

# HAPTISET KÄYTTÖLIITTYMÄT

Miikka Peltola

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2011  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Ohjelmistotekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

**TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Tampere University of Applied Sciences**

## TIIVISTELMÄ

Tampereen Ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Ohjelmistotekniikka

PELTOLA, MIIKKA: Haptiset Käyttöliittymät

Opinnäytetyö 31 s.  
Kesäkuu 2011

---

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia haptisten eli tuntoaistiin perustuvien käyttöliittymien tuomia mahdollisuuksia sekä kehitystyön nykyistä tilaa maailmalla. Lähdemateriaalina käytettiin internetistä löytyviä tutkimuksia ja muita kirjallisia lähteitä. Ihminen käyttää tuntoaistiaan jokapäiväisessä elämässä. Tuntoaisti on tärkein aistimme, mutta sen hyödyntäminen on tietotekniikassa ollut vähäistä verrattuna näkö- ja kuuloaistiin. Ihmisen tuntoaisti on todella tarkka, ja se kykenee erottamaan paljon erilaisia tuntopalautteita toisistaan. Haptisella eli tuntoaistiin perustuvalla teknologialla ja sen eteen tehtävällä tutkimustyöllä yritetään tehdä tuntoaistin hyödyntämisestä osa jokapäiväistä teknologiaa.

Haptisia laitteita on kehitetty ja alaa on tutkittu runsaasti ympäri maailmaa. Nykypäivänä tavalliset ihmiset törmäävät haptiikkaan esimerkiksi puhelimen tai peliohjaimen väristessä. Kallis tutkimus ja laitteiden valmistus on ajanut haptiset käyttöliittymät lähinnä yritys- ja opetuskäyttöön, eikä tavallisille kuluttajille suunnattuja läpimurtoja ole vielä muutamaa yksinkertaista ratkaisua lukuun ottamatta tapahtunut.

Haptiikka on vasta lapsenkengissä ja löytämässä tietään jokapäiväiseen elämäämme. Laitteiden ja erilaisten tuntopalautteiden kehitys jatkuu ja yhä useampi kannettava laite tulee sisältämään jonkunlaista haptista teknologiaa. Tulevaisuudessa voimme hyvinkin käyttää sykemittareita, jotka värisevät kun syke on liian matala tai korkea asetettuun tavoitteeseen verrattuna, tai pitää ranteissamme pieniä rannekkeita, jotka värisevät esimerkiksi GPS-laitteen ohjaamana, kun tulossa on risteys tai kun ajamme ylinopeutta.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences

Computer Systems Engineering

Software Engineering

PELTOLA, MIIKKA: Haptic Interfaces

Thesis 31 pages

June 2011

---

The purpose of this work was to study the possibilities of haptic technology by reviewing literature. We use our sense of touch in everyday life and it is considered to be our most important sense, but computer science in the past has mostly ignored the importance of it. Vision and hearing dominate how we use our computers and other technical equipment and how they are designed. The remarkably precise human skin can distinguish many different kinds of stimulation and tell apart slight changes in vibration and touch. These haptic feedback methods are being researched throughout the world, and researchers are making a massive effort to bring haptic technology to everyday use for consumers.

The regular consumer interacts with simple haptic feedback and devices on a daily basis. When your phone or game controller vibrates it is giving you a form haptic feedback. Yet this technology has a lot more to offer and expensive research and manufacturing of proper haptic devices is underway by many companies all over the world. From giving the human hand the possibility to touch virtual three-dimensional objects to giving surgeons simulated training for how the human tissue feels like before operating on actual people, haptic technology offers many alternatives to how we perceive technology today.

While still being a relatively new field of research, haptics has already offered many interesting solutions and improvements on how we operate our computers and technology. In future, haptic feedback will develop and evolve and be an increasingly big part of our everyday life. One could easily see portable heart rate monitors vibrating when your heart is beating too fast or too slow compared with your target heart rate while running, or small, non-intrusive wristbands being remotely operated by your GPS device, vibrating when a turn is approaching or when you are speeding.

---

Key words: Haptics, haptic technology, interfaces

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	6
2	IHMISEN AISTIT .....	7
2.1	Tuntoaisti ja sen keskeisimmät funktiot .....	7
2.2	Erlaisia tuntoaistimia .....	8
2.2.1	Meissnerin kappale .....	9
2.2.2	Merkelin kiekko .....	9
2.2.3	Pacinin kappale .....	11
2.2.4	Ruffinin päte .....	12
2.2.5	Vapaa reseptori .....	12
2.3	Tuntoaistin tarkkuus .....	13
2.4	Tuntoaisti ja teknologia .....	13
3	HAPTINEN TEKNOLOGIA .....	14
3.1	Haptiikka ja sen historia .....	14
3.2	Haptisen palautteen eri muodot .....	14
3.2.1	Värinä (Vibrotactile feedback) .....	14
3.2.2	Voimapalaute (Force Feedback) .....	15
3.2.3	Ihon venytys .....	16
3.3	Ensimmäiset askeleet näkövammaisten apuvälineenä: Braille .....	16
3.4	Mekaaniset haptiset laitteet .....	18
3.5	Haptiset laitteet ja tietotekniikka .....	18
3.6	Haptiikka ja virtuaalitodellisuus .....	19
3.7	Haptiikka ja emootio .....	19
4	ESIMERKKEJÄ HAPTISISTA LAITTEISTA .....	21
4.1	HAPIMM-projekti .....	21
4.2	Haptiikka matkaviestimissä .....	21
4.3	PHANTOM-sarjan haptiset kynät .....	22
4.4	HIRO, Haptic Interface Robot .....	24
4.5	Logitech iFeel ja Wingman Force Feedback-hiiret .....	25
4.6	Maglev Haptics™ .....	25
4.7	Novint Falcon .....	26
4.8	Nintendo Wii .....	26
5	YHTEENVETO .....	28

### LÄHTEET

## LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

Braille	Pistekirjoitus
Degrees of Freedom (DOF)	Vapausasteet, pienin määrä riippumattomia koordinaatteja, joilla voidaan määrittää tietyn mekanismin asento.
Haptinen	Tuntoaistiin perustuva
Hz	Taajuus, hertsi
Multimodaalinen	Moniaistinen

## 1 JOHDANTO

Ihminen on perustoiminnoiltaan multimodaalinen toimija. Käytämme jokapäiväisessä elämässä kaikkia toimivia aistejamme. Nykyajan tietotekniikassa käytetään pääasiassa ihmisen viidestä perusaistista kahta: näkö- ja kuuloaistia.

Tämän työn tarkoituksena on tutustua haptiseen eli tuntoaistiin perustuvaan teknologiaan ja haptisten käyttöliittymien edistymiseen maailmalla ja tutkia aihetta ja sen tuomia mahdollisuuksia.

Työn teoria on jaettu neljään eri osaan. Ensimmäisessä osassa tutustutaan ihmisen tuntoaistiin ja pohditaan, minkälainen tuntopalaute käyttöliittymiin sopisi parhaiten. Toisessa osassa tutkitaan haptista teknologiaa yleisesti, sen etuja ja mahdollisuuksia sekä siihen liittyviä termejä ja yleistyksiä. Kolmannessa osassa esitellään maailmalla jo kehitettyjä ja suunniteltuja haptisia käyttöliittymiä ja haptisen teknologian uusia innovaatioita. Neljäs osa koostuu kirjoittajan omasta näkemyksestä ja tutkimuksen perusteella tehdyistä päätelmistä haptiikan tulevaisuudesta ja sen tuomista mahdollisuuksista ihmisten jokapäiväisessä elämässä.

## 2 IHMISEN AISTIT

Ihmisen aistien lukumäärä riippuu määrittelijästä, mutta useimmiten perusaistit jaotellaan viiteen eri ryhmään: makuaisti, hajuaisti, näköaisti, kuuloaisti ja tuntoaisti. Monissa määritelmässä näiden viiden lisäksi mainitaan myös tasapainoaisti ja sisätuntemusaisti. Eläinkunnasta poiketen hajuaisti ei ole ihmiselle kovin tärkeä aisti, vaan elämämme ylläpitoon tärkeimmät aistimme ovat näkö-, kuulo- ja tuntoaisti. (Raisamo 2002. 5–6).

