

# **Väriäpalaute kävelynavigoinnin tukena**

Tero Kivinen

Tampereen yliopisto  
Informaatiotieteiden yksikkö  
Vuorovaikutteinen teknologia  
Pro gradu -tutkielma  
Ohjaaja: Roope Raisamo  
Toukokuu 2015

Tampereen yliopisto  
Informaatiotieteiden yksikkö  
Vuorovaikutteinen teknologia  
Tero Kivinen: Värinäpalaute kävelynavigoinnin tukena  
Pro gradu -tutkielma, 69 sivua, 4 liitesivua  
Toukokuu 2015

---

Älypuhelin on lähes korvannut erilliset autonavigaattorit, ja uusimmat navigointiohjelmat tukevat myös jalankulkuutilaa. Älypuhelimien navigointiohjelmat antavat reittiopasteet puheena, reittinä kartalla ja symbolisina ohjeina. Nämä ohjeet vaativat käyttäjältä aktiivista seuraamista ja aiheuttavat liikennetilanteeseen kognitiivista kuormitusta ja tarkkaavaisuuden herpaantumista.

Tuntoaistia voidaan käyttää rinnakkaisena aistikanavana kuulon ja näön rinnalla. Tässä tutkielmassa tutkitaan älypuhelimien kävelynavigointisovelluksen reittiopasteiden toistamista älykellolla värinäpalauteena. Älykellon värinämoottorilla tuotetaan käyttäjän ranteeseen värinään perustuvat reittiopasteet.

Käyttäjä tutkimuksella selvitettiin, ovatko värinäpalauteohjeet ymmärrettäviä ja tunnistettavia. Käyttäjät kävelivät lyhyen reitin tuntoaistiin perustuvien ohjeiden avustamana. Reittiopasteista toistettiin värinäpalauteella etäisyys seuraavaan käännökseen ja käännöksen suunta. Tutkimukseen osallistui kuusi vapaaehtoista henkilöä. Haastatteluiden perusteella värinäpalauteohjeet koettiin selkeiksi ja hyvin tunnistettaviksi.

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan värinäpalauteohjeiden osalta soveltaa yhden värinämoottorin sisältäviin laitteisiin, eli ne voidaan siirtää myös älypuhelimella käytettäväksi, kunhan älypuhelin on esimerkiksi taskussa tiukasti kehoa vasten niin, että käyttäjä tuntee värinäpalauteohjeet.

Avainsanat ja -sanonnat: tuntopalaute, värinäpalaute, navigointi, älykello, taktoni, tuntoaisti.

## **Esipuhe**

Kiitokset Pirkanmaan TE-toimistolle mahdollisuudesta suorittaa opintoni vihdoin loppuun ja opintojen etenemisen tiukasta seurannasta.

Kiitos Markku Turusen graduseminaarin osallistujille ja vetäjälle. Tunne siitä, että olimme kaikki samassa veneessä, auttoi eteenpäin tutkielman kirjoittamisessa.

Kiitos myös ohjaajalleni Roope Raisamolle ja koko laitokselle, aikuisopiskelijana oli todella mukava suorittaa opinnot loppuun.

Kiitos kaikille käyttäjätutkimukseen osallistuneille ystäväilleni.

Lopuksi kiitos tärkeimmille eli Johannalle, Leeville ja Laurille.

Pirkkalassa 1.5.2015

Tero Kivinen

## Sisällysluettelo

1.	Johdanto .....	1
2.	Tuntoaisti .....	4
2.1.	Aisteista .....	4
2.2.	Aistiminen prosessina .....	5
2.3.	Yleistä tuntoaistista.....	7
2.4.	Tuntoreseptorit.....	8
2.5.	Aktiivinen ja passiivinen kosketus.....	11
2.6.	Huomiokyky ja kognitiivinen kuormitus.....	11
3.	Tuntopalaute .....	13
3.1.	Tuntopalaute käsitteenä.....	13
3.2.	Väriäpalautelaitteita .....	13
3.2.1	Väriäpalautehiiri.....	13
3.2.2	Värisevä peliohjain.....	14
3.2.3	Väriäpalautevyö.....	14
3.2.4	Älyranneke ja -sormus .....	18
3.2.5	Älypuhelin.....	21
3.3.	Väriäpalaute navigointitehtävissä.....	22
3.3.1	Taikasauvamenetelmä .....	23
3.3.2	Kuudes aisti -menetelmä .....	24
3.3.3	Koputus olkapäälle -menetelmä.....	25
3.3.4	Väriäpalaute liikkuessa .....	26
3.4.	Taktonit eli tuntopalauteikonit .....	27
3.4.1	Yleistä taktoneista .....	27
3.4.2	Taktonien parametrit.....	28
3.4.3	Taktonien muodostaminen.....	30
3.4.4	Taktonien käyttö mobiili- ja puettavissa laitteissa.....	31
4.	Navigointi.....	32
4.1.	Henkilökohtainen navigointi .....	32
4.2.	Kognitiiviset kartat .....	34
4.3.	Navigointi prosessina.....	37
4.4.	Navigoinnin tukeminen.....	38
4.5.	Reitinopastus .....	41
4.6.	Suunnanopastus .....	43
4.7.	Jalankulku .....	43
5.	Älykellon käyttö jalankulkijan väriäpalauteopastimena .....	44
5.1.	Laitteisto .....	44
5.2.	Taktonien suunnittelu .....	46
5.2.1	Suunta -taktonit.....	47

5.2.2	<i>Etäisyys -taktonit</i> .....	49
5.2.3	<i>Perillä -taktoni</i> .....	50
5.2.4	<i>Virhe -taktoni</i> .....	51
6.	Tutkimus.....	52
6.1.	Hypoteesit .....	52
6.2.	Käyttäjätutkimus.....	52
6.2.1	<i>Koehenkilöt</i> .....	52
6.2.2	<i>Koeasetelma</i> .....	52
6.3.	Tulokset .....	53
6.3.1	<i>Tulosten raportointi</i> .....	53
6.3.2	<i>Kyselylomakkeen tulokset</i> .....	55
6.4.	Tutkimuksen rajoitukset .....	57
6.5.	Keskustelu .....	58
7.	Lopuksi.....	60
	Viiteluettelo .....	62

## Liitteet

Liite 1: Tutkimuksen osallistujan suostumislomake

Liite 2: Taustatietolomake

Liite 3: Kyselylomake

Liite 4: Haastattelukysymykset

## 1. Johdanto

Älypuhelimet ovat yleistyneet viime vuosina siten, että melkein jokaisella on aina mukanaan GPS-vastaanottimen sisältävä laite (Vesselkov & Hämäläinen, 2015). Älypuhelimien ja siihen asennetun navigointisovelluksen avulla käyttäjä pystyy nopeasti selvittämään sijaintinsa, etsimään palveluja ja tapahtumia ympäriltään, muodostamaan reittejä haluttuun kohteeseen ja navigoimaan reittiä pitkin päämääräänsä.

Älypuhelimia käytetään navigoimiseen varsinkin autolla ajettaessa mutta yhä enemmän myös liikuttaessa jalankulkijana. Auton ja jalankulkijan navigoinnissa on suuria eroja; auto liikkuu tieverkkoa pitkin, jalankulkija sitä vastoin vapaammin sekä tieverkkoa pitkin että liikkumalla esimerkiksi pihojen ja rakennusten läpi. Autonavigoinnissa hyvin toimivat tieverkkoa noudattavat reitit eivät ole optimaalisia jalankulkijalle, mutta varsinkin vieraassa ympäristössä niiden avulla selviää perille vähintään yhtä hyvin kuin perinteisen kartan avulla. Kävelynavigoinnissa perinteisten reittiopasteiden (turn-by-turn) sijaan voidaan käyttäjää tukea osoittamalla suunta maamerkkeihin kompassin tapaan.

Nykyiset älypuhelimien navigointisovellukset ja autonavigaattorit perustuvat lähes kokonaan näkö- ja kuuloaistiin perustuviin audiovisuaalisiin ohjeisiin. Laitteessa on näyttö, jolla esitetään reitti ja karttanäkymä joko perinteisen kartan tapaan ylhäältä päin tai helpommin ymmärrettävästi yläviistosta siihen suuntaan, johon ollaan kulkemassa. Kun käyttäjältä edellytetään toimintaa reitin seuraamiseksi, annetaan näytöllä symbolinen ja tekstimuotoinen ohje. Tällainen ohje voi olla nuoli oikealle ja teksti ”100m päästä Yliopistonkatu”, mikä tarkoittaa käännoästä oikealle, Yliopistonkadulle, sadan metrin päästä. Yleensä nämä ohjeet toistetaan myös puheesynteesin tai tallennetun puheen avulla laitteen kaiuttimista tai kuulokkeista.

Auton kuljettajan on keskityttävä liikenteessä muun muassa muuhun liikenteeseen, liikennevaloihin, liikennemerkkeihin ja oman auton nopeuteen. Kuljettajan näköaisti on liikenteessä siis pitkälti varattu näihin tärkeisiin tehtäviin. Tutkimusten mukaan (Wickens & Carswell, 1997) käyttämällä rinnakkaisia *aistikanavia* (modality) saadaan vähennettyä *kognitiivista kuormitusta* (mental workload, cognitive workload) ja esimerkiksi välitettyä enemmän informaatiota, kuten reitiohjeita auton kuljettajalle, häiritsemättä keskittymistä liikenteeseen. Kuuloaistiin toistetut ääniohjeet perustuvat tähän teoriaan, mutta liikenteen ja matkustajien tai autoradion äänet voivat haitata ohjeiden kuulemista. Puheohjeena annettu monimutkainen reittiopaste saattaa myös kestää suhteellisen kauan toistaa, ja sen ajan kuljettaja joutuu keskittymään ohjeeseen.

Kävelynavigoinnissa näköaistiin perustuvat ohjeet varaavat kävelijän huomion samaan tapaan kuin autoilijan. Ääniohjeiden suhteen kävelynavigointi eroaa auton kuljettajan tilanteesta siten, että liikenteen melu voi peittää älypuhelimien kaiuttimesta toistetut ohjeet kokonaan. Jalankulkija voi kokea kovalla äänenvoimakkuudella toistetut ohjeet noloiksi ja häiritseviksi. Tämä voidaan välttää käyttämällä kuulokkeita, mutta silloin jalankulkija menettää ympäriltä kuuluvat liikenteen äänet, mikä voi vaarantaa turvallisuutta.

Ihmisen ja koneen välisessä vuorovaikutuksessa visuaalisen ja äänipalautteen rinnalla voidaan käyttää tuntopalautetta välittämään tietoa. Sarterin mukaan (2007) tuntopalaute ei käyttämättömänä tiedonvälityskanavana ylikuormita navigoijan huomiokykyä, ja tuntopalaute myös yleensä herättää käyttäjän huomion automaattisesti (Sarter, 2000). Taustamelu ei vaikuta tuntoaistiin negatiivisesti (Brown, Galloway & Gildersleeve, 1965). Autoteollisuudessa on kehitetty tuntopalautetta erityisesti kaista-avustimissa (lane assistant), jolloin ratti värisee tai kääntyy itsestään oikeaan suuntaan herättääkseen ajajan huomion auton oikealla kaistalla pitämiseen (Beruscha, Augsburg & Manstetten, 2011).

Älypuhelimissa käytetään audiovisuaalisten palautteiden lisäksi tuntopalauteita ilmoittamaan käyttäjälle erilaisista viesteistä ja tapahtumista. Viime vuosina älypuhelimien apuna toimivat *älykellot* (smartwatch) ovat yleistyneet. Älykellojen yleisin käyttötarkoitus on toistaa käyttäjälle älypuhelimien ilmoitukset huomaamattomasti esimerkiksi valaisemalla älypuhelimien näyttö ja herättämällä käyttäjän huomio värinäpalautteella. Älypuhelin saattaa olla käyttäjän taskussa tai käsilaukussa niin, ettei sen tuottamaa värinäpalautetta huomaa, mutta älykello on lähes aina käyttäjän ranteessa, jolloin värinäpalaute on aina käytettävissä.

Jalankulkijana näköaisti on kuormitettuna kävellessä muiden ihmisten seassa väistellen kaduilla olevia esteitä, havainnoitaessa esimerkiksi liikennevaloja ja jalankulkijalle tarkoitettuja kulkuväyliä sekä tietenkin etsittäessä reitillä pysymiseen tarvittavia tietoja ympäristöstä. Kuuloaistin ollessa myös kuormitettuna liikenteen melusta tuntoaistin käytölle reittiopastuksessa on perusteensa. Värinäpalautteen tuottamisen ranteeseen mahdollistavat laitteet ovat yleistymässä, ja tänä vuonna Apple on tuomassa markkinoille oman näkemyksensä älykellosta. Apple mainostaa (2015) tuovansa teknologialle enemmän inhimillistä kosketusta (human touch), ja onkin mielenkiintoista nähdä miten hyvästä käytettävyydestä tunnettu valmistaja toteuttaa värinäpalautteen esimerkiksi reittiopastuksessa.

Tämän tutkielman tarkoitus on pohtia, miten älykellon avulla voidaan opastaa jalankulkija kulkemaan reittiä pitkin päämääräänsä. Tutkielmassa kehitetään

joukko yksinkertaisia värinäpalauteohjeita ja arvioidaan niiden etuja ja haittoja verrattuna perinteisiin audiovisuaalisiin ohjeisiin.

Suppealla käyttäjätutkimuksella selvitettiin, ovatko älykellolla tuotetut värinäpalauteohjeet ymmärrettäviä ja tunnistettavia. Tutkimukseen osallistui kuusi vapaaehtoista henkilöä, jotka kulkivat saman reitin älykellon opastamana. Käyttäjien kokemuksia analysoitiin haastattelemalla.

Tutkielman toisessa luvussa kerrotaan ihmisen aisteista ja erityisesti tuntoaistista sekä tutustutaan lyhyesti havaintopsykologiaan tuntoaistin osalta. Kolmannessa luvussa tutustutaan tuntopalautteeseen ja sen osa-alueeseen värinäpalauteeseen. Luvussa kolme esitellään myös erilaisia värinäpalautelaitteita ja -menetelmiä. Värinäpalaute menetelmistä käydään läpi erityisesti värinäpalauteella muodostettavat abstraktit viestit, tuntopalauteikonit eli taktonit. Neljännessä luvussa esitetään navigoinnin teoriaa ja lopuksi jalankulun erityispiirteitä navigoinnissa. Luvussa viisi kerrotaan tämän tutkielman tutkimuksen laitteistosta ja sovelletusta värinäpalaute menetelmästä. Kuudennessa luvussa esitetään tutkielman käyttäjätutkimus ja raportoidaan tutkimuksen tulokset. Tutkielman viimeinen, seitsemäs luku sisältää yhteenvedon ja ideoita jatkotutkimukselle.



## 2. Tuntoaisti

Tässä luvussa kerrotaan ihmisen aisteista ja erityisesti tuntoaistista sekä sen hyödyntämisestä ihmisen ja koneen välisessä vuorovaikutuksessa. Luvussa esitellään ihmisen aistit, tuntopalaute ja sen käyttö erityisesti puettavien laitteiden vuorovaikutuskanavana.

Kohdassa 2.1 esitellään ihmisen aistit ja niiden toimintaperiaatteet. Kohdassa 2.2 esitellään aistiminen prosessina. Seuraavaksi kohdassa 2.3 kerrotaan tuntoaistista ja kohdassa 2.4 tuntoaistin mahdollistavista aistinsoluista. Kohdassa 2.5 ja 2.6 kerrotaan havaintopsykologiasta, ensin aktiivisesta ja passiivisesta kosketuksesta ja sitten huomiokyvystä ja kognitiivisesta kuormituksesta.

### 2.1. Aisteista

Ihminen käyttää aistejaan kerätäkseen tietoa ympäristöstään. Ihminen aistii myös kehonsa sisäisiä muutoksia, kuten raajojen asentoja ja liikkeitä. Ihmisen perusaisteja ovat tunto-, näkö-, kuulo-, maku- ja hajuaistit. Aistit ovat kehittyneet evoluution tuloksena, ja ihmisellä jotkin aistit ovat kehittyneempiä kuin eläimillä. Toiset aistit kuten hajuaisti ovat menettäneet merkitystään. Ihminen voi näköaistilla nähdä puun, kuuloaistilla kuulla lehtien havinan tuulessa ja tuntoaistilla tuntea puun kuoren. Ihmiselle puun hajulla ei ole suurta merkitystä, mutta eläimillä se voi liittyä reviiireihin tai ravinnon hankintaan.

Maku- ja hajuaisti ovat kemiallisia aisteja, jotka perustuvat siihen, että nenään tai suuhun tuleva aine tai kaasu aiheuttaa *ärsykkeeseen* (stimulus) reseptoreissa. Evoluution kannalta nämä kaksi aistia ovat ns. portinvartija-aisteja (Breslin, 2001), jotka tunnistavat, mitä aineita tarvitsemme hengissä pysymiseen ja mitä aineita on syytä välttää. Hajuaistimukset vaikuttavat myös aivojen tunne-elämää hallitsevaan tahdosta riippumattomaan limbiseen järjestelmään, joten tiettyihin hajuihin voi liittyä muistoja asioista, paikoista tai ihmisistä.

Näkö- ja kuuloaisti tuottavat koko ajan suuren määrän aistimuksia, joista vain sillä hetkellä oleelliset huomioimme. Aistit, lukuun ottamatta asentoaistia, *sopeutuvat* eli adaptoituvat jatkuvaan ärsykkeeseen. Kuuloaisti adaptoituu nopeasti ja tottuu samanlaisena jatkuvaan ääneen. Kuuloaistin avulla saamme tietoa tapahtumista, jotka tapahtuvat ympärillämme, mahdollisesti kaukanakin. Aistimamme äänet kertovat meille, että jossain mahdollisesti tapahtuu jotain, mihin on hyvä kiinnittää huomioita. Kuuloaisti mahdollistaa ihmisillä kommunikoinnin puhumalla ja eläimillä erilaisilla äänillä.

Näköaistilla aistitaan sähkömagneettista säteilyä kapealla näkyvän valon kirjolla eli spektrillä. Eri taajuinen säteily aistitaan eri väreinä. Näköaisti on kuulon lisäksi toinen aisti, joka mahdollistaa etäaistimisen. Näillä aisteilla pystymme vastaanottamaan tietoa ympäristöstä kauempaa kuin muiden aistien avulla. Haju- ja aistilla voi aistia jostain kauempaa tulevaa ainetta, mutta ilman näkö- tai kuuloaistia aistimuksen alkuperä ei selviäisi. Tuntoaistia käsitellään tarkemmin kohdassa 2.3.

## 2.2. Aistiminen prosessina

Kaikki aistit toimivat jokseenkin samoilla periaatteilla ja mekanismeilla. Aistiprosessi alkaa siitä, että ympäristössä jokin esine, aine tai ilmiö aiheuttaa aistittavan fyysisen muutoksen kuten auringon valon heijastuksen, liikkeen aiheuttaman ilmanpaineen muutoksen tai ympäristöön leviävän aineen. Prosessin ensimmäisen kohta, ympäristön ärsyke voi olla myös sisäsyntyinen ärsyke esimerkiksi liikeaistin kohdalla. Alla on kuvattu Goldsteinin (1999) esittämä yksinkertaistettu malli aistiprosessista (Kuva 2.1).

Vakiona pysyvä ympäristön ärsyke aiheuttaa aistinsolulle erilaisen ärsyksen tilanteesta riippuen. Esimerkiksi älykellon ranteeseen tuottama värinäpalaute aiheuttaa aistinsoluille erilaisen ärsyksen käden asennosta tai älykellon rannekkeen kireydestä riippuen. Jos älykello on ranteessa liian löysällä, haluttua värinäpalautetta ei välttämättä muodostu ollenkaan.

Ihmisen silmä taittaa valoa harvoin täydellisesti, ja korva voi olla vaurioitunut niin, ettei se enää pysty aistimaan normaalia puhetta. Ihminen on kehittänyt apuvälineitä, kuten silmälasit tai kuulolaitteet, korjaamaan puutteellisia aistieliimiään.

Kunkin aistin erilaista energiaa vastaanottamaan erikoistuneet *aistinsolut*, reseptorit, muuntavat ärsyksen fyysisen energian sähköenergiaksi. Yhdellä aistilla voi olla monen tyyppisiä reseptoreja, jotka aistivat erilaista ärsykettä. Esimerkiksi silmässä on aistinsoluja, jotka reagoivat näkyvän valon eri taajuuksiin mahdollistaen väri- ja hämäränäön. Ihossa on erilaisiin kosketukseen liittyviin ärsykkeisiin reagoivia reseptoreita, joista kerrotaan tarkemmin kohdassa 2.4.

Riittävän suuren ärsyksen saadessaan reseptorit aiheuttavat reseptoriin yhteydessä olevissa hermosoluissa, *neuroneissa*, muutoksia eli transduktioprosessin. Useimmat aistinsolujen neuronit saadessaan riittävän suuren ärsyksen depolarisoituvat ja tuottavat viejähaarakkeeseensa eli *aksoniinsa* sähköisen signaalin, aktiopotentialin. Depolarisaatiossa hermosolun sähköinen lepopotentiaali kemiallisten muutosten seurauksena muuttuu hetkeksi yhdessä kohdassa kerrallaan. Depolarisaation eteneminen, *aktiopotentiali*, on siis hermojen signaaloinnin perusta.

Joidenkin aistinreseptorien neuronit, joilla ei ole omaa aksonia, aiheuttavat läheisten neuronien aktiopotentialin *liipaisemisen* (firing). Molempien toimintatapojen seuraus on, että joko aistinreseptorin oma neuroni tai läheiset neuronit lähettävät aksoniaan pitkin ärsykkeen voimakkuudesta riippuen tiheämpää tai harvempaa sähköistä impulssia eteenpäin kohti keskushermostoa.



Kuva 2.1. Aistimusprosessi Goldsteinin mukaan, suomennettuna (1999).

Tarpeeksi vahva ärsyke aktivoi useita reseptoreita ja edelleen niihin yhteydessä olevia neuroneita sekä siirtämään ärsykesignaalin aivoihin ja aivojen sisällä että käsittelemään ja muuttamaan ärsykesignaalia matkalla aivoihin. Signaalit saattavat voimistua, heikentyä tai vaimentua kokonaan, jolloin ne eivät etene keskushermostoon asti. Saamme ärsykejä koko ajan kaikista aisteistamme, ja edellä kuvattu *neuraaliprosessointi* osaltaan auttaa suodattamaan niistä tärkeimmät.

Aistiratoja pitkin signaalit saapuvat aivoihin talamukseen eli näkökukkulaan ja edelleen kunkin aistin ensisijaiselle aivokuoren osalle. Ainoastaan hajuaistin signaalit kulkevat suoraan aivokuoreen. Otsalohkossa on myös alue, joka vastaanottaa kaikkien aistien signaaleja ja koordinoi usean aistin avulla saatua tietoa (multimodal). Aivokuoreessa muodostuu *havainto* (perception) ympäristön ärsykkeestä. Lopuksi aiempien kokemusten perusteella havainto saa merkityksen ja se *tunnistetaan* (recognition).

Tunnistamiseen ja aistimuksen merkitykseen liittyy vahvasti tietämys, joka riippuu havainnoijan kokemuksista, motivaatiosta ja itse tilanteen aiheuttamista odotuksista *aistimusta* (sensation) kohtaan. Myös kulttuuri ja tunteet voivat vai-

kuttaa havainnoijan *havaintotaipumukseen* (perceptual set). Esimerkiksi, kun ihmisille on kerrottu valokuvassa olevan Loch Nessin hirviö, ihmiset näkivät sen kuvassa. Ne, jolle ei ollut kerrottu, mitä kuva esittää, näkivät vain uppotukin (Myers, 2012).

Myers toteaa myös, että edellä esitettyä kokemusten ja odotusten vaikutusta tunnistamiseen kutsutaan *ylhäältä alas -prosessoinniksi* eli käsitteellisesti ohjautuvaksi prosessoinniksi (top down, conceptually driven processing). Pelkkää aistinsolujen ja neuronien tuottamaa signaalia ärsykkeestä sanotaan *alhaalta ylös -prosessoinniksi* eli ärsykkeen ohjaamaksi prosessoinniksi (bottom up, stimulus-driven processing). Ylhäältä alas -prosessointi liittyy lähes kaikkeen aistimiseen.

Jalankulkijan reittiopastuksen tukemisessa ylhäältä alas -prosessointi voitaisiin ottaa huomioon esimerkiksi siten, että älykellon värinäpalauteohjeita annettaisiin vain silloin, kun käyttäjä niitä pyytää. Tämä voisi tapahtua esimerkiksi tilanteessa, jossa osa reitistä on käyttäjälle tuttua, mutta jossain risteyksessä hän tarvitsee varmistuksen oikeasta suunnasta. Tällöin jalankulkija olisi virittynyt aistimaan ohjeen ja pystyisi mahdollisesti keskittymään sen ymmärtämiseen paremmin. Jos värinäpalauteohjeita annetaan liian usein, ne ärsyttävät käyttäjää. Tämä voi vaikuttaa negatiivisesti ohjeiden seuraamiseen ja heikentää ohjeistuksen tarkkuutta.

