



nje koji ga upoređuje sa uzorima u bazi na osnovu algoritma poređenja. Po uspešnom poređenju, podaci se prosleđuju uređaju kome je dati biometrijski sistem namenjen.

Bilo da se radi o fazi upisa ili fazi provere podataka, jasno je da će bitnu ulogu u biometrijskom sistemu igrati proces akvizicije biometrijskih podataka. Kod biometrijskih sistema stalno je prisutna opasnost da subjekt koji se snima nije dovoljno obučan, da može osetiti izvesne neprijatnosti prilikom davanja biometrijskih podataka i generalno odbijanje saradnje. Ovi scenariji su prisutniji kod sistema gde subjekat mora da aktivno učestvuje u samom procesu, kao što je prislanjanje prsta na skener za otisak prsta, prilazak čitaču rožnjače oka i slično.

Biometrijski proces počinje akvizicijom [7] i od akvizicije dosta zavisi da li će sistem raditi svoj posao dobro ili ne. Savremena tendencija razvoja biometrijskih sistema ide u pravcu akvizicije podataka na što lakši i jednostavniji način, kako bi se otklonili problemi sa korisnicima, a samim tim bi se i smanjilo vreme potrebno za uzimanje podataka, što otvara vrata većoj primeni biometrijskih sistema. Ono što je jako bitno jeste da neintruzivna akvizicija podataka ne zahteva da korisnik uopšte bude svestan da zapravo čini deo sistema.

## 2. UVOD U BIOMETRIJU HODA

Biometrija hoda predstavlja manje istraženu oblast biometrije. Spada pod bihejviorističku biometriju jer se posmatra način na koji neko hoda, pre nego fizičke karakteristike samog hoda.

Prilikom akvizicije postoje dva pristupa u smislu položaja subjekta. Jedan podrazumeva da se subjekat kreće s leva na desno (ili obrnuto) ispred kamere, što znači da kamera snima sa strane [1] [2]. Kod drugog, subjekat se snima sprema, hodajući prema kameri [3] i to je način akvizicije koji je korišćen u ovom radu.

Prvi pristup biometriji hoda je podrazumevao korišćenje slike kao početne osnove za pronalaženje vremensko-prostornog šablona hoda i dobijanja ljudske siluete [1].

Drugačiji pristup je koristio ugao između butine i lista, kao i orijentaciju noge [1].

Prema studiji objavljenoj u [4] navodi se da noge i njihovo kretanje nose više biometrijskih informacija nego gornji deo tela. S druge strane, u [1] se navodi da glava, ramena i gornji deo tela sadrže biometrijske informacije od značaja.

Kod nekih pristupa, odeća koju subjekat nosi može uticati na akviziciju podataka, naročito dugački kaputi ili jakne, koji mogu uticati na način na koji se subjekat kreće. Studija opisana u [5] pokazuje da se može koristiti i termalna slika subjekta za dalju analizu hoda.

Prilikom uzimanja podataka o ljudskoj silueti radi formiranja simulacionih modela, za mapiranje ključnih tačaka se koriste ili specijalna odela sa sensorima ili se na subjekta nakače individualni senzori [6]. Jasno je da je ovakav pristup akviziciji nepraktičan, ali je ideja o specifičnim tačkama na telu dobra polazna osnova za dalji rad u biometriji hoda.

Ovaj rad koristi pristup baziran na ključnim tačkama, a akvizicija se vrši uz pomoć *Kinect* tehnologije.