### 2.1 Tuntoaisti ja sen keskeisimmät funktiot

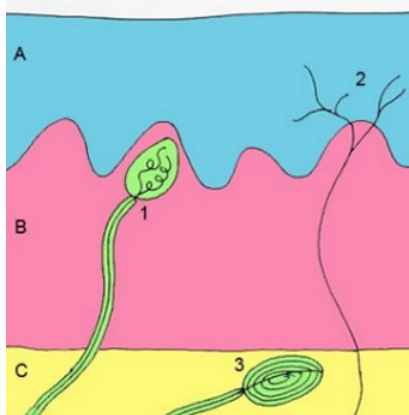
Tuntoaisti on osa ihmisen somatosensorista järjestelmää, johon kuuluu kosketustunnon lisäksi lämpö-, kylmä-, kipu-, asento- ja liiketunto. Tässä opinnäytetyössä tuntoaisti -termillä tarkoitetaan yleisesti näitä kaikkia tunteja, vaikka suurella osalla varsinaisena kohteena onkin kosketustunto. Tuntoaisti eroaa muista aisteistamme siten, että sen aistimia on ympäri kehoa eikä vain tietyillä alueilla. Tuntoaisti on toiselta nimitykseltään ihoaisti, koska sen pääasiallinen toiminto on viestittää aivoille tietoa kaikesta mikä on kosketuksissa ihoon. Iho on ihmisen elimistä suurin, aikuisella miehellä se voi olla jopa 18 000 cm<sup>2</sup>. (Raisamo 2002).

Vaikka tuntoaistin pääasiallinen tarkoitus onkin estää elimistöä vaurioitumasta, käyttää ihminen sitä automaattisesti paljon muuhunkin. Ilman tuntoaistia ei ihminen pystyisi juuri mihinkään; sen ansiosta tiedämme missä asennossa nivelemme ovat kävellessä, koska puristamme jotain esinettä tarpeeksi, ettei se putoa mutta emme liian kovaa, ettei se hajoa, ja koska elimistömme yrittää viestiä meille jostain ongelmasta kuten murtuneesta luusta. Tuntoaistin avulla osamme tehdä nopeita havaintoja esimerkiksi kädessä pitämämme esineen painosta, muodosta, tekstuurista ja koosta. Tuntoaisti on siis hyvin todennäköisesti tärkein aistimme ja ainoa, jota ilman olisi selviäminen ja normaalin elämän eläminen lähes mahdotonta. (Raisamo 2002; Häkkinen 2010). Tästä hyvänä esimerkkinä ovat CIPA (Congenital Insensitivity to Pain) -nimistä geneettistä sairautta sairastavat ihmiset, joilta puuttuu geneettisen sairauden takia kipuaisti kokonaan. Puolet CIPAA sairastavista potilaista kuolevat alle kolmivuotiaina. (Lambert).

Yleisesti tiedetty asia on myös se, että ihminen kompensoi menettämiään aisteja vahvistamalla muita aistejaan. Esimerkiksi näkövammaisten kuulo- ja tuntoaistit herkistyvät huomattavasti verrattuna terveisiin ihmisiin. Ihmisen tuntoaisti paranee ns. distaalisesti, eli se on parempi lähempänä raajojen ääripäitä. Tästä syystä herkimät tuntoalueet sijaitsevat etenkin varpaissa ja sormien päissä. (Häkkinen 2010). Tutkimusten mukaan pelkästään käsissä on noin 17 000 tuntoaistinta ja sormenpäissä jopa 135 aistinta neliösenttimetriä kohti (Raisamo 2002, 6).

## 2.2 Erilaisia tuntoaistimia

Ihmisellä on pääasiassa viisiä tämän aiheen yhteydessä kiinnostavia erilaisia tuntoaistisoluja eli hermopäätteitä: Merkelin kiekko, Rufflinin pääte, Pacinin kappale, Meissnerin kappale ja vapaat reseptorit eli hermopäätteet. Näistä jokaisella on itselleen ominainen toiminta, tarkoitus ja rakenne. Yhdessä ne muodostavat monimuotoisen tuntoaistin, joka mahdollistaa ihmisille ja eläimille normaalin elämän. Merkelin kiekot tuntevat parhaiten hidasta painamista, Meissnerin keräset liikettä ja hidasta värinää tai taputusta, Ruffinin lieriöt havaitsevat ihon venymistä ja Pacinin keräset nopeaa värinää ja liikettä. Käytännössä tunteminen on kuitenkin niin mutkikasta ja eri aistinsolut ovat niin herkkiä, että ne kaikki aktivoituvat kosketuksesta. Kuvioista 1 näemme, miten erilaiset aistimet sijoittuvat ihokerrokseen. (Häkkinen 2010).

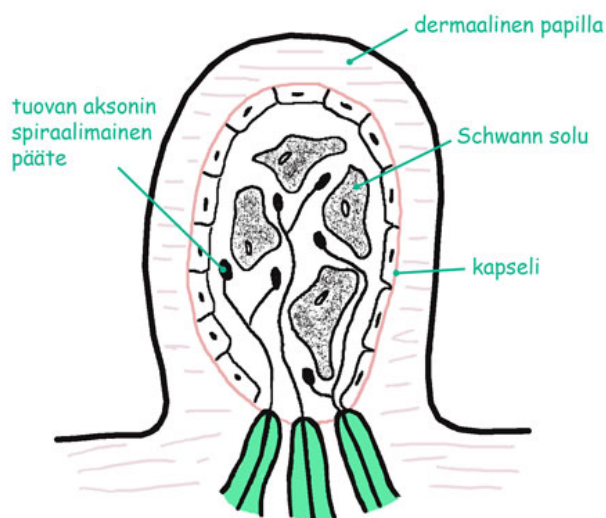


KUVIO 1. Eri hermopäätteiden sijainti ihon osissa. 1 = Meissnerin kappale, 2 = Vapaa Hermopääte, 3 = Pacinin kappale, A = Orvaskesi, B = Verinahka, C = Ihonalaiskudos (Suomen virtuaaliyliopisto 2006)

### 2.2.1 Meissnerin kappale

Meissnerin kappaleet (toiselta nimeltään Meissnerin keräset) sijaitsevat verinahan ylemmässä kerroksessa etenkin sormissa ja varpaissa, mutta runsaasti myös huulissa, kämmenissä ja jalkapohjissa (Suomen virtuaaliyliopisto 2006). Kuviosta 2 nähdään aistimen sylinterimäinen rakenne. Meissnerin keränen reagoi varsinkin nopeaan paineen muutokseen, eli kosketuksen alku- ja loppuhetkeen. Tästä syystä Meissnerin keräset ovat erittäin hyviä havaitsemaan ihoon kohdistuvaa matalataajuisia n. 3–40 Hz värinää (Häkkinen, J. 2010). Tunteus vähenee ja katoaa pidempiaikaisessa, muuttumattomassa kosketuksessa. Tästä syystä ihminen ei paikallaan ollessaan esimerkiksi tunne omia vaatteitaan. (Wikipedia 2011a).

Aktiivisten Meissnerin kerästen lukumäärä ihossa putoaa noin neljäsosaan ikävuodesta 12 ikävuoteen 50 mennessä. Vähentyminen on verrannollinen pienten yksityiskohtien erottamiseen iholla ikävuosien karttuessa. (Häkkinen 2010).



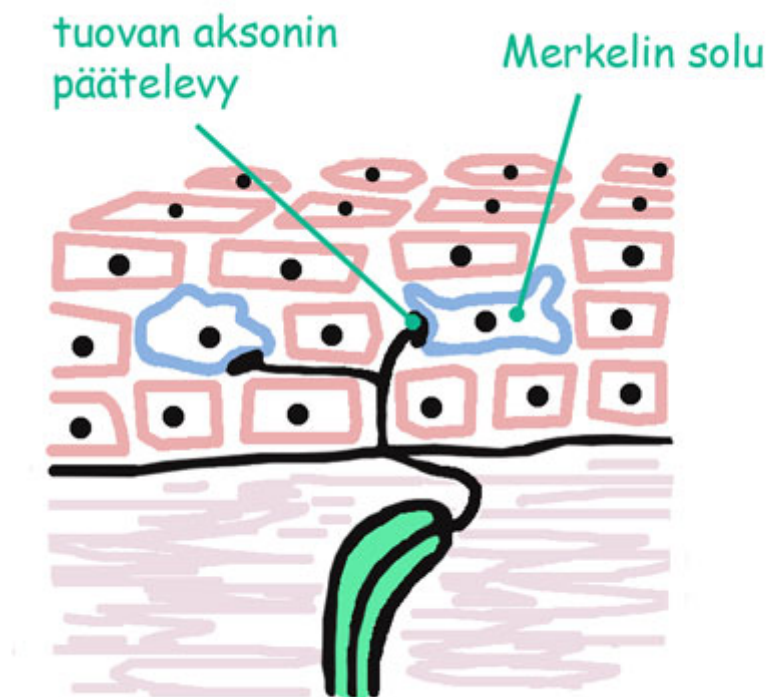
KUVIO 2. Meissnerin kappale (Solunetti histologia)

### 2.2.2 Merkelin kiekko

Merkelin kiekot sijaitsevat orvaskeden tyvikerroksissa, ja niitä esiintyy eniten samoilla alueilla Meissnerin kappaleiden kanssa eli esimerkiksi sormenpäissä ja varpaissa, mutta

myös nenässä, karvatupissa ja suun limakalvoissa (Solunetti histologia). Kuvio 3 voidaan päätellä tuntoaistimen toiminta: hermopäätte aktivoituu kun Merkelin solun muoto muuttuu ihon painuessa. Näitä hermopäätteitä on Meissnerin kerästen kaltaisesti runsaasti sormenpäiden nystyröissä, jotka muodostavat ihmisen sormenjäljet. (Wikipedia 2011b).

