

Menetelmä tilallisen vuorovaikutuksen arviointiin

Toni Pakkanen

Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Pro gradu -tutkielma
Joulukuu 2003

Tampereen yliopisto

Tietojenkäsittelytieteiden laitos

Toni Pakkanen: Menetelmä tilallisen vuorovaikutuksen arviointiin

Pro gradu -tutkielma, 63 sivua, 20 liitesivua

Joulukuu 2003

Uusien vuorovaikutustekniikoiden käyttökelpoisuuden arviointi suunnitteluvaiheessa on vaikeaa ja epävarmaa. Tämä luo tarpeen kehitellä menetelmiä vuorovaikutustekniikoiden kehittämisen tukemiseen. Tämän tutkimuksen tarkoitus on esitellä itse kehittämäni uusi menetelmä liikkeeseen perustuvaan syötteeseen liittyvän vuorovaikutuksen käytettävyyden arviointiin ja varmentaa menetelmän toimivuus vertaamalla menetelmään perustuvaa testiä todellisilla vuorovaikutustekniikoilla tehtyyn testiin. Menetelmässä käytetään vuorovaikutuksen yleistämiseen perustuvia yksinkertaistettuja tehtäviä. Vertailun tulosten perusteella uusi menetelmä antaa hyvin todellisuutta vastaavia tuloksia ja siten soveltuu käytettäväksi kehitystyön apuna. Menetelmä on tarkoitettu uusia vuorovaikutustekniikoita kehittäville suunnittelijoille apuvälineeksi syötteen toimivuuden arviointiin vuorovaikutustekniikoita kehiteltäessä.

Avainsanat ja -sanonnat: ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus, arviointimenetelmät, syöte, ohjelmistosuunnittelu.

| | |
|--|-----------|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. TILALLINEN VUOROVAIKUTUS | 4 |
| 2.1. Vuorovaikutus ja kommunikointi | 4 |
| 2.2. Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus | 5 |
| 2.3. Tilallinen vuorovaikutus | 8 |
| 3. VUOROVAIKUTUKSEN SUUNNITTELUN JA ARVIOINNIN MENETELMIÄ | 14 |
| 3.1. Käytettävyystestaus ja -arviointi | 14 |
| 3.2. Fittsin laki ja sen johdannaiset | 16 |
| 3.3. Perustutkimuksen tuloksien hyödyntäminen | 17 |
| 3.4. Tarve uudelle menetelmälle | 18 |
| 4. VUOROVAIKUTUKSEN MALLINTAMINEN | 20 |
| 4.1. Nykyisiä mallintamismenetelmiä | 20 |
| 4.2. Uusi yksinkertaistettu malli vuorovaikutuksesta | 21 |
| 5. YLEISTÄMISEEN PERUSTUVA VUOROVAIKUTUKSEN TESTAUS | 26 |
| 5.1. Testijärjestelyt | 26 |
| 5.2. Esimerkki testitehtävästä | 29 |
| 5.3. Tulosten tulkinta | 30 |
| 5.4. Mahdollisia ongelmia tulosten tulkinnassa | 31 |
| 6. ESIMERKKI MENETELMÄN SOVELTAMISESTA | 33 |
| 6.1. Testiasetelma | 33 |
| 6.2. Testitehtävät | 36 |
| 6.3. Testien suorittaminen | 44 |
| 7. TULOKSET JA POHDINTA | 46 |
| 7.1. Tulosten käsittely | 46 |
| 7.2. Menetelmän vertaaminen todellisiin testitehtäviin | 52 |
| 7.3. Abstrahoitu testaus vs. aiemmat menetelmät | 57 |
| 7.4. Johtopäätökset | 58 |
| 8. LOPUKSI | 59 |
| VIITELUETTELO | 61 |

| | |
|--|-----------|
| LIITE 1: VERTAILUANALYYSIN TULOKSET | 64 |
| Liite 1.1 Kaikkien laite-raaja yhdistelmien keskiarvot | 64 |
| Liite 1.2 DualStrike - kaksi kättä | 66 |
| Liite 1.3 Hiiri - oikea käsi | 68 |
| Liite 1.4 Hiiri - vasen käsi | 70 |
| Liite 1.5 Piirtolevy - oikea käsi | 72 |
| Liite 1.6 Piirtolevy - vasen käsi | 74 |
| Liite 1.7 Ohjainpallo - oikea jalka | 76 |
| Liite 1.8 Ohjainpallo - oikea käsi | 78 |
| Liite 1.9 Ohjainpallo - vasen jalka | 80 |
| Liite 1.10 Ohjainpallo - vasen käsi | 82 |

1. Johdanto

Suurin osa tämän päivän vuorovaikutuksesta tietokoneen kanssa tapahtuu käyttäen hiirtä käyttöliittymän ohjaamiseen ja valintojen tekemiseen sekä näppäimistöä tekstin ja komentojen syöttämiseen. Puhuttaessa liikkeeseen perustuvista vuorovaikutustavoista puhutaan tänä päivänä pääasiassa osoitinsyöttölaitteilla tapahtuvasta vuorovaikutuksesta, jossa syöttölaitteen antaman liiketiedon avulla ohjataan tietokoneen toimintaa. Perinteisiä tapoja ohjata tietokonetta liikkeen avulla ovat hiiren kursorilla tapahtuva käyttöliittymän elementtien siirtely, muokkaaminen ja valinta.

Eräänä uutena vuorovaikutustapana voitaisiin pitää hiiren käyttöä ikkunan vierittämiseen lukitsemalla hiiri vieritystilaan keskimmäisen napin tai rullan painalluksella, jolloin hiiren liike vierittää ikkunaa, kunnes tilasta poistutaan uudella napin tai rullan painalluksella. Tämänkaltaisten uusien vuorovaikutustapojen suunnittelun ongelmana on se, ettei ole olemassa selkeitä menetelmiä syötetapojen täsmälliseen arviointiin ennen toteutusta, jolloin uuden vuorovaikutustavan kehittäminen on hidasta ja epävarmaa. Tämä johtuu siitä, että vuorovaikutustapaa voidaan testata vasta prototyypin kehittämisen jälkeen.

Vuorovaikutuksen etukäteen tapahtuvan arvioinnin vaikeus luo uuden vuorovaikutuksen kehittämiseen epävarmuutta siitä, onko uusi idea lainkaan toimiva. Tästä seuraa se, että aloitettaessa kehitystyötä ei ole olemassa takeita siitä, että panostus, joka uuden vuorovaikutustavan kehittelyyn laitetaan, tuottaa minkäänlaista tulosta. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa uusia tapoja kehitellään hyvin varovaisesti perustaen uudet menetelmät vanhoihin tuttuihin tapoihin, jotta voitaisiin saada mahdollisimman suuri varmuus projektin onnistumisesta. Toisaalta tällainen varovainen iteroiva kehitys on varmaa. Toisaalta se hidastaa kehitystä, koska kaikkein luovimmat ideat jäävät usein idea-asteelle eikä niitä edes yritetä toteuttaa ohjelmistoprojektissa, koska muita ohjelmistoprojektin osa-alueita pidetään tärkeämpinä suunniteltaessa projektin resurssien jakoa. Vaikka iteroiva kehitys onkin hyvä tapa parantaa vuorovaikutusta vähitellen, johtaa resurssien puute tilanteeseen, jossa ei kannata kehitellä kovinkaan innovatiivisia vuorovaikutustapoja. Uuden menetelmän kehittäminen pelkästään iteroimalla ja testaamalla iterointikierrosten välissä vaatii liian paljon resursseja, että niitä kovin usein kyettäisiin irrottamaan tällaiseen kehitystyöhön muusta ohjelmistotuotannosta.

Tietokoneiden kehittyessä tämä on pikku hiljaa johtanut tilanteeseen, jossa vuorovaikutustavat tietokoneen kanssa ovat kehittyneet paljon hitaammin kuin

muut tietokoneen ominaisuudet, kun resursseja on keskitetty tietokoneen kehittämiseen eikä käyttäjän huomioon ottamiseen [Norman, 1990]. Tämä on hyvin nähtävissä verrattaessa sitä, kuinka paljon uusia vuorovaikutustapoja on tullut yleiseen käyttöön graafisten käyttöliittymien kehittymisen jälkeen siihen, kuinka paljon esimerkiksi grafiikan esitystaso ja ohjelmistojen yleinen toiminnallisuus ovat lisääntyneet. Kuitenkin hyvin suuri osa kokemuksesta, joka tietokoneen käyttäjälle muodostuu, syntyy vuorovaikutuksesta ja sen toimivuudesta. Tämän ovat huomanneet jo kauan sitten ohjelmiston kehittäjätkin [Nielsen *et al.*, 1986], ja ohjelmistoprojekteissa on alettu panostaa käytettävyyden kehittämiseen. Ohjelmista on pyritty tekemään helpommin hallittavia ja opittavia. On myös kehitetty järjestelmällisiä menetelmiä ohjelmistojen käytettävyyden arviointiin ja kehittämiseen. Kuitenkin tämä prosessin kehitys suuntautuu pääasiassa käyttöliittymän suunnitteluun ja testaamiseen.

Käyttöliittymän ohjaamiseen käytettävät vuorovaikutustekniikat ovat pysyneet lähes samoina koko ikkunoidun käyttöliittymän olemassaoloajan. Oikeastaan ainoana laajasti levinneenä poikkeuksena tästä ovat tietokonepelit, joissa uusia vuorovaikutustapoja kehitetään hyvinkin innovatiivisesti. Näissä projekteissa isona riskinä onkin vuorovaikutuksen toteutuksen onnistuminen, ja lukuisia peliprojekteja on epäonnistunut huonosti onnistuneen vuorovaikutuksen vuoksi. Tämä on jopa yleisesti innovatiivisessa peliteollisuudessa johtanut tilanteeseen, jossa pyritään käyttämään ennestään tunnettuja onnistuneita ratkaisuja ja ollaan hyvin varovaisia uusien tekniikoiden kehittämisen suhteen. Tämä on hyvin nähtävissä peliteollisuuden yleisessä trendissä, jossa tuotetaan muutaman peruskaavan ympärille samankaltaisella toiminnallisuudella ja vuorovaikutusmahdollisuuksilla kuorrutettuja pelejä, joissa suurin ero on sisällössä, eikä tavassa pelata. Vaikka tämänkaltaisen kehitys luokan pelaajille tutunoloisia pelejä, joiden opetteluun ei kulu turhaa aikaa, vähentää tämä valinnanvaraa ja yksipuolistaa tarjontaa. Moni uusi idea voi jäädä syntymättä tai ainakin hyödyntämättä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on esitellä menetelmä, joka mahdollistaa liikkeeseen perustuvien vuorovaikutustapojen arvioinnin ennen varsinaista toteutusta, sekä vahvistaa tämän uuden menetelmän toimivuus testaamalla. Esiteltävän menetelmän käyttö uuden idean testaamisessa pienentää riskiä uusien vuorovaikutustapojen kehittelyssä ja siten toivottavasti motivoi ohjelmistojen kehittäjiä tuomaan käyttöliittymiin uusia innovatiivisia vuorovaikutustapoja, jotka tekisivät tietokoneen käytöstä nykyistä monipuolisempaa, miellyttävämpää ja tehokkaampaa.