## 3. KINECT TEHNOLOGIJA

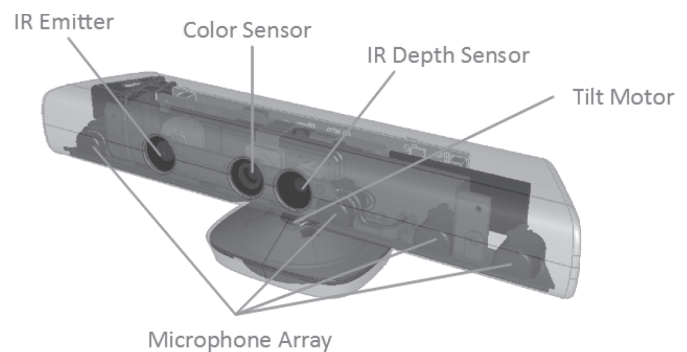
*Kinect* je senzor za detekciju pokreta, govora i lica razvijen od strane kompanije Microsoft inicijalno za njihovu igračku konzolu Xbox 360 krajem 2010. godine. Od juna 2011. godine objavljena

je prva beta verzija SDK-a što omogućava programerima da razvijaju aplikacije na .NET platformi za razne primene, van domena video igara. U februaru 2012. godine objavljena je prva konačna verzija SDK-a [9].

*Kinect* uređaj se sastoji iz nekoliko senzora među koje spadaju:

- Emiter infracrvenih zraka (*IR Emitter*)
- VGA kamera (*Color Sensor*)
- Infracrvena kamera za dubinu (*IR Depth Sensor*)
- Niz mikrofona (*Micorophone Array*)
- Motor za podešavanje ugla (*Tilt Motor*)

Raspored senzora u uređaju je prikazan na slici 2.

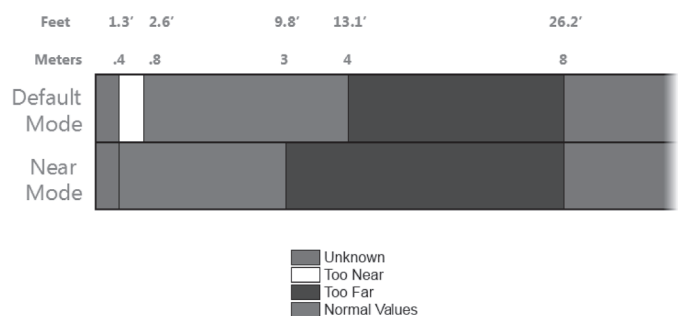


Slika 2. *Kinect* senzori [10]

*Kinect* senzor mapira prostor pomoću infracrvenog emitera koji celo vidno polje uređaja popuni infracrvenim laserskim snopovima. Infracrvena kamera za dubinu nadgleda te snopove svetlosti i registruje svako presecanje. Na ovaj način je mapiran prostor.

Postoji još i obična VGA kamera koja daje standardnu sliku, a u unutrašnjosti samog uređaja su postavljena četiri mikrofona koji formiraju mikrofonski niz.

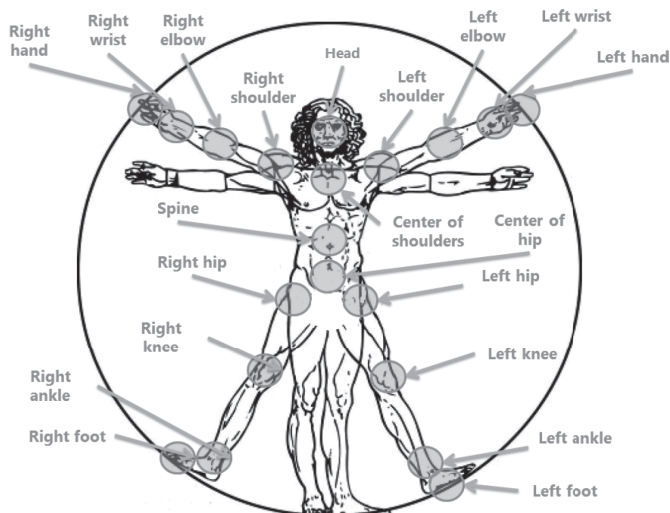
Na dnu uređaja se nalazi motor čija je svrha da pomera uređaj i prilagodi ga konkretnom okruženju u kome se nalazi. U odnosu na nulti horizontalni položaj, uređaj se može usmeriti do 27 stepeni na gore i 27 stepeni na dole, što daje ukupni ugao od 54 stepena [10][11].



