

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Matic Glavan

**Razvoj naprave za merjenje stopal z  
uporabo barvnih kamer**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: doc. dr. Danijel Skočaj

Ljubljana 2012

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

*Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil  $\text{\LaTeX}$ .*



Št. naloge: 00247/2012

Datum: 05.04.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **MATIC GLAVAN**

Naslov: **RAZVOJ NAPRAVE ZA MERJENJE STOPAL Z UPORABO BARVNIH KAMER**

**DEVELOPMENT OF A FEET MEASURING DEVICE BASED ON COLOUR CAMERAS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

Za varno, udobno in učinkovito smuko je izbira pravilne velikosti smučarskih čevljev zelo pomembna. Pri tekmovalnih smučarjih je zato potrebno k temu problemu pristopiti načrtno. Natančno je potrebno izmeriti velikost ter druge parametre stopal, te meritve pa redno ponavljati in spremljati spremembe. Zato je zelo zaželeno, da je ta postopek avtomatiziran. V diplomski nalogi razvijte merilno napravo, ki bo z barvnimi kamerami iz različnih smeri zajela slike stopal, jih analizirala in zelo natančno izmerila različne parametre stopal. Uporabniku naj sistem omogoča čim bolj udobno delo ter vnos dodatnih podatkov. Vsi podatki naj se hranijo v podatkovni bazi, ki naj zagotavlja enostavno sledljivost podatkov o posameznem osebk.

Mentor:

  
doc. dr. Danijel Skočaj

Dekan:

  
prof. dr. Nikolaj Zimic



## IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Matic Glavan, z vpisno številko **63070286**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

*Razvoj naprave za merjenje stopal z uporabo barvnih kamer*

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Danijela Skočaja
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 26. septembra 2012

Podpis avtorja:

*Iskreno se zahvalujem staršem in vsem, ki so mi v času študija stali ob strani in me podpirali. Zahvaljujem se doc. dr. Danijelu Skočaju za mentorstvo, potrpežljivost, strokovno pomoč, nasvete ter vodenje pri pisanju diplomskega dela.*

# Kazalo

Povzetek

Abstract

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
1.1	Opis problema . . . . .	1
1.2	Zahteve uporabnika . . . . .	2
1.3	Pregled sorodnih sistemov . . . . .	3
1.4	Pregled diplomskega dela . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Strojna oprema</b>	<b>9</b>
2.1	Shema sistema . . . . .	9
2.2	Opis naprave . . . . .	10
2.3	Postavitev kamer . . . . .	12
2.4	Osvetlitev . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Programska rešitev</b>	<b>15</b>
3.1	Predstavitev problema . . . . .	15
3.2	Računalniški vid . . . . .	15
3.3	Programska orodja . . . . .	16
3.4	Kalibracija kamer . . . . .	16
3.5	Segmentacija glede na barvo človeške kože . . . . .	17
3.6	Primer delovanja algoritma . . . . .	19
3.7	Podatkovna baza . . . . .	22

## KAZALO

3.8	Grafični uporabniški vmesnik . . . . .	23
3.9	Primer uporabe . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Ovrednotenje natančnosti merilnega sistema</b>	<b>27</b>
4.1	Analiza rezultatov . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Zaključek</b>	<b>33</b>

# Povzetek

V diplomskem delu se osredotočimo na razvoj merilne naprave za merjenje človeških stopal. Napravo bomo izdelali s pomočjo nizkocenovnih barvnih kamer. Za uporabno slikanje nam problem predstavlja osvetlitev, ki jo je potrebno ustrezno prilagoditi za pridobitev zadostnega kontrasta med človeško kožo in okolico. S pomočjo algoritma sliko nato segmentiramo na podlagi barve človeške kože. Sliko stopala zatem izmerimo in s pravilno pretvorbo slikovnih elementov v milimetre, prejmemo dolžino in širino stopala. Avtomatiziran postopek merjenja je zelo dobrodošla nadgradnja mehanskega merjenja nog. Opravili smo tudi natančno evaluacijo sistema in s tem predstavili njegovo kvaliteto. Z napravo bomo smučarskim trgovinam olajšali postopek merjenj, ki bo na ta način tudi veliko bolj natančen. Prednost računalniškega merjenja je tudi ta, da se pridobljeni rezultati samodejno shranjujejo in je do njih možno dostopati tudi kasneje.

# Abstract

This diploma thesis presents the development of the measuring device used for measuring human feet. This device will be assembled by using low-cost colour cameras. For a functional scanning, the occurring problem is systems lightning, which has to be appropriately adjusted in order to attain sufficient contrast between the human skin and the surroundings. With the use of an algorithm, the picture is then segmented based on the colour of the human skin. The picture of the foot is then measured and by making suitable conversion of the pixels into millimeters, we get the length and the width of the foot. The automatic procedure of the measurement is a welcome change and upgrade in the field of the mechanical feet measurement. We made an accurate evaluation of the systems quality. System will help skiing retailers making their measurement procedure simpler and also more accurate. The advantage of the computer measurement is also in having the possibility of automatic saving of the achieved results and having the ability of accessing them anytime later.

# Poglavje 1

## Uvod

### 1.1 Opis problema

Za kvalitetno in varno smuko je ključnega pomena izbira pravega smučarskega čevlja. Ena izmed ključnih lastnosti pri izbiri čevlja je njegova velikost. To pomeni, da morajo smučarske trgovine za izvedbo kvalitetne storitve, meriti strankina stopala. Trenutno skoraj vse trgovine meritve opravljajo ročno, zato smo se odločili za razvoj elektronske merilne naprave, ki stopala meri avtomatsko.

Za izdelavo naprave bomo uporabili nizkocenovne barvne kamere. Razlog za izbiro cenejših kamer je ta, da je cilj izdelati poceni napravo, ki omogoča pridobivanje želenih rezultatov. Z uporabo boljših kamer s specifičnimi objektivi, bi lahko dosegli bistveno večjo natančnost in se tako izognili določenim težavam, na katere smo med razvojem naleteli, vendar je izbira nizkocenovnih kamer bistveno znižala končno ceno naprave, kar je bila za uporabnika ena izmed ključnih lastnosti. Kljub uporabi cenejših komponent, smo še vedno dosegli rezultate, ki omogočajo opravljanje uporabnih meritev in s tem zadovoljili uporabnikove zahteve.

Podobne naprave na trgu že obstajajo, vendar se od te razlikujejo po določenih specifikah. Večina naprav služi samo merjenju stopal, kar pa v našem primeru ne zadostuje. Izmerjeni podatki se skupaj s slikami shra-

njujejo v podatkovno bazo, kar nam ob ponovnem obisku stranke omogoča primerjavo novih podatkov s starimi. Po izkušnjah se ljudem stopala spreminjajo, bodisi zaradi razvoja ali pa poškodb.

S klasičnimi merilnimi sistemi bi na vrhuncu sezone, ko je obisk smučarskih trgovin velik, za korektno ponudbo potreboval osebo, ki bi skrbela samo za merjenje stopal. Z aplikacijo se postopek merjenja avtomatizira, prav tako pa se tudi čas merjenja bistveno zmanjša. Dodana vrednost naprave je tudi shranjevanje podatkov. Shranjujejo se rezultati meritev skupaj s slikami stopal in osebnimi podatki osebe kateri se opravlja meritev. Ob ponovni meritvi isti osebi lahko nove rezultate primerjamo s starimi. Obstajajo primeri, ko se je odrasli osebi noga v določenem času spremenila, zato je želela kupljen izdelek reklamirati, ker naj bi bila napačna izbira krivda prodajalca. S sistemom se bo takim nevšečnostim lažje izogniti, saj bomo imeli dokaz, da je bil takraten nasvet pravi. Z aplikacijo bo uporabnik poleg ostalih podatkov beležil tudi takrat kupljen smučarski čevlji. To nam bo kasneje, ko bo baza dovolj velika, omogočalo lažjo izbiro čevlja glede na tip noge. Trenutno se strankam ponuja velik izbor čevljev samo glede na dolžino noge. Vendar je pri izboru dolžina stopala samo eden izmed faktorjev. Bistvenega pomena sta tudi širina in višina stopala. Sčasoma bo mogoče vnaprej predvideti kateri čevlji je najbolj primeren za določeno nogo, kar bo bistveno zmanjšalo izbor čevljev in posledično tudi trajanje nakupa.