Tutkielmassa kuvataan menetelmä yksityiskohtaisesti ja esitellään malli, jolla voidaan käyttöliittymän toimintaa kuvata abstraktimmalla tasolla. Tällä yleistetyllä tasolla voidaan uusia vuorovaikutustekniikoita testata yksinkertaisella testillä, jonka tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä uuden kehiteltävän tekniikan toimivuudesta.

Menetelmän idea syntyi tutustuttaessa psykologian sekä ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen aloilla tehtyihin tutkimuksiin, joissa selvitetään ihmisen käyttäytymistä ja toimintaa mittaamalla heidän työskentelyään hyvin yksinkertaistetuilla ja pelkistetyillä tehtävillä. Hajottamalla manuaaliset (käsien käyttöön perustuvat) vuorovaikutukset peruselementteihin, saatiin yleistämiskeino abstraktien tehtävien rakentamiseksi. Yhdistämällä käytettävyydestestauksen menetelmiin abstraktit tehtävät, saatiin helposti ja nopeasti toteutettava testi, jonka tekeminen ei vaadi suuria resursseja. Tämänkaltainen yksinkertaistettu testi on tarpeen, jotta kustannuksia voitaisiin säästää kehityskustannuksissa vuorovaikutustekniikoita kehitettäessä ennen kuin saadaan jonkinlainen varmuus siitä, että tekniikan kehittämiseen kannattaa panostaa enemmän resursseja.

Kaikki esimerkit, joita tässä tutkielmassa käytetään, on pyritty valitsemaan yleisistä tämän päivän vuorovaikutustehtävistä siten, että niiden yhdistäminen havainnollistettavaan asiaan olisi mahdollisimman yksiselitteistä. Esimerkkien tarkoitus on myös opastaa lukija käytettyyn ajatusmalliin niin, että lukija oppisi esimerkkien avulla soveltamaan esimerkin havainnollistamaa asiaa. Tarkoitus siis on esimerkkien avulla helpottaa abstraktin taustalla olevan mallin toiminnan ymmärtämistä ja siten opastaa lukijaa käyttämään mallia omassa työskentelyssään.

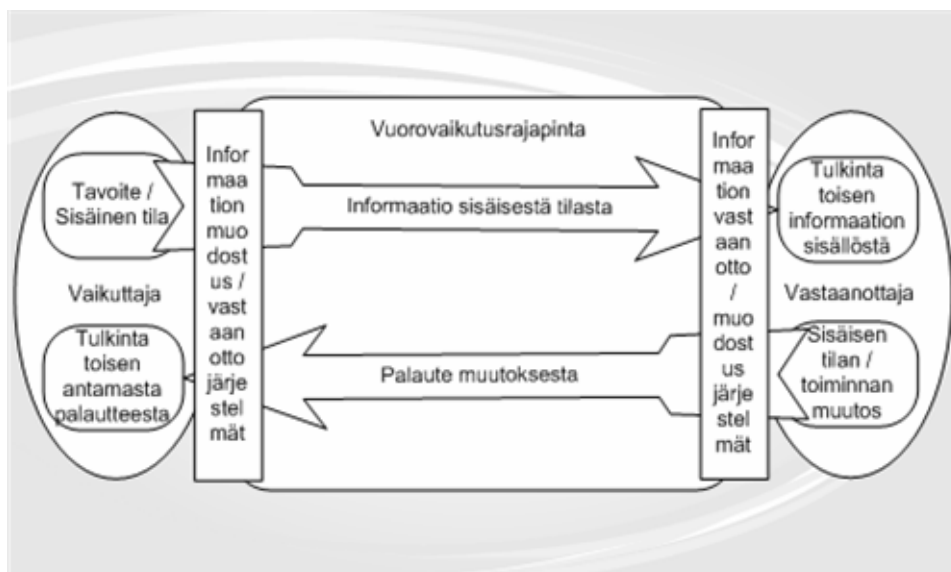
Luvussa kaksi kuvataan vuorovaikutusta ihmisen ja tietokoneen välillä yleisellä tasolla sekä tehdään tämän tutkimuksen rajaukset tiettyihin vuorovaikutustapoihin. Seuraavaksi, kolmannessa luvussa, kerrotaan mitä menetelmiä tänä päivänä on yleisesti käytössä vuorovaikutuksen suunnittelun apuna. Tämän jälkeen kuvataan tutkimuksessa kehitetty yleistetty vuorovaikutusmalli ja sen ominaisuudet sekä käyttötarkoitus. Viidennessä luvussa kuvataan malliin perustuva vuorovaikutuksen yleistetty arviointimenetelmä sekä esitellään yleistämisen testaamiseen soveltuvat tehtävät ja kyselylomakkeet, joita käytettiin kuudennessa luvussa raportoidussa mallin vahvistamiseksi tehdyssä testissä. Tämän jälkeen luvussa seitsemän esitellään testin analyysi sekä tulokset. Viimeisessä luvussa kootaan tutkielman johtopäätökset sekä kuvataan mielenkiintoisia avoimeksi jääneitä jatkotutkimusmahdollisuuksia.

2. Tilallinen vuorovaikutus

Ihmisen käyttäessä tietokonetta tapahtuu tietokoneen ja ihmisen välillä vuorovaikutusta, jonka tavoitteena on jonkin tehtävän suorittaminen. Tätä vuorovaikutusta voidaan luokitella monin tavoin ryhmittelemällä vuorovaikutustapoja vuorovaikutuksessa käytetyn kanavan tai vuorovaikutuksen toiminnan perusteella. Tässä luvussa esitellään ensin yleisesti mitä vuorovaikutuksella tarkoitetaan, josta siirrytään ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen määrittelyyn. Lopuksi rajataan tämän tutkielman aihetta esittelemällä tässä tutkimuksessa käytettyä tilallisen vuorovaikutuksen määritelmää.

2.1. Vuorovaikutus ja kommunikointi

Vuorovaikutuksella tarkoitetaan kaksisuuntaista kahden tai useamman keskenään kommunikoivan yksikön välistä kommunikointia, joka vaikuttaa näiden yksiköiden toimintaan. Kommunikointi voidaan määrittellä pyrkimykseksi kuvata jollain toiminnolla jotain sisäistä kokemusta [Siegman and Feldstein, 1987]. Kun puhutaan ihmisen vuorovaikutuksesta tietokoneen kanssa ovat nämä kommunikoivat yksiköt ihminen, eli käyttäjä, ja tietokone. Tällaisessa vuorovaikutuksessa toinen osapuoli antaa toiselle informaatiota omasta sisäisestä kokemuksestaan (tavoitteestaan tai tilastaan) ja toinen toimii tämän informaation perusteella antaen palautetta toiselle osapuolelle. Tämän kommunikaation pohjalta kumpikin osapuoli pyrkii toimimaan tilanteessa tarkoituksenmukaisesti jonkin tietyn tavoitteen saavuttamiseksi kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1: Malli vuorovaikutusrajpinnasta ja informaatiovirroista.

Yleensä vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa tietokone näennäisesti toimii passiivisena osapuolena vuorovaikutuksessa ja reagoi aktiivisesti toimivan ihmisen antamiin komentoihin. Todellisuudessa analysoitaessa vuorovaikutusta tarkemmin passiivinen ja aktiivinen rooli kuitenkin vaihtuvat jatkuvasti. Tämä riippuu siitä, kumpi osapuoli antaa kommunikaatioon uutta informaatiota ja kumpi reagoi tähän syötetietoon antamalla siihen palautetta, jolloin kumpikin osapuoli antaa vuoron perään toiselle tietoa tilastaan ja tavoitteistaan [Siegman and Feldstein, 1987].

Esimerkkeinä tällaisista tilanteista voitaisiin antaa tietokoneen antama virheilmoitus, johon ihminen reagoi ollen tällöin kommunikaation vastaanottava osapuoli. Kuitenkin tämä vastaanottava rooli muuttuu lähettäväksi rooliksi välittömästi, kun ihminen alkaa toimia tämän virheilmoituksen perusteella ja syöttää koneelle tiedon siitä, miten toimia tilanteessa. Tällöin koneesta tulee vastaanottava osapuoli, joka reagoi ihmisen antamaan syötteeseen. Yleisesti vuorovaikutukselle kahden osapuolen välillä on ominaista juuri tällainen aktiivisen viestiä lähettävän ja passiivisen viestiä tulkitsevan roolin jatkuva vaihtuminen [Siegman and Feldstein, 1987]. Tällöin kumpikin osapuoli vaikuttaa antamallaan informaatiolla toisen osapuolen toimintaan ja aletaan puhua vuorovaikutuksesta yksipuolisen ohjaamisen sijaan.

2.2. Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus

Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus tarkoittaa vuorovaikutusta, joka tapahtuu ihmisen ja tietokoneen välillä jonkin tavoitteen saavuttamiseksi. Osaluaita tässä vuorovaikutuksessa ovat ihmisen tekemät toiminnot tietokoneen ohjaamiseksi ja tietokoneen käyttöliittymä, joka tarjoaa työkalut toimintojen suorittamiseksi sekä palautteen tietokoneen tapahtumista. Tässä rajapinnassa tapahtuvat tapahtumat sisältävät informaation kuljettamista joko ihmiseltä koneelle tai koneelta ihmiselle.