Slika 3. Dubina prostora koju *Kinect* registruje [10]

Verovatno najveća mana *Kinect*-a je dubina, odnosno ograničenje u efektivnom prostoru kroz koji osoba treba da hoda. Slika 3 ilustruje udaljenosti od uređaja i kako se one tretiraju u aplikaciji.

Sa slike 3 se vidi da je efektivan opseg dubine od 0.8 metara do 4 metra, s tim što se u kontekstu snimanja hoda ovaj opseg još smanjuje na oko 2 do 4 metra od *Kinect*-a. Ovo



Slika 4. Tačke na silueti koje Kinect registruje

je posledica činjenice da je *Kinect* prvobitno osmišljen kao ulazni uređaj za Xbox 360, gde su igrači statični, u smislu udaljenosti od konzole. Stoga, ne mogu se sve tačke na subjektu mapirati ako je subjekat bliže uređaju, iako se možda nalazi u efektivnom prostoru koji je mapiran.

Kada govorimo o tačkama na čovekovoj silueti koju *Kinect* registruje, treba reći da ih ima ukupno 20. Svaka tačka je reprezentovana u četvorodimenzionalnom prostoru (X, Y, Z, D) gde je X koordinata širina, Y koordinata visina, a Z koordinata udaljenost. Koordinata D predstavlja referencijalnu visinu, u slučaju kada *Kinect* ne može da detektuje pod [10]. Slika 4 prikazuje nazive tačaka i raspored na silueti.

Vrednosti tačaka su *double* vrednosti sa preciznošću od devet decimalnih mesta. Od verzije SDK-a 1.0 vrednosti tačaka predstavljaju realnu vrednost u metrima u odnosu na *Kinect* uređaj. Koordinate X i Y mogu imati pozitivnu ili negativnu vrednost, što predstavlja levo/desno i gore/dole udaljavanje od sredine, respektivno. Koordinata Z je uvek pozitivna s obzirom da predstavlja udaljenost od samog uređaja. Prilikom daljeg rada sa ovim vrednostima, potrebna je neka metoda normalizacije, kako bi se sve vrednosti svele na isti referentni opseg.

#### 4. APLIKACIJA ZA AKVIZICIJU BIOMETRIJSKIH PODATAKA HODA

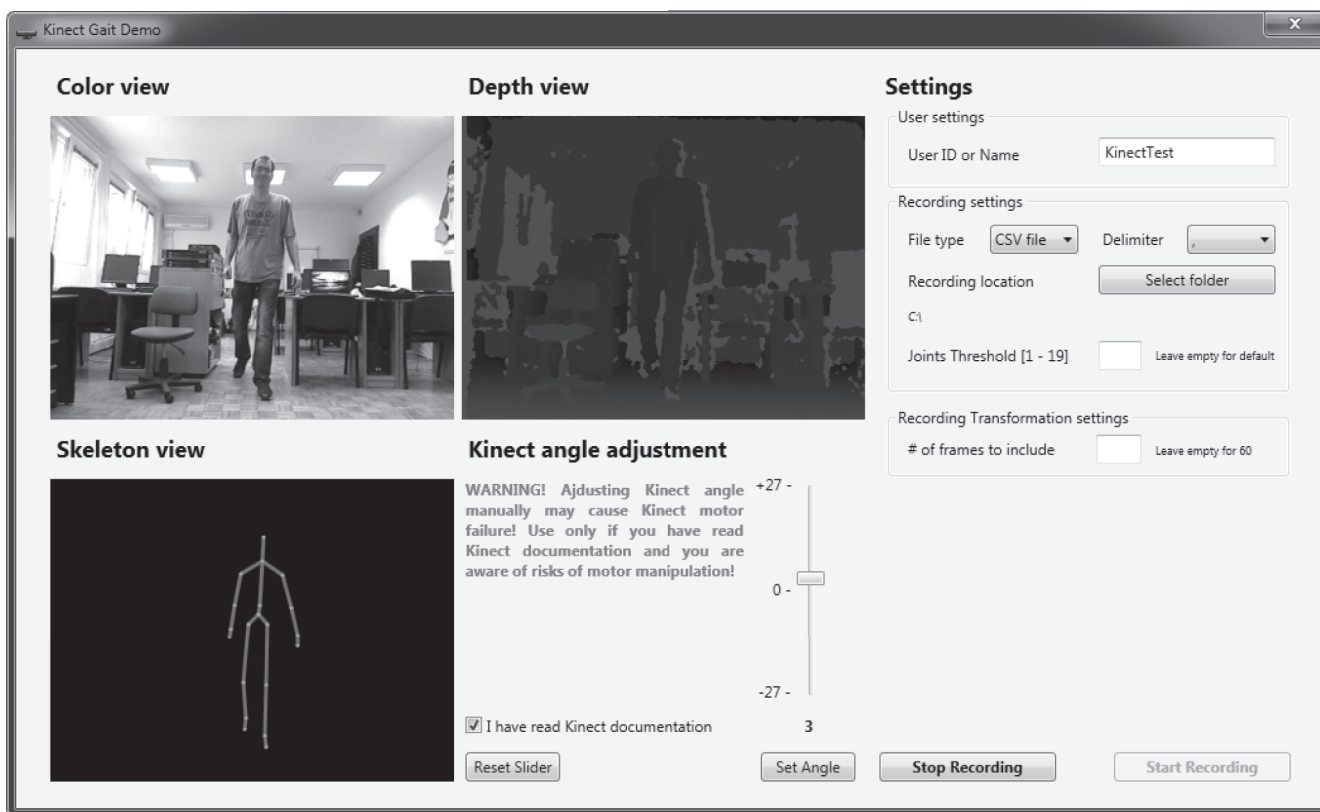
Aplikacija za akviziciju biometrijskih podataka hoda je razvijana u .NET okruženju, na jeziku C#. Sama aplikacija se sastoji od nekoliko celina koje omogućavaju korisniku lakši rad:

