenskim dimenzijama gde je kretanje subjekta očekivano. U jednom takvom pristupu (BenAbdelkader, Cutler, & Davis, 2002) autori se oslanjaju na visinu i širinu iskoraka za potrebe prepoznavanja.

Pored efekta luminga, veoma važan problem u oblasti prepoznavanja na osnovu hoda predstavlja okluzija. Pojam okluzije u kompjuterskoj viziji se odnosi na blokiranje pogleda na objekat, koji je pod prismotrom (Lee, Belkhatir, & Sanei, 2009). Pretpostavka je da je u jednom trenutku vremena objekat u vidnom polju kamere dok je u sledećem blokiran. Postoje različiti vidovi okluzije, i zavise od ugla posmatranja i opštih uslova prostora u kojem se vrši snimanje. U biometrijskim sistemima koji su zasnovani na hodu problem okluzije se posmatra u odnosu na objekat posmatranja, tj. u odnosu na osobu čije se hodanje prati. Usled raznih faktora neki deo te osobe koji je važan za algoritam prepoznavanje ili čak cela osoba mogu biti blokirani. Blokada se može dogoditi od strane drugog pokretnog objekta ili od strane nekog stacionarnog objekta iza koga osoba prolazi. Takođe je moguće da dođe do pojave samookluzije u kojoj jedan deo tela osobe prikriva drugi deo tela, što u mnogome zavisi od ugla snimanja (Slika 36). Pored svih ovih situacija, do okluzije može doći i usled nedovoljne osvetljenosti segmenta slike gde se praktično deo tela osobe sjedini sa pozadinom usled nepreciznosti algoritma za izdvajanje ljudske figure.

Jedan od osnovnih principa za rešavanje pojave samookluzije, koja je ujedno i najveći problem kada je prepoznavanje hoda u pitanju obzirom da se uglavnom ponavlja tokom ciklusa hoda, jeste da se primeni korišćenje više izvora snimanja. Time ukoliko jedna kamera nije u mogućnosti da zabeleži pokret usled okluzije postoji mogućnost da će druga kamera moći. Nakon toga potrebno je izvršiti fuziju prikupljenih podataka. Ovakav pristup primenjen je u radu (Kakadiaris & Metaxas, 1996) gde su autori koristili ortogonalno postavljene kamere. Nažalost, ovakvi uslovi su vrlo teško ispunjivi u realnim situacijama prismotre.

Da bi se uspešno rešio problem koji nastaje samookluzijom istraživači su pokrenuli posebnu istraživačku granu koja se naziva procena pozicije nestalih markera. Princip se svodi na označavanje subjekta markerima jakih boja na ključnim delovima tela i potom pronalaženje načina da se predvidi pozicija markera koji nestane iz vidnog polja kamere. Ovakav pristup, iako teško primenljiv u realnim situacijama, pruža dobru osnovu i dopunu za razne metode koje pokušavaju da predvide poziciju korišćenjem takozvanog modela štapne figure. Liu i McMillan (2006) se za rešavanje ovog problema oslanjaju na dvostepenu metodu koja u prvom koraku vrši grubo predviđanje položaja nestalog markera a potom u drugom koraku vrši fino podešavanje predviđanja. U prvom koraku se uz pomoć globalne

analize glavnih komponenti iz kreirane baze dobija gruba estimacija položaja. Potom se na nivou pojedinačnog frejma klasifikuje uz pomoć takozvane *random forest* klasifikacije i smešta u najadekvatniju klasu lokalnog linearnog modela.



Slika 36 Pojavni oblici okluzije u realnim situacijama prismotre

Postoje pristupi koji se zasnivaju na poznatom okruženju. Aristidou i drugi (2008) na osnovu triangulacije u odnosu na dva ili više objekata koji su postavljeni na fiksnu međusobnu udaljenost određuju poziciju segmenta u okluziji. Na sličan način Wu i Boulanger (2011) pronalaze nestali marker ali se umesto na fiksne pozicije objekata u slici za potrebe triangulacije oslanjaju na percepciju dve ili više kamera koje su instalirane u jedan uređaj za snimanje.

Alternativni pristupi u rešavanju problema okluzije mogu se zasnivati na primeni tehnika iz digitalne obrade signala koje se bave takozvanim gubicima u podacima ili *outlierima*. Takođe statističke metode se mogu dosta uspešno baviti problemima predviđanja nedostajućih podataka kao u pristupu Dockstader (2003) koji se oslanja na Skriveno Markovljeve Lance i Bajesove mreže.

### 3.8 Prepoznavanju na osnovu hoda pretragom slika na osnovu sadržaja (CBIR)

Tehnike za pretragu slika na osnovu sadržaja CBIR (Content Based Image Retrieval) su u poslednjih 10 godina doživele izuzetan skok u popularnosti (Datta, Joshi, Li, & James, 2008). Tokom tog perioda CBIR oblast je doživela izvesni nivo zrelosti. Neki od ranih CBIR algoritama se uspešno koriste kao deo popularnih softverskih paketa. Primenljivost nekih od poznatijih algoritama je u naučnoj zajednici proverena na veoma velikim skupovima koji su sadržali i do milion slika (Moëllic, Hède, & Grefenstette,

2005). Obzirom na veoma aktuelan problem koje CBIR tehnologije pokušavaju da reše, različite implementacije predloženih algoritama su našle svoje mesto u velikom broju lako dostupnih rešenja otvorenog koda. Zahvaljujući tome pruža se prilika da se akumulirano znanje iz oblasti pretrage slika na osnovu sadržaja uspešno iskoristi u metodama za prepoznavanje osoba na osnovu hoda.

Prepoznavanje osoba na osnovu hoda u okolnostima računarske vizije predstavlja problem koji ima dosta dodirnih tačaka sa problemima koje CBIR tehnologije pokušavaju da reše. Sekvenca ljudskog hoda u najvećem broju slučajeva predstavlja video snimak zabeležen monokularnom kamerom. U suštini u pitanju je skup frejmova, koji predstavljaju nepomične slike, kroz izvesni vremenski period. Dinamika pokreta se beleži smenom nepokretnih slika u vremenu. Obzirom da CBIR tehnologije pokušavaju da reše problem analize sadržaja nepomičnih slika i bave se poređenjem slika na osnovu sadržaja radi utvrđivanja sličnosti može se tvrditi da se CBIR tehnike mogu u nekom obliku koristiti i u rešavanju problema prepoznavanja na osnovu hoda.

Trenutno ne postoji naročito visok stepen iskorišćenosti CBIR tehnologija u predloženim pristupima za prepoznavanje na osnovu hoda. Najveću primenu su našle u metodama koje koriste neki oblik prostorno-vremenske akumulacije podataka u nepomične slike. Najpoznatija tehnika akumulacije se zasniva na GEI (Han & Bhanu, 2006) i autori koriste neke specifične CBIR tehnike koje su u osnovi statističke prirode za krajnje poređenje slika. Izvesno proširenje tog pristupa korišćenjem histograma gradijenta dubine predložen je od strane Hofmann i drugih (2012).

Pored primene CBIR tehnika u slučajevima akumuliranih reprezentacija hoda bilo je izvesnih pokušaja da se one koriste i na nivou pojedinačnog frejma. Kale i drugi (2004) koriste specifičnu karakteristiku ljudske siluete koja se utvrđuje korišćenjem posebnog algoritma za pretragu koji detektuje širinu siluete u svakom redu slike. Xu i drugi (2007) predlažu novi skup karakteristika zasnovan na Marginalnoj Fišer Analizi koji se može koristiti i za potrebe CBIR pretraga.

Na osnovu analize postojećih pristupa u oblasti prepoznavanja osoba na osnovu hoda može se zaključiti da CBIR tehnologije nisu našle odgovarajuće mesto u rešavanju postojećih problema. Iako određeni broj istraživača svoje pristupe zasniva na određenim aspektima CBIR tehnologija, retko ko koristi već dokazane, generičke i lako dostupne CBIR tehnologije u nekom koraku svog postupka. Ukoliko se i koriste, to je najčešće u postupku preprocesiranja i detekcije karakteristika, za segmentaciju figure ili detekciju ivica (Soriano, Araullo, & Saloma, 2004). Veoma mali broj istraživača se oslanja na proverene sposobnosti generičkih CBIR algoritama za potrebe poređenja slika i u procesu konačnog prepoznavanja osobe. Oblast pretrage slika na osnovu sadržaja ima veliki potencijal koji je dokazan u velikom broju istraživanja i može predstavljati jako dobru osnovu za razvoj algoritma za prepoznavanje osoba na osnovu hoda.

### 3.9 Sumarna kritika postojećih pristupa

Istraživačka oblast koja se bavi prepoznavanjem na osnovu hoda uključuje znanja iz mnogo različitih oblasti. Upravo iz tog razloga problemu se pristupa iz mnogo različitih uglova. Značajan broj fudamentalnih i primenjenih nauka našle su svoje mesto u oblasti prepoznavanja na osnovu hoda. Zahvaljujući doprinosu istraživača različitih naučnih profila, u proteklih 15 godina biometrija hoda je dostigla solidan nivo uspešnosti i primenljivosti. Uprkos tome, u pitanju je mlada istraživačka oblast koja ima jako puno otvorenih pitanja i mesta za unapređenje.

Pristupi koji su zasnovani na *a priori* modelu predstavljaju logičan iskorak iz medicine i fizike gde su napravljeni prvi prodori u proučavanju motorike ljudskog hoda. Zasnivaju se na znanju o ljudskoj anatomiji i motorici i podrazumevaju da se podaci koji se prikupe putem akvizicionih uređaja prvenstveno ugrade u predefinisani model nakon čega se proces nastavlja uz korišćenje modela. Modelni pristupi se mogu klasifikovati u pristupe zasnovane na 2D i 3D modelima. Pristupe koji se zasnivaju na 2D modelima odlikuje niža zahtevnost za računarskom obradom i samim tim su bliži praktičnoj upotrebi. Uprkos tome odlikuje ih ranjivost na promene u uglu snimanja i posebno su osetljivi na probleme okluzije i luminga. Za razliku od njih 3D modeli su stabilniji u radu pri uslovima promene ugla snimanja. Nažalost, rad sa 3D modelima odlikuje veliki broj nedostataka. Pre svega bilo koji pristup zasnovan na 3D modelima je vrlo zahtevan za računarsku obradu i samim tim se teško može primenjivati u realnom vremenu. Iako je sa 3D modelom moguće postići invarijantnost na ugao snimanja, nije uvek moguće izvršiti dobru ugradnju prikupljenih podataka u predefinisani model. Takođe, iako neke predložene 3D modele odlikuje visoka složenost, oni su u odnosu na realnu sliku veoma uprošćeni. Tokom procesa ugradnje na predloženi model dolazi do gubitka značajne količine prikupljenih informacija. Da bi ovo pojasnili, uzmimo za primer realnu figuru čoveka i jedan od predloženih 3D modela, kao što je cilindrični (Marr & Nishihara, 1978). Takav model ima krute cilindrične segmente i nizak broj stepeni slobode pokreta, koji ni u kom slučaju ne odražava verno izuzetnu složenost ljudske figure i veliku slobodu pokretljivosti ljudskih ekstremiteta.

Pristupi koji nisu zasnovani na *a priori* modelu proteklih godina stižu sve veću popularnost. Ovo se može pripisati ranim uspesima u korišćenju bezmodelnih algoritama. Kod bezmodelnih pristupa mogu se jasno izdvojiti dva osnovna pravca. Prvi podrazumeva da se u procesu prepoznavanja koriste svi prikupljeni podaci iz sekvence ljudskog hoda tako što se uzimaju informacije iz svakog zabeleženog frejma. Drugi pristup podrazumeva da se sekvenca ljudskog hoda akumulira prostorno, vremenski ili prostorno vremenski. Prvi način očuvava sve prikupljene informacije i predstavlja računarski veoma zahtevan proces i samim tim otežava pretragu u realnom vremenu. Da bi se smanjila računarska zahtevnost problema neki istraživači selektuju samo reprezentativan skup informacija i na njemu nastavljaju proces. Takav pristup usled odbacivanja dela prikupljenih informacija može dovesti do pada konačne preciznosti algoritma. Drugi način rešava problem visoke zahtevnosti tako što podatke akumulira i pravi se drugačija reprezentacija hoda. Osnovni problem je što se u procesu akumulacije takođe izgubi deo prikupljenih informacija. Tipičan primer jednog od uspešnijih metoda je GEI pristup koji predstavlja akumulaciju frejmova u jednu sliku koja oslikava intenzitet kretanja. Obzirom da se GEI formira inkrementalno, tako što se od frejma do frejma nadograđuju informacije, dolazi do gubitka vremenskih informacija između susednih frejmova.

Većina uspešnih primera zasnovana je na Fronto-Paralelnom (FP) uglu snimanja, koji podrazumeva da subjekt prolazi normalno u odnosu na pravac snimanja kamere. Naročito često se koristi u bezmodelnim pristupima koji kao osnovnu karakteristiku koriste binarnu siluetu. FP ugao je pogodan jer najbolje odražava medijalne pokrete koji dominiraju u ljudskom hodu. Nažalost u realnim situacijama znatno je primenljiviji Fronto-Normalni ugao snimanja koji se može koristiti u uskim hodnicima, na pristupnim tačkama, a i omogućuje lakše praćenje više objekata istovremeno. Postoji značajan prostor za unapređenje postojećih i razvoj novih metoda koje su zasnovane na Fronto-Normalnom (FN) uglu snimanja. Solidan broj radova bavi se temom postizanja invarijantnosti na ugao snimanja. Najčešće putem projekcija figure subjekta iz zabeležene ravni u željenu. Iako se ovaj postupak pokazao uspešnijim

nego poređenje snimaka iz dva različita ugla, preciznost ne postiže uspešnost prijavljenu u poređenju podataka prikupljenih korišćenjem istog ugla snimanja. Takođe ovakvim tehnikama se gubi značajna količina prikupljenih informacija a postoji i mogućnost da se dobije slika subjekta, koja je loša predstava realne situacije.

Značajan problem predstavlja promenljivost u brzini kretanja subjekta. Naročit problem se stvara kada hod prelazi u trčanje jer se dobija potpuno drugačija slika kretanja. Neka istraživanja su pokazala da je hod čak bolji diskriminator u odnosu na hodanje. Problem promene u brzini hoda je rešavan na razne načine a najčešće se koristi princip normalizacije brzine kretanja. Taj proces podrazumeva preprocesiranje dobijenih informacija i transformaciju ka željenoj brzini. Nažalost, na ovaj način se često dobija izvitoperena slika hoda koja ne odražava adekvatno hod subjekta. Uprkos tome pokazalo se da je bolje koristiti neke oblike normalizacije nego samo porediti uzorke hoda obavljene različitim brzinama kretanja.

Pitanje odeće i asesoara tek u nekoliko poslednjih godina dobija pažnju koju zaslužuje. Neki istraživači procenjuju da je za manjkavost predloženih metoda za prepoznavanje u najvećoj meri zaslužna odeća i asesoar. Za sada ima tek nekoliko obećavajućih pristupa rešenju ovog problema. Izvesni pristupi predlažu segmentiranje ljudske figure na različite delove i potom davanje većeg značaja onim delovima koji nisu prikriveni odećom. Za sada je jasno da većina algoritama nije uzimala ovo pitanje u obzir i da je potrebno da se toj temi posveti više pažnje u budućnosti.

Problemi izazvani lumingom i okluzijom su tesno spregnuti sa uglom snimanja. Trenutno dominantne tehnike prevazilaženja problema luminga podrazumevaju korišćenje kalibrisanih kamera prilikom određivanja dimenzija subjekta. Okluzija se nadoknađuje metodama predviđanja koje vuku korene iz statistike i digitalne obrade signala.

Na kraju mora se zaključiti koji su to zahtevi koji se postavljaju pred buduće istraživače u ovoj oblasti. Jako je važno pronaći metodu koja će omogućiti praktičnu primenu i korišćenje u realnom vremenu. To podrazumeva da je važno uticati na smanjenje potrebne računarske obrade ali da je jako bitno pritom očuvati sve relevantne informacije, koje će pomoći u boljoj klasifikaciji. Potrebno je eksploatisati uglove snimanja koji su primenljivi u praksi, kao što je FN ugao. Predložene metode moraju biti otporne na promenu brzine, varijetete u odevanju, okluziju i luming. Upravo za tu svrhu treba razmotriti korišćenje naprednih akvizicionih tehnologija koje bi mogle da unaprede proces prikupljanja podataka i da pomognu u stvaranju robusnijih metoda prepoznavanja. Takve tehnologije se možda mogu pronaći u modernim uređajima za interakciju čovek-računar koje imaju mogućnost praćenja ljudskog pokreta.

## 4. Predlog rešenja za prepoznavanje osoba na osnovu hoda

Prepoznavanje osoba na osnovu hoda kao istraživačku oblast odlikuje visok stepen interesovanja akademske zajednice. U protekloj deceniji došlo je do razvoja velikog broja različitih pristupa. Određeni bezmodelni pristupi su pokazali solidan uspeh na bazama podataka od kojih su neke imale i preko 100 upisa.

Uprkos postignutim uspesima ne može se reći da je ova istraživačka oblast dostigla potrebnu zrelost. Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred istraživače u ovoj oblasti su i dalje neispunjeni. Da bi sistemi za prepoznavanje na osnovu hoda doživeli svoju primenu u praksi oni pored postizanja visoke preciznosti moraju da ispune i druge značajne uslove. Pre svega potrebno je postići robusnost metode. Funkcionisanje sistema mora biti uspešno bez obzira na razne uslove koji utiču na proces snimanja. Potrebno je pronaći metodu koja će biti otporna na pojavu okluzije, promenu osvetljenja, efekat luminga, varijetete u odeći i asesoaru kao i promene u brzini hoda. Pored toga potrebno je obezbediti da se predložena metoda može koristiti u realnom vremenu. Ovo znači da je potrebno postići adekvatnu ravnotežu između preciznosti metode i potrebne količine izračunavanja.

Jedan od najvažnijih faktora koji utiču na uspešnost predloženih metoda je ugao snimanja. U dosadašnjem istraživačkom radu postignut je najveći uspeh sa Fronto-Paralelnim uglom snimanja. Problem je što je za realne uslove pogodnije koristiti Fronto-Normalni ugao snimanja koji odgovara postojećim tehnologijama prismotre. U takvim uslovima snimanja subjekt se kreće u pravcu kamere što je u praksi česta pojava. CCTV kamere se najčešće postavljaju na plafone ili na uske prolaze i u najvećem broju slučajeva zabeleže subjekta kako se kreće u pravcu kamere (Constant & Ridgeon, 2000).

Novopredloženi pristupi u ovoj oblasti bi pre svega trebali da uvažavaju sledeće zahteve:

- visoka preciznost u radu,
- niska računarska zahtevnost, mogućnost rada u realnom vremenu,
- očuvanje zabeleženih informacija u procesu akvizicije,
- eksploatacija Fronto-Normalnog ugla snimanja,
- visok stepen robusnosti, niska osetljivost na okluziju, luming, odeću i brzinu hoda.

Ispunjavanje potrebnih zadataka nije jednostavan zadatak. Naročiti problem predstavlja činjenica da su neki od zahteva međusobno uslovljeni. Po pravilu visoka preciznost se postiže metodama koje su računarski zahtevne. Takođe veoma je teško ne umanjiti količinu prikupljenih informacija a istovremeno postići mogućnost rada u realnom vremenu. Fronto-Normalni ugao snimanja je vrlo osetljiv na luming a takođe se pokreti teže detektuju zbog specifične prirode ljudskog hoda.

Novi pristup rešenju problema treba pre svega tražiti u bezmodelnim pristupima. U dosadašnjem istraživačkom radu se pokazalo da su modelni pristupi vrlo računarski intenzivni i da je veoma teško postići njihovo funkcionisanje u realnom vremenu, uprkos očiglednim prednostima koje takve metode donose. Karakteristike ljudskog hoda koje se koriste na nivou frejma predstavljaju predimenzioniran problem i nisu pogodne za izračunavanje. Trenutno najviše potencijala pokazuju metode koje primenjuju neki oblik prostorno-vremenske akumulacije. Mana takvih metoda je što gube izvesnu količinu informacija koje su prikupljene u procesu akvizicije. Idealan pristup bi bio primena nekog oblika

prostorno-vremenske akumulacije koji bi bio u mogućnosti da očuva sve informacije prikupljene u procesu akvizicije.

Da bi se postigla robusnost u radu rešenje se može tražiti u dokazanim tehnikama za pretragu slika na osnovu sadržaja. Ukoliko bi se predložena akumulacija predstavila u vidu nepomične 2D slike, CBIR tehnike koje su se pokazale vrlo robusnim u empirijskim istraživanjima bi bile idealni kandidati za primenu u novopredloženim pristupima.

Rešenja za probleme okluzije i luminga bi se mogla tražiti u novim tehnologijama za interakciju čovek-računar koje omogućuju precizno praćenje ljudskog pokreta i predviđanje poze. Takve tehnologije su doživele komercijalnu primenu pre svega kao kontroleri za igračke konzole. Najpoznatiji predstavnik i začetnik takve tehnologije je Microsoft Kinect (Zhengyou, 2012). Ovakva tehnologija omogućuje bolje upravljanje okluzijom obzirom da se vrši vrlo precizno predviđanje poze subjekta. Kada je luming u pitanju, činjenica da senzor ima jasno definisana ograničenja akvizicionog prostora, koji specifičnošću tehnologije jasno detektuje udaljenost objekta praćenja od senzora, otklanjanje luminga postaje znatno jednostavnije. Obzirom da Kinect omogućuje beleženje ključnih tačaka na ljudskom telu u obliku štapne figure (Aggarwal & Cai, 1999) do 30 frejmova u sekundi, praćenje pokreta ljudskog tela u Fronto-Normalnom uglu snimanja postaje znatno lakše.

U narednim poglavljima biće predstavljen nov pristup koji će biti zasnovan na predloženim principima sa ciljem da se postigne zadovoljenje postavljenih zahteva.

### 4.1 Postupak predloženog rešenja i polazne hipoteze

Postojeći postupci za prepoznavanje osoba na osnovu hoda nisu postigli željeni nivo zrelosti da bi bili primenljive u praksi. Osnovni razlog za to je činjenica da je u pitanju vrlo složen problem na koji utiče mnogo različitih faktora. Osnovni zahtevi koje je potrebno ispuniti za uspešno funkcionisanje su često suprotstavljeni i teško je naći odgovarajuću ravnotežu. Iz tog razloga ovde se predlaže novi postupak za koji se očekuje da će na adekvatan način ispoštovati postavljene zahteve, postići adekvatnu ravnotežu među njima i na taj način omogućiti uspešnu primenu u praksi.

Novi postupak se zasniva na trostepenom procesu (Slika 37). U prvom koraku predlaže se akvizicija podataka korišćenjem Microsoft Kinect tehnologije. U drugom koraku vrši se transformacija video sekvence u nepomičnu 2D sliku putem akumulacije prikupljenih podataka. Konačno primenjuju se CBIR tehnike za potrebe poređenja konačno formiranih slika.

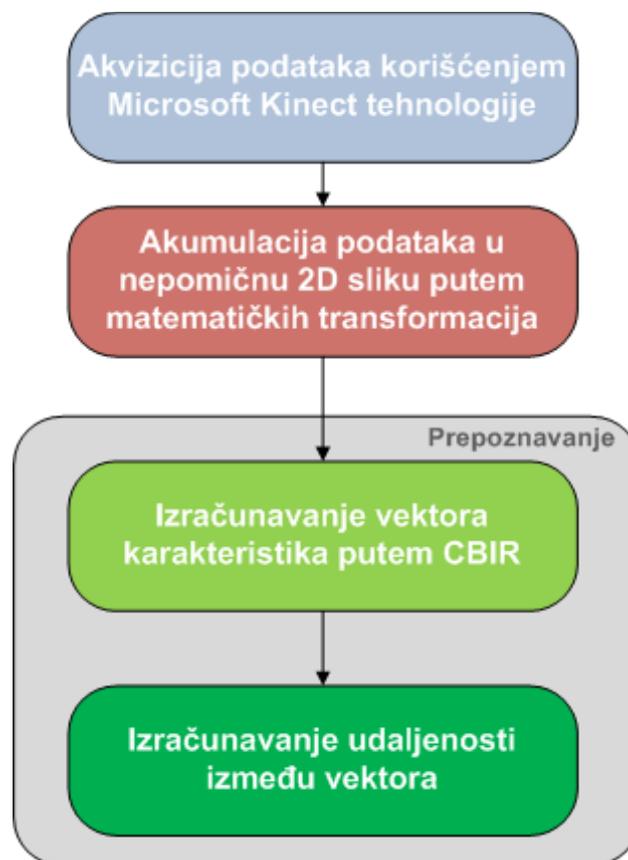
**Akvizicija podataka.** U prvom koraku prikupljaju se podaci o čovekovom hodu korišćenjem nove tehnologije za interakciju čovek-računar Microsoft Kinect. Ova tehnologija omogućuje da se prati pokret čovekovog tela prosečno 30 frejmova u sekundi. Kinect koristi poseban oblik senzorske tehnologije koji omogućuje da se izvrši precizno predviđanje poze ljudskog tela koja se izražava putem štapne figure. Štapna figura se formira povezivanjem 20 ključnih tačaka detektovanih na ljudskom telu. Većina tih tačaka predstavljaju spojeve na telu poput ramena, lakta, kolena ali su tu i šake, stopala, i glava. Svaka ključna tačka određena je pomoću tri koordinate trodimenzionalnog prostora definisanog ograničenjima tehnologije.

**Transformacija u nepomičnu 2D sliku.** U drugom koraku prikupljeni podaci iz procesa akvizicije se putem odgovarajućih matematičkih transformacija akumuliraju u nepomičnu 2D sliku. Ovaj proces se vrši da bi se problem preneo iz prostorno-vremenskog domena u prostorni domen koji odlikuje viši

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

stepen jednostavnosti. Odgovarajuće matematičke transformacije se primenjuju na svaku zabeleženu ključnu tačku ljudske figure i ona se prevodi u adekvatnu boju. Svaka tačka postaje jedan piksel odgovarajuće boje u rezultujućoj slici. Transformacije se zasnivaju na preslikavanju skupova. Progresijom frejmova u sekvenci hoda kreiraju se pikseli koji popunjavaju redove rezultujuće slike. Na rezultujućim slikama je potom moguće primeniti dokazane CBIR tehnike za potrebu prepoznavanja odgovarajuće osobe.

**Poređenje primenom CBIR tehnika.** Poslednji korak u postupku podrazumeva primenu CBIR tehnika za potrebe međusobnog poređenja slika i utvrđivanja odstojanja. Sekvence hoda čije rezultujuće slike su blizu po CBIR karakteristikama imaju veću verovatnoću da pripadaju istoj osobi. Proces prepoznavanja se odvija kroz dva podkoraka. Prvenstveno se za rezultujuće slike izračunavaju odgovarajući vektori karakteristika, a zavisno od primenjene CBIR metode. Potom se između izračunatih vektora izračunavaju odgovarajuća odstojanja i donosi odluka o sličnosti uzetih uzoraka hoda.



Slika 37 Proces novog predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda

Predloženi postupak nudi dobar kompromis između robusnosti i preciznosti metode i sa druge strane kompleksnosti računarskog izvršavanja. Činjenica da se u postupku oslanja na naprednu tehnologiju Microsoft Kinect za potrebe akvizicije pruža bolju platformu za predviđanje poze i rešavanje okluzije i luminga. Takođe korišćenje proverenih CBIR metoda za konačno prepoznavanje značajno

snižava troškove implementacije i razvoja biometrijskog sistema obzirom da je veliki broj CBIR algoritama dostupan kao biblioteka otvorenog koda.

Evaluacija predloženog postupka biće urađena na osnovu važećih standarda i evaluacionih tehnika u oblasti biometrije a za te potrebe biće razvijen laboratorijski prototip. Evaluacijom postupka proveriće se ispravnost sledećih hipoteza:

**Opšta hipoteza:** Poznati postupci za pretragu slika na osnovu sadržaja (CBIR) mogu se na uspešan način koristiti za potrebe prepoznavanja osoba na osnovu hoda.

**Pomoćna hipoteza 1:** Nove tehnologije za interakciju čovek-računar, poput Microsoft Kinect, se mogu uspešno primeniti u svrhu prikupljanja podataka potrebnih za prepoznavanje osoba na osnovu hoda u uslovima Fronto-Normalnog ugla snimanja.

**Pomoćna hipoteza 2:** Postoji takvo vreme  $t$ , koje predstavlja minimalno potrebno vreme za prikupljanje video sekvence ljudskog hoda, a koje sadrži dovoljno podataka da bi se uspešno obavilo prepoznavanje određene osobe.

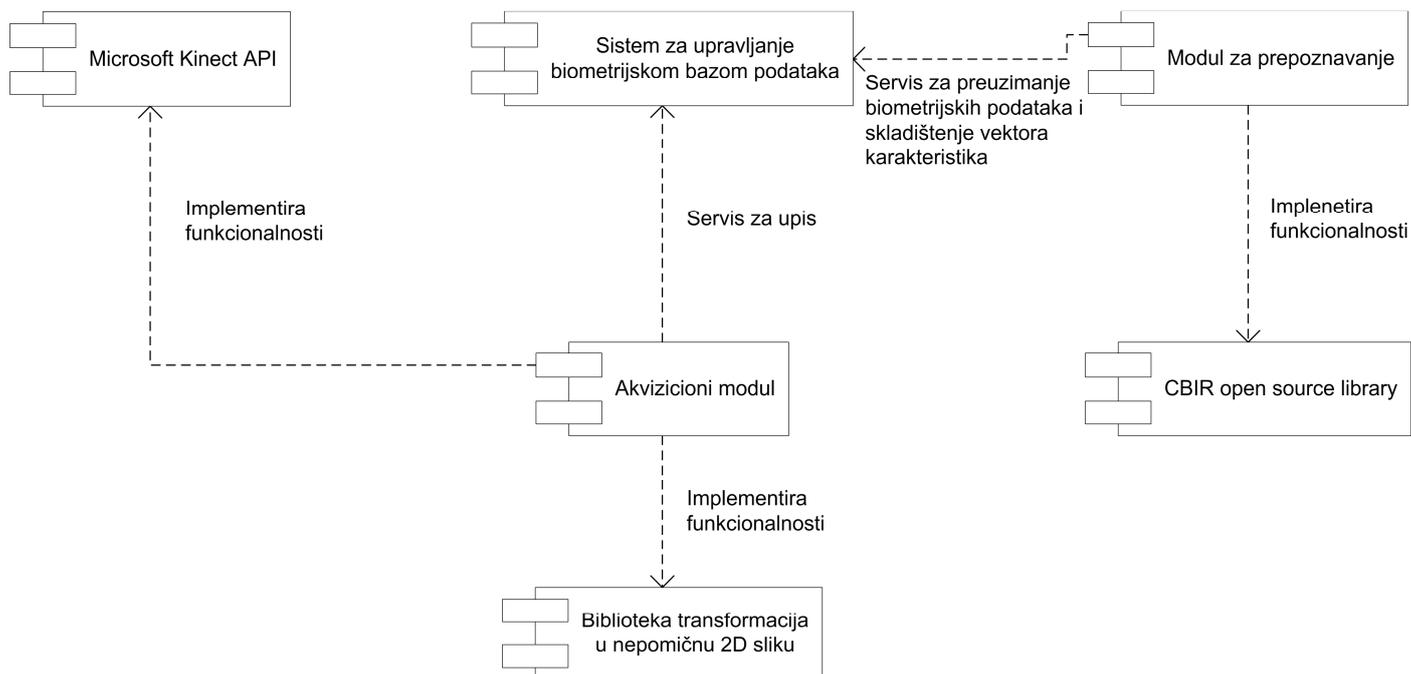
**Pomoćna hipoteza 3:** Postoji takva transformacija kojom se mogu svi zahvaćeni prostorno-vremenski podaci o ljudskom hodu preslikati u ravan nepomične 2D slike kako bi se na njima mogli primeniti poznati postupci za pretraživanje slika na osnovu sadržaja.

## 4.2 Arhitektura predloženog rešenja

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda podrazumeva višestepeni proces. U skladu sa standardima u razvoju biometrijskih sistema u projektovanju arhitekture moraju se uzeti u obzir zasebni procesi koji omogućavaju funkcionisanje biometrijskog sistema. Zavisno od potreba biometrijski sistem može funkcionisati u nekoliko operativnih modova.

Prvi i osnovni je mod upisa koji podrazumeva proces akvizicije biometrijskog uzorka i njegovo smeštanje u bazu podataka. Upisivanje je zaseban proces i može se vršiti nezavisno od ostalih koraka postupka. Vrlo često je organizaciona funkcija koja vrši akviziciju i upis biometrijskih podataka distribuirana, što zahteva da akvizicioni modul (Slika 38) bude poseban softverski paket. Akvizicioni modul se oslanja na Microsoft Kinect API za upravljanje Kinect uređajem. Kao rezultat korišćenja interfejsa akvizicioni modul dobija tok podataka koji predstavlja pozicije ključnih tačaka na čovekovom telu u prostoru. Podaci se beleže na nivou pojedinačnog frejma.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda



Slika 38 Arhitektura predloženog rešenja – dijagram komponenti

Drugi korak procesa podrazumeva matematičku transformaciju iz prostorno-vremenskog domena u prostorni domen, konkretno domen nepomične 2D slike. Potrebno je da se transformacija može vršiti u različite formate slika i prema različitim modelima. Upravo iz tog razloga algoritmi koji vrše transformaciju se mogu organizovati u softversku biblioteku da bi se po potrebi mogla koristiti od strane različitih segmenata sistema. Akvizicioni modul tok podataka koji se dobija uz pomoć Kinect interfejsa transformiše u adekvatni format nepomične 2D slike, pritom koristeći odgovarajuće funkcionalnosti biblioteke. Nakon formiranja, slike zajedno sa pratećim metapodacima se uz pomoć servisa skladište u biometrijsku bazu podataka. Biometrijska baza podataka zahteva visok stepen sigurnosti i autonomije u radu. Usled zahteva za adekvatnim odzivom biometrijskog sistema potreban je visok stepen uređenosti biometrijske baze podataka. Centralizovana baza podataka pruža mogućnost ostvarenja zadovoljavajućih performansi u radu. Takođe, potrebno je da različiti delovi sistema na siguran i brz način razmenjuju podatke sa bazom biometrijskih podataka. Iz tog razloga potrebno je kreirati prateći softverski sistem za upravljanje bazom podataka i za pružanje usluga baze ostalim delovima biometrijskog sistema (Slika 38).

Poslednji korak procesa podrazumeva primenu CBIR tehnika na slikama koje su pohranjene u biometrijskoj bazi podataka, izračunavanje vektora karakteristika i konačno računanjem odstojanja između vektora donošenje odluke o prepoznavanju određene osobe. Modul za prepoznavanje (Slika 38) koristi otvorene CBIR biblioteke kako za izračunavanje vektora karakteristika tako i za računanje odstojanja između njih. Obzirom da je proces izračunavanja vektora računarski intenzivniji od samog računanja odstojanja, odziv sistema se može poboljšati tako što bi se unapred izračunavali vektori i pohranili u biometrijskoj bazi podataka. Na taj način bi se *just in time* izračunavala odstojanja i donosila odluka o prepoznavanju. Ovim bi se postiglo funkcionisanje sistema u realnom vremenu. Pored

## **Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda**

---

ekstrakcije karakteristika i računanja međusobnih odstojanja modul za prepoznavanje mora posedovati funkcionalnosti za donošenje odluke o prepoznavanju. To podrazumeva postavljanje praga osetljivosti i mogućnost njegovim upravljanjem.

Predložena arhitektura biometrijskog sistema zadovoljava različite potrebe koje se postavljaju pred takve sisteme. Pre svega obezbeđeno je funkcionisanje sistema u realnom vremenu. Centralizovana baza biometrijskih podataka obezbeđuje brz odziv i mogućnost postavljanja visokog nivoa zaštite sistema. Princip generičnosti omogućuje distribuiran rad pojedinih delova sistema i njihov samostalan rad. Takođe, interoperabilnost između sistema se obezbeđuje servisnim pristupom koji omogućuje visok nivo skalabilnosti i nadogradnje postojeće arhitekture sistema.

## 5. Akvizicija podataka o hodu

Proces akvizicije podataka je izuzetno važan za svaki biometrijski sistem. Akvizicija treba na adekvatan način da prikupi biometrijske podatke od subjekta i obezbedi ih za korišćenje ostalim delovima biometrijskog sistema. Uspešnost biometrijske metode u velikoj meri zavisi od kvaliteta izlaza iz ovog procesa. Prikupljanje biometrijskih podataka se mora raditi uz pomoć odgovarajuće tehnologije i na onaj način koji će najviše pogodovati algoritmu za prepoznavanje. Samim tim može se zaključiti da se pre projektovanja sistema za akviziciju kao ulaz moraju uzeti potrebe algoritma za prepoznavanje. Ukoliko se te potrebe zanemare podaci neće pogodovati budućem procesu prepoznavanja i efikasnost metode će biti umanjena.

