

Marika Koivisto

PUHUVA PISTELASKUJÄRJESTELMÄ NÄKÖVAMMAISILLE
KEILAAJILLE

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma

Ylempi AMK

2011

PUHUVA PISTELASKUJÄRJESTELMÄ NÄKÖVAMMAISILLE KEILAAJILLE

Koivisto, Marika
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Syyskuu 2011
Ohjaajat: Auramo, Yrjö; Karinharju, Kati
Sivumäärä: 67
Liitteitä: 0

Asiasanat: konenäkö, näkövammaiset, keilailu, apuvälineet

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia, miten voitaisiin toteuttaa puhuva pistelaskin näkövammaisen keilailijan harrastuksen tueksi. Tätä kautta tavoitteena oli lisätä toiminnallista esteettömyyttä Satakunnan alueen keilahalleissa.

Keilailu on lajina helppo harrastus aloittaa, sillä kengät ja pallon saa vuokrattua keilahallilta. Täysin sokea harrastaja tarvitsee lisäksi keilapuomin, jonka avulla hän saa suunnattua pallon keilaradalle. Tämän päivän näkövammaiskeilailussa tärkein osatekijä on avustaja. Heiton jälkeen avustaja kertoo keilaajalle, mitkä keilat jäivät pystyyn ja mikä oli tulos.

Opinnäytetyön toteutusprosessi oli samaan aikaan sekä tieteellistä tutkimusta että kehittämistyötä, joten se oli tutkimuksellista kehittämistä. Reaalimaailman ongelman ratkaisemiseksi käytettiin konstruktivistista tutkimusmenetelmää. Mahdollisimman käyttäjäystävällisen innovaation kehittämiseksi apuna käytettiin kuntapäätöksissäkin käytettävää ihmisiin kohdistuvien vaikutusten ennakoarviointia.

Työn aikana tutustuttiin näkövammaisia tukeviin tieteenaloihin, kuten puhesynteesiin ja kuvankäsittelyyn. Pistelaskimessa näitä tieteenaloja hyödynnettiin, kun selvitettiin miten kaapattu kuva muutetaan analysoitavaksi dataksi, sitten tekstiksi ja lopulta puhesyntetisaattorin avulla puheeksi. Ohjelmistotuotannossa käytetyn vaatimusanalyysin avulla selvitettiin ne tavoitteet, jotka pistelaskimen täytyi toteuttaa. Toteutuksen teknisiä puitteita kartoittamalla selvitettiin tekniikan nykytila ja paras tapa järjestelmän toteuttamiseksi.

Tutkimuksen tuloksena onnistuttiin ideoimaan uusi apuväline, jonka käyttö riippuu etupäässä käyttäjästä itsestään. Edullinen web-kamera on potentiaalinen vaihtoehto kuvan analysointiin, mutta hieman laadukkaammalla kameralla saadaan tarkempia tuloksia. Eniten tulosten laatuun vaikutti kuvankäsittelyssä tehdyn segmentoinnin onnistuminen. Käyttäjä oli tyytyväinen ohjelmiston käytettävyyteen. Apuvälinettä on kuitenkin vielä jatkokehittävä, jotta siitä saataisiin aikaan toimiva. Vasta kun apuväline on ollut jonkin aikaa käytössä, pystytään arvioimaan lopullista onnistumista.

SPEAKING SCORING SYSTEM FOR BLIND BOWLERS

Koivisto, Marika

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Welfare Technology

September 2011

Supervisors: Auramo, Yrjö; Karinharju, Kati

Number of pages: 67

Appendices: 0

Keywords: computer vision, visually impaired, bowling, assistive devices

The purpose of this thesis was to do a research how the speaking scoring system for blind bowlers could be produced. The aim was to increase accessibility and participation bowling centers in Satakunta area by helping blind people to bowl independently.

As a hobby, bowling is easy to start, because you can borrow shoes and ball from bowling centre. The guide rail, which is used to align blind bowler with the center of the lane, makes blind bowling possible. As there is no assistive device in use in the blind bowling today, the assistant informs bowler how roll succeeded.

Implementation of this thesis was scientific research and development in the same time. Constructive research approach was used to solve this real-world problem. Aim was to innovate as user friendly assistive device as possible. A few possible solution alternatives were innovated and then the best model was selected by evaluating their values for end user.

During the research it was investigated how the speech synthesis and the image processing can help blind people in their life. In the scoring system these sciences were also used. Software modifies images to easier form to analyze. After that, the software analyzes images to get the information which pins are standing and calculates the score. Then pin information is outputted to a graphic user-interface, from where the screen reading software reads the data and converts it to speech.

As a result of this thesis, a new assistive device was innovated. The use of the device depends mostly on user. This research has shown that low cost web camera has the potential for image processing, but with better camera the results were better. However, segmentation of the picture was the key issue on quality. User was satisfied on the accessibility of the software. There is still plenty to do with the device, before it can be taken into the use. After the device has been in use for a while, it is possible to evaluate the final success of the development process.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LYHENTEET JA TERMIT	7
3	TYÖN LÄHTÖKOHDAT	8
3.1	Työn tausta, tarkoitus ja tavoitteet.....	8
3.2	Keilailu harrastuslajina	9
3.2.1	Keilailun historiaa	9
3.2.2	Näkövammaisten keilailu.....	10
3.3	Sataesteetön-hanke.....	10
3.4	Toiminnallinen esteettömyys.....	11
3.5	Apuvälineen potentiaalinen käyttäjäkunta.....	12
4	TUTKIMUSMETODIN VALINTA	13
4.1	Tieteellinen tutkimus vs. kehittämisprojekti.....	13
4.2	Tutkimusongelmat ja tutkimusmenetelmän valinta.....	15
4.3	Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi (IVA).....	17
4.4	Aineiston kerääminen	17
4.5	Toteutuksen aikataulu	18
5	NÄKÖVAMMAISIA TUKEVIA TIETEENALOJA.....	19
5.1	Puhesynteesi.....	19
5.2	Kuvankäsittely	21
6	AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA	23
6.1	Ohjelmistojen käytettävyys ja saavutettavuus	23
6.2	Ohikulkijoiden laskenta tietokonenäön avulla.....	24
6.3	Lajittelujärjestelmä	25
6.4	Web-kamera lintujen tunnistuksessa	27
6.5	Näkövammaisten apuvälineet.....	27
7	VAATIMUSANALYYSI	28
7.1	Vaatimusanalyysin soveltaminen tutkimuksessa.....	28
7.2	Keilailun pistelasku ja säännöt	29
7.3	Käyttäjän toiveet	31
7.4	Käyttöliittymän lisävaatimukset	31
7.5	Näkövammaisten tietoteknisiä apuvälineitä	32
7.5.1	Ruudunlukuohjelmat	32
7.5.2	Puhesyntetisaattorit	33
7.5.3	Muita apuvälineitä.....	33
7.6	Toisista tutkimuksista tehdyt johtopäätökset.....	34
7.7	Olemassa olevat ratkaisut	36

8	TOTEUTUKSEN TEKNISET PUITTEET	37
8.1	Keilatiedon saaminen keilahallin keilailujärjestelmästä.....	37
8.2	Vaihtoehtona ohjelmoitavat logiikat.....	39
8.3	Tiedonsiirtotavat	39
8.4	Käyttöjärjestelmät.....	40
8.5	Avoimen lähdekoodin ohjelmistot eli avoimet ohjelmistot.....	40
8.6	Ohjelmointiympäristöt ja -kielet.....	41
8.7	Kuvan analysointiin tarkoitetut kirjastot.....	43
9	TOTEUTUSTAVAN JA YMPÄRISTÖN VALINTA	44
9.1	IVA-arviointi.	44
9.1.1	Vaihtoehtojen kuvaus.....	45
9.1.2	Vaikutusten tunnistus	46
9.1.3	Vaihtoehtojen vertailu	49
9.1.4	Ennakoarvioinnin tulokset ja käyttäjän valinta	51
9.2	Ohjelmointiympäristö	52
9.3	Qt:n tarjoama esteettömyysrajapinta	53
10	PISTELASKIN.....	54
10.1	Järjestelmän toiminnallinen kuvaus.....	54
10.2	Testaus ja pilotointi.....	56
10.2.1	Testiympäristö.....	56
10.2.2	Matkan varrella kohdattuja ongelmia	57
11	YHTEENVETO	60
11.1	Tutkimustulosten yhteenveto ja johtopäätökset.....	60
11.2	Tutkimuksen arviointi.....	61
11.3	Jatkokehitys ja tulevaisuudennäkymät.....	62
	LÄHTEET.....	64
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Eettisesti ajatellen koko yhteiskunnan tulisi olla kaikille avoin, aivan kuten YK:n vammaisten vuoden 1981 tunnuslauseessa sanottiin: "Full participation and equality" (täysi osallistuminen ja tasa-arvo) (United Nations Enabled www-sivut 2011). Näin myös harrastusmahdollisuuksien tulisi olla kaikille yhdenvertaisia ja yhtä helposti kaikkien saatavissa. Tähän velvoittavat myös perustuslaki, laki yhdenvertaisuudesta ja vammaispalvelulaki. (Yhdenvertaisuuslaki 21/2004, 6§; Perustuslaki 731/1999 6 §; Vammaispalvelulaki 380/1987 1§.)

Vaikka kaikilla pitäisi olla yhdenvertainen oikeus harrastaa, näin ei kuitenkaan aina ole. Esteen tasavertaiselle harrastamiselle voi muodostaa esimerkiksi harrastuspaikalle pääsyn vaikeus, ymmärtämisen vaikeus, apuvälineen puuttuminen tai avustajan puute. Viimeaikoina on myös Suomessa alettu kiinnittämään huomioita yleisen saavutettavuuden parantamiseen. Siitä huolimatta palvelujen tuottajat eivät aina ota huomioon palvelujensa saavutettavuutta. (Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry 2010; Kuluttajatutkimuskeskus 2010.)

Tämän opinnäytetyön puitteissa tutkittiin, miten vaikeasti näkövammaisen voisi harrastaa keilailua mahdollisimman tasavertaisesti. Tutkimuksen tulosten avulla kehitettiin apuvälineeksi ohjelmisto, joka mahdollistaa näkövammaisen omatoimisen keilailun sanelemalla kaadettujen keilojen numerot ja tuloksen käyttäjälle.

Ohjelmistojen käytettävyyttä on pyritty arviomaan jo jonkin aikaa, mutta saavutettavuuden arvioinnissa on vielä puutteita. Saavutettavuusarviomenetelmiä on kehitetty pääasiassa verkkosivuille. Ohjelmistosuunnittelijat eivät luo esteitä tahallaan, he eivät vain ajattele, että ohjelmistoja voisi käyttää myös muulla tavalla kuin he itse käyttävät. Monelle ohjelmistosuunnittelijalle on yllätys, että näkövammaiset käyttävät tietokonetta. Ohjelmiston tilaaja voi ajatella, ettei heidän asiakkaissaan ole vammaisia. (Tanaka, Bim, & Rocha 2005.) Tässä tutkimuksessa pyrittiin ottamaan näkövammaisen käyttäjä huomioon ja toteuttaa mahdollisimman saavutettava ohjelmisto.

2 LYHENTEET JA TERMIT

.NET	Ohjelmistokomponenttikirjasto
Android	Puhelimille ja muille mobiililaitteille suunniteltu avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmä.
API	Application programming interface. Ohjelmointirajapinta, jonka avulla eri ohjelmat voivat keskustella keskenään.
AT-asiakas	AT- (Accessibility technology) eli saavutettavuusteknologiaa käyttävä ohjelma.
AT-palvelin	AT- (Accessibility technology) eli saavutettavuusteknologiaa tarjoava ohjelma.
AVI	Audio Video Interleave. Tiedostomuoto, joka voi sisältää kuvaa ja ääntä.
BSD	Vapaa ohjelmistolisenssi.
C/C++/C#	Ohjelmointikieli.
CMake	Työkalu ohjelmakoodin kääntämiseen, testaamiseen ja paketointiin.
Delphi	Ohjelmointikieli ja -ympäristö.
Dilaatio	Häiriönpoistomenetelmä.
GNU	GNU's Not Unix. Projekti, jonka tavoitteena on kehittää täysin vapaa käyttöjärjestelmä.
GPL	GNU General Public License. GNU-projektin yleinen lisenssi.
Eroosio	Häiriönpoistomenetelmä.
Histogrammi	Tässä: Värisävyjen tilastollinen jakauma.
ISO Latin	Tietokoneissa ja tietoliikenteessä käytettävä ISO standardoitu merkitseminen.
IVA	Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointimenetelmä.
IYUV	Videokuvan pakkausmuoto.
Java	Sun Microsystemsin kehittämä oliopohjainen ohjelmointikieli ja -ympäristö.
Keilapatteri	Kymmenen keilan muodostama tasasivuinen kolmio, jonka kärkikeila on kohti keilaajaa.
Kynnystys	Segmentointimenetelmä, jossa kuvan sävyjen määrää vähennetään esimerkiksi valkoiseen ja mustaan.
LGPL	GNU Lesser General Public License. GNU-projektin ohjelmistolisenssi.
Linux	Linux-ydintä käyttävien vapaan lähdekoodin käyttöjärjestelmien perhe.

Mac OS X	Applen kehittämä Unix-pohjainen käyttöjärjestelmäperhe Macintosh-tietokoneisiin.
MSAA	Microsoft Active Accessibility. Esteettömyysrajapinta Windows-käyttöjärjestelmissä.
OpenCV	Open Source Computer Vision Library. Intelin kehittämä, konenäkösovellusten kehittämiseen tarkoitettu kirjasto.
OSI	Open Source Initiative. Yhteisö, jonka tarkoitus on kasvattaa tietoisuutta avoimen lähdekoodin hyödyistä.
Qt	Ohjelmistojen ja graafisten käyttöliittymien tekemiseen tarkoitettu kehitysympäristö.
ROI	Region of interest. Kuvan intressialue.
SAPI5	Speech Application Programming Interface. Rajapinta, joka mahdollistaa puheen ohjelmoinnin Windows-ympäristössä.
Ubuntu	Ilmainen Linux-käyttöjärjestelmän jakelupaketti.
Unicode	Tietokonejärjestelmien merkistöstandardi.
Unix	Laitteistoriippumaton käyttöjärjestelmä.
USB	Universal Serial Bus. Sarjamuotoinen väylä, jonka kautta laitteet voivat kommunikoida keskenään.
Windows	Microsoftin Windows on PC:ille ja mobiililaitteille tarkoitettujen käyttöjärjestelmien perhe.
X11	Bittikarttanäytölle kehitetty siirrettävä ja verkkoläpinäkyvä ikkunointijärjestelmä, jota käytetään esimerkiksi Unixissa.
XML	Extensible Markup Language. Metakieli, jonka avulla voidaan kuvata rakenteista tietoa.

3 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

3.1 Työn tausta, tarkoitus ja tavoitteet

Porissa asuva näkövammaisen keilaaja on useamman vuoden ajan pyytänyt apuvälinettä keilailunsa tueksi. Hänen toiveenaan on ollut puhuva pistelaskin. Taloudellisista syistä ei keilahalli eikä mikään muukaan taho ole pystynyt sellaista toteuttamaan (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010). Sataesteetön-hankkeen yhteydessä asiaa alettiin pohtia ja sitä kautta syntyi idea opinnäytetyön tekemiseen (Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten voitaisiin toteuttaa Satakunnan keilahalleille puhuva pistelaskujärjestelmä ja mahdollisuuksien mukaan toteuttaa se. Pistelaskin edesauttaisi näkövammaisten omatoimista keilaamista. Pilottina toimi Porin keilahalli eli Bowling 4 You Oy. Pistelaskujärjestelmän tarkoitus oli olla sekä kustannustehokas että käyttökelpoinen, jotta näkövammaisen keilailijan olisi helppo ottaa se avukseen. Toteutettava ohjelmisto lukisi tiedot esimerkiksi keilanpystytyskoneelta tai monitorista PC:lle ja muuttaisi sen ruudunlukuohjelmalle tai syntetisaattorille sopivaksi. Lisäksi ohjelmistoon tarvittaisiin jonkinlainen käyttöliittymä.

Perusidea oli se, että heittovuoron jälkeen järjestelmä kertoo keilaajalle ääneen, mitkä keilat jäivät heiton jälkeen pystyyn ja mitkä ovat niiden paikat, jotta keilaaja tietää, mihin keiloihin hänen olisi seuraavalla vuorolla tarkoitus osua. Myös uusi pistemäärä tai ainakin lopputulos oli tarkoitus kertoa.

Vaikka Porin keilahalli toimi pilottina, järjestelmä oli tarkoitus tehdä sopivaksi mahdollisimman monelle eri laitteelle, koska tavoitteena oli liikunnallisen eli toiminnallisen esteettömyyden lisääminen ja kehittäminen kaikissa Satakunnan keilahalleissa.

3.2 Keilailu harrastuslajina

Keilailua pidetään yhtenä maailman vanhimmista ajanviettotavoista. Keilailuun on lajina helppo tutustua, sillä tarvittavat välineet eli keilapallot ja kengät saa vuokrattua keilahallista. Useimmissa nykyaikaisissa keilahalleissa on automaattiset pistelaskimet, mikä helpottaa tulosten seuraamista. (Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry 2010.)

3.2.1 Keilailun historiaa

Keilailua tiedetään harrastetun jo muinaisessa Egyptissä. Euroopassa keilailu liittyi 500-luvulla uskonnollisiin menoihin. Peliä pelattiin kirkoissa ja keilat kuvasivat pakanoita. Jos heittäjä osui keilaan, hän oli synnitön, mutta jos ei osunut, niin hänen oli rukoiltava enemmän. Myöhemmin keskiajalla keilailusta tuli ajanvietepeli. Esimerkiksi Martti Luther oli innokas keilaaja. (Historia 2009, 10.)

Yhdeksän keilan peli levisi siirtolaisten mukana Pohjois-Amerikkaan 1600-luvulla. Peli kiellettiin Yhdysvalloissa vuonna 1830, kun siihen alkoi liittyä vedonlyöntiä. Pelaajat kiersivät kieltoa pelaamalla kymmenellä keilalla ja asettelemalla keilat kolmion muotoon. (Historia 2009, 10.) Keilailu on mielletty amerikkalaiseksi peliksi, mutta nykyisin se on suosittu harrastus myös Suomessa. Suomen ensimmäinen keilahalli avattiin Helsingissä vuonna 1924 (Kouvolan keilahallin www-sivut 2010).

3.2.2 Näkövammaisten keilailu

Keilatessa voi tarvittaessa käyttää apuna vierityskourua, kahvapalloa tai suunta-kaidetta (Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry 2010). Joidenkin monitorimallien grafiikka auttaa heikkonäköistä seuraamaan tulosta. Näkövammaisen keilailijan keilailussa tärkein tekijä on kuitenkin avustaja, joka kertoo mitkä keilat jäivät pystyyn ja mikä on tulos. (Toivonen henkilökohtainen tiedonanto 8.9.2010.)

Näkövammaiset kilpailevat sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Kansallisia kilpailuja ovat kahdeksan keilacupin osakilpailua ja SM-kilpailut. Kansainvälisellä tasolla kilpaillaan EM- ja MM-kilpailuissa. (Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry 2010.)

3.3 Sataesteetön-hanke

Sataesteetön-hanke on korkeakoulun innovaatioedellytysten kehittämishanke, jossa parannetaan yritysten ja oppilaitosten sekä tutkimuslaitosten yhteistyötä. Länsi-Suomen lääninhallitus on rahoittanut hanketta vuodesta 1999 lähtien ja tulee jatkamaan sitä vuoden 2011 loppuun saakka. Hankkeessa Satakunnan ammattikorkeakoulun sosiaali- ja terveystieteiden, tekniikan ja liiketoiminnan alan osaajat ja opiskelijat kehittävät yritysverkoston kanssa uusia käyttäjälähtöisiä tuotteita ja toimintoja esteetön elämän näkökulmasta. (Sataesteetön hankekuvaus 2010)

Kati Karinharju kuvaili yhteistyömme alkajaisiksi Sataesteetön-hanketta näin:

Hankkeen tavoitteena on kehittää esteettömiä luontoliikunta- ja virkistyspalveluja Satakunnan alueella. Hankkeessa selvitetään palvelutuottajien tietoisuutta esteettömyydestä ja kehitetään esteettömyysosaamista. Luodaan esteettömiä käyttäjälähtöisiä luontoliikunta- ja virkistyspalveluja. Hankkeessa tuotetaan palveluesite kuvaamaan hankkeen myötä esteettömiksi kehitetyt luontoliikunta- ja virkistyspalvelut sekä tarjolla olevat varusteet ja apuvälineet. Tavoitteena on yhtenäistää ja helpottaa alueella olevien apuvälineiden käyttöä alueella toimivien tahojen kesken. Lisäksi tarjotaan Satakunnassa palveluiden tuottajille asiantuntija-apua esteettömyyskartoituksissa. (Kati Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 7.9.2010)

3.4 Toiminnallinen esteettömyys

Esteettömyys, saavutettavuus ja palvelujen toimivuus liittyvät läheisesti toisiinsa. Liikkumis- ja toimimisesteisyys voi tarkoittaa erilaista liikkumista, näkemistä, kuulemistä ja ymmärtämistä. Esteettömyydessä on kyse ihmisoikeuksista ja omatoimisuuden säilyttämisestä. Esteettömyys on myös turvallisuutta ja laatua. (Kuluttajatutkimuskeskus 2010.)