Nämä varsinkin painamiseen hyvin reagoivat solut ovat tutkimusten mukaan tärkeitä tarkkojen pinnanmuotojen tuntemisessa. Uskotaan, että ilman Merkelin kiekkoja ei ihminen voisi lukea Braille-pistekirjoitusta niin hyvin (Wikipedia 2011b). Merkelin kiekot ovat herkkimmät tuntokappaleet havaitsemaan matalataajuista, noin 0,3-3 Hz:n värinää. Nämä tuntoaistimet niin sanotusti laukeavat eli lähettävät tietoa kosketuksesta aivoille helpoiten pienehköjen pintojen kosketuksesta, ja vähemmän tasaisista pinnoista tai loivista pinnanmuotojen muutoksista. Tuntopalaute on ennemminkin paineen tunnetta kuin värinää. (Häkkinen 2010).

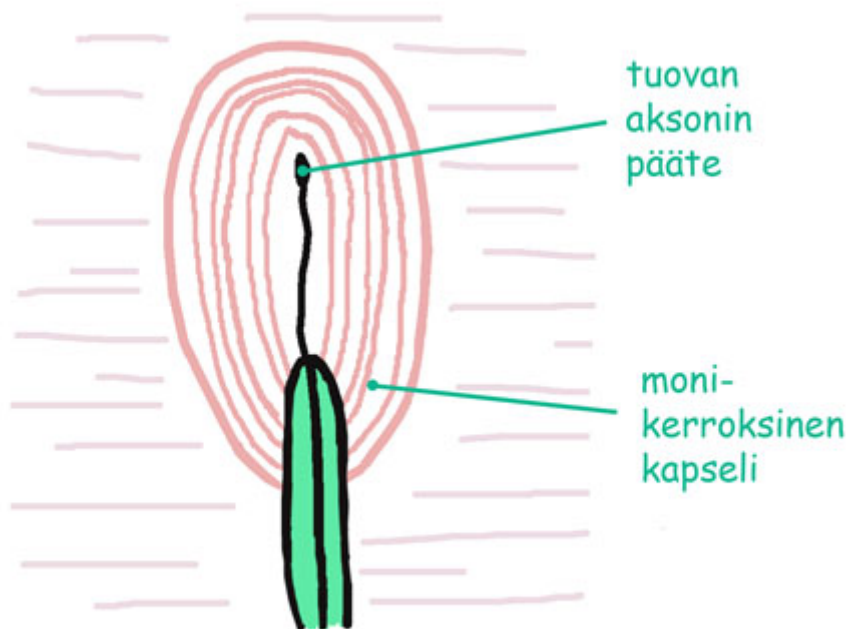


KUVIO 3. Merkelin kiekko (Solunetti histologia)

### 2.2.3 Pacinin kappale

Myös Pacinin keräsiksi kutsutut kappaleet ovat verinahan alaosissa ja ihonalaiskudoksessa sijaitsevia hermopäätteitä, jotka aistivat mekaanista painetta ja värinää. Näitä kappaleita sijaitsee lähinnä sormenpäissä sekä nivelten, luukalvojen ja sisäelinten yhteydessä. (Suomen virtuaaliyliopisto 2006). Kuviosta 4 näemme kappaleen kerroksaisen kapselirakenteen, jonka sisällä itse hermopääte on. Pacinin kappaleet ovat rakenteeltaan samankaltaisia Meissnerin kerästen kanssa. Nämä reseptorit mukautuvat ärsykkeeseen nopeasti, eli Meissnerin kerästen tapaan ne havaitsevat parhaiten kosketuksen alku- ja loppuvaiheen. Tästä syystä ne eivät anna aivoille tietoa esimerkiksi kosketuksen jatkuvuudesta. Pacinin kappaleet ovat erittäin herkkiä paineen muutoksille, ja ne havaitsevat esimerkiksi puhalluksen iholle. (Häkkinen 2010).

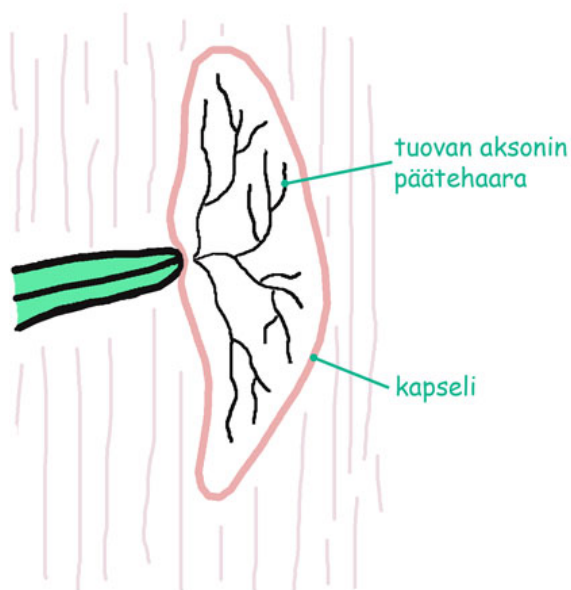
Pacinin kappaleet aistivat herkästi varsinkin suuria paineenvaihteluita (muutosta kosketuksen intensiteetissä) ja korkeataajuisia (10–500 Hz) värinää, jota ne voivatkin havaita joka senttimetrin päästä. (BioMag Laboratorio; Häkkinen, J. 2010)



KUVIO 4. Pacinin Kappale (Solunetti histologia).

### 2.2.4 Ruffinin pääte

Ruffinin pääte eli keränen sijaitsee ainoastaan ihon karvattomalla alueella. Edellisistä tuntoaistimista poiketen Rufflinin päätteet kykenevät aistimaan jatkuvaa kosketusta. Kuviosta 5 voidaan nähdä aistimen yksinkertainen kapseloitu rakenne. Nämä tuntoaistimet havaitsevat ihon venymistä, ja niiden ansiosta ihminen tuntee esimerkiksi sormenpäissään liukuvan esineen. Ruffinin päätteet reagoivat 15–400 Hz taajuiseen vaihteluun. (Häkkinen 2010). Nivelissä päätteet havaitsevat kulman muutosta jopa 2 asteen tarkkuudella sekä jatkuvia painetiloja (Wikipedia 2011c).



KUVIO 5. Ruffinin pääte (Solunetti histologia)

### 2.2.5 Vapaa reseptori

Vapaat hermopäätteet ovat ihon runsain sensorinen hermotyyppi. Joka puolella ihoa sijaitsevat vapaat hermopäätteet havaitsevat pääasiassa kipua, kylmää ja kuumaa, mutta myös kosketusta ja ihon venymistä. Koska vapaita hermopäätteitä on kiertynyt myös useimpien karvatuppien ympärille, ne aistivat myös karvojen liikkeitä. Vaikka vapaat hermopäätteet sijaitsevat lähinnä orvaskedessa lähellä ihon pintaa, on niitä myös lihaksissa ja jänteissä, joissa ne kertovat lihasten ja nivelien asennosta. (BioMag Brain Course 2001).