- Deo za nadgledanje
- Deo za podešavanje ugla
- Deo za podešavanje parametara snimanja
- Deo za kontrolu snimanja

Na slici 5 je prikazan izgled korisničkog interfejsa aplikacije.

Hod spada u neintruzivne tehnike, s obzirom da korisnik ne mora ništa da "uradi" osim da se pomeri tj. prošetala ispred skenera. Međutim, i u ovakvom slučaju proces uzimanja podataka ne može biti potpuno automatizovan. Stoga, aplikacija ima deo za nadgledanje koji se sastoji od sledeća tri monitora:

- Snimak sa standardne VGA kamere (*Color view*)
- Dubinski snimak (*Depth view*)
- Snimak skeleta (*Skeleton view*)



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije za akviziciju biometrijskih podataka hoda

Uz pomoć ova tri monitora osoba koja upravlja aplikacijom može da zatraži od subjekta da izvrši korekciju položaja kako bi snimanje bilo uspešno.

Snimak sa standardne VGA kamere daje prikaz okruženja onako kako ga ljudsko oko vidi. Preko ovog monitora se, pored subjekta, vidi i okruženje onakvo kakvo jeste, te je omogućena laka detekcija objekata koji prave smetnje.

Dubinski snimak omogućuje drugačiji pogled na okruženje. Nijansama sive je prikazana udaljenost od uređaja, od bele što predstavlja objekte koji su jako blizu, do crne, koja predstavlja objekte koji su jako daleko. Ljubičasta boja predstavlja granicu do koje *Kinect* može da procesira podatke. Oker bojom su prikazani delovi snimka koje *Kinect* ne zna kako da procesira. Detektovana silueta je obojena nekom nasumičnom bojom (na slici 5 plavom).

Snimak skeleta daje prikaz tačaka koje su trenutno u vidnom polju. U slučaju da se subjekat previše približi ivici vidnog polja ili npr. podigne ruke iznad glave, pojaviće se crvene linije na ivicama, što znači da je premašen opseg. Takođe, sam modul za prikaz skeleta vrši iscrtavanje kostiju, omogućavajući korisniku lakši pogled na anatomiju skeleta siluete.