Ennen kuin harrastajan on mahdollista päästä harrastuksensa pariin, hänen tulee ensin saada tieto palvelusta, sitten ymmärtää, että se soveltuu myös hänelle, ja vielä päästä paikalle. Pääsy liikuntapaikalle voi olla pienestä kiinni: Este voi olla vain yksi liian korkea porras sisäänkäynnin yhteydessä. Liikuntapaikkojen suunnittelussa tulisi liikkujien ja urheilijoiden lisäksi huomioida yleisö, ohjaajat ja muut henkilöt (Suomen Vammaisurheilu ja –liikunta VAU ry 2010). Paikalle pääsyyn ja harrastamiseen harrastaja voi tarvita julkisia liikennevälineitä, muita kuljetuspalveluja, saattajaa, avustajaa, tulkkia tai opasta ja usein myös erilaisia apuvälineitä. (Suomen Vammaisurheilu ja –liikunta VAU ry 2010.)

Vammaisen liikunnan harrastaja tai urheilija on vammaispalvelulain nojalla oikeutettu erilaisiin rahallisiin tukiin, jotka tasoittavat vammaisuudesta johtuvia lisäkuluja, kuten kuljetuspalvelujen, apuvälineiden ja avustajan tarvetta. Yleensä nämä tuet perustellaan henkilökohtaisella palvelusuunnitelmalla, mutta käytännöt ovat kirjavia. (Suomen Vammaisurheilu ja –liikunta VAU ry.) Vammaisille suunnatut apuvälineet ovat kalliita. Tätä perustellaan sillä, että tuotekehitys vie saman verran tai enemmänkin aikaa kuin massatuotteet, mutta tuotteiden markkinat ovat pienet. Mikäli massa-

tuote suunniteltaisiin alusta alkaen suuren käyttäjäjoukon tarpeita tyydyttäväksi, se tulisi edullisemmaksi sekä valmistajalle, käyttäjälle että julkiselle sektorille. (Rauhala-Hayes, Topo & Salminen 1998.) Liian korkeat kustannukset voivat luoda esteen tasa-arvoiselle harrastamiselle.

Oman liikunnan apuvälineen hankkimisen sijaan vammaisen urheilija voi vuokrata sellaisen esimerkiksi soveltavan liikunnan apuvälinetoiminta SOLIAsta, Kehitysvammaisten Tukiliiton MALIKEsta (Matkalle liikkeelle keskelle elämää) tai liikuntakeskus Pajulahden soveltavan liikunnan välinevuokraamosta (Suomen vammaisurheilu- ja liikunta VAU ry 2011a; Suomen vammaisurheilu- ja liikunta VAU ry 2011b; Pajulahti 2011).

3.5 Apuvälineen potentiaalinen käyttäjäkunta

Näkövammatt jaoellaan näöntarkkuuden perusteella viiteen eri luokkaan. Näkövamma voi johtua myös muista syistä, kuten näkökentän kaventumisesta. Näkövammaisiksi ei kuitenkaan lasketa henkilöitä, joiden näkökyky voidaan korjata silmä- tai piilolaseilla. Alla on listattu näkövammaluokat ja kerrottu, miten vamma vaikuttaa toiminnallisuuteen.

1. Heikkonäköinen: Näön turvin lähes normaali toiminta on mahdollista optisin apuvälinein.
2. Vaikeasti heikkonäköinen: Näön käyttö sujuu vain erityisapuvälinein ja lukunopeus on hidastunut.
3. Syvästi heikkonäköinen: Lukeminen ei onnistu muuten kuin luku-TV:llä, suuntausnäkö puuttuu, liikkuminen tuottaa vaikeuksia ja muiden aistien apu on tarpeen.
4. Lähes sokea: Toiminta on pääasiassa muiden aistien kuin näköaistin varassa.
5. Täysin sokea: Näöstä ei ole apua, vaan toiminta on muiden aistien, kuten kuulo- ja tuntoaistin varassa. (Ojamo 2009, 2, 4)

Joidenkin keilahallien tulostaulujen grafiikka auttaa jo nykyisellään heikkonäköisiä keilailijoita. Puhuvasta pistelaskimesta hyötyvät eniten lähes sokeat, täysin sokeat ja

muutoin vaikeasti heikkonäköiset, sillä sokeiden harrastamismahdollisuuksissa on vielä puutteita (Pöysti sähköposti 12.10.2010).

Näkövammaisia aktiivisesti keilaavia on Suomessa lähes 80, joista 4-5 on sokeita (Toivonen henkilökohtainen tiedonanto 8.9.2010). Harrastajien kokonaismäärää ei voida tietää, sillä harrastajia ei ole rekisteröity, kuten kilpailevat keilaajat ovat. Vier-tonen (henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010) arvioi sokeita harrastajia olevan Suomessa tällä hetkellä kymmenkunta. Vaikka kohderyhmä on pieni, niin potentiaa-lisia harrastajia on sekä Suomessa että maailmanlaajuisesti jonkin verran. Suomessa on arvioitu olevan 80 000 näkövammaista ihmistä, joista sokeita olisi noin 10 000 ja loput eri tavoin heikkonäköisiä. Näkövammaisista suurimman osan eli noin 80 pro-senttia arvioidaan olevan yli 65-vuotiaita. Nuorten ja lasten osuus on arviolta noin 5 prosenttia. (Ojamo, 2009, 4) WHO:n mukaan maailmanlaajuisesti näkövammaisia on arviolta 285 miljoonaa, joista sokeita on 39 miljoonaa. (WHO 2011b). Suurin osa maailman näkövammaisista (yli 90 prosenttia) asuu kehitysmaissa (WHO 2011a), joten maailmanlaajuisista sokeiden joukkoa ei kokonaisuudessaan voida pitää apuväli-neen potentiaalisena kohderyhmänä sillä heillä ei muista syistä ole mahdollisuutta harrastaa keilailua.

4 TUTKIMUSMETODIN VALINTA

4.1 Tieteellinen tutkimus vs. kehittämisprojekti

Sillä alueella, missä tutkimus ja kehittämistoiminta kohtaavat, on kaksi rajapintaa: Kehittämistoiminnan suunnasta katsottuna tutkimuksellinen kehittäminen ja tutki-muksen suunnasta katsottuna kehittävä tutkimus. Kehittämistoiminnasta puhutaan mm. tuotekehityksen yhteydessä. Kehittämistoiminta ymmärretään yleensä lineaari-esti etenevänä suunnitelmallisena toimintana. Esimerkiksi projektityön näkökulmas-ta kehittäminen ymmärretään ajallisesti rajatuksi ja organisoiduksi prosessiksi, joka sisältää perusteellisen tavoitteenmäärittelyn, huolellisen suunnittelun, niiden mukai-sen toteutuksen sekä lopulta arvioinnin. (Toikko & Rantanen 2009, 1-2.)

Tieteellisen tutkimuksen peruslähtökohtiin kuuluu pyrkimys luotettavaan ja koeteltavissa olevaan tietoon. Eri tutkimusotteissa tiedon intressit ja luotettavuuden kriteerit vaihtelevat, mutta pyrkimys luotettavaan tietoon yhdistää eri tieteitä. Sitä vastoin kehittämistoiminnan ensisijaisena tavoitteena on tyypillisesti jonkin aineellisen tai aineettoman tuotteen kehittäminen tai esimerkiksi prosessin systematisointi ja tehostaminen. Tyypillisesti kehittämistoiminnassa pyritään jonkin konkreettisen asian muuttamiseen, mutta ei niinkään tiedon tuottamiseen tieteellisen tutkimuksen merkityksessä. Olennaista kehittämistoiminnassa on käyttökelpoisuus. Tutkimuksessa pyritään tyypillisesti vastaamaan joihinkin tutkimuskysymyksiin tutkimusmenetelmiä apuna käyttäen ja erilaisia aineistoja tuottaen ja analysoiden. Kehittämistoiminnassa puolestaan ei yleensä ole olennaista keskittyä tiettyihin sanallisesti esitettäviin kysymyksiin vaan toiminnalla pyritään tiettyyn tavoitteeseen. (Toikko & Rantanen 2009, 3-4.)

Sama toiminta voi olla sekä tutkimusta että kehittämistä, kuten on esimerkiksi toimintatutkimuksellisissa lähestymistavoissa. Toimintatutkimuksella pyritään sekä tieteelliseen tiedontuotantoon että konkreettiseen kehittämiseen. Tällöin voidaankin puhua erityisesti kehittävästä tutkimuksesta. (Toikko & Rantanen 2009, 4.)

Tieteellisessä tutkimuksessa menetelmien valinta on osa tutkimusstrategiaa ja suhteessa tutkimusongelmiin, kun taas kehittämistoiminnassa menetelmien valinnan perustelut eivät monestikaan ole täsmällisiä. Tutkimuksellisen kehittämisen lähestymistapa voi liittyä esimerkiksi toimintatutkimukseen. Myös arviointitutkimus on tutkimuksen ja kehittämistoiminnan välimaastossa. Kehittämistoiminta lähtee jostakin tieto- ja todellisuuskäsityksestä. Kehittämistoiminnan suunnittelussa, dokumentoinnissa ja arvioinnissa voidaan korostaa tiedon luotettavuutta, mutta osin voidaan tukeutua myös kokemustietoon esimerkiksi joidenkin menettelytapojen käyttökelpoisuudesta. (Toikko & Rantanen 2009, 5-7.)

Kehittämisprosessin hallinnan apuna voidaan käyttää erilaisia prosessimalleja ja muita projektityökaluja. Myös tiedontuotannon menetelmillä on keskeinen sija kehittämistoiminnassa. Lisäksi erilaiset arviointiasetelmat kuuluvat olennaisena osana kehittämistoimintaan. Koska kehittämistoiminta tähtää ensisijaisesti konkreettiseen muutokseen, metodeilla ei ole kehittämistoiminnan kohdalla yhtä keskeistä roolia

kuin tieteellisen tutkimuksen yhteydessä. Kuitenkin monimutkaisten kehittämisprosessien yhteydessä systemaattinen lähestymistapa voi tuottaa parempia tuloksia kuin kokemustietoon ja valmiisiin oppikirjasta poimittuihin ”opinkappaleisiin” nojaava lähestymistapa. Systemaattinen tiedontuotanto helpottaa myös tulosten siirrettävyyttä. (Toikko & Rantanen 2009, 9-10.)

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin sekä aineellisen että aineettoman tuotteen kehittämiseen. Opinnäytetyön toteutusprosessi oli kehittämistoimintaa, jolla oli tavoite ja joka eteni suunnittelusta toteutukseen ja lopulta arviointiin. Tutkimuksellisesta näkökulmasta katsottuna opinnäytetyössä pyrittiin suunnitteluvaiheessa etsimään luotettavaa tietoa, jonka avulla pystyttiin toteuttamaan tavoitteiden mukainen tuote, jonka kaikki osa-alueet toimivat yhdessä. Työn taustaselvitys- ja tiedonhakuvaiheessa sama toiminta on sekä tutkimusta että kehittämistä ja tällöin voidaan puhua tutkimuksellisesta kehittämisestä.

4.2 Tutkimusongelmat ja tutkimusmenetelmän valinta

Tutkimuksen tavoite määrittä pääongelman: Miten voidaan kehittää kustannustehokas ja käyttökelpoinen pistelaskujärjestelmä näkövammaisen keilailijan avuksi? Seuraavat alaongelmat auttoivat ratkaisemaan pääongelman:

1. Millaisia olemassa olevia ratkaisumalleja on saatavilla?
2. Miten tieto kaatuneista keiloista voidaan saada?
3. Miten signaali siirretään ja muutetaan tietokoneelle tai mobiililaitteelle sopivaksi?
4. Mitä eroja on valmiilla puheen tuottamistavoilla?
5. Mitä asioita täytyy ottaa huomioon suunniteltaessa pistelaskuohjelmistoa näkövammaisille käyttäjille?
6. Mikä päätelaite ja siihen liittyvä käyttöjärjestelmä ovat tarkoitukseen sopivimmat?
7. Mikä ohjelmointikieli on tarkoitukseen sopivin?
8. Mitkä vaatimukset ohjelmiston pitää täyttää, jotta näkövammaisen voi itse käyttää sitä?

- a. Miten saadaan käyttöliittymästä mahdollisimman käyttäjäystävällinen eli käytettävä?
 - b. Miten toteutetaan ohjaus näytöltä niin, että näkövammaisen voi käyttää sitä itse, jotta ohjelmisto olisi saavutettava?
9. Mitä asioita pitää ottaa huomioon, jotta järjestelmää voidaan hyödyntää Satakunnan alueen erilaisissa laiteympäristöissä?
- a. Millainen on Satakunnan alueen keilahallien laitekanta?
 - b. Onko mahdollista toteuttaa laiteriippumaton ratkaisu?

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli ratkaista käytännön ongelma. Yksi metodologia, jolla pyritään ratkaisemaan reaali maailman ongelmia, on konstruktiivinen kehittämismenetelmä. Konstruktio, kuten näkövammaisen keilailijan pistelaskin, on abstrakti käsite, jolla on loputon määrä mahdollisia toteutumia. Toteutumille on tunnusomaista se, etteivät ne ole löydettyjä, vaan ne ovat keksittyjä ja kehitettyjä. Jotta tutkimus olisi oikea tutkimus, sen tulee täyttää sille asetetut ehdot. Konstruktiivisen tutkimuksen vaatimukset ovat:

- keskittyy tosielämän ongelmiin, jotka koetaan käytännössä tarpeellisiksi ratkaista,
- tuottaa innovatiivisen konstruktion, joka on tarkoitettu ratkaisemaan alkuperäinen tosielämän ongelma,
- sisältää kehitetyn konstruktion toteuttamisyrittä, jolla testataan sen käytäntöön soveltuvuutta,
- merkitsee tutkijan ja käytännön edustajien hyvin läheistä tiimimäistä yhteistyötä, jossa odotetaan tapahtuvan kokemuksellista oppimista,
- on huolellisesti kytketty olemassa olevaan teoreettiseen tietämykseen, ja
- kiinnittää erityistä huomiota empiiristen löydösten reflektointiin takaisin teoriaan (Lukka 2001).

Konstruktiivinen kehittämismenetelmä sopi opinnäytetyön aiheeseen hyvin. Tutkimusvaiheessa oli kuitenkin huolehdittava siitä, ettei toteutuksesta tulisi tuotekehitystä. Työssä pyrittiin kehittämään mahdollisimman käyttäjäystävällinen innovaatio eli keilailun puhuva pistelaskujärjestelmä. Mikäli olisi kehitetty konstruktio, joka poikkeaa kaikesta jo olemassa olevasta, niin silloin olisi luotu jotain uutta (Lukka 2009).

4.3 Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi (IVA)

Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi (IVA) on prosessi, jossa ennen päätöksen tekemistä arvioidaan sen vaikutuksia ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Ennakoarviointi toimii suunnittelun ja päätöksenteon työvälineenä, ja sen kohteena voi olla hanke, suunnitelma, ohjelma tai mikä tahansa muu päätös. Arvioinnissa tarkastellaan vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja sen tarkoituksena on selkiyttää tavoitteita, käsitellä ristiriitoja ja konkretisoida sitä, kuinka tavoitteet voidaan saavuttaa, jotta päätöksessä päästään parhaaseen ratkaisuun. (Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos 2010.)

Ennakoarviointi voi olla joko tavanomainen tai nopea. Tavanomainen ennakoarviointi tehdään usein osana laajempaa ohjelma- tai suunnitelmatyötä, jos päätöksestä aiheutuu merkittäviä vaikutuksia ihmisten ja yhteisöjen hyvinvointiin ja terveyteen tai siihen liittyy ristiriitoja. Nopea ennakoarviointi sopii äkillistä reagointia vaativiin tilanteisiin, joissa tietoa päätöksen vaikutuksista on kerättävä pienessä ajassa. Nopea IVA toimii paremmin olemassa olevan suunnittelumateriaalin jäsentämiskehikkona ja vaikutusten tunnistamisen apuvälineenä kuin uuden tiedon keräämistapana. Nopea IVA voi myös osoittaa, että on tarpeen käynnistää tavanomainen ennakoarviointi. (Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos 2010.) Tässä tutkimuksessa arvioitiin eri toteutusvaihtoehtoja nopean IVA:n avulla ja vaihtoehtojen arvojen perusteella tehtiin valinta.

4.4 Aineiston kerääminen

Tutkimuksen kohteena olevan ohjelmiston vaatimusanalyysivaiheessa tietoa kerättiin eri toteutusvaihtoehtoista, niiden vaatimuksista ja rajoitteista. Tietoa haettiin alan kirjallisuudesta, standardeista, laitteiden manuaaleista, Internetistä, vanhoista tutkimuksista sekä haastatteleamalla asiantuntijoita. Tärkein tapa kerätä tietoa oli käyttäjien haastattelut, minkä avulla paras malli valittiin.

Sen jälkeen kun paras ratkaisumalli oli valittu, haettiin syvempää tietämystä toteutus-tavoista. Ohjelmistoa toteutettiin yksi vaatimuksen osa kerrallaan ja testattiin se. Toteutusvaiheessa tietoa etsittiin muun muassa kirjallisuudesta, alan asiantuntijoilta,

tutkimuksista ja yhteisöjen keskustelupalstoilta, kunnes ongelmaan löydettiin ratkaisu. Käyttäjätahot pidettiin koko ajan kehitystyössä mukana.

Haastattelutilanteissa ei käytetty etukäteen suunniteltuja kyselylomakkeita, vaan haastattelut toteutettiin yhtenä tai useampana teemahaastatteluna, kunnes ongelma ratkesi. Odotettavissa oli, että yhden ongelman ratkaisu synnytti uusia ongelmia. Haastateltavia henkilöitä informoitiin puhelinsoitolla tai sähköpostilla. Haastattelu toteutettiin joko henkilökohtaisesti, puhelimesta tai sähköpostin välityksellä. Eräissä tapauksissa haastateltavaa henkilöä informoitiin joko Sataesteetön-hankkeen tai keilahallin edustajan kautta, jolloin tietoa oli helpompi saada.

Pilotointivaiheessa hankittiin tietoa ohjelmiston laadusta havainnoimalla sen käyttöä ja keräämällä tietoa ohjelmistossa ilmenevistä virheistä. Virheet myös korjattiin. Sitteen analysoitiin prosessin tuloksia ja pohdittiin, miten konstruktio voisi olla siirrettävissä toisiin käyttökohteisiin. Lopuksi havainnot refleктоitiin teoriaan.

4.5 Toteutuksen aikataulu

Aiheseminaari pidettiin 17.9.2010. Syksyn 2010 aikana tutkittiin eri toteutusvaihtoehtoja, jonka jälkeen valittiin paras tapa toteuttaa ohjelmisto. Sekä järjestelmän että ohjelmiston suunnitteluvaihe oli tarkoitus saada päätökseen ennen vuodenvaihdetta 2010, mutta suunnitteluvaihe päättyi helmikuussa 2011 toteutustavan muuttumisen vuoksi. Kehittämisseminaari oli 18.2 2011. Talven ja kevään aikana ohjelmisto toteutettiin ja testattiin. Loppukevästä 2011 kokeiltiin ensimmäisen version toimintaa Porin keilahallissa. Työ oli valmis heinäkuussa 2011.