### 2.3 Tuntoaistin tarkkuus

Erilaisten tuntoaistimien ansioista ihminen kykenee tuntemaan suuren skaalan erilaisia ärsykeitä pienistä, hetkellisistä yksityiskohdista jatkuviin laaja-alaisiin pinnanmuotoihin, ja eritaajuisten värinöiden erottamiseen toisistaan. Jotkut hermopäätteistä reagoivat jopa 1 mikrometrin suuruisiin vaihteluihin. (Wikipedia, 2011c). Ihon erottelukykyä mitataan kaksipistekynnyksellä. Sillä tarkoitetaan pienintä etäisyyttä, jolla ihminen vielä erottaa kaksi pistettä toisistaan. Tämä riippuu tuntoaistimien tiheydestä iholla, ja on herkimmillään sormenpäissä. Sormenpäissä kaksipistekynnys on noin 1–2 millimetriä. (Häkkinen 2010).

### 2.4 Tuntoaisti ja teknologia

Kuten edellä olevista kappaleista voimme päätellä, on ihmisen tuntoaisti erittäin herkkä ja monimuotoinen, ja yhtenä tärkeimmistä ja tarkimmista aisteistamme sitä tulisi käyttää hyväksi myös teknologian jatkeena. Toistaiseksi käyttämättömien aistien käyttämisessä osana nykYTEknologiaa saadaan lisättyä tehokkuutta, havainnollisuutta ja tarkkuutta. (Söderström & Väyrynen 2010).

### 3 HAPTINEN TEKNOLOGIA

Haptinen teknologia on menneisyydessä mielletty lähinnä näkövammaisten apuvälineenä, johon sen alkuperäinen kehitys pitkälti perustuukin. Haptisella teknologialla yleisesti tarkoitetaan kaikkea tuntoaistiin perustuvaa interaktiota, josta tunnetuimpana esimerkkinä voidaan pitää maailmalla laajasti näkövammaisten käyttämää, sokeille ja erityäin huononäköisille kehitettyä Braille-pistekirjoitusta. (Näkövammaisten keskusliitto ry). Tietotekniikassa haptinen käyttöliittymä tarkoittaa sitä, että laite tuottaa käyttäjälle aktiivista tuntopalautetta kuten värinää, tai laite tunnistaa käyttäjän liikkeitä ja toimii niiden mukaisesti (Choi 2006).

#### 3.1 Haptiikka ja sen historia

Haptiikka ja sen merkitys terminä on muokkautunut vuosien saatossa. Sana Haptiikka tulee kreikankielisestä sanasta ”haptesthai”, joka tarkoittaa koskettaa, tarttua. Nykypäivänäkin sillä voidaan tarkoittaa myös muuta kuin tietotekniikkaan liittyvää haptista teknologiaa, kuten kosketukseen liittyvää psykologiaa (Potts 2000).

#### 3.2 Haptisen palautteen eri muodot

Erilaisia tuntopalautteita on tutkittu ja käytetään erilaisissa tilanteissa. Näistä yleisimmät ovat värinä, käyttäjän liikkeeseen kohdistetut myötäilevät tai vastustavat voimat, sekä tuoreimpana ihoa venyttämällä tai kiertämällä aiheutettu tuntopalaute.

##### 3.2.1 Värinä (Vibrotactile feedback)

Vaikka värinä onkin toistaiseksi eniten käytetty, melko yksitoikkoinen tuntopalaute, on pelkästään sen käytössä vielä paljon parannettavaa ja kehitettävää. Värinää tuottavia laitteita toteutetaan kahdella eri tavalla. Ensimmäinen, yleisesti matkapuhelimissa käytetty tapa on liittää pyörivään moottoriin epätasapaino, jolloin moottorin nopea pyöritys tuottaa värinän tunteen. Tällainen moottori on käytännössä erittäin helppo ja halpa to-

teuttaa, ja se vie laitteessa tilaa alle kuutiosenttimetrin verran. On myös mahdollista käyttää pieniä pietsosähköisiä laitteita, joihin johdetaan erilaisia aaltomuotoja värinän tuottamiseksi. Jälkimmäisessä värinän voimakkuutta ja taajuutta voidaan muokata tarkemmin, vaikka se onnistuu molemmilla moottorityypeillä. (Bark et al. 2008).

Värinähälytys on ollut vakiona lähes kaikissa matkapuhelimeissa jo yli kymmenen vuotta, mutta lähivuosina sitä on opittu hyödyntämään uusilla, hienostuneemmilla tavoilla. Esimerkiksi vuoden 2009 loppupuolella Nokia Beta Labs esitteli uuden näkövammaisille suunnatun ohjelman, joka kosketusnäyttöä ja värinää hyväksikäyttäen mahdollistaa tekstiviestien lukemisen pistekirjoituksen tapaan. Ohjelmisto on kehitetty yhteistyössä Tampereen Yliopiston ja Näkövammaisten Keskusliitto Ry:n kanssa. (Nokia Beta Labs 2009). Se liittyy läheisesti Tampereen Yliopiston, Tampereen Teknillisen Yliopiston ja Stanfordin yliopiston yhteiseen HAPIMM (Haptic perception and interaction in mobile and multimodal contexts) -projektiin, jossa tutkitaan haptisia käyttöliittymiä ja kehitetään uusia tuntopalautemenetelmiä. Projektista lisää myöhemmin tekstissä. (HAPIMM-projekti 2009).

### 3.2.2 Voimapalaute (Force Feedback)

Jo yli kymmenen vuotta varsinkin pelimaailmassa tuttu termi Force Feedback on niin ikään haptista tekniikkaa. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi rattiohjaimen ohjattua vastusta, joka vastustaa ratin kääntämistä muun muassa vauhdin ja kääntämiskulman mukaan. Samanlaisia toimintoja on nähty myös tietyissä sauvaohjaimissa, kuten Microsoft Force Feedback Pro. (Kato)

Toisaalta kaikkea ihmisen liikettä vastustavaa haptiikkaa voidaan kutsua tällä nimellä, koska silloin ihmisen käteen kohdistetaan jonkunlaista voimaa. Tämän takia Force Feedback onkin yksi haptiikan perustermejä, jolla on tilanteesta riippuen useita erilaisia käyttötarkoituksia.

Force Feedback on ihmiselle luonnollinen tapa kokea haptista palautetta virtuaalisista ympäristöistä, koska sillä simuloidaan oikeaa kosketusta. Tavoitteena on, että virtuaali-

sen objektin koskettaminen haptisen käyttöliittymän kautta tuntuisi samalta, kuin sen fyysisen vastakappaleen koskettaminen kädellä.

### 3.2.3 Ihon venytys

Uudempi ja tuntemattomampi haptisen palautteen menetelmä on ihon venytys kiertämällä. Karlin Bark kumppaneineen vertaili vuonna 2008 ihon venytystä ja värinäpalautetta toisiinsa tuloksien ja käyttäjän näkökulmasta. Testeissä yritettiin käyttää näitä kahta runsaasti toisistaan poikkeavaa menetelmää mahdollisimman samankaltaisella tavalla, etteivät tulokset vääristyisi. Ihon kiertämiseen käytettiin käsivarteen teipillä liitettyä pyörivää mekaanista laitetta, jota voitiin kiertää alkuasennostaan  $\pm 45$  astetta. Testien perusteella saatiin selville, että tietyissä tilanteissa ihoa venyttämällä saadaan aikaiseksi käyttäjän kannalta tarkempaa tuntopalautetta, joka ohjaa käyttäjää oikeaan suuntaan. Virheiden määrä pieneni lähes kaikilla testihenkilöillä ihoa venytettäessä, kun virheitä verrattiin värinäpalautteeseen. (Bark et al. 2008)

### 3.3 Ensimmäiset askeleet näkövammaisten apuvälineenä: Braille

Ensimmäinen laajalti käytetty, ja lähes kaikkien tuntema haptinen teknologia on sokeille kehitetty Braille-pistekirjoitus. Menetelmän kehitti Ranskalainen Lous Braille vuonna 1825. Menetelmän perusidea on yksinkertainen: kuudella kohotetulla pisteellä mahdollistetaan 63 erilaisen merkin muodostaminen. Kirjoitusta luetaan liikuttamalla sormeja merkkirivistöä pitkin vasemmalta oikealle ja ylhäältä alaspäin. Pistekirjoitus ei siis ole kieli, vaan aakkosiin verrattavissa oleva kirjoitusjärjestelmä, joka on perusteiltaan samanlainen kaikkialla maailmassa. (Näkövammaisten Keskusliitto ry). Pistekirjoituksessa yhden merkin pisteet ovat 2,3 mm päässä toisistaan, joten normaaliaistisen ihmisen on helppo erotella pisteet toisistaan sormenpäiden reseptoreiden avulla (Häkkinen 2002).