Predloženi postupak za prepoznavanje osobe na osnovu hoda se zasniva na štapnoj figuri subjekta. Korišćenje štapne figure za predstavljanje ljudskog tela je prisutno u oblasti analize ljudskog hoda od samih početaka. Osnovna ideja jeste da se ključne tačke na ljudskom telu obeleže (Johansson, 1973) i koriste kao reprezentacija ljudske figure. Da bi se dobila razumljivija predstava ljudskog tela te tačke se međusobno povezuju da bi replicirale izgled skeleta čoveka. U suštini reprezentacija štapne figure se i zasniva na ideji da je kretanje ljudskog tela u stvari kretanje potpornih kostiju ljudskog organizma (Aggarwal & Cai, 1999).

U ranim istraživanjima za analizu ljudskog tela korišćeni su svetli markeri koji su strateški postavljeni na ljudsko telo (Jalal, Behzad, & Fariba, 2009). Nakon toga obradom video snimka ucrtava se štapna figura povezivanjem markera i određuje se njihova pozicija u prostoru. Ovaj proces se može raditi manuelno ili automatski. Problem kod ovakvog metoda je činjenica da nije praktično primenljiv na problem prepoznavanja hoda. Iako je moguće u procesu akvizicije koristiti svetle markere, kasnije je nemoguće obaviti prepoznavanje u realnom vremenu na neintruzivan način. Bez obzira na to, ovakav način rada se i dalje koristi u filmskoj industriji za prenos pokreta subjekta na računarski generisane likove.

Značajan napredak u radu sa štapnim figurama načinjen je razvojem oblasti procene poze (Spehr, Winkelbach, & Wahl, 2012). Ova oblast istraživanja pokušava da reši pre svega problem procene poze subjekta iz snimka kamere. Postoje razni pristupi ali se smatra da bi najviše koristi donela metoda koja bi uspešno procenjivala pozu samo iz snimka monokularne kamere u nepoznatom okruženju. Iako je postignut veliki napredak u ovoj oblasti i izvesna rešenja su se pokazala relativno uspešnim (Andriluka, Roth, & Schiele, 2010; Chen & Schonfeld, 2010), željena robusnost još uvek nije postignuta. Problem se javlja usled mnogih faktora kao što su promenljiva pozadina, više subjekata u slici ali i izražen problem okluzije i samookluzije.

Pojavom nove Microsoft Kinect tehnologije za interakciju čovek-računar veliki deo postojećih problema u proceni poze je prevaziđen ili barem ublažen. Pre svega moguće je znatno preciznije ekstrahovati ljudsku figuru sa značajno manjom osetljivošću na okluziju. Pored toga praćenje više subjekata istovremeno postaje veoma dostižan cilj. Već sada u prvobitnim verzijama Kinect može paralelno pratiti 2 osobe dok može uspešno detektovati čak 6. Pritom mora se napomenuti da ne postoji neko određeno ograničenje tehnologije koje bi sprečilo da taj broj bude čak i veći. Upravo iz tog razloga u novopredloženom pristupu za potrebe akvizicije ljudskog hoda koristi se Microsoft Kinect tehnologija.

## 5.1 Microsoft Kinect – novi uređaj za interakciju čovek-računar

Interakcija čovek-računar postala je jedna od ključnih tema u informacionim tehnologijama. Inženjeri koji se bave razvojem novih informacionih tehnologija kao primarni cilj moraju imati pre svega zadovoljstvo u korišćenju. Obzirom da je tržište informacionih tehnologija sve veće i uključuje se sve više učesnika, borba za svakog korisnika postaje sve izraženija. Svakim danom se pojavljuju nove ideje za primenu informacionih tehnologija. Postaje sve teže pronaći izum čija će funkcionalnost biti nova i na taj način se osvojiti tržište. Upravo iz tog razloga veliki udeo u budućem zadovoljstvu korisnika će imati upotrebljivost tehnologije. Tu stupa na scenu interakcija čovek-računar.

Microsoft se u ovu oblast uključio prvenstveno kroz program svojih konzola za igru. Konačni cilj koji je nekoliko konkurentnih kompanija pokušavalo da dostigne je kreiranje takozvanog prirodnog korisničkog interfejsa (eng. Natural User Interface). Ideja je da se sa računarom komunicira na način kako se komunicira sa ljudima, razgovorom i telesnom gestikulacijom.

Prvi značajniji korak načinila je kompanija Nintendo uvođenjem specifične Wii (Slika 39a) tehnologije 2006. godine. Svodi se na korišćenje posebnog kontrolera koji korisnik drži u ruci i svojim pokretima upravlja avатарom u igri. Tehnologija kombinuje niz akceleratora ugrađenih u kontroler sa infra crvenom tehnologijom da bi detektovala poziciju kontrolera u 3D prostoru.

Kao odgovor kompanija Sony je 2009. godine kao dodatak svojoj Playstation 3 konzoli ponudila PlayStation Move (Slika 39b) koji koristi kombinaciju senzora inercije sa lampom koja se nalazi na vrhu kontrolera. Kamera potom detektuje svetlost lampe i u kombinaciji sa senzorom za inerciju predviđa položaj kontrolera u 3D prostoru.



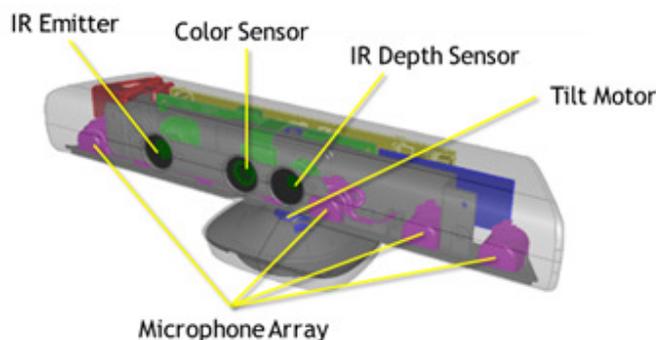
Slika 39 Nintendo Wii kontroler a) i Playstation Move kontroler b)

Microsoft je u trku ušao sa Kinect tehnologijom u drugoj polovini 2010. godine i postigao izuzetan uspeh. U prvom prazničnom periodu svoje prodaje prodato je preko 8 miliona uređaja (Takahashi,

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

2011). Njihov pristup razvoju prirodnog korisničkog interfejsa bio je specifičan. U startu su izvršili akviziciju nekoliko manjih kompanija koje su se bavile razvojem u oblasti interakcije čovek-računar i posedovale nekoliko manjih patenata. Uprkos tome, jako veliki deo razvoja Kinect uređaja odrađen je u okviru Microsoft razvojnog centra. Za veliki uspeh Kinect tehnologije može se zahvaliti i kvalitetu izrade uređaja. Jedan od osnovnih zahteva koji su istraživači u Microsoftu trebali da ispune je da uređaj bude izuzetno robustan i otporan na kvarove. Upravo iz tog razloga Kinect je razvijen tako da se ne pregreva, dobro podnosi fizičke udarce kao i promene u naponu do te mere da može izdržati indirektan udarac groma.

Microsoft Kinect tehnologija je revolucionarna pre svega zbog izuzetno niske cene. Većina komponenti i tehnologija koje su ušle u taj uređaj nisu bile nove i već su korišćene ranije kao deo drugih proizvoda ali je Microsoft uspeo da svu tehnologiju spakuje u uređaj koji je koštao malo iznad 100\$. Kinect predstavlja poseban spoj različitih senzorskih tehnologija. Unutar jednog uređaja nalaze se standardna VGA kamera, Infra-crveni emiter, Infra-crveni senzor dubine, niz mikrofona kao i jedan elektromotor koji upravlja nagibom uređaja (Slika 40).



Slika 40 Microsoft Kinect kontroler – sastav komponenti

Kinect kombinuje informacije dobijene iz svojih senzora da bi konačno mogao da izvrši procenu poze osobe. Ključnu ulogu igraju Infra-crveni emiter i Infra-crveni senzor dubine. Oni se koriste za dobijanje procene dubine i oblika posmatranog objekta. U tu svrhu primenjuje se tehnologija strukturnog osvetljenja (Scharstein & Szeliski, 2003). Ta tehnologija podrazumeva projektovanje poznatog obrasca piksela u pravcu posmatranog objekta i potom procene dubine na osnovu deformacije svetlosti pri kontaktu sa površinom objekta (Slika 41). Percepcija dubine se kombinuje sa informacijama sa drugih senzora. Uz pomoć VGA kamere se jasno odredi položaj subjekta i potom se koriste predefinisani modeli ljudske figure u koji se ugrađuju prikupljene informacije. Nakon toga se dobije procena poze subjekta i ona se predstavlja uz pomoć štapne figure koji sačinjava 20 ključnih tačaka i 19 krutih segmenata koji ih povezuju. Uz pomoć niza mikrofona se može dodatno povećati preciznost detekcije konkretne osobe. Pored senzora elektromotor koji se nalazi u podnožju uređaja omogućava da se softverski kontroliše nagnutost uređaja. Kinect kao referentnu ravan uzima pod te je potrebno da u svakom trenutku ima podnu ravan u vidnom prostoru. Ukoliko iz nekog razloga Kinect izgubi podnu ravan onda može uz pomoć elektromotora da nagne uređaj radi boljeg poravnjanja. Ova funkcionalnost Kinect uređaja je

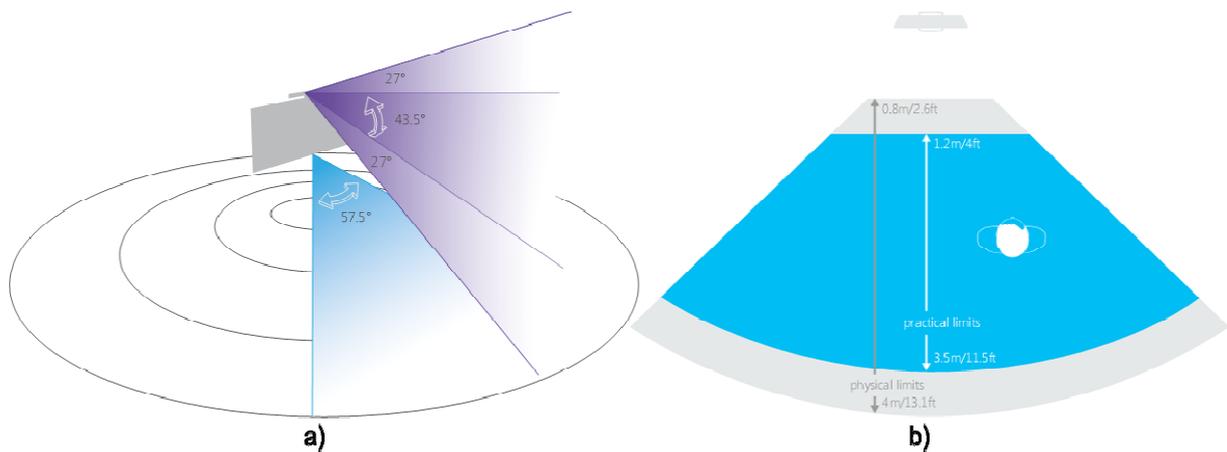
## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

pogodna i u slučajevima prismotre jer omogućuje da se uređaj postavi i na veće visine, na primer iznad vrata ili nekog prolaza.



Slika 41 Primer rada strukturnog osvetljenja

Obzirom da Kinect koristi vrlo specifičan miks senzorskih tehnologija, on ima i određena prostorna ograničenja. Ovo je pre svega uzrokovano tehnologijom infra-crvenog strukturnog osvetljenja. Vertikalno pokriva ugao od  $43.5^\circ$  sa  $\pm 27^\circ$  zahvaljujući elektromotoru za nagnjanje. Horizontalno pokriva ugao od  $57.5^\circ$  (Slika 42a). Kada je u pitanju udaljenost od uređaja Kinect uspešno pokriva udaljenost od 0.8m do 4m (Slika 42b).



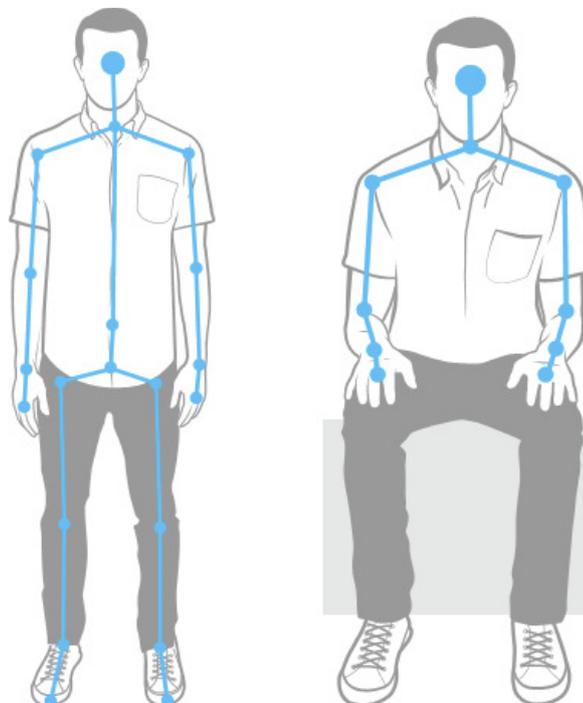
Slika 42 Fizička ograničenja rada Kinect uređaja (Microsoft Corporation, 2012)

Konačan rezultat snimanja Kinect uređajem je položaj štapne figure čoveka prosečno do 30 frejmova u sekundi. Ukoliko se prati više od jedne osobe, performanse sistema blago opadaju i dobija se prosečno od 25 do 30 frejmova u sekundi, što i dalje odgovara brzini prosečnog video snimka. Kinect može da

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

---

prati kompletnu figuru osobe ukoliko je osoba u stajaćem položaju ali ima i mogućnost da prati osobe koje sede tako što detektuje štapnu figuru koja uključuje glavu i gornje ekstremitete (Slika 43).



**Slika 43** Štapne figure zabeležene kod osobe u uspravnom stajaćem položaju i kod osobe koja sedi

Štapne figure se uz pomoć Microsoft Kinect API-ja dobijaju kao tok podataka koji svaku ključnu tačku na telu predstavlja preko tri koordinate trodimenzionalnog prostora. Samim tim, putem interfejsa dobijaju se položaji 20 ključnih tačaka u proseku 30 puta u minutu.

U okviru predloženog rešenja Microsoft Kinect će se koristiti u postupku akvizicije. Za snimanje hoda biće primenjen Fronto-Normalni ugao snimanja, koji posebno pogoduje ovoj vrsti tehnologije, značajno smanjuje uticaj samookluzije a pritom je i veoma primenljiv u praksi.

## 6. Baza biometrijskih podataka

Biometrijski podaci podrazumevaju sve one podatke koji se mogu generisati u procesu funkcionisanja nekog biometrijskog sistema. Između ostalog to mogu biti kako biometrijski uzorci prikupljeni u procesu akvizicije, tako i modeli, vektori karakteristika, skorovi poređenja pa čak i rezultati procesa identifikacije ili verifikacije. U svakom biometrijskom sistemu jedan od ključnih zadataka je obezbediti kvalitetno upravljanje biometrijskim podacima. To podrazumeva obezbeđivanje visokog stepena sigurnosti i očuvanje integriteta podataka uz paralelno obezbeđenje efikasnog odziva sistema.

Da bi se ispoštovali principi sigurnosti baze podataka kao i postigao visok stepen odziva sistema biometrijsku bazu podataka optimalno je urediti po centralizovanom modelu. Ukoliko je baza podataka centralizovana ona se može na adekvatan način zaštititi kako softverski tako i hardverski. Mrežno okruženje u kom baza funkcioniše može se pravilno nadgledati i pravovremeno sprečiti bilo kakav neautorizovan upad. Pored zaštite, centralizovanim modelom se obezbeđuje brz odziv sistema. Ukoliko su svi podaci na jednom mestu mogu se primeniti standardni principi za podizanje performansi sistema za upravljanje bazom podataka poput indeksiranja, denormalizacije i a priori obrade podataka.

Najznačajnija odlika baze biometrijskih podataka je činjenica da u velikom broju slučajeva mora da radi sa multimedijalnim podacima. Upravo iz tog razloga problemi koji se javljaju u ovakvim bazama su ekvivalentni problemima koji se javljaju u multimedijalnim bazama podataka. Uzori u rešavanju modela potrebne baze podataka se trebaju prvenstveno tražiti u multimedijalnim bazama podataka.

Da bi se pristupilo projektovanju potrebne biometrijske baze podataka za novopredloženi pristup u prepoznavanju osoba na osnovu hoda potrebno je izvršiti analizu mogućih podataka u sistemu. Pre svega potrebno je adekvatno projektovati sistem da može upravljati podacima prikupljenim u procesu akvizicije. Najveći izazov je skladištenje akumuliranih nepomičnih slika koje su rezultat transformacija sekvence hoda. Pored toga, radi obezbeđenja efikasnog odziva sistema potrebno je obezbediti podršku modulu za prepoznavanje koji bi određenu količinu procesiranja podataka uradio a priori.

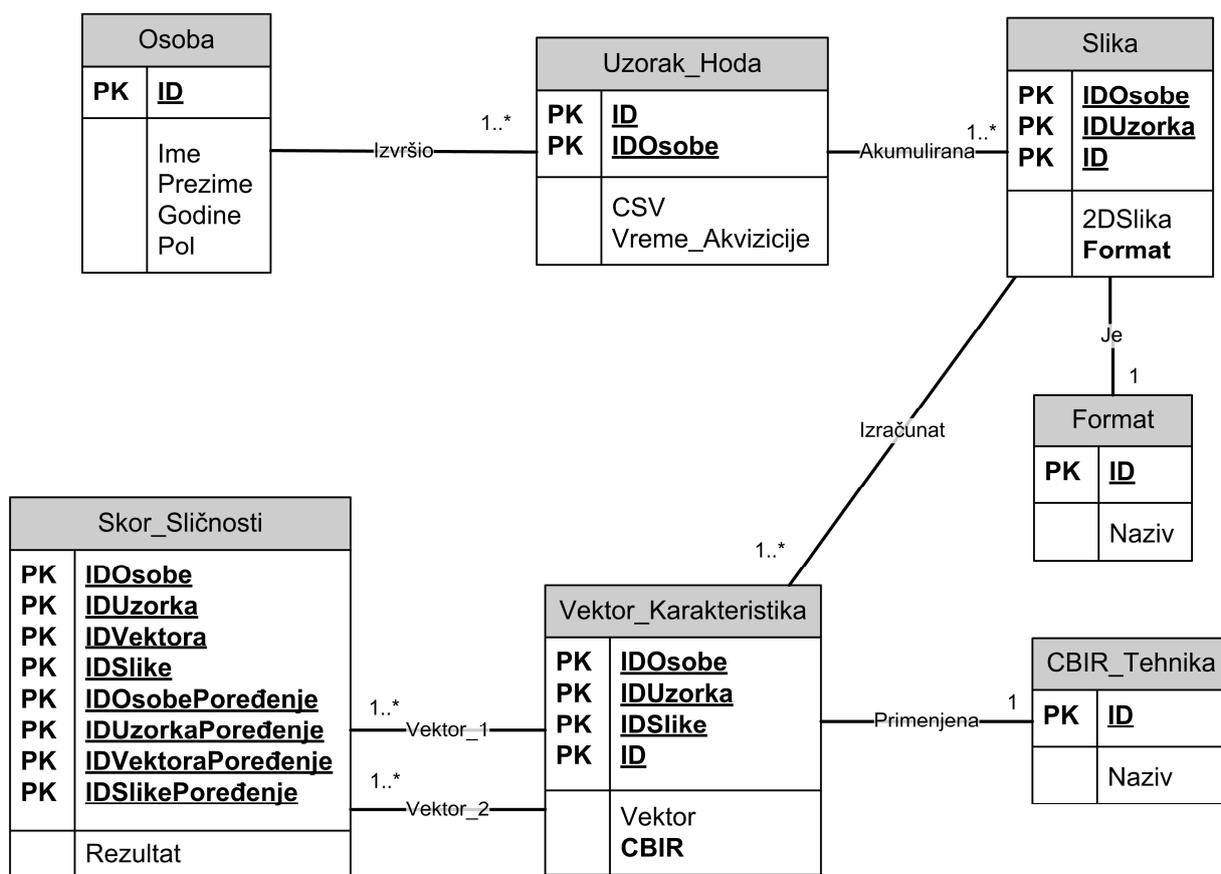
### 6.1 Model baze podataka

Predloženi model podataka mora da zadovolji potrebe novopredloženog pristupa. Prvi zadatak je da baza podržava određeni stepen upravljanja korisnicima. Podaci o korisnicima biometrijskog sistema su predviđeni relacijom *Osoba* (Slika 44.) gde se beleže neki osnovni demografski podaci, od kojih se neki mogu uzeti u obzir prilikom rada algoritma (pol osobe može uticati na specifičnost hoda (Yu, Tan, Huang, Jia, & Wu, 2009)).

Osnovna odlika predloženog pristupa je da se sekvenca hoda predstavljena štapnom figurom kroz frejmove transformiše u nepomičnu 2D sliku. Takav postupak podrazumeva dve vrste podataka, sirove podatke prikupljene kao reprezentacija štapne figure kroz frejmove i slika koja je rezultat primenjene transformacije. Sirovi podaci se skladište u bazu podataka u CSV (Comma Separated Value) formatu. Svaki uzorak hoda beleži se u posebnu relaciju pod nazivom *Uzorak\_Hoda*. Ta relacija je slab entitet u odnosu na osobu, obzirom da svaka osoba može imati više uzoraka svog hoda uskladištenog u bazu podataka. Takođe važna informacija je vreme akvizicije, tačnije vreme kada je načinjen uzorak hoda i uskladišten u bazu podataka. Ovo vreme je jako bitno obzirom da vreme može uticati na biometrijski

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

uzorak, i da ukoliko postoji dug vremenski period između dva uzorka može doći i do izvesne razlike u hodu usled fizioloških promena osobe (promena telesne mase, trudnoća, povreda nekog ekstremiteta...). Za svaki uzorak hoda putem akumulacije podataka informacije se transformišu u nepomičnu 2D sliku. Takva slika je osnova za kasnije prepoznavanje primenom CBIR tehnika. Jedan uzorak hoda kao rezultat može imati više različitih slikovnih reprezentacija. Moguće je primeniti različite vrste transformacija da bi se dobili različiti formati slika (RGB formati, HSV formati...). Iz tog razloga slike se skladište u relaciju *Slika* koja predstavlja slab entitet u odnosu na *Uzorak\_Hoda*. Slika je određena formatom čiji se šifarnik nalazi u relaciji *Format*.



Slika 44 Model baze podataka za novopredloženi pristup za prepoznavanje osoba na osnovu hoda

Da bi se postigao dobar odziv sistema i optimalne performanse, baza podataka mora da podrži a priori procesiranje koje se odvija pre samog postupka identifikacije ili verifikacije. Obzirom da biometrijski sistem ima periode neaktivnosti, najčešće nakon postupka akvizicije, u tom periodu je moguće izračunati vektore karakteristika za akumulirane slike primenom CBIR tehnika. Obzirom da se za svaku sliku vektor karakteristika može računati korišćenjem više različitih CBIR tehnika, podaci o vektoru se skladište u relaciju *Vektor\_Karakteristika* koji predstavlja slab entitet u odnosu na relaciju *Slika*. Informacije o primenjenoj CBIR tehnici se nalaze u šifarniku *CBIR\_Tehnika*.

## **Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda**

---

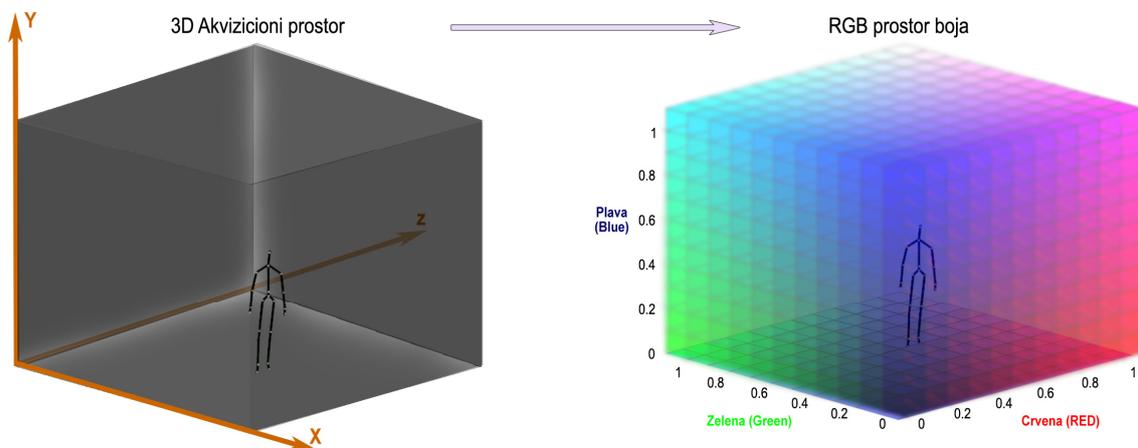
Konačno, odstojanja između vektora karakteristika se mogu uskladištiti i koristiti od strane algoritma za prepoznavanje. Između dva vektora karakteristika izračunava se skor sličnosti i skladišti u relaciju *Skor\_Sličnosti*, koja je agregirani objekat od dva vektora karakteristika. Skladištenje skorova može značajno koristiti sistemima koji se zasnivaju na mašinskom učenju.

## 7. Transformacija podataka iz prostorno-vremenskog u domen nepomične 2d slike

Prepoznavanje osoba na osnovu hoda predstavlja prostorno-vremenski problem. Informacije koje su potrebne za proces prepoznavanja se dobijaju posmatranjem osobe dok hoda. Hodanje predstavlja kretanje osobe kroz prostor. Dodatna poteškoća je što se pokret dešava dinamički u toku određenog vremenskog perioda. Akvizicija ljudskog hoda se uglavnom vrši snimanjem uz pomoć kamere, koja beleži pokrete osobe u prostoru, gde je vremenska dimenzija zabeležena tranzicijom frejmova.

Na ovaj način prikupi se izuzetno velika količina informacija, uz otežavajuću okolnost da su tako prikupljene informacije rasute u dva problemska domena: prostorni i vremenski. Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda predlaže da se izvrši redukcija dimenzionisanosti problema tako što će se problem transformisati iz prostorno-vremenskog domena u prostorni domen. Podatke bi trebalo transformisati u domen nepomične 2D slike obzirom da je to domen koji je dosta istraživan u praksi i u kom su postignuti značajni uspesi.

Akvizicioni proces, kao rezultat daje položaj ljudskog tela predstavljen preko štapne figure u proseku 30 frejmova u sekundi. Za svaki frejm dobija se 20 ključnih tačaka na čovekovom telu predstavljenih preko tri koordinate trodimenzionalnog prostora. Akvizicioni prostor je ograničen kapacitetima senzorske tehnologije, ali je broj mogućih lokacija ključnih tačaka beskonačan obzirom da su koordinate predstavljene realnim skupovima brojeva. Postoji značajna sličnost između ovog prostora i na primer RGB (Red, Green, Blue) prostora boja poznatog u računarskoj grafici. RGB u suštini predstavlja način formiranja boja tako što se mešaju tri boje, crvena **R**, zelena **G** i plava **B**. Ukoliko se **R**, **G** i **B** uzmu za ose tranzicija boja se može predstaviti kao trodimenzioni sistem u kom jedna tačka predstavlja jednu jedinstvenu boju. Obzirom da se učešće svake od tri boje može odrediti procentualno, od 0 do 1 realnim brojem, može se zaključiti da je broj mogućih rezultujućih boja takođe beskonačan. Ova svojstva jasno povezuju ova dva sistema i samim tim moguće je napraviti tranziciju iz jednog prostora u drugi. Obzirom da su oba prostora ograničena, ali da imaju beskonačan broj mogućih tačaka, moguće je napraviti transformaciju tačaka iz jednog u drugi sistem bez gubitka informacija (Slika 45).



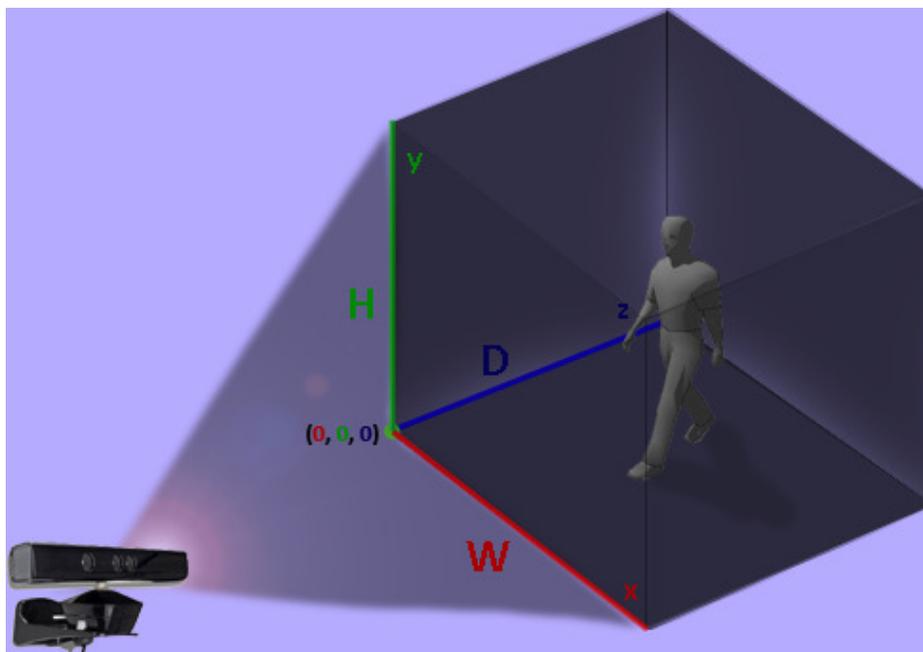
Slika 45 Transformacija iz 3D prostora u RGB prostor

Ovakvom transformacijom svaka ključna tačka štapne figure bila bi transformisana u piksel određene boje iz RGB prostora. Sve ključne tačke jednog frejma mogle bi biti grupisane u jedan red nepomične 2D slike. Progresijom vremena slika bi dobijala nove redove dok se krajem sekvence hoda ne bi konačno formirala nepomična 2D slika koja je reprezentacija tog hoda.

### 7.1 Generički model transformacije

Problem transformacije određene ključne tačke zabeležene u trodimenzionalnom prostoru u piksel odgovarajuće boje nekog grafičkog prostora svodi se na preslikavanje vrednosti iz jednog skupa vrednosti u drugi. Ukoliko su ta dva skupa jednaka, preslikavanje se može izvršiti bez gubitka informacija. Uzećemo za primer generički RGB prostor i formirati adekvatni matematički model preslikavanja. Obzirom na prirodu problema, pogodan matematički model se može pronaći u odgovarajućem obliku Min-Max normalizacije. Ova vrsta normalizacije se često koristi u biometrijskim sistemima, a naročito za potrebe normalizacije skorova u multimodalnim biometrijskim sistemima (Jain, Nandakumar, & Ros, 2005).

Za postavljanje adekvatnog matematičkog modela moramo prvo analizirati podatke koji su rezultat procesa akvizicije. Snimanjem se zabeleži položaj 20 ključnih tačaka na čovekovom telu prosečno 30 puta u sekundi. Dok se osoba kreće niz osu **Z** u pravcu senzora (Slika 46), akvizicioni uređaj (Microsoft Kinect) vrši procenu poze tela osobe i predstavlja ga štapnom figurom. Svaka ključna tačka predstavljena je kao skup tri koordinate (**x,y,z**) trodimenzionalnog koordinatnog sistema. Hod se beleži dok osoba prolazi kroz prostor koji je ograničen mogućnostima senzora i određen je širinom **W** (eng. width), visinom **H** (eng. height) i dubinom **D** (eng. depth).



Slika 46 Grafički prikaz akvizicionog prostora

Transformacija u odgovarajući piksel zavisi od formata rezultujuće slike ali i od reprezentacije boja. Prvenstveno predlažemo matematički model koji je generički i podržava transformaciju u opšti model RGB prostora. Naravno, isti model se može koristiti za neke druge trodimenzionalne reprezentacije boja, kao na primer za Hue, Saturation, Value (HSV) reprezentaciju.

Kombinacija crvene **R**, zelene **G** i plave **B** boje se dobija na osnovu tri koordinate svake ključne tačke. Tri koordinate formiraju jedinstvenu boju putem sledeće matematičke transformacije:

$$F(x, y, z) \rightarrow G(R, G, B)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{x_{ij}}{W} = R_{ij} \\ \frac{y_{ij}}{H} = G_{ij} \\ \frac{z_{ij}}{D} = B_{ij} \end{array} \right\} i \in \{1, 2, \dots, k\}; j \in \{1, 2, \dots, l\}; (R, G, B) \in [0, 1] \quad (1)$$

U datoj funkciji (1)  $x, y, z$  predstavljaju koordinate zabeležene ključne tačke,  $W$  predstavlja širinu,  $H$  predstavlja visinu dok  $D$  predstavlja dubinu akvizicionog prostora (Slika 46). Promenljiva  $k$  predstavlja broj ključnih tačaka dok  $l$  predstavlja broj zabeleženih frejmova tokom akvizicije. Vrednosti  $R, G$  i  $B$  određuju intenzitet svake od tri boja u rezultujućem pikselu. Ovako formiran model prilikom transformacije u potpunosti zadržava sve prikupljene informacije u procesu akvizicije i potvrđuje naučnu zasnovanost postavljene pomoćne hipoteze:

- Postoji takva transformacija kojom se mogu svi zahvaćeni prostorno-vremenski podaci o ljudskom hodu preslikati u ravan nepomične 2D slike kako bi se na njima mogli primeniti poznati postupci za pretraživanje slika na osnovu sadržaja.

## 7.2 Model transformacije zavisn od formata nepomične slike

Predloženi generički matematički model ima svoja ograničenja kad je praktična primena u pitanju. Količina boja koju podržava konvencionalni RGB prostor je beskonačna i samim tim ne može se koristiti u računarskim sistemima. Svaki izlazni periferni uređaj ima svoja ograničenja kad je u pitanju mogućnost prikaza boja. Ovo važi kako za monitore, tako i za različite štampače, projektore, projekciona platna i slične uređaje. Upravo iz tog razloga razvijeni su različiti formati digitalnih slika koji podržavaju isključivo ograničenu količinu boja. Na primer, 24bitni RGB format ima rezervisano po 8 bita za svaku od tri boje. Samim tim svaka boja može učestvovati u kreiranju rezultujuće boje sa svoje 256 nijanse. Da bi se izvršila transformacija prema nekom specifičnom formatu 2D slike potrebno je razviti dinamički matematički model koji će omogućiti transformaciju u određeni format. Proširenjem osnovnog modela sa određenim svojstvima rezultujuće slike, matematički model transformacije se može predstaviti kao:

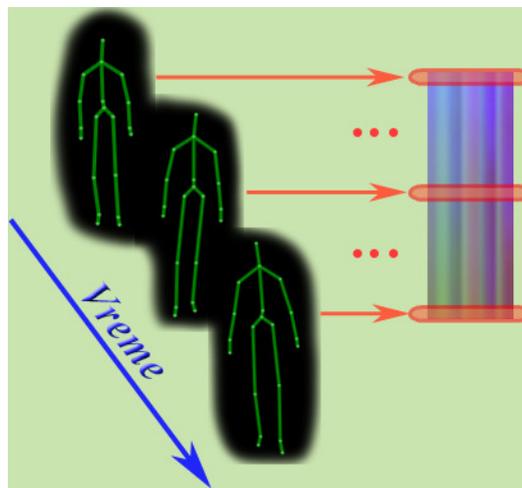
$$F(x, y, z) \rightarrow G(R, G, B)'$$

$$\left. \begin{array}{l} \left\lfloor x_{ij} \frac{2^{n_r}}{W} + 0.5 \right\rfloor = R_{ij} \\ \left\lfloor y_{ij} \frac{2^{n_g}}{H} + 0.5 \right\rfloor = G_{ij} \\ \left\lfloor z_{ij} \frac{2^{n_b}}{D} + 0.5 \right\rfloor = B_{ij} \end{array} \right\} i \in \{1, 2, \dots, k\}; j \in \{1, 2, \dots, l\}; R, G, B \in \{0, \dots, 2^{n_{r,g,b}}\} \quad (2)$$

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

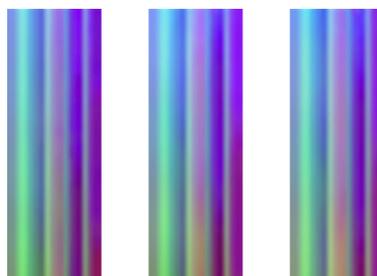
U predloženom modelu (2)  $x$ ,  $y$ ,  $z$  predstavljaju koordinate zabeležene ključne tačke,  $W$  predstavlja širinu,  $H$  predstavlja visinu dok  $D$  predstavlja dubinu akvizicionog prostora (Slika 46). Promenljiva  $k$  predstavlja broj ključnih tačaka dok  $l$  predstavlja broj zabeleženih frejmova tokom akvizicije. Vrednosti  $R$ ,  $G$  i  $B$  određuju intenzitet svake od tri boja u rezultujućem pikselu. Dopuna u ovom modelu je promenljiva  $n$  koja predstavlja dostupan broj bitova po svakoj od boja rezultujućeg RGB formata. Obzirom da se sada transformacija vrši iz skupa realnih u skup celih brojeva neophodno je primeniti i celobrojno zaokruživanje.