## 1.2 Zahteve uporabnika

Dolgotrajen postopek ročnega merjenja bi želeli avtomatizirati in začiniti z dodatnimi funkcionalnostmi. Trenutno z mehanskim merjenjem dosegamo milimetrsko natančnost, kar je cilj tudi pri avtomatskem merjenju. Pogoji je skrajšati trajanje postopka in omogočiti avtomatsko shranjevanje podatkov. Možnost kasnejše primerjave rezultatov je bil eden izmed glavnih razlogov za razvijanje elektronske naprave. Poleg merjenja dolžine in širine stopala, sta pomembna podatka tudi obremenitev stopala in postavitev nog. Trenutno

se za pridobivanje vseh zahtevanih podatkov uporablja več naprav, katerih slabe lastnosti so nenatančnost in počasnost. Uporabnik bi želel v novem sistemu združiti funkcionalnosti v eno napravo in povečati natančnost merjenja ter pospešiti postopek pridobivanja podatkov. Aplikacijo bodo uporabljali neizkušeni računalničarji, zato je potrebno razviti enostaven in pregleden grafični vmesnik, ki omogoča logično in enostavno uporabo.

Po analizi zahtev uporabnika, smo se odločili, da bomo sistem realizirali z barvnimi kamerami, ki bodo nameščene na zaboj izdelan po meri, kar bo omogočalo zajemanje uporabnih slik.

### 1.3 Pregled sorodnih sistemov

Večina smučarskih trgovin za merjenje stopal uporablja mehanske merilne sisteme (glej sliko 1.1). Vidimo lahko štiri primere, ki so si med seboj zelo podobni. Oseba, ki se ji meri stopalo, stopi na napravo, tako da se z zadnjim delom stopala dotika zadnjega roba naprave. Uporabnik naprave nato mehansko pomakne letvico in odčita meritev. Zanimivost teh naprav je ta, da nogo iste velikosti vse naprave odčitajo različno, kar dokazuje, da tudi mehanske naprave niso konsistentne.



Slika 1.1: Mehanske merilne naprave.

Pomembna podatka za pravilno izbiro čevlja sta tudi obremenitev sto-

pala in naklon nog. Napravo za analizo obremenitve stopala prikazuje slika 1.2. Naprava ima pod stojno površino nameščeno ogledalo, ki omogoča lažji pogled na podplate. Vse skupaj je osvetljeno z UV žarnico, ki obremenjeni del podplata dodatno poudari.

Za merjenje naklona nog uporabnik ni uporabljal nobene posebne naprave, temveč si je pomagal z desko, ki jo je prislonil na nogo in s pomočjo kotomera odčital stopinje naklona. Lahko si predstavljamo, da rezultati niso mogli biti dovolj natančni za njihovo uporabo pri izdelavi čevljev, vendar so služili le kot simboličen podatek.



Slika 1.2: Mehanska naprava za analizo obremenitve stopala [1].

Večina obstoječih elektronskih sistemov na trgu so od našega bistveno dražja. Glavna namena našega sistema sta merjenje nog in avtomatsko shranjevanje pridobljenih podatkov. Skoraj noben obstoječ sistem nima možnosti shranjevanja podatkov, ki je v našem primeru, glede na uporabnikove želje, ena izmed ključnih lastnosti. Druga in morda tudi največja težava obstoječih naprav pa je njihova cena. Okvirne cene za sorodne sisteme se gibljejo od 1500 evrov do 10000 evrov, s tem da naprava za 1500 evrov omogoča samo merjenje stopala. Eno izmed osnovnih naprav, ki omogočajo samo merjenje stopal (glej sliko 1.3). Dražje naprave pa vsebujejo ogromno stvari, ki bi bile



Slika 1.3: Osnovna elektronska merilna naprava znamke Pedaq [2].

v našem primeru neuporabne.

Ena izmed boljših naprav (glej sliko 1.4) ki smo jih zasledili, je zasnovana tako, da ima v svojo bazo vnesene vse specialne športne copate za tek. Naprava po vseh opravljenih meritvah sama predlaga najbolj primeren copat za določeno stranko. V našem primeru uporabnik ne želi popolnoma avtomatizirati prodajnega postopka, kajti stranke pridobi s človeško in ne strojno storitvijo. Želja je le poenostaviti poslovanje in mu dodati neko dodano vrednost.



Slika 1.4: Naprava za merjenje stopal in analizo teka MotionQube [3].

Eden izmed najbolj naprednih sistemov na trgu za merjenje nog je produkt podjetja Aetrex z imenom iStep [4] (glej sliko 1.5). S pomočjo tega sistema izdelujejo čevlje po meri, produkt omogoča merjenje velikosti noge in tudi natančnega pritiska stopala na podlago. Za merjenje pritiska se uporablja 3744 pozlačenih barometričnih senzorjev, ki merijo obremenitev stopala na vsaki četrtini kvadratnega centimetra posebej. Gostota senzorjev omogoča natančne rezultate tudi za otroke. Dolžino in širino stopala pa iz-

merijo s pomočjo infrardečih LED diod in receptorjev, ki so nameščeni v robu naprave na vsake pol milimetra. Naprava je od naše bistveno bolj zmogljiva, največja razlika pa je v merjenju pritiska stopala, vendar v našem primeru to ni ključnega pomena. Za merjenje dimenzij se uporablja tehnologija, ki nam je zaenkrat tako cenovno kot tudi logistično nedostopna, zato so prednosti naše naprave cena, enostavna uporaba in avtomatsko shranjevanje podatkov.



Slika 1.5: Naprava Aetrex iStep [4].

Če primerjamo ceno naše naprave s podobnimi napravami na trgu, lahko z gotovostjo zatrdimo, da je naša naprava veliko cenejša. Če izvzamemo programersko delo, njena vrednost ne presega 500 evrov, kar pa predstavlja približno tretjino cene naprave, ki omogoča podobne storitve.

## 1.4 Pregled diplomskega dela

Za merjenje človeških stopal se trenutno največ uporabljajo mehanske naprave, ki pa so zamudne in ne omogočajo avtomatskega shranjevanja podatkov. Cilj diplomskega dela je izdelati napravo, ki bo avtomatsko merila stopala in rezultate skupaj z ostalimi podatki shranjevala v podatkovno bazo.

V prvem poglavju bomo predstavili strojno opremo, ki smo jo uporabili pri razvoju našega sistema. Predstavili bomo zahtevane specifikacije komponent in opisali njihovo delovanje. Opisali bomo določene strojne probleme

in rešitve za njih. Nato bomo opisali programski del sistema, sem spada opis uporabljenih orodij, opis izdelave algoritma in obrazložitev njegovega delovanja. Predstavili bomo uporabljen način kalibracije kamer in na primeru uporabe obrazložili delovanje sistema.

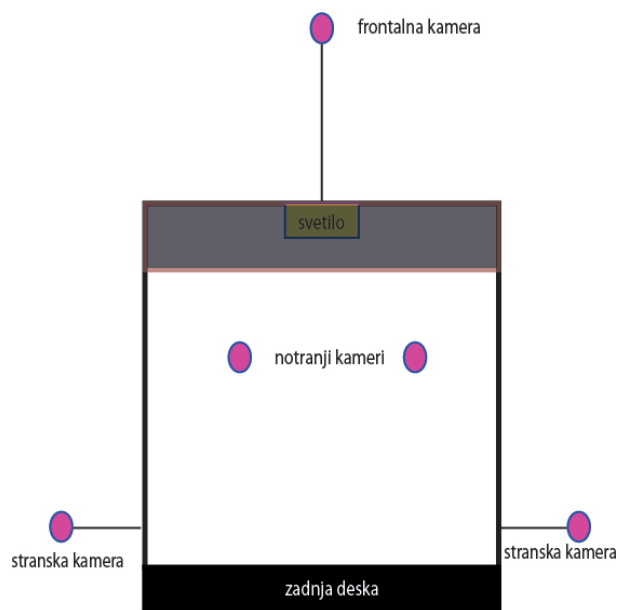
V predzadnjem poglavju smo ovrednotili naš sistem in njegovo delovanje. S primerjavo aplikacije in ljudi smo določili, kateri način merjenja je bolj uporaben in bolj natančen. Na koncu sledi pa še poglavje z možnimi nadgradnjami sistema in alternativnimi rešitvami.



# Poglavje 2

## Strojna oprema

### 2.1 Shema sistema



Slika 2.1: Shema merilnega sistema.

Sistem predstavlja lesen zaboj v notranjosti katerega sta nameščeni dve kameri. Na sprednji notranji strani je nameščen halogenski reflektor, zunanaj zaboja pa imamo tri nosilce na katerih so nameščene dodatne, zunanje

kamere. Dve na vsaki strani skrbita za slikanje profila stopal, prednja kamera pa slika frontalno postavitev nog. Kamere so preko USB razdelilnika priklopljene na osebni računalnik, ki poganja celoten sistem.