5 NÄKÖVAMMAISIA TUKEVIA TIETEENALOJA

5.1 Puhesynteesi

Puhesynteesillä voidaan ymmärtää mitä tahansa puheen syntetisointia, mutta tässä tarkastellaan tekstistä puheeksi -synteesiä (text-to-speech, TTS). Puhesynteesillä tuotetun puheen laadun kriteereitä ovat ymmärrettävyys, luonnollisuus ja miellyttävyys. Nämä ovat monitahoisia, toisistaan riippuvia asioita, joten laadukkaan puhesignaalin muodostavat lukuisat eri tekijät yhdessä. Sen lisäksi, että taustakohina ja erilaiset rapsahdukset on saatava eliminoitua puheesta, siitä pitäisi saada myös muodostettua vivahteikasta ja persoonallisen kuuloista. Puhujan tunnetilan välittyminen puheen kautta tuo luonnollisuutta ja elävyyttä. Puhesyntetisaattorin laatuun vaikuttaa myös, kuinka riippuvainen syntetisaattori on käytetystä ohjelmistoalustasta tai ympäristöstä ja kuinka hyvin se toimii siinä sovelluksessa, johon se on tarkoitettu. Puhesyntetisaattoreissa on vielä paljon puutteita puheen luonnollisuuden ja persoonallisuuden suhteen, mutta ymmärrettävyys on jo hyvällä tasolla, mikä mahdollistaa puhesyntetisaattoreiden käytön monissa sovelluksissa. Yhä monimutkaisempia syntetisaattoreita voidaan käyttää kotitietokoneella sitä mukaa, kun tehokkaampia tietokoneita tulee markkinoille. (Tampereen teknillinen yliopisto 2004, 52.)

Puheen laadun mittaamiseen ei ole olemassa mitään menetelmää, joka antaisi täysin oikeita ja kaiken kattavia tuloksia. Erilaisia testejä yhdistämällä saadaan kuitenkin usein sopiva määrä tietoa siitä, kuinka laadukasta puhetta tietty järjestelmä tuottaa. (Puheenkäsittelyn menetelmät 2004, 52.)

Kun teksti muutetaan puheeksi, ensin analysoidaan teksti ja sitten generoidaan puhesignaali. Tekstin analysoinnissa teksti muutetaan sellaiseen muotoon, että siitä tulee puhumiskelpoista. Tekstille tehdään ainakin normalisointi, jossa numerot muutetaan lukusanoiksi ja lyhenteet kirjoitetaan auki. Tässä käytetään tyypillisesti suurta joukkoa sääntöjä, jotka pyrkivät ottamaan huomioon mm. kielestä ja asiayhteydestä riippuvia tekijöitä. Tekstianalyysivaiheessa tekstille tehdään lisäksi lingvistinen eli kielitieteellinen analyysi, joka tarkoittaa lauseopillista ja semanttista, tekstin sisällön ymmärtämiseen tähtäävää analyysia. Siinä tilastollisiin menetelmiin perustuen yrite-

tään löytää todennäköisin vaihtoehto ilmaisun sisällölle, koska ääntäminen riippuu tietyissä tapauksissa sanan merkityksestä ja asiayhteydestä. Tekstin analysoinnin tarkoitus on myös tuottaa tietoa ilmausten prosodiasta, eli miten erotellaan kysymys- ja toteamuslauseet toisistaan, jotta intonaatio voitaisiin sovittaa lausetyypin mukaan, ja tunnistaa taukojen paikkoja puheessa välimerkkien perusteella. (Puheen käsittelyn menetelmät 2004, 53.)

Foneettinen analyysi konvertoi kirjoitusjärjestelmän merkit ääntämisen mukaisiksi merkeiksi käyttäen jotakin foneettista aakkostoa. Yleisesti hyväksytyä yhteistä foneettista aakkostoa ei kuitenkaan ole, ja tästä syystä monet puhesyntetisaattorit käyttävät omia foneettisia aakkostojaan. (Puheen käsittelyn menetelmät 2004, 53-54.)

Prosodiaan kuuluvat puheen rytmi, painotukset ja intonaatio (eli puheen sävelkulku), joiden ominaisuuksia analysoidaan luonnollisesta puheesta. Tämän perusteella luodaan sääntöjä vastaavien ominaisuuksien tuottamiseksi synteettiseen puheeseen. Prosodialla on erittäin suuri merkitys puheen ymmärrettävyyden kannalta. Käytännössä luonnollisen kaltaisen prosodian generoiminen laajan sanavaraston puhesynteesissä on vielä melko kaukainen tavoite, sillä prosodian mallintaminen on hyvin monimutkainen prosessi. Erilaisia hierarkkisia sääntöjä ajoituksen ja perustaajuuden säätelemiseen on kuitenkin toteutettu ja niillä on saatu aikaan jonkinasteisia parannuksia syntetisoidun puheen sujuvuuteen. (Puheen käsittelyn menetelmät 2004, 54-55.)

Puhesynteesivaiheessa generoidaan itse puhesignaali. Tämä voidaan tehdä joko täysin parametriselta pohjalta, jolloin tuotetaan koneellisesti foneemien realisaatioita, tai sitten foneemien, difonien, trifonien tai muiden merkityksiä erottavien yksiköiden realisaatioita voidaan valita tietokannasta hakuprosessin kautta. Kummassakin tapauksessa nämä lyhyet puhepätkät liitetään yhteen, ja näin syntyy lopullinen puhesignaali. Yhtenä suurimmista ongelmista synteesivaiheessa onkin jatkuvuuden varmistaminen pätkien liitoskohdissa, jotta vältetään häiriöääniltä ja vääristymiltä. (Puheen käsittelyn menetelmät 2004, 55.)

Puhesynteesille on kolme toteutustapaa: formanttisynteesi, konkatenaatio ja artikulatorinen synteesi. Formanttisynteesi on yleisin puhesynteesimenetelmä. Siinä generoidaan jaksollista ja ei-jaksollista herätesignaalia ja niitä yhdistelemällä tuotetaan pu-

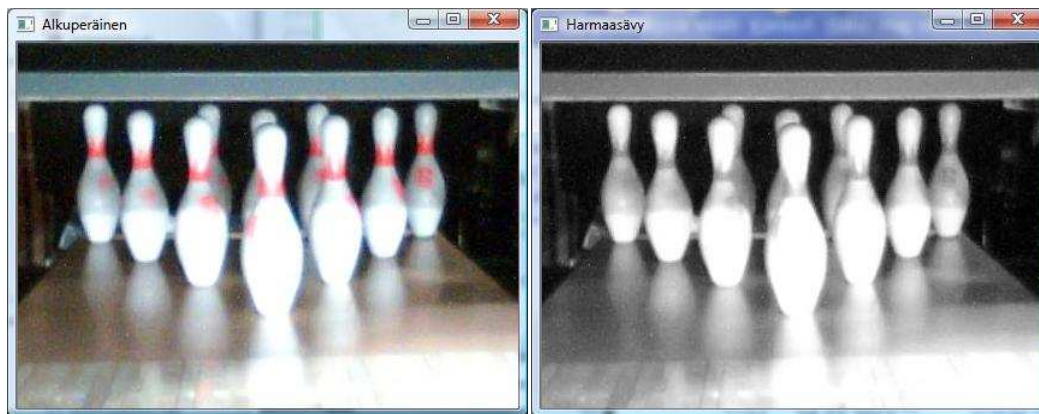
heenkaltainen ääni. Menetelmällä voidaan tuottaa helposti mitä hyvänsä ääniteitä. Konkatenaatiosynteesi on ns. leikkaa-liimaa-synteesi, jossa lyhyitä puhesegmenttejä valitaan ennalta äänitetystä tietokannasta ja liitetään peräkkäin haluttujen ilmaisujen aikaansaamiseksi. Todellisten puhesignaalien käyttäminen synteesin taustalla luo mahdollisuuden hyvinkin korkeaan laatuun, mutta käytännön rajoituksena on tarvittavan muistikapasiteetin määrä. Artikulatorisella synteesillä pyritään mallintamaan ihmisen puheentuottoa mahdollisimman täydellisesti. Se on mallirakenteeltaan ja laskennallisilta vaatimuksiltaan raskas puhesynteesitapa. (Puheenkäsittelyn menetelmät 2004, 55.)

5.2 Kuvankäsittely

Jotta kuvasta voidaan löytää halutut hahmot tai värialueet, haun helpottamiseksi kuva täytyy esikäsitellä erilaisin kuvankäsittelymenetelmin. Näitä ovat esimerkiksi taustanvähennys, harmaasävyymuunnos, kynnystys sekä häiriönpoisto eroosio- ja dilatiomenetelmillä

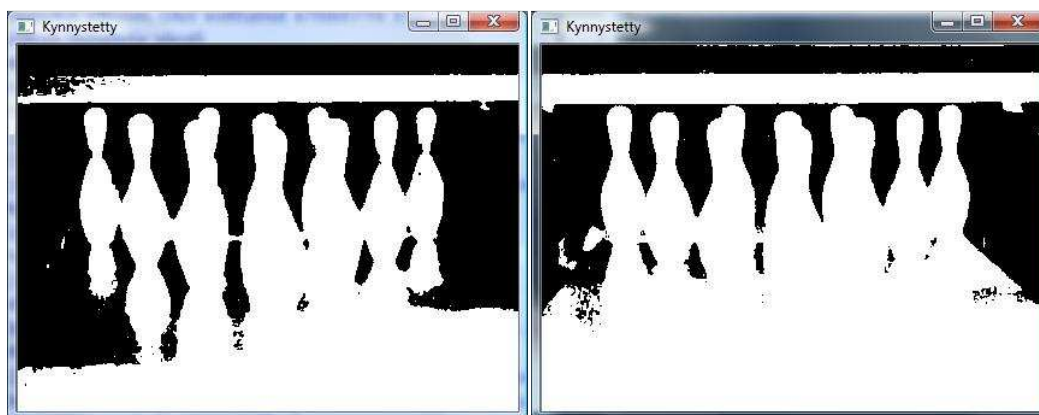
Kun kuvan etualalla olevat objektit halutaan erottaa taustastaan, voidaan käyttää taustanvähennys -menetelmää (Background subtraction). Vähennystä varten tarvitaan ns. peruskehys eli vertailukuva, jossa on pelkkä tausta. Tätä menetelmää voidaan käyttää vain, jos voidaan olla varmoja, että ensimmäinen kehys sisältää vain ja ainoastaan staattisen taustan. Muita videokuvan kehyksiä verrataan tähän taustaan. Kun eroa huomataan, kuvat vähennetään toisistaan. On otettava huomioon, että esimerkiksi muutokset valaistuksessa vaikuttavat kuvaan. Kun vähennys tehdään erilaisessa valaistuksessa otettujen kahden kuvan välillä, kuvassa näkyy häiriötä. (Darabant & Mezei 2010.)

Värikuva voidaan muuttaa harmaasävyiseksi esimerkiksi gray scaling -tekniikalla. Siinä punaisen, vihreän ja sinisen sävyt muutetaan niiden intensiteetin perusteella lähimpään harmaan sävyyn. Arvo 0 on musta ja 255 on valkoinen. Harmaasävykuvan etuina on, että siinä on vähemmän käsiteltävää tietoa kuin värikuvassa ja se vie vähemmän tallennustilaa. (Darabant & Mezei 2010.) Esimerkki harmaasävyymuunnoksesta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Alkuperäinen kuva ja sen harmaasävymuunnos.

Kuva voidaan muuttaa mustavalkoiseksi kynnystämällä (Binary Thresholding). Harmaasävykuvalle kynnystys tehdään muuttamalla jokainen kuvapikseli joko valkoiseksi tai mustaksi alkuperäisen kuvan harmaan sävyn ja tietyn raja-arvosävyyn perusteella. Kynnystys on tärkeä vaihe ja sen toteuttaminen on usein vaikeaa. Helpointa on käyttää tiettyä oletusarvoa raja-arvona. Tutkimusten mukaan arvo 70 on paras useimmille kuville. On tilanteita, jolloin keskiarvoa ei voida käyttää, kuten silloin, kun kuvan kirkkaus eroaa suuresti keskimääräisestä. Kynnistyksen tuloksena saadaan mustavalkoinen kuva, josta halutut alueet pystytään erottamaan ja käsiteltävän tiedon määrää saadaan pienemmäksi. (Darabant & Mezei 2010.) Kuvan 1 harmaasävykuvasta on saatu kynnystämällä kuvan 2 mukaiset kuvat. Toisessa kuvassa on käytetty kynnysarvona harmaasävykuvan histogrammin keskiarvoa ja toisessa kynnysarvona on käytetty arvoa 70.



Kuva 2. Histogrammin keskiarvolla ja arvolla 70 kynnystetyt kuvat.

Kuvassa saattaa edelleen kynnistyksen jälkeen esiintyä pientä häiriötä. Eroosio- menetelmää (erosion) käytetään häiriönpoistoon. Menetelmällä saadaan alueiden reunoja tarkemmiksi lisäämällä kuvaan tummia pikseleitä viereisten pikselien väriarvon perusteella. Eroosio on iteratiivinen menetelmä, jota voidaan käyttää useita kertoja samaan kuvaan. Menetelmällä saadaan häiriön vuoksi kevyesti toisiaan koskettavat alueet toisistaan erilleen. (Darabant & Mezei 2010.)

Toinen häiriönpoistoon tarkoitettu menetelmä on dilaatio (dilation). Dilaatiossa on tarkoitus korjata epäsäännöllisiä yhden pikselin alueita, jotta valkoinen alue saadaan yhtenäiseksi poistamalla mustat pikselit alueen sisältä. Kuten eroosioakin, dilaatio on iteratiivinen metodi, jota voidaan käyttää monta kertaa peräkkäin. (Darabant & Mezei 2010.)

6 AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA

6.1 Ohjelmistojen käytettävyys ja saavutettavuus

Ohjelmistojen käytettävyyttä ja saavutettavuutta arvioidaan yleensä erikseen. Käytettävyyden arviointimenetelmät eivät yksinään pysty vastaamaan siihen, onko ohjelmisto saavutettava, mutta saavutettavuusarviot voivat kertoa jotakin ohjelmiston käytettävyydestä. Usein ohjelmistosuunnittelijat kiinnittävät suunnittelussa huomiota käytettävyysasioihin, kuten käytön helppoon oppimiseen, helppokäyttöisyyteen, muistettavuuteen, ohjelmiston tehokkaaseen käyttöön, pieneen virheiden määrään ja käyttäjän subjektiiviseen tyytyväisyyteen. Suunnittelun avuksi on kehitetty useita arviointimenetelmiä. Tunnetuin lienee Nielsenin heuristinen arviointimenetelmä. (Tanaka ym. 2005.)

Ohjelmistojen käytettävyysasiat jäävät usein huomioimatta, sillä suunnittelijat eivät osaa ottaa huomioon esimerkiksi sitä, että on miljoonia käyttäjiä, jotka eivät voi käyttää hiirtä osoittimena. Näin suunnittelijat luovat esteitä niille käyttäjille, joilla on erityistarpeita tietojärjestelmien käytölle. Vaikka ohjelmistojen saavutettavuudesta ei olla kovin huolestuneita, on sen arvioimiseen kehitetty erilaisia menetelmiä. Käytet-

tävyyttä arvioidaan usein numeerisesti, mutta saavutettavuutta arvioidaan sillä, kuinka ohjeita on noudatettu. (Tanaka ym. 2005.)

Tanaka (2005) yritti tutkimuksessaan selvittää, onko saavutettava käyttöliittymä samalla myös käytettävä, löydetäänkö käytettävyyssarviolla sekä saavutettavuusarviolla samat ongelmat ja ovatko löydettyjen vikojen vakavuusluokat samat. Selvityksessä hän testasi ohjelmistoa heuristisella menetelmällä ja käyttäjätesteillä. (Tanaka ym. 2005.)

Käytettävyystesteillä Tanakan ryhmä löysi eräästä ohjelmistosta 48 ongelmaa, joista vain yhden kaikki neljä arvioijaa löysivät ja luokittelivat yhtä vakavaksi. Saavutettavuustesteissä löytyi yhteensä 21 ongelmaa. Saavutettavuusongelmista viisi löytyi myös käytettävyyssarvioilla. Tähän saattoi vaikuttaa se, että yksi käytettävyyssarvioija oli erikoistunut saavutettavuuden arvioimiseen, sillä ainoastaan kaksi saavutettavuusongelmaa löytyi muiden kuin tämän asiantuntijan arvioinneissa. Suuri osa käytettävyyssarvioinneissa löytyneistä vakavista ongelmista jäi löytymättä käytettävyyssarviolla ja päinvastoin. Osa saavutettavuusarvioinnilla löytyneistä ongelmista oli puhtaita saavutettavuusongelmia. On huomioitavaa, että käytettävyysteillä löytyneet ongelmat riippuvat suuresti testissä käytetyistä ihmisistä ja heidän erityistarpeistaan. (Tanaka ym. 2005.)

Johtopäätöksenä Tanaka (2005) toteaa, että käytettävyyssarvioinnilla löytyy vain pieni osa saavutettavuusongelmista ja päinvastoin. Kaikkien käytettävyyssongelmien korjaaminen parantaa saavutettavuutta, mutta ei ratkaise niitä kaikkia ja päinvastoin. Uusia arviointimenetelmiä tarvitaan. On myös huomioitavaa, että nykyiset arviointimenetelmät ovat kehitetty web-sivujen sisällön arviointiin, vaikka tarvetta olisi myös muunlaisten ohjelmistojen arviointimenetelmille. (Tanaka ym. 2005.)

6.2 Ohikulkijoiden laskenta tietokonenäön avulla

Sergiu Mezei ja Adrian Sergiu Darabant (2010) halusivat laskea, kuinka monta ihmistä käy erään kaupan ovella. He kehittivät hahmontunnistusta käyttävän metodin, jonka avulla voidaan laskea ohikulkevien ihmisten lukumäärä tietyllä alueella. Hei-

dän ohjelmansa sisälsi viisi osaa: Kuvankaappaus, yksittäisten kuvakehysten prosessointi, alueen tunnistus ja seuranta, laskenta-algoritmi sekä ohjelman ulostulo. Heidän metodissaan käytettiin seuraavia kuvankäsittelyrutiineja:

1. Taustan vähentäminen (Background subtraction).
2. Harmaasävymuunnos (Gary scaling).
3. Kynnystys (Binary Thresholding).
4. Häiriönpoisto eroosio- ja dilaatiomenetelmillä (Erosion & Dilation).

Rutiinit tehtiin edellä mainitussa järjestyksessä.

Mezei ja Darabant tekivät alueen tunnistuksen vertaamalla vierekkäisten pikselien väriä keskenään. He huomasivat, että alueesta oli vaikea erottaa useaa vierekkäistä tai pirstaloitunutta kohdetta. Tämä piti paikkansa myös, jos kohde ei ollut ihminen. (Darabant & Mezei 2010.)

Mezein ja Darabantin (2010) ohjelmistossa laskenta määritettiin tehtäväksi erikseen määritetyllä alueella, joka oli yhden pikselin levyinen raita keskellä kuvaa. Tätä aluetta tarkastelemalla he huomasivat, milloin kohde tulee alueelle. Tällöin alueen pikselin väri muuttuu valkoiseksi. Vastaavasti kun kohde lähtee pois alueelta, pikselin väri muuttuu jälleen mustaksi. Näin voidaan seurata kohdetta ja laskea, montako kohdetta tarkasteltavalla alueella kävi. (Darabant & Mezei 2010.)

Mezein ja Darabantin (2010) algoritmilla toteutetussa laskennassa kahdestakymmenestä kohteesta yhden sekunnin aikana tunnistettavasta kohteesta yksi jäi tunnistamatta. Kokeen 3000 ihmisestä tunnistettiin väärin 40. Virheet johtuivat suurimmaksi osaksi siitä, että ihmiset olivat suurissa ryhmissä. (Darabant & Mezei 2010.)

6.3 Lajittelujärjestelmä

Djajadin kumppaneineen (2010) kehitti konenäkösovelluksen, joka kerää tietoa kappaleen muodosta, paikasta ja väristä. Sovellus oli osa robottiohjauksessa käytettävään lajittelujärjestelmään. Lajittelujärjestelmässä webkamera kaappaa reaaliaikaista kuvaa työkappaleista. Kaapatulle kuvalle tehdään ensin häiriönpoisto. Sen jälkeen pro-

sessoidaan kappaleiden paikka- ja väritieto. Saadun tiedon perusteella ohjataan ro-
bottikättä. (Djajadi, Laoda, Rusyadi, Prajogo & Sinaga 2010.)

Häiriönpoistoprosessissa kuva segmentoidaan, jotta voidaan löytää halutut kohteet olettaen, etteivät kuvaolosuhteet muutu. Djajadin ryhmän (2010) sovelluksessa otetaan ensin kuva tyhjästä paletista, jossa on paikat yhdeksälle pyöreälle työkappaleelle. Paletista otettua kuvaa verrataan sellaiseen kuvaan, jossa työkappaleet ovat mukana. Näiden kahden kuvan perusteella luodaan uusi kuva käyttäen vähennystekniikkaa. Pieni häiriö poistetaan eroosio- ja dilaatiomenetelmillä. Sen jälkeen kuva muutetaan harmaasävykuvaksi ja pehmennetään Gaussian-menetelmällä. Pehmennys poistaa teräviä reunoja, jotta ympyrän tunnistaminen helpottuu. Ympyrän tunnistamiseen käytetään Houghin menetelmää. Menetelmää käytetään ympyrän muotoisten alueiden etsimiseen kuvasta. (Djajadi ym. 2010.)