Sve ključne tačke, koje pripadaju jednom frejmu, uz pomoć transformacije postaju pikseli jednog reda nepomične 2D slike. Kako se frejmovi menjaju, transformacijama se popunjavaju redovi slike dok se konačnim zabeleženim frejmom ne zaključi poslednji red slike (Slika 47).



Slika 47 Transformacija štapnih figura u redove nepomične 2D slike

Rezultujuće slike (Slika 48) oslikava tranzicija boja od vrha ka dnu slike. Nepomična 2D slika zadržava sve prikupljene informacije u procesu akvizicije i translira ih u 2D ravan. Fiziološke karakteristike su predstavljene intenzitetom boja, dok su brzina i tempo hoda predstavljeni količinom promene boja kretanjem niz sliku. Vremenske informacije su zabeležene kao vertikalna osa slike. Iako na prvi pogled deluje da se rezultujuće slike ne mogu razlikovati, među njima postoje značajne razlike i trebalo bi da se CBIR tehnike mogu uspešno primeniti za njihovo razlikovanje.



Slika 48 Primeri rezultujućih 2D nepomičnih slika za uzorke hoda tri različite osobe

## 8. Prepoznavanje primenom CBIR tehnika

CBIR (Content Based Image Retrieval) ili pretraživanje slika na osnovu sadržaja predstavlja oblast istraživanja primene tehnika računarske vizije za potrebe pronalazjenja slika iz velikih baza podataka (Lew, Sebe, Djeraba, & Jain, 2006). Tehnike za pretragu slika na osnovu sadržaja se mogu segmentirati u osnovne dve grupe (Jia, Amselag, & Gros, 2008):

- pristupi zasnovani na tekstu
- pristupi zasnovani na sadržaju

Kada su u pitanju pristupi zasnovani na tekstu, oni podrazumevaju da se na osnovu tekstualnog upita pronađu slike koje mogu sadržati traženi tekst kao prateće podatke slike. Veliki broj istraživača ne ubraja ove tehnike u CBIR obzirom da one podrazumevaju prateće podatke, a ne sam sadržaj slike, iako se nekad podaci odnose upravo na ono što je u slici. Važno je napraviti razliku između ovih tehnika i tehnika za detekciju i tumačenje teksta u slici. U tom slučaju u pitanju su OCR (Optical Character Recognition) tehnike. Ovde je u pitanju je vrlo složen problem, obzirom da je potrebno pre svega segmentirati delove slike za koji se pretpostavlja da je tekst, potom se pokušati tumačenje tog teksta. Tekstovi na slikama nisu uvek jednostavni za segmentaciju, vrlo često su u pitanju ispisi teksta na različitim površinama i najrazličitijim fontovima. Primer sistema koji koristi tekstualnu pretragu slika se koristi u policijskim sistemima za identifikaciju vozila sigurnosnim kamerama. Ukoliko je neko vozilo otuđeno, na osnovu broja tablice sigurnosne kamere mogu pokušati da identifikuju vozilo ukoliko prođe kroz kadar kamere.

Pristupi koji su zasnovani na sadržaju podrazumevaju pretragu slika na osnovu svojstava slike i onoga što se na samoj slici nalazi. Najveći problem kod ovog pristupa je: kako premostiti semantički jaz između čoveka i računarskog sistema koji vrši pretragu? Sadržaj slike čovek shvata na mnogo različitih načina i na to utiču različiti faktori. Pre svega je pitanje: kako opisati određenu sliku? Šta se na njoj nalazi od objekata? Kakav je pejzaž u pitanju? Ukoliko je pejzaž koje je doba dana? Da li je u pitanju portret? Jedna slika nosi ogromnu količinu informacija. Sistemi za pretragu se grupišu na osnovu karakteristika koje traže u slikama. Osnovne grupe karakteristika su (Eakins & Graham, 1999):

- **boja,**
- **tekstura,**
- **oblik i**
- **objekat.**

Tehnike koje su zasnovane na **bojama** kao osnovno svojstvo za pretragu se oslanjaju na sadržaj boja u slici. Sadržaj boja se može tumačiti na nekoliko različitih načina. Pre svega može se kao karakteristika uzeti učestalost svake od zastupljenih boja u slici. Ove tehnike se skupa nazivaju histogram tehnikama. Najranija i najpoznatija je tehnika Color Histogram (Novak & Shafer, 1992), koja je začetnik ovog pravca u pretrazi slika na osnovu boja. Metode koje su potekle iz nje uzimaju u obzir i druge faktore kao što su prostorne informacije (položaj piksela određene boje u slici, udaljenost između piksela određenih boja...). U najvećoj meri se zasnivaju na statističkim metodama i iz tog razloga pokazuju dobru uspešnost na velikim skupovima slika.

**Tekstura** kao karakteristika u pretrazi slika može biti od izuzetne važnosti u situacijama kada se slike teško mogu razlikovati po bojama, a u suštini predstavljaju veoma različite pojmove. Značaj teksture se

najbolje može objasniti poređenjem dve slike, gde se na jednoj nalazi more dok na drugoj prikaz nebeske površine. Nijanse boja na te dve slike mogu biti vrlo približne ali su same slike izuzetno različite. Tekstura u takvim situacijama može napraviti razliku između morske i nebeske površine. Nju određuje kontrast, nijanse sive boje i određena repetitivnost. Takođe izuzetno važan faktor kada je tekstura u pitanju je njen položaj i orijentacija u samoj slici.

**Oblik** kao karakteristika odnosi se na određene regione koji mogu biti identifikovani u slici. Povezivanjem sličnih piksela formira se određeni oblik koji je karakterističan za određenu sliku. Oblik se ne odnosi na konkretan oblik same slike već na konkretan sadržaj u slici.

Slike se, takođe, mogu pretraživati sa svrhom pronalaženja nekog **objekta** na slici. Za objekat mora da postoji vezana neka semantička vrednost i skup pravila kako se objekat formira. Tipičan primer su sistemi za detekciju lica. Da bi na uspešan način detektovali lice u slici različite tehnike moraju da traže karakteristične oznake lica koje su generičke za svako lice.

Postoje i hibridne tehnike koje kombinuju nekoliko različitih grupa karakteristika poput boje, teksture i oblika (Hiremath & Pujari, 2007).

### 8.1 Odabir CBIR tehnika za primenu u novom postupku

Analizom rezultujućih slika može se zaključiti da se kao osnovna karakteristika za pretragu na osnovu sadržaja može uzeti boja. Rezultujuće slike se odlikuju tranzicijom boja od vrha ka dnu slike, koje je zavisno od kretanja osobe u prostoru i vremenu. Intenzitet boja je određen fizičkim karakteristikama osobe čiji se hod posmatra a brzina promene boje zavisi od tempa i brzine hoda. Upravo iz tog razloga logičan prvi korak je da se za potrebe pretrage slika na osnovu sadržaja oslonimo na boju kao glavnu karakteristiku.

Boja kao karakteristika za pretragu slika se koristi od samog začetka CBIR tehnika. Raspored boja u slici može nositi veliku količinu informacija o samom sadržaju slike. Iako ljudi sadržaj slike vezuju za različite objekte u slici, kada je u pitanju poređenje samih slika boje se mogu pokazati vrlo uspešnim. Upravo ta činjenica veoma pogoduje predloženom postupku, obzirom da se pretraga slika vrši korišćenjem slike kao upita, a ne na osnovu neke semantičke vrednosti koju bi eventualno izneo korisnik.

CBIR tehnike koje su zasnovane na bojama se uglavnom oslanjaju na statističke metode. One u osnovi gledaju učešće boja u određenim regionima ili u kompletnoj slici. Jedna od osnovnih metoda za pretragu slika na osnovu boja je **Histogram boja** (eng. Color Histogram). Ova tehnika formira vektor koji opisuje učešće svake pojedinačne boje iz korišćenog spektra u slici. Dobija se brojanjem piksela svake od boja učesnika u slici. Manjkavost ove metode leži u činjenici da se zanemaruju prostorne informacije iz slike. Učešće boja se analizira sumarno, bez uzimanja u obzir na kom mestu u slici se koja boja nalazi. Ova činjenica može biti otežavajuća za primenu u predloženom postupku obzirom da se sada prostorno čuvaju i prostorne i vremenske informacije koje su zabeležene iz hoda. Ukoliko se zanemare prostorne informacije to eventualno može dovesti do pada performansi u prepoznavanju.

Postoje razne metode za pretragu slika zasnovane na bojama koje na neki način uzimaju u obzir prostorne informacije. Jedna od poznatijih u literaturi je **Vektor koherentnosti boja** (eng. Color Coherency Vector CCV) (Pass, Zabih, & Miller, 1996). Autori ove metode predlažu klasifikaciju svakog piksela u odgovarajući skup boja kao koherentnu ili nekoherentnu, a zavisno od toga da li je taj piksel deo većeg slično obojenog regiona. CCV skladišti broj koherentnih naspram nekoherentnih piksela za

svaku boju koja učestvuje na slici. Ovakav pristup se pokazao uspješniji od histograma boja na generičkom skupu slika (Pass & Zabih, 1996). Činjenica da se ova metoda zasniva na pronalaženju sličnih regiona može se pokazati interesantnom za primenu u predloženom pristupu. Može se pretpostaviti da se kretanjem povezanih delova tela na karakterističan način mogu kreirati slični regioni boja u slici koji će biti dobra odlika određene osobe.

Dalje unapređenje postojećih tehnika zasnovanim na bojama učinjeno je uzimanjem u obzir međusobnog odnosa piksela u slici. Pored činjenice da se analizira položaj piksela određenih boja u slici, dodatno se analizira i međusobno odstojanje između piksela. Metod koji koristi ovakvu tehniku naziva se **Korelogram boja** (eng. Color Correlogram CC) (Huang, Kumar, Mitra, Zhu, & Zabih, 1997). Konkretno, CC slike predstavlja tabelu indeksiranu parovima boja gde je  $k$ -ti unos od  $(i,j)$  označava verovatnoću pronalaženja piksela boje  $j$  udaljenosti  $k$  od piksela boje  $i$  u slici. Postoje tri pristupa u izračunavanju korelograma boja: automatski pristup, dinamičkim programiranjem i množenjem matrica. Obzirom da ova metoda uzima najviše informacija u obzir prilikom pretrage može se uzeti kao važan kandidat za primenu u predloženom pristupu.

## 9. Kritički osvrt na predloženo rešenje

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda predstavlja novinu u ovoj oblasti. Odlikuju ga značajne inovacije kako u postupku akvizicije tako i u postupku prepoznavanja i klasifikacije. Upravo iz tog razloga važno je predloženi postupak uporediti na osnovu kvalitativnih kriterijuma sa postojećim postupcima za prepoznavanje osoba na osnovu hoda.

Oblast prepoznavanja osoba na osnovu hoda je dosta opširna i postoje različiti postupci koji spadaju u posebne klasifikacione grupe. Da bi se na najbolji način ocenio doprinos i inovativnost predloženog postupka poređenje se mora vršiti sa postojećim postupcima koji spadaju u istu klasifikacionu grupu i rešavaju isti problem. Prema predloženom procesu novopredloženi postupak se može svrstati u *Bezmodelne pristupe* koji se zasnivaju na tehnikama akumulacije radi redukcije dimenzionisanosti problema. Poređenje sa postojećim pristupima će biti vršeno na osnovu sledećih kriterijuma:

- tehnika redukcija informacija/dimenzionisanosti problema,
- primenljivost u realnom vremenu,
- ugao snimanja,
- očuvanje akviziranih informacija,
- tehnika analize ljudske figure.

Osnovni kriterijum za poređenje postojećih rešenja (Tabela 1) je njihova primenljivost u realnom vremenu. Ovaj kriterijum je blisko povezan sa činjenicom da li pristup primenjuje neki oblik redukcije informacija, odnosno dimenzionisanosti problema. Najčešće ukoliko postoji neki princip redukcije moguće je postići primenljivost u realnom vremenu. Pristupi bazni algoritam i tehnika stavova kao osnovni problem imaju činjenicu da se ne mogu primeniti u realnom vremenu. Ovo je usled rada na kompletnom skupu prikupljenih podataka, na nivou frejma. Takođe, obe metode rade pri Fronto-Paralelnom uglu snimanja i vrlo su osetljive na promenu ugla.

Pristupi koji se oslanjaju na neki oblik redukcije dimenzionisanosti problema u najvećem broju slučajeva imaju neki vid gubitka prikupljenih informacija. Ovo je slučaj kod pristupa koji koriste akumulacione tehnike poput GEI, GMI, CGI i FDEI. Obzirom da se kod GEI akumulacija vrši preklapanjem frejmova, dolazi do posebnog oblika usrednjavanja slike kojim se gube informacije koje su zabeležene između frejmova. Ovaj nedostatak je u izvesnoj meri korigovan u CGI metodi koja promene beleži bojama u funkciji vremena, ali i ova metoda gubi vremenske informacije zabeležene tokom akvizicije.

Tehnika rasporeda krivih na dobar način čuva informacije između frejmova, ali se koriste samo delovi prikupljenih informacija iz siluete pri kreiranju akumulacione slike. Takođe metoda nije proverena na odgovarajućem skupu podataka, već svega na skupu od četiri osobe.

Konačno predloženi postupak na dobar način pravi ravnotežu između primenljivosti u realnom vremenu i očuvanja prikupljenih informacija. Činjenica da se u analizi čovekove figure oslanja na štapnu figuru omogućuje jednostavnu akumulaciju bez gubitka informacija. Primena Fronto-Normalnog ugla snimanja posebno pogoduje sistemima prismotre i povećava mogućnost primene u praksi. Poređenje predloženog postupka sa postojećim prema kvalitativnim kriterijumima je dato u Tabeli 1.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Tabela 1 Komparativni prikaz predloženog sa postojećim bezmodelnim pristupima u oblasti

Pristup	Tehnika redukcija informacija / dimenzionisanosti problema	Primenljivost u realnom vremenu	Ugao	Očuvanje akviziranih informacija	Tehnika analize ljudske figure	Testirano na skupu podataka adekvatne veličine
<b>Bazni algoritam</b> (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005)	/	Ne	FP	Da	Binarna silueta	Da
<b>Tehnika stavova</b> (Kale, et al., 2004)	Selekcija frejmova	Ne	FP	Ne	Binarna silueta	Da
<b>GEI</b> (Han & Bhanu, 2006)	Akumulacija	Da	FP	Gubitak informacija između frejmova	Binarna silueta	Da
<b>GMI</b> (Ma, Wang, Nie, & Qiu, 2007)	Selekcija frejmova + Akumulacija	Da	FP	Gubitak informacija između frejmova	Binarna silueta	Da
<b>CGI</b> (Wang, Zhang, Pu, Yuan, & Wang, 2010)	Akumulacija	Da	FP	Vremenska funkcija boja u izvesnoj meri sačuva prikupljene informacije	Binarna silueta	Da
<b>FDEI</b> (Chen, Liang, Zhao, & Tian, 2009)	Dvokomponentna akumulacija	Da	FP	Gubitak informacija između frejmova	Binarna silueta	Da
<b>Tehnika rasporeda krivih</b> (Soriano, Araullo, & Saloma, 2004)	Akumulacija	Da	FN	Vrši se selekcija podataka	Binarna silueta	Ne
<b>Predloženi postupak Kinect + CBIR</b>	Akumulacija	Da	FN	Da	Štapna figura	Da

## 10. Implementacija laboratorijskog prototipa

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda predstavlja proces koji se sastoji iz tri koraka: akvizicije, transformacije hoda u nepomičnu 2D sliku i prepoznavanja korišćenjem CBIR tehnika. Na osnovu predložene arhitekture sistema potrebno je razviti tri nezavisna softverska rešenja kao i kreirati bazu biometrijskih uzoraka poštujući predloženi model.

Sva tri predložena softverska rešenja moraju biti nezavisna i u mogućnosti da rade nezavisno kao deo većeg distribuiranog biometrijskog sistema. Interoperabilnost između kreiranih modula biće postignuta komunikacijom preko baze biometrijskih podataka, na takav način da svi softverski moduli moraju poštovati prethodno utvrđeni model podataka.

### 10.1 Aplikativno rešenje za potrebe akvizicije

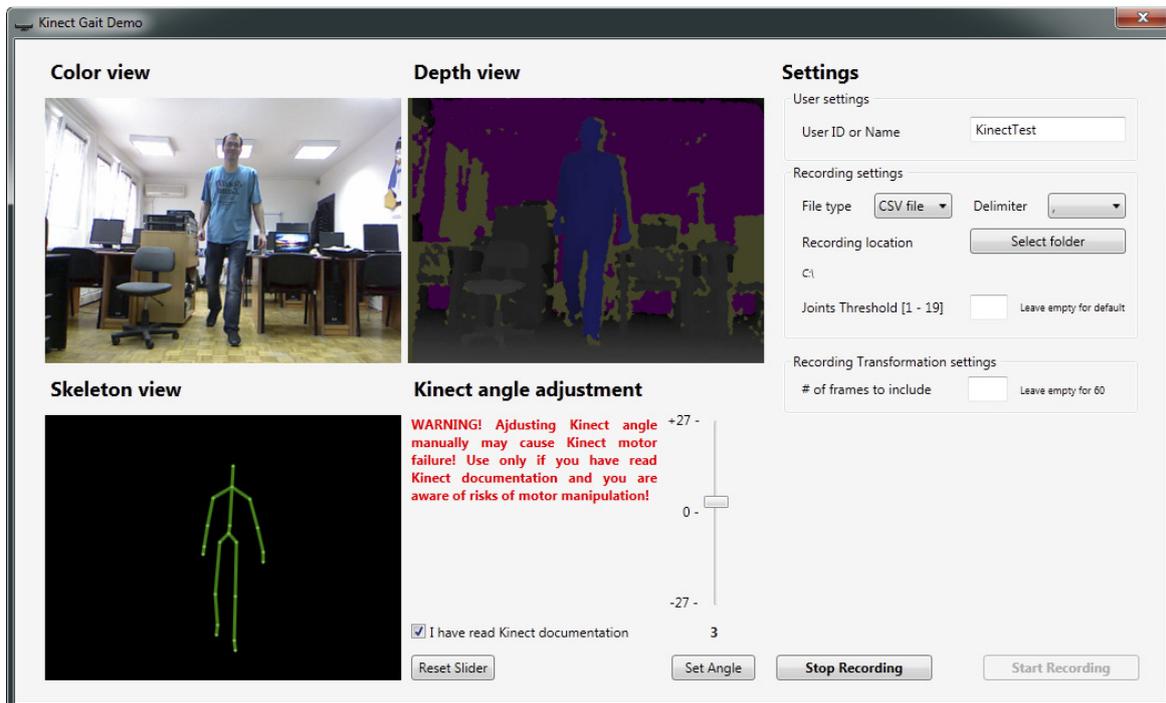
Proces akvizicije u predloženom postupku podrazumeva snimanje ljudskog hoda tokom kretanja u pravcu akvizicionog uređaja. Za potrebe snimanja koristi se uređaj Microsoft Kinect. Ovaj uređaj predstavlja složenu senzorsku tehnologiju koja kombinuje informacije dobijene primenom strukturnog infra-crvenog osvetljenja sa informacijama koje se dobijaju putem standardne VGA (Video Graphics Array) kamere. Uređaj na inteligentan način koristi percepciju dubine dobijenu strukturnim osvetljenjem i ugrađuje informacije u prethodno definisan model ljudskog tela. Za poklapanje sa modelom se oslanja na informacije dobijene standardnom kamerom. Na osnovu toga segmentiraju se ključni delovi ljudskog tela i na prelazima segmenata se definišu ključne tačke. Nakon toga povezivanjem ključnih tačaka formira se „štapna figura“ osobe. Poza ljudskog tela se dobija do 30 puta u sekundi.

Upravljanje Microsoft Kinect uređajem obezbeđeno je korišćenjem Microsoft Kinect API-ja (application programming interface). On predstavlja jedinstveni interfejs za pristup sistemskim funkcijama uređaja. Kao rezultat snimanja mogu se koristiti sirovi snimci senzorskih uređaja kao i konačno formirane reprezentacije štapnih figura u vremenu.

Microsoft je pored API-ja objavio i jedinstveno razvojno okruženje Microsoft Kinect SDK (Software Development Kit) za razvoj aplikacija zasnovanih na Kinect uređaju. Okruženje radi na Windows platformi i pritom se koristi razvojno okruženje Visual Studio .NET. Pored razvoja aplikacija korišćenjem Windows platforme moguće je prilagoditi se i platformama otvorenog koda koje su zasnovane na Linux kernelu. Ovo je moguće pre svega zahvaljujući zajednici otvorenog koda koja je kreirala specifične drajvere za tu platformu. Iako rad na Linux platformi nije dozvoljen od strane Microsoft korporacije univerzalnost te platforme pruža mogućnost razvoja i za srodne platforme koje su zasnovane na Linux-u a koriste se u mobilnim okruženjima poput Android platforme.

Akviziono postupak ne mora nužno da se zasniva na korišćenju Microsoft Kinect platforme. Sličan rezultat bi se dobio primenom standardne monokularne kamere i nekog algoritma za predviđanje poze (Li & Sun, 2009). Takođe mogle bi se primeniti i manje sofisticirane tehnike koje nisu praktične za realnu upotrebu, a oslanjaju se na fizičko označavanje osobe svetlim markerima na ključnim mestima na telu (Jalal, Behzad, & Fariba, 2009).

Korisnički interfejs razvijene aplikacije za akviziciju je podeljen u dva ključna segmenta, deo za praćenje procesa akvizicije i deo za podešavanje i snimanje (Slika 49).



Slika 49 Korisnički interfejs aplikacije za akviziciju hoda

Deo za praćenje omogućava uvid u proces snimanja kroz tri različita pogleda. Prvi pogled predstavlja rezultat snimanja standardnom VGA kamerom i on pre svega pruža uvid administratoru u akvizicioni prostor. Sa desne strane nalazi se takozvani „pogled dubine“ koji je rezultat primene strukturalnog osvetljenja putem infra-crvenih senzora. Uređaj na osnovu prikupljenih informacija jasno izdvaja ljudsku figuru koja se nalazi u prvom planu i koja postaje predmet praćenja. Takođe, na istom snimku se može videti projekcija konačnog dohvata akvizicionog uređaja koja se manifestuje kao virtuelni zid ljubičaste boje. Treći pogled predstavlja rezultujuću štapnu figuru osobe dobijenu procesiranjem prethodna dva snimka i kombinovanjem sa ugrađenim modelom ljudskog tela. Štapna figura ima jasno definisane ključne tačke koje je definišu kao i krute segmente koji te tačke povezuju.

Pored praćenja procesa akvizicije aplikacija nudi i niz podešavanja. Poseban klizač omogućuje manuelno upravljanje motorom nagiba na Kinect uređaju. Moguće je definisati izlazni format prikupljenih podataka o štapnoj figuri. Neki od mogućih formata su CSV (Comma Separated Value) ili format Microsoft Excela .xls. Podatke je moguće usnimiti na lokalnom ili mrežnom memorijskom uređaju ili uskladištiti direktno u bazu podataka prema predloženom modelu. Snimanje se otpočinje od trenutka kad određeni broj ključnih tačaka uđe u prostor za snimanje. Moguće je postaviti prag za početak snimanja zavisno od broja ključnih tačaka koje uđu u akvizicioni prostor. Takođe moguće je postaviti ograničenje u broju zabeleženih frejmova ukoliko je potrebno da se sva snimanja ograniče.

Uspešnim razvojem ovog softverskog rešenja potvrđena je naučna zasnovanost pomoćne hipoteze:

- Nove tehnologije za interakciju čovek-računar, poput Microsoft Kinect, se mogu uspešno primeniti u svrhu prikupljanja podataka potrebnih za prepoznavanje osoba na osnovu hoda u uslovima Fronto-Normalnog ugla snimanja.

## 10.2 Aplikativno rešenje baze biometrijskih podataka

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda je potrebno kvantitativno evaluirati. Pre svega mora se oceniti preciznost i efikasnost predloženog postupka. Evaluacija se mora obaviti uz korišćenje odgovarajućeg skupa biometrijskih podataka. Biometrijski podaci u ovom slučaju predstavljaju skup sekvenci hoda odgovarajućeg skupa subjekata. Biometrijska baza podataka koja bi zadovoljila potrebe evaluacionog procesa morala bi biti izrađena na takav način da zadovolji osnovne potrebe biometrijskog sistema kao i specifične potrebe predloženog postupka.

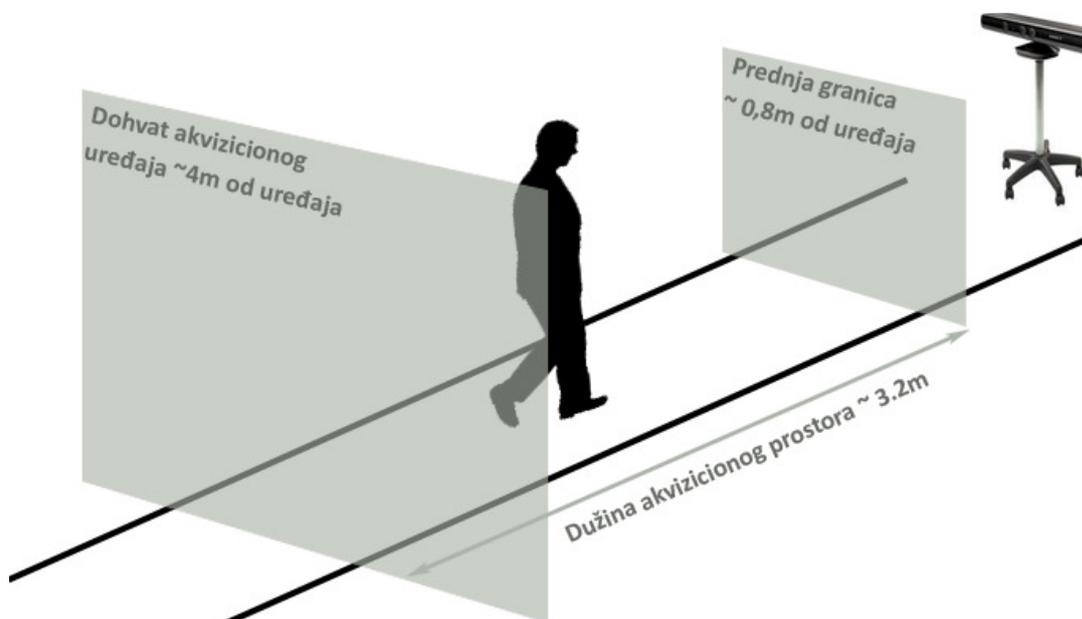
Naučna zajednica prepoznaje određeni skup adekvatno formiranih baza podataka koji se mogu koristiti za potrebe evaluacije novopredloženih algoritama i postupaka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda. Trenutno najpoznatije i najcitiranije otvorene baze ljudskog hoda su USF (Sarkar, Phillips, Liu, Robledo Vega, Grother, & Bowyer, 2005), UMD (Marylend, 2001) i CASIA B (Yu, Tan, & Tan, 2006) baza koje podržavaju oba režima snimanja, Fronto-Paralelni i Fronto-Normalni. Nažalost, specifičnost predloženog postupka ne dozvoljava korišćenje nijedne javno dostupne baze obzirom da je potrebna baza koja kao rezultat ima procenu poze u maniru štapne figure. Takođe, potrebna je baza za koju je moguće utvrditi dimenzije okruženja, što je omogućeno korišćenjem Kinect uređaja. Upravo iz tog razloga pristupilo se kreiranju sopstvene baze koja će omogućiti evaluaciju predloženog postupka, a ujedno ispoštovati sve standarde koje postavljaju biometrijski sistemi.

Na osnovu dostupnih baza podataka korišćenih u dosadašnjim istraživanjima može se utvrditi da se broj upisa u bazu kreće od svega 4 do 120. Baze koje imaju više upisa predstavljaju kombinaciju različitih uglova snimanja i odevnih kombinacija subjekata. Na osnovu toga može se zaključiti da bi zadovoljavajući broj subjekata za testiranje predloženog postupka gde se koristi samo FN ugao snimanja bez varijeteta u odeći bio 50 subjekata. Da bi baza bila formirana prema odgovarajućim standardima potrebno je da se za svakog subjekta zabeleži barem tri različite sekvence hoda. U ovom slučaju 5 nezavisnih sekvenci hoda pružilo bi još stabilniju osnovu za testiranje. Ukupan broj upisa u bazu podataka u tom slučaju iznosio bi 250 što ujedno zadovoljava i potrebe veličine baze slika za evaluaciju uspešnosti CBIR tehnika koje predstavljaju važan segment ovog rešenja.

Akvizicija za potrebe baze podataka je rađena u laboratorijskim uslovima. Uređaj za akviziciju, Microsoft Kinect je postavljen na takav način u prostoru da ima mogućnost maksimalnog iskorišćenja senzorskih mogućnosti bez prostornih ograničenja. Na podu su obeležene dve sjajne trake koje su obeležavale putanju kojom je subjekt trebalo da se kreće u pravcu akvizicionog uređaja. Ove linije vodilje su neophodne obzirom da kretanje koje je izmešteno od centra može izazvati pad performansi u kasnijem procesu prepoznavanju. Razlog tome je što se zavisno od prostora kojim osoba prolazi kreira slika drugačijih boja. Ovaj problem se može rešiti primenom matematičkog preprocesiranja u svrhu ispravljanja trajektorije kretanja subjekta i usmeravanja niz odgovarajuću putanju. Takav postupak se može zasnovati na radu Jean i drugih (2009).

Hod subjekta je sniman iz takozvanog „letećeg starta“. Prostor za kretanje je veće dužine od krajnjeg dohvata akvizicionog uređaja. Ovim postupkom se omogućuje subjektu da uspostavi prirodan način hoda pre ulaska u akvizicioni prostor. Snimanje počinje onog trenutka kada sve ključne tačke čovekovog tela uđu u akvizicioni prostor (Slika 50). Na ovaj način se ispravljaju distorzije do kojih može doći u

začetnim koracima čovekovog hoda obzirom da je osoba pod utiskom procesa snimanja. Takođe ovim postupkom se omogućuje da osoba postigne ujednačeni tempo i brzinu hoda koju inače koristi.



Slika 50 Laboratorijsko okruženje i postupak akvizicije

U snimanju je učestvovalo 50 osoba. Svaka osoba je ostavila 5 uzoraka svog hoda načinjena u rasponu od 10 dana snimanja (jedan uzorak na dva dana). Uzorak je obuhvatio 33 osobe muškog i 17 osoba ženskog pola. Raspored godina je sledeći: 33 učesnika između 19 i 25 godina, 13 učesnika od 25 do 30 godina i 4 učesnika od 30 do 35 godina.

Izbor odeće je bio na samim učesnicima. Snimanje je rađeno u prolećnom periodu i odeća je bila u skladu sa godišnjim dobom i zatvorenim prostorom. Tokom procesa akvizicije nije došlo do greške u detekciji ključnih tačaka. Ovo se dobrim delom može pripisati Kinectovom algoritmu za predviđanje položaja ključnih tačaka (Zhengyou, 2012) koji u velikoj meri pomaže kod problema okluzije.

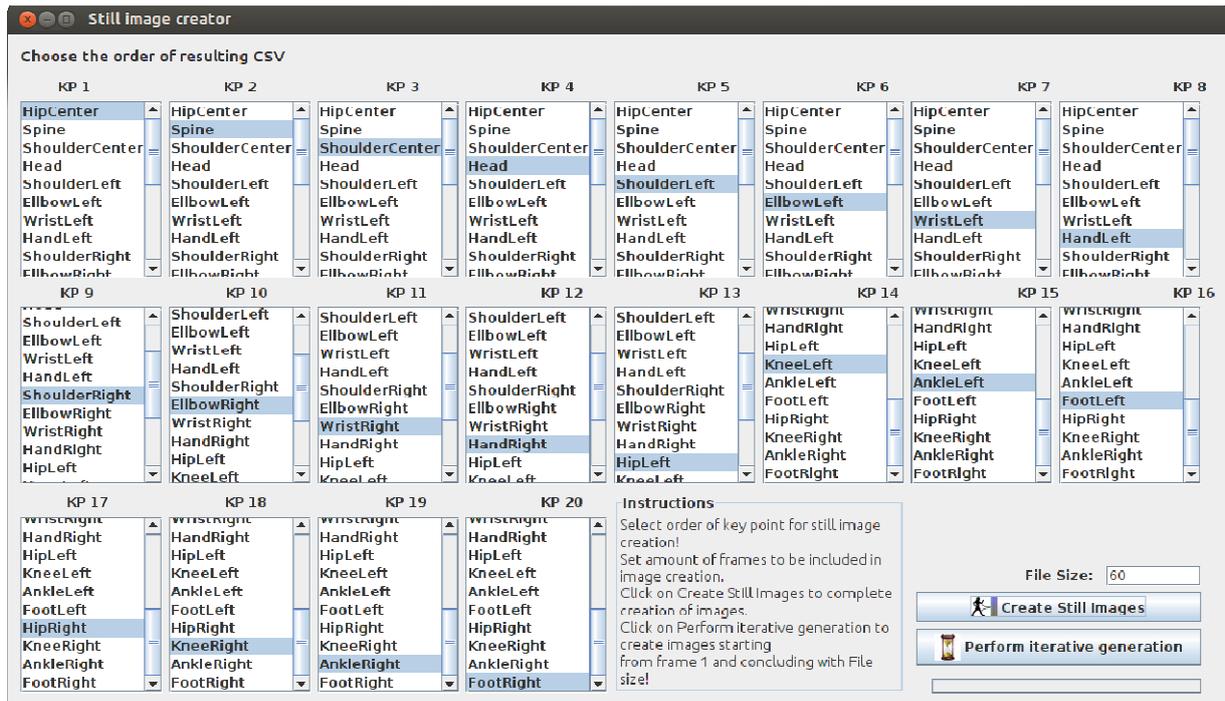
Podaci prikupljeni na opisani način su pohranjeni u bazu podataka koja je kreirana prema predloženom modelu. Za potrebe skladištenja podataka korišćen je Microsoft SQL Server sistem za upravljanje bazama podataka, mada je podjednako uspešno mogao biti korišćen bilo koji drugi konkurentni sistem.

### 10.3 Aplikativno rešenje za potrebe transformacije

Vrlo važan korak predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda predstavlja prelazak iz prostorno vremenskog domena u domen nepomične 2D slike. Proces kao ulaz koristi podatke koji su rezultat procesa akvizicije i koji su prethodno pohranjeni u bazu podataka. Transformacija se vrši na osnovu predloženog matematičkog modela. Podaci o prikupljenim štapnim figurama se akumuliraju u nepomičnu 2D sliku. Proces transformacije pre svega zavisi od formata rezultujuće slike i na osnovu izbora formata primenjuje se odgovarajući matematički model. Rezultujuće nepomične 2D slike se konačno kao izlaz iz procesa mogu uskladištiti nazad u bazu podataka.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Način formiranja svakog piksela u rezultujućoj nepomičnoj 2D slici je određen predloženim matematičkim modelom. Formiranje slike takođe zavisi i od rasporeda piksela prilikom formiranja. Slike se mogu kreirati tako što se koristi redosled tačaka predefinisanih od strane interfejsa akvizicionog uređaja ali bi isto tako bilo korisno da softversko rešenje podrži kreiranje slika sa drugačijim rasporedom. Razvijen softverski prototip upravo ističe funkcionalnost promene rasporeda kreiranja piksela kao jednu od glavnih karakteristika (Slika 51).