## 2.2 Opis naprave

Glavne komponente strojne opreme v diplomski nalogi so osebni računalnik, nizkocenovne barvne kamere in halogenski reflektor (glej sliko 2.2). Da ob pretvarjanju slikovnih elementov v milimetre dosežemo zadostno natančnost, potrebujemo kamero, ki omogoča slikanje z resolucijo 640x480 slikovnih elementov. Za zajem celotnega stopala na razdalji 40cm je bilo potrebno upoštevati stopinjski kot zajema kamere. Odločili smo se za kamere Logitech model C525 [5], ki imajo kot zajema 64 stopinj. Kamere nam omogočajo kvalitetne posnetke in predstavljajo dobro razmerje med ceno in kvaliteto. Potrebovali smo tudi USB razdelilnik, ki nam omogoča priklop petih kamer hkrati. Za notranjo osvetlitev smo uporabili halogenski reflektor moči 150W. Konstrukcija naprave je lesen zaboj velikosti 50x50x40 cm s kaljeno šipo. Zunanje kamere je bilo potrebno namestiti na nosilce, ki smo jih oddaljili na razdaljo, ki omogoča zajem slike.



Slika 2.2: Spletna kamera Logitech C525 [5] in halogenski reflektor [6].

Za zajem slik uporabljamo 5 barvnih kamer, ki smo jih namestili na in v lesen zaboj izdelan po meri. Kamere za slikanje podplatov so nameščene v zaboju. Od objekta, ki ga zajemamo, so oddaljene približno 40cm. Ta odda-

ljenost nam omogoča zajem področja velikosti 35cm, kar predpostavljamo, da je največje stopalo, ki bi ga lahko izmerili. Ostale tri kamere so nameščene na nosilcih pritrjenih na stranicah zaboja. Kamera za frontalno slikanje nog je nameščena na nosilcu, ki omogoča odmik kamere 80cm od objekta, ki ga zajema. Kamere ob straneh, ki zajemajo profil stopala, so pritrjene na krajših nosilcih, ki omogočajo odmik kamer na dolžino 40cm, njihova oddaljenost pa je enaka kameram za slikanje stopal, saj želimo doseči enak zajem.

Na prednjo stranico zaboja smo namestili halogenski reflektor, ki nam predstavlja notranji vir svetlobe. Reflektor je usmerjen v prednjo stranico, kar nam ustvari pravi kontrast med stopalom in okolico, tako so posnete slike primerne za obdelovanje. Direktno nad reflektorjem je na steklu nameščena deska, ki notranji svetlobi onemogoča direkten sij v okolico, vendar ga razprši po podplatih. Reflektor upravljamo s stikalom, ki nam ob vklopu notranjega reflektorja izklaplja tudi luči v prostoru. Slika 2.3 prikazuje napravo z vsemi njenimi sestavnimi deli.



Slika 2.3: Notranji in zunanji izgled merilnega sistema.

Del zaboja predstavlja tudi kaljeno steklo v izmeri 56x56x0,8cm, ki prenaša človeško obremenitev. Na zadnji strani zaboja nad steklom je polica obdana s črnim blagom, na katero oseba, ki se ji opravlja meritev, prisloni zadnji del

stopala (peto). Polico je bilo potrebno obdati z blagom, ker bi v nasprotnem primeru povzročala moteče odseve.

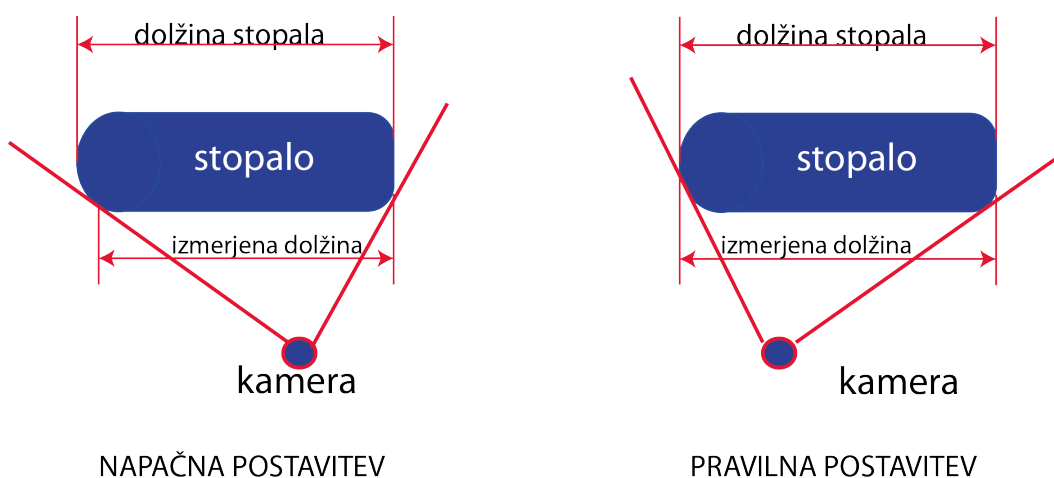
## 2.3 Postavitev kamer

Pred izdelavo zaboja je bil potreben test zajema kamer. Tako smo ugotovili na kakšni oddaljenosti kamer od objekta dobimo uporabne slike. Pravo oddaljenost smo določili glede na velikost objekta, ki ga želimo zajeti. Privzeli smo dejstvo, da človeška noga ne bo večja od 35cm, zato je oddaljenost kamere od stekla tolikšna, da omogoča zajem takšnega stopala. Problem merjenja s kamerami je, da se z oddaljevanjem objekta povečuje napaka meritve, zato je bil interes, da je kamera kar se da blizu objekta, ki ga meri. Za povečanje natančnosti meritve smo naredili tudi preprosto optimizacijo. Ker se zadnji del stopala osebe vedno dotika statične točke, smo lahko kamere postavili bolj pod prednji del stopala. S tem smo omogočili tudi pravilne meritve za osebe, ki imajo na petah določene nepravilnosti, ki pa so višje od zajema kamere in na sliki ne bi bile vidne. Z določitvijo zadnje točke meritve smo si lahko privoščili, da se pozicija kamere prestavi pod prvi del stopala (pod prste) in tako (glede na povprečno velikost človeškega stopala) prednjo točko odčita postavljena pravokotno na nogo. Sicer bi bil odčitek glede na velikosti nog različen. Ob nepravilnem zajemu bi lahko za najbolj skrajno točko stopala izbralo napačno in tako dodatno povečalo napako meritve.

Postavitev kamer prikazuje slika 2.4. Levi del slike zaradi nepravilne postavitve drugače zajame prvi del stopala in zato ne predstavlja optimalne rešitve.

## 2.4 Osvetlitev

Ena izmed ključnih lastnosti za pravilno delovanje sistema je bila njegova osvetlitev. Za doseg uporabne osvetlitve in zelenega kontrasta, je bilo potrebno preizkusiti veliko različnih tipov svetlobe. Najprej smo poizkusili z



Slika 2.4: Skica napačne in pravilne postavitve kamere.

navadno 60W žarnico, ki je pokazala določen potencial, vendar smo kasneje ugotovili, da sij ne osvetli celotnega stopala. To je povzročilo, da smo na nastali sliki dobili nepravilen izrez podplata, saj je bila peta premalo osvetljena, zato je filter ni razlikoval od okolice. Za izvajanje pravih meritev, bi osvetlitev z žarnico vseeno zadostovala, vendar bi bile slike stopala nepopolne, saj bi manjkali kosi pete. Poizkusili smo tudi osvetlitev z neonskimi svetilkami, ki pa so zaradi prevelike razpršenosti svetlobe onemogočale dobro zajemanje slik. Optimalne osvetlitve nam ni uspelo najti niti z različnimi usmeritvami svetlobe, med drugim tudi direktno na stopalo.

Prava rešitev je uporaba halogenskega reflektorja, ki s svojo močjo dobro osvetli celotno stopalo in ustvari najboljši kontrast med stopalom in okolico. Preden smo našli pravilno postavitev reflektorja smo naleteli na težavo. Na sliki so se pojavili odsevi luči, ki jih naš filter ni znal odstraniti. Problem smo poizkusili rešiti z otemnitvijo notranjosti zaboja, vendar se je s tem oslabila jakost osvetlitve na podplate. Kasneje smo ugotovili, da je za pridobitev najboljše osvetlitve potrebno reflektor usmeriti v sprednjo stranico škatle in nad njega (na steklo) postaviti desko. Ta svetlobi onemogoča osvetlitev okolice ter preusmeri sij na podplate, kjer ga tudi potrebujemo.