Djajadin ryhmän (2010) järjestelmässä etsitään väriltään sekä punaisia, hopeanvärisiä että mustia työkappaleita paletista, mutta paletti voi olla myös tyhjä. Värejä tutkitaan niiden RGB-yhdistelmän avulla. RGB-arvo riippuu kuvan intensiteetistä. Jokaiselle pikselille lasketaan jokaisen värin eli punaisen, vihreän ja sinisen prosentuaalinen osuus. Tulokseksi saadaan jokaisen perusvärin osuus pikselin kokonaisintensiteetistä. RGB-arvo lasketaan jokaiselta pikseliltä erikseen. Värin prosentuaalista arvoa tutkitaan pieneltä alueelta kappaleen keskikohdan ympäriltä. Alueen keskiarvoa käytetään määrittettäessä lopullista tulosta. (Djajadi ym. 2010.)

Kun kuva tyhjästä paletista otettiin juuri ennen kuin otettiin kuva analysoitavasta paletista, niin tällä menetelmällä Djajadin kumppaneineen (2010) sai tunnistettua kaikki kappaleet riippumatta siitä, oliko paletti tyhjä, täysi vai vajaa. Kun taas tyhjästä paletista otettiin yksi kuva ennen prosessia ja tunnistusta jatkettiin jatkuvalla moodilla, yhdessä tapauksessa yksi kohde jäi tunnistamatta. Tämä virhe johtui valaistusolosuhteiden muutoksesta. Värin tunnistus onnistui kaikissa tapauksissa. (Djajadi ym. 2010.)

6.4 Web-kamera lintujen tunnistuksessa

Willem W. Verstraeten tutki ryhmänsä kanssa (2010), voiko edullisista, pysyvästi paikoilleen asennettavilla kameroista, kuten web-kameroista, olla hyötyä muuttolintujen seuraamisessa. Kokeessaan hän tarkasteli mahdollisuuksia tunnistaa kooltaan, väriltään ja nopeudeltaan erilaisia kohteita. Hän käytti erilaisia tekniikoita, kuten liikkeentunnistusta taustanvähennyksen avulla, stereonäköä ja linssin vääristymänkorjausta, yhdessä kohteenseuranta-algoritmin kanssa. Stereonäköön tarvitaan kaksi samalle korkeudelle, samalle kohdalle ja samansuuntaisesti asetettua web-kameraa. Kahdella kameralla voidaan luoda syvyysnäköä, jonka avulla voidaan laskea kohteiden etäisyyksiä toisistaan ja kamerasta sekä määrittää lintujen lentokorkeutta, -nopeutta ja -suuntaa. (Verstraeten ym. 2010.)

Verstraetenin ryhmä (2010) huomioi, että kohteen tunnistettavuuteen vaikuttivat huomattavasti kohteen nopeus, koko ja värikontrasti. Suuremmat kohteet pysyivät näkyvissä pienempiä kauemmin, kun ne liikkuvat suuremmilla nopeuksilla. Tummemmat kohteet pysyivät näkyvissä vaaleampia kauemmin. Intensiiteettiä tai kontrastia käytetään kynnyksarvona, kun etualalla olevaa kohdetta erotetaan taustastaan. Taustanvähennysmenetelmissä värikuvan käyttö (RGB tai HSV) on tulossa suosittumaksi kuin harmaasävykuvan käyttö. Värikuvamenetelmä on parempi ainakin silloin, kun kohdetta yritetään tunnistaa matalan kontrastin kuvista. Kohteen tunnistukseen vaikuttaa merkittävästi kohteen etäisyys kameroista. (Verstraeten ym. 2010.)

Testeissä Verstraetenin ryhmä (2010) huomasi, että kontrastin lisäksi valon intensiteetti ja sensorin signaali/kohinasuhde vaikuttivat kohteentunnistuksen onnistumiseen. Web-kameran muovilinssi vääristää kuvaa jonkin verran, ja siksi tarvitaan vääristymisen korjausta (Verstraeten ym. 2010).

6.5 Näkövammaisten apuvälineet

Florian Dramas (Dramas, Jouffrais, Katz, Thorpe & Oriola, 2008) kumppaneineen kehitti näkövammaisille laitteen nopeaa tavaroiden tunnistamista ja paikannusta varten. Artikkelissaan hän kertoo, että näkövammaisille on kehitetty paljon elektronisia

apuvälineitä, mutta vain harvat jäävät päivittäiseen käyttöön, sillä usein ne eivät vastaa näkövammaisten todellisia tarpeita. (Dramas ym. 2008.)

Canadian National Institutun teettämän kyselyn mukaan 75 % sokeista tarvitsee avustajan apua jokapäiväisessä elämässään. Näkövammaisille on kehitetty useita elektronisia laitteita projekteissa, joiden tavoitteena on ollut itsenäisen liikkumisen kehittäminen. Itse asiassa suurin osa sokeille kehitetyistä apuvälineistä on kehitetty itsenäisen liikkumisen avuksi. Apuvälineet lisäävät sokeiden omatoimisuutta silloin, kun heidän tarpeensa otetaan huomioon. On tärkeää ottaa huomioon laitteen käyttäjien käyttäytyminen ja kognitiiviset kyvyt ennen laitteenkäyttöä ja sitä käytettäessä. (Dramas ym. 2008.)

7 VAATIMUSANALYYSI

7.1 Vaatimusanalyysin soveltaminen tutkimuksessa

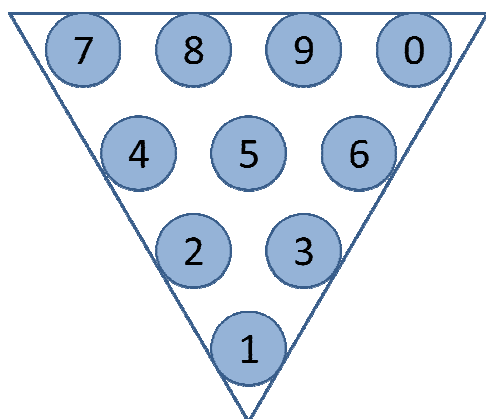
Vaatimusanalyysin tavoitteena on muuttaa epämääräiset tarpeet täsmälliseksi vaatimusten kuvaukseksi. Vaatimusanalyysin päävaiheet ovat vaatimusten kartutus, niiden analysointi- ja sovitteluvaihe sekä määrittely- ja validointivaihe. Epämääräiset tarpeet saadaan selville kartutusvaiheessa eli tietojen keräilyvaiheessa. Sitten niitä karsitaan ja muokataan analysointi- ja sovitteluvaiheessa. Vaatimuksista tehdään määrittelyvaiheessa täsmällisiä. Validointivaiheessa varmistutaan, että kaikki tarvittava on mukana. Vaatimusanalyysi ei yleensä etene lineaarisesti vaiheesta toiseen vaan iteroiden. Vaatimuksia kartutetaan ja täsmennetään vähitellen. (Bray 2002.)

Tietojen keräilyvaiheessa tietoa haettiin alan kirjallisuudesta, standardeista, laitteiden manuaaleista, Internetistä, toisien tekemistä tutkimuksista, sekä haastattelemalla asiantuntijoita ja käyttäjiä. Analysointi- ja sovitteluvaiheessa selvitettiin keilailun pistelaskujärjestelmä, pohdittiin, mitä tietoteknisiä apuvälineitä näkövammaiset käyttävät, tehtiin toisista tutkimuksista johtopäätöksiä ja selvitettiin olemassa olevia ratkaisuja. Aineistoa kerättiin niin kauan, että löydettiin useita ratkaisumalleja. Paras malli valittiin arvottamalla, jossa käyttäjä on avainasemassa. Lopulta käyttäjän tarpeet saatiin

muutettua täsmälliseksi vaatimusten kuvaukseksi. Määrittelyn ja validoinnin aikana saatiin aikaan järjestelmän halutun käyttäytymisen täsmällinen kuvaus. Vaatimuksia kartuttiin ja täsmennettiin vähitellen, mikä jatkui vielä suunnittelu- ja toteutusvaiheessakin.

7.2 Keilailun pistelasku ja säännöt

Kymmenen keilan pelissä keilat sijaitsevat 60 jalan (eli noin 18,3 metrin) mittaisen keilaradan päässä, tasakylkisen kolmion muodossa keilapöydällä, kuten kuvassa 3 on esitetty (Keilailu [www-sivut 2011](#)). Keilat numeroidaan yhdestä kymmeneen, mutta kymmenettä keilaa kutsutaan myös nollakeilaksi.



Kuva 3. Keilojen muodostama kuvio keilapatterissa.

Yksi keilasarja muodostuu pöytäkirjan kymmenestä ruudusta, kuten kuvasta 4 voidaan nähdä. Yhdeksää ensimmäistä ruutua kohti keilaaja saa heittää kaksi heittoa, ellei ensimmäisen heiton tuloksena ole kaato. Kymmenenteen ruutuun heitetään kolme kertaa, mikäli ensimmäinen heitto on kaato tai toinen heitto on paikko. Suurin mahdollinen tulos on 300. (Suomen keilailuliiton [www-sivut 2011](#).)

1.		2.		3.		4.		5.		6.	
7	/	9	-	X		X		X		6	2
19		28		58		84		102		110	

7.		8.		9.		10.		x	/	O	-	TULOS
8	/	8	1	X		X	5	4				
128		137		162		181		5	2	2	1	181

Kuva 4. Keilapelin pöytäkirja.

Mikäli kaikki keilat kaatuvat ensimmäisellä heitolla, tulee kaato. Kaato merkitään pöytäkirjaan rastilla (x). Jos kaikki keilat saadaan nurin kahdella heitolla, se on nimeltään paikko. Paikko merkitään vinoviivalla (/). Mikäli vielä kahden heiton jälkeen keiloja on pystyssä, se on missi tai toiselta nimeltään jättö. Missimerkki on viiva (-). Reiäksi kutsutaan tilannetta, jolloin kärkikeila (n:o 1) on kaatunut ja vähintään yksi keila on kaatunut kahden tai useamman pystyyn jääneen keilan välistä. Kaatuneiden keilojen lukumäärä merkitään O-merkin sisään. (Suomen keilailuliiton www-sivut 2011.)

Jokaisesta kaadetusta keilasta saa pisteen. Lisäksi kaadolle lasketaan hyvityksenä kahdella seuraavalla heitolla kaatuneiden keilojen pistemäärä ja paikolle seuraavalla heitolla kaatuneiden keilojen pistemäärä. Maksimipistemäärä kymmenen keilan keilailussa on 300 pistettä, joka voidaan saavuttaa heittämällä 12 kaatoa yhteen sarjaan. Mikäli ensimmäisellä heitolla on tapahtunut reikä, niin keilaajan saadessa toisella heitollaan reiästä paikon, tulos merkitään ja lasketaan kuten paikko. Jos taas paikkoyritys epäonnistuu, niin se merkitään ja lasketaan tulos kuten missi. (Suomen keilailuliiton www-sivut 2011.)

Keilailuliiton kilpailusääntöihin on tehty näkövammaisten SM-kilpailuita varten muutamia lisäyksiä, jotka esimerkiksi sallivat avustajan käytön kaikissa kilpailuluokissa ja määrittelevät sallitut apuvälineet. (KEILAILUN SM-KILPAILUSÄÄNNÖT 2010 Lisäykset voimassa oleviin Suomen Keilailuliiton kilpailusääntöihin.)

7.3 Käyttäjän toiveet

Haastattelussa Viertonen (henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010) esitti omia toiveitaan pistelaskujärjestelmän toteutukseen. Hänelle tärkeintä on saada tieto siitä, mitä keiloja heiton jälkeen jää pystyyn, jotta hän tietää, mihin yrittää seuraavalla kerralla osua. Osumakohta ja mahdollinen kierto olisi myös hyvä tietää, mutta hän totesi, ettei sitä ole helppo teknisesti toteuttaa. Keilatuloksen sanelu täytyisi olla toistettavissa. Puhesyntetisaattorilta hän toivoi äänen nopeuden ja korkeuden valintamahdollisuutta. Yksi huomionarvoinen seikka on keilahallin melu. Viertonen toivoikin, että äänen ulostulo toteutettaisiin joko nappikuulokkeilla tai langattomilla kuulokkeilla. (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010.)

Erilaisia toteutustapoja mietittäessä Viertonen (henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010) mainitsi, että näkövammaisella on usein matkapuhelin ja kannettava tietokone omasta takaa ja että omilla laitteilla uuden sovelluksen käytön opettelu on helppoa.

7.4 Käyttöliittymän lisävaatimukset

Ohjelmiston suunnittelussa täytyy ottaa huomioon se, etteivät näkövammaiset käytä hiirtä. Tästä syystä käyttöliittymän on toimittava näppäimistöltä. Jokaiselle ohjelmiston toiminnolle täytyy tehdä pikanäppäimet käytön nopeuttamiseksi. Jotta ohjelmistosta voitaisiin myöhemmin tehdä mobiiliversio, ohjauskomennot kannattaa toteuttaa myös numeronäppäimillä toimiviksi.

Graafinen käyttöliittymä on hyvä valinta myös näkövammaisten käyttöön, sillä ruudunlukija reagoi näytöllä tapahtuviin muutoksiin, esimerkiksi siihen kun tekstilaatiko päivittyy. Juntusen (sähköposti 25.1.2011) mukaan ruudunlukijat reagoivat ainakin vakiokomponentteihin eli peruslistoihin, painikkeisiin ja labeleihin, jotka eivät ole ulkoasultaan ja eventeiltään kustomoituja.

7.5 Näkövammaisten tietoteknisiä apuvälineitä

Näkövammaiset käyttävät tietotekniikkaa hyödykseen siinä missä muutkin. He etsivät tietoa Internetistä, lukevat kirjoja ja jopa lukevat postinsa tietokoneen avulla (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010). Tämä kaikki on mahdollista erilaisten apuvälineiden avulla.

7.5.1 Ruudunlukuohjelmat

Ruudunlukuohjelma on ohjelma, joka tutkii näytönohjaimelta näytölle tulevaa tietoa ja tulkitsee sen sitten joko puheeksi ja/tai pistekirjoitukseksi pistenäytölle (Mikola 2010). Saatavilla on ilmaisia ja kaupallisia ruudunlukuohjelmia.

Esimerkiksi NVDA on ilmainen, avoimeen lähdekoodiin perustuva Microsoft Windows -käyttäjärjestelmälle suunniteltu ruudunlukuohjelma. Siitä on saatavissa myös suomenkielinen versio. NVDA-ruudunlukuohjelman toimintaa voidaan ohjelmallisesti ohjata suoraan API-kutsuilla, ja siinä on tuki Javalle. Pistelaskimen kannalta on huomattava, etteivät ruudunlukuohjelmat pysty lukemaan kuvaa, vaan se on analysoitava erikseen. Sitä varten piirtopinta-alue täytyy muuttua ensin kuvaksi. (Juntunen henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2010.) Viertonen (henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010) arvioi NVDA:n olevan kelvollinen vaihtoehto, vaikkakin siinä on kimeää ääni.

Kaupallisia ruudunlukuohjelmia ovat mm. Jaws, Col, Hal ja Supernova. Näistä Viertonen (henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010) mainitsi Jawsin olevan hyvä, mutta kallis vaihtoehto. Myös uusimmissa Windows- ja Macintosh-käyttäjärjestelmissä on itsessään alkeellinen ruudunlukuohjelma. Esimerkiksi Windows XP:ssä on Narrator, joka tosin puhuu vain englantia. Viertonen piti suomenkielisyyttä tärkeänä ominaisuutena. (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010.)

Ruudunlukuohjelmia on kehitetty myös matkapuhelimiin, ja ne toimivat älypuhelimissa, kommunikaattoreissa sekä kämmenlaitteissa. Matkapuhelimille tarkoitettuja ruudunlukuohjelmia ovat esimerkiksi Mobile Accessibility, Mobile Speak ja

SpeechPAK Talks. (Wikipedia. Ruudunlukuohjelma. 11.2.2011) Näistä Mobile Speak oli Viertoselle tuttu. Hän mainitsi, että monella näkövammaisella on käytössään älypuhelin (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010).

7.5.2 Puhesyntetisaattorit

Puhsyntetisaattori on tietokoneohjelma, joka muuntaa tekstin synteettiseksi puheeksi. Ohjelmallisten puhsyntetisaattorien toiminta edellyttää yleensä, että tietokoneessa on äänikortti sekä kaiuttimet tai kuulokkeet. Puhsyntetisaattori tarvitsee toimiakseen ruudunlukuohjelman. (Näkövammaisten keskusliitto 2011.)

Puhsyntetisaattori voi olla myös laite, joka voidaan kytkeä tietokoneen sarja-, rinnakkais- tai USB-porttiin tai vapaaseen korttipaikkaan (Wikipedia 2010). Tämä vaihtoehto on kuitenkin niin kallis, ettei sitä tutkittu enempää eikä sitä otettu huomioon toteutustapavalintaa tehtäessä.

Suomea puhuvia puhsyntetisaattoreita ovat esimerkiksi Mikropuhe ja Caicu-232 sekä monikieliset Eloquence ja Orpheus. Windows-pohjaiset syntetisaattorit muuttavat puhe-XML -muotoista, ISO-Latin tai Unicode -merkistöllä kirjoitettua tekstiä puheeksi. Syntetisaattorit käyttävät SAPI5-rajapintaa. (Juntunen henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2010.) Matkapuhelimille tarkoitettu puhsyntetisaattori on Mobile Speaks. Uusimpiin Windows-käyttöjärjestelmiin sisältyy myös puhsyntetisaattori.

Juntunen (henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2010) Näkövammaisten Keskusliitosta mainitsi yhtenä puutteena sen, ettei Linuxille löydy ilmaisia ohjelmistoja. Internetistä löytyi kuitenkin sekä ruudunlukuohjelmia että puhsyntetisaattoreita ainakin Ubuntu-käyttöjärjestelmälle. Näistä ei kuitenkaan ollut saatavilla käyttökokemuksia.

7.5.3 Muita apuvälineitä

Pistenäyttö on tietokoneeseen liitettävä ulkoinen laite, joka muuttaa näyttöruudun tekstin pistekirjoitukseksi. Pistenäytössä on vain yksi rivi, joka on pituudeltaan mallista riippuen 40 - 80 merkkiä. Oletusarvoisesti pisterivi näyttää näyttöruudun aktiivi-

sen kohdan. Pistenäytön ohjausnäppäimillä näyttöruudun sisältöä voidaan valita luettavaksi rivi kerrallaan. Pistenäyttö toimii ruudunlukuohjelman välittämällä tiedolla. (Essi www-sivut 2010.) Pistenäytöt ovat kalliita, joten ohjelmistoa ei voitu rakentaa tämän vaihtoehdon varaan. Suunnittelussa kuitenkin pidettiin mielessä, että ohjelma voisi toimia myös pistenäytön kanssa.

Joskus heikkonäköisen tarpeisiin riittää suurikokoinen näyttömonitori ja käyttäjäkohtaiset fontti- sekä väriasetukset. Ellei nämä riitä, niin voidaan käyttää suurennusohjelmaa. Ohjelmat suurentavat sekä merkkipohjaista tekstiä että grafiikkaa, minkä lisäksi ne tuottavat värillisen suurennoksen. (Essi www-sivut 2010.) Suurennusohjelma ei riittänyt käyttötarkoitukseen, koska pääosa kohderyhmästä koostui täysin sokeista. Suurennusohjelmaa ei kuitenkaan kannattanut kokonaan sulkea pois, vaan pistelaskimen suunnittelussa jätettiin mahdollisuus myös sen käytölle.

Joissakin puhelinmalleissa on värintunnistusohjelma. Haittapuolena ohjelmassa on se, että sitä pitää kalibroida usein. (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010). Kalibrointi on sokealle hankalaa, joten tämä idea hylättiin kokonaan.

7.6 Toisista tutkimuksista tehdyt johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä toteutettavan ohjelmiston erityispiirteitä ovat:

1. Yhdestä kuvasta etsitään useita kohteita,
2. web-kamera on mahdollisimman edullinen, joten kameran laatu ei ole kovin hyvä,
3. pallon nopeus on suuri, jolloin keilat kaatuvat silmänräpäyksessä ja
4. käyttäjä on sokea.