### 2.3. Yleistä tuntoaistista

Iho on ihmisen suurimpia elimiä, ja tuntoaistin reseptorisolut sijaitsevat ihossa ympäri kehoa. Tuntoaistin reseptorisolut ovat *mekanoreseptoreja*. Tämä tarkoittaa sitä, että reseptorien fyysinen muodonmuutos, kuten venytys tai taipuminen, aiheuttaa niissä kemiallisen muutoksen, joka aiheuttaa neuronin liipaisemisen. Tuntoaisti eroaa muista aisteista siinä, että reseptoreita on ympäri kehoa. Muilla pääaisteilla on yksi tai useampi erityinen aistinelin tietyssä kohdassa kehossa.

Tuntoaistin pääasiallisia tuntereseptoreita on neljää eri tyyppiä (Goldstein, 1999), ja ne aistivat erilaisia ärsykeitä riippuen tuntereseptorin sijainnista ihon kerroksissa ja reseptorin rakenteesta. Tuntoaistilla aistittavia ärsykeitä ovat kosketus, paine, silytys, liike iholla ja värinä. Lisäksi vapaat hermopäätteet aistivat kylmää, kuumaa, ihokarvojen taipumista ja kipua.

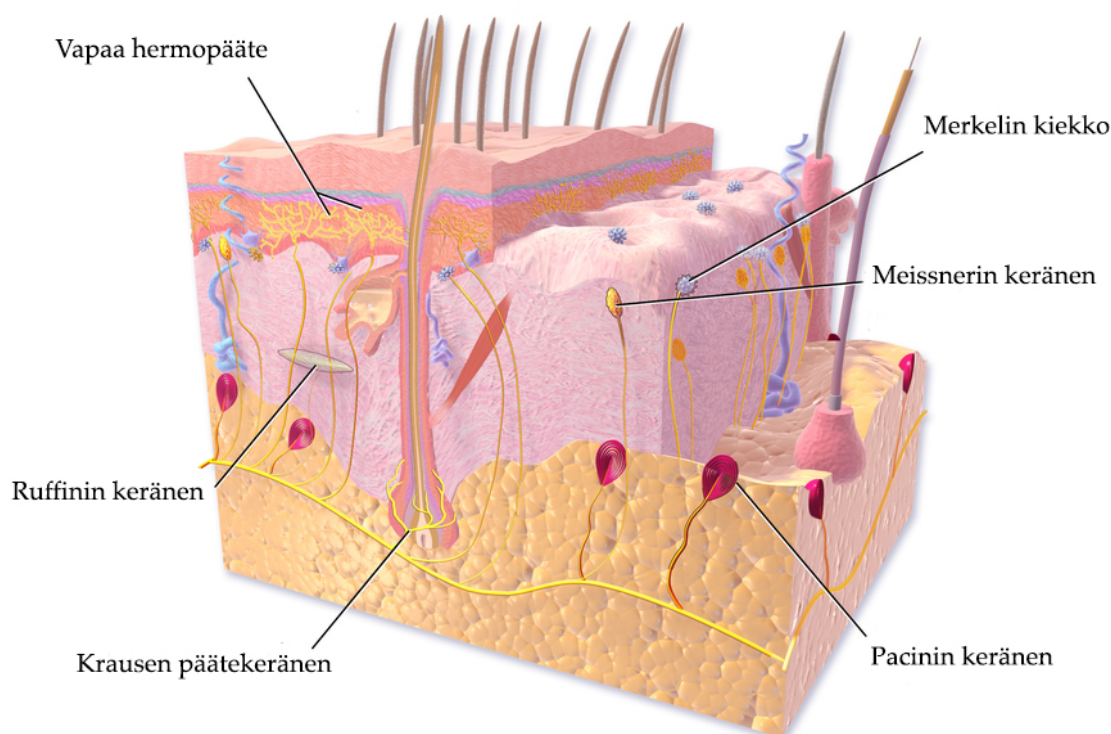
Tuntoaisti on osa somatosensorista järjestelmää, johon kuuluvat myös asento- ja liikeaisti. Näiden kahden jälkimmäisen aistin reseptorisolut sijaitsevat lihaksissa, nivelissä ja ihossa. Asento- ja liikeaistin avulla tunnistamme raajojemme asennon ja niiden liikuttamisen. Tunto-, asento- ja liikeaistin neuronien aksonit ovat *myeliinitupellisia* (myelinated), suuria halkaisijaltaan ja kuljettavat aktiopotentiaaleja nopeasti (Purves, 2008). Myeliinituppi on solukalvon rakenne,

joka muodostaa aksonin ympärille eristeen ja nopeuttaa hermoimpulssin kulua. Tunto-, asento- ja liikeaistin neuronien aksonien on oltava myeliinitupellisia, jotta raajojen kauimmaisten osien, sormien ja varpaiden aistinsolujen ärsykkeet saadaan nopeasti aivoihin. Tämä mahdollistaa liikkumisen ja työkalujen käyttämisen, hienomotoriikan. Nopeimmat signaalit kulkevat 120 metriä sekunnissa (Arbib, 2003).

Vaikka tuntoaistin reseptoreja on joka puolella ihoa, niiden määrä vaihtelee suuresti sijainnin mukaan. Sormissa ja huulissa sijaitsee paljon reseptoreja, selässä ja päänahassa vähän (Goldstein, 1999). Tämä johtuu siitä, että käsillä ja suulla on tärkeä saada paljon tietoa koskettavasta esineestä, jotta se pystytään tunnistamaan tarkasti, ja sitä voidaan käyttää monipuolisesti.

#### 2.4. Tuntoreseptorit

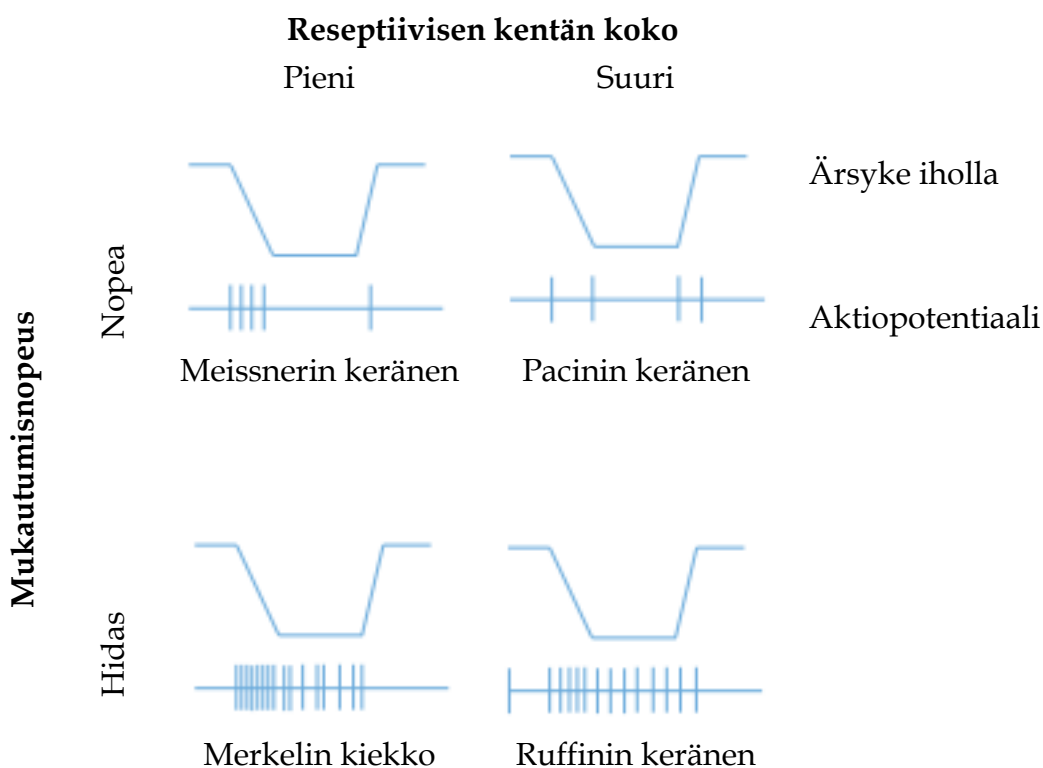
Kuten kohdassa 2.3 kerrottiin, ihon erikoistuneet mekanoreseptorit aistivat eri asioita kosketuksesta. Alla on esitettyä ihon poikkileikkaus ja ihon neljä mekanoreseptoria sekä vapaita hermopäätteitä (Kuva 2.2).



Kuva 2.2. Ihon poikkileikkaus ja aistinsoluja, suomennettuna (Blausen.com staff, 2014).

Goldstein (1999) luokittelee tuntoaistin reseptorit eli mekanoreseptorit hitaasti (slowly adapting, SA) ja nopeasti (rapidly adapting, RA) kosketukseen mu-

kautuviin. Nopeasti mukautuvat tuntoresptorit reagoivat nopeasti ärsykkeeseen ja sen lakkaamiseen, mutta reseptorin tuottama *vaste* (response) sammuu heti, kun ärsytys pysyy vakiona. Hitaasti mukautuvat reseptorit taas tuottavat vastetta myös ärsytyksen pysyessä vakiona. Alla on esitetty neljä karvattoman ihon (glabrous skin) mekanoreseptoria mukautumisnopeuden ja reseptiivisen kentän suhteen (Kuva 2.3).



Kuva 2.3. Ihon mekanoreseptorit ja niitä ärsytettäessä syntyvät aktiopotentialit, suomennetuna (Bear, Connors & Paradiso, 2015).

Lähellä ihon pintaa, orvaskedessä, sijaitsevilla Merkelin kiekkoilla (tyyppi SA1) ja Meissnerin keräsillä (tyyppi RA1) on sijainnistaan johtuen pieni reseptiivinen kenttä. *Reseptiivinen kenttä* (receptive field) tarkoittaa ihon aluetta, joka sitä ärsyttäessä aiheuttaa tietyn neuronin liipaisemisen. Meissnerin keräset aistivat esineen pysyvyyttä ja liikettä esimerkiksi käden otteessa. Meissnerin keränen aistii parhaiten noin 50 hertsin taajuuksista värinää, ja sen tuottamaa aistimusta voi kuvata kevyeksi kosketukseksi. Meissnerin keräset ovat kapseloituneita, ja keräsen muodonmuutos aiheuttaa aktiopotentialin. Muodonmuutoksen poistuminen aiheuttaa myös aktiopotentialin, mutta välissä oleva staattinen ärsyke ei aiheuta aistimusta.

Merkelin kiekot sijaitsevat ihmisellä ihon pinnassa esimerkiksi sormenpäissä sormenjälkien harjanteiden alla. Kaikkialla, missä Merkelin kiekkoja sijaitsee, ihon pintakerros on muodostunut niin, että kosketuksen paine pääsee optimaalisesti reseptoriin. Rakenteeltaan Merkelin kiekko on kapseloitumaton ja jäykkä, minkä vuoksi se tuottaa jatkuvaa aktiopotentiaalia kudoksen mekaaniseen muodonmuutokseen. Merkelin kiekot reagoivat voimakkaasti muodonmuutoksen alkamiseen ja loppumiseen, mutta myös jopa 30 minuutin ajan staattiseen ärsykkeeseen. Rakenteensa ja sijaintinsa ihossa perusteella Merkelin kiekot ovat erikoistuneet aistimaan pinnan hienorakennetta. Aktiopotentiaalintaajuuteen ja siten aistimuksen voimakkuuteen vaikuttaa myös ihon muodonmuutoksen suuruus; pyöreät muodot ja tasaiset pinnat aiheuttavat vain pienen ärsyksen, pistemäiset esineet suuren.

Syvemmillä ihossa, verinahassa, sijaitsevilla Ruffinin keräsillä (tyyppi SA2) ja Pacinin keräsillä (tyyppi RA2 tai PC) on suuremmat reseptiiviset kentät, ja ne ovat sen takia kosketuksen sijainnin suhteen epätarkempia kuin edellä esitetyt reseptorityypit.

Pacinin keränen sijaitsee ihossa noin kahden millimetrin syvyydellä verinahassa. Se aistii nopeataajuista värähtelyä ja kosketettavan esineen pintaa. Pacinin keränen aistii parhaiten noin 200 hertsin taajuista värähtelyä. Fyysisesti Pacinin keränen on kapseloitunut, rakenteeltaan sipulimainen, useasta kerroksesta muodostuva jopa 1mm pitkä ja 0,7mm leveä tuntoreseptori. Keräsen muodonmuutos ja muodonmuutoksen nopeus aiheuttavat reseptorin neuronin aktiopotentiaalin. Mitä suurempi ja nopeampi muodonmuutos, sitä tiheämmin aktiopotentiaaleja syntyy. Pacinin keränen on se ihon mekanoreseptori, jota stimuloidaan älykellon värinäpalautteella.

Ruffinin keräsiä sijaitsee ihmisellä ihossa vain karvattomissa osissa. Ne aistivat ihon venymistä ja siten esimerkiksi sormien asentoa ja liikettä sekä jatkuvaa painetta. Tämä mahdollistaa esineen liikkeen ja pysymisen otteessa aistimisen.

Alla on esitetty yhteenvedona tuntoaistin tärkeimpien mekanoreseptorien aistima ärsyksen taajuus, reseptiivisen kentän koko ja reseptorin synnyttämä aistimus (Taulukko 2.4).

Taulukko 2.4. Tuntoaistin reseptorien fysikaalisia ominaisuuksia, mukailten (Brown, 2007).

Mekanoreseptori	Taajuusalue	Reseptiivinen kenttä	Tuntoaistimus
Merkelin kiekko	0 – 100Hz, herkin 5Hz	0,5mm	Reunat, kulmat, kaarevuus
Meissnerin keränen	1 – 300Hz, herkin 50Hz	3mm	Ote esineestä, esineen liike iholla
Ruffinin keränen	herkin 0,5Hz	>7mm	Ihon venytys
Pacinin keränen	10 – 1000Hz, herkin 200Hz	>10mm	Värinä

## 2.5. Aktiivinen ja passiivinen kosketus

Kosketus voidaan jakaa *aktiiviseen* ja *passiiviseen* (Gibson, 1962). Kosketus on aktiivista, kun ihminen itse liikuttaa jotain esinettä koskettavaa kehon osaansa. Passiivinen kosketus tapahtuu silloin, kun joku tai jokin koskettaa henkilöä, tai joku tai jokin ohjaa esimerkiksi henkilön kättä koskettamaan jotain. Sekä aktiivinen että passiivinen kosketus stimuloivat samoja tuntereseptoreja, mutta eroavat kognitiivisesti. Goldstein (1999) yleistää tämän kognitiivisen eron siten, että passiivinen kosketus liittyy esineiden pinnan tunnistamiseen tai tuntemuksen selittämiseen. Aktiivinen kosketus liittyy yleensä siihen, kun kädellä käytetään jotain esinettä. Tällöin keskitytään kappaleen ääri-rajoihin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten rakenteeseen tai painoon.

## 2.6. Huomiokyky ja kognitiivinen kuormitus

Aktiiviseen kosketukseen liittyy läheisesti keskittyminen ja huomiointi. Hsiao, O'Shaughnessy ja Johnson ovat tutkineet (1993) apinoilla neuronien aktiivisuutta aivojen somatosensorisella alueella tehtävässä, jossa apina tunnisti sen sormea vasten liikutettavia kohokirjaimia. Kun apina palkittiin kirjaimen tunnistamisesta verrattuna siihen, kun apina palkittiin toisen, näköhavaintoon perustuvan tehtävän suorittamisesta, Hsiao ja muut löysivät suuria eroja neuronien aktiivisuudesta. Molemmassa tehtävässä tuntoaistiin tuotettu ärsyke kohokirjaimella pysyi kuitenkin samana, joten aistimukseen vaikuttaa selvästi keskittyminen, ajattelu ja aistijan muut toimet.



Näistä apinakokeista voi päätellä, että näköaisti dominoivana aistina voi estää tuntoaistin kautta saadun tiedon tunnistamisen. Toisaalta tuntoaistin kautta saatu tieto voidaan kokea ärsyttävänä silloin, kun se ei ole oleellista meillä olevan tehtävän suorittamisen kannalta. Tällainen tehtävä voi olla jalankulkijana siirtyminen paikasta toiseen. Silloin, kun reitti on ennestään vaikka osittain tuttu, eikä jalankulkija tarvitse opastusta, väärään aikaan annettu reititopaste voi haitata liikenteessä liikkumista.

*Läsnä olevien* (ubiquitous) laitteiden käytön lisääntyessä on tutkittu (Haapalainen, Kim, Forlizzi ja Dey, 2010) millaisilla mittareilla kognitiivista kuormitusta voidaan mitata sen suhteen, milloin ja miten käyttäjän voisi keskeyttää huomioimaan esimerkiksi navigointiohjetta. Koska ihmisen huomiokyky on rajallinen, navigointiohje voidaan kokea hyödyllisenä, ärsyttävänä tai se voi olla jopa vaarallinen. Myös tapa, jolla tieto esitetään vaikuttaa siihen, miten pystymme palauttamaan huomion takaisin ensisijaiseen tehtävään, kuten liikenteessä liikkumiseen.

Haapalainen ja muut kehittivät reaaliaikaisen mallin arvioimaan kognitiivista kuormitusta. He käyttivät psykofysiologisia sensoreita mittaamaan esimerkiksi ihon lämpövirtaa (heat flux), sydämen sykettä ja sydänsähkökäyrää. Tuloksina Haapalainen ja muut löysivät parhaiksi mittareiksi ihon lämpövirran ja sydänsähkökäyrän absoluuttisen poikkeaman mediaanin.

Valitettavasti tällaiset kognitiivisen kuorman mittarit eivät ole saatavilla kuluttajatuotteissa. Kävelynavigoinnissa mittareina voitaisiin käyttää esimerkiksi jalankulkijan kävelynopeutta, josta voitaisiin päätellä, että hitaammin liikkuessaan käyttäjä voi tarvita ohjeistusta. Toisaalta liikenteessä kävelijä voi joutua pysähtymään liikennevaloihin tai väistämään kapeassa kohdassa vastaantulijoita, joten kävelynopeus ei ole luotettava mittari kognitiiviselle kuormitukselle.

Tässä tutkielmassa toteutetun kävelynavigoinnin värinäpalautteeseen perustuvan opastuksen suhteen päätettiin, että käyttäjälle annetaan navigointiohjeita suhteellisen harvoin tai käyttäjän niitä pyytäessä. Näin opasteista ei muodostu ärsyttäviä tai tarpeettomasti kognitiivisesti kuormittavia.

### 3. Tuntopalaute

Tässä luvussa käsitellään tuntopalautetta. Aluksi kohdassa 3.1 käydään läpi tuntopalautteen ja sen alikäsitteiden määritelmät mukaan lukien erityisesti värinäpalaute. Kohdassa 3.2 esitetään erilaisia käytössä olevia värinäpalautelaitteita. Kohdassa 3.3 esitellään navigointiin liittyviä värinäpalautemenetelmiä. Lopuksi kohdassa 3.4 käydään läpi tarkemmin tämän tutkielman kannalta olennainen värinäpalautemenetelmä, *taktonit* (tactons).

#### 3.1. Tuntopalaute käsitteenä

*Tuntopalaute* (haptic feedback) voidaan määritellä esimerkiksi (Loomis ja Lederman, 1986) jakamalla se tuntoaistin mekanoreseptoreita stimuloivaan *kosketuspalauteeseen* (tactile feedback) ja sen lisäksi liike- ja lihasaistia stimuloivaan *voimapalauteeseen* (force feedback). Vastaavat termit saaduille aistimuksille ovat *tuntoaistimus* (tactual perception), tuntoaistimuksen alaluokka *kosketusaistimus* (tactile perception) ja *liikeaistimus* (kinesthetic perception).

Kosketuspalauteesta voidaan erottaa alaluokaksi *värinäpalaute* (vibrotactile feedback), jota käytetään yksinkertaisemmissa ja halvemmissä laitteissa tuottamaan yleensä matalataajuisia käyttäjän huomion herättävää värinää. Kalliimmissa laitteissa voidaan tuottaa korkeataajuisia värinää, joka kuitenkin tunnetaan esimerkiksi kappaleen pintarakenteena, tekstuurina. Lisäksi osa laitteista voi vastustaa käyttäjän liikkeitä tuottaen voimapalautetta. Eri laitteilla on kuitenkin erilaiset käyttötarkoitukset ja saatavuudet, joten yksinkertainenkin värinäpalautetta tuottava laite voi olla pätevä omassa käyttötarkoituksessaan.

Tässä tutkielmassa keskitytään värinäpalauteeseen ja matalataajuisen värinän mahdollisuuksiin välittää tietoa käyttäjälle ranteessa pidettävän älykellon avulla. Seuraavassa kohdassa esitellään erilaisia värinäpalautelaitteita.

#### 3.2. Värinäpalautelaitteita

##### 3.2.1 Värinäpalautehiiri

Värinäpalautehiiret tulivat markkinoille 2000-luvun alussa. Näytti siltä, että ne yleistyisivät koti- ja työkäytössä. Värinäpalautehiiren sisällä on moottori, jota ohjaamalla saadaan aikaan ajallisesti eri kestoisia värinöitä ja värähdyksiä. Tällaisilla värinäpalauteilla pystytään herättämään käyttäjän huomio ja välittämään pieni määrä tietoa. Pelikäytössä hiiri voi väristä esimerkiksi silloin, kun pelaajan hahmoa ammutaan. Työpöytäkäytössä hiiri voi värähtää, kun käyttäjä osoittaa esimerkiksi sellaista kohdetta ruudulla, josta voi napata kiinni. Värinäpalautehiiret eivät saavuttaneet kaupallista menestystä eivätkä yleistyneet. Tunnetuimmat kaupalliset värinäpalautehiiret valmisti Logitech International S.A., ja ne käyttivät tuntopalauterajapintaa, jonka on kehittänyt Immersion Corporation.

### 3.2.2 Värisevä peliohjain

Nintendo ja Sony julkaisivat värinäpalautetta tukevat ohjaimensa 1990-luvun lopussa pelikonsoleilleen. Ohjain värisee esimerkiksi pelaajan ampuessa aseellaan pelissä tai pelihahmon haavoittuessa. Kuten värinäpalautehiiressä, myös peliohjaimissa värinäpalaute tuotetaan yleensä moottoreilla, joissa on kiinni epäkeskoinen paino (eccentric rotating mass). Alla kuvassa Sonyn peliohjain avattuna, jolloin näkyvillä on sen kaksi värinäpalaute moottoria (Kuva 3.1). Värinäpalauteen tarkoitus on *upottaa* (immerse) pelaaja pelin tapahtumiin. Toisin kuin värinäpalautehiiret, värisevät peliohjaimet ovat menestyneet ainakin siinä määrin, että ominaisuus on käytössä edelleenkin uusimman sukupolven pelikonsoalien ohjaimissa. Värinäpalautea käytetään peleissä kuitenkin hyvin säästeliäästi, sillä liiallisesti käytettynä se voidaan kokea häiritsevänä. Värinäpalauteen saa myös yleensä kytkettyä kokonaan pois päältä.



Kuva 3.1. Sony Dualshock 3 -peliohjain (Galan, 2010).

### 3.2.3 Värinäpalautevyö

Useissa navigointiin ja tuntopalautteeseen liittyvissä tutkimuksissa (Srikulwong ja O'Neill, 2013; Asif, Heuten ja Boll, 2010; Van Erp, Van Veen, Jansen, ja Dobbins, 2005) on kehitetty käyttäjän rinnan tai vyötärön ympärille tuleva värinäpalautevyö

(haptic belt, tactile belt). Vyössä on yksinkertaisen värinäpalautteen tuottavia moottoreita sijoitettuna ympäri vyötä. Suunta kohteeseen esitetään tuottamalla värinäpalaute kullakin hetkellä lähinnä kohteen suuntaa olevalla moottorilla. Kuvassa 3.2 on korkeakouluopiskelijan kurssityönä rakentama värinäpalautevyö.

Käytettyjen moottorien määrällä voidaan vaikuttaa suunnan tunnistamisen tarkkuuteen. Van Erp ja muut (2005) toteavat noin 10 asteen olevan optimaalinen tarkkuus tuntoaistin kannalta. Useimmissa tutkimuksissa on kuitenkin käytetty 8 - 12 moottoria yksinkertaisuuden takia. Tarkkuutta voidaan yrittää parantaa esittämällä suunta kahdella lähimmällä moottorilla muuttamalla kunkin moottorin värinäpalautteen voimakkuutta suhteessa kohteen suuntaan.



Kuva 3.2. Värinäpalautevyö (Allum, 2012).