Na sliki 2.5 lahko vidimo merilni sistem nameščen v trgovini. Levi del slike predstavlja napravo, ko ta ni v uporabi, na srednjem delu so nosilci zunanjih kamer razprti, tak je izgled sistema v uporabi. Skrajno desna slika nam prikazuje napravo z osebo, kateri se izvaja meritev.



Slika 2.5: Sistem v uporabi.

# Poglavje 3

## Programska rešitev

### 3.1 Predstavitev problema

Uporabnik je zahteval enostavno uporabno rešitev, ki omogoča določene funkcionalnosti. Odločili smo se, da izdelamo enostaven uporabniški vmesnik, ki bo omogočal upravljanje s celotnim sistemom. V izbranem programskem orodju je bilo potrebno omogočiti uporabo kamer, obdelave slik in njihovo shranjevanje. Izdelati je bilo potrebno tudi podatkovno bazo, kar omogoča dostop do shranjenih podatkov. Za izdelavo aplikacije je bila ena izmed ključnih tehnologij računalniški ali strojni vid, ki ga bomo v nadaljevanju natančneje opisali.

### 3.2 Računalniški vid

Avtomatizacijo merjenja smo dosegli s pomočjo računalniškega vida. Računalniški vid je skupek tehnologij, ki poskušajo simulirati človeško sposobnost zaznavanja (videti). Tehnologija računalniškega vida se hitro razvija in je že presegla zahteve našega sistema. Nenehen razvoj tehnologij in algoritmov naj bi v prihodnosti pripeljal do tega, da bo računalniški vid postal zelo dobra zamenjava za človeške oči. Sicer pa se sistemi računalniškega vida uporabljajo za nadomeščanje človekovega vizualnega zaznavanja, na primer kontrole kva-

litete izdelkov, vodenje tehnoloških procesov, vodenje robotov, laboratorijskih analiz slik, opravljanje vsakodnevnih opravil in podobno. Zagotavljajo tudi ponovljivost postopkov in znižujejo stroške. V našem primeru bomo s pomočjo računalniškega vida segmentirali človeško stopalo in okolico.

### 3.3 Programska orodja

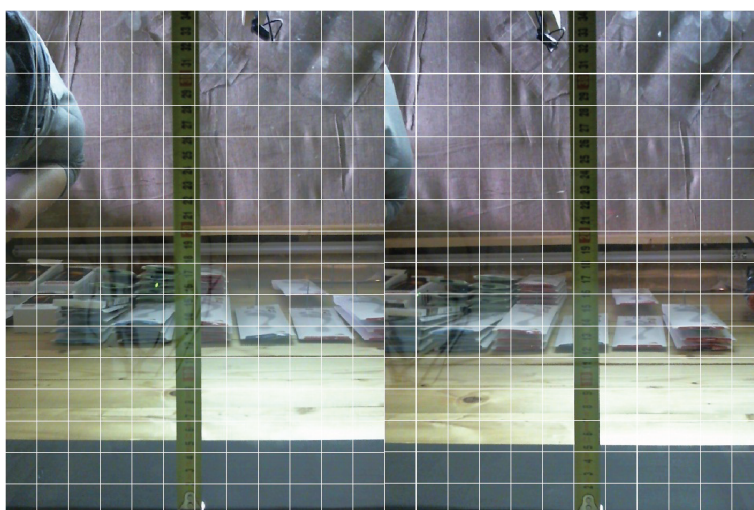
Za izdelavo aplikacije smo uporabili Microsoft-ovo orodje Visual Studio 2010 Express edition [7] in programski jezik C sharp [8]. C sharp je objektno orientiran programski jezik nove generacije, katerega prednosti so v enostavnosti, modernosti in namembnosti za splošno uporabo. Razvilo ga je podjetje Microsoft. Uporabili smo dinamične knjižnice EmguCV [9], openCV [10] in Aforge [11]. Knjižnice omogočajo snemanje, slikanje in obdelovanje slik. EmguCV je navzkrižna platforma, ki omogoča uporabo funkcij v več programih, v našem primeru uporabo OpenCV knjižnjice v C sharp. OpenCV se uporablja za obdelavo slik v aplikacijah, ki bazirajo na .NET. AForge je knjižnjica za računalniški vid in umetno inteligenco, ki jo je razvil Andrew Kirillov [12] za platformo .NET.

V nadaljevanju se bo veliko uporabljala izraz model RGB [13], zato je smiselno na kratko opisati kaj predstavlja. RGB je angleška kratica za »red«, »green« in »blue« (rdeča, zelena, modra), ki so tudi osnovne barve. Vsaka barva se lahko pojavi v 256 odtenkih. Barvo predstavimo v obliki (r, g, b), kjer so vrednosti parametrov od 0 do 255. Tako na primer (0,0,0) predstavlja črno barvo, (255,255,255) pa belo.

### 3.4 Kalibracija kamer

Kamere, ki slikajo podplate in s pomočjo katerih merimo, niso postavljene pravokotno na merjeni objekt. To povzroča popačenost slike in posledično različna razmerja med slikovnimi elementi in milimetri glede na lokacijo na sliki. Velikost barvnega elementa na spodnjem delu slike predstavlja

drugačno vrednost v milimetrih kot na zgornji strani. Da bi bili rezultati merjenj pravilni, je bilo potrebno kamere kalibrirati. Kalibracije smo se lotili tako, da smo na predvideno lokacijo stopal namestili merilno sredstvo in zajeli slike (glej sliko 3.1). Na sliko smo programsko narisali mrežo, ki označuje vsakih 40 slikovnih elementov. Nato smo iz slike razbrali koliko milimetrov predstavlja 40 slikovnih elementov na določenem predelu fotografije.



Slika 3.1: Kalibracijska slika merilne naprave.

Po analizi slik smo izdelali tabelo, ki nam glede na lokacijo na sliki prikazuje koliko milimetrov se nahaja v 40 slikovnih enotah (glej tabelo 3.1).

### 3.5 Segmentacija glede na barvo človeške kože

Za izvedbo pravih meritev moramo določiti kaj je stopalo in kaj je okolica. Zato smo se osredotočili predvsem na barvo človeške kože. V nadaljevanju bomo opisali razvoj algoritma in njegovo delovanje.

Algoritem, ki skrbi za segmentacijo, deluje po principu prepoznavanja odtenkov slikovnih elementov. Točke na sliki, ki predstavljajo stopalo, so bistveno svetlejšje od okolice in vsebujejo več rdeče barve. Nekateri odsevi

Desna kamera	Leva kamera
24	23
24	23
24	23
22	23
22	22
22	22
22	22
22	22
21	21
21	21
21	21
21	20
20	20
20	19
20	19

Tabela 3.1: Primerjalna tabela velikosti barvnih elementov glede na lokacijo na sliki.

zaboja so imeli podobno lastnost, vendar s to razliko, da vsebujejo več zelene barve. Določeni deli stopala, kjer človek podplat najbolj obremeni, se obarvajo izrazito rumeno, kar nam predstavlja zelo visoko vrednost rdeče barve.

Na podlagi omenjenih lastnosti smo izdelali filter, ki ločuje slikovne elemente, ki predstavljajo stopalo od okolice ali z drugimi besedami segmentira na osnovi barve človeške kože. Filter, ki preverja lastnosti je:

$$\mathbf{FILTER:} (rdečaBarva \geq thr1(zelenaBarva < rdečaBarva - thr2 || rdečaBarva \geq thr3)).$$

Napravo smo testirali na dveh lokacijah, kjer je bila svetloba okolice prilagojena napravi. Na obeh lokacijah so bile optimalne vrednosti lastnosti  $thr$  enake spodnjim:

$$thr1 = 125, thr2 = 15, thr3 = 200.$$

Algoritem, ki preverja lokacijo in velikost stopala, deluje po naslednjem principu. Preverjati začnemo v zgornji vrstici slike in se pomikamo navzdol. Vse slikovne elemente, ki jih filter ne prepozna kot stopalo, pobarvamo črno. Ko najdemo prvo vrstico na sliki, ki ni v celoti črna, to označimo kot možen začetek stopala, prvo naslednjo v celoti črno vrstico pa kot možen konec stopala. Nato preverimo ali je dolžina izmerjenega objekta krajša od 140 slikovnih elementov, kar je v našem primeru približno 8cm. Če je pogoj izpolnjen, to pomeni, da objekt ne more predstavljati človeškega stopala in postopek nadaljujemo s tisto vrstico, kjer smo prej končali. Podoben postopek se ponovi še iz leve proti desni strani, le da je pogoj za širino 100 slikovnih elementov (približno 5cm) in algoritem avtomatsko ignorira predele, ki jih je prvi postopek izključil.