Tutkimuksista oli tarkoitus etsiä vastauksia seuraaviin kysymyksiin: Mitä kuvankäsittelytekniikoita niissä on käytetty ja kuinka hyvin ne toimivat? Onko edullisesta web-kamerasta hyötyä hahmontunnistuksessa? Millainen on saavutettava ohjelmisto?

Edellä mainituista ohjelmistoista Djajadinin ryhmän (2010) lajittelukone oli kaikkein varmin. Tosin se oli yksinkertaisempi toteuttaa kuin muut hahmontunnistusjärjestelmät. Verstraetenin ryhmän (2010) tutkimus osoitti, että tavallinen web-kamera riittää

ohjelmiston toteuttamiseen, mikäli siinä ei seurata nopeasti liikkuvaa palloa tai kaa-
tuvaa keilaa, vaan analysoidaan väriä tietyllä alueella. Teknisesti on kuitenkin mah-
dollista seurata nopeasti liikkuvaa kohdetta, mutta tällöin tarvitaan parempilaatuinen
kamera. Toisin kuin Verstratenin tutkimuksessa, pistelaskimessa ei stereonäköä tar-
vittu, koska keilailussa kiinnosti vain keilojen paikka. Keilapuomin liikkeen seura-
misessa olisi stereonäöstä voinut olla hyötyä.

Vaikka tarkastellut tutkimukset perustuivat hahmontunnistukseen, niin pistelaski-
messa ei ollut tarpeen seurata kohdetta. Kohde eli keila joko on tai se ei ole tarkaste-
lukohdassa. Kohteen tunnistusta muodon tai minkään muun asian perusteella ei
myöskään voitu hyödyntää, sillä keilat olivat kuvassa limittäin. Kuvaa ei ollut mah-
dollista ottaa suoraan päältäpäin, joten Houghin -menetelmää ympyrän tunnistami-
seksi ei voitu hyödyntää. Myös keilojen tunnistaminen värin perusteella olisi ollut
turhaa, sillä kontrasti on suuri: keilat ovat valkoisia ja tausta musta. Keilapalloa olisi
kuitenkin voinut seurata ja sen pyöreää muotoa olisi voitu kuvasta etsiä. Tummaa,
nopeasti liikkuvaa palloa olisi ollut hankala erottaa tummasta taustastaan.

Pistelaskimessa sovellettiin Mezein ja Darabantin (2010) ajatusta pikselien värien
tutkimisesta. Alueen värien keskiarvo laskettiin keiloille ennalta määritetyllä alueel-
la. Keila on pystyssä, jos suurin osa alueen pikseleistä on valkoisia. Keskiarvon käyt-
täminen antaa anteeksi pienet häiriöt tarkasteltavalla alueella. Pistelaskimessa vertai-
lukuva ei pystytty ottamaan muulloin kuin kalibrointivaiheessa. Tämän vuoksi edel-
lä mainituissa tutkimuksissa käytettyä taustan vähennysmenetelmää ei voitu hyödyn-
tää, mutta muita kuvankäsittelymenetelmiä hyödynnettiin, jotta kuva saatiin helposti
tarkasteltavaan muotoon.

Tanakan ryhmän (2005) tutkimus osoitti, että käyttäjän tarpeet kannatti kartoittaa
huolellisesti, jotta ohjelmisto myös jäisi käyttöön. Ohjelmiston pääasiallinen käyttäjä
on sokea, mutta ohjelmiston kalibroinnin tekee näkevä. On hyvä muistaa, ettei käyt-
tävää ohjelmisto välttämättä ole saavutettava eikä saavutettava ohjelmisto käytettä-
vä. Näin ollen sekä saavutettavuutta että käytettävyyttä oli mietittävä ohjelmistoa
suunniteltaessa ja testatessa.

7.7 Olemassa olevat ratkaisut

Olemassa olevia ratkaisuja kartoitettiin ensin Suomesta puhelimitse ja sitten ulkomailta sähköpostitse. Englanti ja Yhdysvallat valittiin tutkimukseen siksi, että niissä on suuret näkövammaisten kattojärjestöt. Australia taas siksi, että se on näkövammaiskeilailun edelläkävijämaa.

Suomi

Hannu Riihimäen mukaan Salon keilahallissa on ollut käytössä tuntopäätte näkövammaista keilaajaa varten. Laite ei ole enää käytössä eikä tiettävästi muualla Suomessa ole vastaavaa apuvälinettä. (Riihimäki henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2010.)

Salon keilahallin tuntopäätte tehtiin tilaustyönä eräälle näkövammaiselle keilaajalle. Tuntolevyssä on piikkejä keilapatterin kuviossa, jossa yksi piikki vastaa yhtä keilaa. Kaadon jälkeen piikit nousevat pystyyn, ja siitä näkövammaisen saa tunnustelemalla tietää kaatonsa tuloksen. Apuvälineen valmistanut Tapio Rohkea kertoi, että keilatie-dot saatiin keilanpystytyskoneen signaalista, ja tuntopäätteen piikkejä ohjattiin logiikoiden avulla. Hauska yksityiskohta laitteessa oli, että se soitti fanfaarina porilaisten marssia, mikäli keilaaja onnistui tekemään kaadon. Apuväline otettiin pois käytöstä, kun sen käyttäjä kuoli vuosia sitten. Rohkea kertoi, että esteeksi laitteen menestykselle nousi sen hinta. (Rohkea henkilökohtainen tiedonanto 11.11.2010.)

Englanti

Royal National Institute of Blind People on näkövammaisten kattojärjestö Englannissa. Siellä Alison Long vastaa näkövammaisille suunnatuista tuotteista. Hän ja hänen kollegansa eivät olleet tietoisia että Englannista löytyisi vastaavaa apuvälinettä. Heiltä saatiin kahden pienemmän järjestön yhteystiedot, mutta kyselyt niihin eivät tuottaneet tulosta. (Long sähköposti 11.10.2010.)

USA

American Foundation for the Blind on näkövammaisten pääjärjestö Yhdysvalloissa. Heidän tiedotuspäällikkönsä Tara Annis vastasi sähköpostitiedusteluun, ettei tällaista apuvälinettä ole vielä keksitty. Hän piti tätä projektia erittäin kiinnostavana ja antoi

yhteystietoja, joista saattaisi työn tekemisessä olla hyötyä. (McGuire sähköposti 12.12.2010)

Australia

Australian Blind Bowlers Association on näkövammaisten keilaajien järjestö Australiassa. Heidän sihteerinsä Kerry McGuire (sähköposti 21.3.2011) kertoi, ettei heillä ole käytössä apuvälineitä, vaan ohjaaja kertoo suullisesti keilojen paikat.

8 TOTEUTUKSEN TEKNISET PUITTEET

8.1 Keilatiedon saaminen keilahallin keilailujärjestelmästä

Keilailujärjestelmä koostuu radasta, keilanpystytyskoneesta ja tuloslaskinjärjestelmästä. Kahta rataa kohden tarvitaan yksi keilanpystytyskone. Kun pallo ohittaa keilojen edessä olevan sensorin, niin sekunnin kuluttua keilapuomi laskeutuu alas estäen ylimääräisten pallojen heiton keilapöydälle. Reilun kolmen sekunnin kuluttua tästä teline, jossa on paikat kaikille kymmenelle keilalle, laskeutuu alas. Se ottaa pystyssä olevat keilat säiliöönsä ja nostaa ne ylös. Keilanpystytyskone tunnistaa sensorien avulla pystyyn jääneet keilat ja lähettää niistä tiedon eteenpäin pistelaskimelle. Seuraavaksi keilapuomi työntää mahdolliset keilapöydälle jääneet, kaatuneet keilat pois ja palaa takaisin keilapöydän eteen. Keiloja otteessaan pitävä teline laskeutuu alas, irrottaa keilat otteestaan ja nousee ylös. Tämän jälkeen keilapuomi nousee ylös ja seuraava heittovuoro voi alkaa. (Branan 2011; Essortment www-sivut 2011.)

Kuten taulukosta 1 on havaittavissa, Satakunnassa on kahden eri laitevalmistajan keilanpystytyskoneita. Porissa on Brunswick-merkkinen, kesällä 2010 uusittu laite (malli GS-X). Porin lisäksi Eurassa on samanmerkkinen, mutta erimallinen laite. (Lax sähköposti 19.7.2011.) Satakunnassa on eniten American Machine and Foundry Companyn (AMF) laitteita.

Keilanpystytyskoneet voidaan yhdistää eri valmistajien tulosjärjestelmiin erillisillä sovittimilla (Lax 2010). Vanhemmat keilanpystytyskoneet ovat ns. ”tyhmiä” eli me-

kaanisia, jotka eivät tiedä kaatuneista keiloista mitään. Keilahalleissa, joissa on käytössä vanhempi laitemalli, käytetään kameroita kuvaamaan keilapatteria. Myös nämä kameraa käyttävät mallit voidaan yhdistää eri valmistajien pistelaskimiin. (Toivonen henkilökohtainen tiedonanto 8.9.2010.)

Taulukko 1 osoittaa, että Satakunnan alueen keilahalleissa on käytössä kolmen eri valmistajan pistelaskujärjestelmiä, joista vain Raumalla on saman valmistajan laite kuin Porissa eli Qubica Amf.

Taulukko 1. Satakunnan keilailujärjestelmät paikkakunnittain.

Paikkakunta	Keilanpystytyskone	Pistelaskinjärjestelmä
Pori	Brunswick	Qubica Amf
Rauma	AMF	Qubica Amf
Eura	Brunswick	Viking
Eurajoki	AMF	Pro Scoria
Nakkila	AMF	Pro Scoria
Kankaanpää	AMF	Pro Scoria

Keilanpystytyskoneelta pistetieto siirtyy tietoliikenneverkkoa pitkin palvelimelle ja sieltä edelleen tulosmonitoreille ja kahvion ohjaustietokoneeseen. Tulosmonitorit ovat tavallisia televisioita, joiden signaalista olisi periaatteessa voitu saada keilatieto ulos. Kuva olisi täytynyt muuttua ensin pikselimuotoon kuvan analysointia varten. Keilahallin henkilökunta näki tämän vaihtoehdon ongelmalliseksi siksi, että aiemmin oli ollut ongelmia signaalin muuttamisessa tavalliselle televisiolle sopivaksi (A-P Lax 2.11.2010). Porissa on harkittu uusien tulosmonitorien hankintaa, joten tätä vaihtoehtoa harkitessa olisi pitänyt ottaa huomioon mahdolliset laitekohtaiset erot. Kahviossa sijaitsevalla tietokoneella on pistelaskua varten ohjelmisto, mutta sitä kautta on reaaliaikaisesti saatavissa vain pistetilanne, ei yksittäisiä keilatietoja.

Yksi pistelaskujärjestelmän osa on keilaradan alkupäässä sijaitseva asiakaspäätte. Porissa olevan asiakaspäätteen valmistaja on sama kuin pistelaskimen valmistaja eli Qubica Amf. Asiakaspäätteelle tulee johdotukset, joissa keilatieto kulkee signaalimuodossa. Tätä kautta olisi ollut mahdollista saada tieto keilojen asennoista. Asia-

kaspäänteen kuvaa olisi voinut myös kuvata kameralla ja analysoida sitä. Eri asiakaspäänteissä on valmistajakohtaisia eroja, eikä kaikissa keilahalleissa ei ole asiakaspääntettä, joten tämä ratkaisumalli ei olisi soveltunut kaikkiin käyttökohteisiin.

8.2 Vaihtoehtona ohjelmoitavat logiikat

Rohkea (henkilökohtainen tiedonanto 11.11.2010) ehdotti signaalin muuttamiseen ohjelmoitavia logiikoita (Rohkea 2010). Trast (sähköposti 10.11.2010) mainitsi, että rinnakkaismuotoisen datan voi lukea esimerkiksi tietokoneen rinnakkaisportilla tai erillisellä I/O-kortilla. Saatavilla on laitteita, jotka lukevat dataa joko suoraan tietokoneen PCI-väylältä tai USB:n tai verkon kautta. Esimerkiksi VisiLogin avulla voidaan kytkintietoja lähettää tekstiviesteinä. (Trast sähköposti 10.11.2010.) Näitä vaihtoehtoja olisi pitänyt tarkastella syvemmin, mikäli olisi päädytty signaalitiedon ottamiseen suoraan keilanpystytyskoneelta.

8.3 Tiedonsiirtotavat

Tiedonsiirtoon on olemassa useita eri vaihtoja, esimerkiksi Universal Serial Bus (USB), Bluetooth, radiotie, infrapuna ja Internet (TCP/IP). Yhteensopivuuden lisäksi tiedonsiirtotavan valinnassa täytyi ottaa huomioon yhteyden kantama, sillä keilaajan ja keilapatterin välinen etäisyys on 25-30 metriä. USB-kaapelin kantama on 3-5 metriä riippuen laitteen nopeudesta (Universal Serial Bus www-sivut 2011). Bluetooth-yhteyden nimellinen kantama on 10 metriä (Pönkänen 1999), mutta suurimmalla mahdollisella lähetysteholla vapaassa tilassa kantama on suurempi kuin sata metriä (Karasti 2000, 67). Langattomien lähiverkkokorttien kantama on muutamasta kymmenestä metrillä noin 300 metriin. Kantavuuteen vaikuttavat välissä olevat esteet. Infrapunankantama on radiotietä huomattavasti heikompi, eikä laitteiden välillä saa olla näköesteitä. (Jaaranen 2001.) Muiden yhteystapojen kantamat ovat käyttötarkoitukseen riittäviä.

8.4 Käyttöjärjestelmät

Mahdollisia toteutusaloja ohjelmistolle on paljon. Tietokoneen käyttöjärjestelmiä ovat esimerkiksi maksulliset Windows ja MacOS X sekä ilmaiset Unix ja Linux. Matkapuhelinten käyttöjärjestelmiä ovat muun muassa Symbian, Maemo, Meego, Android ja Windows Phone. Käyttöjärjestelmien laaja kirjo ja niiden eri versioiden nopea uusiutuminen vaikeuttavat valintaa, kun halutaan toteuttaa kerralla mahdollisimman monelle eri alustalle sopiva ohjelmisto. Kannettaan tietokoneeseen on usein asennettu valmiiksi jokin Windows-käyttöjärjestelmä myyntihetkellä.

8.5 Avoimen lähdekoodin ohjelmistot eli avoimet ohjelmistot

Avoimella lähdekoodilla tarkoitetaan ohjelmistoa, jonka lähdekoodi on vapaasti levitettävissä. Toisin sanoen avoin ohjelmisto on julkaistu avoimen lähdekoodin lisenssillä. Se ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ohjelmisto on ilmainen. Open Source Initiative (OSI) määrittelemät vaatimukset avoimen lähdekoodin ohjelmistolle ovat:

1. Ohjelma on vapaasti levitettävissä.
2. Lähdekoodi tulee ohjelman mukana tai se on ilmaiseksi saatavissa esimerkiksi Internetistä.
3. Ohjelmistoa voidaan vapaasti muokata ja siitä voidaan tehdä johdannaisia.
4. Lähdekoodia saa muokata.
5. Yksilöitä tai ihmisryhmiä ei aseteta eriarvoiseen asemaan.
6. Ohjelmiston käyttötarkoituksia ei rajoiteta.
7. Kaikilla ohjelman käsiinsä saaneilla on samat oikeudet ohjelmistoon.
8. Ohjelman lisenssioikeudet säilyvät, vaikka se irrotettaisiin distribuutiosta, jossa se on julkaistu.
9. Lisenssi ei aseta ehtoja muille ohjelmille.
10. Lisenssin sisältö on riippumaton teknisestä toteutuksesta. (Open Source Initiative [www-sivut](http://www.opensource.org/licenses/) 2011.)

Esimerkiksi GNU General Public License 2 (GPL 2) on ns. copyleft-lisenssi, joka sallii teoksen vapaan muokkaamisen, kopioinnin ja käyttämisen omilla teoksissa. Tekijänoikeudet eivät kuitenkaan katoa, vaan ohjelmistoon tehtävät muutokset on

edelleen lisensoitaessa lisensoitava samoin ehdoin kuin alkuperäinen ohjelmisto on lisensoitu. (GNU operating system www-sivut 2011.)

Lisenssillä GNU Lesser General Public License (LGPL) julkaistu ohjelma on vapaasti levitettävissä ja kopioitavissa, mutta sitä ei saa muuttaa. LGPL-ohjelmistot voidaan linkittää yhteen myös muun kuin GPL-lisensoidun ohjelman osan kanssa. LGPL-lisenssillä julkaistua ohjelmaa ei näin ollen voida pitää avoimen lähdekoodin ohjelmistona. (GNU operating system www-sivut 2011.)

Lisenssien Berkeley Software Distributionin (BSD) ehdot vaativat, että alkuperäiset tekijänoikeustiedot on säilytettävä myös johdannaisteosten jakelussa (Hoskins 2011). BSD-lisenssejä on kolmea eri tyyppiä: 4-clause license (original "BSD License"), 3-clause license ("New BSD License" tai "Modified BSD License") ja 2-clause license ("Simplified BSD License" tai "FreeBSD License"). Pääasiallisena erona näiden välillä on markkinointilause. Sen mukaan alkuperäisen ohjelmiston tekijän nimeä ei saa käyttää johdannaisteosten markkinoinnissa (Hoskins 2011). BSD-lisenssi ei vaadi johdannaisteosten pitämistä vapaina ohjelmina.

Yksi avoimen lähdekoodin ohjelmistojen käytön etu on niiden lähdekoodin ilmaisuus. Niiden avulla on mahdollista ohjelmoida pistelaskin maksamatta kalliita lisenssimaksuja. Toinen hyöty käyttäjän kannalta on se, että virheen löydyttyä sen voi kuka tahansa korjata. Haittana on, etteivät kaikki lisenssit sovi toisiinsa ja ettei avoimella lähdekoodilla toteutetusta ohjelmistosta välttämättä hyödy rahallisesti. Ohjelmistoa ei muutenkaan voida EU:ssa patentoida, sillä patenttilain yleisten säännösten 1. pykälä toteaa, ettei tietokoneohjelmaa lasketa keksinnöksi (Patenttilaki 1967).

8.6 Ohjelmointiympäristöt ja -kielet

Erilaisia ohjelmointiympäristöjä ja ohjelmointikieliä on olemassa paljon. Tähän vertailuun otettiin kaksi alustariippumatonta kehitysympäristövaihtoehtoa: Java ja Qt.

Qt on ohjelmistojen ja graafisten käyttöliittymien tekemiseen tarkoitettu kehitysympäristö. Qt-ympäristön kehitti alun perin norjalainen Trolltech, jolta Nokia osti sen

vuonna 2008. Nykyisin kehityksestä vastaa Nokian omistama Qt Development Frameworks. Qt on alustariippumaton, eli sen avulla toteutetut ohjelmat voidaan kääntää useille eri alustoille kirjoittamatta lähdekoodia uudelleen. Qt sisältää C++-luokkakirjaston ja alustariippumattoman ohjelmointiympäristön. Qt-ympäristöä käytetään myös tekstipohjaisten sekä palvelinohjelmistojen kehittämiseen. Tunnettuja Qt:n avulla kehitettyjä ohjelmistoja ovat esimerkiksi Google Earth, Skype ja VLC Media Player. (Nokia Corporation 2011a.)

Qt-kirjastossa on sisäänrakennettu tuki C++-ohjelmointikielelle, mutta Qt:ta voidaan käyttää myös muilla kielillä, kuten esimerkiksi C#/.NET, Python, Ada, Pascal, Perl, PHP ja Ruby. Tällöin tarvitaan niille erikseen tarkoitettu, erillinen kirjasto. Javan käyttö on mahdollista vain LGPL v2.1-lisenssillä. (Nokia Corporation 2011b.)

Qt-ympäristö on vapaa avoimen lähdekoodin ohjelmisto ja se on saatavilla GPL-lisenssillä (GNU General Public License, v. 3.0). LGPL-lisenssillä (GNU Lesser General Public License, v. 2.1) sekä kaupallisella Commercial-lisenssillä (Commercial Developer License). (Nokia Corporation 2011d.)

Qt on julkaistu seuraaville alustoille:

- Windows (XP, Vista, Vista 64bit, 7),
- Linux/X11,
- Apple Mac OS X,
- Windows CE mobile,
- Embedded Linux,
- Symbian,
- Maemo ja
- Meego (Nokia Corporation 2011e).