Tämä vuorovaikutus ihmisen ja tietokoneen välillä tapahtuu ns. *vuorovaikutusrajpinnassa*, joka on abstrakti rajapinta ihmisen ja koneen välillä. Tämä rajapinta koostuu kommunikaatiosta ihmisen ja koneen välillä ja siitä, miten tämä kommunikaatio vaikuttaa ihmiseen eli käyttäjään sekä tietokoneeseen. Tässä rajapinnassa käyttäjä käyttää *vuorovaikutustapoja* koneen ohjaamiseen, jotka ovat erilaisia menetelmiä vuorovaikutuksen suorittamiseen, kuten hiiren käyttö tietokoneen ohjaamiseen. Olemassa oleville vuorovaikutustavoille on toteutettu erilaisia *vuorovaikutustekniikoita*, jotka ovat

yksittäisiä teknisiä toteutuksia tietokoneen ohjaamiseen, kuten ikkunan vierittäminen vierityspalkilla hiiren avulla.

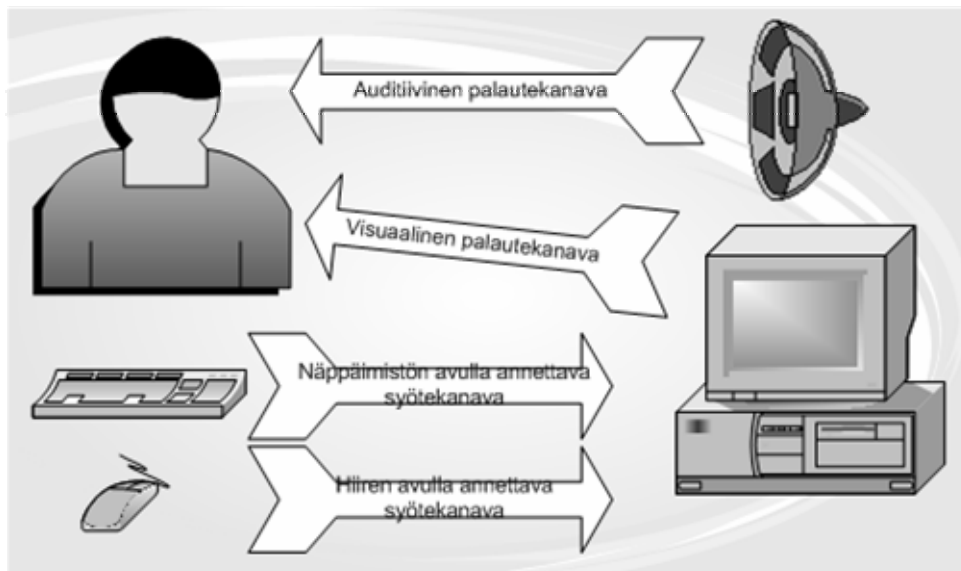
Ihmisen ja tietokoneen välisestä vuorovaikutuksesta puhuttaessa on siis kyse siitä tapahtumien ja kommunikaation ketjusta, jonka perusteella ihminen ymmärtää, mitä tietokoneessa tapahtuu ja tekee omat tavoitteensa tietokoneelle ymmärretyiksi [Preece, 1994]. Määriteltäessä tietokoneen ohjaaminen ihmisen ja tietokoneen väliseksi vuorovaikutukseksi kyetään analysoimaan tätä vuorovaikutusta pitämällä tätä kahden yksikön välisenä kommunikaationa. Tämä luo mahdollisuuden analysoida ja tulkita tietokoneen käyttöön liittyviä ongelmia kommunikaatio-ongelmina, jolloin voidaan löytää ratkaisuja niihin analysoimalla vuorovaikutuksessa tapahtuvaa kommunikaatiota ja siihen liittyviä ongelmia.

Vaikka vuorovaikutuksen ja kommunikoinnin kannalta sekä ihminen että tietokone ovat kumpikin aktiivisia osapuolia vuorovaikutuksessa, perinteisesti on pidetty ihmistä aktiivisena toimijana ja konetta passiivisena osapuolena. Tämä rajaus on hyvin yleisesti käytössä ja oikeastaan muuten merkityksetön, mutta helpottaa vuorovaikutuksesta puhumista, kun voidaan selkeyttää käsitteitä. Esimerkiksi tähän perustuen voidaan määritellä, että tietokone antaa palautekanavia pitkin informaatiota ihmiselle ja ihminen syötekanavia pitkin tietokoneelle. Tämä helpottaa vuorovaikutuksen hahmottamista, kun tietty nimi on aina sidottu tiettyyn suuntaan kulkevaan informaatioon. Tämä informaatiokanavien suuntien määrittäminen lienee syntynyt ohjelmointikielissä käytetyistä määritelmistä informaatiokanaville, joissa yleisesti käytetään ihmiseltä koneelle kulkevasta informaatiosta nimitystä sisään kulkevana kanavana ja tietokoneelta ihmiselle kulkevasta taas ulos kulkevana kanavana [Deitel and Deitel, 2000].

Pohdittaessa ihmisen ja tietokoneen välistä vuorovaikutusta voidaan tästä helposti rajata kaksi pääasiallista kommunikointitarkoitusta riippuen siitä, onko kommunikoinnin kannalta vuorovaikutuksessa aloitteen tekevä osapuoli ihminen vai tietokone. Toisessa ihminen suorittaa koneella jonkin tietyn tehtävän antaen koneelle informaatiota siitä, mitä haluaa tehdä. Toisessa taas tietokone tiedottaa jostain tilanteesta tai tapahtumasta, ja ihminen reagoi tähän jollain tavalla. Vuorovaikutuksen etenemisen kannalta nämä tilanteet eivät kuitenkaan eroa toisistaan paljoakaan. Purettaessa vuorovaikutusta tarkemmin osiin huomataan helposti, että informaatio kulkee koneelta ihmiselle palautekanavia pitkin ja ihmiseltä koneelle syötekanavia pitkin ja kummankin osapuolen antama informaatio vaikuttaa toisen osapuolen toimintaan sekä takaisin antamaan informaatioon. Ainoa ero on se, kumpi osapuoli aloittaa

vuorovaikutukseen johtavan kommunikoinnin. Vuorovaikutustilanteessa siis jompikumpi osapuoli, ihminen tai tietokone, aloittaa vuorovaikutustilanteen saavuttaakseen jonkin tavoitteen ja informaatiota vaihdetaan tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Koska vuorovaikutus pienempiin perusosiin jaettuna edellä kuvatulla tavalla kuitenkin toimii kokonaisuutena aivan samoin kummassakin tapauksessa, ei vuorovaikutuksen toimintaa yleisellä tasolla tarkemmin analysoitaessa tarvitse kiinnittää huomiota siihen, kumpi osapuoli oli vuorovaikutuksen aloittavana osapuolena.

Ihminen kommunikoi tietokoneen kanssa syöttämällä koneelle informaatiota käyttäen tähän tarkoitettuja laitteita ja saaden eri palautekanavia pitkin informaatiota koneelta. Tärkeimpiä tänä päivänä käytössä olevia informaatiokanavia koneelle päin ovat näppäimistöllä ja hiirellä tai jollain muulla osoitinsyöttölaitteella annettavat manuaaliset, eli käsien avulla annettavat syötteet. Informaation paluukanavana tietokoneelta ihmiselle päin taas yleisimpiä ovat visuaalinen palaute näytöltä ja auditiivinen palaute kaiuttimista. Lähes kaikki vuorovaikutus nykyisissä käyttöliittymissä perustuu näiden neljän informaatiokanavan välittämään informaatioon kuvan 2 mukaisesti; eli näppäimistöllä sekä hiirellä annettaviin syöteinformaatiokanaviin ja auditiivisesti sekä visuaalisesti annettaviin palauteinformaatiokanaviin.



Kuva 2: Syöte- ja palautekanavat nykyisessä ihmisen ja tietokoneen välisessä vuorovaikutuksessa.

Suunniteltaessa uusia vuorovaikutustapoja käyttäen nykyisiä yleisesti käytössä olevia syöte- ja palautekanavia on siis käytettävissä yleensä kaksi

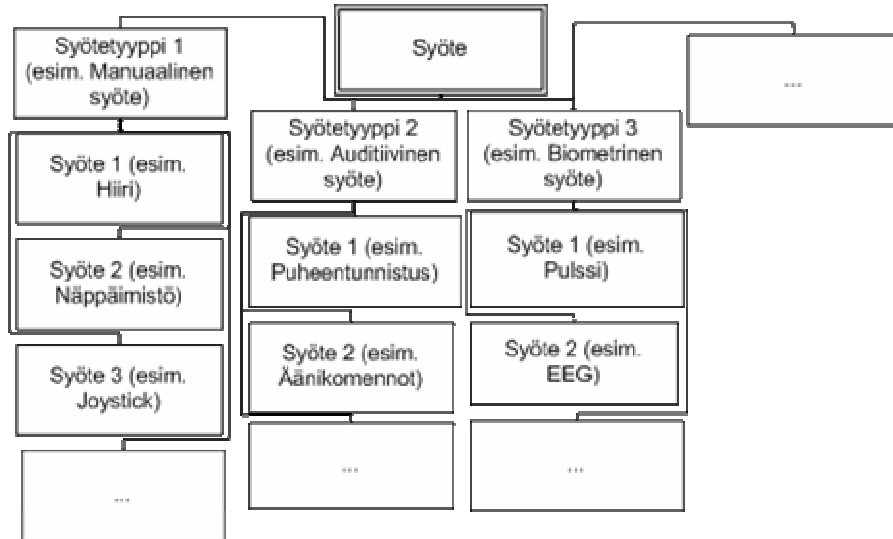
informaatiokanavaa kumpaankin suuntaan. Tehtävänä onkin suunnitella vuorovaikutus käyttäen näitä kanavia niin, että vuorovaikutus on käyttäjälle miellyttävä ja helposti opittava ollen samalla kuitenkin tehokas ja tarkka tapa suorittaa haluttu tehtävä. Ongelma on siinä, että suunnittelijan pitäisi tuntea ihmisen kyvyt hallita näitä kanavia sekä yhdistää näiden informaatio. Vuorovaikutuksen suunnittelijan pitäisi siis tuntea sekä ohjelman että ihmisen tapa käsitellä informaatiota ja sitoa nämä tavat yhteen toimivaksi kokonaisuudeksi.