Dolžino in širino opravimo s pomočjo tabele 3.1. Na primer, če je stopalo na sliki dolgo 500 slikovnih enot, potem v mreži zajema 12.5 vrstic. Zato je za dolžino v milimetrih potrebno sešteti vrednosti prvih dvanajstih vrstic tabele in polovico vrednosti trinajste vrstice v tabeli. Tako bi za desno stopalo dobili dolžino 255 mm, levo pa 253 mm.

## 3.6 Primer delovanja algoritma

Delovanje filtra bomo predstavili na naslednjem primeru. Ob pravilni osvetljavi se slikovni elementi, ki predstavljajo stopalo, močno poudarijo. To se kaže tako, da so njihove RGB vrednosti višje od tistih v okolici. Najprej algoritem preveri vrednost rdeče barve in če je ta višja od 125 enot (RGB lestvica od 0 do 255 enot), se slikovni element ohrani, v nasprotnem primeru pa se spremeni v črno barvo. Po dodanem prvem pogoju smo dobili obdelano sliko (glej sliko 3.2).

Drugi del odstranjuje nepravilnosti, ki nastajajo zaradi odsevov v zaboju. Odsevi so svetli in ustrezajo prvemu filtru, zato ostajajo na slikah. Od stopala se razlikujejo po vrednostih zelene barve. Odsevi vsebujejo skoraj več zelene kot rdeče barve. Z dodanim pogojem



Slika 3.2: 1. Faza obdelave slike s filtrom.

$$zelenBarva < rdečaBarva - 15$$

smo dosegli eliminacijo odsevov na sliki in dobili sliko 3.3.

Zadnji pogoj je povzročil novo težavo. Najbolj obremenjeni deli stopala imajo izrazito visoko RGB vrednosti. To včasih pripelje tudi do problema, da nam prej določeni pogoj izbrši dele stopala, ki bi sicer morali ostati na sliki. Vsi taki predeli imajo zelo visoko vrednost rdeče barve, zato smo s pogojem

$$rdečaBarva > 200$$

ohranili vse dele stopala, ki so bili izrezani po nepotrebnem. Obdelano sliko po dodanem pogoju prikazuje slika 3.4.



Slika 3.3: 2. Faza obdelave slike s filtrom.



Slika 3.4: 3. Faza obdelave slike s filtrom.

Ko so bili izpolnjeni vsi zgornji pogoji, so se po obdelavi slike še vedno pojavljale nepravilnosti. In sicer so na sliki ostajali slikovni elementi, ki niso del stopala. Za odstranitev teh nepravilnosti, smo dodali pogoj, ki izločuje vse skupine slikovnih elementov, kateri ne morejo predstavljati stopala. Algoritem deluje tako, da od zgoraj navzdol išče točko, ki bi lahko predstavljala del stopala. Če je skupek neprekinjenih točk manjši od  $140 \times 100$  slikovnih elementov, kar je v našem primeri približno  $8 \times 5$  cm, to pomeni, da točke ne morejo predstavljati stopala in jih lahko ignoriramo. Isti postopek ponovimo še iz leve proti desni. Z razliko, da preverjamo le predel, kjer je prejšnji postopek določil lokacijo stopala.

Končni rezultat (glej sliko 3.5) dobimo po obdelavi slike z algoritmom za segmentacijo na podlagi barve človeške kože.



Slika 3.5: Končni rezultat obdelave slike s filtrom.

### 3.7 Podatkovna baza

Za shranjevanje podatkov smo uporabili podatkovno bazo Microsoft SQL Server Compact (SQL CE) [14], ki je relacijska baza za aplikacije na mobilnih napravah in namizne aplikacije. Baza je vgrajena v programsko orodje Visual Studio.

V bazi imamo le tabelo »Stranka«, ki vsebuje 19 polj (glej sliko 3.6). Primarni ključ je zaporedna številka zapisa v bazi, imamo pa tudi ključ po imenu in priimku osebe, ki ji je bila opravljena meritev. V zapisu osebe hranimo še datum rojstva in datum meritve, vse dolžine, ki jih je program izmeril, poti do slik nog ter nekatere podatke o stopalih, ki niso vezana na naš program (številka čevlja, specifičnost tkiv).

Column	Operator	Value / Property
ime : nvarchar	↔	ime : String
datumrojstva : datetime	↔	datumrojstva : DateTime
stnoge : float	↔	stnoge : Double
stcevlja : float	↔	stcevlja : Double
opomba : nvarchar	↔	opomba : String
dolzinal : float	↔	dolzinal : Double
dolzinal : float	↔	dolzinal : Double
sirinal : float	↔	sirinal : Double
sirinal : float	↔	sirinal : Double
visinal : float	↔	visinal : Double
visinal : float	↔	visinal : Double
tkiva : nvarchar	↔	tkiva : String
datummeritve : datetime	↔	datummeritve : DateTime
potstopalod : nvarchar	↔	potstopalod : String
potstopalod : nvarchar	↔	potstopalod : String
potnartd : nvarchar	↔	potnartd : String
potnartl : nvarchar	↔	potnartl : String
potspredaj : nvarchar	↔	potspredaj : String
rec : int	↔	rec : Int32

Slika 3.6: Shema podatkovne baze.

Vsaka meritev za osebo ima pripadajoči zapis v bazi. Za dostop do njih uporabljamo LINQ [15], ki dodaja .NET platformi možnost poizvedbe v bazo (glej sliko 3.7). V aplikaciji se poizvedba naredi, ko uporabnik vnese ime in priimek, nato pa najdemo vse zapise z istim imenom in priimkom. Ker pa se lahko različne osebe isto imenujejo, razvrstimo zapise po datumu rojstva, nato pa še po datumu meritev za kronološki pregled stanja stopal. Za shranjevanje v bazo pa zapis preprosto dodamo s klicem funkcije *SaveChanges()*.

```
var stranke = from stranka in baza.Stranka
              where stranka.ime.ToLower() == ime.Text.ToLower()
              orderby stranka.datumrojstva ascending
              orderby stranka.datummeritve descending
              select stranka;
```

Slika 3.7: Programska koda poizvedbe v bazo.

## 3.8 Grafični uporabniški vmesnik

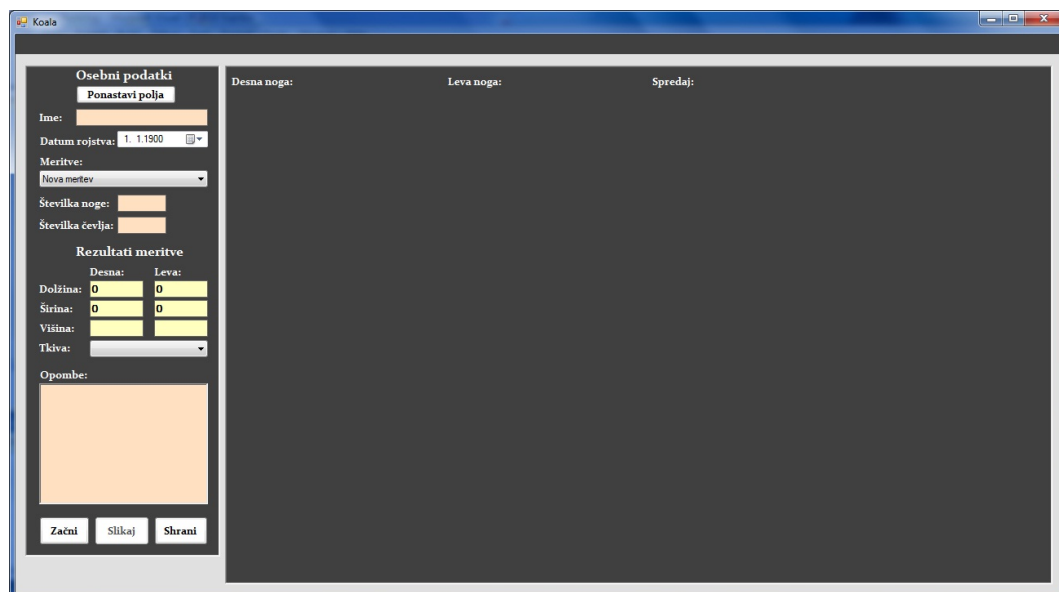
Grafični uporabniški vmesnik smo izdelali za uporabnika z relativno malo računalniškimi izkušnjami. Razdeljen je na dva dela. Leva stran nam predstavlja meni z gumbi in vnosnimi polji, na desni strani pa je prostor s slikovnimi polji, kamor se prikazujejo predogledi snemanja in posnete slike. Menijski del je razdeljen na osebne podatke in rezultate meritve. V prvi del uporabnik vpiše strankine osebne podatke, na podlagi katerih bo lahko kasneje shranil rezultate. Drugi del pa sestavljajo polja, v katere nam aplikacija izpiše rezultate opravljene meritve, pod rezultati pa imamo polje »Opombe« kamor lahko uporabnik zapisuje vse ostale pomembne podatke.