Java on Sun Microsystemsin kehittämä ohjelmointikieli ja ohjelmistoalusta. Java on laitteistoriippumaton oliopohjainen ohjelmointikieli. Javaa käytetään Web-pohjaisissa sovelluksissa, palvelinsovelluksissa, kännyköissä ja taskutietokoneissa. Java on vapaa GPL-lisenssillä saatava ohjelmisto, mutta se on saatavilla myös kaupallisena versiona. (Java www-sivut 2011.)

Java on oliopohjainen, C++-kieltä muistuttava ohjelmointikieli. Toisin kuin useimmat ohjelmointikielet, Java käännetään useimmin tavukoodiksi, joka suoritetaan virtuaalikoneessa. Näin ollen sillä ohjelmoidut ohjelmat eivät pysty vaikuttamaan suoraan muihin prosesseihin, eivätkä pääse virtuaalikoneelle määrätyn hiekkalaatikon ulkopuolelle. (Wikipedia 2011)

Javan ja QT:n vertailua

Java on suunniteltu niin, että se olisi tehokas työkalu ohjelmoimiseen. Toisin kuin C++, se ei turvallisuussyistä anna käyttäjän allokoida muistia vapaasti. Toisin kuin C++, Java myös vapauttaa muistin automaattisesti. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, ettei näillä seikoilla ole käytännön merkitystä tehokkuuteen. Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että mikäli ohjelmistokehittäjä saa valita mieleisensä ohjelmointikielen, niin saman kokemuksen omaavien ohjelmoijien tehokkuudessa ei ollut merkittäviä eroja C++:n ja Javan välillä. Akateemiset tutkimukset ja teollisuuden käytäntö ovat osoittaneet, että aloittelijat oppivat Javan nopeammin kuin C++:n, mutta kokeneemmat ohjelmoivat saavuttivat C++:lla parempia tuloksia kuin Javalla. (Dalheimer, 3, 11.)

Suorituskyvyltään vaativia ja käyttäjäystävällisiä ohjelmistoja vertailtaessa Javan suurimmaksi ongelmaksi nousi ajonaikaisen muistin käyttö verrattuna Qt:een, mikä teki Javasta hitaan. Vertailtaessa graafisia käyttöliittymäkirjastoja, Javan Swingiä ja Qt:ta, oli Swing ajonaikana selvästi hitaampi, mikä heikentää käyttäjäystävällisyyttä. (Dalheimer, 11.)

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että Java sopii yksinkertaisiin ohjelmiin, jotka eivät vaadi muistilta nopeutta ja joissa ei ole käyttöliittymää tai joissa käyttöliittymä on hyvin yksinkertainen.

8.7 Kuvan analysoitiin tarkoitetut kirjastot

Mitov Software on erikoistunut kuvan, äänen ja signaalin käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmistokomponenttien kehitykseen. Yksi heidän tuotteistaan, VisionLab, tarjoaa

perustyökaluja tietokonenäkösovelluksien kehittämiseen. Kirjasto on ilmainen eikaupallisessa käytössä. Visionlabista on kolme versiota: Delphi / C++ -Builder-versio, Visual C++-versio ja .NET 2.0-versio. Jälkimmäinen on yhteensopiva Microsoftin Visual Basic.NET, C# ja J# -ohjelmointikielien kanssa. (Mitov Software www-sivut 2011.) Vision lab 4.5 .NET -versiota myydään verkkokaupoissa 670,00 dollarin ja Visual C++ -versiota 570,00 dollarin hintaan.

Open Source Computer Vision Library (OpenCV) on Intelin kehittämä, konenäkösovellusten kehittämiseen tarkoitettu kirjasto. Se on optimoitu Intelin prosessoreille ja se perustuu BSD-lisenssiin (Berkeley Software Distribution). Kirjastoa voidaan käyttää muun muassa hahmontunnistukseen, eleen- ja kasvojentunnistuksen sekä liikkeen seurataan. Kirjastossa on lukuisia algoritmeja kuvan käsittelyyn ja analysointiin. (Intel Corporation 200. OpenCV 2011) OpenCV -kirjasto on toteutettu C/C++ -kielellä, mutta se on saatavilla myös esimerkiksi Java, C#, Python-kielille. Kirjasto on saatavilla esimerkiksi Windows-, Linux-, Mac OS X- ja Android -käyttöjärjestelmissä. (OpenCVWiki 2011.)

9 TOTEUTUSTAVAN JA YMPÄRISTÖN VALINTA

9.1 IVA-arviointi.

IVA-arvioinnin avulla tarkasteltiin vaihtoehtoisia ratkaisumalleja pistelaskimen toteuttamiseksi. Tavoitteena oli tehdä päätös parhaasta mahdollisesta ratkaisumallista. Arviointitapana käytettiin nopeaa ennakoarviointia. Nopea IVA sopi siksi, että arvioinnissa tarvittava tieto oli kerätty jo ennen arvion tekemistä. IVA-arvioinnissa on kolme eri vaihetta: vaihtoehtojen kuvaus, vaikutusten tunnistus ja vaihtoehtojen vertailu. Arvioinnin tulosten perusteella käyttäjä teki valinnan toteutettavasta ratkaisumallista.

9.1.1 Vaihtoehtojen kuvaus

IVA-arvioinnin ensimmäinen vaihe oli vaihtoehtojen kuvaus. Arvioinnissa kuvattiin uusien ratkaisumallien lisäksi myös nykytila. Pistelaskimen toteutustapoja oli nykytila mukaan lukien viisi kappaletta.

Nollavaihtoehto eli nykytila

Näkövammaisen keilaaja tarvitsee keilailuharrastuksensa tueksi keilakaiteen, jonka avulla hän pystyy määrittämään suunnan. Lisäksi hän tarvitsee avustajan. Avustaja asentaa kaiteen keilaradan suuntaisesti. Heiton jälkeen avustaja kertoo, mitkä keilat jäivät pystyyn ja mikä oli tulos. Avustajalta saamansa tiedon perusteella keilaaja voi seuraavalla kierroksella yrittää paikkaa. Avustaja kertoo myös, oliko heitossa kierrettä ja monennettako kierrosta pelataan. (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010.)

Vaihtoehto 1 eli kehitetään puhuva pistelaskin kiinteällä asennuksella

Toteutetaan apuväline, joka kertoo kaadon jälkeen, mitkä keilat jäivät pystyyn ja mikä on pistemäärä. Tieto kaatuneista/pystyyn jääneistä keiloista otetaan keilanpystytuskoneelta signaalimuodossa ja siirretään tietokoneelle tai mobiililaitteelle. Signaali luetaan tietokoneen rinnakkaisportilla tai erillisellä I/O-kortilla. Kytkintiedot luetaan ohjelmallisesti, ja saadun tiedon perusteella ohjataan ohjelmallisesti puhesyntetisaattoria. Ääni tulee ulos päätelaitteen (tietokoneen tai mobiililaitteen) kaiuttimista tai siihen liitetystä kuulokkeista.

Vaihtoehto 2 eli kehitetään puhuva pistelaskin väliaikaisella asennuksella

Toteutetaan apuväline, joka kaadon jälkeen kertoo, monesko kierros on, mitkä keilat jäivät pystyyn ja mikä on pistemäärä. Keilapatteria kuvataan web-kameran avulla, ja kuva lähetetään joko langattomasti tai langallisesti tietokoneelle. Kuvaa analysoidaan ohjelmallisesti ja siitä lasketaan, mitkä keilat ovat pystyssä. Saadun tuloksen perus-

teella ohjataan ohjelmallisesti puhesyntetisaattoria. Ääni tulee ulos tietokoneen kaiuttimista tai tietokoneeseen asennetuista kuulokkeista.

Kuvan analysoinnissa tarvittavaa laskentaa ei voida tehdä mobiililaitteessa, koska sen laskentateho ei riitä. Tätä toteutusvaihtoehtoa varten tarvitaan erillinen palvelin, jolloin mobiililaitteessa olisi vain käyttöliittymä tai käyttöliittymä olisi selainpohjainen.

Vaihtoehto 3 eli kehitetään puhuva pistelaskin olemassa olevan pistelaskujärjestelmän sisälle

Toteutetaan olemassa olevan pistelaskujärjestelmän sisälle apuväline, joka välittää heiton jälkeen tiedon kierroksesta, pystyyn jääneistä keiloista ja tuloksesta puhesyntetisaattorille. Kaatuneet keilat ja pistemäärä saadaan järjestelmän omista tiedoista ja ääni saadaan ulos tulosmonitorista saman järjestelmän kautta. Tälle vaihtoehdolle huomionarvoista on se, etteivät keilakoneiden valmistajat anna suljetusta järjestelmästä tietoa ulkopuolisille, mutta jos ratkaisu hyödyttäisi heitä taloudellisesti, se voisi onnistua.

Vaihtoehto 4 eli kehitetään tuntopäätteellä toimiva pistelaskin kiinteällä asennuksella

Toteutetaan apuväline Salon mallin mukaisesti. Tieto kaatuneista keiloista otetaan keilanpystytyskoneelta. Logiikoiden avulla nostetaan kaatunutta keilaa vastaava piikki pystyyn tuntolevyllä (Rohkea henkilökohtainen tiedonanto 11.11.2010).

9.1.2 Vaikutusten tunnistus

IVA-arvioinnin toisessa vaiheessa pyrittiin tunnistamaan eri vaihtoehtojen vaikutusta näkövammaisten harrastamismahdollisuuksiin.

Vaihtoehto 0 (nykytila)

Jos apuvälinettä ei toteuteta, näkövammaisten harrastamismahdollisuudet säilyvät nykyisellään. Harrastaja tarvitsee avustajan tuekseen koko keilailunsa ajaksi.

Vaihtoehto 1 (puhuva pistelaskin kiinteällä asennuksella)

Mikäli järjestelmä toteutetaan keilanpystytyskoneasennuksella, pallon tekemää kiertettä ei pystytä analysoimaan, mutta ratkaisu helpottaa muuten keilailun harrastamista (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010). Näkövammaisen tarvitsee edelleen avustajaa keilakaiteen sijoittamiseen, mutta avustajan ei tarvitse olla paikalla koko aikaa tai kaiteen voi laittaa paikoilleen esimerkiksi keilahallin henkilökunta. Näin ollen vaikeasti näkövammaisten harrastamismahdollisuudet kasvavat.

Jokaisella laitevalmistajalla ja usein myös keilakonemallilla on erilainen keilantun-
nistuksen toteutustapa, joten myös signaali saattaa olla erilainen. Tällöin signaali-
muunnos joudutaan tekemään jokaiselle konemallille erikseen. Tämä hankaloittaa
järjestelmän käyttöönottoa. Hankala käyttöönotto puolestaan voi johtaa siihen, ettei
laitetta oteta käyttöön ollenkaan.

Tämä vaihtoehdon toteuttaminen vaatii osaavan henkilön tutkimaan signaalia ja te-
kemään johdotukset, sillä väärä asennustapa voi rikkoa keilanpystytyskoneen. Myös
asennustapa on jokaiselle laitemallille erilainen. Tämä vaihtoehto vaatii keilahallin
sitoutumisen, joten ratkaisumalli voi jäädä vain pilottikeilahallin käyttöön. Huollon
yhteydessä voi laite jäädä asentamatta uudelleen, mikäli asennus on vaikeaa. Siinä
tapauksessa palvelun saavutettavuus ei kasva.

Keilanpystytyskoneelta saatu tulosignaali on hyvälaatuinen, joten pistelaskimen vir-
heenmahdollisuus on pieni. Käyttövarmuus lisää käyttöä.

Jos laite otetaan käyttöön, niin näkövammaisten aikuisten ja lasten sosiaalisuus ja
liikuntamahdollisuudet kasvavat. Apuväline helpottaa näkövammaisen itsenäistä har-
joittelua (Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010).

Vaihtoehto 2 (puhuva pistelaskin väliaikaisella asennuksella)

Analysoimalla videokuvaa voidaan saada selville pallon osumakohta ja kierto. Jos ohjelmisto rakennetaan modulaariseksi, sen laajennusmahdollisuudet kasvavat. Tämä lisää käyttöarvoa. Näkövammaisen tarvitsee avustajaa edelleen keilakaiteen sijoittamisessa sekä kameran asennuksessa että kalibroinnissa, mutta avustajan ei tarvitse olla paikalla koko aikaa. Alkutoimet voi tehdä esimerkiksi keilahallin henkilökunta. Näin ollen harrastamismahdollisuudet kasvavat.

Kuvan analysoitiin vaikuttaa kuvan laatu, joten huonolla kuvalaadulla myös virheen mahdollisuus kasvaa. Jos kuvan laatu on huono, laitteen käyttömukavuus pienenee ja käyttö saattaa hiipua.

Tämä olisi edullinen ja laiteriippumaton ratkaisu. Kamera ja tietokone voivat olla harrastajan omia (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010). Apuvälineen asennus on helppoa: kamera kiinnitetään ilmastointiteipillä keilapatterin yläpuolelle. Tämä vaihtoehto ei vaadi keilahallilta paljoa sitoutumista, vaan järjestelmän käyttö on kiinni keilaaja halukkuudesta. Helppo käyttöönotto lisää halukkuutta ottaa järjestelmä käyttöön.

Jos laite otetaan käyttöön, niin näkövammaisten aikuisten ja lasten sosiaalisuus ja liikuntamahdollisuudet kasvavat. Apuväline helpottaa näkövammaisen itsenäistä harjoittelua (Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010).

Vaihtoehto 3 (puhuva pistelaskin pistelaskujärjestelmän sisällä)

Nykyisen pistelaskujärjestelmän sisälle toteutetun vaihtoehdon laatu olisi hyvä, sillä tarvittavat tiedot ovat jo valmiina. Tällä tavalla toteutettu ratkaisu toimii ainoastaan yhden valmistajan uusilla malleilla, joten kestää kauan, ennen kuin se on markkinoilla. Kun asennus on laitevalmistajan harteilla, käyttäjällä ei ole mahdollisuuksia vaikuttaa laitteen käyttöönottoon. Apuväline helpottaa kuitenkin näkövammaisen itsenäistä harjoittelua (Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010).

Vaihtoehto 4 (tuntopäätteellä toimiva pistelaskin)

Tuntopäätteellä toteutetun pistelaskimen tulosaati on hyvälaatuinen, joten virheenmahdollisuus on pieni. Käyttövarmuus lisää käyttöä. Tässä vaihtoehdossa näkövammaisen tarvitsee avustajaa keilakaiteen sijoittamisessa, mutta avustajan ei tarvitse olla paikalla koko aikaa tai kaiteen voi laittaa paikoilleen esimerkiksi keilahallin henkilökunta. Näin ollen itsenäinen harrastaminen lisääntyy.

Tämä toteutustapa vaatii osaavan henkilön tutkimaan signaalia ja tekemään johdotukset, koska keilakone voi rikkoutua. Järjestelmän asennus on joka laitemallille erilainen. Koska järjestelmä tulee keilakoneeseen kiinni, laitteen käyttöönotto ja ylläpito vaativat keilahallin sitoutumisen. Mikäli laitteen käyttöönotto on hankalaa, niin laitetta ei ehkä oteta käyttöön ollenkaan. Laitekohtaiset työkustannukset voivat kasvattaa laitteen hinnan niin korkeaksi, etteivät keilahallit lähde hankkeeseen mukaan (Rohkea henkilökohtainen tiedonanto 11.11.2010).

Mikäli laite otetaan käyttöön, niin näkövammaisten aikuisten ja lasten sosiaalisuus ja liikuntamahdollisuudet kasvavat. Pistelaskin tuntopäätteellä ei vaadi kuuloaistia, joten myös kuurosokeiden lasten ja aikuisten harrastusmahdollisuudet kasvavat. Apuväline helpottaa näkövammaisen itsenäistä harjoittelua (Karinharju henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010).

9.1.3 Vaihtoehtojen vertailu

IVA-arvioinnin kolmas vaihe oli vaihtoehtojen vertailu. Alla olevaan taulukkoon on kerätty eri vaihtoehtojen kuusi merkittävintä vaikutusta. Viisi ensimmäistä ovat merkittäviä siksi, että ne liittyvät läheisesti työn tavoitteisiin ja kuudes tuo lisäarvoa käytettävyyteen.

Taulukko 2. Eri toteutusvaihtoehtojen merkittävimmät vaikutukset.

	Nyky-tila	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4
Laatu	-	Hyvä	Vaihteleva, riippuu kuvan/kameran laadusta.	Hyvä	Erinomainen
Kustannukset	0 €	I/O kortti. Arvio asennustyöstä 40-100 €. * **	Web-kamera 15-100 €. * **	Toteutuskustannukset 0 €. Laitevalmistajan määräämät kustannukset keilahallille? * **	Tuntopäätteen valmistustyö on suurin kustannus.. *
Käyttönoton vaativuus	-	Vaativa	Helppo	Helppo	Vaativa
Näkövammaisten aikuisten ja lasten omatoimiset harrastusmahdollisuudet	Pysyvät samana.	Kasvavat jonkin verran, riippuu keilahallista.	Kasvavat paljon, riippuu lähinnä harrastajasta itsestään.	Kasvavat hiukan, riippuu pistelaskujärjestelmän valmistajasta.	Kasvavat jonkin verran, riippuu keilahallista.
Avustajan avuntarve minuutteina	Koko keilailun ajan, esimerkiksi 60 min.	Kaiteen asennus n. 5 min. Kaiteen asentaja voi olla kuka vain.	Kaiteen asennus n. 5 min. Kaiteen asentaja voi olla kuka vain.	Kaiteen asennus n. 5 min. Kaiteen asentaja voi olla kuka vain.	Kaiteen asennus n. 5 min. Kaiteen asentaja voi olla kuka vain.
Jatkokehitysmahdollisuudet	-	Mahdollisuuksia toteuttaa erilaisia yhteys- ja päätelaiteratkaisuja.	Mahdollisuuksia toteuttaa erilaisia yhteys- ja päätelaiteratkaisuja. Mahdollisuus myöhempiin laajennuksiin esim. pallon kulun analysointiin.	Suppeat.	Mahdollisuuksia toteuttaa erilaisia yhteys- ja päätelaiteratkaisuja.

* Ohjelmiston toteutustyölle ei tässä lasketa hintaa, koska se tehdään opinnäytetyönä. Ohjelmointityön kustannukset olisivat kuitenkin vaihtoehtoissa 1-3 samansuuruisia ja vaihtoehdossa 4 huomattavasti pienempi.

** Tietokoneen oletetaan olevan harrastajan oma, silti ns. ”miniläppäreitä” saa halvimmillaan jo alle 200:n ja kannettavia tietokoneita alle 250 euron.

9.1.4 Ennakoarvioinnin tulokset ja käyttäjän valinta

Vaihtoehtoista päädyttiin vaihtoehtoon kaksi eli puhuva pistelaskin, joka asennetaan väliaikaisesti keilajärjestelmään. Toteutettavan järjestelmän tuli olla edullinen ja käyttäjäystävällinen. Suurimmaksi arvoksi valintapäätöksessä muodostui riippumattomuus muista tahoista kuin käyttäjästä itsestään. Vaihtoehdosta muodostui vielä kolme hieman erilaista toteutustapaa:

- a. Sekä sovellus että käyttöliittymä suunnitellaan asennettavaksi kannettavalle tietokoneelle, joissa käyttöjärjestelmänä on esimerkiksi Windows. Ohjelmakoodi rakennetaan modulaariseksi niin, että myöhemmin on helppo toteuttaa B- ja/tai C-vaihtoehdot. Kannettava tietokone voi olla joko keilahallin tai käyttäjän.

Tässä toteutustavassa säästytään palvelinmaksuilta, tietoliikennemaksuilta ja säästetään ohjelmakoodin toteutusajassa. Ohjelmiston asennus ja päivitysvastuu ovat koneen omistajalla.

- b. Sovellus sijoitetaan palvelimelle. Sovellukseen tehdään erillinen käyttöliittymä esimerkiksi Windows-alustalle. Ohjelmakoodin rakenne suunnitellaan niin, että käyttöliittymä voidaan myöhemmin toteuttaa myös mobiililaitteelle.

Käyttöliittymän asennus ja päivitysvastuu ovat koneen omistajalla. Sovelluksen päivitysvastuussa on ohjelmiston tekijä, jolloin riskinä voi olla eri versioiden yhteensopimattomuus. Ohjelmointityötä on tässä ratkaisussa hieman

enemmän kuin A-vaihtoehdossa, mutta vähemmän kuin C-vaihtoehdossa. Tässä tavassa toteuttaa tulee varautua palvelin- ja tietoliikennemaksuihin.

- c. Sovellus sijoitetaan palvelimelle ja sille suunnitellaan selainpohjainen käyttöliittymä. Päätelaitte voi olla mikä tahansa. Varmistetaan ohjelman toiminta myös mobiililaitteella. Käytettävä ruudunlukuohjelma ja puhesyntetisaattori ovat käyttäjän omia.