2.3. Tilallinen vuorovaikutus

Tässä tutkimuksessa keskitytään syötekanavaan eikä palautekanavaa analysoida erikseen muuten kuin sen syötekanavaan liittyvän vaikutuksen osalta. Oletuksena käytettyihin syötteisiin ja palautteisiin on se, että ne annetaan sellaisessa muodossa, jota vastaanottava osapuoli kykenee luotettavasti ja sujuvasti tulkitsemaan. Syy tähän rajaukseen on se, että vuorovaikutuksessa tietokoneen ja ihmisen välillä yksi rajoittava tekijä on ihmisen kyky vastaanottaa vuorovaikutukseen vaikuttavaa informaatiota ja antaa luotettavasti ja hallitusti syötettä tietokoneelle sen ymmärtämässä muodossa. Nykyisellä tietokoneiden laskentateholla voidaan jo moninkertaisesti ylittää ihmisen kyvyt vastaanottaa ja hallita informaatiota, joten vuorovaikutusta suunniteltaessa on rajoittavana tekijänä otettava huomioon ihmisen kyvyt. Tämä rajoite koskee tilanteita, joissa ihmisen ja tietokoneen välinen informaatio kulkee sellaisessa muodossa, jonka kumpikin tuntee. Näin tapahtuu ihmisen antaessa syötettä tietokoneelle sellaisessa muodossa, jonka tietokone ymmärtää suoraan ja virheettömästi sekä tietokoneen antaessa palautetta ihmiselle ihmisen ymmärtämässä muodossa. Tällöin tietokone kykenee vastaanottamaan ja tulkitsemaan samaansa informaatiota paljon nopeammin kuin ihminen sitä antamaan ja toisaalta taas tietokone kykenisi antamaan informaatiota ihmiselle paljon enemmän ja nopeammin kuin, mitä ihminen kykenee tulkitsemaan.

Millä tavoilla sitten ihminen kykenee antamaan syötettä tietokoneelle? Teoriassa kaikkea ihmisestä saatavaa informaatiota voitaisiin käyttää syötetietona, jonka perusteella tietokone pyrkisi päättämään käyttäjän tarpeet. Tällaiset syötteet voidaan sitten luokitella ominaisuuksiensa perusteella eri tavoin riippuen siitä, mitä syötteen ominaisuutta halutaan painottaa. Tällaisia luokitteluita ovat esimerkiksi analoginen tai digitaalinen syöte, luonnollinen tai symbolinen syöte, jatkuva tai diskreetti syöte sekä luokittelu modaliteetin mukaan, kuten manuaalinen, auditiivinen tai jokin muu syöte. Syötteet voidaan

helposti luokitella hierarkkisella luokittelulla valitun luokitteluperusteen mukaan, kuten kuvan 3 esimerkissä modaliteetin perusteella.



Kuva 3: Esimerkki syötteiden luokittelustani modaliteettiin perustuen.

Analoginen-digitaalinen-jaottelussa kyse on siitä, missä muodossa syöte annetaan tietokoneelle. Analoginen syöte on jatkuvasti muuttuvan syötteen antamista tietokoneelle, ja tietokoneen pitää se ensin tulkita ja muuttaa digitaalseksi kyetäkseen käsittämään sitä. Digitaalinen syöte puolestaan on diskreettiä tietyin välein luokiteltua bittivirtana tulevaa syötettä, joka on jo valmiiksi tietokoneen ymmärtämässä muodossa.

Luonnollisella syötteellä tarkoitetaan tässä syötettä, joka annetaan tietokoneelle ihmiselle luonnollisessa muodossa, jonka tarkoitusta tietokone pyrkii tuntemiensa sääntöjen avulla tulkitsemaan. Symbolisessa syötteessä taas on sovittu tietyt symbolit tai komennot, jotka tietokone suoraan ymmärtää ja joita ihminen käyttää tietokonetta ohjattaessaan. Esimerkkinä tällaisista syötetavoista voidaan antaa suorakäyttöinen syöte [Shneiderman, 1982; Shneiderman, 1983], jossa ihminen osoitinsyöttölaitteella käsittelee suoraan näkemiään objekteja sen sijaan, että antaisi komennot komentokielellä komentoikkunasta.

Jatkuvalla syötteellä taas tarkoitetaan syötettä, jossa syötteen tila ja sen muutokset annetaan tietokoneelle jatkuvana virtana tietokoneen tulkitessa syötteen muuttumista ja reagoidessa siihen koko ajan, esimerkiksi hiirtä liikuttaessa. Diskreetti syöte taas on yksittäisinä syöteyksikköinä annettavaa syötettä, jonka tietokone tulkitsee syöteyksikkö kerrallaan ja toteuttaa syötteen toiminnon yksi kerrallaan. Yksinkertaisimpana diskreettinä syötteenä voidaan

pitää binääristä syötettä, joka on yksinkertaisen päällä- tai pois päältä -informaation siirtämistä tietokoneelle. Tietokone tulkitsee saamansa syötteen ja toimii tämän informaation perusteella. Tällaista syötettä on esimerkiksi yksittäisen näppäimistön näppäimen painaminen.

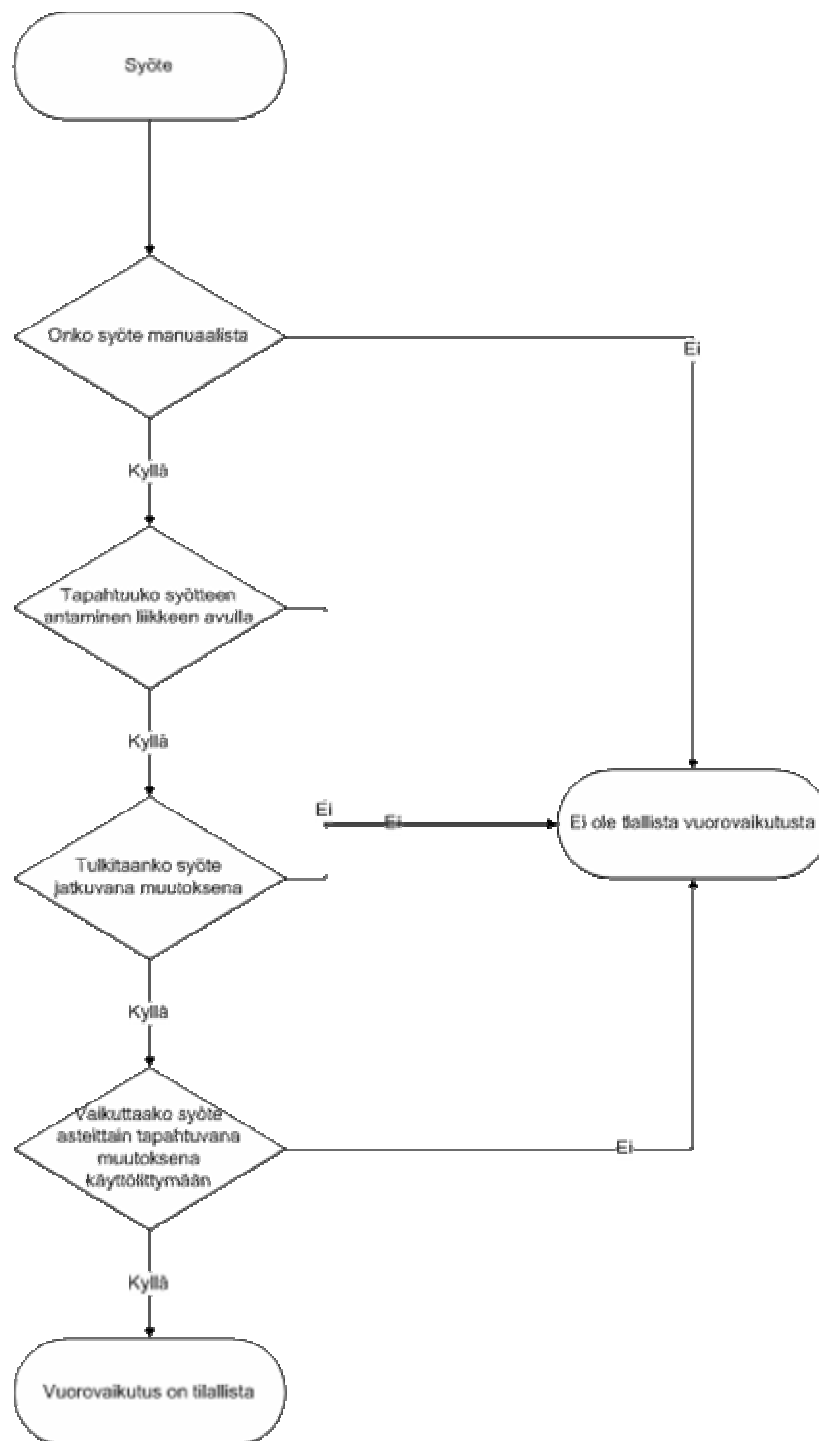
Syötteet voidaan myös jaotella modaaliteetin mukaan. Esimerkiksi syötettäessä informaatiota osoitinsyöttölaitteella syöte annetaan yleensä käsin eli manuaalisesti, jolloin puhutaan manuaalisesta syötteestä. Tähän luokkaan voidaan kuitenkin lukea myös esimerkiksi jaloilla annettu syöte, koska syötteen ominaisuudet ja syöttötapa ovat hyvin samankaltaisia, käytetäänhän siinäkin raajoja. Audiitiivisessä syötteessä taas on kyse äänellä annettavasta syötteestä, esimerkiksi puheentunnistus [Bhimani *et al.*, 1966], jota voidaan käyttää esimerkiksi sähköpostien kuunteluun ja hallintaan puhelimen avulla [Turunen and Hakulinen, 2000]. Samalla tavalla voidaan luoda tähän jaotteluun uusia luokkia uusien syötetapojen perusteella. Tällaisista uusista luokista voidaan mainita yhtenä esimerkkinä katseohjaus, jossa käyttöliittymää ohjataan katseen avulla [Bolt, 1981] esimerkiksi käyttäen tietoa katseen sijainnista käyttäjän avustamiseen tarpeen vaatiessa [Hyrskykari *et al.*, 2000].