Gumbi »Začni«, »Slikaj« in »Shrani« nam omogočajo upravljanje s programom. »Začni« zažene kamere, da te pričnejo snemati stopala. Gumb »Slikaj« nam zaustavi snemanja, nato se izvedejo algoritmi, ki obdelajo slike ter izmerijo dolžino in širino stopala. »Shrani« nam pridobljene podatke shrani v podatkovno bazo in tako omogoči ponoven dostop do njih.

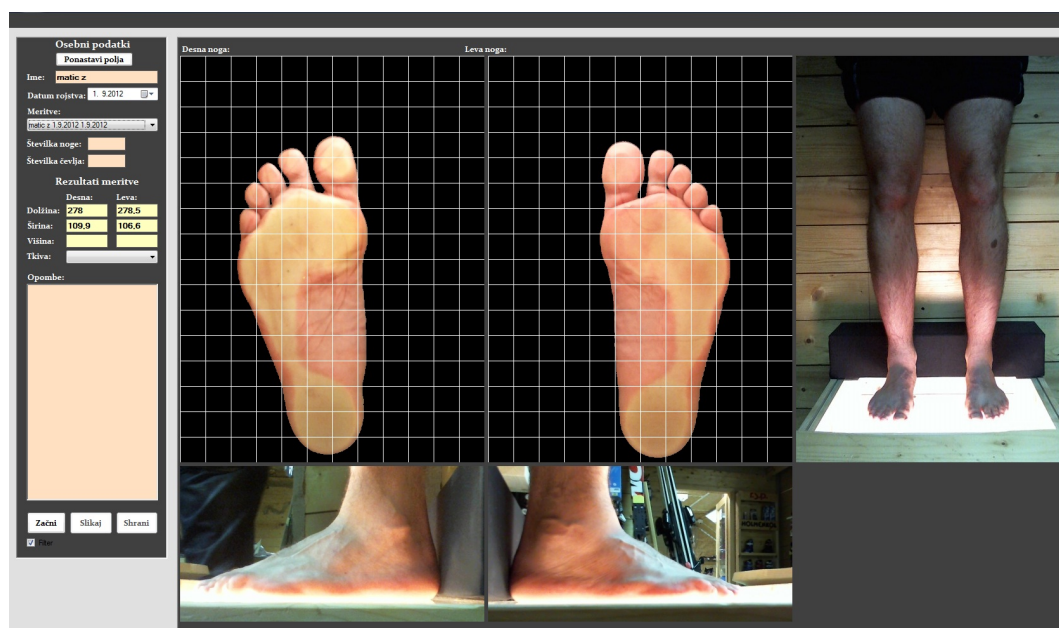
Slika 3.8 prikazuje grafični uporabniški vmesnik pred uporabo, ko ne vsebuje podatkov in slik, naslednja (glej sliko 3.9) pa vmesnik po merjenju.

## 3.9 Primer uporabe

Če se ob zagonu programa ne pojavi nobena napaka, to pomeni, da so kamere pravilno priklopljene in pripravljene na uporabo. Na levi strani uporabniškega vmesnika imamo niz gumbov in polj za besedila, s katerimi upravljamo aplikacijo. Z gumbom »Začni« aktiviramo kamere in pričnemo s



Slika 3.8: Grafični vmesnik pred uporabo.

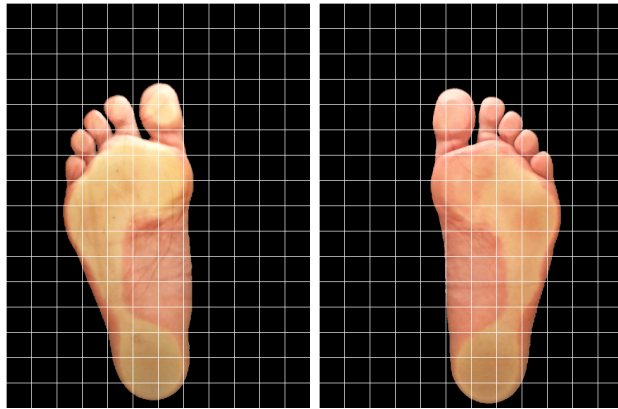


Slika 3.9: Grafični vmesnik po uporabi.

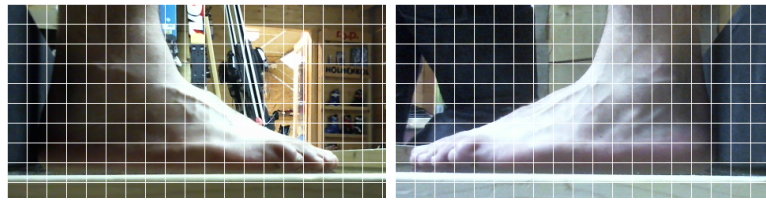
snemanjem. Stranko postavimo na napravo. Slikovna polja nam prikazujejo slike stopal, ki jih bomo posneli. V tej fazi imamo možnost vnaprej predvideti kakšne slike bomo zajeli in se odločiti ali nam ustrezajo ali ne. Če nam postavitev stopal ne ustreza, jih lahko pred slikanjem prestavimo. Pred uporabo gumba »Slikaj«, je v polja potrebno vnesti zahtevane podatke. Obvezna sta ime in priimek ter datum rojstva (identificirata posamezno stranko) opcijski pa številka noge (velikost, ki jo zaupa stranka) in številka čevlja (velikost smučarskega čevlja, ki ga je oseba do tedaj uporabljala). Od tu naprej sta možni dve napredovanji, če se stranka meri prvič in njenih podatkov še ni shranjenih, se v kombinirani izvlečni listi izbere opcija nova meritve. Če pa so njeni podatki že shranjeni, nam poleg možnosti nove meritve predlaga pregled obstoječih, ki so ločeni po datumu meritve. Če gre za novo merjenje in ne samo za pregled obstoječih podatkov, izberemo opcijo nova meritve in nadaljujemo s postopkom. Po stisku gumba »Slikaj«, nam aplikacija prikaže obdelane slike (obrezani podplati, merilni sistem na profilnih slikah), ter izmeri dolžino in širino stopala. Višine narta program ne meri samodejno, kajti glede na specifičnost meritve in raznolikost stopal pri ljudeh je uporabnik želel, da sam določi višino in jo vpiše ročno. Pod polji z rezultati imamo še eno listo, ki nam omogoča izbor tkiv, ta so lahko visoka, srednja ali nizka. Večje tekstovno polje »Opombe« je namenjeno uporabnikovim komentarjem, ki bi mu utegnili pomagati ob ponovnem pregledu stranke. Če smo po opravljeni meritvi in vnosu podatkov zadovoljni, jih z gumbom »Shrani« pošljemo v podatkovno bazo, kar nam omogoča njihov ponoven pregled.

Meritveni postopek izgleda tako, da se oseba postavi na zaboj. Ob zagonu kamer vidimo postavitev nog, ki jo lahko malce prilagodimo. Ko nam postavitev stopal ustreza, zajamemo slike. Obdelava podatkov traja približno 2 sekundi, potem pa se rezultati s slikami prikažejo v njim namenjenih poljih. Prikazane podatke lahko na tem mestu shranimo ali pa preprosto zavržemo. Čas meritve, skupaj z vpisovanjem podatkov, traja približno eno minuto, kar je občutno manj kot z mehanskim merjenjem.

Rezultat obdelanih slik si lahko ogledamo na slikah 3.10, 3.11 in 3.12.



Slika 3.10: Obdelani sliki podplatov.



Slika 3.11: Obdelani profilni sliki stopal.



Slika 3.12: Frontalna slika postavitve nog.

## Poglavje 4

# Ovrednotenje natančnosti merilnega sistema

Poleg avtomatizacije merjenja je zelo pomembna lastnost naprave tudi njena natančnost, ki smo jo ovrednotil s postopkom analize rezultatov. V poglavju bomo opisali postopke, ki smo jih uporabili ter prikazali primerjavo z ročnim merjenjem.