Tietotekniikassa brailleen lukemiseen käytetään kuvan 1 mukaista erillistä ulkoista laitetta, pistenäyttöä. Tämä laite kääntää näytöllä näkyvää tekstiä riveittäin, tai rivin osittain pistekirjoitukselle, jotka luetaan sormenpäillä erilliseltä näyttölaitteelta. Tietotekniikassa

käytettävässä pistekirjoituksessa on jokaista merkkiä kohden 2 lisäpistettä, joilla merkitään esimerkiksi isoja alkukirjaimia. Näin säästetään tilaa ja mahdutetaan yhdelle näyttöriville enemmän informaatiota. 8-pisteisen järjestelmän oppiminen on yleensä pistekirjoitusta osaavalla helppoa. (Näkövammaisten Keskusliitto ry).



KUVA 1. Nykyaikainen langaton pistekirjoitusnäyttö (Apple Computers Inc.)

Toinen tietotekninen pistekirjoitustyökalu on kuvassa 2 näkyvä pistekirjoitin. Laite muistuttaa ulkonäöllisesti tavallista tulostinta, mutta tulostus tapahtuu normaalia paksummalle paperille, ja tuloste on aakkosten sijaan pistekirjoitusta. (Näkövammaisten Keskusliitto ry).



KUVA 2. Pistetulostin (Aviris näönvälineet)

### 3.4 Mekaaniset haptiset laitteet

1900-luvun puolivälissä kehitettiin ensimmäiset mekaaniset haptiset laitteet, jotka mahdollistivat eräänlaisen laitteiden etäkäytön. Nämä yksinkertaiset, lähinnä vaijereista, kahvoista, varsista ja pihdeistä koostuvat laitteet mahdollistivat vaarallisten materiaalien käsittelyn ilman ihmisen kosketusta, ja mahdollistivat työskentelyn olosuhteissa, joiden lähelle olisi ollut muuten vaarallista mennä. 1940-luvulla näistä laitteista kehitettiin esimerkiksi ydinvoimaloissa käytettyjä laitekäyttöliittymiä, joissa ihmisen käden liikkeitä seuraava mekaaninen robottikäsi on kosketuksissa radioaktiivisten aineiden kanssa, eikä ohjaajalle aiheudu vaaraa. Myöhemmin nämä yksinkertaiset mekaaniset yhteydet korvattiin sähköisillä signaaleilla ja moottoreilla, joka mahdollisti huomattavan paljon hienovaraisemman ja tarkemman teknologian kehittymisen sekä robottikäsien ohjaamisen pidempien matkojen päästä ongelmitta. (Stone)

### 3.5 Haptiset laitteet ja tietotekniikka

Tietotekniikassa haptista teknologiaa on käytetty yleisesti esimerkiksi puhelinten värinäilytyksessä ja peliohjainrattien ”force feedback”-toiminnossa, jossa ratin kääntämiseen ohjataan vastusta muun muassa vauhdin ja liikkeen suuruuden mukaan realismia lisäämään. Tämä on kuitenkin kovin alkeellista toimintaa verrattuna siihen mitä teknikalta odotetaan tulevaisuudessa prototyyppien ja tutkimusten perusteella. Tarkoituksena on kehittää käyttöliittymiä ja teknologioita, joissa aktiivinen tuntopalaute on pääasia eikä vain pieni, useissa tapauksissa jopa hyödytön osa.

Seuraava suuri askel oli tietokoneiden kehitys. Aluksi tietokoneita käytettiin ainoastaan mekaanisten laitteiden ohjaukseen, mutta jo 1980-lukuun mennessä tietokoneilla luotiin näyttöjen avulla kolmiulotteisia maailmoja, jotka pitkän aikaa tuottivat kuitenkin vain visuaalista ja äänipalautetta ihmiselle. Vuonna 1993 MIT tutkijat kehittivät ensimmäisen laitteen, joka tuotti haptista ärsykettä sen käyttäjälle, mahdollistaen tietokoneella tehtyjen 3-ulotteisten objektien koskettamisen kädellä.

Nykyisin haptisten laitteiden ehkä tärkeimmät innovaatiot tehdään lääketieteen parissa. Esimerkiksi Immersion Technologies valmistaa erilaisia haptista palautetta antavia si-

mulaattoreita joilla lääkäreiksi opiskelevat voivat opiskella leikkauksia ja erilaisia toimenpiteitä ilman vaaraa potilaille.

### 3.6 Haptiikka ja virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan tietokoneella luotua kolmiulotteista, yleensä mahdollisimman realistiseksi luotua ympäristöä. Virtuaalitodellisuus on yleinen käsite, ja sitä käytetään erilaisissa simulaattoreissa, peleissä ja opetusympäristöissä. Valtava osa haptiikan nykytutkimuksesta käytetään tuomaan realismia näihin kolmiulotteisiin ympäristöihin. Aikaisemmin pelkästään visuaalista ja audittiivista palautetta ihmisille antava kolmiulotteinen tietokonemaailma saadaan tuntumaan realistisemmalta tuntopalautteen ansiosta. Pelkän näkemisen ja kuulemisen sijaan haptiikka antaa mahdollisuuden myös tunnustella objekteja, ja saada niistä tietoa kuten sen kovuus, joustavuus, pinnan liukkaus, paino ym. (Choi 2006; Burdea 1999). Tietokonemaailmassa kolmiulotteisia koskeltavia kappaleita kutsutaan nimellä Haptinen Virtuaalinen Objekti (Haptic Virtual Object, HVO) (Robles-De-La-Torre 2009).

### 3.7 Haptiikka ja emootio

Ympäriämme oleva maailma verkottuu koko ajan, ja sähköinen yhteydenpito ystäviimme ja tuttaviiimme helpottuu entisestään. Toisaalta olemme yhä useammin fyysisesti pitkän matkan päässä toisistamme, ja vaikka yhteydenpito nykyään onkin helppoa, puuttuu sähköisestä interaktiosta yksi tärkeä osa ihmisten kanssakäyntiä: kosketus. Kosketus on useimmissa ihmissuhteissa elintärkeä osa-alue. Kosketuksen välityksellä voidaan välittää kaikenlaisia tunteita kuten vihamielisyyttä, riippuvaisuutta, hoivaa ja seksuaalista kiinnostusta. Vaikka suurin osa tutkimustyöstä haptiikan parissa tehdäänkin ihmisen ja tietokonemaailman kommunikoinnin eteen, ovat useat maailmalla tehdyt tutkimukset perehtyvät ihmisten tietokoneen välityksellä tapahtuvaan haptiseen interaktioon. Tutkimusten mukaan ihmisten välisellä kosketuksella on suuri vaikutus mielialaan ja käyttäytymiseen. Suurimmat haasteet haptiikan tälläkin osa-alueella liittyvät käyttöliittymän suunnitteluun. (Smith 2003).

Vuonna 1997 Scott Brave ja Andrew Dahley kehittivät prototyypin haptiselle laitteelle, joka koostui kahdesta päätelaitteesta, jotka molemmat sisältävät kolme rullaa force feedback-toiminnolla. Verkon yli toimivien laitteiden käyttäjät voivat pyöritellä rullia haluamallaan tavalla ja liike toistuu toiseen päätelaitteeseen. Liikettä vastaan voi myös niin sanotusti taistella, jolloin toisessa päässä tuntuu vastusta rullan pyöriytyksessä. (Smith 2003; Brave et al. 1998).

Vuonna 2005 Florian Mueller kehitti laitteen, jolla kaukana toisistaan oleva pari voivat emuloida toistensa halaamista. Laitteeseen kuuluu päälle puettava liivi, jossa on ilmalla täyttyviä ilmataskuja. Kompressorin täyttäessä taskut ilmalla tulee liivin pitäjälle samanlaisia fyysisiä tuntemuksia kuin halauksesta. Signaali lähetetään pehmeän koalakarhun avulla, joka reagoi halaukseen ja lähettää toiselle liiville käskyn täyttää ilmataskut. Käyttäjien kokemukset olivat muuten positiivisia, mutta kompressorin ja ilmataskujen täyttymisen äänet häiritsivät tunnelmaa liikaa. (Smith 2003; Mueller 2005).

Hollannissa vuonna 2004 tehdyssä tutkittiin haptista vaihtoehtoa pikaviestimissä käytetyille hymiöille. Tutkimuksessa annettiin erilaisille hymiöille erilaisia värinäpalautteita. Värinät eroteltiin toisistaan erilaisella intensiteetillä, lyhyillä värinäsykäyksillä ja värinän voimistuvalla voimalla. Testeissä käytettiin kaupallisia Force Feedback-laitteita ja muutamia tutkijoiden itse rakentamaa, yksinkertaista prototyypilaitetta sekä tarkoitusta varten ohjelmoitua pikaviestiohjelmaa. (Rovers & van Essen 2004).