Tässä tutkimuksessa keskitytään manuaaliseen ja jatkuvaan syötteeseen perustuvaan vuorovaikutukseen. Tällaisesta syötteestä käytetään jatkossa lyhyesti nimeä *tilallinen syöte*. Tällä tarkoitetaan syötettä, joka perustuu liikkeeseen, sijaan ja/tai asentoon. Ihmisen kannalta tilallista on lähes kaikki syöte, jota ihminen antaa tietokoneelle. Esimerkiksi näppäimen painaminen liittyy tiettyyn kohtaan näppäimistöllä ja liikkeeseen, jolla näppäintä painetaan. Tässä tutkimuksessa kuitenkin rajataan pois tietokoneen kannalta diskreetti syöte, koska tällöin tietokone ei saa minkäänlaista informaatiota syötteen tilallisista ominaisuuksista. Koneen kannalta tilallisena voidaan pitää syötteitä, jotka antavat koneelle informaatiota syötteen liikkeestä, asennosta ja/tai sijainnista. Tällaisia syötteitä ovat esimerkiksi syöttölaitteen liikkeen ja/tai asennon välittävät syötetavat, kuten hiiren tai peliohjaimen antama syöte. Tästä informaatiosta tietokone saa tietoonsa käyttäjän antaman syötteen suunnan, nopeuden ja keston, sekä joissain tilanteissa sijainnin ja/tai asennon. Tällaisia syötteitä voidaan käyttää monin tavoin aina suorasta liikkeen siirrosta käyttöliittymään eleiden tunnistamiseen [Segen and Kumar, 1998]. Yhteistä tällaisille syötteille on syötteen asteittainen liukuva muuttuminen binääriseen päällä tai pois päältä -informaation sijaan. Yleisin tänä päivänä syötteenä käytetty tilallinen syöte on osoitinsyöttölaitteen liikkeen antama syöte. Tätä syötettä voidaan sitten käyttää mitä moninaisimmissa vuorovaikutustavoissa.

Tilallisella vuorovaikutuksella tässä tutkimuksessa tarkoitetaan nimenomaan edellä kuvatun kaltaiseen syötteeseen perustuvaa vuorovaikutusta, joka on tilallista sekä koneen että ihmisen kannalta ja jota käytetään käyttöliittymässä jonkin ominaisuuden asteittaiseen muuttamiseen, eli syötettä joka välittää liikkeen tai asennon muuttumisen koneelle asteittain muuttuvana liukuvana arvona ja muuttaa käyttöliittymää tämän tiedon avulla asteittain. Tämä erottaa tilallisen vuorovaikutuksen binäärisestä vuorovaikutuksesta, joka välittää käyttöliittymälle ainoastaan päällä- tai pois päältä -tiedon. Kuvassa 4 käydään askeleittain läpi vaiheet, joiden perusteella vuorovaikutus voidaan tulkita tilalliseksi vuorovaikutukseksi. Tällä määritelmällä luetaan monia tilallisiin syötteisiin perustuvia vuorovaikutustapoja binäärisiksi vuorovaikutuksiksi. Esimerkiksi kameran kuvasta tai hiiren liikkeestä tapahtuva asennon tai eleen tunnistaminen on tämän rajoituksen mukaan binäärinen vuorovaikutus, koska käytettävä tieto on binäärinen. Joko asento tai ele on tietty tai sitten ei ole. Asennon muuttumisen tai hiiren liikkeen käyttäminen jonkin ominaisuuden asteittaiseen muuttamiseen taas olisi tilallinen vuorovaikutustapa.

Jos ajatellaan käyttöliittymän tilallisia vuorovaikutustapoja tänä päivänä, voidaan niistä suurena ryhmänä helposti erotella vuorovaikutustavat, joiden ohjaamiseen käytetään hiirtä tai jotain muuta osoitinsyöttölaitetta. Yleensä suorittaakseen tilallisen vuorovaikutustehtävän käyttäjän on liikutettava syöttölaitteella kursori tehtävän aktivoivan käyttöliittymäelementin kohdalle ja aktivoitava elementti painamalla hiiren nappia. Sitten tehtävästä riippuen syöttölaitetta liikutetaan tehtävän suorittamiseksi, joko pitäen nappia pohjassa, tai mikäli napin painallus lukitsee syötetilan, lopettaessaan tehtävän käyttäjä painaa nappia uudelleen. Esimerkkeinä tällaisista tehtävästä voisi mainita ikkunan vierittämisen, siirtämisen tai koon muuttamisen.

Yhtenä nykyään yleiseen käyttöön tulleena tapana aktivoida tietty vuorovaikutustapa voidaan pitää jonkin valinnan aiheuttamaa syöttölaitteen siirtymistä toiseen vuorovaikutustilaan. Yksi nykyään yleistynyt tämänkaltainen tapa antaa tilallista syötettä on ikkunan vierittäminen käyttäen hiiren keskimmäisen napin painalluksen avulla valittua ankkuritilaa. Tässä tilassa kursorin kohdalle ilmestyy ankkurisymboli, joka toimii vuorovaikutuksen nollapisteenä. Liikutettaessa kursoria johonkin suuntaan tästä ankkurista ikkunan sisältö liikkuu samaan suuntaan sitä nopeammin, mitä kauemmas kursori viedään ankkurista. Tilasta poistutaan painamalla keskimmäistä nappia uudelleen.



Kuva 4: Tilallinen vuorovaikutus.

Rajaamalla tutkimuskohde tilalliseen vuorovaikutukseen voidaan keskittyä yhteen laajasti käytettyyn vuorovaikutusalueeseen, jonka arviointi on

mahdollista vuorovaikutustavoille yhtenäisten ominaisuuksien avulla. Keskittymällä tilalliseen vuorovaikutukseen saadaan katettua suuri osa nykyisistä vuorovaikutustavoista saaden kuitenkin selkeästi ominaisuuksiltaan yhtenäinen kokonaisuus tutkimuskohteeksi.

3. Vuorovaikutuksen suunnittelun ja arvioinnin menetelmiä

Tänä päivänä vuorovaikutustekniikoiden kehitys ohjelmistonkehityksessä perustuu suurimmaksi osaksi vanhojen tapojen pieneen paranteluun iteratiivisen suunnittelun avulla, koska tämänkaltaisessa kehitystavassa riski epäonnistumiseen on pienin. Jos tilannetta kuitenkin verrataan esim. palautekanavien käyttömahdollisuuksien kehitykseen viime aikoina, olisi mahdollisuus ottaa vuorovaikutuksessa jättimäisiä harppauksia eteenpäin hyödyntäen teknologian luomia mahdollisuuksia. Tämä edellyttäisi, että voitaisiin suunnitella täysin uusia menetelmiä mahdollisimman pienellä riskillä. Vaikka uusien menetelmien kehittäminen aina sisältää riskin, voidaan riskiä pienentää, mikäli käytetään suunnittelun apuna työkaluja, jotka vähentävät resurssien kulutusta alkuvaiheessa ja antavat suuremman varmuuden uuden tekniikan toimivuudesta, ennen kuin resursseja joudutaan panostamaan kehitystyöhön. Nykyisin yleisesti käytössä olevat menetelmät vuorovaikutuksen arviointiin eivät valitettavasti anna tehokkaita keinoja arvioida vuorovaikutustekniikoita etukäteen, jolloin vaadittava panos kehittelyyn jo alkuvaiheessa on suhteellisen suuri. Tämä kasvattaa sen riskin suuruutta, joka joudutaan ottamaan uusia vuorovaikutustekniikoita kehitettäessä.

Käytännössä voidaan suunnitteluvaiheessa käyttää pohjana olemassa olevaa perustutkimusta sekä käyttää tunnettuja keinoja arvioida ihmisten suorituskykyä ja tämän jälkeen tämän tiedon pohjalta toteuttaa prototyyppi, jota voidaan arvioida. Prototyypin toteuttaminen kuitenkin vaatii jo paljon resursseja siihen nähden, että riski epäonnistumisesta on sitä suurempi, mitä erilaisempi nykyisiin tapoihin nähden idea on. Suunnitteluvaiheessa käytettävissä olevat menetelmät antavat mahdollisuuden tehdä sivistyneitä arvauksia (educated guess) siitä, onko uusi tekniikka hyvä vai ei, mutta varmistus siitä saadaan vasta testaamalla prototyyppiä loppukäyttäjillä.

3.1. Käytettävyydestaus ja -arviointi

Yleisin tapa testata uuden vuorovaikutuksen toimivuutta on testata perinteisin käytettävyydestaus tai -arvioinnin menetelmin uuden vuorovaikutustavan prototyyppiä ja sitten kehittää tulosten perusteella prototyypistä parannettu vuorovaikutustapa [Nielsen, 1993; Nielsen, 2003].

Käytettävyyсарviointi perustuu siihen, että käytettävyyden ammattilaiset arvioivat kohteen käytettävyyttä perustaen arviointinsa johonkin tunnettuun ja hyväksi todistettuun säännöstöön, heuristiikkaan. Näistä heuristiikoista ehkä tunnetuin ja käytetyin on Jacob Nielsenin heuristiikka [Nielsen, 2003].

Käytettävyysarvioinnin tehokkuus perustuu siihen, että asiantuntijat, jotka ovat tehneet niitä paljon, ovat oppineet tunnistamaan yleisimmät käytettävyyteen vaikuttavat ongelmat, jotka on otettu käytetyissä heuristiikoissa huomioon. Tämä menetelmä on suhteellisen halpa toteuttaa, sekä soveltuu erinomaisesti tavanomaisten ohjelmistojen ja palveluiden arviointiin, koska näistä on jo aiemman tietämyksen perusteella mahdollista löytää käytettävyysongelmia. Uusien vuorovaikutusideoiden arviointiin sen sijaan käytettävyysarviointi ei sovellu kovinkaan hyvin, koska täysin uudesta tavasta ei asiantuntijoilla ole aiempaa kokemusta. Lisäksi uusi vuorovaikutustapa esimerkiksi Nielsenin heuristiikan mukaan olisi automaattisesti käytettävyysongelma, koska se rikkoo totuttuja tapoja.