Sestavni del meritev so tudi merske napake, zato bomo naredili primerjavo med napakami, ki jih naredi človek s tistimi, ki jih naredi naprava. Trenutno obstaja veliko mehanskih merilnih naprav za stopala. Vendar imajo tudi mehanske mere odstopanja. Glavni inštrument, ki smo ga uporabljali za merjenje nog je bil navaden meter. Kot zanimivost lahko povemo, da originalne merilne naprave za stopala, ki jih podjetja, ki izdelujejo smučarske čevlje, uporabljajo za izmero nog, odstopajo od standardnega metra tudi za 1cm. Če izpostavimo naprave, ki smo jih imeli možnost preizkusiti, lahko povemo, da z merjenjem ene noge s tremi različnimi merilnimi napravami dobimo tudi tri različne rezultate. V primeru, da človek kateremu se meri stopalo stoji, so rezultati presenetljivo drugačni od tistih, ko posameznik sedi. Pomembno je tudi težišče telesa in še bi lahko naštevali.

Ker je razlika med napravami prevelika, smo se odločili, da bomo ročne meritve izvajali na naši napravi tako, da na sprednji del stopala pristonimo

desko in s pomočjo standardnega metra izmerimo dolžino med deskami.

## 4.1 Analiza rezultatov

Za uporabnika sistema je zelo pomemben podatek, kakšna je njegova natančnost. Problem pa je, da je natančnost težko opredeliti, saj ne vemo kateri rezultat je pravilen. Dober pokazatelj zmogljivosti sistema je njegova primerjava z ročnim merjenjem. Ker pa ročno merjenje ne izvajajo vse osebe na isti način, smo se odločili, da v eksperimentu nastopa več oseb, ki bodo izvajale meritve.

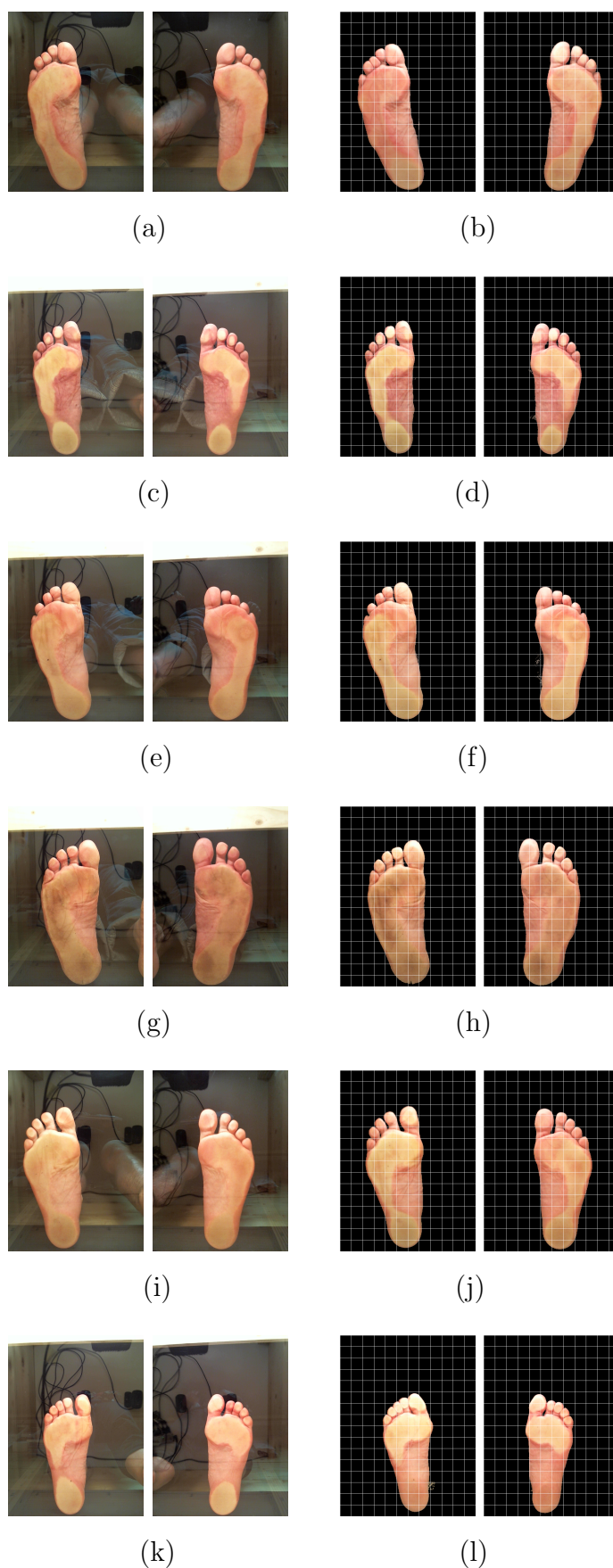
Izbrali smo šest ljudi, ki so si med seboj merili stopala. Vsako stopalo je bilo izmerjeno petkrat, vsakič pa je meritev opravljala druga oseba. Osebe niso vedele za rezultate drugih sodelujočih, saj bi lahko drugače rezultate med seboj prilagajale. Vsakemu sodelujočemu smo štirikrat izmerili stopalo še z našo napravo tako, da je med vsako meritvijo napravo zapustil in se nato nanjo ponovno postavil. Med posameznimi ročnimi merjenji oseb bo merjenec stal nepremično, kar bo dalo mehanskemu merjenju manjšo prednost. Medsebojna primerjava rezultatov nam bo pomagala določiti, kateri način merjenja se izkaže za boljšega.

V naladnjevanju bomo prikazali slike vseh oseb, ki so sodelovala pri merjenju (glej slike 4.1).

V tabeli 4.1 so prestavljeni rezultati merjenj. Posamezna vrstica predstavlja rezultate za določeno osebo, stolpci pa ponazarjajo katera oseba je meritev naredila. Zadnji stolpec vsebuje štiri rezultate, ki so bili opravljeni z merilnim sistemom. Rezultati so ločeni za desno in levo nogo.

Tabela 4.2 prikazuje največja odstopanja med meritvami in povprečno odstopanje.

Iz tabele 4.2 je lepo razvidno, da je odstopanje naprave skoraj vedno enako. Kljub temu, da so se osebe, katerim se je merilo stopala, vsakič posebej postavile na napravo. Na podlagi rezultatov predstavljenih v tabeli težko določimo, katera naprava je boljša, ker pri naših rezultatih ni mogoče



Slika 4.1: Slike stopal oseb, ki so nastopale v analizi pred in po obdelavi.

	Oseba 1	Oseba 2	Oseba 3	Oseba 4	Oseba 5	Oseba 6	Merilni sistem
Oseba 1		D: 28,9 L: 28,9	D: 29,0 L: 29,0	D: 29,2 L: 29,2	D: 29,0 L: 29,0	D: 28,9 L: 28,9	D: 29,0; 28,9; 29,0; 29,0 L: 29,1; 29,0; 29,0; 29,0
Oseba 2	D: 26,3 L: 26,2		D: 26,4 L: 26,1	D: 26,2 L: 26,2	D: 26,3 L: 26,2	D: 26,2 L: 26,1	D: 26,4; 26,3; 26,3; 26,3 D: 26,2; 26,2; 26,3; 26,2
Oseba 3	D: 27,1 L: 26,8	D: 26,9 L: 26,7		D: 27,0 L: 26,9	D: 26,9 L: 26,8	D: 27,0 L: 26,9	D: 27,2; 27,3; 27,1; 27,2 L: 26,9; 26,9; 26,8; 26,8
Oseba 4	D: 28,4 L: 29,0	D: 28,5 L: 28,9	D: 28,2 29,0		D: 28,6 L: 29,0	D: 28,4 L: 28,9	D: 28,2; 28,2; 28,2; 28,2 L: 28,9; 28,9; 28,9; 28,8
Oseba 5	D: 27,9 L: 27,9	D: 27,9 L: 27,8	D: 27,7 27,8	D: 27,9 D: 27,8		D: 27,9 L: 27,9	D: 27,8; 27,7; 27,8; 27,8 L: 27,9; 27,8; 27,8; 27,9
Oseba 6	D: 23,6 L: 24,0	D: 23,6 L: 24,0	D: 23,8 24,1	D: 23,8 D: 24,0	D: 23,7 L: 23,9		D: 23,6; 23,6; 23,7; 23,6 L: 24,0; 24,0; 24,0; 24,0

Tabela 4.1: Prikaz rezultatov ročnih in programskih merjenj.