## 4 ESIMERKKEJÄ HAPTISISTA LAITTEISTA

Maailmalla on nähty jo paljon erilaisia haptisia käyttöliittymiä ja ominaisuuksia omaavia laitteita. Vaikka suurin osa näistä onkin ollut vasta erilaisia prototyyppisiä, on laitteita jonkun verran jo massatuotannossa myös tavallisille kuluttajille ja yrityksille, vaikka pääpaino onkin vielä tekniikan kehityksessä ja kalliissa tutkimustyössä.

### 4.1 HAPIMM-projekti

Hapimm (Haptic perception and interaction in mobile and multimodal contexts) -projekti on Tampereen yliopiston, Tampereen teknillisen yliopiston ja Stanfordin yliopiston välinen yhteishanke. Vuonna 2009 aloitettu yhteistyö jatkuu opinnäytetyön kirjoitushetkellä edelleen. Hankkeen pääasialliset tutkimusaiheet ovat pistekirjoitus värinäpalautteella, kokeellinen tutkimus haptiikasta ja emootiosta, tuntopalaute liikkuvan käyttäjän tukena, etäkommunikointi kosketuksen välillä, haptiset käyttöliittymät sekä uusien tuntopalaute menetelmien kehitys.

Uusien tuntopalaute menetelmien saralla on tullut ilmi, että värinä on hyvin monimuotoinen ja kehittämiskelpoinen tuntopalaute, jonka lisäksi ihoa kiertämällä tapahtuva venytys vaikuttaisi lupaavalta tuntopalaute menetelmältä. Ihon kiertäminen eli venytys perustuu eri tuntereseptoreiden ärsytykseen kuin värinä. Näitä yhdistelemällä saadaan enemmän valinnanvaraa erilaisten tuntopalauteiden välillä, ja näin ollen voidaan eri tuntopalauteiden avulla monipuolistaa tuntoaistimuksia käyttötärpeiden mukaan. (HAPIMM -projekti).

### 4.2 Haptiikka matkaviestimissä

Perinteisesti yleisin ja käytännössä lähes ainoa käytetty tuntopalaute matkapuhelimissa ja PDA-laitteissa on värinä. Viestin värisee kun se soi, vastaanottaa tekstiviestin, sähköpostin ym. jos käyttäjä näin haluaa. Värinän intensiteetti tai lyhyet, eri pituiset värinöiden sarjat saattavat erottaa tapahtumat toisistaan, jolloin käyttäjä tietää mitä puhelimesa tapahtuu pelkän värinän perusteella.

Uudemmissa kosketusnäytöllisissä puhelimissa tuntopalautetta käytetään myös esimerkiksi kirjoittamisessa. Puhelin kertoo värinällä käyttäjälle kun kirjainta painetaan tietyllä tapaa emuloiden mekaanisen näppäimen toimintaa. Jos värinää ei tunne käyttäjä tietää automaattisesti, ettei painallus rekisteröitynyt. Tällä pyritään parantamaan kirjoitustun- tumaa kosketusnäytöissä, joiden suurimpana heikkoutena pidetään kirjoituksen tunnot- tomuutta. (SensAble Industries). Toinen tapa antaa käyttäjälle tuntopalautetta painalluk- sesta on näyttötekniikka, jossa näyttöä painaessa tuntee mekaanisen liikkeen kuten nor- maalia nappia painettaessa. (Harris)

Yhdysvaltalainen Immersion-niminen yritys kehittää jatkuvasti varsinkin Android- puhelimille tarkoitettua MOTIV™ kehitysalustaa, jonka avulla ohjelmistokehittäjiä on helppo liittää ohjelmiinsa laadukkaita haptisia ominaisuuksia. (Immersion 2011)

#### 4.3 PHANTOM-sarjan haptiset kynät

PHANTOM (The Personal Haptic Interface Mechanism) on alun perin MIT-tutkijoiden Thomas Massien ja tri Kenneth Salisbury'n työn tulos, jotka myöhemmin perustivat SensAble technologiesin. Kuvan 3 mukaista 1990-luvun alkupuolella kehitettyä laitetta pidetään vallankumouksellisena haptisten käyttöliittymien saralla, ja monien mielestä laitteen kehitys on johtanut tuntopalautetta tuottavien laitteiden kehitystyön suosioon 1990-luvulta tähän päivään. Laitteella tunnustellaan ja muokataan virtuaalisia, kolmi- ulotteisia objekteja. Sen on fyysisesti stylus-tyylinen robottikäsi josta pidetään kiinni samalla tavalla kuin kynästä. Laitteen nivelissä oleviin moottoreihin kytketyt sensorit seuraavat käyttäjän liikkeitä x, y ja z -akseleilla ja mittaavat käytettyä voimaa. Kun käyttäjän liikuttama kynä kohtaa virtuaalisen pinnan, antaa kynä käyttäjälleen tuntopa- lautetta sähkömoottorien ja vaijerien avulla. (Potts 2000).

Tällaisten laitteiden yhteydessä puhutaan yleensä vapausasteista, joilla kuvataan laitteen kykyä havaita ja muokata omaa asentoaan. Nykyaikaiset PHANTOM laitteet kuten edullinen, kuluttajille suunnattu Omni ® tarjoavat 6 vapausasteen syötteen ja 3 vapaus- asteen tuntopalautteen. (SensAble Industries).

PHANTOM-sarjan laitteita käytetään yleisesti lääketieteessä leikkaus- ja tähyssimulaattoreina. Laite auttaa lääketieteen opiskelijoita saamaan tietoa siitä, miltä jotkin tietyt kohdat kehossa tuntuvat jo ennen aidon ruumiin leikkaamista. Simulaatiot voidaan nauhoittaa ja niitä voidaan arvioida jälkepäin. Leikkausten lisäksi laitteilla on mahdollista harjoitella myös tikkien tekemistä, jolloin opiskelijat tuntevat haavan ympärillä olevan pehmeän kudoksen ja voimat, joita käytetään kun neula työnnetään ihon läpi ja vedetään pois ihosta. (Potts 2000).

PHANTOM-sarjan laitteita käytetään myös 3D-mallinnukseen. Tällaisessa yhteydessä puhutaan tietokoneen ruudulla muokattavasta digitaalisesta savesta. Laitetta voidaan käyttää eräänlaisena kolmiulotteisena kynänä, jolloin se toimii virtuaalisena kuvanveistimenä. Laite nopeuttaa ja helpottaa datan visualisointia, kun objekteista annetaan visuaalisen palautteen lisäksi tuntopalaute. (Potts 2000).

Ranskan armeijalle kehitettiin ohjelmisto, jolla kynää hyväksikäyttämällä sotilaat harjoittelevat maamiinojen etsimistä ja tunnistamista. Tällä tekniikalla PHANTOM-laitteeseen kytketään sotilaiden käyttämä anturi, jonka kanssa tutkitaan virtuaalista maaperää ja etsitään mahdollisia miinoja. Ohjelmisto osaa datan perusteella myös arvioida minkälainen maamiina on kyseessä. (Stone).



KUVA 3. Phantom Desktop (SensAble technologies)

#### 4.4 HIRO, Haptic Interface Robot

Alkuperäinen, vuonna 2003 julkistettu HIRO-robotti oli kolmisorminen tuntopalautekäsi, jossa ihmisen etusormi, keskisormi ja peukalo asetettiin peilikuvana rakennetun robottikäden sormia vasten. Näin aikaansaadaan ihmiskädelle luonteva liikkuvuus, koska itse käteen tai käsivarteen ei liitetä mitään lisälaitetta. (Kawasaki & Halabi 2010).

Kuvassa 4 näkyvä vuonna 2005 Japanin maailmannäyttelyssä julkisuuteen päässyt robotin II-versio herätti paljon kiinnostusta. Viisisorminen ihmisen kättä muistuttava robottikäsi antaa käyttäjälle tuntopalautetta virtuaalisista objekteista. Jokaisessa sormessa on 3 niveltä mahdollistaen 3 vapausastetta per sormi. Lisäksi robottiin kuuluu nivelletty käsivarsi joka mahdollistaa 6 vapauden astetta, eli yhteensä 21. Käyttäjä asettaa sormenpäänsä laitteen sormille magneettien avulla, ja laite seuraa käyttäjän liikkeitä antaen tuntopalautetta käden sijainnin ja virtuaalisen kolmiulotteisen objektin pinnan mukaan. Maailmannäyttelyn demossa käyttäjät saivat tunnustella virtuaalista dinosaurusta joka näkyy kuvassa 4 taustalla olevalla näytöllä. (Kawasaki & Halabi 2010).