Käytettäessä värinäpalautevyötä navigoinnissa suunnan ilmoittamisen lisäksi voidaan haluta ilmoittaa myös matka kohteeseen (Burnett & Porter, 2002). Van Erp ja muut (2005) esittivät neljä värinäpalaute laitteen parametria, joilla voidaan tuottaa tuntopalaute, joka sisältää tiedon sekä suunnasta että matkasta. Nämä parametrit ovat

- värinäpalautteen sijainti keholla,
- värinäpalautteen ajoitus eli rytmi,

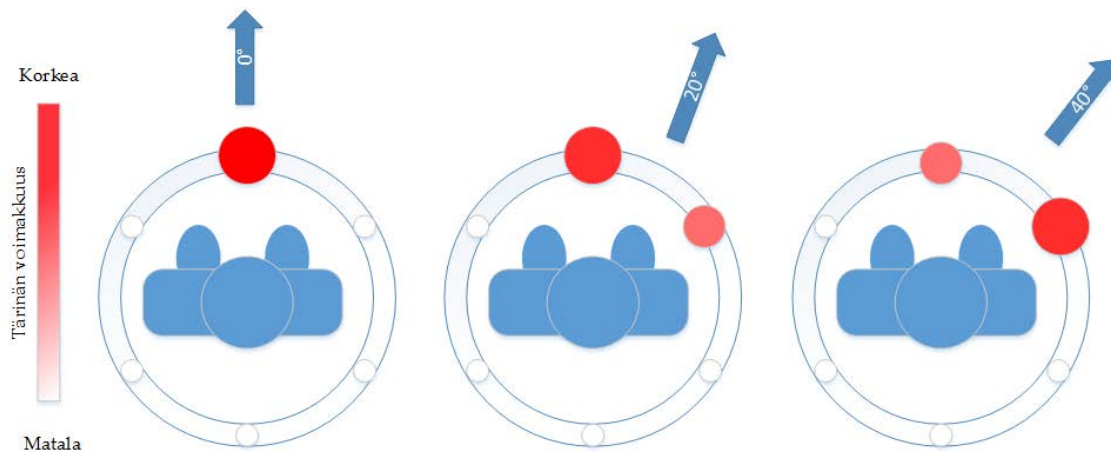
- värinäpalautteen taajuus ja
- värinäpalautteen voimakkuus eli amplitudi.

Näihin parametreihin palataan tarkemmin kohdassa 3.4.

Van Erpin ja kumppaneiden kokeessa (2005) käytettiin kahdeksan tasaisin välein vyöhön sijoitetun *aktuaattorin* eli värinäpalautemoottorin värinäpalauttevyötä. Suunta esitettiin sijainnilla ja etäisyys rytmillä. Käyttäjryhminä olivat jalankulkija, helikopterilentäjä ja veneenkuljettaja. Kaikki käyttäjäryhmät pystyivät suunnistamaan riittävän tehokkaasti kohteisiin vain lyhyen opetusjakson jälkeen. Jatkotutkimuksen kohteeksi Van Erp ja kumppanit mainitsevat aktuaattorien sijoittamisen vyöllä niin, että käyttäjän etupuolella olisi suhteellisesti enemmän aktuaattoreita. Tämä parantaisi navigoinnin tarkkuutta olettaen, että käyttäjä pysyisi suunnilleen oikeassa suunnassa kohteeseen.

Van Erp ja muut tutkivat erilaisia etäisyyden esittämistapoja, joista mikään ei ollut merkittävästi toista parempi. Tutkimuksessa todetaankin, että tavanomaisessa navigointitehtävässä etäisyyden tarkkuudella ei ole suurta merkitystä ja käyttäjille riittää ilmoitus kohteeseen saapumisesta. Edellisen tuloksen perusteella tämän tutkielman reitinopastustoteutuksessa käytettiin kolmea erilaista ilmoitusta etäisyydestä seuraavaan reittipisteeseen: kaukana (yli 100 metriä), kohta (15 – 100 metriä) ja nyt (alle 15 metriä). Tuloksien, jotka esitellään kohdassa 6.3, perusteella kaksi suurempaa etäisyyttä voisi yhdistää. Näin ilmoitettaisiin vain joko välittömästä käännöksestä tai myöhemmin tulevasta seuraavasta käännöksestä.

Toisessa tutkimuksessa (Pielot, Henze ja Boll, 2009) käytettiin kuuden aktuaattorin värinäpalauttevyötä navigointitehtävässä, mutta suunnan tarkkuutta yritettiin parantaa käyttämällä kahta aktuaattoria ilmaisemaan suuntaa, joka on kahden aktuaattorin välissä. Tämä tehtiin muuttamalla värinän voimakkuutta siinä suhteessa, kumpaa kahdesta aktuaattorista lähempänä suunta on. Tämä on havainnollistettu alla (Kuva 3.3).



Kuva 3.3. Suunnan esittäminen interpoloimalla kahden aktuaattorin värinän voimakkuudella, suomennettuna (Pielot ja muut, 2009).

Tässä Pielot ja kumppaneiden tutkimuksessa toisena erona Van Erpin ja kumppaneiden tutkimukseen oli se, että Pielot ja muut käyttivät jatkuvasti päällä olevaa värinäpalautetta. Pielot ja muut mainitsevat, että tuntoaistin adaptaation vuoksi monet muut tutkijat ovat käyttäneet rytmitettyä värinäpalautetta. Pielot ja muut vetoavat kuitenkin kuusi viikkoa kestäneeseen tutkimukseen (Nagel, Carl, Kringe, Martin ja König, 2005), jossa värinäpalautevyöllä osoitettiin suunta pohjoiseen jatkuvana hienovaraisena värinä. Kyseisessä tutkimuksessa tuntoaistin adaptoitumista ei pidetty ongelmana.

Lähelle kohdetta saavuttaessa Pielot ja kumppaneiden värinäpalautevyönsäkin otettiin käyttöön rytmitetty värinäpalaute. Tämän he kuitenkin mainitsevat johtuvan GPS-vastaanottimen epätarkkuudesta, joka voisi aiheuttaa jatkuvasti eri suunnan osoittamiseen oletetun sijainnin vaihtuessa ympäri kohdetta.

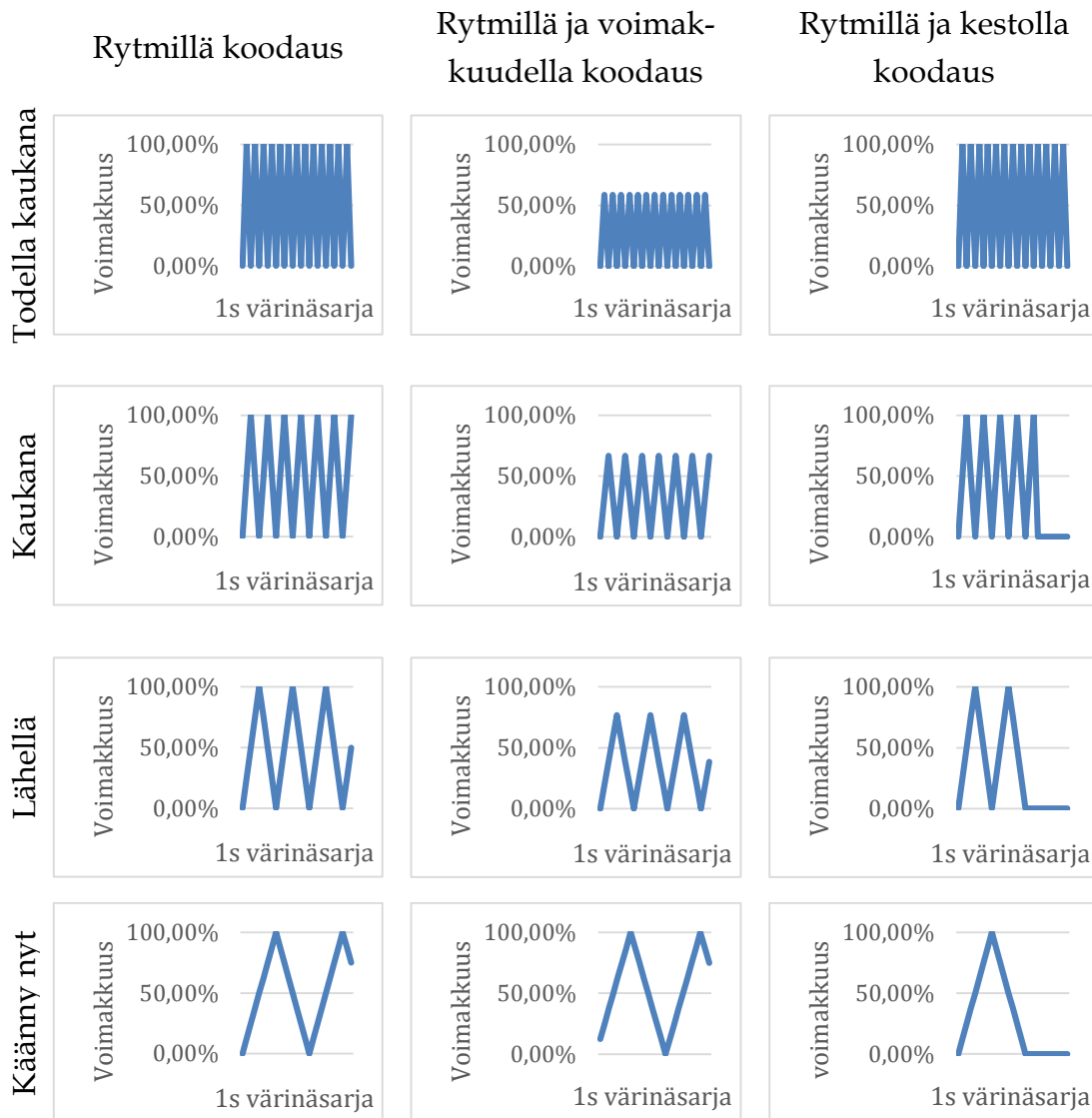
Asif ja muut (2010) tutkivat etäisyyden esittämistä värinäpalautevyöllä autoa ajettaessa. He kokeilivat kolmea eri tapaa esittää etäisyys:

- rytmi,
- rytmi ja voimakkuus ja
- rytmi ja kesto.

Asif ja kumppanien värinäpalautevyön etäisyyden ilmoittaminen perustuu taktoneihin, joista kerrotaan tarkemmin kohdassa 3.4.

Käyttäjät valitsivat mieluisimmaksi tavaksi rytmiin ja keston perustuvan koodauksen. Se todettiin myös opittavuudeltaan tilastollisesti parhaaksi. Asif kumppaneineen mainitsee, että selvästi laskettavissa oleva värähdysten määrä helpotti etäisyyden tunnistamista. Tämän tutkielman tutkimusosiota varten

suunnitelluissa etäisyyttä ilmaisevissa taktoneissa käytettiin vain rytmiä koodaamaan etäisyys, mutta, kuten tuloksista kohdassa 6.3.1 näkee, se ei ollut riittävän hyvä parametri erottamaan kolmea eri etäisyyttä ilmaisevaa taktonia toisistaan. Alla esitetään neljän eri etäisyyden koodaaminen kolmella yllä mainitulla menetelmällä (Kuva 3.4).



Kuva 3.4. Kolme erilaista tapaa esittää etäisyys värinäpalautteena, suomennettuna (Asif ja muut, 2010).

### 3.2.4 Älyranneke ja -sormus

Älyrannekkeet ovat yleistymässä varsinkin älypuhelinien kanssa toimivina *antureina* (sensor) ja *ilmoituksia* (notification) toistavina laitteina. Älyrannekeisiin voidaan lukea älykellot ja erilaiset aktiivisuusrannekkeet. Vuonna 2014 myytiin yli 700 000 Android Wear -laitetta ja vuodesta 2013 alkaen on myyty yli miljoona



Pebble-laitetta (Canalys, 2014). Kun Apple tuo vuonna 2015 myyntiin Apple Watch-älykellon (Apple, 2015), ennustetaan markkinoiden kasvavan moninkertaiseksi. Lisäksi markkinoilla on suuri määrä erilaisia kuntoiluun tarkoitettuja rannekkeita, jotka tallentavat käyttäjän aktiivisuutta antureillaan. Nämä aktiivisuusrannekkeen harvoin sisältävät tuntopalautetoimintoja, toisin kuin lähes kaikki älykellot. Alla tyypillinen älykello käyttäjän ranteessa (Kuva 3.5).



Kuva 3.5. Motorola Moto360 -älykello (Raysonho, 2014).

Kaupallisten laitteiden lisäksi tutkimusprojekteissa on kehitetty useita erilaisia räätälöityjä rannekkeita. Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti kahdesta sellaisesta ja niihin liittyvistä huomioista.

GentleGuide oli värinäpalautelaite, jonka tarkoitus oli tukea monimutkaisessa sisätilassa tapahtuvaa kävellen liikkumista (Bosman ja muut, 2003). GentleGuide kehitettiin iteratiivisesti, ja lopputuloksena laite koostui molempiin ranteisiin tulevista rannekkeista, jotka tuottivat yksinkertaisen värinäpalautteen haluttuun ranteeseen riippuen käännöksen suunnasta. Lisäksi pysähtymiselle ja väärän suunnan ilmaisemiselle oli molempiin ranteisiin tuotettavat eripituiset värinäpalautteet. Kahden rannekkeen käyttö ei mielestäni ole kovin realistinen vaihtoehto ainakaan kaupallisesti, joten se tuskin yleistyy kuluttajatuotteissa.



Toisaalta esimerkiksi polkupyörän kahvoissa Bosmanin ja kumppanien tutkimuksen tuloksia voisi mahdollisesti soveltaa. Tutkimuksessa käyttäjät pitivät ranteeseen tuotettavaa värinäpalautetta miellyttävänä.

Hoggan ja Brewster tutkivat (2006) kolmiulotteisen äänen ja eri puolelle kehoa tuotetun värinäpalautteen ymmärretyn suunnan yhteyttä. He käyttivät neljää värinäpalautemoottoria kiinnitettynä vyötäröön, nilkkaan ja ranteeseen. Nämä kehonosat oli valittu sillä perustella, että kaikissa on tarpeeksi ihopintaa neljää erillistä aistimuskohtaa varten. Lisäksi vyötärö on aiempien tutkimusten perusteella todettu hyväksi kohteeksi tuntopalautteelle (Choweliak ja Craig, 1984). Nilkka on anatominen kiintopiste ja yleensä ihmisen oman suuntakäsityksen suuntainen mahdollistaen luonnollisen suunnan tunnistamisen.

Hogganin ja Brewsterin tutkimuksen tuloksissa nilkka kuitenkin todettiin huomattavasti huonommaksi kuin vyötärö ja ranne. Kun käyttäjä käveli juoksumatolla, myös ranteen tunnistustarkkuus laski huomattavasti. Tämä johtui luultavasti siitä, että kävellessä ranne liikkuu ja kääntyy. Ihminen tunnistaa suunnan suhteessa keskilinjaansa, joten Hoggan ja Brewster kehottavat hylkäämään nilkan ja ranteen kiinnityspaikkana usean moottorin värinäpalautteelle, jonka tarkoituksena on tunnistaa suunta. Yhden moottorin värinäpalautteessa vastaavaa ongelmaa ei ole, sillä suunta esitetään värinäsarjoina.

Älyrannekkeeseen rinnastettavana laitteena voidaan pitää *älysormusta*. Usea valmistaja kerää tällä hetkellä joukkorahoitusta oman älysormuksensa tuottamiseen. Älysormus sisältää yleensä näytön, värinäpalautemoottorin ja antureita, joiden avulla sitä voidaan käyttää myös syötelaitteena eleiden ja kosketamisen avulla. Alla kuvassa yksi lupaavimmista älysormuksista, Mota SmartRing (Kuva 3.6). Älysormus, kuten älyrannekkeet, toimivat yleensä yhdessä älypuhelimien kanssa.



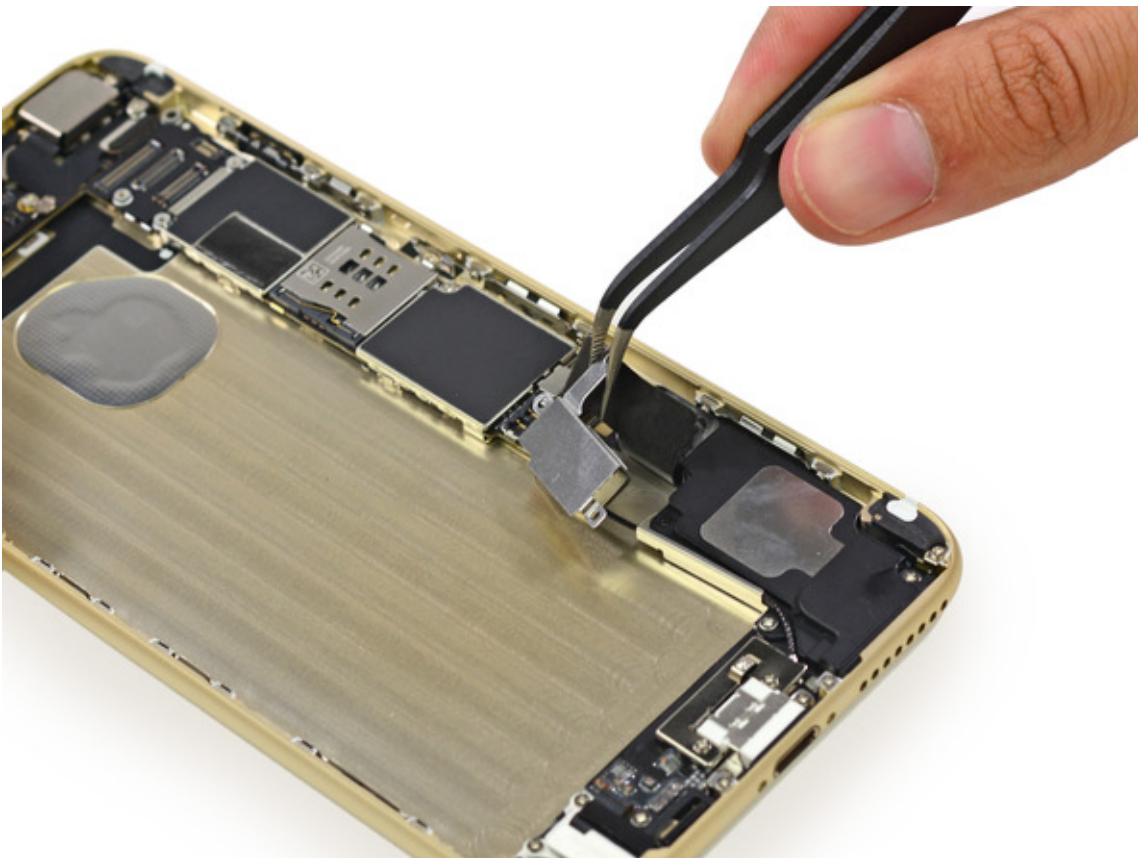
**MOTA**<sup>®</sup>

Kuva 3.6. Mota SmartRing (Mota, 2014).

### 3.2.5 Älypuhelin

Lähes jokaisella on älypuhelin, jossa on värinäpalautemoottori (Vesselkov & Hämmäinen, 2015). Alla kuva nykyaikaisesta älypuhelimesta ja sen värinäpalautemoottorista (Kuva 3.7). Älypuhelimissa värinäpalautetta käytetään yleensä tuottamaan ilmoituksia erilaisista tapahtumista kuten viesteistä, kalenterimuituksista tai saapuvista puheluista.

Koska älypuhelin on ensimmäinen tuntopalautelaite, joka on tullut lähes kaikkien kuluttajien saataville ja on aina mukana, on sitä myös tutkittu runsaasti (Pielot & de Oliveira, 2013; Pielot, Poppinga, Heuten, & Boll, 2011; Magnusson, Rasmun-Gröhn & Szymczak, 2010; Raisamo, Nukarinen, Pystynen, Mäkinen & Kildal, 2012). Älypuhelimessa on yleensä yksi värinäpalautemoottori, jolla pysytään tuottamaan värinäpalautetta kohdassa 3.4 esitettävällä taktoni-menettelmällä.



Kuva 3.7. Iphone6 Plus purettuna (Galan, 2014).

Älypuhelimien käyttö varaa käyttäjän näköaistiin perustuvan visuaalisen kanavan, sillä lähes kaikki älypuhelimien toiminnot vaativat näytön katsomista.

Toinen käyttötapaus älypuhelimella on se, että laite on taskussa tai käsilaukussa, ja se otetaan käyttöön, kun käyttäjä huomaa ääni- tai värinäpalauteilmoituksen. Käytettäessä älypuhelinpaikannuksessa käyttäjän sijainti esitetään yleensä näytöllä kartalla. Navigoinnissa voidaan näyttää sijainti ja reitti kartalla, liikkuva kolmiulotteinen näkymä kartasta tai sanallisia ja symbolisia kääntymisohjeita. Varsinkin autonavigoinnissa annetaan myös puheohjeita ja äänimerkkejä.

Visuaalisen kanavan käyttäminen vuorovaikutuksessa matkapuhelimen kanssa liikenteessä, jossa visuaalinen kanava on jo muutenkin varattuna, on ongelmallista liikenneturvallisuuden kannalta. Osa vuorovaikutuksesta voidaan siirtää kuuloaistille, mutta sekään ei kokonaan ratkaise liikennetilanteen vaatimaa monimutkaista tilannetajua; sanalliset navigointiohjeet voivat kestää monta sekuntia ja varaavat käyttäjän huomion liian pitkäksi aikaa. Yhdysvalloissa tehdystä kyselytutkimuksesta (Madden ja Rainie, 2010) selviää, että kuudesosa vastaajista oli törmännyt jalankulkijana toiseen ihmiseen, koska oli keskittynyt matkapuhelimeensa. On selvää, että älypuhelinien käyttö on lisääntynyt valtavasti tutkimuksen jälkeen viiden vuoden aikana, joten ongelma on todellinen.

### 3.3. Värinäpalaute navigointitehtävissä

Eräissä matkapuhelimen värinäpalautetta hyödyntävässä navigointitutkimuksessa (Pielot, Poppinga, Heuten & Boll, 2011) käytettiin kahta erilaista yhden värinäpalautemoottorin menetelmää; värinäpalaute siis tuotettiin yhteen kohtaan käyttäjän iholla. Toisessa tutkimuksessa Raisamo, Nukarinen, Pystynen, Mäkinen ja Kildal (2012) kehittivät NonVisNavi-nimisen sovelluksen älypuhelimelle.

Sekä Pielot ja kumppaneiden että Raisamon ja kumppaneiden sovelluksissa jalankulkijan oli mahdollista navigoida kahdella eri menetelmällä: suunnan selvittämisellä fyysisellä toiminnolla ja tuntopalauteikoneilla. Pielot ja kumppaneiden tutkimuksessa suunnan selvittäminen reitin seuraavaan solmuun eli risteykseen tehtiin osoittamalla matkapuhelimella; Raisamon ja kumppaneiden tutkimuksessa käyttäjälle ilmoitettiin värinällä solmusta eli risteyksestä, ja käyttäjän piti risteyksessä kallistaa matkapuhelinta vasemmalle, oikealle, eteen tai taakse saadakseen tiedon oikeasta suunnasta värinäpalautteella.

Alikohdissa 3.3.1 ja 3.3.2 nämä kaksi menetelmää esitetään tarkemmin. Alikohdassa 3.3.3. kerrataan jo aiemmin esitelty esimerkiksi värinäpalautevyössä käytettävä koputus olkapäälle -menetelmä.

Erilaisten menetelmien lisäksi kävelynavigoinnin tukena käytettävässä värinäpalautteessa tulee huomioida se, miten liikkuminen vaikuttaa palautteen tunnistamiseen. Alikohdassa 3.3.4 kerrotaan tarkemmin tästä.