	Največje odstopanje pri osebah	Največje odstopanje pri napravi
Oseba 1	D: 0,3 L: 0,3	D 0,1 L: 0,1
Oseba 2	D: 0,2 L: 0,1	D 0,1 L: 0,1
Oseba 3	D: 0,2 L: 0,2	D 0,2 L: 0,1
Oseba 4	D: 0,4 L: 0,1	D 0,1 L: 0,1
Oseba 5	D: 0,2 L: 0,1	D 0,1 L: 0,1
Oseba 6	D: 0,2 L: 0,2	D 0,1 L: 0,0
Povprečne vrednosti	D: 0,25 L: 0,17	D 0,1166 L: 0,10833

Tabela 4.2: Prikaz največjih odstopanj med meritvami.

	Povprečna vrednost meritev oseb	Varianca merjenj oseb	Povprečna vrednost meritev naprave	Varianca merjenj naprave
Oseba 1	D: 29,00 L: 29,00	D: 0,0120 L: 0,120	D: 28,98 L: 29,04	D: 0,0019 L: 0,0019
Oseba 2	D: 26,28 L: 26,16	D: 0,0056 L: 0,0024	D: 26,34 L: 26,26	D: 0,0019 L: 0,0019
Oseba 3	D: 26,98 L: 26,82	D: 0,0056 L: 0,0056	D: 27,20 L: 26,85	D: 0,0050 L: 0,0025
Oseba 4	D: 28,42 L: 28,96	D: 0,0176 L: 0,0024	D: 28,20 L: 28,88	D: 0,0000 L: 0,0019
Oseba 5	D: 27,86 L: 27,84	D: 0,0064 L: 0,0024	D: 27,78 L: 27,85	D: 0,0019 L: 0,0025
Oseba 6	D: 23,70 L: 24,00	D: 0,0080 L: 0,0040	D: 23,63 L: 24,00	D: 0,0019 L: 0,000
Povprečne vrednosti		D: 0,0092 L: 0,0036		D: 0,0021 L: 0,0015

Tabela 4.3: Prikaz povprečnih vrednosti meritev in variance.

določiti, kateri je pravilen.

Lahko pa kvaliteto primerjamo s pomočjo variance. Izračunali bomo katere vrednosti manj odstopajo od povprečne meritve in s tem prikazali, katera naprava se v povprečju manj zmoti. Rezultate izračunov prikazuje tabela 4.3.

Formula za izračun variance:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}$$

Kot vidimo v tabeli 4.3 so vrednosti variance pri posameznih meritvah oseb večje kot pri merilni napravi. Nižja je tudi povprečna vrednost variance pri merilni napravi kot pri osebah, kar dokazuje da so meritve sistema bolj

konsistentne. Glede na specifiko problema je izračun variance skoraj edini realni pokazatelj, kvalitete sistema. Dokazali smo, da naša naprava v povprečju večkrat izmeri isto dolžino kot človek, zato lahko predpostavio, da je računalniško merjenje boljše od mehanskega.

# Poglavje 5

## Zaključek

Izdelali smo sistem za avtomatsko merjenje stopal. Aplikacija omogoča vpisovanje osebnih podatkov strank in opomb uporabnika, katere skupaj z rezultati meritev in zajetimi slikami shranjuje v podatkovno bazo. Aplikacija omogoča dostop do podatkov kadarkoli v prihodnosti, kar ob večkratnih meritvah isti osebi omogoča primerjavo rezultatov za lažje reševanje problemov. Funkcionalnost naprave se bo glede na zahteve uporabnika dopolnjevala, zato je smiselno opisati alternativne rešitve problema in možne nadgradnje sistema.

Praktično vse sorodne naprave na trgu za merjenje in slikanje stopal uporabljajo optični čitalec namesto barvnih kamer. Podobne rešitve smo se sprva domislili tudi sami, kajti optični čitalec ima svoj vir svetlobe, ki nam osvetli le dele stopala, ki se dotikajo stekla oziroma so v njegovi neposredni bližini. Problem in kasneje tudi razlog, da se za to rešitev nismo odločili, je bil ta, da nam navaden A4 čitalec omogoča merjenje nog dolgih le 29cm, kar pa uporabniku ni zadostovalo. Možna rešitev bi bila uporaba čitalca formata A3, vendar nam je veliko oviro predstavljala njegova cena. Ker je bila uporabnikova želja, da sistem izdelamo v najkrajšem možnem času, smo se domislili rešitve z barvnimi kamerami.

Sistem trenutno avtomatsko meri samo širino in dolžino stopala. Možno bi bilo realizirati tudi merjenje višine narta, vendar ne popolnoma avtomat-

sko. Ker se profili človeških stopal zelo razlikujejo, bi bilo smiselno realizirati polavtomatsko merjenje. Ideja bi bila, da bi uporabnik sam določil točko na profilni sliki in s pomočjo te točke dobil dolžino med steklom na katerem je položena noga in točko označeno na sliki. Ta dolžina bi predstavljala višino narta na lokaciji, ki bi jo uporabnik izbral sam.

Ena izmed zelenih nadgradenj je tudi meritev naklona frontalne postavitve nog. Kot smo v enem izmed prejšnjih poglavij že omenili, obstaja več specifik kako ljudje stojijo. Nekateri imajo kolena točno nad stopali, drugi pa pomaknjena navznoter ali navzven. Ta podatek sicer ni ključnega pomena pri rekreativnih smučarjih, pri tekmovalcih pa je zelo pomemben. Ena izmed storitev servisa za smučarske čevlje je tudi brušenje podplatov na čevlju. Z brušenjem določijo stopinje pod katerimi se čevlji prilaga na smuči. Z brušenjem dosežejo pravilno postavitev in s tem izničijo naklon nog. Če bi program omogočal merjenje naklona človeške noge, bi bil ta podatek v pomoč pri modifikaciji čevlja. Ker merjenje naklona zahteva veliko natančnost, bi bilo potrebno stranki, kateri bi želeli izmeriti naklon nog, na sredino gležnja in na kolena ročno označiti točki. Če bi namesto mehanskega označevanja stvar želeli rešiti računalniško, obstajajo možnosti, da pride do napačnega rezultata. Ker so odstopanja majhna, bi morala biti natančnost toliko večja. Obstajajo mehanske naprave s pomočjo katerih se izmeri točno sredino gležnja ali kolena in če bi ti točki označili z barvo, ki bi jo kamere prepoznale, bi bila realizacija take meritve enostavna.

Vsekakor je možnih rešitev za izdelavo podobnega sistema veliko. Mi smo razvili sistem, ki deluje dobro, uporabnik je z njim zadovoljen in ga že nekaj časa uporablja v svoji trgovini, specializirani za prodajo smučarskih čevljev. ček

# Literatura

[1] (2012) Merilna naprava znamke Conformable. Dostopno na:  
<http://www.edgeandwax.co.uk/blog.aspx?tag=prefit>

[2] (2012) Merilna naprava znamke Pedaq. Dostopno na:  
<http://www.pedag.de/en/ortho-systems/measurement.html>

[3] (2012) Merilna naprava MotionQube. Dostopno na:  
<http://www.mar-systems.co.uk/video-software-3/motionquest/motionquest-running-station>

[4] (2012) Merilna tehnologija podjetja Aertex, naprava iStep. Dostopno na: <http://www.aetrex.com/pages/iStep-Technology.html>

[5] (2012) Spletna kamera znamke Logitech. Dostopno na:  
<http://www.logitech.com/en-hk/webcam-communications/webcams/7794>

[6] (2012) Halogenski reflektor. Dostopno na:  
<http://www.merkur.si/dodatki/svetila-in-baterije/gradbena-in-delavniska-svetila/halogenski-reflektor-lumi-light-nx-78a-beli-fl-150-150w-halogen.html>

[7] (2011) Visual studio 2010. Dostopno na:  
<http://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/aa718325.aspx>

- [8] (2011) Programski jezik C sharp. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/C\\_Sharp\\_\(programming\\_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_(programming_language))
- [9] (2012) EmguCV. Dostopno na:  
[http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page)
- [10] (2012) OpenCV. Dostopno na:  
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [11] (2012) Aforge. Dostopno na:  
<http://code.google.com/p/aforge/>
- [12] (2012) Avtor Aforge Andrew Kirillov. Dostopno na:  
<http://www.codeproject.com/Members/Andrew-Kirillov>
- [13] (2012) Barvni model RGB. Dostopno na:  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Barvni\\_model\\_RGB](http://sl.wikipedia.org/wiki/Barvni_model_RGB)
- [14] (2012) Podatkovna baza Microsoft SQL Server Compact (SQL CE).  
Dostopno na:  
<http://msdn.microsoft.com/en-us/data/ff687142.aspx>
- [15] (2012) Linq. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Language\\_Integrated\\_Query](http://en.wikipedia.org/wiki/Language_Integrated_Query)