KUVA 4. HIRO II ja 3-ulotteinen dinosaurusmalli.

Lääketieteessä robottikättä voidaan käyttää esimerkiksi mallintamaan ja simuloimaan pintapuolisesti tutkittavien kasvaimien kuten rintasyövän tunnistamista ihmisen iholla. Puhutaan myös niin sanotusta taidon siirrosta, jossa opettaja tallentaa hallitut liikeratansa robotin muistiin joka joko toistaa liikkeitä opiskelijan käteen tai opiskelijan liikkeitä verrataan tallennettuihin liikeratoihin. Robottikäteen voi myös liittää erilaisia lääketie-

teessä käytettyjä instrumentteja kuten saksia, skalpelleja tai ruiskuja. (Kawasaki 2009; Kawasaki & Halabi 2010; Kawasaki & Mouri).

Vuonna 2009 julkistettiin robotin III-versio, joka on teoriassa samanlainen kuin edeltäjänsä mutta sen rakentamiseen ja suunnitteluun on käytetty erilaisia menetelmiä ja tekniikoita. Uuden mallin myötä nivelistä aiheutuvaa kitkaa saatiin vähennettyä, jolloin sormituntuma on edellistä parempi ja tarkempi. Myös laitteen kokoa ja painoa saatiin pienennettyä. (Kawasaki, Endo et al.).

#### 4.5 Logitech iFeel ja Wingman Force Feedback-hiiret

Vuonna 1999 Logitech julkaisi tunto- ja voimapalautetta käyttäjälleen tuottavia hiiriä. Tuntopalautetta antavat iFeel-hiiret esimerkiksi värisevät hyperlinkkien ja valintapainikkeiden kohdalla, ja kun käyttäjä käyttää liukupainikkeita. Hiiren avulla voi myös ”tuntea” erilaisia pintoja, jolloin värinä tuntuu pinnan mukaan erilaiselta. Wingman Force Feedback-hiiri osaa myös vastustaa käyttäjän liikkeitä voimapalautteen avulla. Esimerkiksi kansioita raahatessa hiiri antaa käyttäjälleen painon tunnetta, josta voi päätellä kuinka suuri kansio on kyseessä. Molemmissa hiirissä käytetään Immersionin TouchSense™ -teknologiaa. (Logitech 2000; Tähkäpää 2003. 1–2).

#### 4.6 Maglev Haptics™

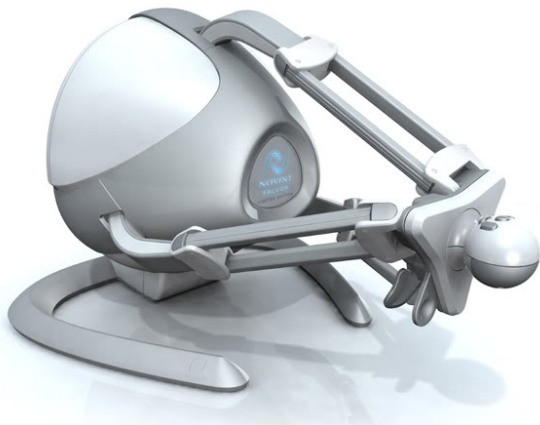
Kuvassa näkyvä Maglev-järjestelmä perustuu muista haptisista laitteista poiketen yhteen, magneettisesti ”kelluvaan” kitkattomaan osaan. Kaikki haptinen palaute ohjataan käyttäjän pitelemään kahvaan magneettikenttien avulla. Järjestelmä on erittäin tarkka, lähes verrattavissa ihmisen tuntoaistin havainnointikykyyn. Laitetta käytetään sekä virtuaalisissa ympäristöissä että etäpäättinä. Tekniikan heikkoutena on pieni työtila jota kuitenkin saadaan kompensoitua skaalautuvuuden ja äärimmäisen tarkkuuden avulla. (Butterfly Haptics).



KUVA 5. Maglev Haptics™ laite. (Butterfly Haptics)

#### 4.7 Novint Falcon

Novint nimisen yrityksen luoma Falcon-ohjain on pääasiassa pelaamiseen tarkoitettu haptinen laite. Kuvassa 6 esitelty laite tarjoaa käyttäjälleen 6 vapausastetta ja tuntopalautea maksimissaan 0.9 kilogramman edestä. Peleissä tuntopalautea annetaan monimuotoisesti: laite osaa esimerkiksi simuloida aseiden lauetessa tuottamaa rekyyliä aseenkoon ja tyyppin mukaan. (Novint Technologies 2011).



KUVA 6. Novint Falcon (Novint)

#### 4.8 Nintendo Wii

Nintendon vuonna 2006 julkaisema Wii-pelikonsoli saavutti jättimenestyksen ympäri maailmaa. Kuvassa 7 nähtävässä Wiin kaukosäädintä muistuttavassa Remote-ohjaimessa on myös yksinkertaisia haptisia ominaisuuksia ehostamassa pelaajien peli-

kokemusta. Pelattaessa tennistä ohjain värisee kun virtuaalinen maila osuu virtuaaliseen palloon, ja nyrkkeilyssä ohjain värisee kun pelaaja suorittaa tai vastaanottaa osumia. Vaikka mekanismi onkin varsin yksinkertainen, tuo se pelaamiseen uudenlaista realismia.



KUVA 7. Wii Remote (Nintendo)

## 5 YHTEENVETO

Ihmisen tuntoaisti on erittäin herkkä, ja se kykenee tuntemaan uskomattomia yksityiskohtia. Haptiikka, haptiset käyttöliittymät ja erilaiset tuntopalautteet ovat kohtuullisen uusi tutkimuksen ala, joka on jatkuvassa kasvussa. Olemme jo nähneet useita innovaatioita, jotka helpottavat jokapäiväistä elämää tai työn tekemistä. Ihmisen tuntoaisti on erittäin monimuotoinen, ja pelkästään aistin tärkeyden takia on loogista ajatella, että sen käyttäminen myös tietotekniikan jatkeena parantaa tuottavuutta, ja muuttaa sitä miten ihminen käyttää tietokoneita.

Tulevaisuudessa tulemme todennäköisesti näkemään paljon yksinkertaisia innovaatioita ja haptisen palautteen lisäämistä laitteisiin, joissa emme sitä ennen osanneet edes kaivata. Kun esimerkiksi sykemittari värisee eri tavoin pulssin noustessa liian korkealle tai laskiessa liian matalalle tavoitesykkeeseen verrattuna, voi urheilija keskittyä olennaiseen eli urheilusuorituksen jatkamiseen, eikä sykemittarin näyttöä tarvitse seurata koko aikaa. GPS-laitteisiin voisi liittää pienet langattomat rannekkeet, joita laite ohjaa esimerkiksi väristäen toista rannetta kun risteys tai ramppi lähestyy. Kun näyttöä ei tarvitse katsoa, voi keskittyä turvalliseen ajamiseen liikenteen seassa. Tällaiset ratkaisut auttaisivat myös esimerkiksi kuuroja, jotka eivät kuule laitteiden verbaalista opastusta, vaan joutuvat tukeutumaan näytön katsomiseen saadakseen opasteita.

Haptisten laitteiden yleistymisen suurimpana ongelmana on käyttöliittymäsuunnittelun vaikeus. Tuntoaistin mukaan tuominen näkö- ja kuuloaistien hyödyntämisen lisäksi tietokoneisiin on vaikea tehtävä, koska laitteistoa pitää kehittää uudenlaista. Nykyisistä laitteista monet ovat kömpelöitä ja kiusallisen suuria. Kosketuksessa tärkeää on myös liikkeiden vapaus, jota rajoitetaan runsaasti jos käsiin liitetään erilaisia laitteita, tai kättä tarvitsee pitää tietyssä asennossa koko ajan.

Haptiikka tulee myös todennäköisesti lisääntymään peliteollisuuden apuvälineenä. Peleistä tehdään koko ajan realistisempia, ja kunnollisen tuntopalautteen lisääminen olisi valtava edistysaskel uudenlaisen realismin saavuttamisessa. Ensimmäiset askeleet pelkän värinän jälkeen on jo otettu Novint Falcon-ohjaimen myötä.