Slika 51 Laboratorijski prototip za potrebe transformacije

Raspored tačaka prilikom kreiranja slike je vrlo važan obzirom da bi mogao imati značajan uticaj na uspešnost pojedinih CBIR tehnika. Ukoliko se kao jedna od glavnih karakteristika u analizi slike koriste prostorne informacije kroz pronalaženje sličnih regiona, raspored tačaka u slici bi mogao imati snažan uticaj na kreiranje regiona. Postoji mogućnost da određene ključne tačke na telu kreiraju bolje regione kada se nalaze u neposrednoj blizini. Ovo bi posebno moglo biti tačno kod tehnika koje koriste koherenciju boja poput CCV (Pass, Zabih, & Miller, 1996).

Pored mogućnosti da se u slici menja redosled piksela, korišćenjem laboratorijskog prototipa, je takođe moguće kreirati sliku sa podskupom ključnih tačaka. Ova funkcionalnost pre svega otvara mogućnost za ispitivanje da li je određenu osobu moguće prepoznati na osnovu manjeg broja tačaka koje bi na primer bile grupisane u gornji ili donji deo tela. Ukoliko se pokaže da je moguće koristiti podskup tačaka dobila bi se mogućnost za rešavanje problema nastalih usled okluzije pojedinih segmenata tela. Prepoznavanje bi u tom slučaju moglo da se radi na skupu tačaka koji je u datom trenutku vidljiv uređaju.

Dodatna funkcionalnost koju pruža laboratorijski prototip je postavljanje gornje granice za visinu nepomične 2D slike. Ukoliko postoji razlika u dužini akviziranih snimaka može se odrediti maksimalan broj frejmova koji će se koristiti za kreiranje akumulirane slike.

Konačno, za potrebe utvrđivanja uticaja vremena snimanja na krajnju uspešnost postupka, u laboratorijski prototip je ugrađena mogućnost kreiranja slika inkrementalno počevši od jednog frejma zaključno sa određenom gornjom granicom. Ova funkcionalnost je pre svega namenjena testiranju metode obzirom da će sa tako kreiranim slikama biti moguće utvrditi na koji način veličina uzorka hoda utiče na krajnju efikasnost i preciznost postupka.

### 10.4 Aplikativno rešenje za primenu CBIR tehnika i evaluaciju uspešnosti postupka

Poslednji korak predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda podrazumeva primenu CBIR tehnika na slikama koje su rezultat prostorno vremenske akumulacije. Primena CBIR tehnika u slučaju prepoznavanja podrazumeva izračunavanje vektora karakteristika za nepomične 2D slike koje predstavljaju prostorno vremensku akumulaciju ljudskog hoda i potom primenu neke od metoda izračunavanja matematičke udaljenosti između vektora radi utvrđivanja sličnosti između slika. Na osnovu dobijenih skorova poređenja može se doneti odluka da li je potvrđen identitet osobe.

Osnovna prednost predloženog postupka je mogućnost primene postojećih generičkih CBIR tehnika u postupku prepoznavanja. Upravo iz tog razloga laboratorijski prototip ima mogućnost korišćenja postojećih biblioteka otvorenog koda za najpoznatije CBIR tehnike. Prilikom analize pogodnih CBIR tehnika odlučeno je da se za ispitivanje koriste tri tehnike zasnovane na bojama: histogram boja, vektor koherentnosti boja i korelogram boja.

Histogram boja i korelogram boja su CBIR tehnike koje su standardno podržane kao deo velike otvorene biblioteke za pretragu slika na osnovu sadržaja pod imenom Lire (Lucene Image Retrieval) (Mathias & Chatzichristofis, 2008). Ova biblioteka podržava rad sa različitim karakteristikama slike, od kojih je dominantna boja. Biblioteka je napisana u programskom jeziku *Java* što je omogućilo jednostavnu ugradnju u laboratorijski prototip (Slika 52) koji je napisan korišćenjem istog programskog jezika.

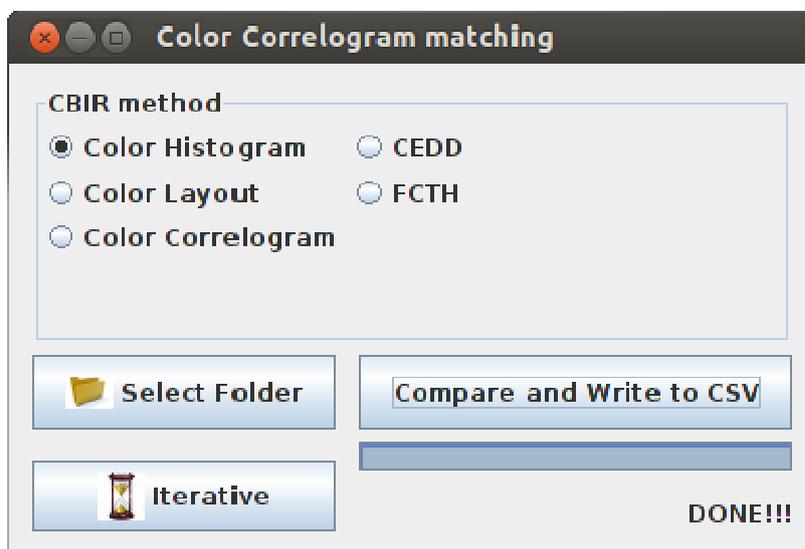
Tehnika vektora koherentnosti boja nije podržana u pomenutoj biblioteci. Jedina dostupna otvorena biblioteka koja ima mogućnost izračunavanja vektora karakteristika je *pyCCV 0.7* (Aihara, 2011) koja se nudi kao standardna biblioteka Python programskog jezika. Obzirom da se programski jezik razlikuje od jezika korišćenog za laboratorijski prototip, za potrebe evaluacije kreiran je *Java Wrapper* oko Python biblioteke. Takođe, dodatno su razvijene operacije za poređenje dva vektora koherentnosti u Python jeziku, što osnovna biblioteka nije imala u ponudi.

Pored predloženih CBIR tehnika omogućen je rad i sa po jednim predstavnikom CBIR tehnika koji koriste teksture i oblike.

Softversko rešenje je vrlo jednostavno za upotrebu. Potrebno je samo izabrati odgovarajuću CBIR tehniku, odabrati direktorijum ili skup iz baze za koji je potrebno uraditi poređenje i potom pozvati izračunavanje vektora karakteristika (Slika 52) i upis rezultata u odgovarajući *CSV* (eng. *Comma Separated Value*) format. Takođe, skorovi se mogu pohraniti nazad u bazu podataka biometrijskog

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

sistema. Poređenje se radi između svih uzoraka iz baze tako što se svaki uzorak poredi sa svim ostalima. Ova tehnika se primenjuje prilikom kreiranja baze i potom se dopunjuje skorovima novopristiglih uzoraka.



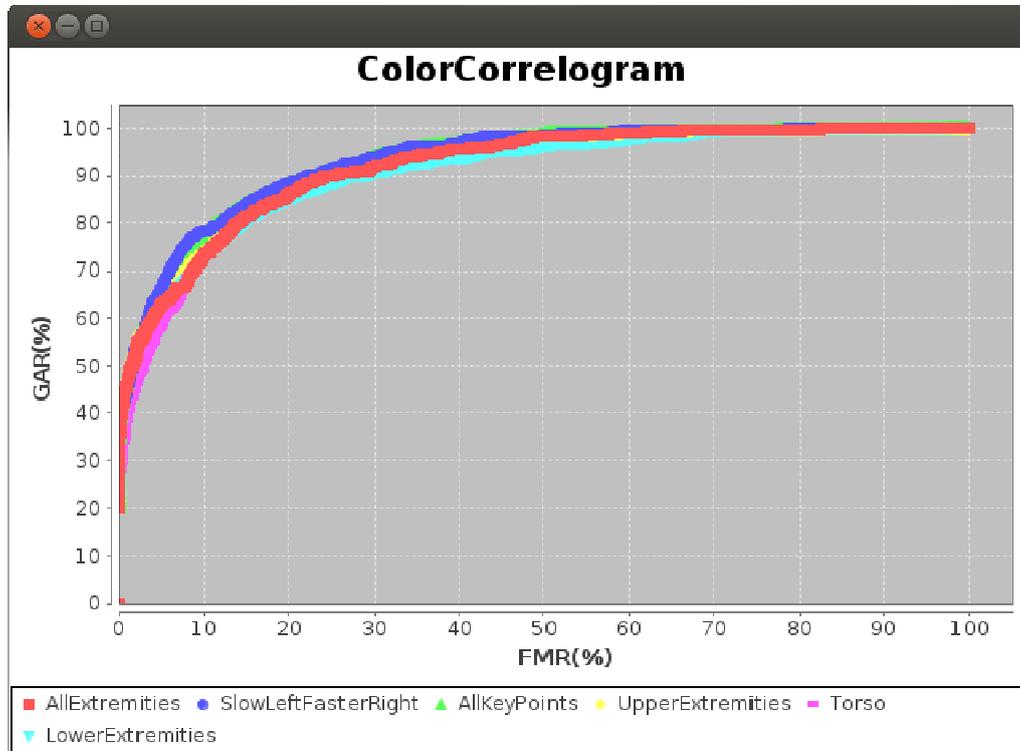
Slika 52 Laboratorijski prototip za primenu CBIR tehnika

Izračunavanjem odgovarajućih skorova između uzoraka hoda pohranjenih u bazi podataka dobijaju se podaci koji su neophodni za donošenje odluke o prepoznavanju. Da bi se utvrdila uspešnost predloženog postupka, potrebno je tako kreirane podatke iskoristiti za evaluaciju i testiranje. To podrazumeva primenu standardnih evaluacionih tehnika za procenu uspešnosti i preciznosti biometrijskih sistema. U naučnoj literaturi najčešće se za ocenu preciznosti biometrijskih sistema koriste dve vrste pokazatelja (NSTC, 2006): ROC krive (eng. Receiver Operating Characteristics) i CMC krive (eng. Cumulative Match Characteristic). ROC krive pružaju mogućnost da se uporedi odnos ispravno prihvaćenih naspram pogrešno prihvaćenih subjekata. Predviđena je za proveru preciznosti sistema koji rade sa zatvorenim skupom. Najčešće se koriste za evaluaciju pred postavljanje biometrijskih sistema i puštanja u rad. CMC krive omogućuju dobar uvid na koji način se kreće stopa identifikacije zavisno od pojedinih uzoraka u bazi. Metoda na jedinstven način daje uvid u činjenicu u kom procentu se ispravan izbor nalazi na prvom, drugom, trećem i ostalim rangovima pri prepoznavanju. Ujedno se može koristiti i za ocenu robusnosti i osetljivosti sistema.

U skladu sa standardima postavljenim od strane naučne zajednice razvijen je i poseban prototip koji će biti korišćen za potrebe evaluacije predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda. Razvijeno rešenje ima mogućnost izračunavanja i grafičkog iscrtavanja kako ROC tako i CMC krivih. Za ROC analizu se prvenstveno na osnovu dobijenih skorova u prethodnom koraku izračunavaju odnosi ispravno prihvaćenih i pogrešno prihvaćenih subjekata za dinamički prag prolaznosti. Potom se tako dobijeni rezultati prikazuju grafički (Slika 53). Moguće je raditi analizu i grafički prikaz krivih za više zasebnih skupova uzoraka. Kada je u pitanju CMC analiza prvenstveno se na osnovu dobijenih skorova utvrđuje procenat pojavljivanja ispravnog uzorka na svakom od rangova i potom kumulativno sabira

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

verovatnoću pojavljivanja kretanjem uz rangove. Nakon što se odradi matematičko izračunavanje vrši se grafički prikaz.



Slika 53 Laboratorijski prototip za potrebe evaluacije predloženog postupka

## 11. Empirijska evaluacija predloženog rešenja

Ljudski hod kao poseban biometrijski modalitet je vrlo jedinstven. Predstavlja jedinstven spoj ponašajnog i fiziološkog modaliteta, sa izraženijim faktorom ponašanja. Uprkos svojoj specifičnosti ljudski hod kao biometrijski modalitet se zasniva na istim vrednostima kao i ostali biometrijski modaliteti. Osnovna svrha im je primena u svrhu prepoznavanja i to na takav način da se postigne visoka preciznost uz obezbeđivanje jednostavnosti upotrebe.

Upravo iz navedenih razloga uspešnost nekog novopredloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda se utvrđuje prema sličnim principima i korišćenjem istih evaluacionih tehnika kao što je to i za neke često korišćene modalitete poput otiska prsta ili lica. Za ocenu performansi metode koristiće se kvantitativni pokazatelji u vidu ROC krive (eng. Receiver Operating Characteristics) i CMC krive (eng. Cumulative Match Characteristic) (NSTC, 2006).

Kao referentna baza podataka za potrebe empirijske evaluacije metode biće korišćeni podaci čija je akvizicija izvršena prema važećim pravilima i struktura podataka formirana na osnovu modela predloženog u ranijim poglavljima.

Ljudski hod kao biometrijski modalitet spada u domen prostorno vremenske analize. Kao takav se u izvesnoj meri razlikuje od modaliteta poput otiska prsta ili lica. Za razliku od njih koristi se kontinualan tok nepomičnih slika koje sačinjavaju video sekvencu. Za otisak prsta ili lice proces akvizicije podrazumeva snimanje jedne ili svega nekoliko nepomičnih slika. Obzirom da se kao ulazni tok uzima video sekvenca vrlo je interesantno ispitati koja dužina video sekvence je dovoljna za prepoznavanje i na koji način količina prikupljenih podataka utiče na performanse sistema. Takođe vrlo je interesantno naći vezu između strukture video sekvence i specifične strukture čovekovog hoda i ustanoviti uticaj ovih faktora na preciznost sistema za prepoznavanje. Prva empirijska evaluacija će biti postavljena na takav način da joj se u fokusu nađe uticaj vremena i količine prikupljenih podataka na performanse predloženog postupka.

Predloženi postupak se za finalni proces prepoznavanja oslanja na CBIR tehnike kojima je zadatak da uporede nepomične 2D slike koje predstavljaju prostorno-vremensku akumulaciju nastalu iz sekvence ljudskog hoda. Nakon poređenja dobija se rezultat na osnovu koga biometrijski sistem može doneti odluku o identitetu osobe. Obzirom da je postupak generički, samim tim se podjednako mogu primeniti sve postojeće generičke tehnike za pretragu slika na osnovu sadržaja. Naravno, njihova generička primenljivost ne garantuje podjednak uspeh u prepoznavanju. Takođe, može se pokazati da u određenim okolnostima određena CBIR tehnika ima veću uspešnost u odnosu na druge, ali da to već pri drugačijim okolnostima ne mora važiti. Takođe CBIR tehnike razdvaja njihova sposobnost izračunavanja vektora karakteristika. Zavisno od osnovnog algoritma kod nekih CBIR tehnika to izračunavanje može trajati duže dok kod određenih znatno kraće. Samim tim otvara se mogućnost za pronalaženje određenog balansa između preciznosti određene tehnike i njene brzine izračunavanja. Oba faktora mogu biti izuzetno važna u realnoj primeni biometrijske metode. Vrlo je interesantno ispitati koja CBIR tehnika daje kakve rezultate u prepoznavanju i takođe ustanoviti kakve okolnosti odgovaraju pojedinim CBIR tehnikama. U drugom empirijskom ispitivanju će upravo ova tema biti u fokusu.

Kao osnovna reprezentacija ljudskog tela u predloženom pristupu koristi se takozvana „štapna figura“. Ona se formira od 20 ključnih tačaka međusobno povezanih u figuru koja predstavlja skeletnu

strukturu čoveka. Obzirom da se akvizicija ljudskog hoda konačno mora dešavati u realnim uslovima dolazi do različitih problema koji se manifestuju nedostajućim segmentima tela. Ove pojave su najčešće izazvane okluzijom ili samookluzijom ali mogu biti rezultat i promene u osvetljenju, greške u procesiranju, zaklanjanja odećom ili nekog drugog spoljnog faktora. Veliki broj naučnih radova bavi se problemom procene položaja nedostajućeg segmenta ljudskog tela (Aristidou, Cameron, & Lasenby, 2008; Liu & McMillan, 2006; Wu & Boulanger, 2011). Pored činjenice da određeni delovi tela mogu biti prikriveni, takođe postoji mogućnost da određeni delovi tela mogu imati veći uticaj na krajnje prepoznavanje u odnosu na druge. Isto tako bitno je utvrditi da li se može postići uspešno prepoznavanje i sa manjim skupom tačaka što bi rezultiralo znatno nižim zahtevima za računarskim procesiranjem. Iz tog razloga biće ispitan uticaj pojedinih tačaka ili grupa tačaka, koje predstavljaju segmente ljudskog tela, na uspešnost cele metode. Činjenice koje se utvrde ovim eksperimentima imaće potencijal da reše neke od problema koji nastaju usled okluzije, odevnih predmeta ili nosivog asesoara.

Vrlo važan uticaj na uspešnost celog postupka može imati način na koji se vrši akumulacija sekvence ljudskog hoda u sliku. Obzirom da je za ovu priliku razvijen generički matematički model za transformaciju koji omogućava kreiranje slika različitih formata, pruža se mogućnost da se ispita uticaj odabira formata nepomične slike na konačnu uspešnost u prepoznavanju. Neke od inicijalnih pretpostavki su da bi oni formati koji imaju sposobnost za skladištenje veće količine informacija trebali da se pokažu kao povoljniji. Naravno to ne mora biti pravilo. Veliki broj CBIR tehnika prvenstveno odradi neki vid redukcije informacija, primenom specifičnih matematičkih procesiranja, pa tek nakon toga primenjuje razvijeni algoritam za izračunavanje vektora karakteristika. Razlog tome može biti smanjenje vremena izvršavanja, ali i specifičnost pojedinih algoritama kojima pogoduje rad sa manje informacija. Upravo iz tog razloga biće urađeni odgovarajući eksperimenti koji bi trebalo da pokažu kakav uticaj format slike ima na uspešnost predloženog postupka. Informacije dobijene na ovaj način mogu poslužiti kao važan faktor u odabiru prave kombinacije formata i CBIR tehnike koja će postići odgovarajuću preciznost, a da pritom održi nisku zahtevnost za računarskim procesiranjem.

### **11.1 Uticaj vremenske dužine uzorka sekvence hoda na preciznost u prepoznavanju**

Prepoznavanje osobe na osnovu hoda je proces koji se zasniva na snimanju kamerom ili nekim senzorskim uređajem tokom kretanja osobe. Kao rezultat snimanja dobija se sekvenca ljudskog hoda predstavljena kao skup frejmova u određenom vremenskom intervalu gde je svaki frejm određen vremenskim trenutkom njegovog beleženja. Obzirom da se osoba kreće kroz određeni prostor, a akvizicioni uređaj vrši snimanje u određenom vremenskom periodu, ovakav problem se može definisati kao prostorno vremenski. Za tako specifičnu vrstu problema od presudnog je značaja vreme kao determinantan faktor. Progresijom vremena akumulira se sve više podataka i logično je očekivati povećanje preciznosti sistema za prepoznavanje. Odatle se može izneti pretpostavka da kako vreme teče u pozitivnom smeru i verovatnoća prepoznavanja osobe raste i konvergira ka sigurnom događaju.

Izneta pretpostavka je zasnovana na logičnom sledu činjenica i verovatno nosi u sebi dozu istine, ali zanemaruje veliki broj važnih faktora. Praktična primena biometrijskih tehnologija nosi sa sobom mnoga

ograničenja koja značano limitiraju slobodu u primeni ovakve tehnologije. Najčešće je prostor koji određeni akvizicioni uređaj može da pokrije ograničen i može usnimiti svega nekoliko aktivnih koraka subjekta. Takođe tokom snimanja vrlo često se dešava da su određeni segmenti snimka neupotrebljivi usled mnogih ometajućih okolnosti poput okluzije i lošeg osvetljenja. Takođe vrlo je važan momenat procesorske moći u primeni algoritma za prepoznavanje. Sa porastom zabeleženih informacija raste i potreba za računarskom obradom i procesiranjem i postoji mogućnost da u određenom trenutku korist od veće količine informacija bude niža od štete usled velikog računarskog procesiranja. U takvim situacijama sistem ne može raditi u realnom vremenu.

Ukoliko pozitivna progresija vremena utiče pozitivno na stopu prepoznavanja, pre svega zahvaljujući akumulaciji podataka, logično je očekivati i da će u nekom trenutku u vremenu doći do zasićenja sistema i da dodavanje novih informacija neće doprinositi stopi prepoznavanja u onoj meri u kojoj će uticati na pad odziva sistema. Ovaj prelomni trenutak u vremenu ne mora nužno biti daleko udaljen od početka snimanja. Zavisno od specifičnosti posmatranog problema, kao i od kvaliteta predloženog postupka ta prelomna tačka u vremenu sa izvesnom verovatnoćom može se detektovati na bilo kom delu vremenske ose. Činjenica da je ljudski hod koordinisana, ciklična kombinacija pokreta koja rezultuje ljudskom lokomocijom (Boyd & Little, 1998), može ići u prilog činjenici da se ta tačka pojavi dosta rano u vremenu snimanja. Ljudski hod je repetitivan i u suštini se ponavljaju ciklusi koji su vrlo slični. Samim tim dodavanjem ciklusa ne dobijaju se sazajno nove informacije i na osnovu takvih informacija je teško dobiti značajno poboljšanje preciznosti. Ova diskusija direktno se odnosi na jednu od postavljenih pomoćnih hipoteza predloženog postupka koja kaže:

- Postoji takvo vreme  $t$ , koje predstavlja minimalno potrebno vreme za prikupljanje video sekvence ljudskog hoda, a koje sadrži dovoljno podataka da bi se uspešno obavilo prepoznavanje određene osobe.

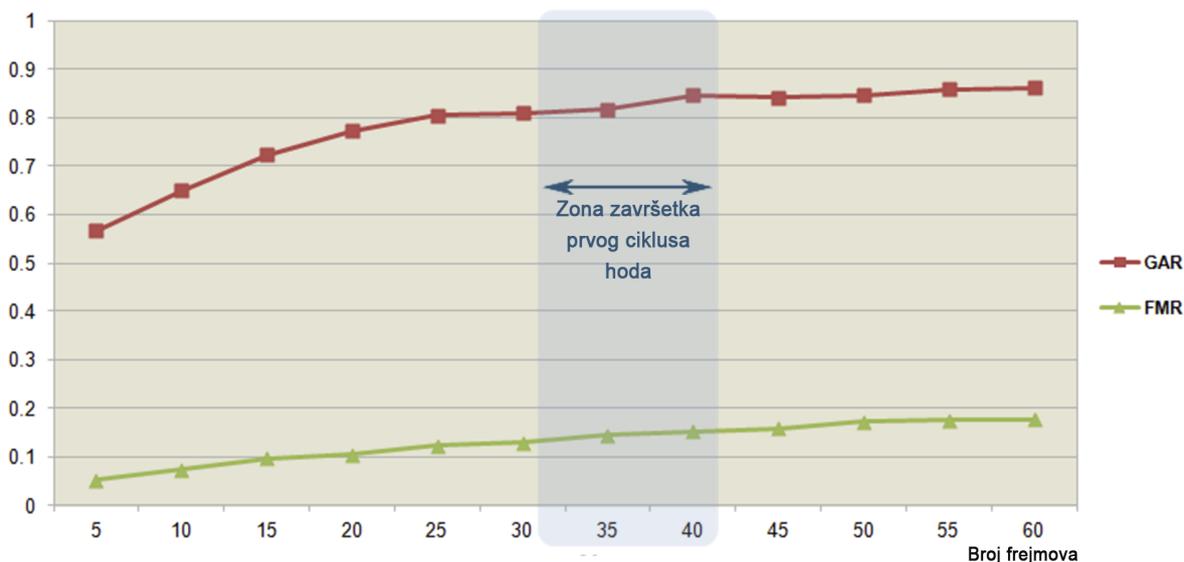
Da bi se opravdala zasnovanost postavljene hipoteze pristupljeno je razvoju posebnog eksperimenta. Eksperiment se zasniva na iterativno-inkrementalnom merenju performansi sistema. Počevši od jednog frejma prolazi se kompletan proces transformacije u nepomičnu 2D sliku i primena CBIR tehnika za izračunavanje vektora karakteristika. Potom se međusobno upoređuju svi tako nastali uzorci hoda i porede se njihovi vektori karakteristika radi utvrđivanja odstojanja. Nakon toga se izračunavaju GAR (eng. Genuine Accept Rate), stopa ispravno prihvaćenih subjekata i FMR (eng. False Match Rate), stopa pogrešno prihvaćenih subjekata. Njihov odnos se prikazuje uz pomoć ROC krive. Potom se postupak ponavlja, ali se broj frejmova uvećava za jedan. Na ovaj način će se dobiti uvid na koji način akumulacija podataka utiče na dva vrlo važna pokazatelja performansi biometrijskog sistema kao što su GAR i FMR.

Obzirom da se za izračunavanje GAR i FMR kao dinamička promenljiva koristi prag prolaznosti (eng. threshold), dodavanjem još jedne dinamičke promenljive kao što je broj frejmova problem postaje višedimenzionalan i samim tim komplikovan za analizu. Iz tog razloga za potrebe ovog eksperimenta prag prolaznosti biće postavljen na fiksnu vrednost, na onu meru koja daje najpovoljniji odnos između GAR i FMR. Taj odnos može se utvrditi razlikom između ta dva pokazatelja:

$$\Delta S = GAR - FMR \quad (3)$$

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Za odgovarajuću testnu CBIR tehniku odabrana je metoda histograma boja kao osnovna i najčešće korišćena metoda za pretragu slika na osnovu sadržaja. Vrednost  $\Delta S$  iz jednačine (3) za takvu postavku u kojoj su korišćene sve prikupljene tačke identifikovala je prag prolaznosti sa vrednošću 1,01. Nakon toga primenjen je postupak kreiranja skupa slika po inkrementalno-iterativnom principu, što je rezultovalo sa 60 različitih skupova uzoraka. Svaki naredni skup uzoraka sadržao je slike kreirane od jednog frejma više od prethodnog zaključno sa 60 frejmova.



**Slika 54** Odnos GAR/FMR za iterativno-inkrementalni postupak kreiranja nepomičnih slika zavisno od broja korišćenih frejmova

Analizom rezultata (Slika 54) jasno se može primetiti trend rasta performansi sistema sa progresijom korišćenih frejmova. Trend rasta se može pripisati i činjenici da je histogram boja u suštini statistička metoda i da je očekivano da sa porastom broja korišćenih uzoraka raste preciznost sistema.

Efikasnost sistema se može opisati preko mere odnosa  $\Delta S$  između GAR i FMR. U ovom slučaju udaljenost između ova dva pokazatelja je najviša u skupu podataka koji je kreiran sa 39 uzastopnih frejmova i iznosi  $\Delta S = 0,694$ . Na osnovu analize VGA snimaka hoda subjekata koji su učestvovali u kreiranju baze podataka detektovan je vremenski raspon u kome su svi subjekti završili prvi ciklus hoda. Taj vremenski raspon obeležen je plavom bojom i označen kao zona završetka prvog ciklusa hoda (Slika 54). Nakon obeležene zone završetka prvog ciklusa hoda možemo detektovati zasićenje GAR vrednosti dok FMR vrednost ima blagi trend rasta. Samim tim mera efikasnosti sistema  $\Delta S$  opada. Na osnovu toga možemo tvrditi da postoji trenutak nakon koga opada efikasnost sistema i dodavanje novih informacija ne doprinosi performansama sistema. Statistički je pokazano da se najveća efikasnost sistema postiže upravo u zoni završetka prvog ciklusa hoda. Ovo dovodi performanse biometrijskog sistema u direktnu vezu sa prirodom ljudskog hoda. Obzirom da je ljudski hod repetitivan i cikličan, uvođenjem novih ciklusa ne postiže se viša efikasnost sistema.

Na osnovu analiziranih rezultata može se zaključiti da postoji naučna zasnovanost postavljene hipoteze i da je moguće pronaći takvo vreme  $t$ , koje predstavlja optimalno vreme prikupljanja podataka za potrebe prepoznavanja osoba na osnovu hoda.

### 11.2 Uticaj različitih CBIR tehnika na preciznost u prepoznavanju

Pretraga slika na osnovu sadržaja predstavlja poslednji korak predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda. CBIR tehnike se koriste da bi se izvršilo poređenje između nepomičnih 2D slika koje predstavljaju akumulaciju video sekvence ljudskog hoda.

Odabir odgovarajuće CBIR tehnike može imati veoma važnu ulogu u postizanju odgovarajuće preciznosti biometrijskog sistema. Najveću važnost u odabiru adekvatne tehnike ima specifičnost akumulirane slike. Iako se rezultujuće slike između sebe razlikuju, sve nastaju na isti način korišćenjem istog matematičkog modela transformacije. Upravo iz tog razloga može se očekivati da će određene generičke CBIR tehnike imati više uspeha od drugih u završnom procesu prepoznavanja. U prethodnim poglavljima na osnovu analize su predložene tri osnovne CBIR tehnike za proces evaluacije sistema koje se zasnivaju na bojama kao osnovnoj karakteristici. Te tri metode su **Histogram boja** (eng. Color Histogram), **Vektor koherentnosti boja** (eng. Color Coherency Vector CCV) (Pass, Zabih, & Miller, 1996) i **Korelogram boja** (eng. Color Correlogram CC) (Huang, Kumar, Mitra, Zhu, & Zabih, 1997). Pored predloženih CBIR tehnika koje su zasnovane na bojama, od kojih se očekuje najveći uspeh, biće ispitane i značajni predstavnici metoda zasnovanih na teksturi, konkretno **Histogram fazi boja i tekstura** (eng. Fuzzy Color and Texture Histogram) (Chatzichristofis & Boutalis, 2008) i **Vektor usmerenosti boja i ivica** (eng. Color and Edge Directivity Descriptor) (Chatzichristofis & Boutalis, 2008a). Metode koje se zasnivaju na oblicima nemaju potencijal u ovom slučaju obzirom na strukturu kreirane slike.

Preciznost sistema će biti analizirana kroz dva osnovna biometrijska alata za evaluaciju, ROC krivu i CMC krivu. ROC kriva će prikazati odnos između ispravno prihvaćenih subjekata i pogrešno prihvaćenih uljeza pri dinamičkom pragu prolaznosti (GAR/FMR). CMC kriva će prikazati kumulativnu stopu identifikacije zavisnu od ranga uzorka sa najmanjim odstojanjem. Prilikom izračunavanja stope identifikacije korišćena je aritmetička sredina odstojanja od svih uzoraka iste osobe. Nakon toga se utvrđuje minimalno odstojanje od svih subjekata u bazi:

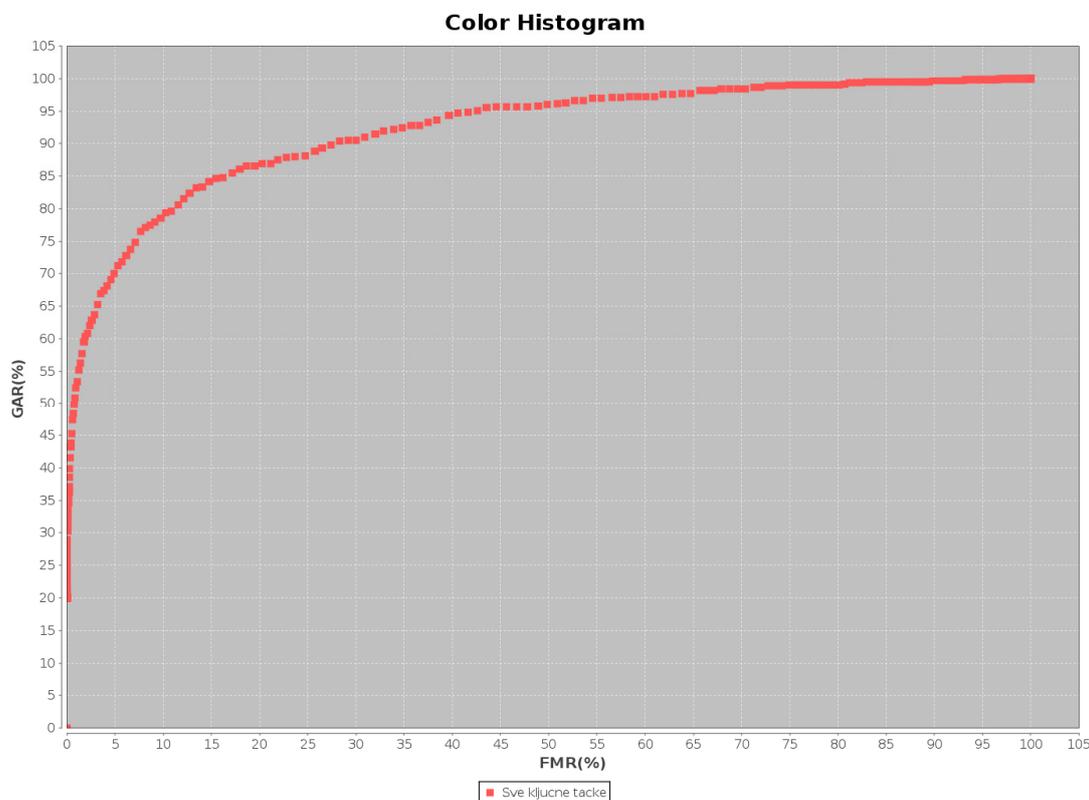
$$D_{min} = \frac{d(x_1, x_c) + \dots + d(x_n, x_c)}{n} \quad (4)$$

U jednačini (4)  $X_i$ ,  $i = 1..n$  predstavlja vektor uzorka sa kojim se vrši poređenje u bazi dok  $X_c$  predstavlja vektor akviziranog uzorka za poređenje. Vrednost  $n$  predstavlja broj biometrijskih uzoraka hoda za svakog subjekta u biometrijskoj bazi.

U biometrijskoj bazi podataka nalaze se snimci 50 osoba, sa 5 zasebnih uzoraka hoda za svaku od osoba. Nepomične slike su kreirane uz pomoć predloženog modela transformacije a za format slike je korišćen 24bitni RGB BITMAP model. Prilikom kreiranja slika korišćene su sve ključne tačke ljudske figure u rasporedu koji određuje akvizicioni uređaj. U prvom koraku evaluacije izračunati su vektori

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

karakteristika za sve uzorke u biometrijskoj bazi podataka. Nakon toga izračunato je odstojanje između svih vektora uzoraka pojedinačno time kreirajući ukupno 62500 skorova poređenja. Prva CBIR tehnika koja će biti analizirana je **Histogram boja**.



Slika 55 ROC kriva (GAR/FMR) za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Histograma boja

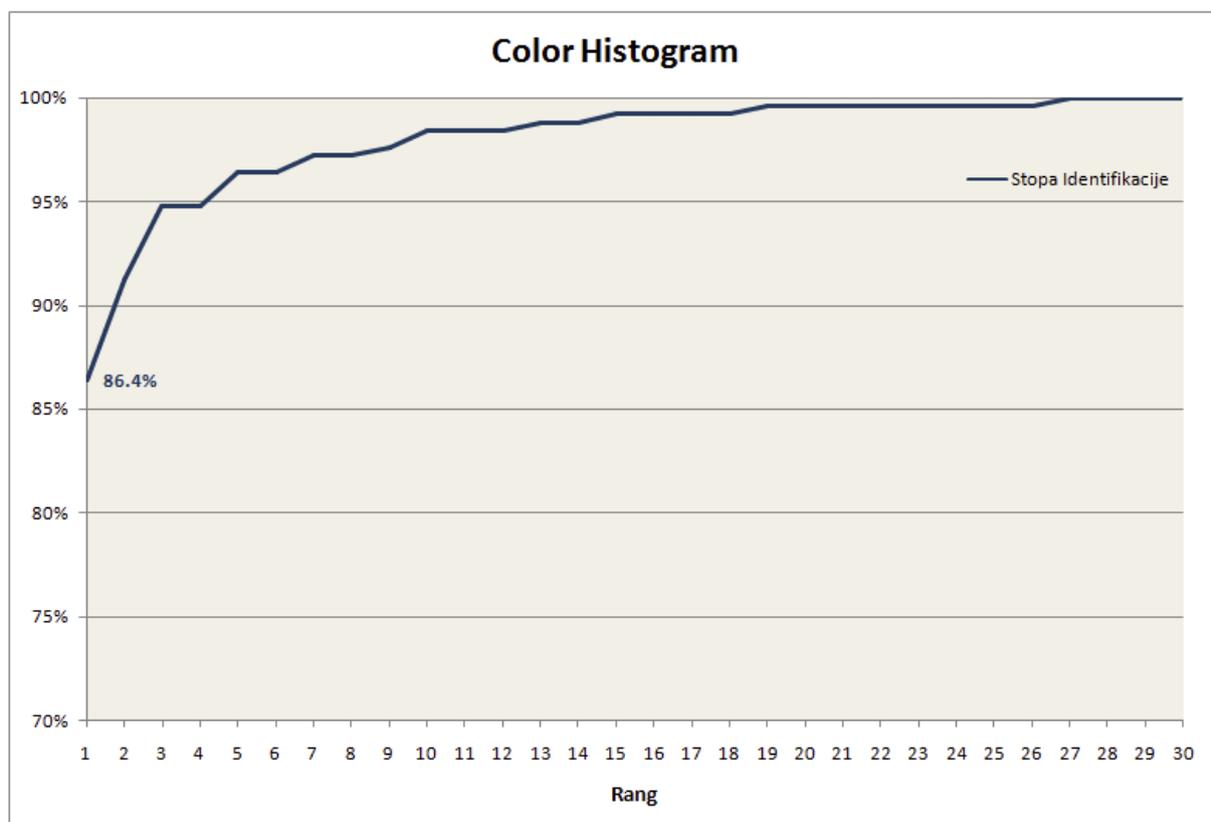
ROC kriva (Slika 55) daje uvid u odnos između procenta ispravno prihvaćenih subjekata (GAR) i procenta pogrešno prihvaćenih uljeza (FMR) pri dinamičkom pragu prolaznosti. Krivu odlikuje nagli rast što je odlika sistema sa solidnom preciznošću. Zavisno od potreba biometrijskog sistema prag se može postaviti na takav način da obezbedi visok stepen prihvatanja ispravnih subjekata, a da pritom ne kreira veliku grešku. Čak i za potrebe samostalnog funkcionisanja biometrijskog sistema ispravno prihvatanje koje se kreće između 80% i 85% pri grešci od 10% do 15% može se smatrati vrlo povoljnim.