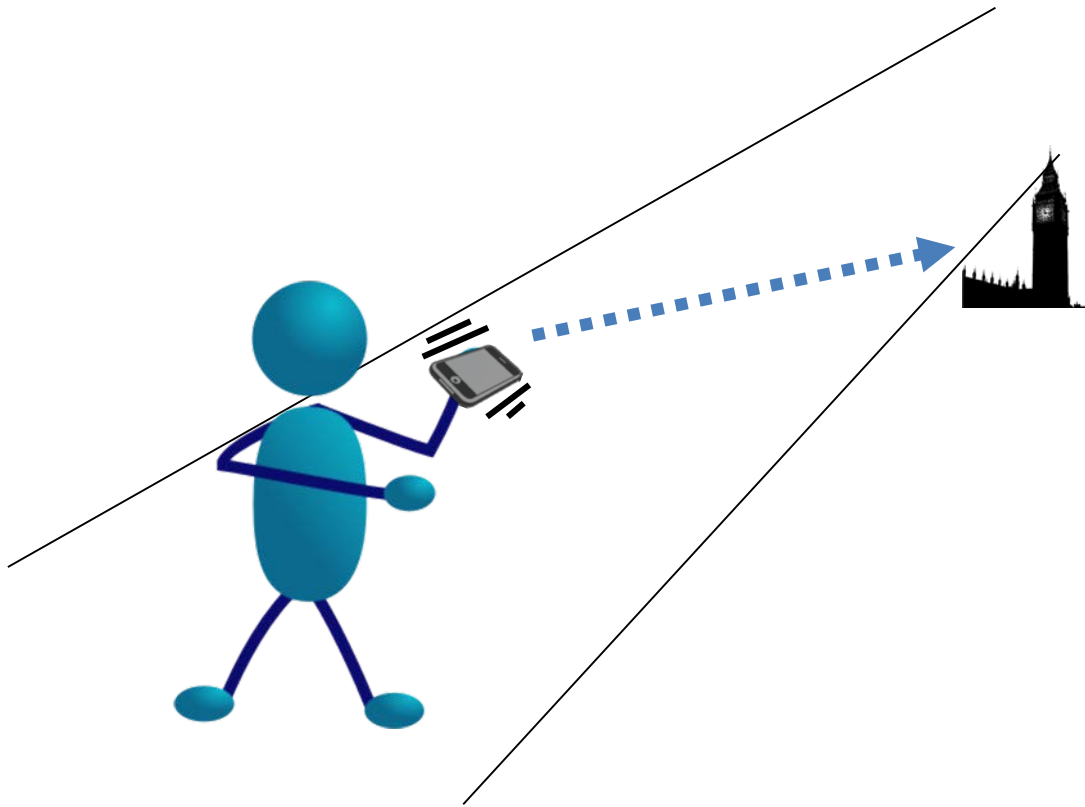
### 3.3.1 Taikasauvamenetelmä

*Taikasauvamenetelmä* (magic wand) tarkoittaa sitä, että käyttäjä tutkii ympäristöä esimerkiksi osoittamalla tai kallistamalla älypuhelintaan eri suuntiin. Osoittaessaan tai kallistaessaan oikeaan suuntaan käyttäjä saa värinä- tai äänipalautteen vahvistuksena oikeasta suunnasta (Kuva 3.8). Oleellinen tutkimuskysymys taikasauvamenetelmässä suuntaa etsittäessä osoittamalla on se, kuinka suuri suuntavirhe tulkitaan vielä oikeaksi suunnaksi.

Magnusson ja muut tutkivat osoittamisen suuntavirhettä 10, 30, 60, 120, 150 ja 180 asteen virhemarginaaleilla (Magnusson, Rassmun-Kröhm ja Szymczak, 2010). Kyseisessä tutkimuksessa palaute oikeasta suunnasta annettiin äänellä, mutta tuloksia voidaan soveltaa myös tuntopalautteeseen. Tutkimuksen tulos oli, että jos halutaan löytää tarkasti oikea suunta, suunnan virhe saa olla 30 – 60 astetta. Jos halutaan minimoida käyttäjän kognitiivinen kuormitus, tulisi käyttää suurempaa 60 – 120 asteen virhemarginaalia.

Raisamon ja kumppaneiden tutkimuksessa käyttäjät kokivat kallistamisen helpommaksi kuin kohdassa 3.3.2 esiteltävällä kuudes aisti -menetelmällä annettua suuntaa ilmaisevat tuntopalauteikonit. Käyttäjät mainitsivat, että taikasauvamenetelmää ei tarvinnut muistaa, ja se aiheutti vähemmän kognitiivista kuormitusta kuin tuntopalauteikonit.

Taikasauvamenetelmän heikkoutena pidetään sitä, että se vaatii käyttäjältä fyysistä toimea, osoittamista kohteeseen tai laitteen kallistamista. Toisaalta tekniikan kehittyessä ja esimerkiksi värinäpalautetta tukevien älysormusten tullessa markkinoille tämä fyysinen toimi muuttuu yhä huomaamattommaksi ja helpommaksi.



Kuva 3.8. Taikasauvamenetelmä (Pielot ja muut, 2011).

### 3.3.2 Kuudes aisti -menetelmä

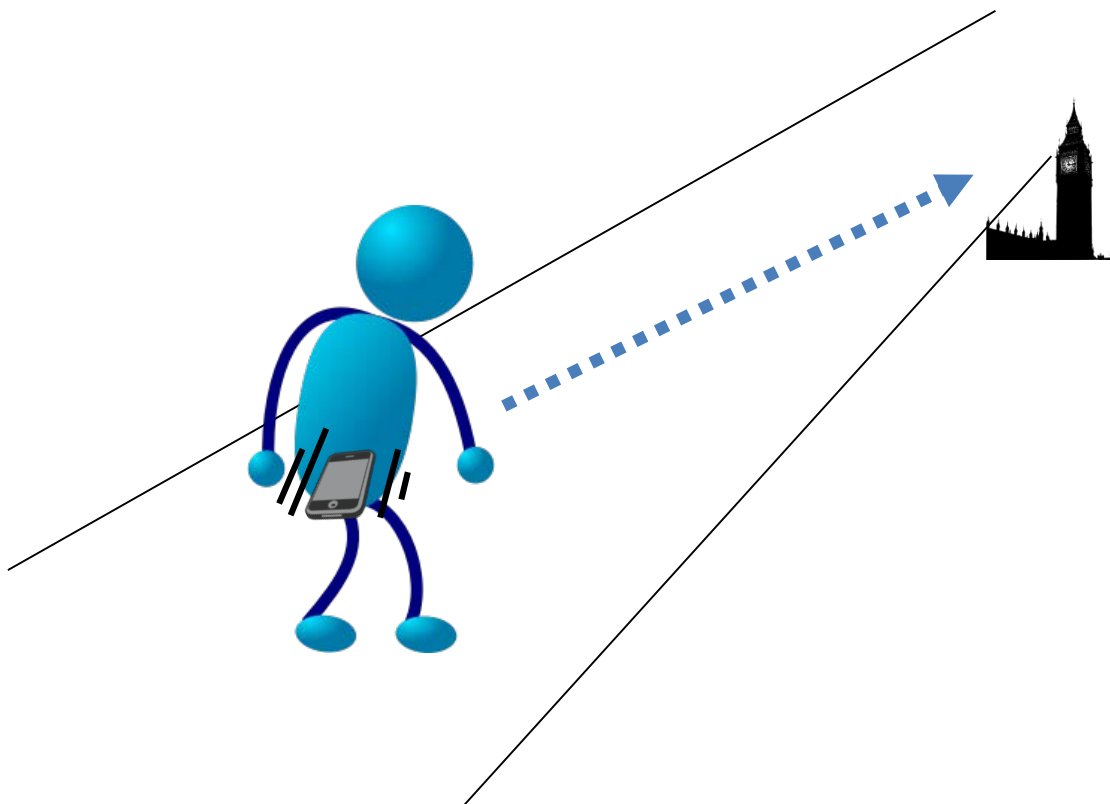
Pielot ja kumppaneiden tutkimuksessa (2011) sekä Raisamon ja muiden tutkimuksessa käytettiin myös *kuudes aisti -menetelmää* (sixth sense), jossa käyttäjälle annetaan esimerkiksi kääntymisohjeet tai suunta kohteeseen värinäpalautesarjoina. Etuna taikasauva-menetelmään verrattuna Pielot ja kumppanit pitivät sitä, ettei käyttäjän tarvitse aktiivisesti etsiä kohdetta. Esimerkiksi älypuhelin voi olla käyttäjän taskussa, kunhan käyttäjä tuntee älypuhelimien värinäpalautteen (Kuva 3.9). Eräs tutkimuskysymys kuudes aisti -menetelmässä on se, kuinka usein ja aikaisin ohjeet on annettava käyttäjälle, jotta ne eivät häiritse tai aiheuta epävarmuutta käyttäjässä.

Pielot ja kumppaneiden tutkimuksen loppuhavaintoina osa käyttäjistä ilmaisi, että he jättivät huomioimatta osan värinäsarjoista ja keskittyivät vain neljään pääilmansuuntaan (eteen, taakse, vasemmalle, oikealle). Osa käyttäjistä jopa vaati, että erilaisten värinäsarjojen määrä piti vähentää kahdeksasta neljään.

Toinen loppuhavainto oli, että suurin osa käyttäjistä piti liian usein toistuvaa värinäpalautetta häiritseväenä. Tutkimusryhmä ehdotti, että värinäpalautetta

tuotetaan vain silloin, kun käyttäjä sitä pyytää, tai silloin, kun esimerkiksi vaadittu käänнос liikenteessä lähestyy. Tämän tutkielman tutkimuksessa annettiin käyttäjälle ohjeita korkeintaan 30 sekunnin välein lukuun ottamatta käyttäjän toimintaa vaativaa käännoista tai käyttäjän pyytäessä ohjetta.

Raisamon ja kumppaneiden tutkimuksessa esitettiin neljä suuntaa värinäpalautesarjoja. Koehenkilöiden pienestä määrästä johtuen tulokset perustuivat suurelta osin loppuhaastatteluihin. Vaikka taikasauvamenetelmä koettiin helpommaksi, myös kuudes aisti -menetelmän todettiin olevan hyödyllinen, kun perinteinen visuaalinen ohjeistus ei ole käytettävissä.



Kuva 3.9. Kuudes aisti -menetelmä (Pielot ja muut, 2011).

### 3.3.3 Koputus olkapäälle -menetelmä

Van Erpin ja Verschoorin (2004) *koputus olkapäälle* (tap on the shoulder) on menetelmä, jossa navigointitehtävässä suunta kohteeseen muutetaan sijainniksi tuntopalautenäytöllä eli -laitteella. Tämä muunnos voi olla suhteellisen yksinkertainen ja tarkka esimerkiksi 18 moottorin värinäpalautevyöllä, joka on käyttäjän rinnan ympärillä. Molemmissa ranteissa sijaitsevilla värinäpalaute moottoreilla tarkkuus on edellistä moninkertaisesti pienempi, mutta silti riittävä joihinkin navigointitehtäviin. Yhdessä ranteessa oleva yhden värinäpalaute moottorin laite vaatii jonkun muun parametrin kuin sijainnin keholla välittämään tiedon suunnasta.

### 3.3.4 Värinäpalaute liikkuessa

Tuntopalautteen käyttöä ihmisen liikkuessa on tutkittu vain vähän (Pakkanen ja muut, 2008). Kohdassa 3.2.4 kerrottiin tutkimuksesta (Hoggan ja Brewster, 2006), jossa selvitettiin, miten käveleminen vaikuttaa suunnan esittämisen tarkkuuteen usean värinäpalautemoottorin laitteella. Laitteen sijoituspaikkoina nilkka ja ranne heikensivät värinän sijainnin keholla tunnistamista, sillä kävellessä nilkka ja ranne liikkuvat suhteessa muuhun kehoon.

Pakkanen ja muut tutkivat värinäpalautteen tunnistettavuutta poljettaessa kuntopyörää. Heidän tavoitteensa oli selvittää, mikä on optimaalinen värinäpalautteen voimakkuus tunnistettavuuden ja virransäästön kannalta. Monet laitteet, kuten älypuhelin, älykello ja älysormus, sisältävät vain pienen akun, joten varsinkin puettavien ja aina läsnä olevien laitteiden osalta virtaa on pyrittävä säästämään myös värinäpalautteessa.

Pakkasen ja kumppaneiden käyttäjätutkimuksessa tuotettiin värinäpalautetta ranteeseen, jalkaan, rintaan ja selkään. He huomasivat, että värinäpalautteen voimakkuus tuli valita sen mukaan, mihin kohtaa keholla värinäpalaute annettiin. Tähän liittyi varsinkin se, että tutkimuksen tavoite oli selvittää, vaikuttaako fyysinen rasitus värinäpalautteen tunnistamiseen; Pakkanen ja muut etsivät sellaisia raja-arvoja, joissa värinäpalaute tunnistettiin levossa, mutta tunnistus heikkeni rasituksessa. Havaintona nämä raja-arvot vaihtelivat koehenkilöiden välillä, ja jopa samalla koehenkilöllä eri päivinä.

Tutkimuksessa selvisi, että yleisesti käytettyjä voimakkuuksia pienemmillä voimakkuudella toistetut värinäpalautteet olivat tunnistettavia levossa. Tämä mahdollistaa värinäpalautteen optimoimisen virransäästön kannalta. Rasituksen aikana kuitenkin sekä värinäpalautteen tunnistaminen heikkeni että värinäpalautteeseen reagoiminen hidastui. Pakkanen ja muut suosittelivatkin liikuttaessa käytettävän voimakkaampia värinäpalautteita kuin paikallaan oleville käyttäjille.

Myös Karuei ja muut (2011) tutkivat muun muassa kehon eri kohtien herkyyttä värinäpalautteelle liikuttaessa. Karuei ja kumppaneiden tutkimuksessa koehenkilöt kävelivät juoksumatolla. Tutkimuksen tuloksena liikkumisen osalta selvisi, että käveleminen selvästi heikentää värinäpalautteen tunnistamista ja pidentää värinäpalautteeseen reagoimista, myös suurilla värinäpalautteen voimakkuuksilla. Vaikutus oli erityisen suuri jaloissa ja reisissä, mikä on hyvä huomioida älypuhelimien värinäpalautetta suunniteltaessa; älypuhelin on yleensä reittä vasten taskussa.

Cosgun, Sisbot, ja Christensen vertasivat robottien navigointia ihmisen navigointiin (2014). Eroina he mainitsivat ihmisen liikkumisen epävarmuuden sekä viiveen ihmiselle annettujen ohjeiden vastaanottamisessa ja ymmärtämisessä.

### 3.4. Taktonit eli tuntopalauteikonit

#### 3.4.1 Yleistä taktoneista

Brewster ja Brown (2004) esittävät *taktonit* eli tuntopalauteikonit menetelmäksi, jolla voidaan välittää tuntopalautteen avulla viestejä ilman näkö- tai kuuloaistia. Taktonien avulla voidaan välittää pieniä määriä tietoa muodostamalla taktonit seuraavia parametreja muuttamalla:

- *taajuus* (frequency),
- *voimakkuus* (amplitude),
- *aaltomuoto* (waveform),
- *pulssin kesto* (duration),
- *rytmi* (rhythm) ja
- *sijainti keholla* (body location).

Enriquez ja MacLean (2008) ovat tutkineet taktonien opittavuutta ja muistettavuutta. Heidän mukaansa mielivaltaisesti valitut yksinkertaiset taktonit opittiin tunnistamaan 80 prosentin tarkkuudella kahden viikon oppimisjakson aikana. Lylykangas, Surakka, Rantala ja Raisamo (2013) esittävät kuitenkin huolensa siitä, että kaupallisen tuotteen loppukäyttäjät eivät todennäköisesti ymmärtäisi taktonien oikeaa tarkoitusta ilman kunnollista harjoittelua ja oppimisjaksoa. Tämä rajoittaa taktonien käyttöä sellaisissa laitteissa ja sovelluksissa, jotka eivät ole käyttäjälle henkilökohtaisia.

Feige (2009) tutki taktonien tunnistettavuutta rannekkeella tuotettavalla värinäpalautteella. Hän käytti kahta ryhmää tutkimuksessaan – yksi ryhmä istui paikallaan huoneessa, ja toinen ryhmä käveli annettua reittiä suorittaen erilaisia tehtäviä. Vastoin Feigen hypoteesia molemmat ryhmät tunnistivat lähes identtisesti rannekkeen tuottamat taktonit. Feige toteaa myös, että rannekkeen käyttäminen ei näkyvästi hidastanut kävelijöiden vauhtia tai aiheuttanut ylimääräisiä pysähdyksiä. Lisäksi Feige mainitsee, että ranteeseen puettava laite näyttäisi ratkaisevan ongelman, jossa älypuhelimien taktoneita ei huomata puuttuvan iho-kontaktin takia.

Taktoneita, kuten tuntopalautetta yleensäkin, voidaan käyttää tiedon välittämiseen silloin, kun näköaisti on ylikuormitettu tai näyttöä ei ole käytettävissä. Tällaisia tapauksia ovat erityisesti mobiilit ja puettavat laitteet. Taktoneita voidaan käyttää myös silloin, kun alakohdassa 3.3.3 mainitun koputus olkapäälle -



menetelmän parametria sijainti ei ole mahdollista käyttää, esimerkiksi vain yhden värinäpalautemoottorin laitteessa. Tällainen laite on myös tämän tutkielman käyttäjätutkimuksen laitteena käytettävä Pebble-älykello.

### 3.4.2 Taktonien parametrit

Seuraavaksi esitellään tarkemmin Brewsterin ja Brownin (2004) kokoamia huomioita taktonien muodostamiseen käytettäviin parametreihin liittyen.

Ihminen tuntee kosketuksena 1 - 500 hertsin taajuisen värinän herkimmän alueen ollessa noin 200 hertsiä (Goldstein, 1999). Van Erpin (2002) mukaan korkeintaan yhdeksää eri taajuutta tulisi käyttää taktonin muodostamisessa tasojen erotessa toisistaan vähintään 20 prosenttia, joten taajuus ei sovellu kovin hyvin taktonien muodostamiseen. Käytännössä taajuudella voidaan esittää alle viisi erilaista tunnistettavaa tasoa (Sherrick, 1985).

Gunther, Davenport ja O'Modhrain (2002) kertovat, että ihminen tuntee 55 desibeliä tunnistuskynnyksen yli olevat paineen voimakkuudet kipuna. Sherrick ja Craig (1982) toteavat 28 desibeliä tunnistuskynnyksen yli olevien paineiden tunnistettavuuden laskevan, joten se lienee järkevä maksimiarvo voimakkuudelle. Tällaista paineen voimakkuutta tosin ei saavutetakaan halvalla yksinkertaisella värinäpalautemoottorilla. Voimakkuuden muutos vaikuttaa myös taajuuden tunnistamiseen, joten on ehdotettu, että taajuus ja voimakkuus yhdistetään yhdeksi parametriksi (Brewster ja Brown, 2004). Geldard (1960) totesi, että vain kolme absoluuttista voimakkuustasoa on mahdollista tunnistaa.

Brewster ja Brown toteavat aaltomuodon olevan tuntopalautekäytössä lähes hyödytön. Vain kanttiaalto (square wave) ja siniaalto (sine wave) ovat erotettavia toisistaan (Gunther ja muut, 2002). Yksinkertaisella värinäpalautemoottorilla saadaan luotua vain siniaaltoja.

Geldard (1960) on tutkinut parametria kesto ja todennut, että alle 0,1 sekunnin pituinen tuntopalaute tunnetaan näpäytyksenä (tap) ja pidemmät kestot yhdistettynä taajuuden ja voimakkuuden muutokseen tunnetaan sulavina muutoksina. Geldard pitää yli kahden sekunnin kestoja liian hitaina tiedonvälitykseen ja ehdottaa kolmen eri kestoisen pulssin käyttämistä.

Eri kestoisia pulsseja yhdistämällä saadaan luotua rytmejä, joiden avulla saadaan koodattua tietoa. Sherrick ja Craig (1982) toteavat tuntoaistin olevan parempi tunnistamaan rytmejä kuin näköaistin mutta huonomman kuin kuuloaistin. Kosonen ja Raisamo (2006) päätyivät samaan tulokseen käyttäjätutkimuksessa, jossa rytmi esitettiin eri aisteille ja pyydettiin toistamaan se.

Sijainti keholla (spatial location, locus) on tärkeä suunniteltaessa tuntopalautevuorovaikutusta, sillä ihon jotkin alueet ovat herkempiä värinälle kuin toiset. Tuntopalaute laite voi käyttää myös useaa värinäpalaute moottoria, mikä mahdollistaa sijainnin keholla tehokkaan käyttämisen.

Brewsterin ja Brownin yllä esittämistä taktonien muodostamiseen käytettävistä parametreista Pebble-älykellolla mahdollisesti käytettäviä ovat teknisistä ja ohjelmallisista rajoitteista johtuen vain kesto ja rytmi. Alla esitetään vielä yhteenvetona (Taulukko 3.10) taktonien parametrit ja niihin liittyvät huomiot sekä tunnistettavuus.

Taulukko 3.10. Taktonien parametrit yhteenvetona.

<b>Parametri</b>	<b>Huomioita</b>	<b>Tunnistettavat tasot</b>
Taajuus	150 – 300Hz tuotettavissa yksinkertaisella moottorilla.	Alle viisi
Voimakkuus	Taajuuden ja voimakkuuden tunnistaminen riippuvat toisistaan.	Alle kolme
Aaltomuoto	Värinäpalaute moottorit rajoittavat tuotettavia aaltomuotoja.	Kaksi
Sijainti keholla	Vaatii useamman värinäpalaute moottorin.	Riippuu moottorin sijainnista keholla, sillä eri kohdissa ihoa on eri määrä aistinsoluja.
Kesto	Liian pitkäkestoinen värinä voi olla ärsyttävää.	Yli kolme
Rytmi	Vaatii käyttäjältä opettelua.	Yli kymmenen

Summers (2000) on tutkinut, kuinka paljon informaatiota yhdellä värinäpalaute moottorilla voidaan välittää ihmisen ranteeseen. Rytmien avulla, jos laskeaan mukaan sekä signaalit että hiljaiset kohdat, saadaan välitettyä tietoa noin 10 bittiä sekunnissa. Tämä määrä voi tuntua pieneltä, mutta määrättyihin sovelluksiin se voi olla hyvinkin riittävä.

Yhden tuntopalautemoottorin navigointilaitteessa sekä suunta kohteeseen että mahdollisesti esitettävä etäisyys kohteeseen on tuotettava esittämällä eripituisia värinöitä ja niiden yhdistelmiä. Myös muut mahdolliset navigointiin liittyvät viestit kuten määränpäähän saapuminen on esitettävä taktoneilla.

### 3.4.3 Taktonien muodostaminen

Brewster ja Brown (2004) jakavat taktonit kolmeen ryhmään niiden muodostamisessa käytetyn menetelmän mukaan:

- *Yhdistelmätaktonit* (compound) ovat nimensä mukaisesti yhdistelmä taktoneita. Esimerkiksi työpöytäkäytössä verbeille luo ja poista voidaan suunnitella omat taktoninsa taajuuden ja voimakkuuden muutoksilla ja objekteille tiedosto ja kansio omansa. Yhdistämällä näitä saadaan yhdistelmätaktoneita, kuten luo tiedosto ja poista kansio. Brewster ja Brown huomauttavat, että koska yksittäiset taktonit on luotu yleensä taajuuden, voimakkuuden ja rytmien avulla, sillä mitä käyttäjä tuntee, ei yleensä ole yhteyttä siihen, mitä taktoni esittää. Tällaiset taktonit eivät ole intuitiivisia ja vaativat harjoittelua.
- *Hierarkkiset taktonit* (hierarchical) ovat yhdistelmä taktoneita hierarkkisesti yhdistettyinä. Esimerkiksi virhe voidaan kuvata yhdellä taktonilla ja periyttää siitä järjestelmävirhe ja suoritusvirhe. Nämä toisen tason taktonit perivät ensimmäisen tason taktonin ja lisäävät siihen jotain. Tarkempi suoritusvirhe saadaan muodostettua periyttämällä suoritusvirhe-taktoni ja muuttamalla sitä esimerkiksi toistamalla se nopeammin, jolloin voidaan kuvata järjestelmätason ylivuotovirhe tai hitaammin, jolloin kuvataan järjestelmätason alivuotovirhettä. Hierarkkiset taktonit vaativat yhdistelmätaktonien tapaan opettelua.
- *Muunnostaktonit* (trasformational) tarkoittavat menetelmää, jossa lähes samankaltaisia objekteja kuvataan vain jollain parametrilla muunnetulla taktonilla. Esimerkiksi kahta eri tiedostoa voidaan kuvata muuten samantyyppisellä taktonilla, mutta pienempi tiedosto esitettäisiin pienemmällä voimakkuudella kuin suuri tiedosto.

Reittiopasteiden ilmaisemiseen yhdellä värinäpalautemoottorilla esitettävillä taktoneilla voisi käyttää edellä mainituista menetelmistä ainakin yhdistelmätaktoneita ja muunnostaktoneita. Etäisyys seuraavaan käyttäjän toimintaa vaativaan reittipisteeseen voidaan ilmaista muuttamalla etäisyyttä tarkoittavan taktonin rytmiä tai kestoa. Mitä lähempänä seuraava reittipiste on, sitä nopeammin rytmillä tai lyhympänä taktoni voidaan esittää.

Seuraavan käännöksen suunta voidaan esittää muuttamalla esimerkiksi kahden värinäjakson taktonin värinöiden rytmiä. Käännös vasemmalle voisi olla

lyhyt värinä, jota seuraa pidempi värinä. Käännös oikealle puolestaan pitkä värinä, jota seuraa lyhyt värinä. Suoraan eteenpäin -taktonin kaksi värinää olisivat pitkiä.

Taktonit voidaan muodostaa usealla eri tavalla, ja mahdollisuuksia on lähes rajattomasti. Tärkeää onkin muodostaa mahdollisimman yksinkertaisia ja toisistaan hyvin erottuvia taktoneita.

#### 3.4.4 Taktonien käyttö mobiili- ja puettavissa laitteissa

Brown, Brewster ja Purchase (2006) ennustivat noin kymmenen vuotta sitten matkapuhelinten ja käsitietokoneiden määrän kasvavan rajusti, ja kehityksen jatkuvan puettaviin laitteisiin. He näkivät näiden laitteiden suurimmaksi ongelmaksi pienet näytöt ja sen, että näyttö ei aina edes ole käyttäjän näkyvillä. Vaikka älypuhelinten näytöt ovat suurentuneet, ei älypuhelin ole aina käyttäjän näkyvillä.