## LÄHTEET

Apple Computer Inc. 2011. <http://www.apple.com/fi/iphone/features/accessibility.html>

Aviris näönvälineet. <http://aviris.nkl.fi/fi/etusivu/kauppa/atk-tuotteet/oheislaitteet/pistetulostin-braillo>

Solunetti. 2006. Histologia. Luettu 19.5.2011. <http://www.solunetti.fi/fi/histologia/>

Bark, K., Wheeler, J., Premakumar, S & Cutkosky, M. 2008. Comparison of Skin Stretch and Vibrotactile Stimulation for Feedback of Proprioceptive Information. Luettu 20.5.2011.

[http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Haptics/HapticsPublications/IEEE\\_VR\\_HapSymp08.pdf](http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Haptics/HapticsPublications/IEEE_VR_HapSymp08.pdf)

BioMag Brain Course. 2001. Ihmisaivojen rakenne ja toiminta, luentomoniste. Luettu 19.5.2011 <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L6.html>

Brave, S., Ishii, H. & Dahley, A. 1998. Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication. Luettu 20.5.2011.

[http://tangible.media.mit.edu/content/papers/pdf/inTouch\\_PSyBench\\_CSCW98.pdf](http://tangible.media.mit.edu/content/papers/pdf/inTouch_PSyBench_CSCW98.pdf)

Burdea, G. 1999. Haptic Feedback for Virtual Reality. Luettu 21.5.2011.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.135.6358&rep=rep1&type=pdf>

Butterfly Haptics. Luettu 19.5.2011. <http://butterflyhaptics.com/>

Choi, S. 2006. Introduction to Haptics. Luettu 19.5.2011

[http://www.postech.ac.kr/departement/cse/linus/home\\_kor/seminar/choi-20060315.pdf](http://www.postech.ac.kr/departement/cse/linus/home_kor/seminar/choi-20060315.pdf)

Dedual, N. 2007. Haptics: An Introduction. Luettu 19.5.2011.

[http://www.ndedual.com/wp-content/uploads/ndedual\\_summer07\\_paper.pdf](http://www.ndedual.com/wp-content/uploads/ndedual_summer07_paper.pdf)

Mueller, F. 2005. Hug Over a Distance: An Intimate Interface for Remote Couples.

[http://floydmueller.com/portfolio/hug\\_over\\_a\\_distance.htm](http://floydmueller.com/portfolio/hug_over_a_distance.htm)

HAPIMM-projekti 2009-. Haptic perception and interaction in mobile and multimodal contexts. Luettu 19.5.2011. <http://hapimm.cs.uta.fi/fi/introduction.php>

Harris, W. How Haptic Technology Works. Luettu 19.5.2011.

<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/haptic-technology.htm>

Häkkinen, J. 2010. Havaitseminen. Luettu 19.5.2011.

[https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-75.4900/luennot/T-75\\_4900\\_luento\\_12\\_tuntoaisti.pdf](https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-75.4900/luennot/T-75_4900_luento_12_tuntoaisti.pdf)

Immersion Corporation. 2011. Luettu 19.5.2011. <http://www.immersion.com/>

Kato, Y. Force Feedback Devices. Luettu 19.5.2011.

<http://ldt.stanford.edu/~yasukato/portfolio/class/cs147/as8/>

- Kawasaki, H. 2009. Multi-Fingered Haptic Interface Robot and Its Application Systems. <http://www.scientific.net/SSP.144.1.pdf>
- Kawasaki, H., Halabi, O. & 2010. Five Fingers Haptic Interface Robot HIRO: Design, Rendering, and Application. Luettu 19.5.2011. [http://www.intechopen.com/source/pdfs/9908/InTech-Five\\_fingers\\_haptic\\_interface\\_robot\\_hiro\\_design\\_rendering\\_and\\_applications.pdf](http://www.intechopen.com/source/pdfs/9908/InTech-Five_fingers_haptic_interface_robot_hiro_design_rendering_and_applications.pdf)
- Kawasaki, H., Endo, T., Mouri, T., Ishigure Y., Shimomura H. & Koketsu K. Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III. Luettu 19.5.2011. <http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/~endo/pdf/11th.pdf>
- Kawasaki, H. Mouri, T. Research of Haptic Interfaces. Luettu 20.5.2011. <http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/en/Research/Haptic/index.html>
- Lambert, K. How CIPA Works. Luettu 19.5.2011. <http://health.howstuffworks.com/diseases-conditions/rare/cipa.htm>
- Logitech. 2000. Logitech's iFeel™ Optical Mice Add a New Dimension to the Human-Computer Interface. Luettu 19.5.2011. <http://www.logitech.com/en-us/172/1183>
- Mimic Technologies Inc. 2003. Haptic Devices. Luettu 19.5.2011. <http://www.hitl.washington.edu/people/tfurness/courses/inde543/READINGS-03/BERKLEY/White%20Paper%20-%20Haptic%20Devices.pdf>
- Nokia Beta Labs. 2009. Nokia Braille Reader. Luettu 19.5.2011. <http://betalabs.nokia.com/apps/nokia-braille-reader>.
- Novint Technologies Inc. 2011. <http://www.novint.com>.
- Näkövammaisten keskusliitto ry. <http://www.nkl.fi>.
- Potts, A. 2000. Phantom-Based Haptic Interaction. Luettu 19.5.2011. <http://cda.morris.umn.edu/~lopezdr/seminar/spring2000/potts.pdf>.
- Raisamo, J. 2002. Tuntopalautteen tukemat suorakäyttöiset kaavionmuokkaustyökalut. Tampereen yliopisto. Tietojenkäsittelylaitos. Pro gradu-tutkielma. [http://www.cs.uta.fi/research/thesis/masters/Raisamo\\_Jukka.pdf](http://www.cs.uta.fi/research/thesis/masters/Raisamo_Jukka.pdf).
- Robles-De-La-Torre, G. 2008. Principles of haptic perception in virtual environments. Luettu 19.5.2011. [http://www.isfh.org/GR-Principles\\_Haptic\\_Percept\\_VE.pdf](http://www.isfh.org/GR-Principles_Haptic_Percept_VE.pdf).
- Robles-De-La-Torre G. 2009. Virtual reality: Touch / Haptics. Luettu 19.5.2011. [http://www.isfh.org/GR-Virtual\\_Reality\\_TouchHaptics2009.pdf](http://www.isfh.org/GR-Virtual_Reality_TouchHaptics2009.pdf).
- Rovers, A. & van Essen, H. 2004. HIM: A Framework for Haptic Instant Messaging. Luettu 20.5.2011. <http://people.cs.vt.edu/~wangr06/touch%20review%20origination/RovE04.pdf>

Selin, J. 2003. Tiede-lehti. Ilman tuntoa et pärjäisi.  
[http://www.tiede.fi/artikkeli/377/ilman\\_tuntoa\\_et\\_parjaisi](http://www.tiede.fi/artikkeli/377/ilman_tuntoa_et_parjaisi).

Smith, J. 2003. Communicating Emotion Through a HapticLink.  
<http://www.cs.ubc.ca/labs/imager/th/2006/SmithMscThesis/Smith.pdf>

Suomen virtuaaliyliopisto. 2006. Solunetti.fi Histologia. Luettu 19.5.2011.  
<http://www.solunetti.fi/fi/histologia/>

Stone, R. Haptic Feedback: A Potted History, From Telepresence to Virtual Reality. Luettu 19.5.2011.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.8916&rep=rep1&type=pdf>

Söderström, J. & Väyrynen, J. 2010. Moniaististen teknologioiden mahdollisuudet. Laurea-ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Tähkäpää, E. 2003. Tuntopalaute työpöytäympäristössä. Tampereen yliopisto. Tietojenkäsittelyn laitos. Pro gradu-tutkielma.  
[http://www.cs.uta.fi/research/thesis/masters/Tahkapaa\\_Elina.pdf](http://www.cs.uta.fi/research/thesis/masters/Tahkapaa_Elina.pdf)

Wikipedia. 2011a. Meissner's corpuscle. Luettu 19.5.2011.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Meissner's\\_corpuscle](http://en.wikipedia.org/wiki/Meissner's_corpuscle)

Wikipedia. 2011b. Merkel nerve ending. Luettu 19.5.2011.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Merkel\\_nerve\\_ending](http://en.wikipedia.org/wiki/Merkel_nerve_ending)

Wikipedia. 2011c. Ruffini ending. Luettu 19.5.2011.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Ruffini\\_ending](http://en.wikipedia.org/wiki/Ruffini_ending)