Uspešnost histograma boja u prepoznavanju može se pripisati pre svega statističkoj prirodi ove CBIR tehnike. Jednostavan vektor karakteristika pre svega omogućuje robusnost metode i primenljivost na vrlo različitom skupu slika. Posebna priroda nepomičnih 2D slika koje predstavljaju akumulaciju sekvence ljudskog hoda, a koja se pre svega odlikuje tranzicijom boja, očigledno pogoduje metodi histograma boja.

Zanimljivo je pogledati na koji način će se sistem pokazati u uslovima identifikacije subjekta. CMC kriva predstavlja procenat pojavljivanja ispravnog izbora prilikom identifikacije na svakom rangju. Analizom krive (Slika 56) može se zaključiti da metoda pruža vrlo visoku preciznost u prepoznavanju. Inicijalna stopa identifikacije od 86.4% je prihvatljiva čak i za određene biometrijske sisteme zasnovane

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

na fiziološkim karakteristikama, dok za sisteme zasnovane na bihejviorističkim karakteristikama predstavlja vrlo zadovoljavajuću stopu. Preciznost sistema se ogleda i u činjenici da već do trećeg ranga sistem postiže kumulativnu preciznost od 95%. Ova činjenica govori u prilog tome da postoji prostor za poboljšanje stope identifikacije daljim razvojem metode.



Slika 56 CMC kriva za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Histograma boja

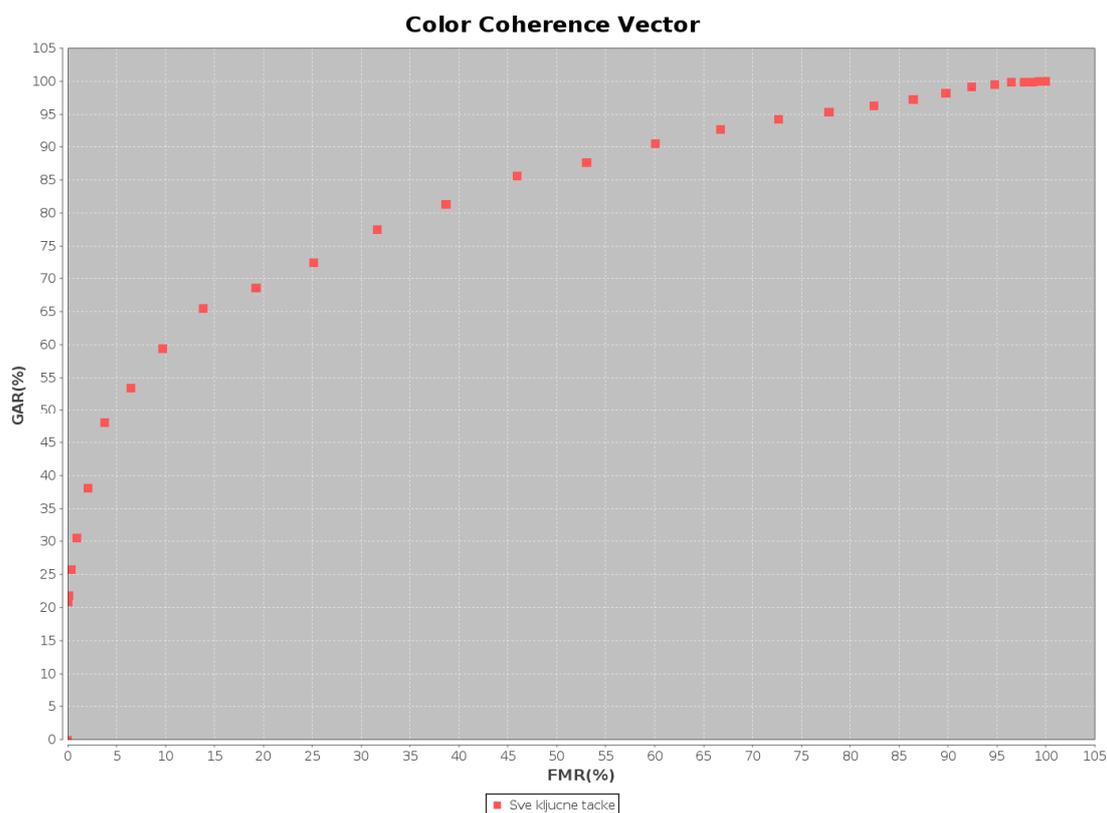
Manjkavost histograma boja je pre svega u činjenici da ne uzima u obzir prostorne informacije. Vektor karakteristika se izračunava globalno i položaj određenog piksela ili boje u slici se zanemaruje i isključivo se koristi zbirna količina boja u celoj slici. Obzirom da predloženi postupak vrši prostorno-vremensku akumulaciju u nepomičnu 2D sliku, vremenski podaci se transformišu u prostornu ravan i čine Y osu slike. Iz tog razloga zanemarivanje prostornih informacija u rezultujućim slikama može uticati na konačnu preciznost sistema.

CBIR tehnika koja proširuje metodu histograma boja sa prostornim informacijama je **vektor koherentnosti boja**. U osnovi ova metoda informacije o bojama u slici uzima u obzir u odnosu na njihov položaj. Proces se sastoji od pronalaženja grupacija piksela koji sadrže koherentne boje. Sličnost regiona nije nužno uslovljena položajem tog regiona na slici već više samom sličnošću grupacija piksela. Ovakav način kreiranja vektora karakteristika se može pokazati interesantnim za predloženi postupak prepoznavanja osoba na osnovu hoda, obzirom da zavisno od brzine hoda određeni regioni se mogu naći u različitim delovima slike ali bez obzira na tu činjenicu oni i dalje oslikavaju karakteristično kretanje.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Takođe, određeni segmenti tela se kreću slično i ukoliko se nalaze jedni do drugih u slici moglo bi se pokazati da iz ugla ove metode kreiraju karakteristične i prepoznatljive regione.

ROC kriva (Slika 57) ukazuje da je preciznost ove tehnike u procesu prepoznavanja daleko ispod preciznosti koju postiže histogram boja. Za isti procenat pogrešnog prepoznavanja od 10% do 15% ova metoda postiže svega od 60% do 65% uspešnog prepoznavanja.



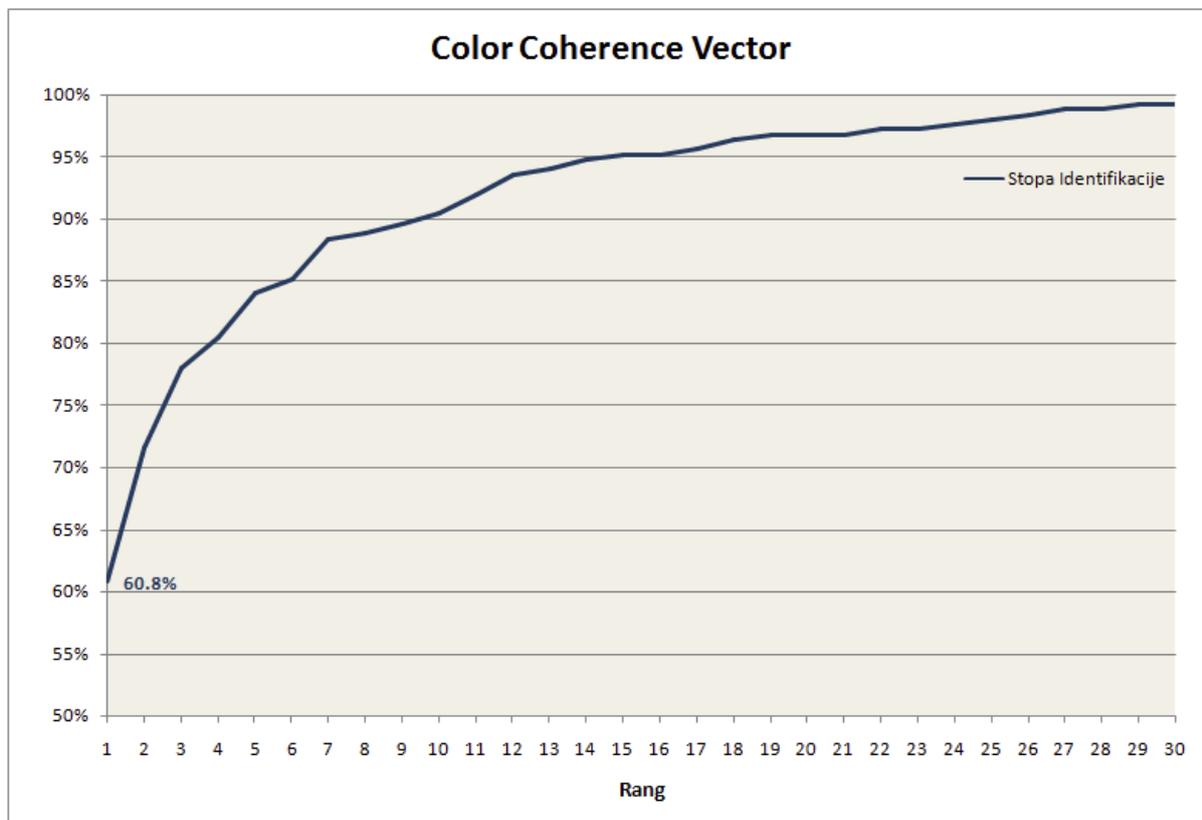
Slika 57 ROC kriva (GAR/FMR) za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Vektora koherentnosti boja

Loše performanse ove tehnike u odnosu na prethodnu mogu se pripisati različitim faktorima. Pre svega ova metoda ne uzima globalne informacije o ukupnom učešću boja i samim tim dobar deo informacija izostavlja iz analize. Pored toga, da bi ova metoda bila uspešna neophodno je da u slici postoje regioni koji su karakteristični po svom rasporedu boja. Činjenica da su slike kreirane redosledom tačaka dobijenim iz akvizicionog uređaja, bez ikakve inteligentne intervencije, može uticati na pad performansi ove metode.

Stopa identifikacije takođe nije zadovoljavajuća za unimodalnu primenu biometrijskog sistema. Sa CMC krive (Slika 58) može se videti da je stopa identifikacije svega 60,8%. Iako u prvih pet rangova se postiže kumulativna stopa identifikacije od 84%, ona je i dalje niža od stope identifikacije koju histogram boja postiže na prvom rang.

Uprkos inicijalnom neuspehu ove tehnike u procesu prepoznavanja, činjenica da je u pitanju računarski nezahtevna tehnika koja ima očigledan nagli trend rasta CMC krive (Slika 58), daje osnovu za dalje unapređenje pre svega u koracima koji prethode primeni ove CBIR tehnike. Jedan od ključnih

faktora mogao bi biti upravo raspored ključnih tačaka prilikom akumulacije podataka u nepomičnu 2D sliku. Ova mogućnost biće ispitana u narednom poglavlju.



Slika 58 CMC kriva za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Vektora koherentnosti boja

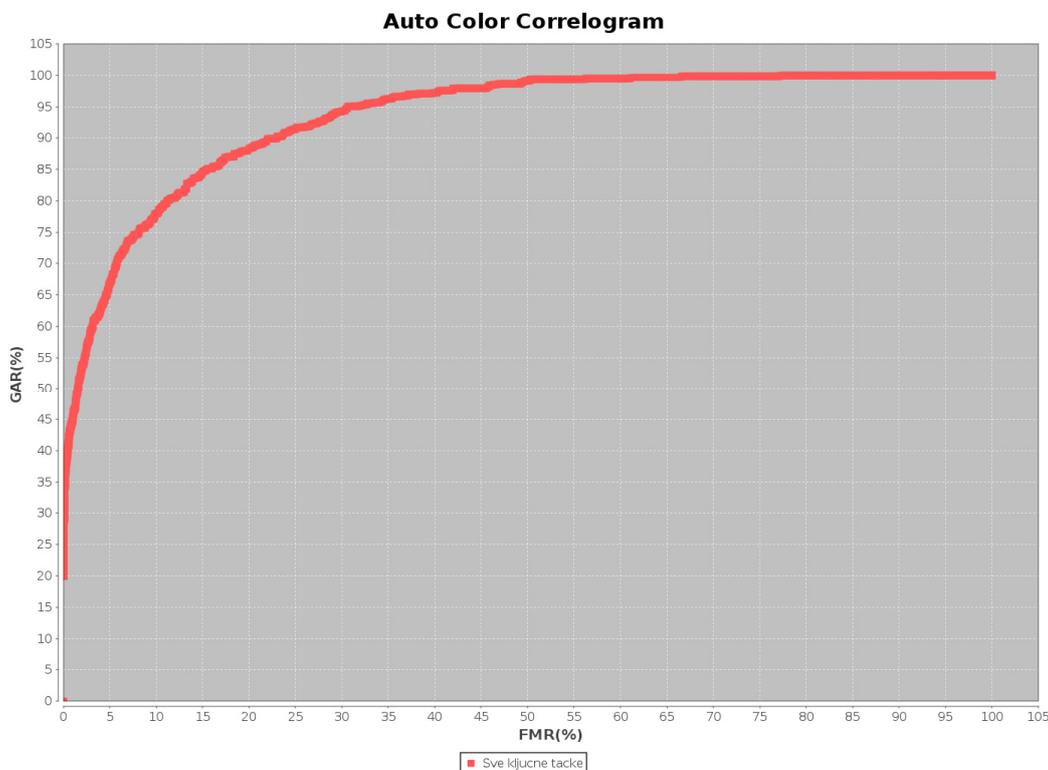
Naredna CBIR tehnika predstavlja logičan nastavak na prethodne dve tehnike. Histogram boja nije uzimao u obzir prostorne informacije, dok vektor koherentnosti boja koristi prostorne informacije tako što traži slične regione boja, ali bez kreiranja veze između pronađenih regiona. Tehnika korelograma boja posebnu pažnju posvećuje upravo odnosu između piksela u slici. Zasniva se na ideji da slike sa sličnim sadržajem imaju na sličan način raspoređene piksele. Ti pikseli se po pravilu nalaze na istoj udaljenosti. Ukoliko je na primer u pitanju slika neke građevine, prozori na istoj zgradi će uvek biti na istoj proporcionalnoj udaljenosti bez obzira na način fotografisanja.

Konkretno, CC slike predstavlja tabelu indeksiranu parovima boja gde je  $k$ -ti unos od  $(i,j)$  označava verovatnoću pronalazanja piksela boje  $j$  udaljenosti  $k$  od piksela boje  $i$  u slici. Činjenica je da ova metoda koristi znatno specifičnije deskriptore za sliku što samo po sebi povlači potrebu za dužom procesorskom obradom. Primena u praksi može biti otežana ovom činjenicom, ali je moguće određenim tehnikama smanjiti potrebnu količinu *just in time* izračunavanja. Neke od tih tehnika mogu biti izračunavanje vektora karakteristika a priori ili eventualno napredne tehnike indeksiranja u sistemu za upravljanje bazom podataka.

Analiza ROC krive (Slika 59) za tehniku Auto korelograma boja pokazuje da je ova metoda u izvesnoj meri superiornija u odnosu na dve prethodne. Kriva ima brži rast i ranije postiže visoku preciznost pri

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

minimalnim greškama. Punih 100% ispravnog prepoznavanja se postiže na 50% eventualne greške što za biometrijske standarde predstavlja vrlo zadovoljavajuć rezultat.

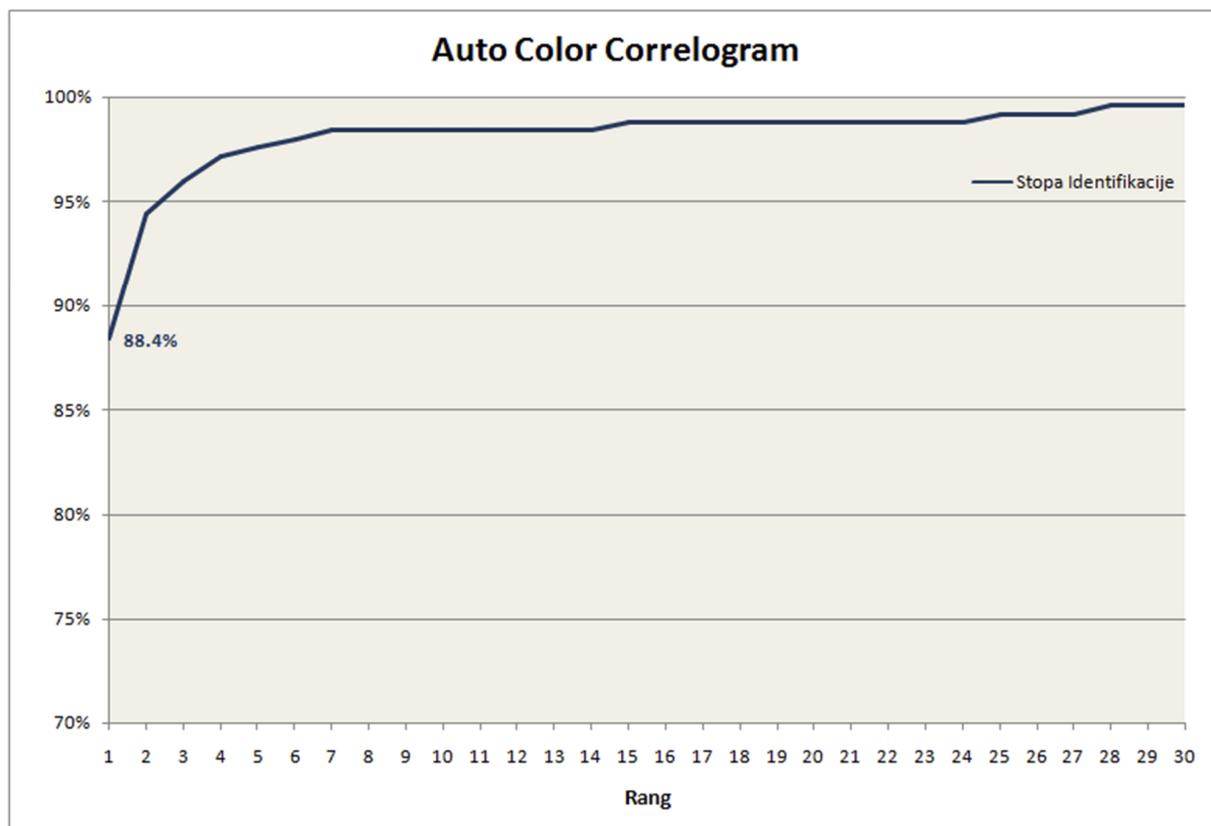


**Slika 59 ROC kriva (GAR/FMR) za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Auto korelograma boja**

Velika prednost ove metode je njena stabilnost. Činjenica da koristi vrlo specifičan vektor karakteristika osigurava stabilnost metode i kod značajnijeg povećanja skupa što ne bi mogli sa sigurnošću da tvrdimo kod prethodnih metoda.

Kada je u pitanju stopa identifikacije i u ovom slučaju je ova metoda pokazala značajniji uspeh u odnosu na prethodne dve. Inicijalna stopa identifikacije prema CMC krivi (Slika 60) iznosi čak 88,4%. Ovako visoka stopa može se koristiti i u relativno sigurnosno osetljivim sistemima, ali bi svakako bila izuzetno upotrebljiva u multimodalnim biometrijskim sistemima. Potencijal ove tehnika ogleda se i u činjenici da se već na drugom rangu postiže stopa identifikacije od 94% dok do petog ranga ostvaruje čitavih 98%. Nagli rast CMC krive na najbolji način identifikuje prostor za dalje unapređenje ove metode.

Visoke performanse ove tehnike se mogu pre svega pripisati dobrom poklapanju načina rada ove tehnike i prirode kreiranih nepomičnih 2D slika. Način čovekovog hoda, pomeraji ekstremiteta na jedinstven način kreiraju piksele različitih boja. Cikličnost čovekovog hoda prouzrokuje da se karakteristični pokreti pojedinih delova tela pronađu uvek na istoj udaljenosti u rezultujućoj slici. Uzmimo za primer pokrete leve i desne ruke. Ukoliko se osoba kreće na isti način, boje i pikseli koji opisuju pokrete leve i desne ruke nalaziće se uvek na istoj udaljenosti. Samim tim metoda će na lak način pronaći obrazac koji jedinstveno opisuje svaku osobu.



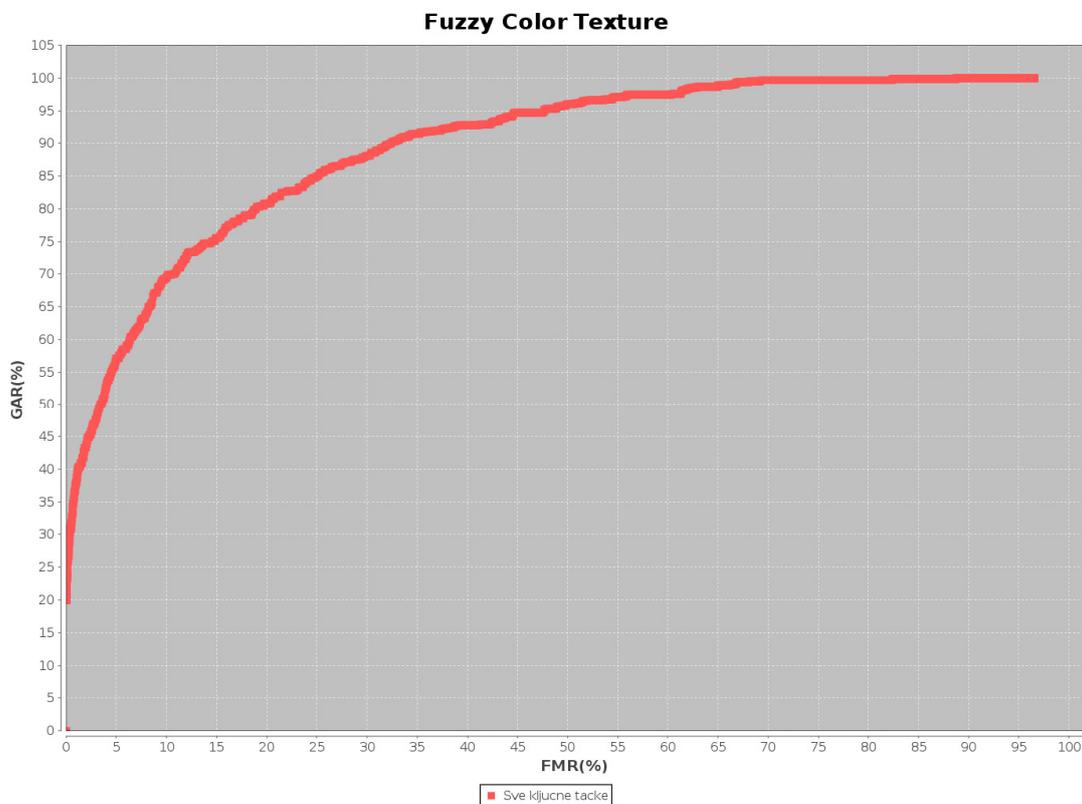
Slika 60 CMC kriva za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Auto korelograma boja

Nepomične 2D slike koje nastaju kao rezultat prostorno vremenske akumulacije sekvence ljudskog hoda su vrlo specifične. Zahvaljujući posebnoj metodi matematičke transformacije prostorno vremenskih informacija u sliku, kao rezultat dobija se slika koju odlikuje pre svega usmerena tranzicija boja. Upravo je zato logičan izbor za pretragu takvih slika na osnovu sadržaja osloniti se na boju kao dominantan faktor. Ali pored boje kao faktora pretrage, opravdano je ispitati i teksturu kao deskriptor. Obzirom da u slici postoji tranzicija boja i da se osoba kreće u pravcu akvizicionog uređaja može se očekivati i određena usmerenost u toj tranziciji. Ova informacija upućuje na mogućnost identifikovanja karakterističnih tekstura u slici.

Prva CBIR tehnika koja se delom oslanja na teksturu slike je Histogram fazi boja i tekstura (eng. Fuzzy Color and Texture Histogram) (Chatzichristofis & Boutalis, 2008). Ova tehnika predlaže uvođenje dodatnih teksturnih informacija i kombinovanja tih informacija sa histogramom boja. Na ovaj način se kreira poseban kombinovani histogram koji autori označavaju sa FCTH. U pitanju je deskriptor niskog nivoa i izračunava se na takav način da je za svaku sliku rezultujući FCTH 72 bajta. Rezultujući histogram nastaje kao kombinacija 3 različite fazi tehnike. Autori (Chatzichristofis & Boutalis, 2008) su uspešnost predložene metode testirali na skupu od 15000+ slika.

Analiza ROC krive (Slika 61) ukazuje na opravdanost korišćenja teksture kao deskriptora. Uprkos činjenici da to svakako nije najuspešnija korišćena tehnika, dobijeni rezultati govore u prilog tome da se u slikama mogu detektovati karakteristične teksture. One očigledno nastaju kao rezultat specifičnog

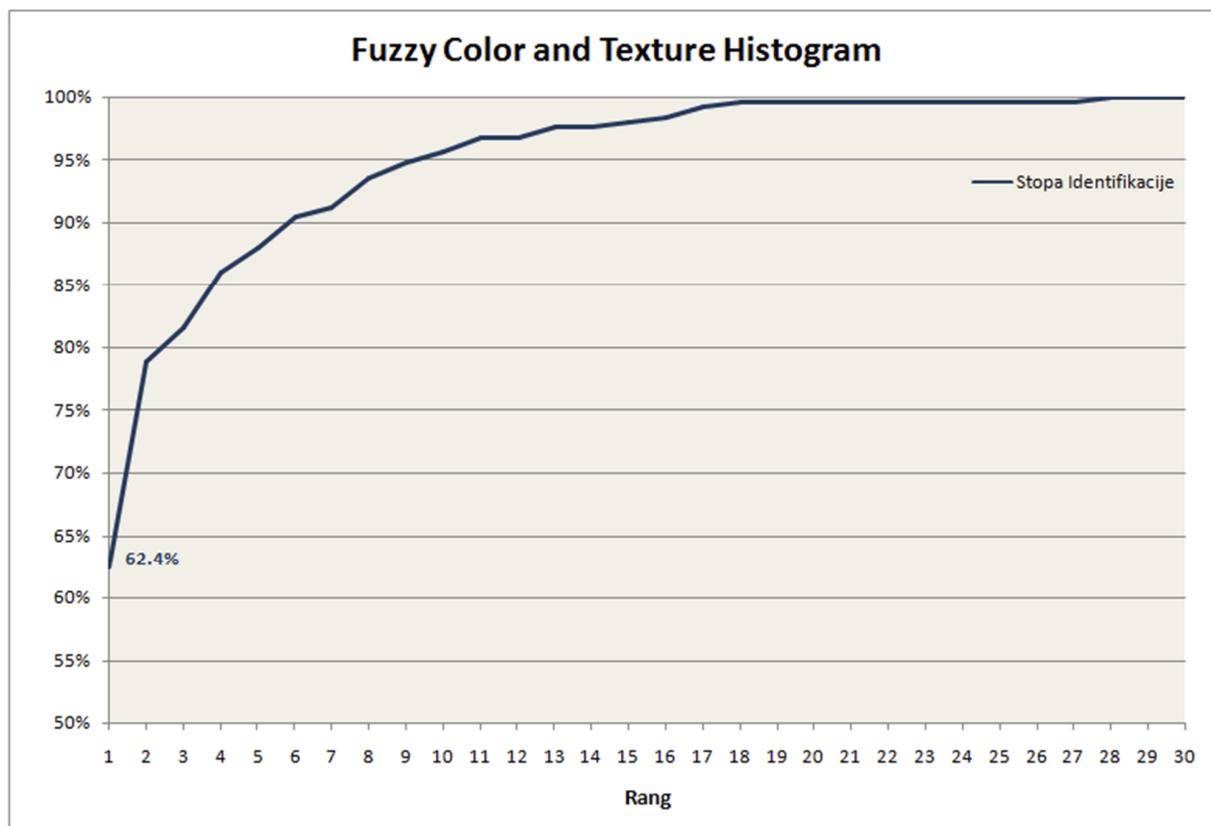
načina hoda. Optimalne performanse sistem u ovom slučaju proizvode uspešnost prepoznavanja od 70% do 75% gde se pritom proizvodi greška od 10% do 15% respektivno.



**Slika 61 ROC kriva (GAR/FMR) za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Histograma fazi boja i tekstura**

Kada je u pitanju stopa identifikacije dobijeni rezultati prikazani u vidu CMC krive (Slika 62) su vrlo interesantni. Iako inicijalna stopa identifikacije iznosi svega 62,4%, već na drugom rangu stopa identifikacije se približava iznosu od 80% posto. Ovi rezultati su čak bolji od rezultata postignutih primenom Vektora koherentnosti boja. Ovako visoka stopa identifikacije u prva dva ranga može se pripisati jednostavnosti deskriptora. Uprkos činjenici da se slične slike visoko rangiraju nema dovoljno informacija u samom deskriptoru koje bi pomogle da se svi izdvoje na prvom rangu. Ovakva situacija bi mogla pogodovati primeni neke od tehnika mašinskog učenja kojim bi se sistem istrenirao da se u određenom procentu za identifikaciju odluči za rezultate drugog ranga. Takođe, korišćenje nekog specijalizovanog ekspertnog sistema bi u ovakvim situacijama moglo pomoći diferencijaciji rezultata u prvim rangovima.

Dalja progresija CMC krive nažalost ne ukazuje na mogućnost primene ove tehnike u strogim sistemima zaštite obzirom da se stopa identifikacije od 95% postiže tek na devetom rangu. Rast krive nije dovoljno rapidan, a to se pre svega može pripisati niskoj početnoj stopi identifikacije.

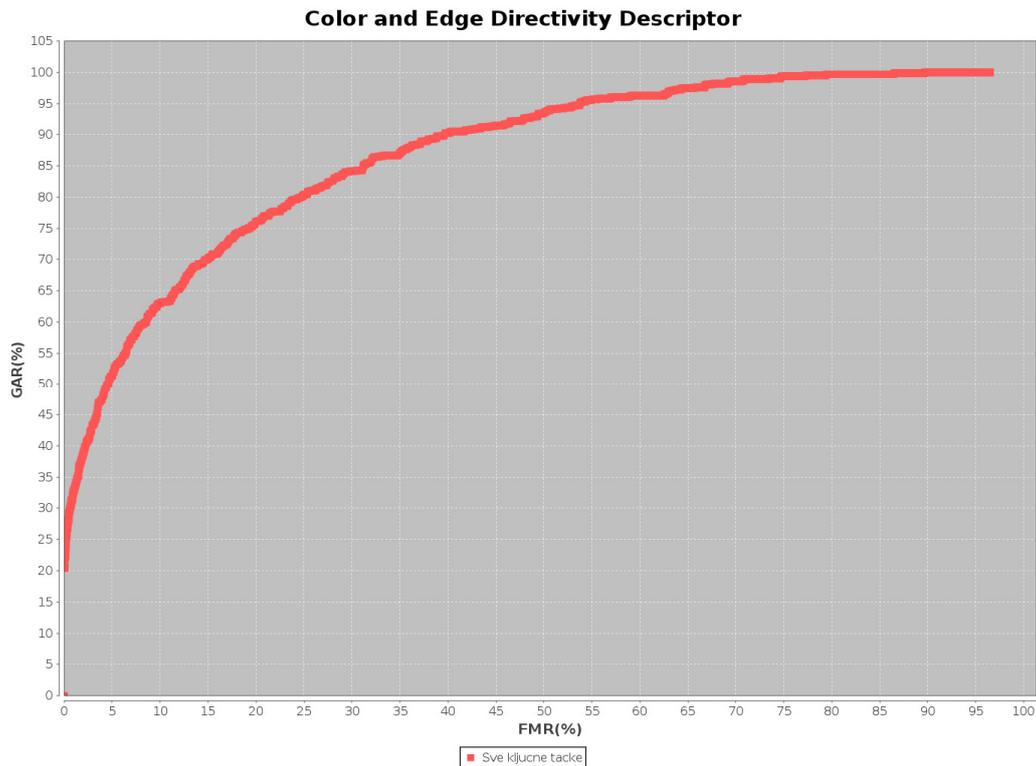


Slika 62 CMC kriva za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Histograma fazi boja i tekstura

Druga metoda koja uključuje teksturu kao deskriptor je Vektor usmerenosti boja i ivica (eng. Color and Edge Directivity Descriptor) (Chatzichristofis & Boutalis, 2008a). U pitanju je metoda koja takođe kreira kombinovani histogram od boja i tekstura, ali rezultujući histogram u ovom slučaju zauzima svega 56 bajtova. Upravo iz tog razloga ova metoda je značajno manje računarski intenzivna i izvršava se u značajno kraćem roku.

Osnovni doprinos ove metode je primena tehnologije detekcije ivica, koja pomaže u identifikaciji tekstura. Tehnika je u mogućnosti da karakterizuje ivice kao delove nekog regiona i to nekoliko različitih tipova: vertikalne, horizontalne, dijagonalne pod uglom od  $45^\circ$ , dijagonalne pod uglom od  $135^\circ$  kao i neusmerene ivice.

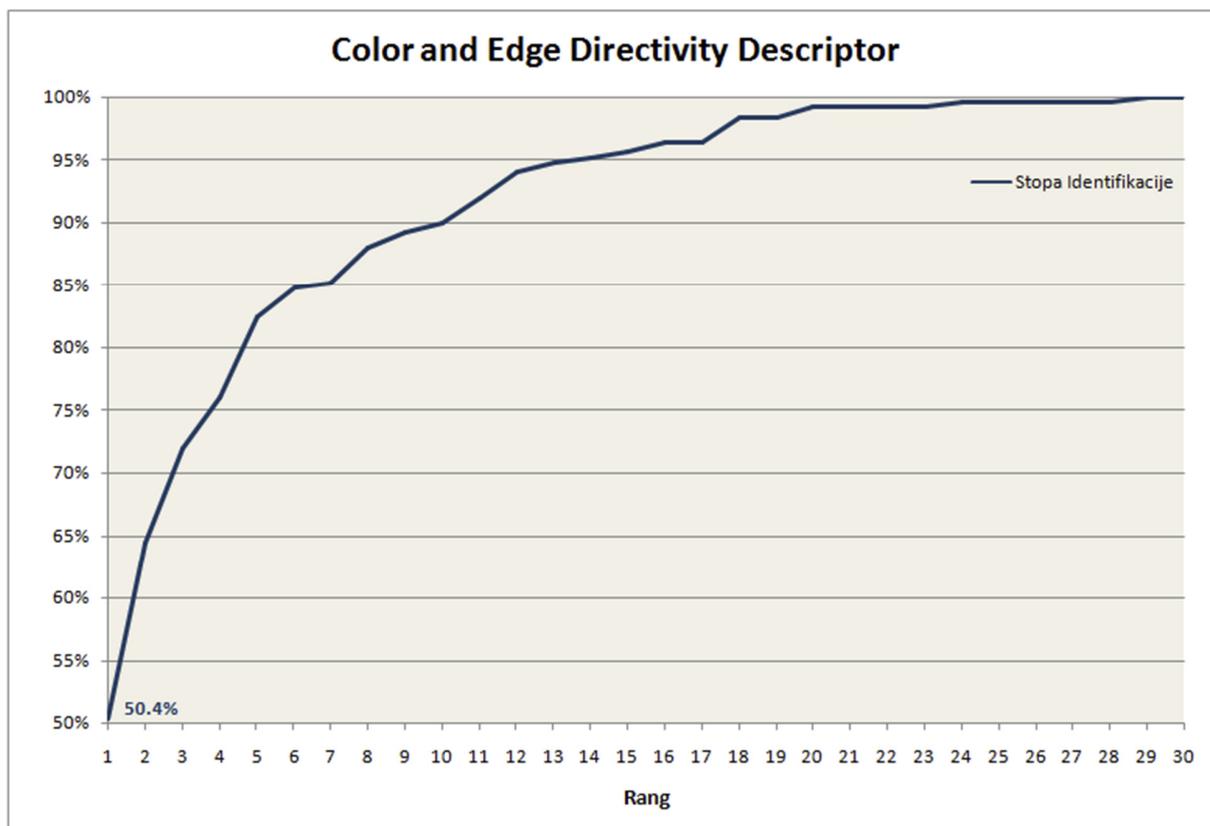
Očekivano, ova CBIR tehnika nije postigla uspešnost prethodne metode. Analizom ROC krive (Slika 63) može se zaključiti da ova tehnika ne daje rezultate koji bi zadovoljili standarde jednog unimodalnog biometrijskog sistema. Uspešnost prepoznavanja od 100% postiže se praveći grešku od čitavih 70%. Deo krive sa prihvatljivim stepenom greške koji se kreće od 10% do 15% otkriva uspešnost u prepoznavanju od svega 62% do 70%.