Puhetta ja *ei-puheääntä* (non-speech sound) voidaan käyttää tilanteissa, joissa näyttö ei ole käytettävissä. Tämä voi kuitenkin olla ongelmallista ympäristöissä, joissa on kova meteli, jolloin ääntä ei kuulla. Hiljaisissa ympäristöissä ongelmana voi olla se, että laitteen ääni on häiritsevä. Aiemmissa luvuissa käsitelty värinäpalaute on Brewsterin ja Brownin mukaan mahdollinen mobiilien ja puettavien laitteiden ei-häiritsevä vuorovaikutusmenetelmä.

Tutkielmani tutkimusosuuden perusta onkin taktonien soveltaminen reititopasteiden esittämiseen. Älykellot ovat yleistyneet viimeisen vuoden aikana huomattavasti, ja vuosi 2015 lienee niiden läpimurtovuosi. Älykello onkin luonnollinen laite käytettäväksi taktonien tutkimisessa.

## 4. Navigointi

Tässä kappaleessa tutustutaan navigoinnin teoriaan. Navigointi määritellään alan perusteoksen *The American Practical Navigator* (Bowditch, 1802), mukaan käännettynä seuraavasti: *“Navigointi on tutkimusala, joka keskittyy ajoneuvon liikumisen paikasta toiseen seuraamiseen ja ohjaamiseen”*. Nykyään navigointi käsittää myös kaiken sijainnin ja suunnan selvittämiseen liittyvän, eli se sisältää myös jalankulkijan sijaintiin ja reititykseen liittyvät tehtävät.

Kohdassa 4.1 käsitellään *henkilökohtaista navigointia* (personal navigation) ja *tilallista tietämystä* (spatial knowledge). Kohdassa 4.2 käsitellään kognitiivisia kartoja eli niin sanottuja miellekarttoja, jotka ovat mielen sisäinen kuvaus alueesta. Kohta 4.3 käsittelee navigointia prosessina. Navigoinnin tukemista pohditaan kohdassa 4.4 ja siihen liittyen reitinopastusta kohdassa 4.5. Suunnanopastus käsitellään lyhyesti kohdassa 4.6. Jalankulkuun liittyviä navigoinnin erikoispiirteitä esitetään lopuksi kohdassa 4.7.

### 4.1. Henkilökohtainen navigointi

Kun henkilö on tuntemattomassa ympäristössä, hän rupeaa selvittämään sijaintiaan erilaisten vihjeiden tai työkalujen avulla. Maamerkkien tunnistaminen ympäristöstä, kartta, suullisesti saadut ohjeet tai paikannusjärjestelmä auttavat sijainnin selvittämisessä. Lähes kaikissa älypuhelimissa ja tableteissa on nykyään GPS-vastaanotin ja karttasovellus, joten oman sijainnin selvittäminen on helpompaa kuin aiemmin.

Tilallisen eli spatiaalisen tietämyksen voi jakaa seuraavaan kolmeen osa-alueeseen (Thorndyke ja Hayes–Roth, 1982):

1. *Tietoisuus maamerkeistä* (landmark) sisältää tietoa selkeästi erottuvien, havaittavien ja muistettavien rakennelmien tai luonnonmuodostelmien, esimerkiksi urheilustadionien, kirkkojen, siltojen tai näkötorrien ulkonäöstä ja merkityksestä.
2. *Tietoisuus reiteistä* (procedure) muodostuu, kun kuljetaan reitti ja havainnoidaan sen varrella olevia maamerkkejä, käännöksiä ja niiden välisiä etäisyyksiä ja suuntia. Tietoisuutta reitistä voidaan lisätä myös esikatselemalla sen varrella olevia risteyksiä ja maamerkkejä esimerkiksi Google Maps -sovelluksen StreetView-katunäkymällä, joka esittää reitin varrella olevat käännökset paikalta otettuina valokuvina.

3. *Tietoisuus alueesta* (survey) sisältää myös tietoa alueen maamerkeistä ja niiden välisistä etäisyyksistä ja suunnista, mutta se muodostetaan toissijaisen kokemuksen kautta esimerkiksi kartan tai navigointiohjelman avulla alueeseen tutustuen.

Kun *sijainti* (orientation) on tiedossa, voi reitin suunnittelu haluttuun paikkaan alkaa. Sijainnin selvittäminen on suurelta osin kognitiivinen prosessi, sillä henkilön nykyinen sijainti suhteessa hänelle tärkeisiin toisiin sijainteihin on yleensä yksilön aistien ulottumattomissa. Navigointi tarkoittaa tilallisen ongelman ratkaisua, tavallisimmin liikkumista paikasta toiseen.

Sijainnin tietäminen on navigointiprosessin ensimmäinen askel ja sisältää tiedon siitä, missä ihminen on, ja miten eri paikat sijaitsevat suhteessa toisiinsa. Suuren kokonsa vuoksi lenkkipolku ja kaupunki ovat yhdellä kertaa aistiemme ulottumattomissa, ja niistä muodostetaan eri aistien havaintojen avulla mielisäisiä, pelkistettyjä *kognitiivisia karttoja* (Portugali, 1996). Kognitiivisista kartoista kerrotaan tarkemmin kohdassa 4.2. Ilman sijainnin tietämistä navigointi on mahdotonta.

Henkilökohtainen navigointi tarkoittaa henkilön omiin päätöksiin perustuva navigointia, jota voi soveltaa eri liikkumismuotoihin (Rainio, 2001). Reitinopastus on keskeinen osa henkilökohtaista navigointia. Muita henkilökohtaisen navigoinnin palveluita ovat esimerkiksi erilaiset sosiaaliset navigointisovellukset ja ympäristön paikkatietoa esittävät sovellukset. Sosiaalinen navigointisovellus voi olla esimerkiksi oman sijaintinsa jakaminen ystäväpiirille. Paikkatietosovellukset voivat näyttää tietoa lähellä olevista kohteista, yrityksistä ja tapahtumista.

Navigoinnin ymmärtäminen ihmisen sisäisenä prosessina on tärkeää, jotta navigointia voidaan helpottaa kaupunki- ja liikennesuunnittelulla ja toisaalta kehittämällä navigoinnin tukijärjestelmiä, kuten henkilökohtaisia navigaattoriohjelmia.

Yksi tämän tutkielman lähtökohdista oli henkilökohtainen kokemukseni pyöräilystä itselleni tuntemattomalla harvaan asutulla seudulla, jossa suunnittelemlaltani reitiltä ristesivät jatkuvasti metsäautoteitä, josta yhtä minun oli tarkoitus kulkea. Jouduin pysähtymään useaan risteykseen tarkastamaan älypuhelimestani, pitääkö minun jo kääntyä vai jatkaa suoraan. Saatoin todeta, että vielä kaksi risteystä suoraan, mutta hetken päästä en voinut olla varma, oliko kaikkia metsäautoteitä merkitty karttaan. Jouduin siis taas pysähtymään ja tarkastamaan, joko oli aika kääntyä.

Samaa reittiä uudelleen ajaessa olisin todennäköisesti muistanut oikean risteuksen kohdalta jonkin maamerkin, kuten kiven, ojan tai risteävän tien kulman

suhteessa ajamaani tiehen. Rakennetussa ympäristössä kuten kaupungissa reitin varrella on tarjolla enemmän vihjeitä, mutta toisaalta niitä voi olla tarjolla liikaa, ja ne saattavat muuttua ajan kuluessa.

Seuraavassa kohdassa käsitellään tätä ihmisen sisäistä prosessia, jolla havainnoista ja odotuksista muodostetaan kognitiivisia karttoja eli miellekarttoja.

#### 4.2. Kognitiiviset kartat

Ihmisen navigointiin liittyy kyky muodostaa havaintojen perusteella kognitiivisia karttoja. Ympäristö ja varsinkin nykyaikainen liikenneympäristö katuineen ja opasteineen helpottavat kartan muodostamista ja navigointia.

Kognitiivista karttaa muodostettaessa havainnot voivat olla ensisijaisia kokemuksia eli havaintoja itse tilasta, tai toissijaisia kokemuksia kuten kartasta saatuja havaintoja tai suullisesti saatuja ohjeita (Thorndyke ja Hayes-Roth, 1982). Ihminen tallentaa kognitiivisiin karttoihin omasta mielestään tärkeitä havaintoja, ja itse tilaan verrattuna kognitiivinen kartta voi olla hyvin erilainen, pelkistetty ja jopa virheellinen.

Ikä, sukupuoli, koulutus ja harrastukset ovat asioita, jotka vaikuttavat kognitiivisen kartan muodostamiseen. Esimerkiksi kaksi henkilöä voivat muodostaa kauppakeskuksesta kognitiivisen kartan niin, että yksi tallentaa karttaansa urheiluväline- ja elektroniikkakaupan, ja toinen vaatekauppoja. Tämä on ylhäältä alas -prosessoinnin tulos.

Golledge huomauttaa (1999), että kognitiiviset kartat voivat olla sekoitus ajallisesti eri hetkiltä tallennettua todellista tietoa, mutta myös kuviteltua tai oletettua tietoa. Ajallinen ulottuvuus aiheuttaa myös sen, että kognitiiviset kartat saattavat vanhentua, kun ympäristö muuttuu.

Kognitiivisten karttojen rakentaminen on jatkuva prosessi (Gluck, 1991). Kognitiivinen kartta voi olla todella puutteellinen aluksi, mutta täydentyy, kun ihminen havainnoi samaa ympäristöä uudelleen. Thorndyke (1981) on sitä mieltä, että kognitiivinen kartta syntyy samalla mallilla, kuin edellisessä kohdassa hänen esittämänsä tilallisen tietämyksen jako; oppiminen tapahtuu järjestyksessä maamerkit, reitit ja alueet.

Lynch (1960) selvitti, millaisia asioita ihmiset osaavat piirtää ja kertoa ympäristöstään. Tutkimuksen perusteella Lynch jakoi kognitiivisen kartan osat viiteen kokonaisuuteen:

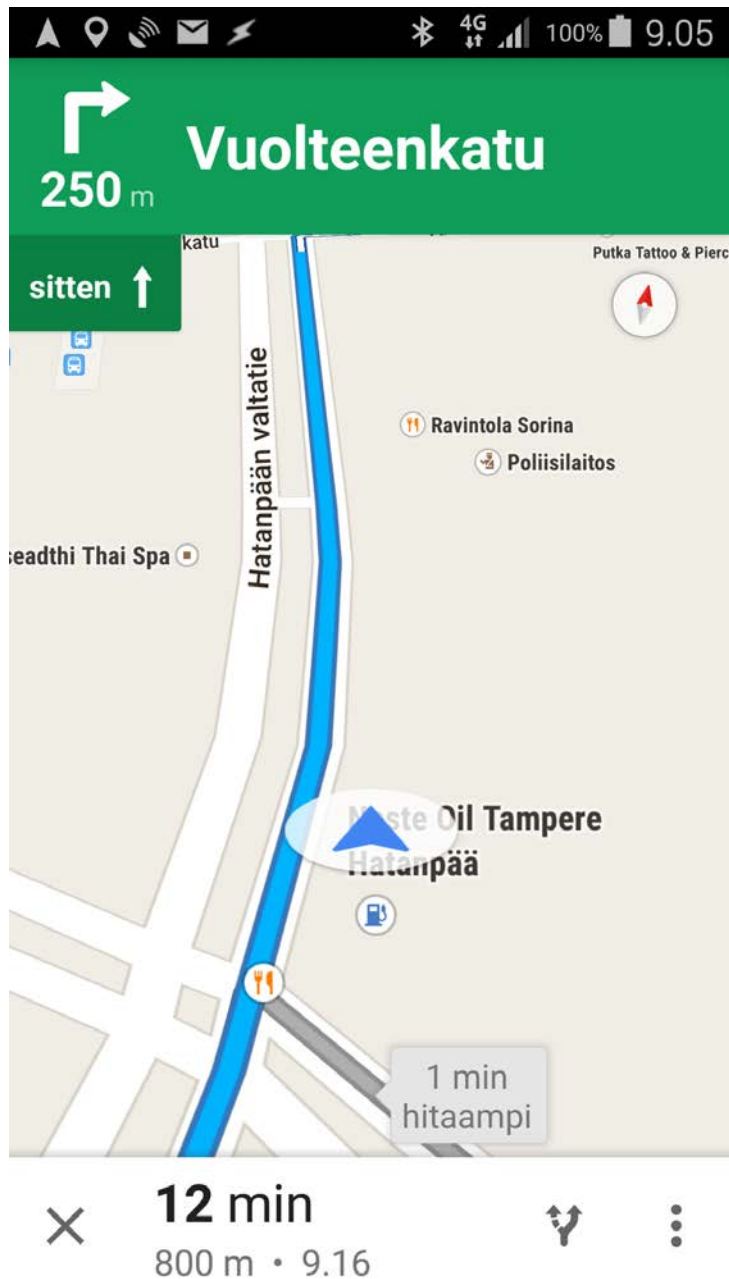
- väylät (paths),
- reunat (edges),
- alueet (districts),
- solmut (nodes) ja
- maamerkit.

Jalankulkijalle *väyliä* ovat esimerkiksi kävelytiet ja polut, autoilijalle tiet ja kadut. *Reunat* rajoittavat aluetta, jolla voi liikkua. Autoilijalle kaikki teiden ulkopuolella olevat asiat voivat olla reunoja, ja jalankulkijalle reunoja ovat rakennusten seinät, autotiet ja esimerkiksi joet. *Alueiksi* luetaan esimerkiksi kaupunginosat, kauppakeskukset ja korttelit. *Solmut* sisältävät väylien tai rajojen risteyskohtia. Esimerkiksi katujen risteykset, linja-autopysäkit ja kauppakeskusten sisäänkäynnit voidaan määrittellä solmuiksi. *Maamerkit* ovat esitelty edellä kohdassa 4.1 ja ovat siis muistettavia, tunnistettavia paikkoja, joiden avulla oma sijainti voidaan määrittellä suhteessa toisiin maamerkkeihin.

Tämän tutkielman kannalta kiinnostavimpia kognitiivisten karttojen osia ovat solmut, sillä ne ovat reitin osia, joissa navigoija joutuu tekemään päätöksiä pysyäksään oikealla reitillä. Maamerkit olisivat myös tärkeitä tähän tarkoitukseen, mutta ne rajattiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Nykyisten älypuhelimien jalankulkunavigaattorien kartta-aineisto ei sisällä riittävästi jalankulkijalle olennaisia maamerkkejä.

Eri kulkuvälineillä kulkevat käyttäjät havainnoivat osittain liikkumisnopeudesta johtuen eri asioita ympäristöstä reitin varrelta. Autoilijalle erilaiset liikennemerkkit ja opasteet ovat tärkeitä, jalankulkijalle tärkeämpiä ovat erilaiset maamerkit ja alueet. Henkilökohtaiset navigaattorit ovat tällä hetkellä tarkoitettu lähinnä autoilijoille, vaikka niihin usein on jonkinlainen jalankulkutila lisättykin. Alla oleva kuva esittää Google Maps -sovelluksen jalankulkutilaa (Kuva 4.1). Tila on hyvin samankaltainen, kuin autolla liikkuvalla tarkoitettu navigointitila.





Kuva 4.1. Ruutukaappaus Google Maps -sovelluksen jalankulkutilasta.

Tämän tutkielman tutkimusosan jalankulkijan opastuksen oli myös tarkoitus perustua tällaiseen alun perin autoilijalle tarkoitettuun navigaattoriohjelmaan. Vaikka siihen on lisätty jalankulkutila, itse opastus on hyvin samankaltainen kuin autoilijalle. Tutkimuksessani tarkoitus oli löytää navigaattorin ohjeistane, joiden avulla rajoitetulla tiedonvälityskaistalla saadaan riittävän hyvin opastettua jalankulkija perille päämääräänsä. Lähtökohdaksi otettiin käyttäjän toimintaa vaativien solmujen esittäminen.

Jalankulkijalle annettavista opasteista pystyikin suodattamaan tyydyttävän määrän älykellon avulla annettavia reittiohjeita, mutta GPS-vastaanottimen epä-

tarkkuudesta, ylimääräisestä viiveestä älypuhelimien ja -kellon välillä sekä todennäköisesti ohjelmien alkuperäisestä autoilukäyttötarkoituksesta johtuen niiden käyttö jalankulkijan reittioppaana ei onnistunut koetilanteessa. Tästä kerrotaan tarkemmin luvussa 6.



Kuva 4.2. Ruutukaappaus Google Maps -sovelluksen ilmoituksesta.

Kuvassa 4.2 on esimerkki Google Maps -sovelluksen Android-version ilmoituksesta. Tällaisesta ohjeesta saa tarvittavat tiedot värinäpalauteohjeen muodostamiseen; tässä tapauksessa myöhemmin kohdissa 5.2.1 ja 5.2.2 esiteltävät käänny oikealle- ja etäisyys yli 100 metriä -taktonit.

#### 4.3. Navigointi prosessina

Kun henkilöllä on tietoisuus reitistä tai alueesta, voi hän suunnitella reitin johonkin toiseen paikkaan. Downs ja Stea (1982) ovat jakaneet navigoinnin neljään toisiinsa liittyvään peräkkäiseen osaan:

1. sijainnin selvittäminen,
2. oikean reitin valitseminen,
3. reitillä pysyminen ja
4. päämäärän saavuttaminen.

Sijainti voidaan selvittää tunnistamalla maamerkkejä ympäristöstä ja vertaamalla niiden sijainteja ja suhteita toisiinsa nähden alueesta muodostettuun kognitiiviseen karttaan. GPS-vastaanotin ja kompassi voivat auttaa tässä, mikäli sijaintia ei muuten saada selville.

Tutussa ympäristössä oikea reitti voidaan valita reiteistä, joita kognitiivisesta kartasta saadaan muodostettua. Henkilökohtainen navigaattori voi auttaa reitin valinnassa varsinkin tuntemattomassa paikassa. Navigaattori voi myös valita reitin käyttäjän mieltymysten mukaan, esimerkiksi rajaamalla käytettävät tiet päällysteen mukaan.

Jotta navigoija pysyy oikealla reitillä, pitää hänen verrata kognitiivista karttaansa jatkuvasti ympäristöstä saatuihin havaintoihin. Henkilökohtainen navigaattori voi opastaa lähinnä kääntymisohjeilla pysymään oikealla reitillä vihjaamalla tulevista käännoksistä. Tässä tutkielmassa keskitytään navigoinnin tähän osa-alueeseen: Miten käyttäjää voidaan tukea pysymään oikealla reitillä? Mikä on se määrä erilaisia navigointiohjeita, jotka voidaan antaa navigoijalle niin, ettei ohjausta koeta häiritseväksi?

Päämäärän saavuttaminen pitää tunnistaa vertaamalla kognitiivista karttaa ympäristöön. Henkilökohtainen navigaattori voi tunnistaa kohteen saavuttamisen jonkin ennalta määrätyn etäisyyden mukaan, mutta ei välttämättä esimerkiksi sitä, jos suurelle rakennukselle saavutaan eri sisäänkäynnille kuin mitä navigaattorin kartta-aineistoon on määritetty.

#### 4.4. Navigoinnin tukeminen

*Navigoinnin tukeen* kuuluvat kaikki ulkopuoliset eli käyttäjän omaan tilalliseen tietämykseen kuulumattomat tekijät, jotka tukevat sijainninmäärittämistä ja navigointia. Yksinkertaisimmillaan ne ovat opasteviittoja autotiellä, mutta ne voivat olla myös henkilökohtaisen navigaattorin ilmoituksia reitillä olevista ruuhkista tai onnettomuuksista. Navigoinnin tuki voi tuntemattomassa paikassa mahdollistaa henkilön siirtymisen päämääräänsä, tutulla reitillä se voi auttaa kiertämään liikenneonnettomuuden takia suljetun tien.

Navigoinnin tuki teknisen apuvälineen, esimerkiksi GPS-vastaanottimella varustetun älypuhelimien avulla, sisältää yleensä käyttäjän sijainnin paikantamisen ja reittiopastuksen antamisen käyttäjän valitsemilla asetuksilla haluamaansa päämäärään. Rainio (2001) määrittelee reitinopastuksen yleisemmin paikannukseen perustuvaksi palveluksi, joka opastaa käyttäjän valitsemaansa kohteeseen.

Reitti pilkotaan yleensä pieniksi osiksi, ja käyttäjää tuetaan niissä kohdissa, joissa tarvitaan käyttäjän toiminto oikean reitin seuraamiseksi. Jotta saadaan tehtyä parempia navigointia tukevia järjestelmiä, on tunnettava ihmisen yleisimmät navigoinnin virheet. Tversky (2003) luokittelee nämä virheet kolmeen luokkaan:

- virheet etäisyydessä,
- virheet suunnassa ja
- muut virheet.

Tversky antaa seuraavanlaisia esimerkkejä eri luokkien virheistä: Etäisyyden arviointiin liittyvät virheet kasvavat sen mukaan, mitä enemmän matkalla on maamerkkejä tai solmuja kuten risteyksiä tai käännoksiä. Kahden eri yhteyteen kuuluvan asian välillä ajatellaan helposti olevan pidempi matka kuin kahden samaan yhteyteen kuuluvan asian välillä. Kuva 4.3 havainnollistaa etäisyyden ar-

viointiin liittyvää helposti tehtävää virhettä – tamperelainen kokee helposti Nokian tai Ylöjärven kaukaisemmaksi kuin Tampereeseen kuuluvan Teiskon, vaikka etäisyys sinne on moninkertainen. Kuvassa Tampere on rajattu oranssilla viivalla.



Kuva 4.3. Tampereen kartta (© OpenStreetMapin tekijät).

Suuntavirheet voivat liittyä esimerkiksi siihen, että ajettaessa moottoritien 270 asteen liittymää suunnantaju katoaa, ja voi olla vaikea sanoa, mihin suuntaan lopulta lähdettiin. Tversky antaa esimerkin suuntavirheestä, jossa maantieteellinen alue koetaan olevan kokonaan sen keskustan suunnassa, vaikka osa siitä olisi kaukana. Kuva 4.3 kuvaa hyvin myös tätä virhettä; Tampereen voidaan ajatella olevan etelämpänä kuin Ylöjärven, mutta tämä koskee vain näiden kaupunkien keskustoja. Tampereen Teisko on paljon pohjoisempana kuin Ylöjärven keskusta. Muihin virheisiin kuuluu Tverskyn mukaan esimerkiksi se, että oman sosiaalisen ryhmän alue koetaan isommaksi kuin vieraan ryhmän.

On tutkittu, minkälaisia ohjeita ihmiset antaisivat verrattuna sovellusten antamiin opasteisiin (Dale, Geldof ja Prost, 2002). Alla on listattu tutkimuksessa huomattuja eroja:

- Sovelluksen tuottamista opasteista osa on ihmisen mielestä turhia, sillä ne eivät aiheuta mitään toimia navigoijalle. Esimerkiksi kadun nimen vaihtuessa suoralla tiellä käyttäjän ei tarvitse sitä tietää päämäärän saavuttamiseksi, mutta sovellus voi opastaa käyttäjää ajamaan tielle Kekkosentie, vaikka tämä tietenkin tapahtuu ilman opastustakin. Tällaiset turhat ohjeet aiheuttavat epäluottamusta navigointisovellusta kohtaan.
- Sovellukset ilmaisevat ohjeissaan käyttäjältä tarvittavien toimien ajankohdan tai sijainnin yleensä matkustetun etäisyyden tai ajan avulla. Ihminen ilmaisisi nämä käyttämällä maamerkkejä, solmuja ja rajoja.
- Sovelluksen opasteet ovat yleensä lyhyitä yhden lauseen mittaisia yhden askeleen sisältäviä ohjeita. Ihminen käyttää pidempiä virkkeitä, jotka sisältävät enemmän tietoa.

Vaikka sovellusten antamien ohjeiden ei tarvitsekaan välttämättä olla samankaltaisia kuin ihmisten käyttämien ohjeiden, Dalen ja kumppaneiden mukaan sellaiset saattavat olla miellyttävämpiä kuin monet sovellusten tuottamat ohjeet. Alla on esimerkkinä (Taulukko 4.4) Dalen ja kumppaneiden kehittämän luonnollisen kielen järjestelmän tuottamat ohjeet verrattuna australialaisen WheelIs-navigointipalvelun tuottamiin ohjeisiin.

Taulukko 4.4. WhereIs-palvelun tuottama ohje ja luonnollisen kielen ohjeet Dalen ja kumppanien kehittämällä järjestelmällä, suomennettuna (Dale ja muut, 2002).

Ohje	Katuosoite	Alue	Matka	Arvioitu aika
Lähde	Parbury Lane	Dawes Point	17m	1 min
Oikealle	Lower Fort Street	Dawes Point	27m	1 min
Vasemmalle	George Street	Dawes Point	572m	11 min
Saavu	George Street	The Rocks	Yhteensä 616m	Yhteensä 13min

Lähde Parbury Lanelta.