Käytettävyystestaus [Nielsen, 1993] toisaalta sopii erinomaisesti uusien vuorovaikutustekniikoiden arviointiin, koska sillä saadaan selville se, kuinka käyttäjät todellisuudessa suhtautuvat uuteen ideaan, ja se, pitäisivätkö he siitä ja käyttäisivätkö he tällaista tapaa. Ongelmana kuitenkin ovat kustannukset ja aika. Käytettävyystestaus tarkoittaa sitä, että testataan laboratorio-olosuhteissa loppukäyttäjien avulla tuotetta todellisissa tehtävissä ja kuvataan tapahtuma videolle. Videolta voidaan sitten analysoida testissä esiintyneet käytettävyysongelmat ja tämän tiedon perusteella päätellä testattavan sovelluksen käyttökelpoisuus sekä tarpeen mukaan kehittää sovellusta edelleen ja testata uudelleen. Tämä kuitenkin vaatii uusia vuorovaikutustekniikoita testattaessa vähintään jollain tasolla toimivan prototyypin, jota testata.

Prototyypin iteratiivinen kehittäminen ja niiden arviointi useaan otteeseen eri kehitysvaiheissa vaatii aikaa ja resursseja. Tämä taas nostaa helposti kustannuksia niin paljon, ettei tällaista menetelmää oteta kovin helposti käyttöön ohjelmistoprojekteissa, joissa aikataulut muutenkin ovat tiukkoja ja kustannukset suuria. On varmempaa pysyä vanhoissa ja turvallisiksi havaituissa vuorovaikutustavoissa ja unohtaa vuorovaikutuksen kehittäminen. Käytettäessä tällaista kehitysmenetelmää on siis suuri riski siitä, että prototyyppiä luotaessa tuhlaata resursseja. Testattaessa voidaan huomata, ettei vuorovaikutustapa toimikaan niin hyvin kuin suunnittelijat olettivat, ja että tapa on käyttökeltoton tai vaatii monia resursseja vaativia iterointikierroksia ennen kuin siitä saadaan toimiva. Malliesimerkkejä pieleen menneestä vuorovaikutuksen kehittelystä on monia esimerkiksi pelimarkkinoilla. Esimerkkeinä uusia vuorovaikutustapoja tuoneista ja menestyneistä peleistä voitaisiin mainita Max Payne, jossa tuotiin peleihin uutena "bullet time" käsite, eli hidastetun ajan käyttö liikkeessä [Max Payne, 2003], sekä Black and White peli, jossa uutena ideana käytettiin hiirellä tehtäviä

eleitä pelin ohjaamiseen [Black and White, 2003]. Huonosti toimivan vuorovaikutuksen takia epäonnistuneita ja heikosti menestyneitä pelejä löytyy yhtä helposti, esimerkkeinä voitaisiin mainita vaikka Evil Twin, jonka pelimaailma ja idea olisi ollut mielenkiintoinen, mutta pelin hallinta epäonnistui [Evil Twin, 2003] sekä Arcanum, joka oli todella odotettu peli ja sai kiitosta mielenkiintoisesta pelimaailmasta ja pelin rakenteesta, mutta jonka hallinta oli vaikeaa [Arcanum, 2003]. Peleissä on usein pyritty kehittämään uusia ohjaustapoja ja vuorovaikutustapoja pelaamiseen ja moni uusia innovatiivisia toimintatapoja sisältävä peli on jäänyt myynniltään heikoksi, kun pelejä arvostelevat lehdet ovat haukkuneet sen käyttöliittymän vaikeaksi käyttää. Tarkasteltaessa esimerkiksi Pelit-lehden vuosikertoja 1995-2003 [Pelit, 1995-2003] sekä Pelit-lehden www-sivuston peliarvosteluarkistoa [Pelit, 2003] saadaan hyvä katsaus pelinkehityksen historiaan, josta löytyy lukuisia esimerkkejä onnistuneista ja epäonnistuneista uusista vuorovaikutustavoista, jotka suoraan ovat vaikuttaneet pelin arvosteluun ja sitä kautta sen myyntiin. Yleisenä trendinä tästä voitaisiin vetää yhteen, että mikäli pelin vuorovaikutustavat eivät ole toimineet, ei peli ole menestynyt kovin hyvin ja vastaavasti pelilliseltä sisällöltään heikompikin peli on saanut parempia pisteitä ja menestynyt paremmin, kunhan pelin vuorovaikutus on ollut toimivaa ja varsinkin innovatiivista, tuoden jonkin uuden tavan olla vuorovaikutuksessa pelimaailman kanssa, kuten Black and White-pelissä hiiren eleiden käyttö pelin ohjaamiseen [Black and White, 2003].

3.2. Fittsin laki ja sen johdannaiset

Yksi yleisesti tunnettu tapa arvioida manuaalista vuorovaikutusta suunnitteluvaiheessa on arvioida käytettävän laitteen nopeutta ja tarkkuutta tehtävässä käyttäen apuna ns. Fittsin lakia ja sen johdannaista [Fitts, 1954; MacKenzie, 1992; Accot and Zhai, 1997; Matias *et al.*, 1993].

Fittsin laki on informaatioteoriaan [Shannon, 1948] pohjautuva laki, joka kuvaa ihmisen motorista kapasiteettia [Fitts, 1954]. Tämän lain avulla voidaan laskea teoreettinen aika, joka ihmiseltä kuluu yksinkertaiseen motoriseen tehtävään. Perusmuodossaan kaava on $MT = a + b \log_2(2A/W)$ jossa MT on liikkeen keskimääräinen aika, a ja b ovat tehtäväriippuvia vakioita, jotka tarvitsee mitata kokeellisesti, A on liikkeen amplitudi, eli matka ja W maalin leveys [Fitts, 1954]. Fittsin lain avulla voidaan laskea, mikäli kaikki muuttujat tunnetaan, kuinka nopeasti ihminen keskimäärin kykenee osumaan tietynkokoiseen maaliin. Laista on tehty useita variaatioita, joita on muokattu paremmin graafisissa käyttöliittymissä tapahtuviin valinta- ja kirjoitustehtäviin

[MacKenzie, 1992; Matias *et al.*, 1993] ja jopa liiketehtäviin, joissa kursori pitää siirtää tietyllä tarkkuudella tiettyä rataa [Accot and Zhai, 1997].

Fittsin laki muunnelmiseen ei kuitenkaan kerro sitä, kuinka nopeasti ja tarkasti ihmiset toimivat normaalisti, koska perinteisesti koeasetelmissa pyydetään käyttäjää osumaan maaliin mahdollisimman nopeasti. Tällainen laki soveltuu hyvin käytettäväksi, jos vuorovaikutustehtävä on jonkinlainen yksinkertainen valintatehtävä tai liiketehtävä, jossa pitää osua tietyn kokoiseen maaliin tai pysyä tietyllä reitillä kursorilla. Lakia on onnistuneesti sovellettu myös tekstinsyötön ennustamiseen [Silfverberg *et al.*, 2000]. Lain avulla saadaan arvioitua suunniteltaessa vuorovaikutusta, onko käyttäjän edes mahdollista suorittaa haluttu tehtävä suunnitellulla syöttölaitteella tai valittaessa syöttölaitteita saadaan arvioitua näiden tarkkuutta.

Tämän menetelmän heikkoutena on se, että siinä ei oteta lainkaan kantaa käyttäjien kokemukseen vuorovaikutuksesta vaan ainoana kriteerinä on, kuinka nopeasti ja tarkasti käyttäjä kykenee suorittamaan tehtävän. Lisäksi on otettava huomioon, että tarkkuus riippuu nopeudesta ja mitä nopeammin tehtävä suoritetaan, sitä epätarkemmin se suoritetaan (ns. speed-accuracy tradeoff). Tämän vuoksi pyydetessä käyttäjää suorittamaan tehtävä mahdollisimman nopeasti osuen tietyn kokoiseen maaliin saadaan nopeudesta ja tarkkuudesta selville ainoastaan, onnistuuko tietyn tehtävän suorittaminen tietyn kokoisella maalilla riittävän nopeasti.

Fittsin laki on kyllä tehokas suunniteltaessa esimerkiksi maalien kokoa ja muita ominaisuuksia, koska lain avulla saadaan selville, kuinka nopeasti kyetään osumaan tietyn vaikeusindeksin omaavaan maaliin, jossa vaikeusindeksi on sitä suurempi, mitä kauempana tai pienempi maali on. Tehtävän suoritustehokkuus ei kuitenkaan ole ainoa kriteeri, joka ratkaisee uuden vuorovaikutustekniikan onnistuneisuuden. Vaikka käyttäjä onnistuisi tehtävässä nopeasti, ei se välttämättä käyttäjän mielestä ole miellyttävä tehdä, tai toisaalta käyttäjä saattaa hyvinkin toimia luonnollisesti toimiessaan hitaammin kuin pystyisi vain lisätäkseen varmuuden tunnetta toiminnassaan.

3.3. Perustutkimuksen tuloksien hyödyntäminen

Kolmas yleisesti tunnettu tapa vuorovaikutuksen suunnittelun apuna on nojautua perustutkimuksessa tehtyihin havaintoihin yksittäisten ominaisuuksien vaikutuksesta tehtävän suorittamiseen. Tämä vaatii vuorovaikutuksen suunnittelijoilta hyvää perehtymistä sekä eri aloilla tehtyyn vuorovaikutukseen liittyvään perustutkimukseen, että taitoa soveltaa yksittäisiä tutkimuksia omaan kehitystyöhön. Tällä menetelmällä voidaan

saada perusteltuja arvauksia siitä, miten vuorovaikutusta voidaan parantaa. Tämä kuitenkin antaa vain suuntaa ajattelun toiminnon vaikutuksesta eikä kerro yksiselitteisesti, toimiiko suunniteltu vuorovaikutustapa kokonaisuutena. Tällaiseen pohjatietoon nojaamalla voidaan tehdä vain hyviä arvauksia siitä, minkälaisia parannuksia vuorovaikutukseen tulisi tehdä. Luotettavaan vuorovaikutuksen toimivuuden selvittämiseen tarvitaan edelleen prototyyppejä ja käytettävyydestä ilman varmoja takeita projektin onnistumisesta.