**Slika 63 ROC kriva (GAR/FMR) za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Vektora usmerenosti boja i ivica**

Kada je u pitanju stopa identifikacije ona takođe nije dovoljno visoka za unimodalnu primenu. Stopa identifikacije od 50,4%, što se vidi sa CMC krive (Slika 64), garantuje svega polovinu uspešno prepoznatih osoba.

Tokom prvih 5 rangova primetan je značajan skok stope identifikacije koji kumulativno, zaključno sa petim rangom postiže 82%. Iako postoji izvesni potencijal za primenu ove metode, činjenica da se kumulativna stopa identifikacije od 100% postiže tek na 29om rang govori da ova metoda nije najbolji kandidat za predloženi postupak prepoznavanja osoba na osnovu hoda.



Slika 64 CMC kriva za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Vektora usmerenosti boja i ivica

Konačnom analizom rezultata možemo zaključiti da predloženi postupak ima naučnu zasnovanost. Primenjene metode evaluacije imale su za cilj da potkrepe opštu hipotezu predloženog postupka:

- Poznati postupci za pretragu slika na osnovu sadržaja (CBIR) mogu se na uspešan način koristiti za potrebe prepoznavanja osoba na osnovu hoda.

Može se tvrditi na osnovu dobijenih rezultata da postoji zasnovanost postavljene hipoteze, kao i pomoćnih hipoteza koje se odnose na postupak akvizicije i transformacije. Kao najperspektivnije pokazale su se CBIR tehnike koje se zasnivaju na bojama i to naročito tehnike histograma boja i korelograma boja. Vektor koherentnosti boja, pre svega zbog svoje niske zahtevnosti ali i specifične prirode koja se oslanja na koherentne regione, pokazao je veliki potencijal za unapređenje postupka i postizanje visokih performansi.

Tehnike koje su zasnovane na teksturama ispoljile su izvesni potencijal, ali su njihove performanse bile znatno niže u odnosu na tehnike zasnovane na bojama. Upravo iz tog razloga, dalje unapređenje postupka biće evaluirano korišćenjem tri predložene tehnike zasnovane na bojama.

## 11.3 Uticaj različitih delova ljudskog tela na preciznost u prepoznavanju

Postupak transformacije putem kojeg se vrši akumulacija ljudskog hoda u nepomičnu 2D sliku je generički. Na osnovu transformacija moguće je bilo koji skup tačaka translirati u piksele 2D slike. U prethodnim poglavljima evaluacija preciznosti sistema je rađena na skupu slika koje su kreirane od skupa ključnih tačaka ljudskog tela u onom redosledu u kom se dobijaju sa interfejsa akvizicionog uređaja.

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda završava se poređenjem slika korišćenjem CBIR tehnika. Iz tog razloga može se pretpostaviti da i sam način kreiranja slike utiče na efikasnost korišćenih CBIR tehnika. Redosled tačaka prilikom kreiranja nepomične 2D slike može izmeniti krajnje performanse sistema. Naročito ukoliko se korišćena CBIR tehnika u svom postupku oslanja na pronalaženje karakterističnih regiona u slici. Način na koji se tačke grupišu bi mogao usloviti bolje ili lošije formiranje regiona. Ovu činjenicu je vrlo važno ispitati, obzirom da bi se pronalaženjem najboljeg rasporeda eventualno mogle podići dosadašnje postignute performanse sistema.

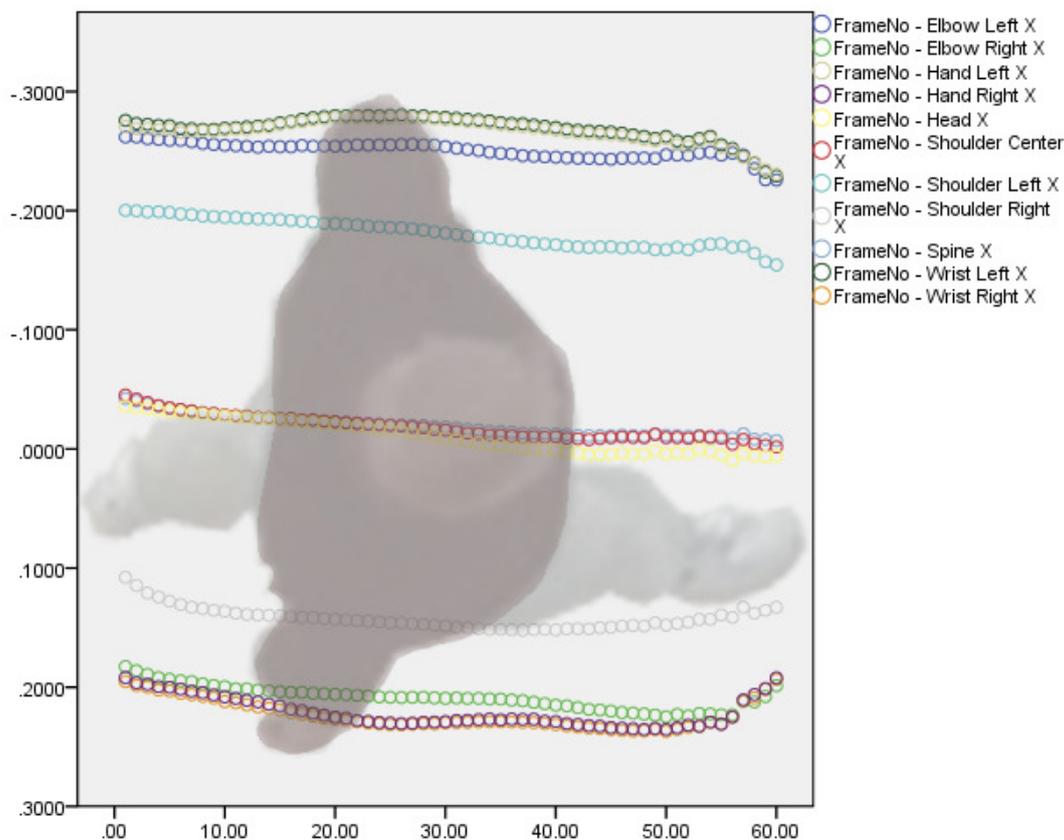
Pored načina rasporeda ključnih tačaka prilikom transformacije u sliku važno je ispitati i da li se može primeniti eventualna redukcija broja tačaka uz relativno očuvanje performansi sistema. Ova informacija bi bila izuzetno korisna u slučajevima okluzije određenih delova tela gde bi sistem mogao doneti odluku da prepoznavanje osobe vrši sa isključivo vidljivim i dostupnim segmentima tela. Ove situacije se događaju ukoliko je osoba odevena na takav način da su delovi tela prikriveni odećom ili ukoliko na primer prolazi iza nekog objekta koji zaklanja deo tela.

Matematički model transformacije translira ključne tačke čovekovog tela u odgovarajuće piksele u slici. Upravo iz tog razloga rezultujuća slika najpre zavisi od samog kretanja delova ljudskog tela. Da bi na adekvatan način postavili raspored ključnih tačaka za transformaciju u sliku, moramo prvo proučiti njihovo kretanje. Za tu potrebu možemo se osloniti na vremensku analizu podataka. Takvom analizom videćemo kretanje tačaka u prostoru i vremenu. Na osnovu njihovog kretanja moći ćemo da predložimo raspored na takav način da se grupišu tačke koje su slične po nekom aspektu kretanja.

Predložena analiza mora na adekvatan način pokriti sve uzorke hoda da bi na pravi način prikazala prirodu kretanja. Najbolji način je da se odgovarajućim matematičkim postupkom usrednjavanja pronađe uzorak kretanja koji će predstavljati celu populaciju. Koordinate ključnih tačaka predstavnika populacije dobijaju se primenom aritmetičke sredine (5).

$$\bar{X}_{pf} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}; \bar{Y}_{pf} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N}; \bar{Z}_{pf} = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i}{N} \quad (5)$$

U jednačini (5)  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  predstavljaju koordinate ključnih tačaka,  $N$  predstavlja broj uzoraka hoda u biometrijskoj bazi podataka dok  $p$  predstavlja ključnu tačku, a  $f$  broj frejma. Analiza vremenskih serija će biti rađena po svakoj od tri koordinate. Radi bolje preglednosti analiza će biti prikazana grafički odvojeno za gornji i donji deo tela. Za potrebe vremenske analize uzet je uzorak od 60 frejmova pri kreiranju predstavnika populacije.

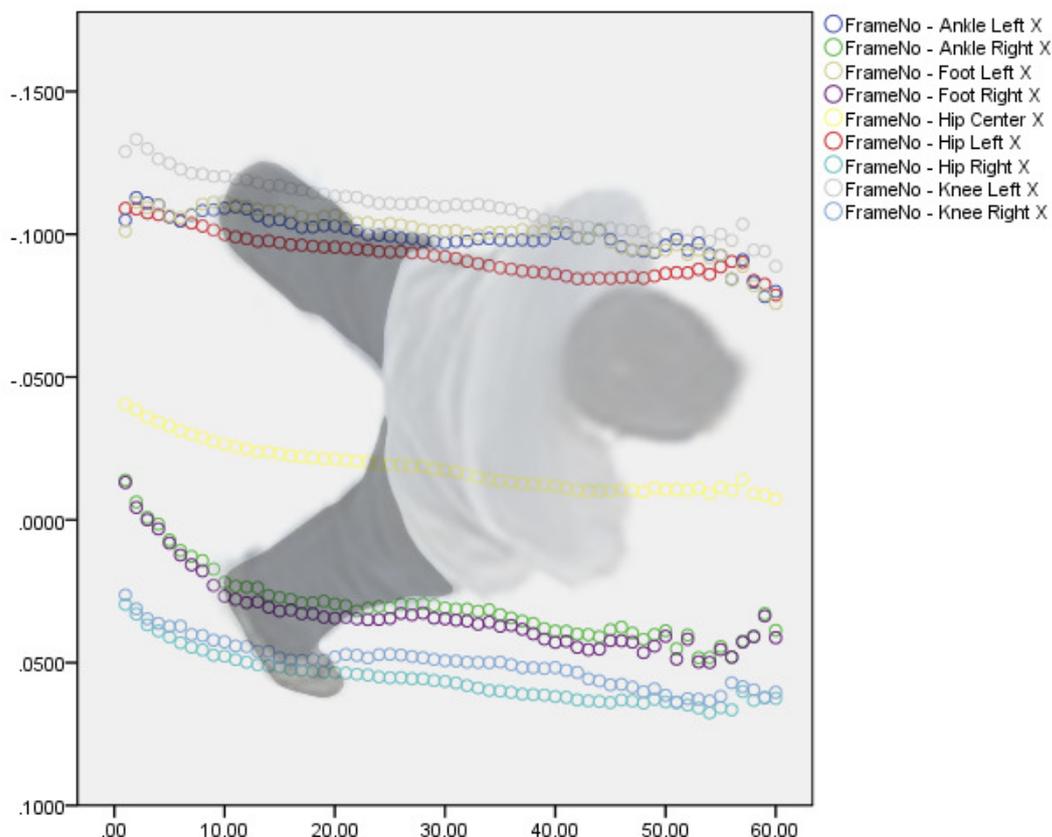


Slika 65 Vremenska analiza ključnih tačaka po X osi za gornju polovinu tela

Na osnovu vremenske analize (Slika 65) može se zaključiti da je u proseku kretanje po X osi dosta ograničeno. Kretanje po X osi karakterišu pomeraji ključnih tačaka u levo i desno u odnosu na pravac kretanja. Činjenica da je ovo kretanje dosta ujednačeno ne iznenađuje, obzirom da većina ljudi kada se kreće prilikom hoda pravi pokrete po Z osi dok su kretanja u stranu znatno smirenija. Ovo je naročito izraženo u situacijama kada se osoba kreće prirodnim tempom hoda. Sa povećanjem brzine hoda dolazi do izraženijeg kretanja po X osi obzirom da osoba na taj način pokretom održava ravnotežu.

Analizom možemo zaključiti da što su tačke udaljenije od torzoa to je njihovo kretanje po X osi izraženije. Najviše kretanja se može detektovati na tačkama koje predstavljaju levu i desnu ruku. Potom skoro identično kretanje se može detektovati na levom i desnom ručnom zglobo. Ovo je sasvim logično obzirom da prilikom hoda vrlo retko dolazi do pomeranja šake u odnosu na ručni zglob. Nešto smirenije kretanje se može detektovati na laktovima leve i desne ruke, kao i kretanje ramena. Centralne tačke torzoa, gde spadaju vrh kičme, centar ključne kosti i glava, praktično se kreću na isti način sa minimalnim odstupanjem po X osi.

Kada je u pitanju donji deo tela u analizu su ušle sledeće tačke: Levo i desno stopalo, levi i desni skočni zglob, levo i desno koleno, levi i desni kuk i centralna tačka kuka (karlica).

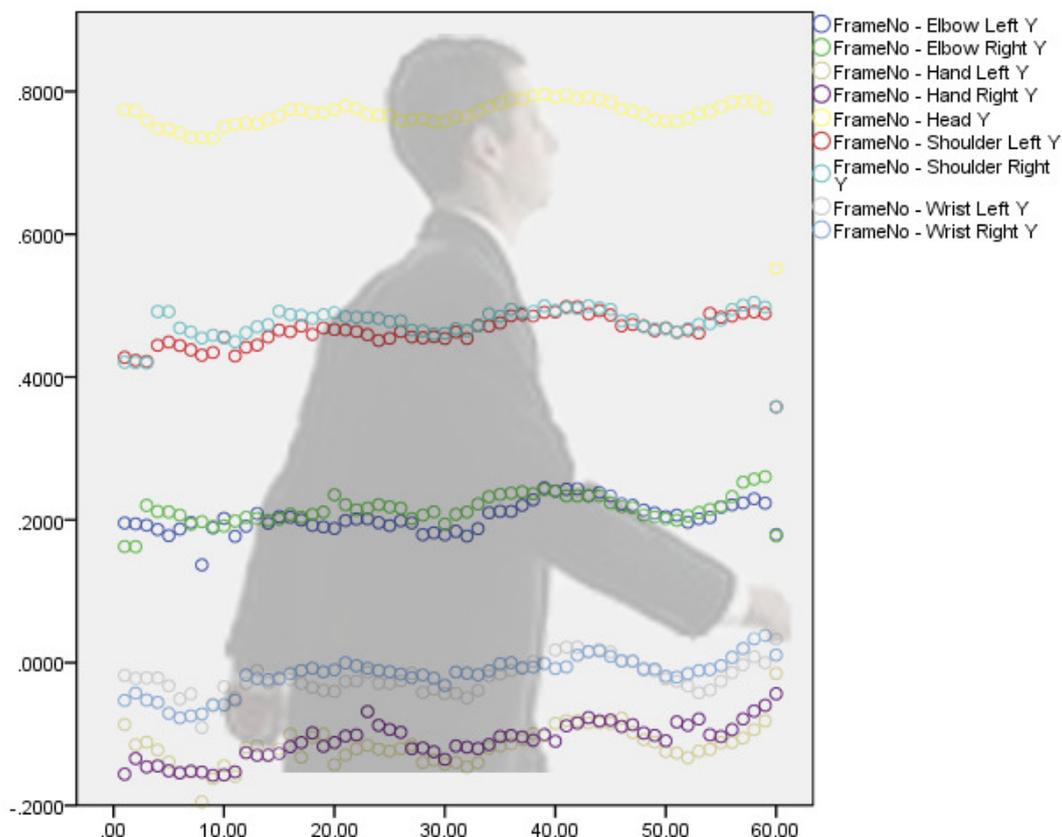


Slika 66 Vremenska analiza ključnih tačaka po X osi za donju polovinu tela

Analiza vremenskih serija (Slika 66) u ovom slučaju otkriva nešto izraženije kretanje tačaka po X osi. Jedina tačka za koju možemo tvrditi da nema značajna odstupanja po X osi je tačka koja označava centar kukova. Najizraženije kretanje se može detektovati kod stopala subjekta. To kretanje na vrlo sličan način prati kretanje skočnog zgloba. Do eventualnih razlika u pokretima između ove dve tačke dolazi usled uvrtaja stopala prilikom kretanja. Kretanje kolena je pravilnije u odnosu na stopala i skočni zglob, što se može pripisati dosta restriktivnoj prirodi kada je uvrtaž zgloba u pitanju. Levi i desni kuk imaju vrlo male oscilacije u odnosu na ostale tačke donjeg dela tela.

Već na osnovu ove dve analize vremenskih serija možemo primetiti da primerak hoda koji je predstavnik populacije ima tendenciju blagog kretanja udesno u odnosu na akvizicioni uređaj. Sa završetkom koraka se ovo naginjanje u izvesnoj meri kompenzuje. Ovu činjenicu možemo pripisati dvoma faktorima. Prvi faktor je svakako činjenica da većina učesnika u studiji ima bolje razvijenu desnu stranu tela obzirom da je dominantno koristi. Drugi faktor je sam završetak koraka koji predstavlja kompenzaciju i ispravljanje pravca hoda. Ova pojava se događa nesvesno i njom upravljaju motorički centri u mozgu koji na osnovu vizuelnog stimulansa ispravljaju kretanje prema određenom objektu.

Kretanje po Y osi u stvari označava vertikalno kretanje ključnih tačaka na ljudskom telu. I u ovom slučaju analiza će biti rađena podelom na gornji i donji deo tela.

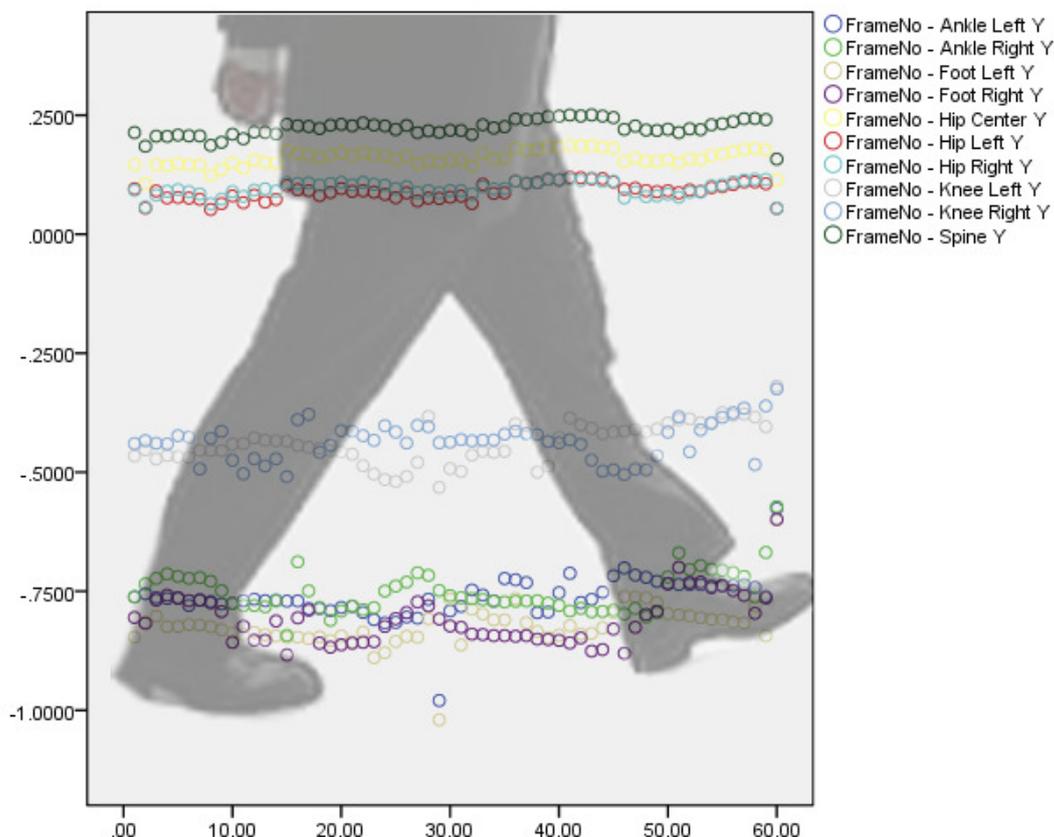


Slika 67 Vremenska analiza ključnih tačaka po Y osi za gornju polovinu tela

Vrlo upečatljiva pojava u ovoj vremenskoj analizi je očigledan trend spuštavanja tačaka koje označavaju glavu, ramena i ključnu kost. Ovo se može pripisati činjenici da kod mnogih subjekata, koji se kreću nešto brže, prilaskom poslednjim frejmovima osoba priđe previše blizu uređaju i samim tim dolazi do ispadanja ovih tačaka iz vidnog polja uređaja. U takvim slučajevima Kinect API tim tačkama dodeljuje nultu vrednost. Ove nulte vrednosti su uticale na povlačenje kretanja kod predstavnika populacije na dole.

U ostatku analize može se jasno ustanoviti da se najizraženije kretanje po Y osi događa upravo kod krajeva ekstremiteta, konkretno ruku i ručnih zglobova. Sledeće tačke po količini pomeraja su laktovi obe ruke. Tačke koje predstavljaju glavu i ramena imaju nešto umirenije kretanje po vertikalnoj osi, ali se kod ovih tačaka vrlo jasno mogu detektovati poluciklusi hoda koji se manifestuju kao sinusoidno kretanje tačaka. Pod uticajem kretanja svakim korakom dolazi do spuštavanja glave nakon čega se visina glave podiže kada se čovek osloni na nogu koja je bila u vazduhu i prebaci težinu na nju.

Činjenica da su se osobe kretale prirodnom brzinom je očigledno uticala na pojavu relativno blagih pokreta ruku. U pitanju je činjenica koja je već ustanovljena u naučnoj literaturi (Tsuji, Makihara, & Yagi, 2010) i potvrđuje da se pri normalnom hodu ruke relativno malo pomeraju, za razliku od hoda većom brzinom kad se pokretima ruku održava ravnoteža.



Slika 68 Vremenska analiza ključnih tačaka po Y osi za donju polovinu tela

Vremenska analiza tačaka donje polovine tela jasno ukazuje na činjenicu da se najveća frekvencija kretanja dešava u donjoj polovini ekstremiteta. Levo i desno stopalo se kreću na usklađen način tako da kad je jedno stopalu u penjanju i spuštanju drugo je statično. Svakim korakom težina se prenosi na stopalo koje čini oslonac dok drugo stopalo čini pomeraj pored statičnog stopala kretanjem kroz vazduh. Jasno se mogu identifikovati dva puna koraka. Kada su u pitanju tačke koje označavaju skočne zglobove oni u potpunosti prate kretanje stopala sa vrlo malim odstupanjima.

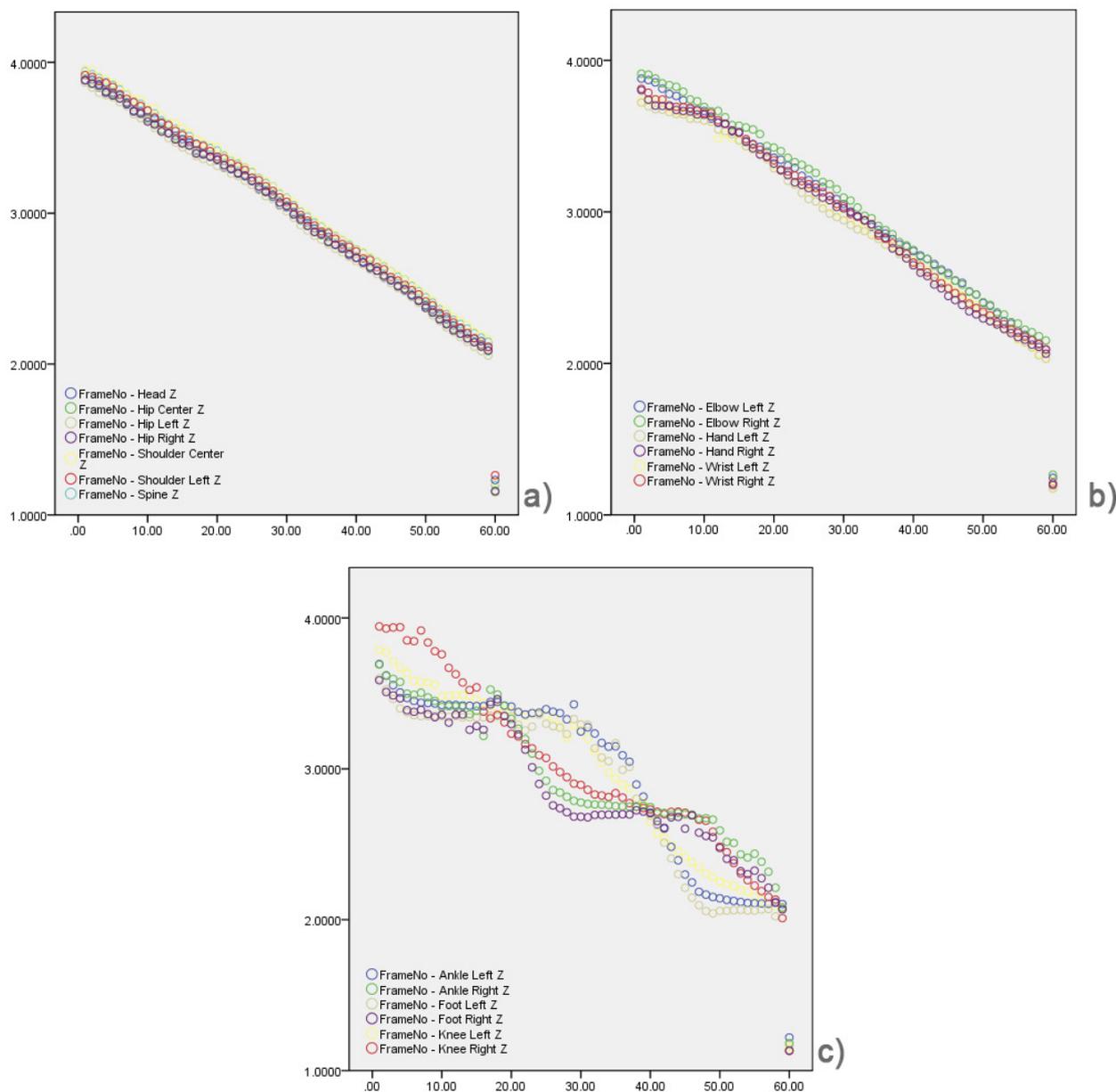
Sličan trend koji je identifikovan kod kretanja stopala se može primetiti i kod zglobova kolena. Ona deluju usklađeno i takođe se mogu detektovati periodi mirovanja jednog kolena dok drugo vrši zakorak. Jedina razlika u odnosu na stopala je u tome da statično koleno vrši izvesno kretanje u procesu naginjanja tela radi prebacivanja težine na drugu nogu u kraju koraka.

Kretanje kukova, karlice i krsta je u izvesnoj meri jednolično, bez značajnijih vertikalnih pomeraja. Može se identifikovati samo blago sinusoidno kretanje koje prati periode koraka.

Analiza kretanja ključnih tačaka po Z osi otkriva dobro poznatu činjenicu da se najizraženiji pokreti prilikom hoda dešavaju u pravcu kretanja. Ali ova činjenica se ipak može pripisati svega nekolicini tačaka na ljudskom telu koje izražavaju značajno kretanje. Veliki broj tačaka koje detektuje akvizicioni uređaj su suštinski statične u kontekstu kretanja niz Z osu.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Analiza je radi veće preglednosti grupisana u tri skupa tačaka: skup tačaka tela osobe (glava i torzo) (Slika 69a), skup tačaka gornjih ekstremiteta (Slika 69b) i skup tačaka donjih ekstremiteta (Slika 69c).



**Slika 69 Vremenska analiza ključnih tačaka po Z osi za: a) skup tačaka tela osobe (glava i torzo); b) skup tačaka gornjih ekstremiteta; c) skup tačaka donjih ekstremiteta**

Kada su u pitanju tačke koje se nalaze na torzou (Slika 69a) lako se može detektovati da je kretanje po Z osi vrlo pravilno i bez oscilacija. To znači da se te tačke prilikom hoda ne kreću napred nazad, već da prirodnom brzinom prilaze akvizicionom uređaju. Nešto drugačija slika se može videti na analizi tačaka gornjih ekstremiteta (Slika 69b). Iako je i ovde kretanje vrlo pravilno postoje vrlo slabe oscilacije koje su

rezultat pomeranja ruku napred-nazad. Vrlo je evidentno, kao i iz analize po prethodnim osama, da je kretanje ruku prilikom hoda prirodnom brzinom vrlo umereno što se i slaže sa dosadašnjim tvrdnjama iz literature (Tsuji, Makihara, & Yagi, 2010).

Najveće oscilacije u kretanju se mogu detektovati na osnovu vremenske analize donjih ekstremiteta (Slika 69c). Na grafiku se mogu jasno identifikovati 3 poluciklusa hoda. U trenutku kada je jedna noga stacionarna, druga noga se užurbano kreće u pravcu uređaja što se može detektovati naglim padom trenda na grafiku. Nakon toga osoba se oslanja na nogu, prebacuje težinu na nju i druga noga kreće u iskorak.

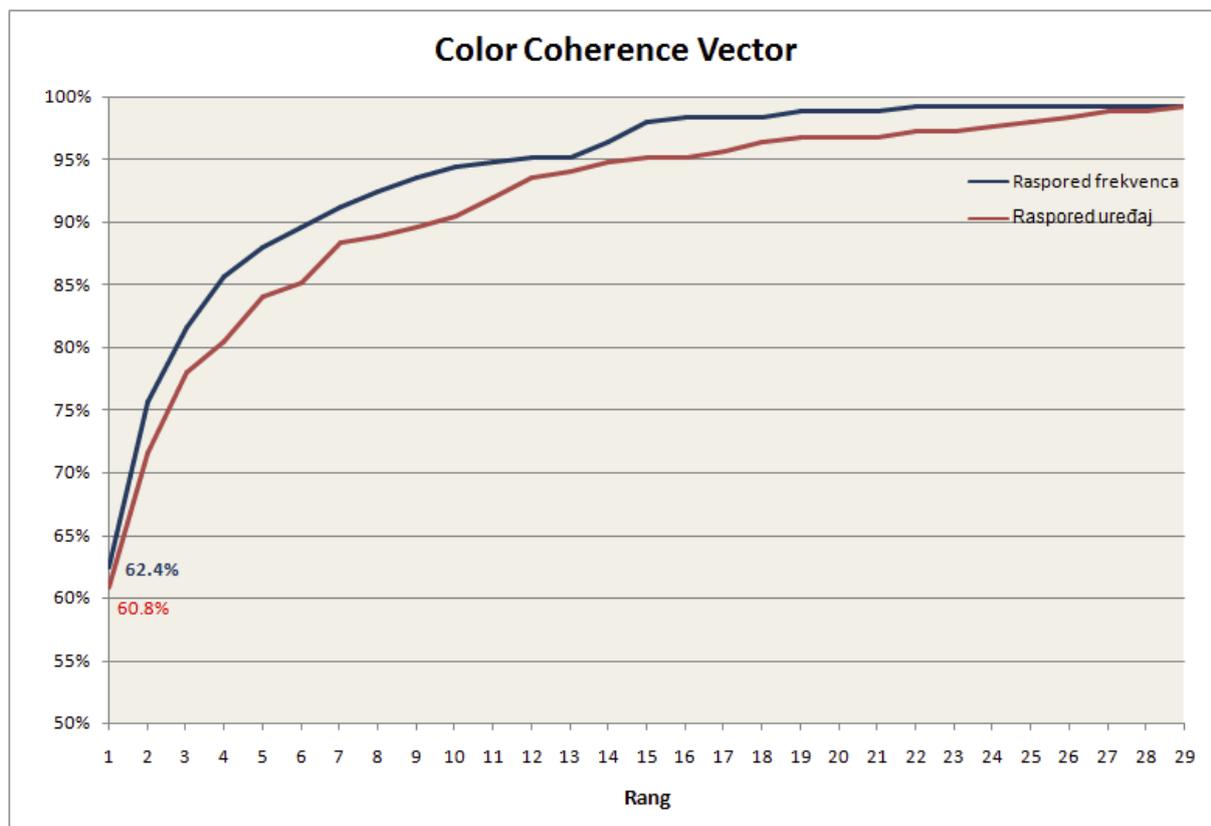
Način formiranja slike, koja je akumulacija podataka o ljudskom hodu, može u značajnoj meri uticati na performanse sistema. Raspored tačaka može uticati na formiranje određenih oblika ili tekstura. Obzirom da se od tri CBIR tehnike koje su se pokazale najuspešnijim, jedna zasniva na pronalaženju koherentnih regiona, zanimljivo bi bilo ispitati na koji način grupisanje ključnih tačaka u ovom slučaju može poboljšati performanse. Da bi prepoznavanje metodom vektora koherentnosti bilo uspešnije, slike moraju biti kreirane na takav način da se tačke sa sličnim kretanjem grupišu jedna do druge. Takođe, to kretanje treba posmatrati na takav način da se konverzijom u sliku dobijaju pikseli sličnih boja.

Na osnovu urađenih vremenskih analiza može se zaključiti da tačke koje pripadaju torzou imaju najmanje izraženo kretanje po X i Z osama. Te tačke treba grupisati ka krajevima slike, čime bi središnji deo slike bio rezervisan za tačke sa većim oscilacijama u pokretu, koje će eventualno kreirati izraženije regione. Gornji ekstremiteti imaju slabo izraženo kretanje po Z osi, sa nešto izraženijim kretanjem po Y osi. Njih treba grupisati na takav način da se kreću ka centru slike, na takav način da sličnost po Y osi odredi međusobnu udaljenost. Konačno, tačke donjih ekstremiteta će biti grupisane u središnjem delu slike na takav način da se pre svega spoje tačke leve strane tela, pa potom desne, sa respektom njihove visine po Y osi.

Da bi se ispitala ispravnost pretpostavke da redosled tačaka može uticati na preciznost u prepoznavanju kod određenih CBIR tehnika izvršen je proces kreiranja slika prema informacijama dobijenim na osnovu vremenske analize. Nakon toga primenjena je CBIR tehnika koja se zasniva na vektoru koherentnosti i dobijeni su skorovi poređenja između svih uzoraka. Prilikom izračunavanja stope identifikacije korišćena je aritmetička sredina odstojanja od svih uzoraka iste osobe, nakon čega se utvrđuje minimalno odstojanje od svih subjekata u bazi.

Dobijena CMC kriva (Slika 70) pokazuje višu stopu preciznosti u odnosu na rezultate dobijene u slučaju kada su slike formirane slučajnim principom po redosledu pristizanja sa akvizicionog uređaja. Stopa identifikacije viša je za par procenata i u ovom slučaju iznosi 62.4%. Takođe, progresija stope identifikacije po rangovima je u izvesnoj meri bolja i već na drugom rangu ovaj način kreiranja slika postiže kumulativnu stopu identifikacije od 75%.