Korisnik može, ako za tim ima potrebe, da izvrši korekciju ugla *Kinect*-a. *Kinect* sam pokušava da nađe najbolji ugao, međutim, kako je testiranje pokazalo, kod subjekata koji su visoki, ume da omane, te korisnik mora sam da prilagodi ugao. Motor *Kinect*-a nije namenjen za čestu upotrebu, te ovu funkcionalnost treba pažljivo koristiti, uz prethodno pročitano dokumentaciju [10].

Treba napomenuti da *Kinect* uvek vraća izvrnutu sliku, tzv. sliku u ogledalu. Programerima se ostavlja mogućnost da sliku obrnu programski [11]. U ovom radu se koriste podaci u svom originalnom obliku, tj. nikakava naknadna manipulacija orijentacije slike nije rađena.

Aplikacija omogućava korisniku da podesi parametre snimanja. Može odabrati da se rezultat snima u .csv ili .txt datoteku. Takođe, može odrediti koji karakter će služiti za odvajanje dobijenih vrednosti, a dostupni su zarez (,), tačka-zarez (;), razmak ( ) i tab ( ).

Parametar *Joint Threshold* određuje broj tačaka koji mora biti prisutan da bi se zabeležila trenutna slika. Povećanjem ovog parametra, potencijalno se smanjuje broj slika koje će biti upamćene.

Grupa parametara *Recording Transformation Settings*, ne igra nikakvu ulogu prilikom procesa akvizicije, te neće biti opisana u ovom radu.

Samo snimanje je olakšano korisniku, u smislu da su dostupne samo dve, međusobno isključive kontrole – *Start Recording* i *Stop Recording*. Prilikom testiranja tražili smo od subjekata da se postave iza "ljubičastog zida" na dubinskom snimku, što znači da ih uređaj neće snimati u trenutima mirovanja. Takođe, ni prvi koraci neće biti uzeti u obzir. Od subjekata je traženo da počnu da koračaju prema *Kinect*-u, a samo snimanje počinje onog trenutka kada subjekat uđe u efektivno polje uređaja.

Korišćeni pristup snimanja korisnika sprema se razlikuje od većine pristupa koji snimaju subjekte sa strane. Ovo pre svega proizilazi iz ograničenja *Kinect* tehnologije koja daje najbolje rezultate kada je subjekat sniman sprema. U pogledu sa strane

nisu vidljive sve tačke te je dosta teže izvesti neku statistiku ili primeniti neki drugi algoritam, jer je set podataka sa kojim se radi nepotpun, što može dovesti do pogrešnih rezultata.

Deo dobijenog rezultata možete videti u tabeli 1.

Tabela 1. Prikaz 15 slika snimanja

Wrist Left X	Wrist Left Y	Wrist Left Z
-0.3139197	-0.07344501	3.648207
-0.3153088	-0.07990909	3.64886
-0.3139697	-0.09023155	3.593375
-0.3070901	-0.04580663	3.54325
-0.3158989	-0.03806065	3.526828
-0.3224235	-0.029387	3.47422
-0.3183718	-0.02555816	3.414686
-0.319257	-0.004429321	3.381742
-0.3170226	-0.02113447	3.317505
-0.3193128	0.02253594	3.263151
-0.3245259	0.01648334	3.209447
-0.3258716	0.01401909	3.151635
-0.3261245	0.028005	3.10963
-0.3273122	0.02505797	3.045216
-0.3285458	0.03328764	3.007503

Za svaku tačku su zapamćene njena X, Y i Z koordinata. U tabeli je navedeno prvih 15 slika dobijenih u jednom od test snimanja i to konkretno zglob leve šake. *Kinect* snima 30 fps, što znači da navedeni rezultat predstavlja kretanje od pola sekunde.

Treba obratiti pažnju na to da *Kinect* može da radi sa dva skeleta, što znači da kada snima samo jednog subjekta, može se desiti da nešto drugo upadne u kadar i formira drugu siluetu. U toj situaciji *Kinect* kompenzuje opterećenje nastalo usled veće obrade podataka smanjenjem FPS-a na oko 10 do 15, što može značajno uticati na rezultate snimanja.