Esimerkkinä tällaisista tutkimuksista ovat tutkimukset, joissa on osoitettu, että palautetta muuttamalla voidaan parantaa suoritustehokkuutta. On esimerkiksi todistettu, että värin käyttö havaittavissa objekteissa vähentää kognitiivista kuormaa ja nopeuttaa tehtävän suorittamista [Bucks and Walrath, 1992]. Toisena esimerkkinä tuntopalautteen avulla voidaan nopeuttaa kursorin ohjaamista ruudulla [Dennerlein *et al.*, 2000]. Käyttämällä hyväksi tämänkaltaisia tutkimustuloksia voidaan päätellä, miten vuorovaikutustekniikoita tulisi parantaa, jotta saavutettaisiin parempia suoritustuloksia.

3.4. Tarve uudelle menetelmälle

Nykyiset menetelmät vuorovaikutuksen arviointiin sopivat hyvin hitaasti kehitettäviin pieniin muutoksiin perustuviin kehitysprojekteihin tai uudenlaisten tekniikoiden ideoinnin tukemiseen. Kuitenkaan ne eivät tarjoa työkaluja nopeatempoiseen uusien ideoiden toteuttamiseen ilman, että työssä otetaan suuri riski epäonnistumisesta ja resurssien haaskaamisesta.

Perinteinen käytettävyystudkimus lienee yleisin menetelmä, jolla uusia vuorovaikutustekniikoita testataan, mutta vaatii huomattavasti resursseja ja siksi menetelmää käytetään iteratiivisessa kehityksessä pienten parannusten tekemiseen nykyisiin tekniikoihin. Tämän vuoksi vuorovaikutuksen kehittyminen sovelluksissa on ollut hidasta ja jäänyt jälkeen muusta sovelluskehityksessä tapahtuneesta kehityksestä.

Fittsin laki on tunnetuimpia ihmisen suorituskykyä mittaavia lakeja, jota käytetään apuna kehiteltäessä uusia syöttölaitteita ja vuorovaikutustapoja, jotka perustuvat siihen, että ihminen ylioppii ne ja siksi toimii optimaalisesti tehdessään tehtäviä. Lain avulla siis saadaan selville ihmisen motoriikan rajat, eikä miellyttävän käytettävyyden rajoja. Laki ei kuitenkaan ota mitään kantaa ihmisten mieltymyksiin ja toiveisiin eikä siksi sovellu kovin hyvin täysin uudentyyppisten vuorovaikutustekniikoiden kehittämiseen.

Perustutkimuksen tuloksia taas voidaan hyvin soveltaa ideoitaessa uusia vuorovaikutustapoja ja käyttää niiden tuloksia hyväksi etsittäessä potentiaalisia

tapoja toimia ja työskennellä sekä suunniteltaessa esimerkiksi palautteen laadun parantamista ja tapoja ihmisen työskentelyn helpottamiseksi. Kuitenkin perustutkimuksen tulosten hyväksikäyttämisen ongelmana on se, että ne ottavat aina kantaa yleensä vain johonkin tiettyyn osa-alueeseen tai osa-alueisiin vuorovaikutuksessa ja näiden tutkimustulosten yhdistäminen vaatii paitsi paljon luovuutta ja tutustumista tieteissä saavutettuihin tuloksiin, myös jonkin verran onnea, että muodostettu yhdistelmä on toimiva ja hyvä sekä käyttäjien mieleinen. Jonkin verran on nykyään tehty tutkimusta myös perustutkimusten tulosten yhdistämisestä (multimodaalisuus). Tämä tutkimustyö kuitenkin on ollut lähinnä akateemista tutkimusta, ja tämän vuoksi kehitys resurssien puutteen vuoksi hidasta ja myös tässä tutkimuksessa ongelmana on löytää toimivia yhdistelmiä mahdollisimman pienin hukkaresurssein. Varmasti kehiteltyjen tekniikoiden toimivuutta päästään testaamaan vasta, kun saadaan kehitetyksi prototyyppi, jota voidaan sitten mitata käytettävyydestä tutkimuksen tai empiirisen tutkimuksen menetelmin. Tämä kuitenkin vaatii jo huomattavasti resursseja ja sisältää aina epäonnistumisriskin.

Nykyiset menetelmät eivät tarjoa yhtenäistä selkeää ja nopeaa työkalua, jolla voisi nopeasti testata uusia ideoita ilman suuria resurssivaatimuksia. Tämä vaikuttaa vuorovaikutustekniikoiden kehitykseen hidastavasti ja tekee tällaisesta toiminnasta lähinnä akateemisen tutkimuksen kohteena. Kuitenkin olisi käyttäjien ja tietotekniikan kehityksen kannalta suotavaa, että vuorovaikutustekniikat kehittyisivät nopeassa tahdissa muun teknologian mukana ja teknologiasta tulisi ihmisille helpommin lähestyttävää ja käytettävää. Tämä luo tarpeen uudentyyppisille *RID (Rapid Interaction Development)* metodien kehittämiseksi RAD (Rapid Application Development) työkalujen tapaan, jotta vuorovaikutustekniikoiden kehittämisestä tulisi kiinteä osa jatkuvaa tuotekehitys- ja ohjelmistokehitystyötä, jota yrityksissä tehdään. Tällaisilla menetelmillä ja työkaluilla voitaisiin saada aikaiseksi tilanne, jossa uusiin ohjelmiin ja laitteisiin kehitettäisiin, paitsi uusia ominaisuuksia, myös uusia helpompia ja paremmin toimivia tapoja käyttää niitä.

4. Vuorovaikutuksen mallintaminen

Suunniteltaessa tapoja arvioida vuorovaikutuksen toimivuutta vuorovaikutustapojen suunnitteluvaiheessa on ongelmana vuorovaikutustapojen erilaisuus. Jotta voitaisiin arvioida uusia vuorovaikutustapoja, jo näiden suunnitteluvaiheessa olisi oltava käytettävissä menetelmä, jolla voidaan arvioida vuorovaikutusta koneen kanssa hyvin yleisellä tasolla ja soveltaa tätä arviota tietyn vuorovaikutustavan tasolle. Tämä luo tarpeen yleistää vuorovaikutuksen toiminta yleiselle perustasolle, jolle voidaan yleistää kaikki vuorovaikutustavat tyydyttävällä tarkkuudella. Tämän yleistetyn tason tulisi olla sellainen, että sitä kyettäisiin helposti arvioimaan ja sitten soveltamaan yleistettyä arviota vuorovaikutustapoihin. Yksi tapa luoda tällainen menetelmä on jakaa vuorovaikutukseen vaikuttavat tekijät pelkistetylle tasolle ja sitten arvioida näiden tekijöiden vaikutusta yleiseen vuorovaikutukseen. Hintana tällaisesta yleistämisestä on epätarkemman tiedon saaminen vuorovaikutuksesta, ja tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena onkin selvittää, kuinka paljon yleistäminen vaikuttaa vuorovaikutuksen arvioinnin tarkkuuteen.

4.1. Nykyisiä mallintamismenetelmiä

Mallintamismenetelmät, jotka tänä päivänä yleisesti tunnetaan, tukevat hyvin ohjelmistonkehitystä ja syötteen luokittelua. Ongelmana näissä malleissa on se, että vaikka ne tukevat hyvin olemassa olevien tehtävien suunnittelua olemassa olevia vuorovaikutustapoja käyttäen, ne kuitenkin perustuvat käytössä oleviin vuorovaikutustapoihin. Tämän vuoksi näiden mallien käyttäminen täysin uusien vuorovaikutustehtävien arviointiin on vaikeaa.

Yksi hyvin laajasti käytössä oleva menetelmä käyttöliittymän arviointiin on ns. tehtäväanalyysi (task analysis) [Burtt, 1942; Kopstein 1969; Preece, 1994]. Tämän menetelmän perustana on monimutkaisempien tehtävien hajottaminen yksinkertaisempiin osiin aina perustoimintojen tasolle saakka. Näistä perustoiminnoista käytetään esimerkiksi nimityksiä ”yksinkertainen tehtävä” (simple task) [Payne and Green, 1989] tai ”yksikkötehtävä” (unit task) [Card *et al.*, 1983]. Nämä perustoiminnot ovat sellaisia toimintoja, jotka ihminen tekee saavuttaakseen jonkin tavoitteen ja siten saadakseen jonkin laajemman tehtävän suoritettua. Tällä tavoin voidaan ohjelmistoja suunniteltaessa helposti hajottaa monimutkaisemmat tehtävät yksinkertaisiin toimintoihin, jotka kyetään toteuttamaan ohjelmallisesti. Tämä menetelmä on tehokas työkalu suunniteltaessa ohjelman toiminnallisuutta ja yleistä vuorovaikutusta ihmisen kanssa. Uusien vuorovaikutustekniikoiden mallintaminen tällä menetelmällä

on kuitenkin vaikeaa, koska perustasolla oleva vuorovaikutustekniikka on perustoiminto, jota ei enää voi hajottaa pienempiin tehtäviin osiin.

Toinen yleisesti ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksessa käytetty mallinnusmenetelmäperhe on GOMS-malliin (Goals, Operators, Methods and Selection Rules) perustuvat mallit, kuten CMN-GOMS (Card, Moran & Newell GOMS) [Card *et al.*, 1983], KLM (Keystroke Level Model) [Card *et al.*, 1980], NGOMSL (Natural GOMS Language) [Kieras, 1996] sekä CPM-GOMS (Cognitive-Perceptual-Motor GOMS) [John and Kieras, 1994]. Nämä GOMS-menetelmät perustuvat siihen, että vuorovaikutustehtävät jaetaan tavoitteisiin (*Goals*), joiden suorittamiseksi käytetään operaattoreita (*Operators*). Tavoitteet ja operaattorit ovat yksittäisiä toimintoalkioita, jotka on yksiselitteisesti määriteltävissä. Nämä kootaan yhteen metodeiksi (*Methods*), jotka ovat tiettyssä järjestyksessä suoritettuja operaattoreita ja tavoitteita, jotka ovat etukäteen opittuja menettelytapoja, esim. roskakorin tyhjentäminen on metodi, jonka tavoite on roskakorin tyhjäksi saaminen ja operaattoreita hiiren vieminen roskakorin päälle (osatavoite), hiiren oikean napin painaminen, hiiren liikuttaminen tyhjennä-komennon päälle, sekä vasemman napin painaminen. Mikäli valittavissa on useampia metodeita tavoitteen saavuttamiseksi, metodi valitaan valintasääntöjen (*Selection Rules*) avulla. Nämä ovat käyttäjän osaamia tapoja valita ”paras mahdollinen” metodi.