Poboljšanje u rezultatima nije značajno iz ugla primene biometrijskog sistema, ali potvrđuje tvrdnju da se redosledom tačaka prilikom formiranja nepomičnih 2D slika može uticati na krajnju preciznost metode. Treba napomenuti da je i redosled tačaka kakav se dobija iz akvizicionog uređaja relativno pogodan za ovu metodu i u velikoj meri se poklapa sa pretpostavkama dobijenim na osnovu analize vremenskih serija. Samim tim se može opravdati relativno malo poboljšanje postignuto drugačijim redosledom tačaka.



Slika 70 CMC krive za prepoznavanje osoba na osnovu hoda primenom Vektora koherentnosti u slučaju redosleda koji se dobija sa uređaja i u slučaju redosleda dobijenog putem vremenske analize frekvenci

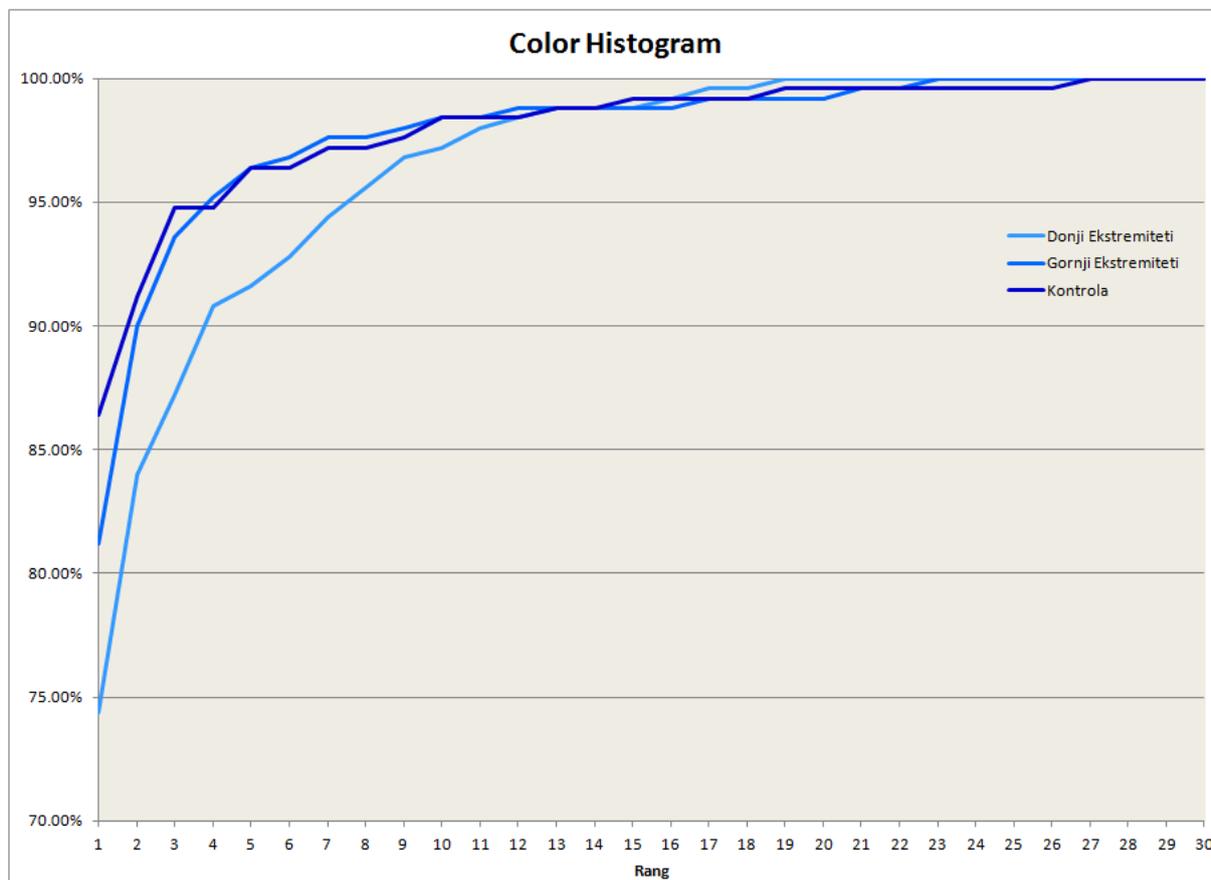
Drugi važan aspekt uticaja ključnih tačaka na performanse sistema odnosi se na pitanje da li je moguće koristiti manji skup tačaka, a pri tom održati zadovoljavajuću preciznost. Ovakav pristup bi posebno bio primenljiv u situacijama drastične okluzije kada određeni deo tela nije u vidnom polju akvizicionog uređaja.

Najčešći slučajevi okluzije uzrokuju da budu pokriveni donji ili gornji ekstremiteti ljudskog tela. Do te pojave dolazi usled široke odeće ili nosivog asesoara, samookluzije ili neke prepreke u vidnom polju uređaja. Analiza vremenskih serija je ukazala da se najveća količina pokreta po svim osama upravo može detektovati na tačkama donjih i gornjih ekstremiteta. Iz tog razloga zanimljivo je ispitati kakve će biti performanse sistema kada akumulacija u nepomičnu 2D sliku bude izvršena samo sa tačkama koje sačinjavaju ekstremitete. Takođe, obzirom da na takav način nastaju nepomične slike manje površine, vreme potrebno za obradu putem CBIR tehnika biće značajno manje.

U analizi preciznosti sa manjim skupom tačaka, biće obrađene tri najuspešnije CBIR tehnike: Histogram boja, Vektor koherentnosti boja i Korelogram boja. U analizi će biti korišćena tri skupa podataka za svaku tehniku. Prvi skup će biti sačinjen od svih ključnih tačaka koje spadaju u gornje ekstremitete. Drugi skup biće sačinjen od svih ključnih tačaka koje spadaju u donje ekstremitete. Poslednji skup biće kontrolni skup koji podrazumeva sve ključne tačke koje sliku sačinjavaju po redosledu koji određuje akvizicioni uređaj. Kontrolna grupa poslužiće kao skup za poređenje.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Prvo poređenje performansi biće urađeno korišćenjem CBIR tehnike histogram boja. Za grafičku reprezentaciju performansi sistema u odnosu na različite skupove podataka biće korišćene kumulativne krive poklapanja.



**Slika 71 CMC krive za prepoznavanje osoba na osnovu hoda zavisno od korišćenih ključnih tačaka prilikom akumulacije podataka u nepomičnu 2D sliku – Histogram boja**

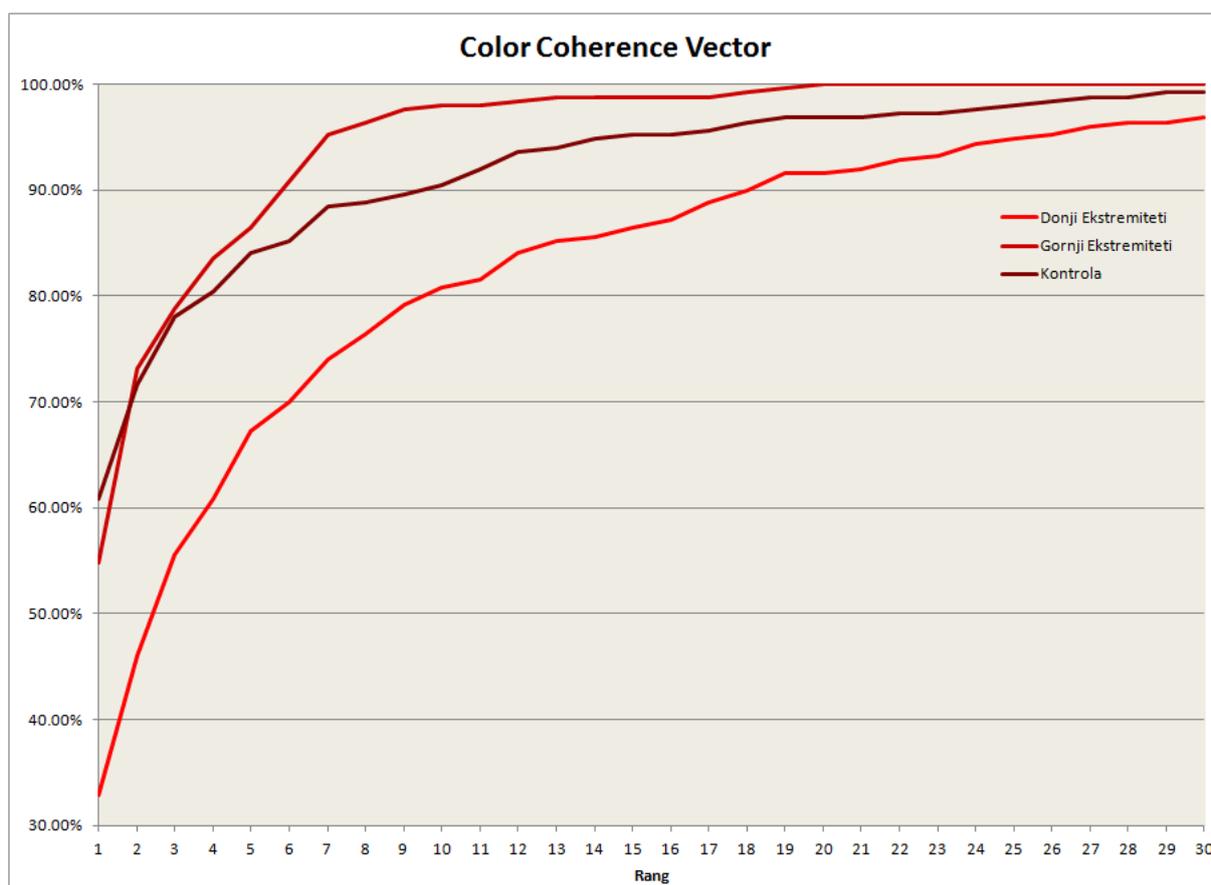
Na osnovu analize (Slika 71) može se tvrditi da smanjenje broja tačaka koje se koriste u kreiranju nepomičnih 2D slika ne utiče u kritičnoj meri na pad preciznosti sistema. Nešto veći pad performansi može se detektovati kada se koriste isključivo tačke donjih ekstremiteta. Obzirom da je kretanje donjih ekstremiteta izraženije, jednostavne metode, poput histograma boja nisu tako efikasne jer je sa većom količinom pokreta izraženija i pojava šuma.

Kada su u pitanju tačke koje sačinjavaju gornje ekstremitete, takođe, dolazi do pada performansi, ali je u ovom slučaju taj pad znatno niži. Inicijalna stopa identifikacije je niža za svega 6% dok se balans postiže već na trećem rangu odakle su trendovi rasta kumulativne stope identifikacije vrlo slični. Iako je evidentno da je bolje osloniti se na ceo skup tačaka radi postizanja visoke preciznosti, u situacijama kada tehnički uslovi ne dozvoljavaju korišćenje celog skupa potpuno je opravdano i zasnovano koristiti samo tačke gornjih ekstremiteta, pa čak i donjih, uz nešto evidentniji pad performansi.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Prilikom procesa akvizicije moguće je paralelno kreirati sve tri reprezentacije nepomičnih 2D slika, čime bi se u realnom vremenu na jednostavan način mogao izabrati skup podataka koji odgovara realnim uslovima snimanja. Ovakav postupak bi značajno smanjio osetljivost sistema na okluziju i poboljšao opšti stepen robusnosti sistema.

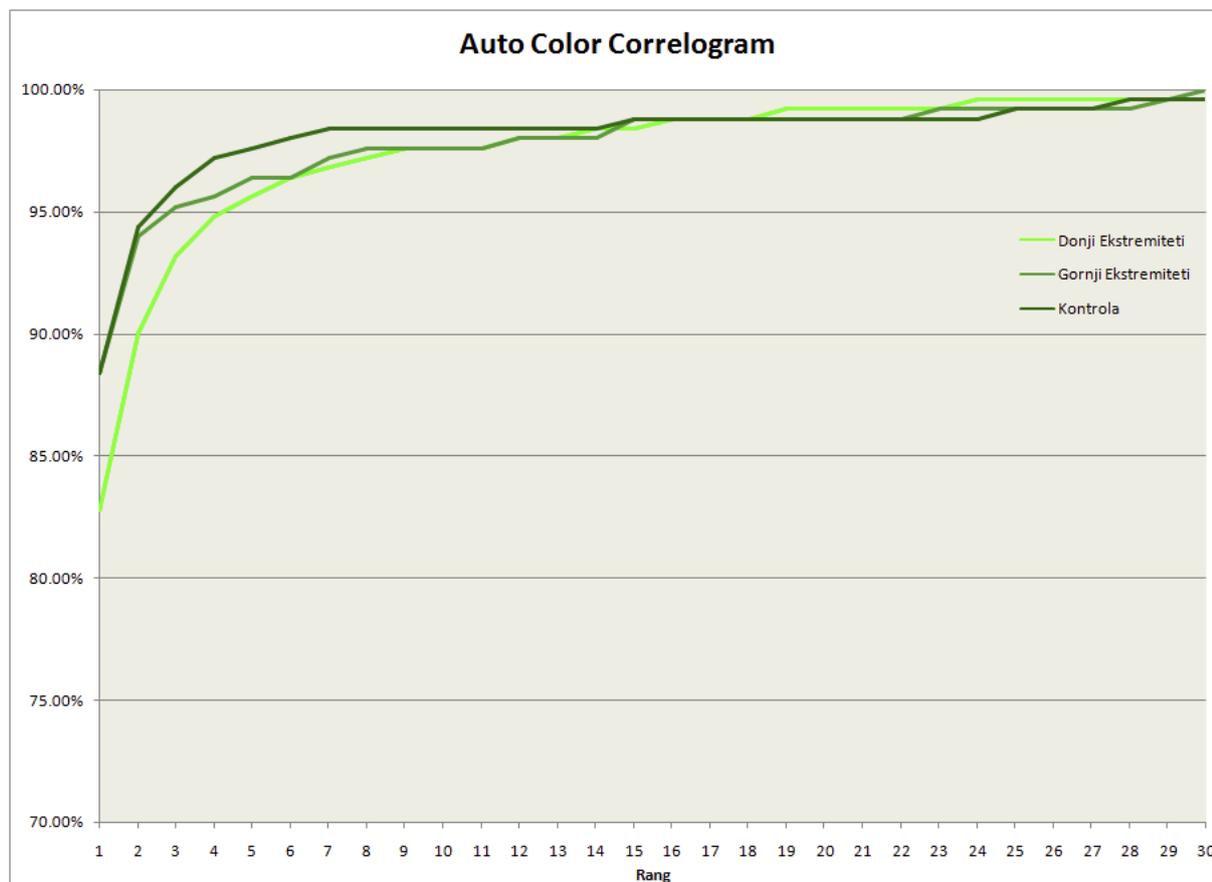
Sledeće poređenje performansi biće urađeno primenom CBIR tehnike vektora koherentnosti boja.



**Slika 72 CMC krive za prepoznavanje osoba na osnovu hoda zavisno od korišćenih ključnih tačaka prilikom akumulacije podataka u nepomičnu 2D sliku – Vektor koherentnosti boja**

Kod ove CBIR tehnike (Slika 72) može se primetiti nešto značajniji pad preciznosti kada se koriste samo donji ekstremiteti. Stopa identifikacije u tom slučaju jedva prelazi 30% i samim tim nije upotrebljiva u realnim uslovima. Situacija je značajno bolja kada se koriste ključne tačke koje pripadaju gornjim ekstremitetima. U ovom slučaju inicijalna stopa identifikacije je nešto niža u odnosu na kontrolnu grupu podataka, ali je trend rasta značajno viši. Samim tim, okolnosti su pogodne za primenu neke a posteriori metode mašinskog učenja kojima bi se pokušalo pomeranje ispravnog izbora prema prvom rangu.

Poslednja CBIR tehnika na kojoj će biti ispitana preciznost zavisno od skupa ključnih tačaka je korelogram boja. Ova metoda se do sada pokazala kao najuspešnija, pre svega zahvaljujući vrlo specifičnom vektoru karakteristika na koji se oslanja.



**Slika 73 CMC krive za prepoznavanje osoba na osnovu hoda zavisno od korišćenih ključnih tačaka prilikom akumulacije podataka u nepomičnu 2D sliku – Korelogram boja**

Kada je u pitanju korelogram boja, inicijalna stopa identifikacije (Slika 73), kada se koriste ključne tačke koje sačinjavaju gornje ekstremitete, nimalo ne zaostaje za stopom postignutom u slučaju korišćenja kompletnog skupa tačaka. Trend rasta je nešto umereniji, ali se susreću negde oko 15og ranga. Ovakvi rezultati govore u prilog činjenici da se ovakav skup može podjednako uspešno koristiti u biometrijskom sistemu.

Donji ekstremiteti daju nešto lošije performanse, mada i dalje vrlo zadovoljavajuće. Izvesan pad performansi u ovom slučaju se može pripisati većoj količini šuma koja nastaje usled izraženijih pokreta nogu. Obzirom da je ova metoda vrlo osetljiva i precizna, postojeći šum može značajno uticati na pojavu grešaka u poređenju, a naročito na pojavu lažnog poklapanja.

Na osnovu izvršenih empirijskih evaluacija može se izneti nekoliko zaključaka. Pre svega, na osnovu analize vremenskih serija se može konstatovati da delovi tela kod kojih je najizraženiji pokret prilikom hoda jesu donji ekstremiteti. Uprkos toj činjenici, na osnovu dobijenih rezultata može se tvrditi da izraženost pokreta ne mora u opštem slučaju uticati na postizanje veće preciznosti u prepoznavanju.

Na osnovu analize vremenskih serija predložen je drugačiji raspored tačaka prilikom postupka akumulacije podataka u nepomičnu 2D sliku. Novi raspored tačaka pokazao je izvesno poboljšanje preciznosti kod primene tehnike zasnovane na vektoru koherentnosti boja. Ovime je pokazano da

redosled tačaka prilikom kreiranja slike može uticati na konačnu preciznost metode zavisno od korišćene CBIR tehnike. Ukoliko određena CBIR tehnika u većoj meri zavisi od načina kako se određeni pikseli u slici grupišu, ta veza biće značajnija.

Pored rasporeda tačaka takođe je ispitana mogućnost korišćenja manjeg skupa tačaka za potrebe prepoznavanja. Korišćenje određenog podskupa tačaka bi bilo vrlo korisno u slučajevima kada nije moguće obaviti adekvatnu akviziciju kretanja tačaka pojedinih delova tela. Ovo se može desiti usled okluzije ili loših tehničkih uslova snimanja. Empirijskom evaluacijom je ispitano da li je moguće koristiti samo tačke gornjih ili donjih ekstremiteta u procesu prepoznavanja uz istovremeno zadržavanje zadovoljavajućih performansi u prepoznavanju. Eksperimenti su pokazali da za tri najuspešnije metode postoji zasnovanost za korišćenje manjeg broja tačaka, uz izvesan pad performansi. Najmanji pad performansi je zabeležen kod metode zasnovane na korelogramu boja gde je skup tačaka gornjih ekstremiteta pokazao identičnu stopu identifikacije, kao i u slučaju korišćenja celog skupa tačaka. Kada je u pitanju metoda zasnovana na vektoru koherentnosti boja, gornji ekstremiteti su čak pokazali bolji trend rasta CMC krive u odnosu na ceo skup tačaka.

Na osnovu dobijenih podataka može se zaključiti da postoji validna osnova za dalje istraživanje u pravcu pronalaženja pogodnih skupova i selekcije ključnih tačaka koje će poboljšati preciznost sistema. Takođe, istraživanje uticaja ključnih tačaka može se pokazati kao odgovor na neke od problema koji nastaju usled okluzije i tehničkih nedostataka u procesu akvizicije.

### **11.4 Uticaj različitih formata nepomičnih 2D slika na preciznost u prepoznavanju**

Primena CBIR tehnika u poslednjem koraku predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda u velikoj meri može odrediti uspešnost celokupnog postupka. Upravo iz tog razloga se ovom delu postupka posvećuje velika pažnja. U dosadašnjem radu ispitana je uspešnost različitih CBIR tehnika sa ciljem pronalaženja optimalne. Pored samog odabira CBIR tehnike, veliki uticaj na uspešnost odabrane tehnike može imati osnovni ulaz u proces. U ovom slučaju ulaz u proces predstavlja nepomična 2D slika koja predstavlja reprezentaciju akumuliranih podataka o nečijem hodu.

Izuzetno važan faktor može predstavljati upravo digitalni format nepomične 2D slike. U prethodnim empirijskim evaluacijama za potrebe kreiranja slika korišćen je standardni 24BIT bitmap format koji se formira na osnovu RGB palete boja. U ovom slučaju rezervisano je 24 bita po pikselu slike, od čega je po 8 bita rezervisano za svaku od tri boje: crvenu, plavu i zelenu. Ovaj format je izabran kao standardni, najčešće korišćeni format u operativnim sistemima. Činjenica da je ovaj standard najčešći u upotrebi ne garantuje da je takav format najpogodniji za korišćenje u predloženom postupku za prepoznavanje osoba na osnovu hoda. Optimalan format bi u ovom slučaju morao da pruži dovoljno veliki prostor za mapiranje svih ključnih informacija, a da pri tom eliminiše nastanak nepotrebnog šuma. Teoretski je izuzetno teško utvrditi koji format zadovoljava postojeće kriterijume. Na sam proces utiče veliki broj faktora. Počevši od specifičnosti CBIR tehnike, važno je da li toj tehnici odgovara veći prostor informacija ili ne. Takođe, značajan faktor je da li određena CBIR tehnika vrši redukciju informacija. Pored toga značajan uticaj može imati i činjenica da li određeni format primorava na gubitak određenih informacija koje su prikupljene akvizicijom i u kojoj meri to utiče na ukupnu preciznost.

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

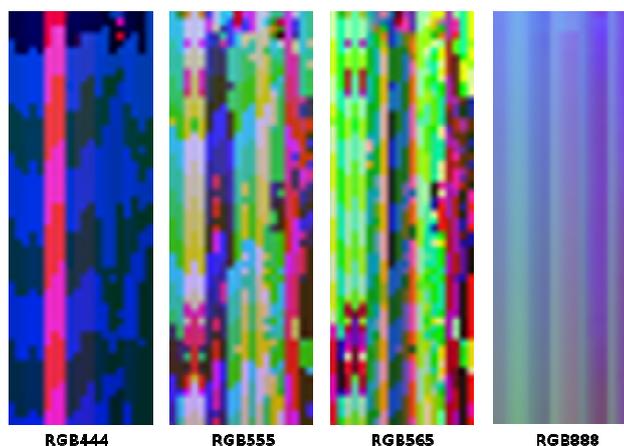
Upravo iz navedenih razloga jedini validan način da se pronađe optimalan format je empirijskim putem. Eksperimentalna procedura podrazumeva kreiranje slika korišćenjem najpoznatijih simetričnih RGB formata slika koji nude različit prostor informacija. Simetrične metode u ovom slučaju podrazumevaju korišćenje iste ili približno iste količine informacija za svaku boju. Formati koji u sebi sadrže alfa informacije nisu pogodni, obzirom da se konverzija vrši iz tri koordinate 3D prostora. Uvođenje četvrte promenljive bi zahtevalo kreiranje izvedenog faktora, koji bi u ovoj situaciji mogao nekontrolisano uticati na rezultat eksperimenta.

Za količinu informacija, prema merama akvizicionog prostora izdvajaju se formati slika koji nude 16 i 24 bita po pikselu. Formati ispod 16 bita bi izazvali preveliki gubitak informacija, dok prvi sledeći simetrični format nakon 24bitnog je 48bitni koji sigurno ne bi omogućio izvršavanje metode u realnom vremenu.

Skupovi nepomičnih 2D slika će biti kreirani korišćenjem sledećih standardnih RGB formata slika:

- **16-bitni**
  - *RGB444* – podrazumeva korišćenje 4 bita za svaku od boja iz palete sa ostavljanjem 4 prazna bita po pikselu. Po nekim tumačenjima standarda, prazni bitovi u stvari pripadaju alfa bitovima, ali postavljanjem tih bitova na vrednost 0, njihov uticaj je ravnomerno zanemaren u svim uzorcima.
  - *RGB555* – podrazumeva korišćenje 5 bita za svaku od boja iz palete, sa ostavljanjem poslednjeg bita po pikselu praznim.
  - *RGB565* – podrazumeva korišćenje 5 bita za crvenu i plavu boju, dok zelenoj boji dodeljuje 6 bitova.
- **24-bitni**
  - *RGB888* – standardni format korišćen u dosadašnjim eksperimentima koji dodeljuje 8 bita svakoj boji po pikselu.

Primenom izvedene matematičke funkcije transformacije, svi uzorci su transformisani u četiri skupa sačinjena od odgovarajućih RGB formata. Na osnovu izgleda slika (Slika 74) jasno se mogu detektovati razlike u formatima koje su uzrokovane različitom količinom boja po pikselu i različitim rasporedom bitova po pikselu.



Slika 74 Nepomične slike istog uzorka hoda transformisane u različite standardne RGB formate

## Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Da bi se dobio adekvatan uvid u uticaj formata slike na kranju preciznost sistema, odgovarajućim eksperimentom biće upoređene performanse sistema, zavisno od korišćenog formata za reprezentaciju nepomičnu 2D sliku hoda. Preciznost će biti ispitana primenom najuspešnije CBIR tehnike koja je zasnovana na histogramu, korelograma boja, kao i najuspešnije tehnike koja se zasniva na regionima boja, vektor koherentnosti boja. Kao pokazatelj preciznosti biće korišćena mera inicijalne stope identifikacije dobijene minimalnom prosečnom vrednošću unutar skupa uzoraka iste osobe.



Slika 75 Uporedna analiza preciznosti sistema zavisno od RGB formata nepomične 2D slike

Na osnovu uporedne analize postignutih stopa identifikacije, zavisno od primenjenog formata slike (Slika 75) se jasno može uočiti postojanja trenda kretanja stope identifikacije zavisno od količine korišćenih informacija u odgovarajućim formatima. Analiza je jasno pokazala da primena standardnog 24-bitnog formata koji rezerviše 8 bitova po boji za piksel nije optimalna. Prvi testirani format RGB444 je pokazao najlošije performanse bilo da je korišćena tehnika korelograma boja ili vektora koherentnosti boja. Nakon toga format RGB555 postiže za obe tehnike znatno višu stopu identifikacije koja čak premašuje stopu postignitu sa standardnim 24-bitnim formatom. Najviša stopa se postiže primenom RGB565 formata koja u slučaju vektora koherentnosti boja iznosi 81.2%, dok u slučaju korelograma boja iznosi čitavih 96.4%. Kao što je pokazano u prethodnim eksperimentima, 24-bitni format u slučaju tehnike zasnovane na vektoru koherentnosti, postiže stopu identifikacije od 60.8%, dok u slučaju tehnike zasnovane na korelogramu boja postiže 88.4%.

Na osnovu grafičke reprezentacije može se jasno identifikovati trend koji postiže ekstremum u formatu RGB565, nakon čega preciznost sistema opada. Ne može se sa sigurnošću tvrditi da dalje povećanje količine informacija nakon RGB565 formata, a prema RGB888 formatu, ne bi dovelo do daljeg

## **Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda**

---

poboljšanja preciznosti, ali se javlja problem izostanka standardnog simetričnog RGB formata koji bi zadovoljio potrebne uslove.

Rezultati jasno govore u prilog tome da povećanje količine dostupnih informacija u formatu nepomične 2D slike ne mora automatski značiti povećanje preciznosti sistema. Jasno se može zaključiti da postoji optimalna količina informacija za primenu svake CBIR tehnike. Nakon te optimalne vrednosti, može se očekivati pad preciznosti, obzirom da dolazi do rasipanja informacija i pojave šuma.

Na osnovu izvedenog eksperimenta, može se zaključiti da format nepomične 2D slike u velikoj meri utiče na uspešnost primenjene CBIR tehnike. Radi postizanja optimalnih performansi sistema potrebno je pronaći format nepomične 2D slike koji će najbolje pogodovati odabranoj CBIR tehnici.

## 12. Zaključak

Ljudski hod privlači veliko interesovanje i trenutno je jedan od najpopularnijih nadolazećih biometrijskih modaliteta. Naročito interesovanje može se primetiti u okviru akademske zajednice. Njegova specifična priroda posebno pogoduje okolnostima prismotre koja razvojem digitalnih tehnologija postaje deo svakodnevnog života. Razvoj biometrijskih sistema, koji su zasnovani na ljudskom hodu, je tek u začetku. Postoje izvesni rani uspjesi ali je evidentno da je u pitanju oblast koja ima puno prostora za nove naučne doprinose.

Osnovna ideja ovog rada je predlog novog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda koja bi uvažila nove napretke u tehnologiji interakcije čoveka i računara i ujedno uzela u obzir pogodnosti tehnologija prismotre.

Predloženi postupak se sastoji od nekoliko koraka. Za akviziciju podataka o ljudskom hodu se koristi nova tehnologija za interakciju čovek-računar: Microsoft Kinect. Korišćenjem tehnologije strukturnog osvetljenja dobija se prezentacija ljudskog tela u vidu štapne figure u prostoru i vremenu. Na osnovu ključnih tačaka štapne figure, uz pomoć predloženog matematičkog modela za transformaciju, se prikupljeni podaci akumuliraju u 2D ravan, konkretno u ravan nepomične 2D slike. Kao konačni korak u postupku, na dobijenim slikama se primenjuju generičke CBIR tehnike i vrši se prepoznavanje određene osobe.

### 12.1 Ostvareni doprinos

Rezultati istraživačkog procesa u predmetnoj oblasti, kao i rad na razvoju novog postupka, omogućili su više naučnih i stručnih doprinosa. Prvenstveno tokom istraživačkog procesa urađen je celovit pregled istraživačke oblasti prepoznavanja osoba na osnovu hoda i klasifikacija postojećih pristupa, uz njihovu kritičku analizu. Na osnovu urađene kritičke analize identifikovan je prostor za predlog nove naučne metode. Potom je uloženi napor u razvoj i realizaciju nove metode za prepoznavanje osoba na osnovu hoda.

U okviru predložene metode primenjena je nova vrsta uređaja u postupku akvizicije podataka o ljudskom hodu. Za potrebe transformacije prikupljenih podataka o hodu iz prostorno vremenskog domena u domen 2D nepomične slike razvijen je generički i specifični matematički model. Primenjen je nov pristup u kome se poznati postupci za pretragu slika na osnovu sadržaja koriste u svrhu prepoznavanja osobe na osnovu hoda.

Za potrebe evaluacije i buduće primene predloženog postupka za prepoznavanje osoba na osnovu hoda razvijeno je novo prototipsko softversko rešenje sa modulima za: proces akvizicije podataka o ljudskom hodu, transformaciju sekvenci hoda u nepomične 2D slike i poređenje 2D nepomičnih slika primenom CBIR tehnika. Empirijska provera ispravnosti postavljenog postupka ispitana je uz pomoć posebno kreirane multimedijalne baze biometrijskih podataka. Empirijskom evaluacijom predloženog postupka ispitani su različiti aspekti funkcionisanja sistema.

Inicijalno je ispitan uticaj veličine vremenskog uzorka na krajnju preciznost u prepoznavanju. Dobijeni rezultati su ukazali na postojanje takvog vremena  $t$ , nakon kog se dodavanjem novih informacija ne postiže efikasno poboljšanje preciznosti sistema. Analizom snimaka utvrđeno je da se

pronađeno vreme  $t$  poklapa sa trajanjem jednog ciklusa hoda. Ova činjenica je pokazala da upravo specifičnost ljudskog hoda utiče na sposobnost sistema da izvrši uspešno prepoznavanje osobe.

Sledećom grupom eksperimenata je ispitan uticaj primene različitih generičkih CBIR tehnika na preciznost u prepoznavanju. Kao rezultat eksperimenta izdvojene su najuspešnije CBIR tehnike i konstatovana je visoka stopa prepoznavanja i značajan potencijal za praktičnu primenu novopredloženog postupka.

Nakon toga ispitan je uticaj pojedinih delova ljudskog tela na preciznost u prepoznavanju. Prvo je primenjena analiza vremenskih serija na prikupljenim uzorcima ljudskog hoda, da bi se utvrdila priroda pokreta ključnih tačaka. Na osnovu dobijenih informacija predloženi su novi načini grupisanja tačaka prilikom formiranja nepomične 2D slike. Kao rezultat novog načina formiranja slike postignute su nešto bolje stope prepoznavanja sa pojedinim CBIR tehnikama. Pored promene načina grupisanja ispitane su mogućnosti primene postupka za prepoznavanje korišćenjem podskupa ključnih tačaka. Ovakav eksperiment pokazao bi mogućnost primene postupka sa samo određenim delovima tela u slučajevima kada su neki delovi tela nedostupni usled okluzije ili drugih tehničkih poteškoća. Analizom rezultata zaključeno je da se gornji ekstremiteti mogu vrlo uspešno koristiti sa najuspešnijim CBIR tehnikama, dok korišćenjem donjih ekstremiteta dolazi do izvesnog pada performansi koji ne isključuje uspešnu primenu metode.

Konačno, eksperimentalnim postupkom je ispitan uticaj korišćenja različitih formata nepomičnih 2D slika na konačnu preciznost sistema. Primenom specifičnih modela transformacije kreirani su skupovi slika prema standardnim 16bitnim i 24bitnim formatima i potom su izmerene performanse sistema za najuspešnije CBIR tehnike. Kao rezultat pronađen je optimalni format nepomične 2D slike kod koga se najuspešnijom CBIR tehnikom postiže stopa prepoznavanja od približno 96%.

Na osnovu empirijske evaluacije predloženog postupka može se zaključiti da postupak ima puno potencijala, da ima osnovu za primenu u praksi i da postiže zadovoljavajuće stope prepoznavanja.

## 12.2 Mogućnosti primene

Uspešnost biometrijskog sistema se, pre svega, ogleda u njegovoj praktičnoj primeni. Ocena kvaliteta u velikoj meri zavisi od upotrebljivosti u realnim situacijama.

Predloženi sistem za prepoznavanje osoba na osnovu hoda posebno pogoduje velikom broju realnih situacija. Činjenica da se u osnovi oslanja na Fronto Normalni ugao snimanja, kvalifikuje ga za primenu u svim situacijama kada se osoba kreće u pravcu nekog objekta. Tipičan primer takve situacije je prolazak kroz sigurnosni terminal na aerodromima. U ovom slučaju Microsoft Kinect uređaj bi mogao biti postavljen na prolaznu kapiju i pokriva bi prostor prilaska putnika terminalu. Na takav način bi sistem na osnovu hoda tokom prilaska osobe već mogao imati dosta pouzdanu sliku o identitetu te osobe, nakon čega bi se identitet mogao potvrditi proverom lica na osnovu biometrijskog pasoša. Ovakav postupak bi značajno povećao opštu sigurnost sistema.

Poseban način akvizicije posebno pogoduje i situacijama kada se osoba kreće prema nekom objektu, što je slučaj kada postoje prilazni hodnici prema određenim prostorijama. Ovakva postavka se može primeniti u vojnim i bezbednosnim ustanovama, kao i u kompanijama i istraživačkim organizacijama, kada je pristup određenim prostorijama nadgledan.

Kao dodatni vid zaštite ovakav sistem bi mogao poslužiti u situacijama kada osoba pristupa nekom bankovnom uređaju za podizanje novca. U ovom slučaju bi sistem na osnovu hoda mogao proveriti da li je osoba koja pokušava da podigne novac zaista i vlasnik kartice. Ovakvim postupkom bi se sprečilo neovlašćeno podizanje novca u slučaju kada prekršilac na neki način maskira osnovne karakteristike lica naočarima za sunce, lažnom bradom ili nekom maskom.

Činjenica da je orijentacija snimanja i specifičnost akvizicione tehnologije takva da postoji mogućnost istovremenog praćenja više osoba, otvara mogućnost primene u situacijama kad postoji visoka frekvencija ljudi, kao što je na raznim kulturnim i sportskim dešavanjima.

### 12.3 Mogući dalji pravci istraživanja

Predloženi postupak za prepoznavanje osoba na osnovu hoda je pokazao visoke performanse u razvojnom okruženju, kao i dobar potencijal za praktičnu primenu. Uprkos inicijalnim dobrim rezultatima postoji puno mesta da se sistem unapredi, kako u postizanju još boljih performansi, tako i u dodavanju novih funkcionalnosti.

Prvenstveno, potrebno je funkcionalnost metode prilagoditi primeni u realnim uslovima. U realnim uslovima vrlo je teško kontrolisati pravac kretanja subjekta i vrlo retko će prostorni uslovi biti takvi da u potpunosti pogoduju predloženom postupku. Prvi sledeći napor treba uložiti u pravcu podizanja stepena robustnosti sistema u odnosu na pravac kretanja osobe. Potrebno je pronaći adekvatan način prilagođavanja specifičnom kretanju osobe u akvizicionom prostoru. Pod ovim se podrazumeva kretanje pod različitim uglovima u odnosu na akvizicioni uređaj, kao i kretanje izvan pravca snimanja uređaja. Rešenje ovog problema treba tražiti u tehnikama transformacije kretanja u željenu ravan uz pomoć matematičkog preprocesiranja.