Već je rečeno da su vrednosti predstavljene u metrima, te jednostavnim odokativnom analizom rezultata iz table 1 možemo zaključiti da je subjekat, preciznije zglob leve šake subjekta, prešao put od oko 0.64 m. Takođe se može videti da su vrednosti za X stalno negativne, što je i očekivano jer je u pitanju leva strana, dok znak kod Y koordinate varira što ukazuje da subjekat pomera ruku tokom kretanja. Svakako da je ovakva analiza nepogodna za naučne okvire, ali je jasno da ako se ovakvom analizom može doći do izvesnih zaključaka, primenom ozbiljnih matematičkih i statističkih metoda se očekuju, u najmanju ruku, obećavajući rezultati.

Nakon obavljenog snimanja, za svakog korisnika se pored datoteke snimljene u željenom obliku na disku, snima ta ista datoteka i u multimedijalnu bazu podataka koja je realizovana u MS SQL Server-u 2012. Na taj način se omogućava korišćenje podataka hoda i van okvira ove aplikacije i još šire, van mašine sa instaliranim *Kinect* SDK-om i *Windows* operativnim sistemom. Ostvaruje se izvesna univerzalnost, jer se rezultati snimanja mogu čitati na bilo kom operativnom sistemu.

## 5. POTENCIJALNE PRIMENE KINECT TEHNOLOGIJE

Jedan od potencijalnih scenarija predstavlja subjekta koji prilazi zaključanim vratima. Hod subjekta se snima. Ako sistem uspe da prepozna korisnika, vrata se otvaraju bez ikakve interakcije korisnika sa sistemom. U suprotnom, očekuje se da algoritmi za rad sa podacima o hodu mogu da suze broj potencijalnih kandidata za verifikaciju. Samim tim, u multimodalnom siste-

mu, postavlja se drugi skener, npr. za otisak prsta ili šake. Sada, umesto pretraživanja celokupne baze, pretražuje se znatno manji skup vrednosti, što povećava brzinu odziva i preciznost sistema.

Drugi scenario bi mogao biti slučaj identifikacije na aerodromima i sličnim mestima gde je potrebno jako obezbeđenje, kao npr. arene za koncerte i razne skupove, autobuske i železničke stanice itd... *Kinect* uređaj bi mogao da se jednostavno postavi iznad ili pored detektora za metal, kroz koji je obavezan prolazak. Podaci o osobi se odmah prikupljaju i lokalno obezbeđenje može odmah dobiti izveštaj da li je lice koje treba da prođe opasno ili ne i shodno tome preduzme odgovarajuću akciju.

Treći scenario predstavlja upotrebu u bankama ili prodajnim objektima. Na takvim mestima nije potrebno vršiti identifikaciju potencijalnih korisnika, ali u slučaju pljačke ili neke druge neugodne situacije, snimljeni podaci mogu biti upotrebljeni za utvrđivanje identiteta kriminalca, s obzirom da se očekuje da će dotični nositi masku, rukavice i ostalu odeću koja onemogućava prepoznavanje na osnovu otiska prsta ili snimka sa sigurnosne kamere. Upravo u ovakvim situacijama hod je karakteristika koju je teže sakriti. Svakako da će i dalje postojati nadmetanje kriminalaca i obezbeđenja, ali je jasno da upotrebom više modaliteta u bezbednosnom sistemu sam objekat koji se obezbeđuje postaje sigurniji.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu primarno je prikazana aplikacija za akviziciju biometrijskih podataka hoda. Akvizicija je prvi korak u biometrijskom procesu. Dosadašnja istraživanja hoda kao biometrijske karakteristike su pokazala da hod nije dovoljno pouzdan, u smislu da akvizicija i algoritmi koji rade sa tim podacima nisu dovoljno dobri kako bi dali rezultate koji mogu predstavljati polaznu osnovu za biometrijski sistem zasnovan na hodu.