Kulje Parbury Lanen loppuun asti.

Käänny oikealle.

Kulje Lower Fort Streetiä 30m.

Käänny vasemmalle George Streetille.

Kulje George Streetiä, kunnes saavut päämääräsi.

Vaikka navigoinnin tuen sopivuus riippuu paljon esimerkiksi opastettavan ihmisen sukupuolesta, kokemuksesta navigoijana ja iästä (Maguire, Burgress ja O’Keele, 1999), on pyritty antamaan yleisiä ohjeita navigoinnin tukemisen suunnittelua varten. Lovelace, Hegarty ja Montello (1999) esittävät seuraavia yleisiä ohjeita:

- Tekstimuodossa voi antaa pidempiä ohjeita kuin puhuttuna.
- Maamerkit auttavat pysymään reitillä, ja niitä voi käyttää muissakin kuin navigoijan toimintaa vaativissa kohdissa reitillä. Maamerkkejä ei tarvitse esittää sellaisilla reitin osilla, joissa on jokin rajoite, jonka takia käyttäjä ei voi eksyä reitiltä.
- Jotkin navigoijan toimintaa vaativat pisteet voivat olla sellaisia, joissa oikea reitti on niin selvä, että siitä ei tarvitse välttämättä antaa ohjetta. Ylimääräisen ja turhan tiedon esittämistä tulee välttää.

#### 4.5. Reitinopastus

Reitinopastuksen toteutus riippuu käyttäjästä, liikkumistavasta ja käyttäjän toiveista reitille. Visuaalinen eli näköaistiin perustuva suunnistaminen kartan tai

näytöllisen laitteen avulla on yleisin tapa käyttää reitinopastusta, mutta myös ääntä ja tuntoaistia käytetään ohjeiden esittämiseen (Vainio, 2009). Usein käytetään myös usean eri aistin kautta samanaikaisesti annettavaa eli multimodaalista ohjeistusta. Kaikille tuttu esimerkki on autonavigaattori, joka näyttää symbolisia ajo-ohjeita näytöllä ja tuottaa puheohjeet kaiuttimen kautta. Vainion mukaan multimodaalista reittiopastusta mobiililaitteissa ei ole vielä tutkittu paljon.

Karttamuotoinen tai lintuperspektiivistä kolmiulotteisena esitetty reittinäkyvä ovat yleisimmät tavat esittää reitti visuaalisena. Reittiopasteet esitetään yleensä symbolisina merkkeinä ja tekstimuotoisina etäisyyksinä sekä kadunnimienä. Koko reitin kääntymisohjeet yhteenvetona esitetään yleensä listana tekstimuotoisia ohjeita. Kray, Elting, Laakso ja Coors (2003) toteavat, että korkeasti abstrakteina symbolisina merkkeinä esitetyt reittiopasteet toisaalta auttavat keskittymään olennaiseen, mutta samalla voivat jättää tärkeitä reittiin liittyviä vihjeitä piiloon. He toteavat myös, että karttanäkymän kääntäminen niin, että se on käyttäjän kulkusuunnan mukainen vähentää käyttäjän kognitiivista kuormitusta. Kolmiulotteisista kartoista Kray ja muut kertovat, että selkeät maamerkit näkymässä auttavat käyttäjää ymmärtämään sijaintinsa ja halutun suunnan. Maamerkit tulisikin esittää värikkäinä, tarkempina malleina verrattuna harmaisiin, osittain läpinäkyviin tavallisiin rakennuksiin.

Äänimuotoiset reittiopasteet ovat yleensä puhesynteesin avulla puheeksi muutettuja opasteita, etäisyyksiä seuraavaan navigoijalta vaadittavaan toimintoon ja kadunnimiä. Ääniopasteita käytetään yleensä silloin, kun navigoijan visuaalinen kanava on jo käytössä, esimerkiksi havainnoitaessa ympäristöä ja liikennettä ajettaessa autoa. Kray ja muut ohjeistavat, että koko tekstimuotoista opastetta ei tarvitse esittää puheena, sillä käyttäjän ajonopeudesta riippuen pitkä puheohje saattaa kestää liian kauan esittää. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 4.5) on esitetty eri opastemuotojen aiheuttama kognitiivinen kuormitus Krayn ja kumppanien mukaan. Tuntopalaute ei ole mukana taulukossa.

Taulukko 4.5. Reittiopasteiden esitysmuoto ja kognitiivinen kuormitus, suomennettuna (Kray ja muut, 2003).

<b>Esitysmuoto</b>	<b>Kognitiivinen kuormitus</b>
Teksti	Kohtalainen
Puhe	Matala
2D opaste	Kohtalainen
2D kartta	Kohtalainen – suuri
3D kartta	Kohtalainen – suuri

Kohdassa 3.3.2 esitetty kuudes aisti -menetelmä toimii reitinopastusmuotoisena navigointitukena värinäpalautetta hyödyntäen. Tätä metodia sovelletaan myös tämän tutkielman tutkimusosassa toistamalla reittiohjeita älykellon värinäpalautteen avulla.

#### **4.6. Suunnanopastus**

Vaihtoehtoinen tapa löytää kohteeseen reitinopastuksen sijaan on suunnanopastus. Suunnanopastuksella tarkoitetaan sitä, että käyttäjä seuraa omaa sijaintiaan suhteessa määrättyihin kiintopisteisiin, kuten maamerkkeihin reitin varrella, ja tämän tiedon avulla hän suunnistaa haluttuun päämäärään. Vainio mainitsee (2009), että osa ihmisistä suosii suunnanopastusstrategiaa reitinopastuksen sijaan. Kohdassa 3.3.1 esitetty taikasauvamenetelmä toimii suunnanopastuksen tukena; käyttäjä tutkii aktiivisesti suuntaa johonkin kiintopisteeseen ja suunnistaa tämän tiedon perusteella päämääräänsä.

#### **4.7. Jalankulku**

Jalankulkijoiden navigointi eroaa esimerkiksi autolla navigoimisesta monella tavalla. Jalankulkijat voivat liikkua muutenkin kuin teitä pitkin. He voivat oikoa, pysähtyä ja kääntyä helposti takaisin havaittuaan tehneensä virheen. Jalankulkijan pitää havainnoida ympäristöä, katuja, rakennuksia ja muita ihmisiä. Autotiellä autojen odotetaan yleensä liikkuvan omilla kaistoillaan, mutta kevyen liikenteen väylillä jalankulkijat, pyöräilijät ja vaikkapa koiraa taluttavat ihmiset vaativat jatkuvaa havainnointia.

Autonavigoinnin yleisin opastustapa eli visuaalinen ohjeistus häiritsisi jalankulkijan havainnointia, minkä takia ääninä tai tuntopalautteella annetut ohjeet voivat vähentää kognitiivista kuormaa (Jacko ja Sears, 2003). Lisäksi tuntopalautteella voidaan antaa huomaamattomia, yksityisiä ohjeita toisin kuin kaiutimesta toistetulla ääniohjeistuksella. Kuulokkeita käytettäessä ääniohjeetkin voivat olla huomaamattomia ja yksityisiä, mutta tällöin menetetään ympäristön äänien antamat vihjeet ja varoitukset liikenteestä. Tuntopalautteen voisikin kuvitella sopivan juuri jalankulkijan opastamiseen, joka tapahtuu visuaalisesti ja äänellisesti vaativassa mobiilissa ympäristössä (Lylykangas ja muut, 2009).

Ho, Spence ja Tan ovat tutkimuksessaan (2005) todenneet, että huomiota vaativassa visuaalista kanavaa kuormittavassa tehtävässä värinäpalautteena annettuihin varoitusmerkkeihin reagoitiin nopeammin ja tarkemmin kuin äänenä tai kuvallisesti annettuihin merkkeihin.



## 5. Älykellon käyttö jalankulkijan värinäpalauteopastimena

Edellisissä luvuissa on todettu, että värinäpalaute on ei-häiritsevä (non-intrusive), mutta käyttäjän huomion herättävä vuorovaikutustapa. Yksinkertaisella värinäpalaudemootorilla pystytään esittämään tuntopalauteikoneita eli takto-neita, jotka sisältävät tiedon tulevista käänöksistä ja etäisyyksistä niihin. Älykellot ovat ensimmäisiä kaupallisia laitteita, jotka ovat aina käyttäjän mukana sijoitettuna ranteeseen niin, että niillä voidaan tuottaa tunnistettavaa värinäpalautea.

Tällä hetkellä saatavilla on vain muutamia kaupallisia värinäpalautea tukevia navigointisovelluksia, ja niissäkin värinäpalaute rajoittuu ilmaisemaan kääntymistä oikealle tai vasemmalle. Tutkimuksissa on lähes poikkeuksetta kehitetty oma prototyyppilaitte, joka usein on suurikokoinen ja saattaa vaatia erilaisia johtoja eri puolille käyttäjää (Heuten, Henze, Boll & Pielot, 2008; Bosman ja muut, 2003). Tämä on tietenkin ymmärrettävää, jotta tutkijat pystyvät kontrolloimaan laitteen ja sovelluksensa parametreja. Applen tuleva älykello sen sijaan lupaa tarjota värinäpalauteen avulla annettavia reittiohjeita kuluttajillekin.

Tämän gradun tavoitteena oli yksinkertaisella toteutuksella tutkia, miten älykellon avulla pystytään opastamaan jalankulkijaa reitillä. Luvun ensimmäisessä kohdassa kerrotaan käytettävästä laitteistosta. Toisessa kohdassa esitellään kehitetyt taktonit ja niiden suunnitteluun vaikuttaneita asioita.

### 5.1. Laitteisto

Navigointilaitteena tutkimuksessa käytetään Pebble-älykelloa (Kuva 5.1), jonka toiminta perustuu sen bluetooth-yhteyteen Android- tai iOS-laitteeseen. Pebblen perusidea on toistaa valittuja älypuhelimien ilmoituksia ilmoittamalla niistä huomaamattomasti älykellon näytön taustavalon syttymisellä ja värinäpalauteella.

Pebblen etuna Andoid Wear -järjestelmän älykelloihin pidetään sen moninkertaista akunkestoa, jopa seitsemän päivää. Tämä johtuu Pebblen karsituista ominaisuuksista, kuten vaatimattoman resoluution mustavalkoisesta e-paperinäytöstä ja ääniominaisuuksien sekä GPS-vastaanottimen puutteesta. Pebblen ominaisuudet ovat kuitenkin riittävät toistamaan ilmoituksia esimerkiksi älypuhelimeen saapuneista sähköposteista, pikaviesteistä ja kalenteritapahtumista.



Kuva 5.1. Pebble-älykello (JohnnyMrNinja, 2012).

Pebblen neljällä painikkeella voi esimerkiksi vastata viesteihin, lopettaa älypuhelimeen saapuneen tulevan puhelun ja ohjata älypuhelimien musiikkisoitinta. Painikkeiden lisäksi syötteenä älypuhelimelle voidaan käyttää älykellon kiihtyvyyssanturia, jonka avulla käyttäjä voi tehdä kädenheilautuksilla erilaisia *eleitä* (gesture), joihin voidaan sijoittaa jokin toiminto. Pebble sisältää myös yksinkertaisen värinäpalautemoottorin, jonka avulla esimerkiksi ilmoitetaan älypuhelimien ilmoituksista. Värinäpalautetta voi käyttää eri ohjelmissa ilmaisemaan tapahtumia, kuten herätyskellon soimista, tai ilmoittamaan juostuista kilometreistä kuntoiluohjelmassa harjoituksen aikana.

Pebble tarjoaa ohjelmointirajapinnan, jonka avulla sille voidaan kehittää omia ohjelmia. Älykellon ohjelmat voivat käyttää rinnallaan älypuhelimeen asennettavaa *kumppanisovellusta* (companion app), joka voi esimerkiksi lukea älypuhelimien GPS-vastaanottimelta sijaintitietoja.

Android-käyttöjärjestelmän avoimuudesta johtuen sovelluksen on mahdollista lukea kaikki älypuhelimien ilmoitukset, mikä olisi mahdollistanut tähän tutkielmaan suunnitellun reittiopastustoteutuksen. Tutkielmaa varten kehitetty sovellus luki kaikki navigaattorin tuottamat ilmoitukset ja ohjasi älykelloon niistä ne, joilla on merkitystä jalankulkijan reittiopastuksessa. Valitettavasti eriyistä johtuen päädyin lopulta kuitenkin luomaan ilmoitukset itse, sillä kävelynavigaattori ei toiminut riittävän luotettavasti.

Google Maps -navigaattorin ilmoituksia ovat esimerkiksi etäisyys seuraavaan käännökseen, käännöksen suunta ja päämäärään saapuminen. Ilmoitukset

päivittyvät kymmenen metrin välein jalankulkuutilassa, joten suurin osa ilmoituksista piti karsia pois. Osa tutkimusta olikin selvittää, minkä suuruusluokan etäisyydet tulisi ilmoittaa käyttäjälle.

Edellä olevan teoriaosuuden perusteella oli myös mielenkiintoista haastatteleamalla käyttäjiä selvittää, kuinka häiritseväksi he kokivat jatkuvan ilmoittelun. Adamczyk ja Bailey (2004) ovat tutkineet ilmoitusten oikeaa ajoitusta, ja tuloksena oikeaan aikaan ja oikealla modaliteetilla toimitettu ilmoitus voi vähentää käyttäjän kokemaan ärsytystä huomattavasti. Navigoinnin ohjeistuksen ärsyttävyyteen vaikuttaa todennäköisesti myös se, kuinka tutussa ympäristössä liikutaan.

Käyttäjryhmä tutkimuksessani olivat normaalisti näkevät ihmiset, jotka pystyvät kävelemään normaalisti.

## 5.2. Taktonien suunnittelu

Pebble-älykellon värinäpalautemoottorin ohjaamiseen käyttämäni AutoPebble-sovellus tukee taktonien parametreista vain kestoa ja sen myötä rytmiä värinäpalautteen muodostamisessa. Brown (2007) toteaa väitöskirjassaan, että värinän ja niiden välisten taukojen avulla saadaan luotua rytmejä. Sherrick ja Craig (1982) ovat todenneet, että tuntoaisti kykenee tunnistamaan alle viisi värähdystä 700 millisekunnin ajassa. Tämän tutkielman tutkimuksessa tuo määrä riittää hyvin esittämään tarvittavan tiedon värinäpalautteella.

Brown esittää lisäksi kaksi asiaa, jotka tulee ottaa huomioon taktonien suunnittelussa: tuntoaistin *mukautuminen* (adaptation) ja *peittyminen* (masking). Mukautuminen tarkoittaa, että jatkuvan ärsykkeen voimakkuus tunnetaan ajan kuluessa pienempänä, ja *aistimuksen rajakynnys* (absolute treshold) kasvaa suuremmaksi. Mukautuminen ei tule ongelmaksi tutkimuksessani, sillä tarkoitus ei ole tuottaa jatkuvaa ärsykettä. Peittyminen sen sijaan on mielenkiintoisempi tekijä tutkimuksessani, sillä ajallisesti tai sijainnillisesti läheisesti esitetyt tuntoaärsykkeet voivat estää yhden tai useamman ärsykkeen havainnoimisen. Ratkaisuksi Brown esittää taktonin rytmin hidastamista ja kahden taktonin välisen tauon pidentämistä. Brown kertoo Van Dorenin, Gescheiderin ja Verillon (1990) tutkineen kahden värinän välistä taukoa ja tulleen tulokseen, että yli 100 millisekunnin tauot tunnustetaan tauoiksi jopa pienillä värinän voimakkuuksilla.

Brown toteaa iän vaikuttavan tuntoaistin tarkkuuteen, mutta tutkimukseni koehenkilöt olivat kaikki sen ikäisiä, että tämän ei pitäisi olla vielä suuresti vaikuttava tekijä. Itse taktoneihin liittymätön, mutta huomioon otettava seikka on se, että värinäpalautteen tuottavan laitteen on oltava riittävässä kontaktissa ihoon.

Brownin väitöskirjan mukaan taktonin välittämä tieto voidaan koodata kolmella tapaa:

- *suora lähestyminen* (direct approach),
- *koodattu lähestyminen* (coded approach) ja
- *metaforinen lähestyminen* (metaphorical approach).

Suora lähestyminen on näistä kolmesta tavasta helposti opittavin. Esimerkkinä suorasta lähestymisestä navigoijan eteenpäin ohjaaminen tapahtuisi tuottamalla värinäpalaute käyttäjän etupuolelle, esimerkiksi rintaan. Pysähtyminen tapahtuisi tuottamalla värinäpalaute selkään ja kääntymiset käyttäjän sivuille. Yhden värinämoottorin sovelluksessa suora lähestyminen ei ole mahdollinen.

Koodattu lähestyminen vaatii käyttäjältä taktonien opettelemisen. Yhden ohjelmallisesti rajoitetun ja teknisesti yksinkertaisen värinäpalautemoottorin sovelluksessa koodattu lähestyminen on ainoa vaihtoehto reittiohjeita kuvaavien taktonien muodostamiseksi.

Metaforinen lähestyminen tarkoittaa taktoneissa esimerkiksi sydämen sykkettä matkivaa rytmin ja voimakkuuden vaihtelua, jolla voidaan kuvata tunteita ja tuntemuksia.

Brownin työhön perustuen suunnittelin rytmiin perustuvat taktonit reittiohjeiden esittämistä varten. Taktonit esitetään seuraavissa alakohdissa.

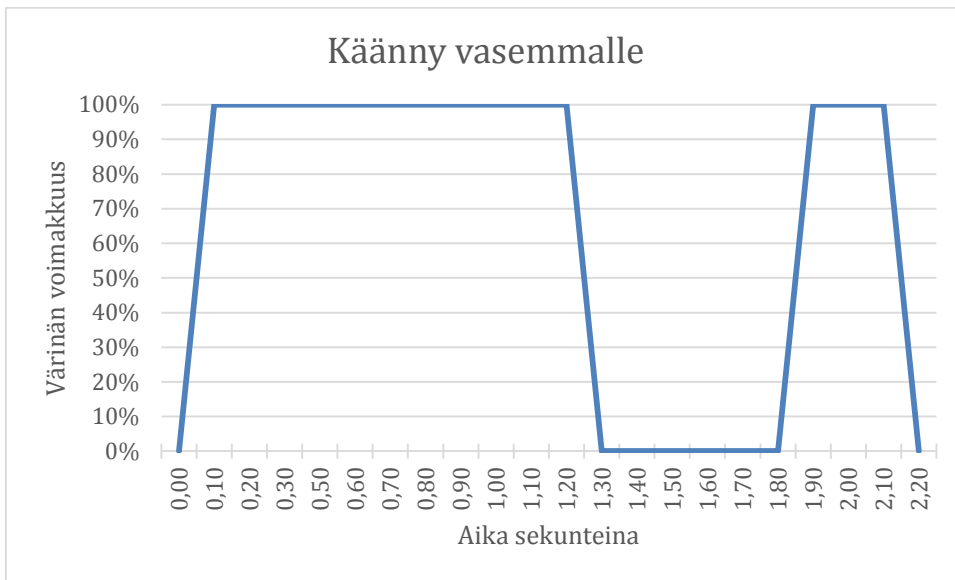
### 5.2.1 Suunta -taktonit

Vasemmalle kääntyminen esitetään kahden eri kestoisen värinän sarjana. Ensimmäisen värinän kesto on 1,0 sekuntia, tauon 0,5 sekuntia ja toisen värinän kesto 0,2 sekuntia.

Oikealle kääntyminen esitetään vasemmalle kääntymisen peilikuvana. Ensimmäisen värinän kesto on 0,2 sekuntia, tauon 0,5 sekuntia ja toisen värinän kesto 1,0 sekuntia.

Suoraan jatkaminen esitetään kahden saman kestoisen värinän sarjana. Molemmat värinät kestävät 0,2 sekuntia, tauko 0,5 sekuntia.

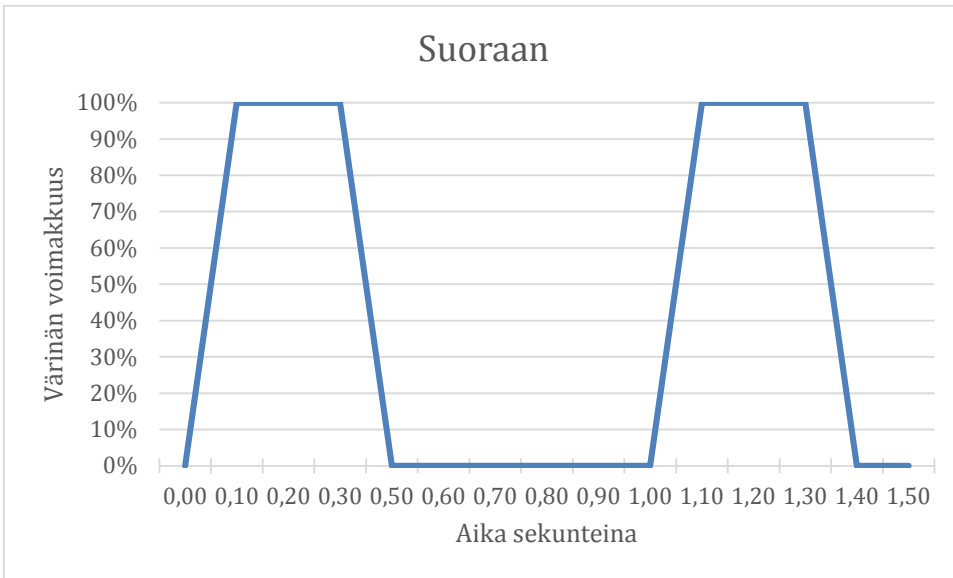
Taktonin suunnittelun perustana oli latinalainen vasemmalta oikealle kirjoittaminen ja lukeminen sekä se, että pidempi värähdys olisi kääntymissuuntaa ilmaiseva. Suuntia kuvaavat taktonit ovat esitetty alla (Kuva 5.2, Kuva 5.3 ja Kuva 5.4).



Kuva 5.2. Takti varemalle kääntymiselle.



Kuva 5.3. Takti oikealle kääntymiselle.



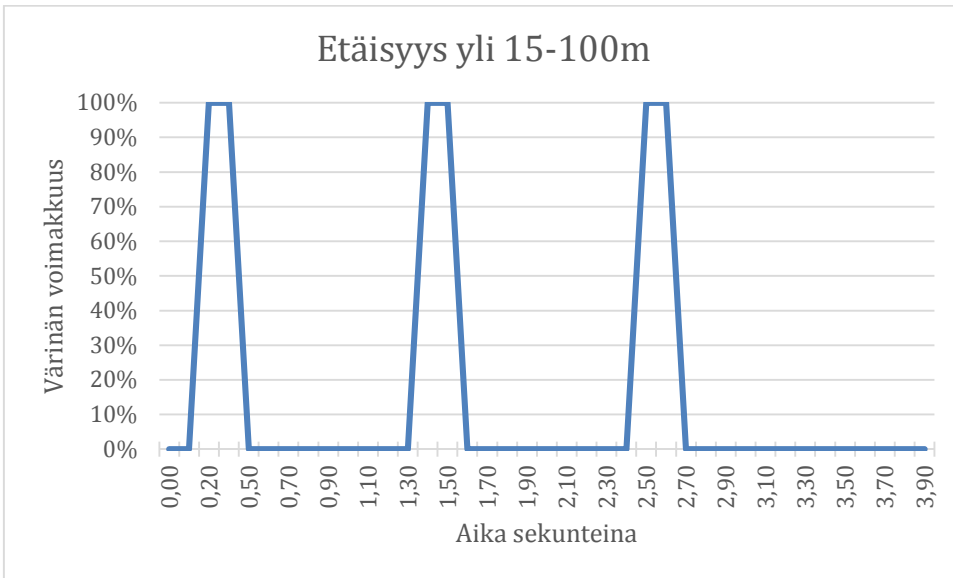
Kuva 5.4. Taktoni suoraan jatkamiselle.

### 5.2.2 Etäisyys -taktonit

Etäisyys esitetään kolmen värähdyksen sarjana. Värähdysten välinen tauko riippuu etäisyydestä. Yli 100 metrin etäisyys esitetään kolmella 0,1 sekuntia kestäväällä värinällä, joiden välissä on 1,5 sekunnin tauko. 15 – 100 metrin etäisyydessä värinöiden välinen tauko on 0,9 sekuntia, ja alle 15 metrin etäisyydessä tauko on 0,2 sekuntia. Taktonin on tarkoitus kuvata käyttäjälle kiireellisyyttä. Etäisyyttä kuvaavat taktonit ovat esitetty alla (Kuva 5.5, Kuva 5.6 ja Kuva 5.7).



Kuva 5.5. Taktoni yli 100m etäisyydelle.