Značajan uticaj na uspešnost metode ima i brzina i tempo kretanja osobe. Promena u brzini kretanja može značajno uticati na krajnje performanse metode. Upravo iz tog razloga potrebno je posvetiti izvesnu pažnju rešavanju ovog problema. Neke od tehnika koje se mogu iskoristiti u tu svrhu su tehnike normalizacije brzine kretanja. Obzirom da je specifičnošću akvizicione tehnologije poznat prostor za snimanje, ovakav pristup bi mogao dati zadovoljavajuće rezultate.

Za potrebe daljeg ispitivanja i poboljšavanje predloženog postupka potrebno je kreirati novu multimedijalnu biometrijsku bazu podataka koja će obuhvatati znatno veći broj korisnika. Takođe, osnovni nedostatak postojeće baze podataka se ogleda u činjenici da je korišćen samo jedan ugao snimanja. Za opširnije i realnije testiranje postupka potrebno je razviti bazu podataka koja će uključiti sledeće faktore:

- promenljiv ugao i pravac kretanja,
- promenljiva brzina kretanja,
- promene u odeći i obući,
- promene u nosivom asesoaru,
- promenljivo okruženje snimanja (zatvoren i otvoren prostor).

Konačno, potrebno je uložiti napor u dalji razvoj prototipskog softverskog rešenja radi postizanja produkcionog stepena upotrebe. Dalji razvoj je potreban na obezbeđivanju interoperabilnosti zasebnih

## **Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda**

---

softverskih modula. Komunikacija između delova sistema, obzirom na prirodu podataka, mora biti ujedno i sigurna i efikasna. Potrebno je obezbediti visoke performanse sistema što podrazumeva pre svega, podizanje stepena odziva sistema. Na kraju, potrebno je posebnu pažnju posvetiti principima upotrebljivosti i obezbediti jednostavno i prijatno korišćenje biometrijskog sistema.

## Literatura

- Aggarwal, J. K., & Cai, Q. (1999). Human motion analysis: a review. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 73 (3), 428–440.
- Ahad, M. A., Tan, J. K., Kim, H., & Ishikawa, S. (2012). Motion history image: its variants and applications. *Machine Vision and Applications*, 23 (2), 255-281.
- Aihara, S. (2011, 01 05). *pyccv 0.07*. Retrieved 07 06, 2011, from Python Programming Language – Official Website: <http://pypi.python.org/pypi/pyccv>
- Andriluka, M., Roth, S., & Schiele, B. (2010). Monocular 3D pose estimation and tracking by detection. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 623-630). San Francisco, CA: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Aqmar, M. R., Shinoda, K., & Furui, S. (2010). Robust Gait Recognition Against Speed Variation. *Proceedings of the 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR '10)* (pp. 2190-2193). Istanbul, Turkey: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Aristidou, A., Cameron, J., & Lasenby, J. (2008). Real-Time Estimation of Missing Markers in Human Motion Capture. *The 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE 2008)* (pp. 1343-1346). Shanghai, China: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Baltazar, A., Guedes, C., Pennycook, B., & Gouyon, F. (2010). A Real-time Human Body Skeletonization Algorithm for Max/MSP/Jitter. *Proceedings of the 2010 International Computer Music Conference* (pp. 96-99). New York City, NY: ICMA, San Francisco, CA.
- Barnich, O., & Van Droogenbroeck, M. (2009). Frontal-view gait recognition by intra- and inter-frame rectangle size distribution. *Pattern Recognition Letters*, 30 (10), 893-901.
- Belhumeur, P. N., Hespanha, J. P., & Kriegman, D. J. (1997). Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19 (7), 711-720.
- BenAbdelkader, C., Cutler, R., & Davis, L. S. (2002). View-invariant Estimation of Height and Stride for Gait Recognition. *Proceedings of the International ECCV 2002 Workshop Copenhagen on Biometric Authentication (ECCV '02)* (pp. 155-167). Copenhagen: Springer-Verlag, London, UK.
- Bharatkumar, A. G., Daigle, K. E., Pandey, M. G., Cai, Q., & Aggarwal, J. K. (1994). Lower limb kinematics of human walking with the medial axis transformation. *Proceedings of the 1994 IEEE Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects* (pp. 70-76). Austin, Texas: IEEE Computer Society. Technical Committee on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- Blagdon, J. (2011, 12 23). *Japanese biometrics engineer wants us to sit to authenticate*. Retrieved 03 12, 2012, from The Verge: <http://www.theverge.com/2011/12/23/2657191/biometrics-seat-pressure-authentication>

- Bobick, A. F., & Davis, J. W. (2001). The Representation and Recognition of Human Movement Using Temporal Templates. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23 (3), 257-267.
- Bonato, P. (2003). Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 22 (3), 18-20.
- Boulgouris, N. V., & Chi, Z. X. (2007). Human gait recognition based on matching of body components. *Pattern Recognition*, 40 (6), 1763-1770.
- Boyd, J. E., & Little, J. J. (2005). Biometric Gait Recognition. In M. Tistarelli, J. Bigun, & E. Grosso, *Advanced Studies in Biometrics* (pp. 15-26). Berlin: Springer Berlin / Heidelberg.
- Boyd, J. E., & Little, J. J. (1998). Shape of Motion and the Perception of Human Gaits. *1998 IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Santa Barbara, CA: IEEE Computer Society.
- Bregler, C., & Malik, J. (1998). Tracking people with twists and exponential maps. *1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 8-15). Santa Barbara, CA: IEEE Computer Society, Washington, D.C.
- Chatzichristofis, S. A., & Boutalis, Y. S. (2008a). CEDD: color and edge directivity descriptor: a compact descriptor for image indexing and retrieval. *Proceedings of the 6th international conference on Computer vision systems (ICVS'08)* (pp. 312-322). Santorini, Greece: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Chatzichristofis, S. A., & Boutalis, Y. S. (2008). FCTH: Fuzzy Color and Texture Histogram - A Low Level Feature for Accurate Image Retrieval. *Proceedings of the 2008 Ninth International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services (WIAMIS '08)* (pp. 191-196). Klagenfurt, Austria: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Chen, C., & Schonfeld, D. (2010). Pose estimation from multiple cameras based on Sylvester's equation. *Computer Vision and Image Understanding*, 114 (6), 652-666.
- Chen, C., Liang, J., Zhao, H., & Tian, J. (2009). Frame difference energy image for gait recognition with incomplete silhouettes. *Pattern Recognition Letters*, 30 (11), 977-984.
- Chen, Z., & Lee, H.-J. (1992). Knowledge-Guided Visual Perception of 3-D Human Gait from Single Image Sequence. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 22 (2), 336-342.
- Chew-Yean, Y., & Nixon, M. S. (2009). Gait Recognition, Model-Based. In S. Z. Li, & A. K. Jain, *Encyclopedia of biometrics* (pp. 1082-1088). New York, NY: Science+Business Media, LLC.
- Chowdhury, A. K., Kale, A., & Chellappa, R. (2003). Video synthesis of arbitrary views for approximately planar scenes. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (ICASSP '03)* (pp. 497-500). Hong Kong, Hong Kong: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Constant, M., & Ridgeon, P. (2000). *The Principles and Practice of CCTV*. London: Miller Freeman UK.
- Cutting, J. E. (1978). A program to generate synthetic walkers as dynamic point-light displays. *Behaviour Research*, 10 (1), 191-94.
- Cutting, J. E., & Kozlowski, L. T. (1977). Recognizing Friends By Their Walk: Gait Perception Without Familiarity Cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353-356.

- Cutting, J. E., & Proffitt, D. R. (1981). Gait Perception as an example of how we may perceive events. In R. W. Pick, *Intersensory Perception and Sensory Integration* (pp. 249-273). New York and London: Plenum.
- Cutting, J. E., Proffitt, D. R., & Kozlowski, L. T. (1978). A Biomechanical Invariant for Gait Perception. *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4 (3), 353-372.
- Datta, R., Joshi, D., Li, J., & James, W. Z. (2008). Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 40 (2), Article 5.
- Dockstader, S. L. (2003). Occlusion-adaptive fusion for gait-based motion recognition. *Proceedings of the Sixth International Conference of Information Fusion* (pp. 283-290). Cairns, Queensland, Australia: International Society of Information Fusion.
- Eakins, J., & Graham, M. (1999). *Content-based Image Retrieval*. Manchester, UK: JISC Technology Applications Programme.
- Elgammal, A. M., Harwood, D., & Davis, L. S. (2000). Non-parametric Model for Background Subtraction. In D. Vernon (Ed.), *Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision-Part II (ECCV '00)* (pp. 751-767). Dublin, Ireland: Springer-Verlag, London, UK.
- Engina, M., Demirelb, A., & Zeki, E. (2005). Recent developments and trends in biomedical sensors. *Measurement*, 37 (2), 173-188.
- Fujiyoshi, H., & Lipton, A. J. (1998). Real-time Human Motion Analysis by Image Skeletonization. *Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'98)* (pp. 15-21). Princeton, New Jersey: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Gafurov, D. (2007). A Survey of Biometric Gait Recognition: Approaches, Security and Challenges. *Norwegian Symposium on Informatics 2007 (NIK 2007)* (pp. 119-132). Oslo, Norway: Curran Associates, Inc.
- Gavrila, D. M., & Davis, L. S. (1996). Tracking of humans in action: a 3-D model-based approach. *ARPA Image Understanding Workshop*, (pp. 737-746). Palm Springs.
- Goffredo, M., Carter, J. N., & Nixon, M. S. (2008). Front-view Gait Recognition. *IEEE Second International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS 08)* (pp. 1-6). Crystal City, Va: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Guan, Y., Li, C.-T., & Hu, Y. (2012). Robust Clothing-Invariant Gait Recognition. *Proceedings of the 2012 Eighth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP '12)* (pp. 321-324). Athens, Greece: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Han, J., & Bhanu, B. (2006). Individual Recognition Using Gait Energy Image. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28 (2), 316-322.
- Hiremath, P. S., & Pujari, J. (2007). Content Based Image Retrieval based on Color, Texture and Shape features using Image and its complement. *International Conference on Advanced Computing and Communications, 2007. ADCOM 2007.* (pp. 780-784). Guwahati, India: IEEE Computer Society, Washington, DC.

- Hofmann, M., Bachmann, S., & Rigoll, G. (2012). 2.5D Gait Biometrics using the Depth Gradient Histogram Energy Image. *IEEE Fifth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS 2012)* (p. xx). Washington, DC: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Hogg, D. (1983). Model based vision: a program to see a walking person. *Image and Vision Computing*, 1 (1), 5-20.
- Hossain, M. A., Makihara, Y., Wang, J., & Yagi, Y. (2010). Clothing-invariant gait identification using part-based clothing categorization and adaptive weight control. *Pattern Recognition*, 43 (6), 2281-2291.
- Howe, N. R., Leventon, M. E., & Freeman, W. T. (2000). Bayesian Reconstruction of 3D Human Motion from Single-Camera Video. In S. A. Solla, T. K. Leen, & K.-R. Mülle, *Advances in Neural Information Processing Systems 12* (pp. 820-826). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hu, M., Wang, Y., Zhang, Z., & Wang, Y. (2010). Combining Spatial and Temporal Information for Gait Based Gender Classification. *Proceedings of the 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR '10)* (pp. 3679-3682). Istanbul, Turkey: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Hu, W., Hu, M., Zhou, X., Tan, T., Lou, J., & Maybank, S. (2006). Principal Axis-Based Correspondence between Multiple Cameras for People Tracking. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28 (4), 663-671.
- Huang, J., Kumar, S. R., Mitra, M., Zhu, W.-J., & Zabih, R. (1997). Image Indexing Using Color Correlograms. *Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97)* (pp. 762-768). San Juan, Puerto Rico: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Iwasawa, S., Kazuyuki, E., Ohya, J., & Morishima, S. (1997). Real-Time Estimation of Human Body Posture from Monocular Thermal Images. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)* (pp. 15-20). Puerto Rico: IEEE Computer Society, Washington D.C.
- Jain, A. K., Bolle, R., & Pankanti, S. (1999). *Biometrics: Personal Identification*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Jain, A. K., Dass, S. C., & Nandaku, K. (2004). Soft Biometric Traits for Personal Recognition Systems. *Proceedings of International Conference on Biometric Authentication. LNCS 3072*, pp. 731-738. Hong Kong: Springer Verlag.
- Jain, A. K., Flynn, P., & Ross, A. A. (2010). *Handbook of Biometrics (1st ed.)*. New York, NY: Springer Publishing Company, Incorporated.
- Jain, A. K., Prabhakar, S., & Sharath, P. (2002). On the similarity of identical twin fingerprints. *Pattern Recognition*, 35 (11), 2653-2663.
- Jain, A., Nandakumar, K., & Ros, A. (2005). Score normalization in multimodal biometric systems. *Pattern Recognition*, 38 (12), 2270-2285.
- Jalal, A., Behzad, M., & Fariba, B. (2009). Modeling gait using CPG (central pattern generator) and neural network. *Proceedings of the 2009 joint COST 2101 and 2102 international conference on Biometric ID management and multimodal communication (BioID\_MultiComm'09)* (pp. 130-137). Madrid, Spain: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Jang-Hee, Y., Doosung, H., Ki-Young, M., & Nixon, M. S. (2008). Automated Human Recognition by Gait using Neural Network. *First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications, IPTA 2008*. (pp. 1-6). Sousse: IEEE Society Publishing.
- Jean, F., Branzan, A., & Bergevin, R. (2009). Towards view-invariant gait modeling: Computing view-normalized body part trajectories. *Pattern Recognition*, 42 (11), 2936-2949.
- Jeges, E., Kispal, I., & Hornak, Z. (2008). Measuring human height using calibrated cameras. *2008 Conference on Human System Interactions* (pp. 755-760). Krakow, Poland: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Jia, Z., Amselag, L., & Gros, P. (2008). Content-based image retrieval from a large image database. *Pattern Recognition*, 41 (5), 1479-1495.
- Johansson, G. (1973). Visual Perception of Biological Motion and a Model for its Analysis. *Perception & Psychophysics*, 14 (2), 201-211.
- Ju, S. X., Black, M. J., & Yacoob, Y. (1996). Cardboard people: a parameterized model of articulated image motion. *Proceedings of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG'96)* (pp. 38-44). Killington, Vermont USA: IEEE Computer Society, Washington D.C.
- Kakadiaris, I. A., & Metaxas, D. (1996). Model-Based Estimation of 3D Human Motion with Occlusion Based on Active Multi-Viewpoint Selection. *Proceedings of the 1996 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '96)* (pp. 81-87). San Francisco, CA: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Kale, A. A., Naresh, C., & Krüger, V. (2002). Gait-Based Recognition of Humans Using Continuous HMMs. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR '02)* (pp. 336-341). Washington, DC: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Kale, A., Roy Chowdhury, A. K., & Chellappa, R. (2003). Towards a View Invariant Gait Recognition Algorithm. *Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '03)* (pp. 143-150). Miami, USA: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Kale, A., Sundaresan, A., Rajagopalan, A. N., Cuntoor, N. P., Roy-Chowdhury, A. K., Krüger, V., et al. (2004). Identification of Humans Using Gait. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, 1163-1173.
- Kent, S., & Millet, L. (2003). *Who Goes There? Authentication Technologies through the Lens of Privacy*. Washington, D.C: National Academy Press.
- Kim, D.-J., Pradhan, G., & Prabhakaran, B. (2009). Analyzing coordination of upper and lower extremities in human gait. *Proceedings of the Fourth International Conference on Body Area Networks (BodyNets '09)* (pp. Article 3, 7 pages). Brussels, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Kittler, J., Hatef, M., Duin, R. P., & Matas, J. (1998). On Combining Classifiers. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20 (3), 226-239.
- Kobayashi, T., & Otsu, N. (2009). Three-way auto-correlation approach to motion recognition. *Pattern Recognition Letters*, 30 (3), 212-221.

- Kroo, I. (2010). *The Airline Industry*. Retrieved 2011 йил 25-October from Aeronautics and Astronautics Department of Stanford University: <http://adg.stanford.edu/aa241/intro/airlineindustry.html>
- Kusakunniran, W., Wu, Q., Zhang, J., & Li, H. (2012). Gait Recognition Across Various Walking Speeds Using Higher Order Shape Configuration Based on a Differential Composition Model. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics* , 1-15.
- Kusakunniran, W., Wu, Q., Zhang, J., & Li, H. (2010). Multi-view Gait Recognition Based on Motion Regression Using Multilayer Perceptron. *Proceedings of the 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR '10)* (pp. 2186-2189). Istanbul, Turkey: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception* , 5 (4), 437-59.
- Lee, H., Hong, S., & Kim, E. (2009). An efficient gait recognition with backpack removal. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* , Article 46.
- Lee, H.-J., & Chen, Z. (1985). Determination of 3D human body postures from a single view. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* , 148-168.
- Lee, L., & Grimson, W. E. (2002). Gait Analysis for Recognition and Classification. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR '02)* (pp. 148-155). Washington, DC: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Lee, S., Liu, Y., & Collins, R. (2007). Shape Variation-Based Frieze Pattern for Robust Gait Recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR '07*. (pp. 1-8). Minneapolis, Minnesota: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Lee, T. K., Belkhatir, M., & Sanei, S. (2009). On the Compensation for the Effects of Occlusion in Fronto-normal Gait Signal Processing. *Proceedings of the 2009 11th IEEE International Symposium on Multimedia (ISM '09)* (pp. 165-170). San Diego, California, USA: IEEE Computer Society, Washington, DC, USA.
- Lee, T. K., Belkhatir, M., Lee, P. A., & Sanei, S. (2008). Fronto-normal gait incorporating accurate practical looming compensation. *19th International Conference on Pattern Recognition ICPR 2008*. (pp. 1-4). Tampa, Florida: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Leung, M. K., & Yang, Y.-H. (1995). First Sight: A Human Body Outline Labeling System. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* , 17 (4), 359-377.
- Leventon, M. E., & Freeman, W. T. (1998). *Bayesian estimation of 3d human motion*. Cambridge, MA: MERL - A Mitsubishi Electric Research Laboratory.
- Lew, M. S., Sebe, N., Djeraba, C., & Jain, R. (2006). Content-based multimedia information retrieval: State of the art and challenges. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP)* , 2 (1), 1-19.
- Li, S. Z. (2009). *Encyclopedia of Biometrics (1st ed.)*. New York, NY: Springer Publishing Company, Incorporated.

- Li, Y., & Sun, Z. (2009). Vision-based human pose estimation for pervasive computing. *Proceedings of the 2009 workshop on Ambient media computing (AMC '09)* (pp. 49-56). Beijing, China: ACM, New York, NY.
- Liu, G., & McMillan, L. (2006). Estimation of missing markers in human motion capture. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*, 22 (9), 721-728.
- Liu, J., & Zheng, N. (2007). Gait History Image: A Novel Temporal Template for Gait Recognition. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2007* (pp. 663-666). Beijing, China: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Liu, J., Zheng, N., & Xiong, L. (2009). Silhouette quality quantification for gait sequence analysis and recognition. *Signal Processing*, 89 (7), 1417-1427.
- Liu, L.-F., Jia, W., & Zhu, Y.-H. (2009). Survey of gait recognition. In K.-H. J.-H.-J. De-Shuang Huang (Ed.), *Proceedings of the Intelligent computing 5th international conference on Emerging intelligent computing technology and applications (ICIC'09)* (pp. 652-659). Ulsan, South Korea: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Lu, J., & Zhang, E. (2007). Gait recognition for human identification based on ICA and fuzzy SVM through multiple views fusion. *Pattern Recognition Letters*, 28 (16), 2401-2411.
- Ma, Q., Wang, S., Nie, D., & Qiu, J. (2007). Recognizing Humans Based on Gait Moment Image. *Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2007)* (pp. 606-610). Qingdao, China: ACIS.
- Makihara, Y., Sagawa, R., Mukaiga, Y., Echigo, T., & Yagi, Y. (2006). Which Reference View is Effective for Gait Identification Using a View Transformation Model? *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'06)* (p. 45). New York, NY: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Marr, D., & Nishihara, K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 200, 269-294.
- Marylend, U. o. (2001, 01 01). *University of Maryland Website*. Retrieved 12 05, 2012, from Human Identification at a Distance: <http://www.umiacs.umd.edu/labs/pirl/hid/data.html>
- Mathias, L., & Chatzichristofis, S. A. (2008). Lire: Lucene Image Retrieval – An Extensible Java CBIR Library. *Proceedings of the 16th ACM International Conference on Multimedia* (pp. 1085-1088). Vancouver, Canada: ACM New York, NY, USA.
- Metaxas, D. N., & Terzopoulos, D. (1993). Shape and nonrigid motion estimation through physics-based synthesis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15 (6), 580-591.
- Microsoft Corporation. (2012). *Human interface guidelines - Kinect for Windows v1.5.0*. Redmond, Washington: Microsoft Corporation.
- Minagawa, H., Fujimura, T., Ichianagi, M., & Tanaka, K. (2002). Identification of beef cattle by analyzing images of their muzzle patterns lifted on paper. In M. Fangquan (Ed.), *Third Asian Conference for Information Technology in Agriculture* (pp. 596-600). Beijing, China: AFITA.

- Mjaaland, B. B., Bours, P., & Gligoroski, D. (2010). Walk the walk: attacking gait biometrics by imitation. In M. Burmester, G. Tsudik, S. Magliveras, & I. Ilic (Ed.), *13th Int. Conf. on Information security (ISC'10)* (pp. 361-380). Boca Raton, Florida: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Moëllic, P.-a., Hède, P., & Grefenstette, G. (2005). Evaluating content based image retrieval techniques with the one million images clic testbed. *Proceedings of the Second World Enformatika Congress, WEC'05* (pp. 171-174). Istanbul, Turkey: CDR0M. Enformatika, Çanakkale.
- Moeslund, T. B., & Granum, E. (2000). 3D Human Pose Estimation using 2D-Data and an Alternative Phase Space Representation. *IEEE Workshop on Human Modeling, Analysis and Synthesis at CVPR 00* (pp. 26-33). Hilton Head Island, South: IEEE Computer Society, Washington, D.C.
- Momeni-K, M., Diamantas, S. C., Ruggiero, F., & Siciliano, B. (2012). Height Estimation from a Single Camera View. *International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2012)* (pp. 358-364). Rome, Italy: VISIGRAPP.
- Morris, D. D., & Rehg, J. M. (1998). Singularity Analysis for Articulated Object Tracking. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '98)* (pp. 289-296). Santa Barbara, CA: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Muybridge, E. (1901). *The Human Figure In Motion*. New York, NY: Dover Publications.
- Ning, H. (2002). Articulated Model Based People Tracking Using Motion Models. *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI '02)* (pp. 383-389). Pittsburgh, PA, USA: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Ning, H., Wang, L., Hu, W., & Tan, T. (2002). Model-based tracking of human walking in monocular image sequences. *Image And Vision Computing* , 22, 537-540.
- Nixon, M. S., & John, C. N. (2004). Advances in automatic gait recognition. *Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition* (pp. 139-144). Southampton, UK: IEEE Computer Society Washington, DC.
- Niyogi, S., & Adelson, E. (1994). Analyzing and recognizing walking figures in XYT. *Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition* , (pp. 474-496). Seattle, WA, USA: IEEE Computer Society, Washington, D.C.
- Novak, C. L., & Shafer, S. A. (1992). Anatomy of a Color Histogram. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 599--605). Champaign, IL: IEEE Computer Society Press, U.S.
- NSTC. (2006, 09 14). *Cumulative Match Characteristic (CMC) nad Receiver Operating Characteristic (ROC)*. Retrieved 11 10, 2011, from Biometrics Glossary: <http://www.biometrics.gov/documents/glossary.pdf>
- O'Rourke, J., & Badler, N. (1979). Decomposition of three-dimensional objects into spheres. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* , 1 (3), 295-305.
- O'Rourke, J., & Badler, N. (1980). Model-based image analysis of human motion using constraint propagation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* , 2 (6), 522-536.

- Pass, G., & Zabih, R. (1996). Histogram refinement for content-based image retrieval. *Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '96)* (pp. 96-102). Sarasota, Florida: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Pass, G., Zabih, R., & Miller, J. (1996). Comparing images using color coherence vectors. *In Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia (MULTIMEDIA '96)* (pp. 65-73). Boston, MA: ACM, New York, NY, USA.
- Phillips, P. J., Grother, P., Sarkar, S., Robledo, I., & Bowyer, K. (2002). Baseline Results for the Challenge Problem of Human ID Using Gait Analysis. *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR '02)* (pp. 137-142). Washington, D.C.: IEEE Computer Society, Washington, D.C.
- Pratheepan, Y., Condell, J. V., & Prasad, G. (2009). The Use of Dynamic and Static Characteristics of Gait for Individual Identification. *Proceedings of the 2009 13th International Machine Vision and Image Processing Conference (IMVIP '09)* (pp. 111-116). Dublin, Ireland: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Revett, K. (2008). *Behavioral Biometrics: A Remote Access Approach (1st ed.)*. West Sussex, UK: Wiley Publishing.
- Rodwell, P. M., Furnell, S., & Reynolds, P. (2007). A non-intrusive biometric authentication mechanism utilising physiological characteristics of the human head. *Computers & Security*, 26 (7-8), 468–478.
- Rohr, K. (1994). Towards model-based recognition of human movements in image sequences. *CVGIP: Image Understanding*, 59 (1), 94-115.
- Rose, J., & Gamble, J. G. (2005). *Human Walking, 3rd ed.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ross, A. A., Nandakumar, K., & Jain, A. K. (2011). *Handbook of Multibiometrics (1st ed.)*. New York, NY: Springer Publishing Company, Incorporated.
- Saboune, J., Rose, C., & Charpillet, F. (2007). Factored Interval Particle Filtering for Gait Analysis. *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2007* (pp. 3232-3235). Lyon, France: IEEE Communications Society, Washington, D.C.
- Santoso Lie, A., Shimomoto, R., Sakaguchi, S., Ishimura, T., Enokida, S., Wada, T., et al. (2005). Gait recognition using spectral features of foot motion. In T. Kanade, A. Jain, & K. N. Ratha (Ed.), *Proceedings of the 5th international conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA'05)* (pp. 767-776). Rye Brook, NY, USA: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Sarkar, S., Phillips, P. J., Liu, Z., Robledo Vega, I., Grother, P., & Bowyer, K. W. (2005). The HumanID Gait Challenge Problem: Data Sets, Performance, and Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27 (2), 162-177.
- Scharstein, D., & Szeliski, R. (2003). High-accuracy stereo depth maps using structured light. *Proceedings of the 2003 IEEE computer society conference on Computer vision and pattern recognition (CVPR'03)* (pp. 195-202). Madison, Wisconsin: IEEE Computer Society, Washington, DC.

- Schneier, B. (2006 йил 14-December). *MySpace Passwords Aren't So Dumb*. Retrieved 2012 йил 1-September from Schneier on Security: <http://www.schneier.com/essay-144.html>
- Singh, S., & Biswas, K. K. (2009). Biometric Gait Recognition with Carrying and Clothing Variants. *Proceedings of the 3rd International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence (PREMI '09)* (pp. 446-451). New Delhi, India: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Soriano, M., Araullo, A., & Saloma, C. (2004). Curve spreads: a biometric from front-view gait video. *Pattern Recognition Letters*, 25 (14), 1595-1602.
- Spehr, J., Winkelbach, S., & Wahl, F. M. (2012). Hierarchical pose estimation for human gait analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 106 (2), 104-113.
- Takahashi, D. (2011, 8 19). *How Microsoft engineered Kinect to withstand gamers and lightning strikes*. Retrieved 11 25, 2012, from VentureBeat: <http://venturebeat.com/2011/08/19/how-microsoft-designed-kinect-to-withstand-gamers-and-lightning-strikes/>
- Tan, D., Huang, K., Yu, S., & Tan, T. (2007). Orthogonal Diagonal Projections for Gait Recognition. *IEEE International Conference on Image Processing, 2007 (ICIP 2007)* (pp. 337-340). San Antonio, Texas: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Tanawongsuwan, R. (2003). *Impact of Speed Variations in Gait Recognition: Ph.D. Dissertation*. Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology.
- Tanawongsuwan, R., & Bobick, A. (2004). Modelling the effects of walking speed on appearance-based gait recognition. *Proceedings of the 2004 IEEE computer society conference on Computer vision and pattern recognition (CVPR'04)* (pp. 783-790). Washington, DC: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Tao, D., Li, X., Wu, X., & Maybank, S. J. (2007). General Tensor Discriminant Analysis and Gabor Features for Gait Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29 (10), 1700-1715.
- Taycher, L., Fisher III, J. W., & Darrell, T. (2002). Recovering Articulated Model Topology from Observed Motion. *IEEE Workshop on Statistical Methods in Video Processing (SMVP 2002)*, (p. 6p).
- Texas Instruments Incorporated. (2008, 5 5). *The Chip that Jack Built*. Retrieved 4 2012, 7, from Texas Instruments Incorporated Official Web Site: <http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/jackbuilt.shtml>
- Tsuji, A., Makihara, Y., & Yagi, Y. (2010). Silhouette Transformation based on Walking Speed for Gait Identification. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 717-722). San Francisco, CA: IEEE Society, Washington, D.C.
- Urtasun, R., & Pascal, F. (2004). 3D tracking for gait characterization and recognition. *Proceedings of the Sixth IEEE international conference on Automatic face and gesture recognition (FGR' 04)* (pp. 17-22). Seoul, Korea: IEEE Computer Society Washington, D.C.
- Vacca, J. R. (2007). *Biometric Technologies and Verification Systems*. Newton, MA, USA: Butterworth-Heinemann.

- Wachter, S., & Nagel, H.-H. (1999). Tracking Persons in Monocular Image Sequences. *Computer Vision and Image Understanding*, 74 (3), 174-192.
- Wang, C., Zhang, J., Pu, J., Yuan, X., & Wang, L. (2010). Chrono-gait image: a novel temporal template for gait recognition. In K. Daniilidis, P. Maragos, & N. Paragios (Ed.), *Proceedings of the 11th European conference on Computer vision: Part I (ECCV'10)* (pp. 257-270). Crete, Greece: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Wang, J., Mary, S., Nahavandi, S., & Kouzani, A. (2010). A Review of Vision-Based Gait Recognition Methods for Human Identification. *Proceedings of the 2010 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA '10)* (pp. 320-327). Canberra, ACT: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Wang, L., Hu, W., & Tan, T. (2002). A New Attempt to Gait-based Human Identification. *Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02)* (pp. 115-118). Quebec, Canada: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Wang, L., Ning, H., Tan, T., & Hu, W. (2004). Fusion of static and dynamic body biometrics for gait recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14 (2), 149-158.
- Wang, L., Tieniu, T., Ning, H., & Weiming, H. (2003). Silhouette Analysis-Based Gait Recognition for Human Identification. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 25 (12), 1505-1518.
- Wayman, J. L., Jain, A. K., Maltoni, D., & Maio, D. (2005). *Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation*. New York, NY: Springer.
- Williamson, G. Y. (2009). *Identity management: A primer*. MC Press, LLC.
- Woodring, J., & Shen, H.-W. (2003). Chronovolumes: a direct rendering technique for visualizing time-varying data. *Proceedings of the 2003 Eurographics/IEEE TVCG Workshop on Volume graphics (VG '03)* (pp. 27-34). Tokyo, Japan: ACM, New York, NY.
- Wu, Q., & Boulanger, P. (2011). Real-Time Estimation of Missing Markers for Reconstruction of Human Motion. *Proceedings of the 2011 XIII Symposium on Virtual Reality (SVR '11)* (pp. 161-168). Uberlândia, MG, Brazil: IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Xu, D., Yan, S., Tao, D., Lin, S., & Zhang, H.-J. (2007). Marginal Fisher Analysis and Its Variants for Human Gait Recognition and Content- Based Image Retrieval. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2811-2821.
- Xue, Z., Ming, D., Song, W., Wan, B., & Jin, S. (2010). Infrared gait recognition based on wavelet transform and support vector machine. *Pattern Recognition*, 43 (8), 2904-2910.
- Yam, C. Y., Nixon, M. S., & Carter, J. N. (2004). Automated person recognition by walking and running via model-based approaches. *Pattern Recognition*, 37 (5), 1057-1072.
- Yampolskiy, R. V., & Govindaraju, V. (2009). Taxonomy of Behavioural Biometrics. In L. Wang, X. Geng, L. Wang, & X. Geng, *Behavioral Biometrics for Human Identification: Intelligent Applications*. (pp. 1-44). Hershey, PA: Information Science Reference.

Yang, Y.-H., & Levine, M. D. (1992). The background primal sketch: an approach for tracking moving objects. *Machine Vision and Applications*, 5 (1), 17-34.

Yoo, J.-H., & Nixon, M. S. (2011). Automated Markerless Analysis of Human Gait Motion for Recognition and Classification. *ETRI Journal*, 33 (2), 259-266.

Yu, S., Tan, D., & Tan, T. (2006). A Framework for Evaluating the Effect of View Angle, Clothing and Carrying Condition on Gait Recognition. *Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition - Volume 04 (ICPR '06)* (pp. 441-444). Hong Kong: IEEE Computer Society, Washington, DC.

Yu, S., Tan, T., Huang, K., Jia, K., & Wu, X. (2009). A study on gait-based gender classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 18 (8), 1905-1910.

Zhang, X., & Fan, G. (2010). Dual Gait Generative Models for Human Motion Estimation From a Single Camera. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 40 (4), 1034-1049.

Zhengyou, Z. (2012). Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. *IEEE MultiMedia*, 19 (2), 4-10.

## Biografija

Miloš Milovanović je rođen 17.09.1983 u Beogradu. Završio je XIII beogradsku gimnaziju 2002 godine. Iste godine upisuje Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, smer Informacioni sistemi, koji završava 2007. Godine sa prosečnom ocenom 8,19. Master studije upisuje 2007. godine na Fakultetu organizacionih nauka, smer Informacioni sistemi i tehnologije. Kao master student učestvuje na *IBM Best Student Recognition Event*-u 2008. kao jedan od najboljih master studenata tehničkih fakulteta Univerziteta u Beogradu. Tokom master studija se zapošljava kao saradnik u nastavi pri Katedri za Informacione Tehnologije na Fakultetu organizacionih nauka. Master studije završava 2009. godine sa prosečnom ocenom 10,0. Potom, iste 2009. godine upisuje doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka, na modulu Informacioni sistemi. Tokom doktorskih studija 2010. godine zapošljava se na Fakultetu kao asistent na Katedri za Informacione Tehnologije. Na doktorskim studijama je položio sve ispite ostvarivši prosečnu ocenu 10,0. Za svoj nastavni rad kontinuirano je ocenjivan od strane studenata prosečnom ocenom preko 4,20 na skali do 5. Od osnovnih studija kao član Laboratorije za multimedijalne komunikacije aktivno učestvuje u naučno-istraživačkom radu laboratorije i postigao je značajne uspehe. Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije je prema naučno-istraživačkim dostignućima rangiralo Miloša Milovanovića u najvišu T1 kategoriju istraživača (15% najbolje rangiranih istraživača) u Republici Srbiji.

Prilog 1.

## Izjava o autorstvu

Potpisani Miloš Milovanović

broj indeksa 10/2009

### Izjavljujem

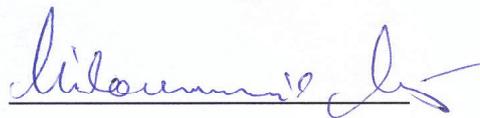
da je doktorska disertacija pod naslovom

Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

**Potpis doktoranda**

U Beogradu, 14.04.2013.



Miloš Milovanović

Prilog 2.

## Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Miloš Milovanović

Broj indeksa 10/2009

Studijski program Informacioni sistemi

Naslov rada Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

Mentor Prof. Dr Dušan Starčević, red. profesor FON-a

Potpisani Miloš Milovanović

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

**Potpis doktoranda**

U Beogradu, 14.04.2013



**Prilog 3.**

## **Izjava o korišćenju**

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Primena CBIR tehnika u biometrijskoj identifikaciji osoba na osnovu hoda

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

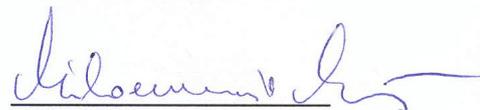
Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

U Beogradu, 14.04.2013.

**Potpis doktoranda**



1. Autorstvo - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo - nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo - nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.