Ovaj rad predstavlja početak istraživanja biometrije hoda na jedan drugačiji način. Iako se hod još uvek ne može koristiti individualno, naša je ocena da se može koristiti kao deo multimodalnog biometrijskog sistema sa mogućnošću da poveća preciznost celokupnog sistema.

Prikazane su samo neke od potencijalnih primena biometrije hoda. Brzina razvoja *Kinect* tehnologije nagoveštava bolje i brže uređaje u bliskoj budućnosti, a samim tim i potencijalno veću primenu hoda u multimodalnim, a jednog dana možda i u unimodalnim biometrijskim sistemima. Evidentno je da biometrija hoda postaje sve popularnija i svakako predstavlja polje vredno izučavanja.

## PRIZNANJA

Ovaj rad je deo projekta Primena multimodalne biometrije u menadžmentu identiteta, finansiranog od strane Ministarstva Prosvete i Nauke Republike Srbije, pod zavodnim brojem TR-32013.

## REFERENCE

[1] Mark S. Nixon, John N. Carter, "Advances in Automatic Gait Recognition", *School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, SO17 1BJ, UK, 2004*

- [2] Y. Pratheepan, P.H.S Torr, JV Condell, G. Prasad, "Body Language Based Individual Identification in Video Using Gait and Actions", School of Computing and Intelligent Systems, Faculty of Computing and Engineering, University of Ulster at Magee, Northland Rd, Londonderry, N.I., Department of Computing, Oxford Brookes University, Wheatley, Oxford, UK
- [3] Tracey K. M. Lee, S. Sanei, B. Clarke, "Fusion of Nonlinear Measures in Fronto-Normal Gait Recognition", School of IT, Monash University, Sch of EEE, Singapore Polytechnic, Singapore, Center of DSP, Cardiff University, School of Engineering, Cardiff, UK
- [4] Shamasher Singh, K.K. Biswas, "Biometric Gait Recognition with Carrying and Clothing Variants", Dept. of CSE, IIT Delhi-110016, India
- [5] Shamasher Singh, K.K. Biswas, "Spatio-temporal Energy based Gait Recognition", Dept. of CSE, IIT Delhi-110016, India
- [6] Mario A. Gutiérrez A., Frédéric Vexo, Daniel Thalmann, "Stepping into Virtual Reality", Springer, 2008, ISBN: 978-1-84800-116-9
- [7] Stan Z. Li, Anil K. Jain, "Encyclopedia of Biometrics", Springer, 2009, ISBN: 978-0-387-73002-8
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics> - wiki stranica o biometriji
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/kinect> - wiki stranica o Kinect uređaju
- [10] <http://www.kinectforwindows.org> - glavna internet stranica o Kinect uređaju
- [11] <http://channel9.msdn.com/Series/KinectQuickstart> - video tutorijali o programiranju za Kinect



Bojan Kezele, stručni saradnik, Fakultet Organizacionih Nauka  
mail: bojan.kezele@mmklab.org  
Oblasti interesovanja: informacione tehnologije, multimediji i produkcija, računarske mreže, interakcija čovek-računar



Uroš Šošević, saradnik u nastavi, Fakultet Organizacionih Nauka  
mail: uros.osevic@mmklab.org  
Oblasti interesovanja: internet tehnologije, multimediji, računarske mreže, mobilno računarstvo, dizajn korisničkog interfejsa



Ivan Milenković, saradnik u nastavi, Fakultet Organizacionih Nauka  
mail: ivan.milenkovic@mmklab.org  
Oblasti interesovanja: biometrija, računarske mreže, mobilno računarstvo, multimediji



Miloš Milovanović, asistent, Fakultet Organizacionih Nauka  
mail: milos.milovanovic@mmklab.org  
Oblasti interesovanja: biometrijske tehnologije, interakcija čovek-računar, multimediji, računarske mreže



Dušan Starčević, redovni profesor, Fakultet Organizacionih Nauka  
mail: starcev@fon.bg.ac.rs  
Oblasti interesovanja: računarska grafika, interakcija čovek-računar, multimediji, računarske mreže