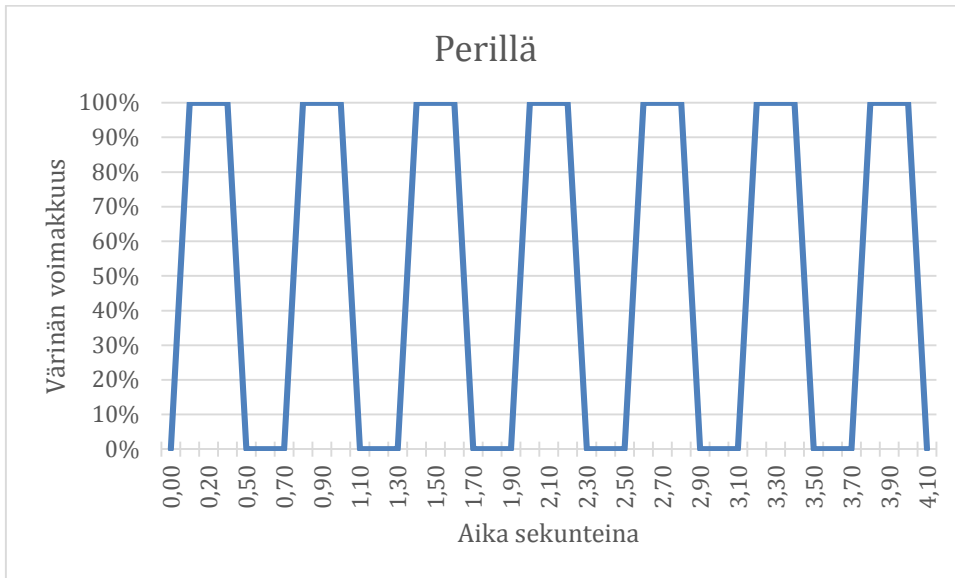
Kuva 5.6. Taktioni 15 - 100m etäisyydelle.



Kuva 5.7. Taktioni alle 15m etäisyydelle.

### 5.2.3 Perillä -taktioni

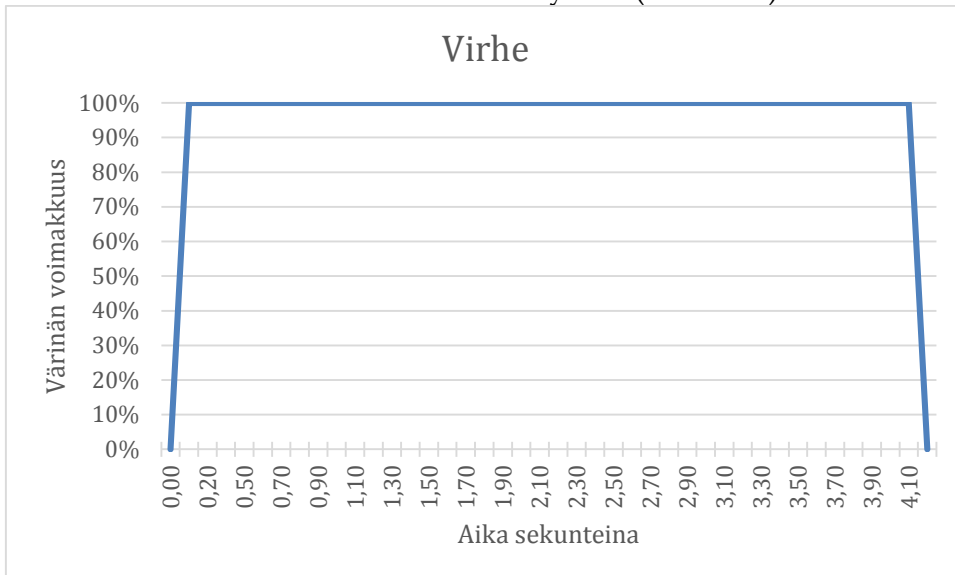
Kohteeseen saapuminen esitetään seitsemän 0,2 sekunnin kestoisen värähdyksen sarjana värähdysten välisten taukojen ollessa 0,2 sekuntia. Taktionin tarkoitus on olla selvästi muista taktoneista erottuva. Taktioni on esitetty alla (Kuva 5.8).



Kuva 5.8. Taktioni kohteeseen saapumiselle.

#### 5.2.4 Virhe -taktioni

Virhetilanne, kuten GPS-signaalin kadottaminen, esitetään pitkänä 4 sekunnin kestoisena värinä. Taktioni on esitetty alla (Kuva 5.9).



Kuva 5.9. Taktioni virhetilanteelle.



## 6. Tutkimus

Tässä luvussa esitellään käyttäjätutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin edellisessä luvussa suunnitellut reittiopastusta varten kehitetyt taktonit tunnistettiin, kun ne esitettiin Pebble-älykellon yksinkertaisen värinäpalaute-moottorin avulla. Tutkimus toteutettiin Pirkkalassa huhtikuussa 2015. Kohdassa 6.1 esitetään tutkimuksen hypoteesit ja kohdassa 6.2 itse tutkimus. Kohdassa 6.3 esitetään tutkimuksen tulokset.

### 6.1. Hypoteesit

Tutkimuksen hypoteesit olivat seuraavat:

1. Taktonit ovat tunnistettavia ja muistettavia lyhyen harjoittelun jälkeen.
2. Esitetyt reittiopasteet ovat riittävät kävelynavigointiin.

### 6.2. Käyttäjätutkimus

#### 6.2.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 6 henkilöä, iältään 32 – 66 vuotta. Koehenkilöistä kaksi oli naisia ja neljä miehiä. Koehenkilöt olivat tutkielman tekijän ystäviä ja osallistuivat testiin vapaaehtoisesti ilman palkkiota. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 6.1) esitetään käyttäjien taustatiedot.

Taulukko 6.1. Tutkimukseen osallistuneiden taustatiedot.

Sukupuoli	Ikä	Käyttänyt jalankulunavigointia	Käyttänyt älykelloa	Tuntoaisti
Mies	35	Kyllä	Ei	Normaali
Mies	32	Kyllä	Ei	Normaali
Mies	37	Kyllä	Kyllä	Normaali
Mies	66	Ei	Ei	Normaali
Nainen	37	Ei	Ei	Normaali
Nainen	63	Ei	Ei	Normaali

#### 6.2.2 Koeasetelma

Tutkimuksessa käytettiin Tampereen yliopiston informaatiotieteiden yksikössä toimivalta Tampere Unit for Computer Human Interaction -tutkimuskeskukselta lainaksi saatua Pebble-älykelloa.

Ennen koetta kokeen kulku selitettiin koehenkilöille. Koehenkilöt allekirjoittivat suostumuslomakkeen, joka on tutkielman liitteenä (Liite 1). Koehenkilöt täyttivät myös taustatietolomakkeen (Liite 2). Älykello kiinnitettiin koehenkilön

ranteeseen riittävän kireälle, jotta värinäpalaute olisi tunnistettavaa. Koetta varten suunnitellut taktonit ja niiden merkitys esiteltiin koehenkilöille. He saivat taktonien kuvauksen paperilla ja myös kokeilla eri taktoneita älykellon avulla. Koehenkilöt saivat esittää kysymyksiä, jos heillä oli kokeen suhteen jotain epäselvää.

Navigointiohjeet lähetettiin bluetooth-yhteydellä älypuhelimesta koehenkilön ranteessa olevaan Pebble-älykelloon. Tutkimuksen tekijä valitsi ja ajoitti älykelloon lähetettävät ohjeet. Tutkielman tekijä kuvasi kokeen myös videolle. Koehenkilöt saivat kertoa ääneen värinäpalautteesta ja siitä, miksi opasteeksi he sen tunnistivat.

Koe sisälsi noin 1,4 kilometrin pituisen reitin Pirkkalan Kurikan alueella. Reitti sisälsi noin 12 käännoästä ja suorita osuuksia, joiden pituus vaihteli 20 – 280 metrin välillä. Kun koehenkilö pääsi reitin loppuun, täytti hän vielä kyselylomakkeen (Liite 3). Koehenkilö sai myös kertoa vapaasti kokemuksistaan kokeen aikana ja mielipiteensä värinäpalautteella toteutetusta reittiopastuksesta (Liite 4).

### **6.3. Tulokset**

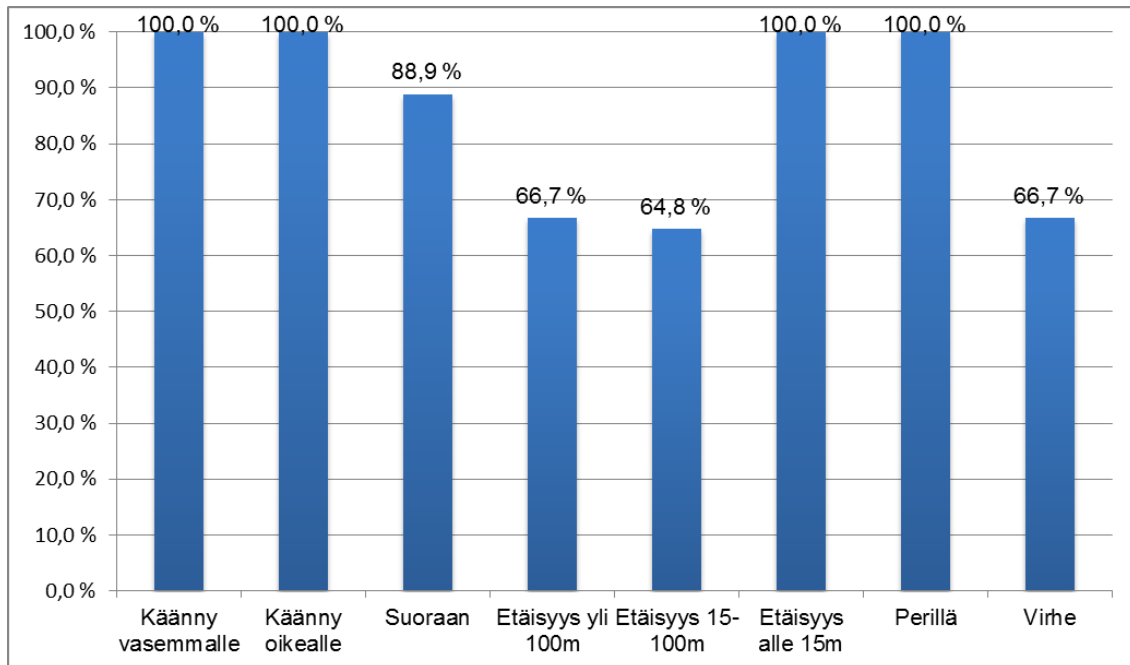
Tutkimuksen tulokset perustuvat kaikkien kuuden koehenkilön koedataan ja kyselylomakkeisiin. Kaikki koehenkilöt suorittavat testin loppuun. Testin tulokset analysoitiin videotallenteesta. Kohdassa 6.3.1 analysoidaan pintapuolisesti, kuinka tarkasti reittiopasteet tunnistettiin. Lopuksi kohdassa 6.3.2 raportoidaan kyselylomakkeista saadut tulokset ja palaute.

#### **6.3.1 Tulosten raportointi**

Käyttäjätutkimuksen osallistujamäärä oli pieni, vain 6 henkilöä, joten tässä tutkimuksessa ei analysoitu tuloksia syvällisesti, koska ne eivät olisi olleet tilastollisesti merkittäviä. Erityyppisistä reittiiohjeista eli taktoneista laskettiin tunnistarkkuus, joka esitetään alla (Taulukko 6.2 ja Kuva 6.3).

Taulukko 6.2 Taktonien tunnistustarkkuudet.

Taktoni	Tunnistustarkkuus	n
Käännny vasemmalle	100,0 %	30
Käännny oikealle	100,0 %	36
Suoraan	88,9 %	18
Etäisyys yli 100m	66,7 %	24
Etäisyys 15 - 100m	64,8 %	54
Etäisyys alle 15m	100,0 %	66
Perillä	100,0 %	6
Virhe	66,7 %	6



Kuva 6.3. Taktonien tunnistusprosentit.

Tuloksena kaikki taktonit tunnistettiin yhteensä 87,1 prosentin tarkkuudella. Tunnistustarkkuuden ollessa korkea, hypoteesi 1 voidaan hyväksyä ja alustavasti todeta taktonien olevan tunnistettavia ja muistettavia.

Yksittäisistä taktoneista parhaiksi tunnistettavuuden kannalta osoittautuivat suuntaa osoittavat taktonit. Etäisyyttä kuvaavat taktonit kahden pisimmän etäisyyden osalta sekoitettiin toisiinsa melko usein. Nämä taktonit olivat todennäköisesti liian samankaltaiset. Asif ja muut (2010) omassa tutkimuksessaan to-

tesivatkin, että selvästi laskettavissa olevat värähdysten määrät helpottavat etäisyyden tunnistamista. Pelkkä värähdysten välinen tauko ei näytä olevan riittävä erottamaan kolmea samankaltaista taktonia toisistaan.

Reitin varrella vähän käytetyistä taktoneista virhettä kuvaava taktoni tunnistettiin muutaman kerran väärin perille saapumista kuvaavaksi taktoniksi.

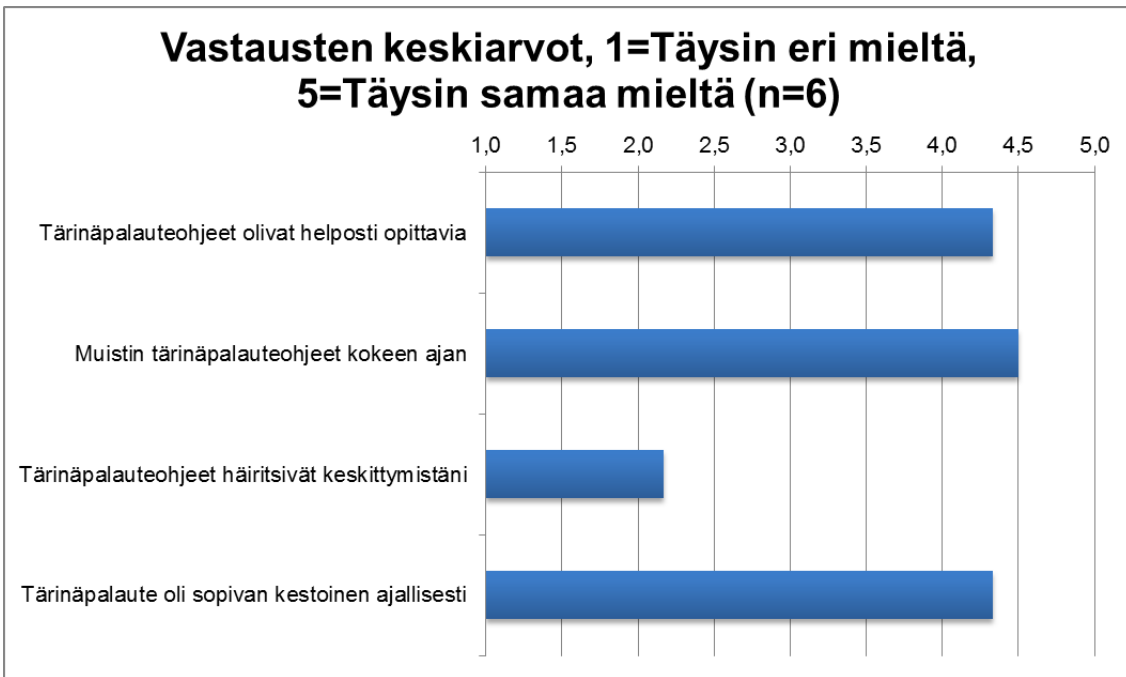
Koska kaikki koehenkilöt suorittivat reitin ilman suurempia vaikeuksia, voidaan myös todeta, että yksinkertainen kolmen suuntaa, kolmen etäisyyttä ja kahden erikoistapausta kuvaavan taktonin reittiopastus riittää yksinkertaisen reitin opastamiseen. Täten myös hypoteesi 2 voidaan hyväksyä. Tulosten perusteella etäisyyden ilmoittamiseen riittäisi hyvin kaksikin erilaista taktonia.

### 6.3.2 Kyselylomakkeen tulokset

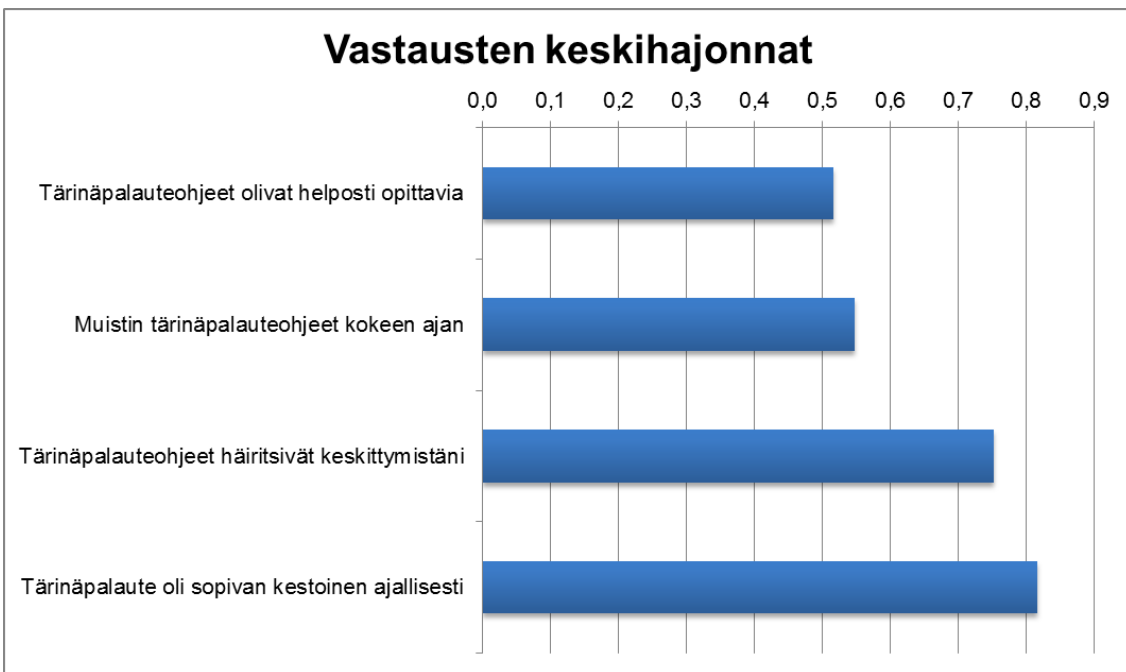
Kokeen jälkeen koehenkilöt kertoivat kokemuksistaan ja täyttivät kyselylomakkeen. Kyselylomakkeessa esitettiin väittämiä taktonien ja värinäpalautteen miellyttävyydestä, ymmärrettävyydestä, voimakkuudesta ja nopeudesta. Lomakkeessa kysyttiin myös, koettiin värinäpalautte häiritseväksi. Koehenkilöt arvioivat väitteitä Likert-asteikon viisiportaisella asteikolla. Kyselylomakkeen vastauksista esitetään alla neljän hypoteesien kannalta oleellisen väittämän vastaus-ten keskiarvot ja -hajonnat (Taulukko 6.4, Kuva 6.5 ja Kuva 6.6).

Taulukko 6.4. Tutkimuksen hypoteesien kannalta oleelliset väittämät ja niiden keskiarvot ja -hajonnat.

Väite	Keskiarvo	Keskihajonta	n
Värinäpalauteohjeet olivat helposti opittavia.	4,3	0,5	6
Muistin värinäpalauteohjeet kokeen ajan.	4,5	0,5	6
Värinäpalauteohjeet häiritsivät keskittymistäni.	2,2	0,8	6
Värinäpalaute oli sopivan kestoisen ajallisesti.	4,3	0,8	6



Kuva 6.5. Tutkimuksen hypoteesien kannalta oleelliset väittämät ja niiden vastausten keskiarvot.



Kuva 6.6. Tutkimuksen hypoteesien kannalta oleelliset väittämät ja niiden vastausten keskihajonnat.

Kyselylomakkeen vastausten perusteella koehenkilöt kokivat taktonit helposti opittaviksi. Värinäpalauteohjeet koettiin kuitenkin hieman häiritseviksi,

mihin liittyi myös se, että värinäpalaute koettiin liian pitkäkestoiseksi. Todennäköisesti taktoneita voisi nopeuttaa, ainakin pidemmän harjoitusjakson jälkeen.

Koehenkilöt saivat myös kirjoittaa ja kertoa vapaasti, minkälaiseksi he kokivat värinäpalautteella annetun reittiopastuksen, ja minkälaisia ongelmia heillä oli kokeen aikana. He saivat myös antaa omia ehdotuksiaan taktonien parantamiseksi. Alla koehenkilöiden kokeen aikana ja jälkeen esittämiä vapaita kommentteja:

*"Tärinäpalauteohjeistukseen joutuu keskittymään enemmän kuin tavanomaiseen [äänellä ja näytöllä annettavaan] ohjeistukseen."*

*"Käyttöön tottuisi melko nopeasti ja helposti. Voisin kuvitella käyttäväni navigoidessa vieraassa paikassa, esim. ulkomailla."*

*"Tärinä voisi tuntua toisessa paikassa helpommin. Toki tällöin kellon/tuntopalautelaitteen paikka ei ole niin luonnellinen."*

*"Perilläolomerkin alkumerkit sulautuivat massaksi."*

*"Keski- ja pitkänmatkan erottaminen toisistaan oli vaikeaa."*

Jatkokehitysideoina koehenkilöt esittivät seuraavanlaisia mielipiteitä:

*"Tärinäpalautteen pitäisi olla voimakkaampaa."*

*"Olisiko tuntopalaute paremmin tunnistettavaa ranteen sisäpuolelta?"*

*"Opastukset saisivat tulla mielestäni aikaisemmin."*

*"Ohjeen toistaminen, esim. laitteen tunnistuksessa pysähtymisen."*

*"Huomioherätys [taktoni], eli ohjaisi katsomaan kelloa [jos pitää esittää joku monimutkainen asia, jolle ei ole omaa taktonia]."*

*"Tärinäkengät."*

*"Pitäisi olla sellainen värinä, joka kertoo tietyin väliajoin että laite on hengissä."*

*"Jokaista värinää ennen voisi tulla yksi värähdys, jotta olisi hereillä kun ohje tulee."*

#### **6.4. Tutkimuksen rajoitukset**

Tutkimuksen otos oli niin pieni, ettei sen perusteella pystynyt tekemään tilastollisesti merkittävää analyysiä kokeesta. Kyselytutkimuksella kuitenkin saatiin suuntaa antavaa tietoa siitä, minkälaisena värinäpalaute koettiin kävelynavigoinnin tukena.

Koehenkilöt todennäköisesti keskittyivät värinäpalautteeseen erityisen tarkasti ja tarkempaa dataa saataisiin pidempikestoisella tutkimuksella, jossa värinäpalaute voisi jopa unohtua hetkeksi. Toisaalta usea käyttäjä totesi, että ehti reitin varrella katsella ympäristöä. Muutama koehenkilö mainitsi, että värinäpalautteen tuntemisen lisäksi he myös kuulivat värinäpalautemoottorin aiheuttaman äänen.

Tutkimuksessa kuljettu reitti oli melko lyhyt ja sisälsi vain suhteellisen yksinkertaisia käännöksiä ja ohjeita. Tutkimuksen tuloksia ei ehkä kokonaan voi yleistää täysin toiminnallista jalankulkijan navigaattoria varten. Toisaalta eri tutkimuksissa on käytetty suurempaa määrää taktoneita tunnistustarkkuuden silti pysyessä hyvänä.

## 6.5. Keskustelu

Tutkimuksen koehenkilöt kokivat värinäpalautteen positiivisena ja helposti ymmärrettävänä. Osa käyttäjistä ilmaisi ennen koetta ja taktoneihin perehtyessään huolensa siitä, miten he oppisivat ja muistaisivat ne. Kuitenkin kokeen jälkeen he kertoivat, että taktoneita ei täytynyt muistaa, koska niissä oli selvä loogiikka.

Taktonien tunnistettavuus pysyi hyvänä käyttäjien liikkeessa kävellen. Sovelluksen rajoituksista johtuen värinäpalautteen voimakkuuteen ei voinut vaikuttaa, mutta oletusvoimakkuus oli siis riittävä.

Ainakin osittain tutussa ympäristössä koehenkilöt kokivat luottavansa värinäpalautteella saatuihin ohjeisiin. Vieraassa ympäristössä reittiä todennäköisesti tutkittaisiin ajoittain älypuhelimien tai älykellon näytöllä.

Koehenkilöiltä saatu mielestäni hyvä kehitysidea oli se, että laite voisi säännöllisin väliajoin lyhyellä värähdyksellä ilmaista olevansa toimintakunnossa. Tämä lisäisi luottamusta laitetta ja sovellusta kohtaan. Toinen mielestäni hyvä idea oli se, että ennen jokaista opastetta voitaisiin antaa käyttäjälle jonkinlainen heräte-taktoni, jotta opasteen ensimmäiset värinät eivät jäisi huomaamatta.