Koko ohjelmiston päivitysvastuu on ohjelmiston tekijällä. Kustannukset ovat tässä vaihtoehdossa suurimmat ja ne koostuvat palvelinmaksuista, tietoliikennemaksuista ja ohjelmointityöstä.

Näistä kolmesta vaihtoehdosta sekä käyttäjä että keilahalli päätyivät a-vaihtoehtoon, koska käyttö riippuu tällöin vain käyttäjästä itsestään.

9.2 Ohjelmointiympäristö

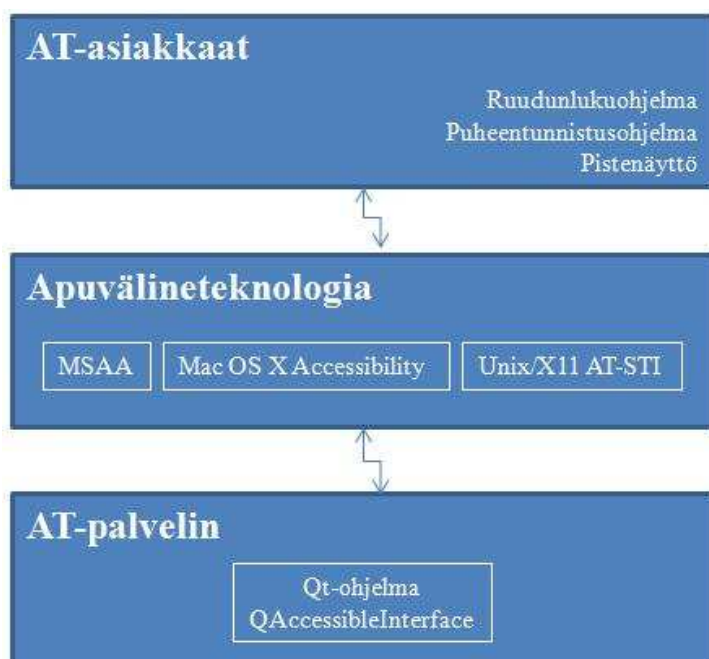
Ohjelmointikielen valintaan vaikuttivat ohjelmistolle asetetut vaatimukset. Yksi tämän opinnäytetyön tärkeimmistä ohjelmistolle asetetuista vaatimuksista oli suoritusnopeus, sillä kuvan laskenta vaatii tehoa. Ohjelmistosta haluttiin alustariippumaton, jotta sitä voidaan käyttää erilaisissa Windowseissa, ja se voidaan myöhemmin helposti muuntaa palvelimelle sopivaksi. Hahmontunnistuskirjastot, sekä OpenCV että Vision Lab studio, ovat kirjoitettu C++:lla, joten C++-kielisen koodin sovittaminen vaikutti myös ohjelmointikielen valintaan. OpenCV on avoimen lähdekoodin lisenssin takana, joten ohjelmointikielen lisenssin täytyi olla yhteensopiva valittavan kirjaston kanssa. Valitussa ratkaisumallissa ei ollut tarvetta ohjata ruudunlukuohjelmaa tai puhesyntetisaattoria ohjelmallisesti, joten ne eivät asettaneet vaatimuksia ohjelmointikielelle. Koska ratkaisusta haluttiin mahdollisimman edullinen, vain ilmaiset tai vapaan lähdekoodin ohjelmointikielet otettiin huomioon. Vähiten valintaan vaikutti ohjelmoinnin tehokkuus eli se, kuinka nopeasti ohjelmakoodia voidaan tehdä.

Qt-kehitysympäristön sekä LGPL-2.1 että GPL 3.0-versioihin voidaan yhdistää OpenCV:n BSD-lisensoitu kirjasto. Ohjelmointikieleksi valittiin C++ ja kehitysym-

päristöksi Qt-creator. Kuvankäsittelyssä käytettiin OpenCV-kirjastoa. Jotta kaikki osa-alueet saatiin toimimaan Windowsissa yhdessä, OpenCV tarvitsi vielä Cmake-ohjelmiston, joka tuotti ohjaustiedostot järjestelmän omalle kääntäjälle. Lisäksi Windows-alustalle tarvittiin MinGW-kääntäjä. Ohjelmiston lisenssiksi Qt-ympäristön lisenssin kautta tuli GPL 3.0.

9.3 Qt:n tarjoama esteettömyysrajapinta

Qt:lla ohjelmoitu ohjelmisto ei ole automaattisesti esteetön. Qt kuitenkin tukee Windowsin Microsoft Active Accessibility (MSAA) ja Mac:in Mac OS X Accessibility -teknologioita. Unix:in Unix/X11 -teknologialle tuki on tekeillä. Qt tarjoaa tuen edellä mainituille teknologioille QAccessible-rajapinnan kautta, kuten kuvassa 5 on esitetty. Saavutettavia ohjelmia kutsutaan AT-palvelimiksi ja apuvälineitä kutsutaan AT-asiakkaiksi. Tyypillisesti Qt:lla ohjelmoitu ohjelma on AT-palvelin, mutta ohjelmat voivat myös toimia kuten AT-asiakkaat. (Nokia Corporation 2011c.)



Kuva 5. Saavutettavuus Qt-arkkitehtuurissa.

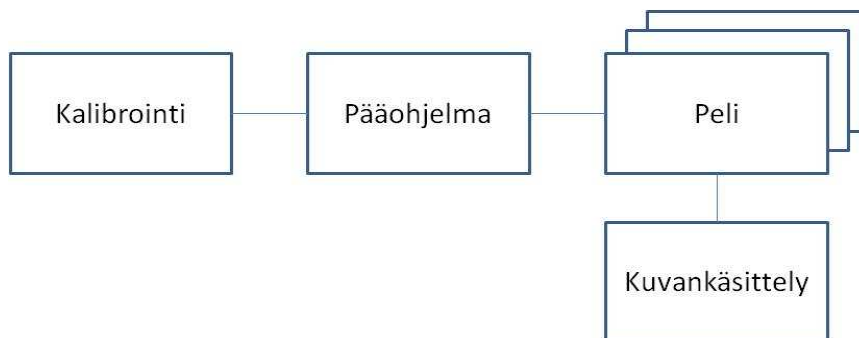
Ohjelman asiakasrajapinta täytyi määrittää niin, että ruudunlukuohjelma voi kommunikoida sen kanssa. Qt:n QAccessibleInterface-rajapinnan avulla saadaan yksittäisen

käyttöliittymäelementin sisältämä tieto valjastettua. Esimerkiksi silloin, kun ohjelma tulostaa heiton jälkeen tiedon pystyyn jääneistä keiloista käyttöliittymän tekstilaatikkoon, ohjelmasta kutsutaan `updateAccessibility()` -funktiota, jotta kuulolla olevat asiakkaat saavat tiedon tapahtumasta eli tekstilaatikon sisällön päivittymisestä. Näin ruudunlukuohjelma voi reagoida muutokseen ja lukea tekstilaatikon päivittyneen sisällön käyttäjälle. (Nokia Corporation 2011c.) Qt:lla saavutettavia ohjelmistoja kehitettäessä ohjelmoijan täytyy ottaa huomioon, että tällainen toiminto täytyy ohjelmoida erikseen. Olisi hienoa, jos tieto tapahtumasta lähetettäisiin aina, huolimatta siitä, onko asiakkaita kuuntelemassa vai ei, jolloin Qt:lla tehdyt ohjelmat olisivat aina esteettömiä.

10 PISTELASKIN

10.1 Järjestelmän toiminnallinen kuvaus

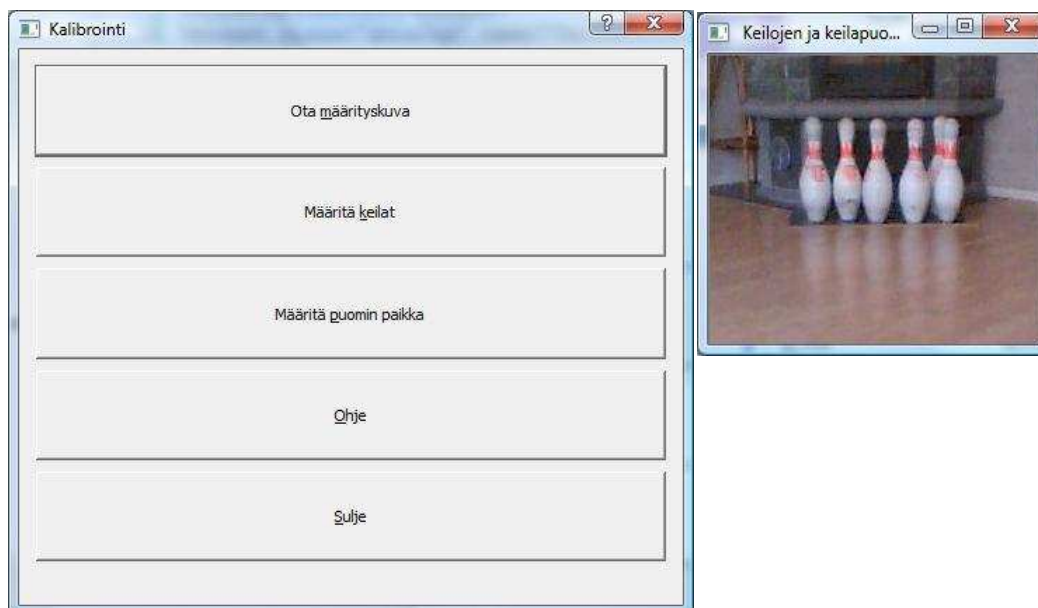
Ohjelmisto koostuu kolmesta osasta: kalibroinnista, pelistä ja kuvankäsittelystä. Kuvassa 6 on esitetty niiden keskinäiset suhteet.



Kuva 6. Pistelaskimen osien keskinäiset suhteet.

Kalibroinnissa määritetään tarkasteltavat kohdat. Kalibrointia varten näkevä ottaa kuvan, johon määritetään ne alueet, missä keilat sekä keilapuomi ovat. Alueet määritetään hiirellä, joten määrittämisen ajaksi tietokoneeseen on liitettävä hiiri. Mitään muuta osoitinlaitetta tähän ei kannattanut edes harkita, sillä hiiri on halpa ratkaisu ja sellainen löytyy keilahallilta. Määritettävien paikkojen lukumäärää ei ole ennalta

määrätty, joten ohjelmisto sopii muuhunkin kuin vain kymmenen keilan peliin. Kuvassa 7 on kuvakaappaus kalibroinnista ennen keilojen ja puomin määritystä.



Kuva 7. Pistelaskimen kalibrointi.

Ohjelmiston toinen osa on peli. Siinä peliä hallitaan ja pelitapahtumat tulostetaan ikkunan objekteihin. Kun pelissä tapahtuu jotain, esimerkiksi kierros vaihtuu, heittovuoro vaihtuu tai keilat kaatuvat, niin ruudunlukuohjelmalle annetaan heräte, jolloin se lukee ruudulle tulostetun tekstin. Kuvassa 8 on kuvakaappaus käynnissä olevasta pelistä. Peli-luokka pitää yllä pelin tulostaulua ja se laskee myös lopputuloksen. Näkövammaiselle keilaajalle pistelaskin kertoi kaatuneen keilan numerona.



Kuva 8. Käynnissä oleva peli.

Ohjelmiston kolmas osa on kuvankäsittely. Se on käyttäjälle näkymätön, taustalla omassa säikeessään suoritettava osa. Näin ollen käyttäjä pystyy hallitsemaan ohjelmaa ja peli pystytään katkaisemaan tarvittaessa. Heti säikeen käynnistyttyä kaapataan yksi kuva. Tämä vertailukuva muutetaan harmaasävykuvaksi. Harmaasävykuvasta lasketaan histogrammi, josta lasketaan keskiarvo. Videokuvasta kaapataan kuvakehyksiä muutaman kerran sekunnissa. Kuvat muutetaan harmaasävyisiksi ja kynnystetään. Vertailukuvasta laskettua histogrammin keskiarvoa käytetään kynnsarvona kuvia kynnystettäessä. Kuvasta etsitään keilapuomia. Puomi on tullut eteen, jos ennalta määritetty alue (ROI = region of interest) on muuttunut valkoiseksi. Vastavasti puomi on lähtenyt pois edestä, jos alueen väri on muuttunut mustaksi. ROI-alueen väri päätellään tutkimalla pikselin väriä pikseli kerrallaan. Jos valkoisten pikselin määrä ylittää raja-arvon, niin puomi on paikallaan. Jos puomi on tullut kuvaan, niin seuraavasta kuvasta etsitään keiloja samalla menetelmällä. Tiedon keilan löytymisestä tai sen puuttumisesta säie lähettää sen käynnistäneelle peli-luokalle. Kun puomi on lähtenyt pois edestä, niin seuraava heittovuoro voi alkaa.

10.2 Testaus ja pilotointi

Pistelaskimen testauksen tarkoituksena oli löytää ohjelmointivirheet ja korjata ne. Tätä varten rakennettiin testiympäristö. Pilotoinnissa valittujen ratkaisumallien toimivuutta testattiin käytännössä eli keilahallissa. Löydetyille ongelmille etsittiin ratkaisuja ja toteutettiin ne.

10.2.1 Testiympäristö

Ohjelma testattiin kannettavalla tietokoneella, jonka USB-porttiin oli liitetty Logitech Quickcam Express web-kamera. Kamera ei ollut OpenCV-kirjastojen kanssa sopivien kameroiden luettelossa, mutta se toimi. Tietokoneessa oli Windows Vista – käyttöjärjestelmä ja NVDA-ruudunlukuohjelma. Ohjelman testiympäristönä oli olohuone, jossa keilahallista lainatut, käytöstä poistetut, keilat olivat keilapatterin kuviossa tumman takan edessä. Tytär toimi keilankaatajana ja keilapuomina valkoinen paperi kädessään.

Ohjelmaa testattiin myös keilahallissa oikeassa ympäristössä käyttämällä samaa kannettavaa tietokonetta ja web-kameraa. Ohjelmaa kokeiltiin Porin keilahallin lisäksi myös Uudenkaupungin keilahallissa, jotta saatiin näkemystä ohjelmiston toiminnasta muissa ympäristöissä. Ohjelmaa oli tarkoitus testata käyttäen toisia kameroita, mutta sopivaa mallia ei ollut käytettävissä. Projektin alussa oli Porin keilahallin kameralla otettu muutama yksittäinen kuva. Näille kuville tehtiin kokeilumielessä segmentointeja pistelaskimessa käytetyillä algoritmeilla. Näissä kuvissa segmentoinnin laatu oli huomattavasti parempi. Videokuvaa ei onnistuttu avaamaan OpenCV-kirjastojen avulla, videokuvan pakkaustavan (AVI) ja muodon (IYUV) muutoksista huolimatta.

10.2.2 Matkan varrella kohdattuja ongelmia

Kameroiden yhteensopimattomuus OpenCV-kirjaston kanssa hankaloitti alkuun pääsemistä. Useamman kokeilun jälkeen sopiva kamera löytyi. Toteutuksen aikana selvisi, että OpenCV toimi parhaiten USB-kameran kanssa. Ongelmaksi muodostui USB-kaapelin 5 metrin kantama. Ratkaisu löytyi laajentimesta, jonka avulla USB-väylän käyttöaluetta voidaan lisätä verkkokaapelin avulla 50 metriin asti.

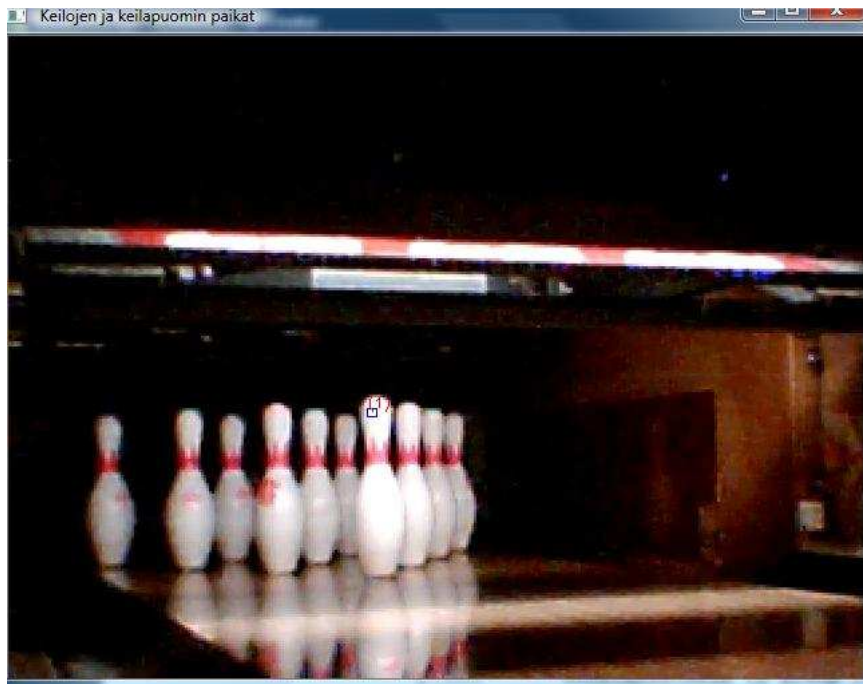
Osalle vanhemmista OpenCV-kirjastojen funktioista piti muisti varata etukäteen ja vapauttaa se erikseen kutsun jälkeen. Ellei sitä tehty, ohjelma kaatui ajonaikana muistinsuojavirheeseen tai koneen muisti loppui yhtäkkiä. Ongelman välttämiseksi piti opiskella, miten kirjastojen eri funktiot toimivat ja huolehtia tarvittavista muistin varauksista ja vapautuksista.

Ensimmäisessä versiossa vertailtiin kahta kuvaa eli heti pelin alussa otettua ja tarkasteluhetkellä otettua kuvaa keskenään. Ajatuksena oli etsiä näistä kahdesta kuvasta erot ja päätellä keilojen paikat sitä. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, sillä pienikin muutos valaistuksessa häiritsi niin, että analysointi epäonnistui. Kun keilojen paikat määritetään etukäteen käsin ja siihen lisättiin pieni virheen vara, saatiin varmempi tulos.

Ensin kuvankäsittelyssä laskettiin kynnystyksessä tarvittava histogrammin keskiarvo jokaiselle kuvalle erikseen. Kameran automaattitarkennus sekä pienetkin muutokset

valaistuksessa vaikuttivat histogrammiin, jolloin segmentointiin tuli suuria virheitä. Pahimmassa tapauksessa koko kuva oli valkoinen. Vakioarvon (esimerkiksi 70) käyttäminen ei ratkaissut ongelmaa kokonaan, sillä keilahalleissa on erilaiset valaistukset. Valaistuksesta riippuen sekä testiympäristössä että Uudenkaupungin keilahallissa kuvan segmentointi epäonnistui arvoa 70 käytettäessä, kun taas Porin keilahallissa samalla arvolla toteutettu segmentointi onnistui hyvin. Vaihtoehtona arvolle 70 pistelaskimeen tehtiin asetus, jossa laskentaan käytettiin histogrammin keskiarvoa. Tällöin histogrammi laskettiin vain kerran pelin alussa ja loppupelin ajan kynnystyksessä käytettiin samaa histogrammin keskiarvoa. Automaattitarkennus haittasi toisinaan kuvan analysointia vielä muutoksen jälkeenkin, joten olisi hyvä, jos käytettäisiin kameraa, josta automaattitarkennuksen saa pois päältä.

Zoomin puuttuminen kamerasta haittasi keilojen määrittystä, sillä takarivin keilat jäivät kuvassa niin pieniksi, että virhetulkinnan mahdollisuus kasvoi. Kalibroitukuvan ottamisen jälkeen pienikin muutos kameran asennossa haittasi niin ikään analysointia, sillä keilojen paikka kuvassa muuttui. Viimeisellä testikerralla Porissa saatiin edellä mainituista seikoista huolimatta hyviä tuloksia. Pistelaskin analysoi keilat onnistuneesti, ellei viereiselle keilalle määritetty alue ollut liian lähellä toista keilaa. Tämä virhe johtui todennäköisesti segmentoinnista, mutta tarkempi ja suurempi kuva helpottaa keilojen määrittystä. Ohjeistukseksi annetaan zoomillisen kameran käyttö ja kameran sijoittaminen mahdollisimman lähelle keilapatteria. Kuvassa 9 on esitetty kalibroituvaiheessa otettu kuva, jossa on hyvä kuvakulma keilapatterin analysoinnille. Kuvassa näkyy kaikkien keilojen päät.



Kuva 9. Hyvä kuvakulma keilapatterin analysoinnille.