Laitteiden kehittyessä ja yleistyessä saataville tulee varmasti itsenäisiä navigointiin pystyviä älykelloja, jotka eivät vaadi yhteyttä älypuhelimeen. Tällaisella laitteella voidaan välttää tämän tutkimuksen muutamia ongelmia, kuten epävarma yhteys älykellon ja älypuhelimien välillä, ja voidaan suorittaa laajempia kokeita.

Toisaalta pelkällä kaupallisella sovelluksella ei välttämättä pystytä muodostamaan omia taktoneita eikä kokeilemaan erilaisia parametreja. Tämän tutkielman tutkimusosassa taktonit muodostettiin lyhyiden kokeilujen perusteella, ja taktoneita voisi varmasti vielä parantaa edelleen. Jalankulkunavigoinnissa tarvitaan enemmän kuin tutkielmassa esitetyt yksinkertaiset ohjeet. Esimerkiksi seuraavanlaisia tilanteita varten voisi olla omat taktoninsa:

- liikenneympyrästä poistuminen,
- siirtyminen tien toiselle puolelle,
- u-käännös,
- portaita ylös tai alas,
- tärkeimmät maamerkit,

- huomion herättäminen ja
- laitteen toimintakunnon ilmaiseminen.

Suurempi joukko koekäyttäjiä mahdollistaisi tilastollisesti merkittävän käyttäjätutkimuksen tekemisen.

Tutkielmassa monesti mainittu käyttäjän opastaminen vain pyydettyä jäi kokeilematta tutkimuksessa. Keskityin tutkimuksessa taktonien arvioimiseen, joten värinäpalautteen häiritsevyyttä ja kognitiivista kuormitusta voisi arvioida tarkemmin.



## 7. Lopuksi

Älykellon käyttöä värinäpalautelaitteena ei ole tutkittu vielä paljon. Laitteiden yleistyessä ja tuodessa värinäpalautteen yleisesti saataville värinäpalautesovellusten määrä tulee varmasti lisääntymään runsaasti eri käyttötarkoituksissa.

Älykellon ja -puhelimien käyttö jalankulkijan navigaattorina on yleistymässä. Eräs tapa tukea jalankulkijan navigointia on antaa reittiopasteet värinäpalautteena. Värinäpalautteena annettu reittiopastus on yksityinen ja kognitiivisesti vähän kuormittava tapa antaa opastus. Suunnittelemalla taktonit käytettävän laitteen rajoitukset huomioiden voidaan esittää riittävä määrä reittiohjeita kattamaan suuri osa yleisistä auto- tai kävelynavigaattorin ohjeista.

Tässä tutkielmassa tehtiin käyttäjätutkimus, jossa kahdeksalla älykellon värinäpalauteohjeella opastettiin käyttäjää kävelemään reitti. Tuloksina värinäpalautteen avulla päästiin kohteeseen, ja värinäpalauteohjeet koettiin helposti tunnistettaviksi ja muistettaviksi.

Nykyisten navigaattorien kartta-aineisto on suunniteltu autonavigointia varten ja sisältää vain pienen osan kävelijöiden käyttämistä reiteistä, kuten puistoista, kävelyteistä tai poluista. Tämä rajoite poistunee ajan myötä, ehkä joukkouttamalla (crowdsourcing) datan kerääminen älypuhelimien käyttäjille. Vapaaehtoisten ylläpitämä karttapalvelu OpenStreetMap sisältääkin usealla alueella kattavammat kartat kuin kaupallisissa kartta-aineistoissa, varsinkin polkujen ja erilaisten oikoreittien osalta.

Kävelynavigointia varten kartta-aineiston pitäisi mahdollisesti olla enemmän kognitiivisen kartan tapainen ja sisältää niitä asioita, joita juuri kävelyssä tarvitaan. Kognitiivisten karttojen ollessa suurelta osin henkilökohtaisia, voisi ajatella jonkinlaista personointia sukupuolen, iän ja liikkumisen tarkoituksen mukaan. Lenkkeilijää kiinnostaa todennäköisesti eri asiat ympäristössä kuin julkisen liikenteen käyttäjää tai turistia.

Tutkielman tekijän tutkielman kirjoittamisen aikana saamien huomioiden mukaan älypuhelimien jalankulkunavigaattoreissa on vielä paljon kehitettävää. Vaikka käyttäjän sijainti olisikin kuluttajaluokan GPS-järjestelmän tarkkuuden puitteissa hyvä, noin 5 - 10 metriä, se ei ole vielä tarpeeksi tarkka kunnolliseen jalankulkijan opastamiseen pelkästään värinäpalautteen avulla. Esimerkiksi 10 metrin tarkkuudella navigaattori ei välttämättä tiedä, kummalla puolella katua käyttäjä kulkee. Toinen ongelmakohta ovat risteykset, joissa 10 metrin tarkkuudella järjestelmä ei tiedä välittömästi kääntyikö käyttäjä oikeaan suuntaan.

Tämän tutkielman perusteella kaupallista älykelloa voidaan käyttää värinäpalautteen tuottamiseen esimerkiksi reittiopasteiden esittämiseen. Olisi mielenkiintoista kokeilla erilaisia älykelloja ja niiden värinäpalautemoottorien ominaisuuksia. Esimerkiksi Applen älykellossa värinäpalaute tuotetaan *lineaarimoottorilla* (linear actuator) perinteisen pyörivän moottorin sijaan. Pebble-älykellonkin värinää voisi todennäköisesti ohjata monipuolisemmin, mutta tässä tutkielmassa työmäärällisistä syistä käytettiin valmista sovellusta värinän ohjaamiseen.

Älypuhelimien käyttöä värinäpalautteen tuottajana olisi mielenkiintoista verrata älykelloon. Ranne ja reisi todettiin tutkielmassa sijainneiksi, jotka eroavat toisistaan herkkyyden suhteen. Ottamalla tämä rajoitus huomioon voitaisiin kuitenkin suunnitella älypuhelimelle taktonit, jotka ehkä toimisivat pidettäessä älypuheliminta esimerkiksi farkkujen taskussa.

Eri käyttäjillä on erilaiset vaatimukset reitinopastukselle, ja jonkinlainen personoitavuus reitinopastuksen suhteen voisi vähentää kognitiivista kuormitusta ja parantaa värinäpalautteen tunnistettavuutta. Esimerkiksi käyttäjästä tai ympäristön tuttuudesta riippuen suoraan-taktoni voitaisiin jättää esittämättä. Osa käyttäjistä saattaisi haluta laitteen toimintakunnon ilmaisevan taktonin, osaa se voisi ärsyttää. Yksinkertainen asia, kuten värinäpalautteen voimakkuuden personoitavuus, saattaisi tehdä värinäpalautteesta vähemmän häiritsevän ja helpommin tunnistettavan.

## Viiteluettelo

- Adamczyk, P.D. & Bailey, B.P. (2004). If not now, when?: the effects of interruption at different moments within task execution. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '04)*. (pp. 271 – 278). New York, NY: ACM.
- Allum, C. (2012) *Haptic Belt*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <http://umassherstm5.org/circuits-and-code-fall-2012-4>
- Apple Inc. (2015). *Apple Watch*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <https://www.apple.com/watch/technology>
- Arbib, M.A. (2003). *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (p. 139). MIT Press.
- Asif, A., Heuten, W. & Boll, S. (2010) Exploring Distance Encodings with a Tactile Display to Convey Turn by Turn Information in Automobiles. In *Proceedings of 6th Nordic Conference of Human-Computer Interaction (NordiCHI 10)* (pp. 32 – 41).
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beruscha, F., Augsburg, K., Manstetten, D. (2011). Haptic warning signals at the steering wheel: A literature survey regarding lane departure warning systems. In *Haptics-e, the electronic journal of haptic research, volume 4, number 5*.
- Blausen.com staff (2014). Free nerve endings of the skin. Blausen gallery 2014. *Wikiversity Journal of Medicine*. Lainattu 12.04.2015, saatavilla: <http://dx.doi.org/10.15347/wjm/2014.010>
- Bosman, S., Groenendaal, B., Findlater, J.W., Visser, T., de Graaf, M. & Markopoulos, P., (2003). GentleGuide: An exploration of haptic output for indoors pedestrian guidance. In Chittaro, L. (Ed.), *Proceedings of Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services: 5th International Symposium, Mobile HCI 2003* (pp. 358 – 362). Springer.
- Bowditch, N. (1802). *The American Practical Navigator*. The United States government.

- Brewster, S. & Brown, L.M. (2004). Tactons: structured tactile messages for non-visual information display. In Cockburn A. (Ed.) *Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface - Volume 28 (AUIC '04)* (pp. 15 - 23). Australian Computer Society, Inc. Darlinghurst, Australia.
- Breslin, P.A.S. (2011). Human Gustation and Flavour. In *Flavour and Fragrance Journal*, 16 (pp. 244 - 249).
- Brown, L. (2007). *Tactons: Structured Vibrotactile Messages for Non-Visual Information Display*.
- Brown, L.M., Brewster, S. A, & Purchase, H.C. (2006.) Multidimensional tactons for non-visual information presentation in mobile devices. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '06)*. (pp. 231 - 238). New York, NY: ACM.
- Brown, R. L., Galloway, W. D. & Gildersleeve, K. R. (1965). Effects of Intense Noise on Processing of Cutaneous Information of Varying Complexity. In *Perceptual and Motor Skills: Volume 20* (pp. 749 - 754). Southern Universities Press.
- Burnett, G. E. & Porter, J. M. (2002). An empirical comparison of the use of distance versus landmark information within the human-machine interface for vehicle navigation systems. In De Waard, D., Brookhuis, K.A., Moraal, J. & Toffetti, A. (Eds.) *Human Factors in Transportation, Communication, Health, and the Workplace*. Maastricht: Shaker Publishing.
- Choweliak, R. W. & Craig, J. C. (1984). Vibrotactile Pattern Recognition and Discrimination at Several Body Sites. In *Perceptual Psychophysiology*, 35 (pp. 503 - 514).
- Canalys. (2014). *Over 720,000 Android Wear devices shipped in 2014*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: [http://www.canalys.com/static/press\\_release/2015/canalys-press-release-20150211-over-720000-android-wear-devices-shipped-2014.pdf](http://www.canalys.com/static/press_release/2015/canalys-press-release-20150211-over-720000-android-wear-devices-shipped-2014.pdf)
- Cosgun, A., Sisbot, E.A. & Christensen, H.I. (2014). Guidance for Human Navigation using a Vibro-Tactile Belt Interface and Robot-like Motion Planning. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 6350 - 6355).
- Dale, R., Geldof, S. & Prost, J-P. (2002). Generating more natural route descriptions. In *Proceedings of the 2002 Australasian Natural Language Processing Workshop*. Canberra, Australia.

- Downs, R.M. & Stea, D. (1982). *Kognitive Karten: Die Welt in Unseren Köpfen*. New York: Harper & Row.
- Enriquez, M., Afonin, O., Yager, B. & Maclean, K. (2001). A pneumatic tactile alerting system for the driving environment. In *Proceedings of the 2001 workshop on Perceptive user interfaces (PUI '01)* (pp. 1 – 7).
- Enriquez, M. & MacLean, K. (2008). The role of choice in longitudinal recall of meaningful tactile signals. In *Proceedings of the 2008 Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems* (pp. 49 – 56). IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Feige, S. (2009) Can You Feel It? – Using Vibration Rhythms to Communicate Information in Mobile Contexts in *Human-Computer Interaction – INTERACT 2009 Lecture Notes in Computer Science Volume 5726* (pp. 800 – 803).
- Galan, W. (2014). *iPhone 6 Plus Teardown*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <https://www.ifixit.com/Guide/Image/meta/gphoSAywifZrXOxU>
- Galan, W. (2010). Dualshock 3 Vibration Motors Replacement. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <https://www.ifixit.com/Guide/Image/meta/DVcF4eWkVTS1fj2A>
- Geldard, F.A. (1960). Some Neglected Possibilities of Communication. In *Science* 131 (3413) (pp. 1583 – 1588).
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69, (pp. 477 – 491).
- Gluck, M. (1991). Making Sense of Human Wayfinding: Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction. In D. Mark and A. Frank (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space* (pp. 117 – 135).
- Goldberg, A. O. (2013) *Pebble Teardown*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <https://www.ifixit.com/Guide/Image/meta/WiyMgEfGXl3Bxonn>
- Goldstein, E. Bruce (2009). *Sensation & Perception* (8th ed.). Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.
- Golledge, R. (1999). *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. John Hopkins University Press.

- Gunther, E., Davenport, G., & O'Modhrain, S. (2002). Cutaneous grooves: composing for the sense of touch. In Brazil, E. (Ed.) *Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression (NIME '02)* (pp. 1 – 6). Singapore.
- Haapalainen, E., Kim, S., Forlizzi, J. F., & Dey, A. K. (2010). Psycho-physiological measures for assessing cognitive load. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '10)* (pp. 301 – 310). New York, NY: ACM.
- Heuten, W., Henze, N., Boll, S. & Pielot, M. (2008). Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. In *Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges (NordiCHI '08)* (pp. 172 – 181). New York, NY: ACM.
- Ho, C., Spence, C., & Tan, H. Z. (2005). Warning signals go multisensory. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 1 – 10). Lawrence Erlbaum Associates, Las Vegas, NV.
- Hoggan, E., and Brewster, S.A. (2006). Crossmodal spatial location: initial experiments. In: *4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 469 – 472). ACM.
- Hsiao, S. S., O'Shaughnessy, D. M. & Johnson, K. O. (1993). Effects of selective attention on spatial form processing in monkey primary and secondary somatosensory cortex. In *Journal of Neurophysiology Vol. 70 no. 1* (pp. 444 – 447).
- Jacko, J. & Sears, A. (Eds.). (2003). *The human-computer interaction handbook*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- JohnnyMrNinja (2012). Pebble Smartwatch. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pebble\\_watch\\_email\\_1.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pebble_watch_email_1.png)
- Karuei, I., MacLean K., Foley-Fisher, Z., MacKenzie, R., Koch, S. & El-Zohairy, M. (2011). Detecting vibrations across the body in mobile contexts. In *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems* (pp. 3267 – 3276).
- Kosonen, K. & Raisamo, R. (2006) Rhythm Perception through different modalities, In *Proceedings of Eurohaptics 2006* (pp. 365 – 369).
- Kray, C., Elting, C., Laakso, K. & Coors, V. (2003). Presenting route instructions on mobile devices. In *Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces (IUI '03)*. ACM.

- Loomis, J. M. & Lederman, S. J. (1986). Tactual perception. In Boff, K., Kaufman, L., & Thomas, J. (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance, Volume II*.
- Lovelace, K. L., Hegarty, M. & Montello, d. R. (1999). Elements of Good Route Directions in Familiar and Unfamiliar Environments. In Freksa, C. & Mark, D. M. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory: Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science (COSIT '99)* (pp. 65 – 82). Springer.
- Lylykangas, J., Surakka, V., Rantala, J., Raisamo, J., Raisamo, R. & Esa Tuulari (2009). Vibrotactile information for intuitive speed regulation. In *Proceedings of the 23rd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Celebrating People and Technology (BCS-HCI '09)* (pp. 112 – 119). Swinton, UK: British Computer Society.
- Lylykangas, J., Surakka, V., Rantala, J., & Raisamo, R. (2013.) Intuitiveness of vibrotactile speed regulation cues. In *ACM Transactions on Applied Perception (TAP) Volume 10 Issue 4*. ACM.
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. MIT Press.
- Madden, M. & Rainie, L. (2010). *Adults and Cell Phone Distractions*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: [http://www.pewinternet.org/~media/Files/Reports/2010/PIP\\_Cell\\_Distractions.pdf](http://www.pewinternet.org/~media/Files/Reports/2010/PIP_Cell_Distractions.pdf)
- Magnusson, C., Rassmun-Gröhn, K. & Szymczak, D. (2010). Angle sizes for pointing gestures. In *Proceedings of Workshop on Multimodal Location Based Techniques for Extreme Navigation* (pp. 33 – 36).
- Maguire, E.A., Burgess, N. & O’Keele, J. (1999) Human spatial navigation: Cognitive Maps, sexual dimorphism and neural substrates. In *Current Opinion in Neurobiology*, 9 (pp. 171 – 177).
- Mota (2014). Mota Smart Ring. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <https://www.mota.com/newsroom-product-photos/>
- Myers, D. G. (2012). *Exploring Psychology* (9th ed). Worth Publishers.
- Nagel, S. K., Carl, C., Kringe, T., Martin, R. & Konig, P. (2005). Beyond sensory substitution learning the sixth sense. In *Journal of Neural Engineering Vol. 2 Issue 4* (pp. R13 – R26).

- Pakkanen T., Lylykangas J., Raisamo J., Raisamo R., Salminen K., Rantala J. & Surakka V. (2008). Perception of low-amplitude haptic stimuli when biking. In *Proceedings of the 10th international Conference on Multimodal interfaces* (pp. 281 – 284). New York: ACM.
- Pielot, M. & de Oliveira, R. (2013). Peripheral vibro-tactile displays. In *Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '13)* (pp. 1 – 10). New York, NY: ACM.
- Pielot, M., Poppinga, B., Heuten, W. & Boll, S. (2011). 6th senses for everyone!: the value of multimodal feedback in handheld navigation aids. In *Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces (ICMI '11)* (pp. 65 – 72). New York, NY: ACM.
- Pielot M., Henze N. & Boll S. (2009). Supporting map-based wayfinding with tactile cues. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '09)*.
- Portugali, J. (1996). Introduction. In J Portugali (Ed.), *The Construction of Cognitive Maps*. Berlin: Kluwer Academic Publishers.
- Purves, D. (2008). *Neuroscience* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Rainio, A. (2001) Location Based Services and Personal Navigation in Mobile Information Society. In *Proceedings of International Conference FIG Working Week* (pp. 6 – 11).
- Raisamo R., Nukarinen T., Pystynen J., Mäkinen, E. & Kildal, J. (2012). Orientation Inquiry: A New Haptic Interaction Technique for Non-visual Pedestrian Navigation. In Isokoski Poika, Springare Jukka (Eds.) *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication : International Conference, Euro-Haptics 2012, Tampere, Finland, June 13-15, 2012. Proceedings, Part II* (pp. 139 – 144). Heidelberg: Springer.
- Raysonho (2014). *Moto 360*. Lainattu 12.04.2015, saatavilla: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moto360Cropped.JPG>
- Sarter N.B. (2000). The Need for Multisensory Interfaces in Support of Effective Attention Allocation in Highly Dynamic Event-Driven Domains: The Case of Cockpit Automation. In *International Journal of Aviation Psychology, volume 10, issue 3* (pp. 231 – 245).
- Sarter N.B. (2007). Multiple-Resource Theory as a Basis for Multi-modal Inter-



- face Design: Success Stories, Qualifications, and Research Needs. In Kramer, A.F., Wiegmann, A.F. & Kirlik, A. (Eds.) *Attention: From Theory to Practice* (pp. 187 – 195). Oxford University Press.
- Sherrick, C. E. (1985). A scale for rate of tactual vibration. In *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78(1) (pp. 78 – 83).
- Sherrick, C.E. & Craig, J.C. (1982). The Psychophysics of Touch. In Schiff W. & Foulke E. (Eds.) *Tactual Perception: A Sourcebook* (pp. 55 – 81). Cambridge University Press.
- Srikulwong, M. & O’Neill, E. (2013). Wearable Tactile Display of Directions for Pedestrian Navigation: Comparative Lab and Field Evaluation. In *Proceedings of World Haptics Conference 2013* (pp. 503 – 508).
- Summers, I.R. (2000). Single Channel Information Transfer Through the Skin: Limitations and Possibilities. In *Proceedings of ISAC 00*.
- Thorndyke, P. W. (1981). Distance estimations from cognitive maps. In *Cognitive Psychology*, volume 13, issue 4 (pp. 526 – 550).
- Thorndyke, P. W. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. In *Cognitive Psychology*, volume 14, issue 4 (pp. 560 – 589).
- Tversky, B. (2003). Navigating by mind and by body. In C. Freksa, W. Brauer, C. Habel, K. & F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition III: Routes and Navigation, Human Memory and Learning, Spatial Representation and Spatial Reasoning* (pp. 1 – 10). Springer.
- Vainio, T. (2009). Exploring Multimodal Navigation Aids for Mobile Users. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2009 Lecture Notes in Computer Science Volume 5726* (pp. 853 – 865).
- Van Erp, J. B. F., Van Veen, H. A. H. C., Jansen, C. & Dobbins, T. (2005). Waypoint Navigation with a Vibrotactile Waist Belt. In *ACM Transactions on Applied Perception (Tap)* (pp. 106 – 117).
- Van Erp, J. B. F. & Verschoor, M. H. (2004). Cross-modal visual and vibrotactile tracking. In *Applied Ergonomics*, 35(2) (pp. 105 – 112).

- Van Erp, J. B. F. (2002). Guidelines for the use of vibro-tactile displays in human computer interaction. In *Proceedings of Eurohaptics 2002* (pp. 18 - 22).
- Van Doren, C.L., Gescheider, G.A., and Verillo, R.T. (1990). Vibrotactile temporal gap detection as a function of age. In *Journal of the Acoustical Society of America* 87 (5) (pp. 2201 - 2206).
- Vesselkov A. & Hämmäinen H. (2015). *Mobile Handset Population in Finland 2005-2014*. Lainattu 12.4.2015, saatavilla: <http://materialbank.aalto.fi/public/5d85f2fec85F.aspx>
- Wickens C.D. & Carswell C.M. (1997). Information Processing. In Salvendy G. (Ed.) *The handbook of human factors and ergonomics* (2nd ed.) (pp. 89 - 129). Wiley.

## **Liite 1. Tutkimukseen osallistujan suostumislomake**

Informaatiotieteiden tiedekunta, Tampereen yliopisto

Tero Kivinen

Teen pro gradu -tutkielmaani Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen maisteriohjelman. Osana tutkielmaa järjestän pienen käyttäjätutkimuksen.

Tutkimuksessa sinua videokuvataan, kun kävelet lyhyen reitin älykellon tuottamien värinäpalauteohjeiden mukaan. Lisäksi reitistä tallennetaan GPS-jälki. Lopuksi sinua pyydetään täyttämään kyselylomake ja antamaan kommentteja kokeesta ja värinäpalautteesta.

Tallennettua materiaalia käytetään ainoastaan värinäpalauteopastuksen arviointiin. Tallenteet tuhoetaan tutkimuksen päätyttyä. Tutkielmassa ei esitetä sinun nimeä tai henkilötietoja. Voit keskeyttää testin halutessasi.

Allekirjoittamalla tämän lomakkeen osallistut tutkimukseen ja hyväksyt yllä olevat ehdot.

Päivämäärä

Allekirjoitus

Nimenselvennys

## Liite 2. Taustatietolomake

Vastaa alla oleviin kysymyksiin tutkimukseni taustatietoja varten. Tiedot tallennetaan nimettömänä, täytä ainoastaan tutkimuksen tekijän antama tunnistetieto, jotta taustatiedot saadaan yhdistettyä varsinaisen kokeen tuloksiin.

1. Sukupuoli:
2. Ikä:            vuotta
3. Oletko käyttänyt ennen jalankulkunavigaattoria (esimerkiksi Google Maps -sovelluksen tai Here Maps -sovelluksen jalankulkutila)?
4. Oletko käyttänyt ennen autonavigaattoria?
5. Oletko käyttänyt ennen älykelloa?
6. Koetko, että sinulla on normaali tuntoaisti ranteessasi?

Koehenkilön tunniste (Tero täyttää):

### Liite 3. Kyselylomake

Ympyröi sopivin vaihtoehto alla esitettyihin väittämiin kokeesta. 1=Täysin eri mieltä, 2=Jokseenkin eri mieltä, 3=Ei samaa eikä eri mieltä, 4=Jokseenkin samaa mieltä, 5=Täysin samaa mieltä

	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1. Ymmärsin, mikä kokeen tarkoitus oli	1	2	3	4	5
2. Värinäpalauteohjeet olivat helposti opittavia	1	2	3	4	5
3. Muistin värinäpalauteohjeet kokeen ajan	1	2	3	4	5
4. Tunnistin värinäpalauteohjeet kokeen aikana	1	2	3	4	5
5. Värinäpalauteohjeet häiritsivät keskittymistäni	1	2	3	4	5
6. Reittiohjeet annettiin navigoinnin kannalta oikeassa kohdassa	1	2	3	4	5
7. Värinäpalaute oli tarpeeksi voimakas	1	2	3	4	5
8. Värinäpalaute oli sopivan kestoinen ajallisesti	1	2	3	4	5
9. Älykello häiritsi minua	1	2	3	4	5

Koehenkilön tunniste (Tero täyttää)

#### **Liite 4. Haastattelukysymykset**

Koitko värinäpalautteen ärsyttäväksi?

Koitko älykellon miellyttäväksi tai epämiellyttäväksi?

Minkälaisia jatkokehitysideoita sinulla on värinäpalautteella annettavaan reit-  
tiopastukseen?

Kaipasitko ääni- tai visuaalista opastusta testin aikana?

Luottaisitko värinäpalautteella annettavaan opastukseen vieraassa paikassa?

Mitä huomasit reitin varrelta?