Vaikka Qt:n dokumenteissa väitetään, että Qt tarjoaa esteettömyys-ominaisuuden omille widgeteilleen, niin tähän ilmeni eräs poikkeus. Kun tekstikentät oli luotu ohjelmallisesti ja kun tulostusvaiheessa kentät oli kerätty Qt:n säiliöön, ruudunlukijaa ei saatu reagoimaan tekstikentän sisällön muutokseen. Toteutustapaa muuttamalla ohjelmistosta saatiin esteettömämpi.

Uudenkaupungin keilahallissa keilapuomi näytti mustavalkoisessa kuvassa mustalta, kun taas Porin keilahallissa se näytti valkoiselta. Pelin kierroksen vaihtuminen oli ohjelmistossa rakennettu keilapuomin liikkeiden varaan, jolloin valkoisesta väristä pääteltiin puomin olevan keilapatterin edessä. Näin ollen ohjelmisto ei toiminut Uudenkaupungin keilahallissa ollenkaan. Ongelma johtui todennäköisesti erilaisesta valaistuksesta. Keilapuomin väriin vaikuttavat myös siinä olevat mainokset. Tämä ongelma voidaan ratkaista esimerkiksi teippaamalla valkoinen paperi keilapuomiin.

Avoimeksi jäi vielä satunnaisesti ilmenevä ongelma, jossa ohjelmasta ei saatu yhteyttä kameraan. Kamera jäi todennäköisesti varatuksi, vaikka se ohjelmallisesti olikin vapautettu. Tämä voi johtua kameran yhteensopimattomuudesta OpenCV:n kanssa tai Windowsin ominaisuudesta, joka asettaa USB-laitteen lepotilaan.

11 YHTEENVETO

11.1 Tutkimustulosten yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen tuloksena onnistuttiin luomaan uusi idea apuvälineen toteuttamiseksi, joka oli parempi kuin tutkimukselta odotettiin. Paremman siitä teki se, että apuvälineen käyttö on eniten kiinni näkövammaisesta itsestään. Lisäksi apuväline on siirrettävissä mihin keilahalliin tahansa, sillä se ei riipu keilahallin laitteistosta. Jotta apuvälineestä saataisiin käyttövarma, on kehitystyötä jatkettava. Erikoistilanteet, kuten yliastuminen, täytyy vielä ottaa huomioon ohjelmiston toiminnassa. Vasta silloin, kun laite on ollut jonkin aikaa käytössä, voidaan arvioida todellista onnistumista.

Tutkimuksen aikana huomattiin, että kameran automaattitarkennus ja valaistusolosuhteiden muutokset vaikuttivat rajusti segmentointiin ja sitä kautta sekä keilojen että keilapuomin tunnistuksen onnistumiseen. Myös Mezei ja Darabant toteavat oman tutkimuksensa lopuksi, että laadun kannalta kohteentunnistuksessa tehtävän segmentoinnin merkitys on kaikkein suurin. (Darabant & Mezei 2010.)

Pilotoinnin aikana huomattiin lisäksi, että edullisella kameralla pystyi tutkimaan edessä olevien keilojen kohdat hyvin, mutta taaempana olevien keilojen tunnistuksessa saattoi ilmetä virheitä. Laadukkaammalla kameralla kokeiltaessa tulokset paraniivat. Myös Verstraeten kumppaneineen (2010) totesi omassa tutkimuksessaan, että edulliset web-kamerat ovat potentiaalisia vaihtoehtoja erilaisiin kohteentunnistusohjelmistoihin. Tulevaisuudessa korkeamman resoluution kamerat halpenevat, jolloin yksityiskohtaisempi videotallennus parantaa kohteentunnistumahdollisuuksia. Stereonäkö helpottaa kameroiden säätöä ja tekee tallennuksesta tarkempaa. (Verstraeten 2010.)

Käyttäjä oli tyytyväinen ohjelmiston käytettävyyteen. Ohjelma oli hänen mielestään selkeä ja sitä pystyi loogisesti käyttämään näppäimistöltä. Hän uskoi oppivansa ohjelman käytön nopeasti, kun saa sen koneelleen. (Viertonen henkilökohtainen tiedonanto 10.5.2011.) Ohjelmiston käytettävyyttä ja saavutettavuutta pystyy paremmin arvioimaan vasta sitten, kun se on ollut käytössä jonkin aikaa.

Matkaa täydellisesti toimivaan apuvälineeseen vielä on, mutta tutkimus osoitti, että se on toteutettavissa. Paremmalla kameralla, segmentoinnin parantamisella sekä erikoistilanteiden käsittelyllä apuvälineestä saadaan toimiva ja käytettävä.

11.2 Tutkimuksen arviointi

Tutkimus oli mielenkiintoinen ja poikkitieteellisyytensä ansiosta erittäin laaja ja antoisa. Tutkimuksen aikana opeteltiin paljon erilaisia asioita, kuten näkövammaisuuden tuomia haasteita ohjelmistoille, puhesynteesiä, kuvankäsittelyä, ohjelmistojen esteettömyyttä ja keilailua. Tämän kaiken yhdistäminen yhdeksi sovellukseksi toi haastetta tutkimukseen. Taustaselvitys oli kattava, mutta se vei suurimman osan ajasta, jolloin itse toteutukselle jäi liian vähän aikaa. Luovuuskaan ei synny pakolla, joten hieman pidempi toteutusaikataulu olisi ollut paikallaan. Kaikesta huolimatta sovelluksesta saatiin aikaan versio, jossa on potentiaalia toimivaksi apuvälineeksi. Syvyyttä tutkimukselle toi sen moninaisuus. Yhdellä pienellä osa-alueella ei menty kovin syvälle, vaan työssä huomioitiin monia asioita, joiden tuli toimia yhdessä. Näin saatiin aikaan hyvä kokonaisuus.

Eri osa-alueiden asiantuntijat olivat yhteistyössä mukana ja antoivat tukensa työn tekemiseen. Ainoa osa-alue, jolle ei löytynyt läheltä asiantuntijaa, oli OpenCV-kirjasto. Se olikin suuri puute, sillä kaikki sen tuomat haasteet piti oppia kantapäähän kautta. Ainoa keino etsiä ratkaisuja ongelmiin olivat Internetin keskustelualueet, joilta löytyikin runsaasti kysymyksiä liittyen samoihin ongelmiin, mutta ei asiantuntevaa ja oikeaa vastausta ongelmien ratkaisuun. OpenCV olikin koko toteutuksen kaikkein hankalin osa-alue.

Muut tutkimukset kuvankäsittelystä toivat arvokkaan lisän tähän tutkimukseen, ja niissä saatiin samansuuntaisia tuloksia. Vielä kun muutamiin jäljelle jääneisiin ongelmiin löytyy ratkaisu ja apuväline kehitetään loppuun saakka, niin tutkimuksen avulla saadaan onnistunut lopputulos.

Työssä käytetyt lähteet olivat pääsääntöisesti luotettavia. Kun verkkosivuja käytettiin lähteenä, käytettiin niiden organisaatioiden verkkosivuja, joilla oletettiin olevan paras tietämys asiasta, eli esimerkiksi tuotevalmistajien omia sivuja. Wikipediaa ei voida ajatella luotettavaksi lähteeksi, mutta sitä käytettiin vain, kun asia oli muuten hallussa ja työhön haluttiin kirjallinen lähde. Tällöin asia varmistettiin myös muista lähteistä. Tutkimuksessa käytettiin toisinaan toissijaisia viitteitä, kun asia oli muuten yleisesti tiedossa eikä ensisijaisen lähteen käyttö ollut tällöin tutkimuksen kannalta merkittävää. Asiantuntijoiden kertomaa ei voida pitää täysin luotettavana, sillä niissä välittyy usein heidän omat mieltymyksensä. Näitäkin pyrittiin varmistamaan myös muualta. Kuitenkin käyttäjä mielipiteineen oli paras tiedonlähde tähän tutkimukseen, sillä lopputuloksesta haluttiin nimenomaan käyttäjälähtöinen.

11.3 Jatkokehitys ja tulevaisuudennäkymät

Sataesteetön-hanke ja opinnäytetyön tekeminen päättyvät aikanaan. On vielä päätettävä, kuka jatkaa ohjelmiston kehitystä, ylläpitää sitä ja korjaa mahdolliset viat. Apuvälineen kehitystä kannattaa jatkaa, sillä jo työn tekovaiheessa usea taho oli kiinnostunut siitä. Valmis apuväline täytyy lisäksi saada levitykseen ja siitä on levitettävä tietoa.

Olisi hienoa, jos näkevää ei tarvittaisi lainkaan kameran kalibrointiin, vaan hahmontunnistuksen avulla pystyttäisiin päättelemään kierrosten ja heittovuorojen vaihtuminen sekä keilojen kaatuminen. Myös hahmontunnistustekniikalla toteutettu tunnistus vaatii aluksi kalibroinnin. Tämän tutkimuksen puitteissa esteeksi hahmontunnistumenetelmän käytölle nousi keilapallon suuri nopeus. Neurotieteessä on tutkittu, että ihmissilmä pystyy lajittelemaan kohteita todella nopeasti, ja tämän kyvyn tietokone-mallinnus on inspiroinut kohteentunnistus- ja paikannusalgoritmien kehitystä. Spikenetin arvioinnissa on osoitettu, että objekti voidaan tunnistaa myös 2D-mallien avulla todella nopeasti, jopa 12 ms esikäsitteilyajalla. Mallin pieni koko mahdollistaa sen, että suuri määrä visuaalisia muotoja voidaan tallettaa myös älypuhelimien muistiin. (Dramas ym. 2008.) Periaatteessa nopea hahmontunnistus on mahdollista toteuttaa myös nyt toteutettuun ohjelmistoon. Toinen pohdittava asia on, että onko mahdollista erottaa musta pallo mustasta kourusta.

Pistelaskinta voidaan helposti muokata myös muuhun kuin keilojentunnistustarkoitukseen. Ohjelman ja web-kameran avulla voidaan valvoa, milloin tarkasteltava kohde on paikoillaan ja milloin ei. Taustan ja tarkasteltavan kohteen värikontrasti pitää kuitenkin olla tarpeeksi suuri.

LÄHTEET

Annis, T. AFB Information Center. Bowling as a hobby of blind people. Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 7.12.2010 klo 17.09.28. Viitattu 26.7.2011.

Bray, I. 2002. An introduction to requirements engineering. Addison-Wesley, 2002.

Branan, S. 2011. How Bowling Pinsetters Work. HowStuffWorks, Inc. Viitattu 20.7.2011. <http://entertainment.howstuffworks.com/pinsetter2.htm>

Dalheimer, M. Qt vs. Java. A Comparison of Qt and Java for LargeScale, Industrial-Strength GUI Development. Klarälvdalens Datakonsult AB. Viitattu 11.2.2011. <http://turing.iimas.unam.mx/~elena/PDI-Lic/qt-vs-java-whitepaper.pdf>

Darabant, A., Mezei, S. 2010. A Computer Vision Approach to Object Tracking and Counting. Studia Universitatis Babes-Bolyai. Series Informatica 3, 121-130. <http://journals.cs.ubbcluj.ro/studia-i/article/view/23/22>

Essi. 2010. Näkövammaisten tietotekniset apuvälineet. Viitattu 16.2.2011. <http://appro.mit.jyu.fi/essikurssi/apuvaline/t3/>

Essortment. 2011. How Bowling Pinsetters Work. Viitattu 20.7.2011. <http://www.essortment.com>

GNU operating system. 2011. What is Copyleft? Viitattu 6.6.2011. <http://www.gnu.org/copyleft/>

GNU operating system. 2011. GNU Lesser General Public License. Viitattu 6.6.2011. <http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>

Historia. 2009. Kuka keksi keilailun. Historia 13, 10. Viitattu 12.9.2010. <http://historianet.fi/arkielama/kulttuuri/kuka-keksi-keilailun>

Hoskins, W. 2011. The 4.BSD Copyright. FreeBSD. Viitattu 6.6.2011. <http://www.freebsd.org/copyright/license.html>

Intel Corporation. 2000. Open Source Computer Vision Library Reference Manual. Viitattu 11.3.2011. <http://www.cs.unc.edu/Research/stc/FAQs/OpenCV/OpenCVReferenceManual.pdf>

Jaaranen, M. 2001. Laudaturseminaari. Langattomat lähiverkot. Joensuun yliopisto. Viitattu 16.6.2011. <http://cs.joensuu.fi/~mjaarane/laudaturseminaari/seminaari.html>

Java. 2011. What is Java technology and why do I need it? Viitattu 11.2.2011. <http://www.java.com/>

Juntunen, R. Opinnäytetyöstäni (apuväline näkövammaisille). Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 25.01.2011 11.46.54. Viitattu 26.1.2011.

Juntunen, R. Näkövammaisten Keskusliitto ry. Puhelinhaastattelu 1.9.2010. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Karasti, O. Bluetooth teollisuudessa. Langattomasti vaativissa oloissa. Prosessori marraskuu 2000.

Karinharju, K. Sataesteetön-hanke. Henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010. Pori. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Karinharju, K. Esittely Porin keilahallin ja Satakunnan ammattikorkeakoulun tule-
vasta yhteistyöstä. Vastaanottaja: XXXXXX. Lähetetty 7.9.2010 klo 14.27.34. Viitattu 8.9.2010.

Keilailu. 2011. Keilailu. Viitattu 10.2.2011. <http://keilailu.nettisivu.org/>

Kouvolan keilahalli. 2010. Keilailun historiaa. Viitattu 12.9.2010.
<http://www.kouvolankeilahalli.fi/>

Laki vammaisuuden perusteella järjestettävistä palveluista ja tukitoimista 1987.
3.4.1987/380 muutoksineen.

Lax, A. Opinnäytetyöraporttiin listaa keilakoneista. Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 19.7.2011 klo 09.51.23. Viitattu 19.7.2011.

Lax, A. 2010. Toimitusjohtaja, Bowling4you Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2010.

Long, A. Bowling as a hobby for blind people. Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 11.10.2010 klo 13.14.34. Viitattu 26.7.2011.

MALIKE. 2011. Malike ehkäisee syrjäytymistä. Viitattu 25.5.2011.
<http://www.malike.fi/>

McGuire, B. Bowling as a hobby of blind people. Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 21.3.2010 klo 1.15.25. Viitattu 26.7.2011.

Mikola, J. Näkövammaiset ja Internet. Viitattu 10.9.2010.
<http://saavutettava.fi/artikkelit/nakovammaiset-ja-internet/>

Mitov Software. 2011. VisionLab. Viitattu 10.3.2011. <http://www.mitov.com/>

Näkövammaliitto. 2011. Näkövammaisten tietotekniset apuvälineet. Viitattu 15.6.2011. <http://www.nkl.fi/fi/etusivu/kuntoutus/atk/apuväline>

OpenCVWiki. 2011. OpenCV. Viitattu 11.3.2011.
<http://opencv.willowgarage.com/wiki>

Open Source Initiative. 2011. The Open Source Definition. Viitattu 6.6.2011.
<http://www.opensource.org/>

Ojamo, M. 2009. Näkövammarekisterin vuosikirja 2009. Näkövammaliitto Ry. Viitattu 3.4.2011. <http://www.nkl.fi/fi/etusivu/ajankohtaista/julkaisu/vkirja2009/6389>

Pajulahti. 2011. Soveltavan liikunnan välinevuokraamo. Viitattu 25.5.2011.
<http://www.pajulahti.com/vapaa-aika/soveltava-liikunta/v--linevuokraamo>

- Patenttilaki 1967. 550/67 muutoksineen. Patentti- ja rekisterihallitus. Viitattu 25.5.2011. <http://www.prh.fi/fi/patentit/lainsaadantoa/patenttilaki.html#1p>
- Pönkänen, S. Vuorinen, S., Lempiäinen, J. 15.11.1999. Bluetooth - tiedonsiirtoa langattomasti. Viitattu 15.6.2011. <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s99/htyo/39/>
- Pöysti, H. Vammaisurheilu Ry. 12.10.2010. Näkövammaisten keilailu. Vastaanottajat XXXXXX, XXXXXX. Lähetetty 12.10.2010 klo 17:22:46. Viitattu 3.1.2011.
- Nokia Corporation. 2011a. QT. Products. Viitattu 11.2.2011. <http://qt.nokia.com/products>
- Nokia Corporation. 2011b. QT. Programming Language Support. Viitattu 11.2.2011. <http://qt.nokia.com/products/programming-language-support>
- Nokia Corporation. 2011c. QT. Reference documentation. Accessibility. Viitattu 23.5.2011. <http://doc.trolltech.com/latest/accessible.html>
- Nokia Corporation. 2011d. QT. Qt Licensing. Viitattu 11.2.2011. <http://qt.nokia.com/products/licensing>
- Nokia Corporation. 2011e. QT. Reference documentation. Supported Platforms. Viitattu 11.2.2011. <http://doc.qt.nokia.com/latest/supported-platforms.html>
- Riihimäki, H. Salon Keilahalli. Puhelinhaastattelu 1.9.2010. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.
- Sataesteetön-hankekuvaus. 2010.
- Rohkea, T. Salo. Puhelinhaastattelu 11.11.2010. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.
- Rauhala-Hayes, M., Topo, P., Salminen A. 1998. Kohti esteetöntä tietoyhteiskuntaa. Viitattu 25.5.2011. <http://www.sitra.fi/julkaisut/tietoyhteiskunta/sitra172.pdf>
- Suomen perustuslaki 1999. 11.6.1999/731 muutoksineen.
- Suomen keilailuliitto. 2011. Keilailu. Pistelasku ja merkitseminen. Viitattu 10.2.2011. <http://www.keilailu.fi/pistelasku.php>
- Suomen vammaisurheilu- ja liikunta VAU ry. 2011a. SOLIA. Viitattu 25.5.2011. <http://www.vammaisurheilu.fi/fin/harrasteliikunta/solia/>
- Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry. 2010. Keilailu. Viitattu 8.9.2010. <http://www.vammaisurheilu.fi/fin/lajit/keilailu/>
- Suomen vammaisurheilu- ja liikunta VAU ry. 2011b. Välineet.fi. Viitattu 25.5.2011. <http://www.valineet.fi/index.html>
- Trast, I. Miten signaali muutetaan tietokoneelle sopivaksi? Vastaanottaja XXXXXX. Lähetetty 10.11.2010 klo 19.00.53. Viitattu 26.7.2011.

Tanaka, E., Bim, S., Rocha, H. 2005. Comparing accessibility evaluation and usability evaluation in HagáQuê. CLIHC '05: Proceedings of the 2005 Latin American conference on Human-computer interaction 139-146. <http://portal.acm.org/>

United Nations Enabled. 2011. World Programme of Action Concerning Disabled Persons. Viitattu 7.9.2011. <http://www.un.org/disabilities/default.asp?id=23>

Dramas, F., Jouffrais, C., Katz, B, Thorpe, S., Oriola, B. 2008. Designing an assistive device for the blind based on object localization and augmented auditory reality. ASSETS'08: The 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, 263-264. <http://portal.acm.org/>

Tampereen teknillinen yliopisto. 2004. Puheen käsittelyn menetelmät. Luentomateriaali. <http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/8003051/puhesynteesi.pdf>

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009 Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Tampere 2009.

Toivonen T. Näkövammaisten keilailuvalmentaja. Vantaa. Puhelinhaastattelu 8.9.2010. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Universal Serial Bus. 2011. USB Info: Frequently Asked Questions. USB Cables, Connectors, and Networking with USB. Viitattu 15.6.2011. <http://www.usb.org/about/faq/ans5>

Wikipedia. 2011. Java. Viitattu 12.3.2011. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Java>

Wikipedia. 2010. Puhesyntetisaattori. Viitattu 11.9.2010. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Puhesyntetisaattori>

WHO. 2011a. Magnitude of blindness and visual impairment. Viitattu 11.3.2011. <http://www.who.int/blindness/causes/magnitude/en/index.html>

WHO. 2011b. Prevention of Blindness and Visual Impairment. Viitattu 11.3.2011. <http://www.who.int/blindness/en/>

Verstraeten, W., Vermeulen, B., Stuckens, J., Lhermitte, S., Van der Zande D., Marc Ranst, V., Coppin P. 2010. Webcams for Bird Detection and Monitoring: A Demonstration Study. Sensors 4, 3480-3503. <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/4/3480/pdf>

Viertonen P., Henkilökohtainen tiedonanto 3.10.2010. Pori. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Viertonen P., Henkilökohtainen tiedonanto 10.5.2011. Pori. Haastattelijana Marika Koivisto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Yhdenvertaisuuslaki 2004. 20.1.2004/21 muutoksineen.