Yhteistä GOMS-malleille on tiukka ja selkeä syntaksi, jonka avulla tehtävät voidaan kuvata. Kun kaikkien osien suoritusajat tunnetaan, voidaan laskea tehtävien kokonaissuoritusajat. Tämänkaltaiset mallit soveltuvat erinomaisesti esimerkiksi tunnettujen tavoitteiden saavuttamiseksi kehitettävien tapojen suunnitteluun ja arviointiin. Menetelmät kuitenkin olettavat, että osat ovat ennestään tunnettuja ja mitattuja tapoja toimia, eivätkä siten sovellu kovin hyvin täysin uudenlaisten tapojen arviointiin. Menetelmien avulla saadaan myös lopputuloksena ohjelmointikieltä muistuttavia toimintosarjoja, jotka on helppo muuttaa ohjelmointikieliseksi koodiksi, jolla toiminnot toteutetaan.

4.2. Uusi yksinkertaistettu malli vuorovaikutuksesta

Tässä tutkielmassa esitellyssä uudessa mallissa tilalliset vuorovaikutustavat jaetaan kolmella muuttujalla ilmaistaviksi perusvuorovaikutustavoiksi. Tämä malli on hyvin pelkistetty malli vuorovaikutuksesta ja sen tarkoitus on toimia selittävänä mallina vuorovaikutukseen vaikuttavista elementeistä.

Käyttöliittymän tilalliset vuorovaikutustehtävät voidaan jakaa peruselementteihin, jotka voidaan kuvata kolmella erityyppisellä perusmuuttujalla. Näitä myöhemmin tarkemmin esiteltäviä perusmuuttujia

ovat (1) syötteen kontrolloitavat dimensiot, (2) palautteen toisistaan riippumattomat dimensiot ja (3) tehtävään aiheuttama kognitiivinen kuorma. Näiden muuttujien avulla voidaan esittää liikkeeseen perustuvan tehtävän monimutkaisuus ja siten yleistetyllä tasolla mitata eri monimutkaisuusasteita olevien tehtävien suoritustehokkuutta, tarkkuutta ja tehtävän suorittamisen miellyttävyyttä.

Dimensio näissä muuttujissa tarkoittaa muuttujan hallittavien ominaisuuksien määrää. Dimensiota ei siis tule sotkea perinteiseen reaali maailman ulottuvuuskäsitykseen, vaan kiinnittää huomio kasvavaan hallittavien ominaisuuksien määrään. Tässä tutkimuksessa käytetty dimensio muistuttaa pikemminkin matemaattista abstraktia dimensiokäsitettä. Mitä enemmän hallittavia ominaisuuksia vuorovaikutuksella on, sitä monimutkaisempaa vuorovaikutuksen hallinta on. Dimensioiden määrä kuvaa siis ennemminkin monimutkaisuusastetta. Oleellista on, että dimensiot ovat toisistaan riippumattomia yhtäaikaaisesti hallittavia ominaisuuksia, jotka liittyvät vuorovaikutukseen.

Syötteen ja palautteen dimensioiden täydellinen erottaminen toisistaan on mahdotonta, koska palautteen laatu ja määrä vaikuttaa syötteen hallittavien dimensioiden määrään. Syy näiden erottamiseen ei olekaan muuttujien täydellinen riippumattomuus toisistaan, vaan se, että ne vaikuttavat syötetapaan erityyppisesti. Parantamalla palautteen laatua, voidaan helpottaa annettavan syötteen vaatimuksia, mutta vähentämällä syötteen dimensioiden määrää tehdään koko syöte yksinkertaisemmaksi.

Syötteen kontrolloitavilla dimensioilla tarkoitetaan syötteen vaatimien samanaikaisesti hallittavien eri liikesuuntien määrää. Tämä syötedimensio ei ole täysin riippumaton palautteesta, vaan palautteen tyyppi vaikuttaa syötteen dimensioiden määrään. Tässä mallissa syötteen kontrolloitavilla dimensioilla tarkoitetaan sitä samanaikaisesti hallittavien liikesuuntien määrää, joita käyttäjä joutuu samanaikaisesti liikkeessään hallitsemaan ja havainnoimaan kontrolloidakseen liikettä. Eli se, miten käyttäjä havainnoi liikettä hallitessaan sitä vaikuttaa siihen, kuinka monta erillistä suuntaa hän joutuu samanaikaisesti kontrolloimaan. Tässä mallissa ei oteta kantaa siihen, kuinka monessa ulottuvuudessa liike tapahtuu vaan liikkeen dimensiot lasketaan sen mukaan, montaako erillistä liikekohtaa hän joutuu hallitsemaan. Jos liikkeen eri suunnat havainnoidaan eri kohdista, joutuu käyttäjä hallitsemaan näitä liikesuuntia erillisesti. Eli pistemäisen kohteen liikuttaminen on yksidimensioista riippumatta suunnasta johon sitä liikutetaan. Tasomaisen tai kahden pistemäisen kohteen hallinta taas on kaksidimensioista, koska käyttäjä joutuu hallitsemaan ja havainnoimaan erikseen kahta eri suuntaelementtiä.

Esimerkiksi hiiren kursorin liikuttaminen on yksidimensioinen syöte, koska kursorin liikuttaminen tapahtuu aina hetkellisesti yhteen suuntaan kerrallaan, jolloin käyttäjä joutuu hallitsemaan yhtä vuorovaikutuksen osasuuntaa kerrallaan. Tällaisessa tilanteessa ei kursorin suunnan muuttaminen tee kursorin hallintaa vaikeammaksi tai monimutkaisemmaksi. Tästä johtuen, vaikka kursoria hallitaan kaksiulotteisella tasolla, ei kuitenkaan vuorovaikutus ole dimensioiltaan kaksiulotteista. Ikkunan vierittäminen taas on kaksi-dimensioinen syöte, sillä kyseinen tehtävä vaatii kahden toisistaan riippumattoman suunnan samanaikaista hallintaa. Tällöin käyttäjä joutuu samanaikaisesti hallitsemaan sekä pystysuoran että vaakasuoran vierityspalkin liikkeen ja täten hallitsemaan koko ajan samanaikaisesti kahta erillistä liikkeen suuntaa. Tämä tekee tästä tasossa olevasta vuorovaikutuksesta kaksiulotteisen. Oleellista arvioitaessa vuorovaikutuksen dimensioita ei siis ole se, kuinka monessa ulottuvuudessa vuorovaikutus tapahtuu, vaan kuten edellisessä kappaleessa kerrottiin se, kuinka monta liikesuuntaa käyttäjä joutuu yhtäaikaaisesti hallitsemaan ja havainnoimaan.

Palautteen toisistaan riippumattomilla dimensioilla taas tarkoitetaan niitä palautteen osia, jotka eivät riipu toisistaan ja vaativat siksi kukin itsenäisesti käyttäjän kontrollia ja keskittymistä. Esimerkiksi hiiren kursorin liike on yksidimensioista, sillä sen antama palaute on visuaalista, aina yhteen suuntaan kerrallaan suuntautuvaa yhdessä paikassa annettua palautetta, kun taas ikkunan vierittäminen on kaksidimensioista, koska kumpikin vaaka- ja pystysuuntaisen liukupalkin antama visuaalinen palaute on toisistaan riippumatonta ja siten kumpikin palaute on hallittava erikseen. Toisaalta ikkunan vierittämiseen liittyy kolmas visuaalinen palaute, joka on kumpaakin erillistä palautetta (liukupalkit) tukeva, eli ikkunan sisällön visuaalinen liike. Tämä helpottaa tehtävän suorittamista ja lähentää tehtävää kohti yksidimensioista liikettä. Siten puhtaasti kaksidimensioista kahden suunnan vierittäminen on ainoastaan silloin, kun tätä tukevaa visuaalista palautetta ei ole tarjolla, eli kun ikkunan sisältöä ei näytetä vieritettäessä.

Huomioon otettava asia näissä muuttujissa on se, että ne eivät ole lukuihin verrattavia jatkuvia muuttujia, joita voitaisiin laskea yhteen eri muuttujien välillä. Yksittäiset muuttujat ovat kuitenkin lukuarvoja, joita voidaan verrata keskenään saman muuttujan osalta sekä laskea näistä esimerkiksi keskiarvot. Muuttujat ovat järjestysasteikollisia monimutkaisuutta kuvaavia muuttujia, jotka eivät välttämättä kasva säännöllisesti ja joiden keskinäistä järjestystä ei voida ennustaa, mutta samat muuttujat ovat eri otoksissa keskenään verrattavissa. Erityisesti kognitiivista kuormaa kuvaavan muuttujan

järjestäminen suuruusjärjestykseen vaatii tietoa aikaisemmista tutkimuksista, joista selviää erityyppisten kognitiivisten tehtävien vaativuus.

Esimerkkinä tällaisesta kognitiivisen kuorman vaikutuksesta tehtävien suoritus aikaan voidaan mainita aiemmin perustutkimuksesta puhuttaessa mainittu värin vaikutus kohteiden tunnistamiseen. Psykologian tutkimuksissa on havaittu että ruudulla käytettävät värit helpottavat kohteen tunnistamista ja vähentävät tehtävän aiheuttamaa kognitiivista kuormaa, ja tämän seurauksena nopeuttavat tehtävän suorittamista [Bucks and Walrath, 1992].

Tehtävän kognitiivisella kuormalla tarkoitetaan tehtävän vaatiman päättelyn ja tunnistamisen aiheuttamaa kuormaa. Eli siis sitä tehtävän vaikeusastetta, joka vaatii käyttäjältä sisäistä tietoa ja havaintojen analysointia sekä päättelyä perustuen näihin havaintoihin. Siis esimerkiksi liikuttaessa kursoria ikonin päälle on kognitiivinen kuorma kuvan tunnistamisen vaatima tunnistuskuorma, kun taas vieritettäessä teksti-ikkunaa tiettyyn kohtaan on kognitiivinen kuorma tekstin tunnistamisen vaatima kognitiivinen kuorma. Tämän muuttujan oletetaan käyttäytyvän tehtävää hidastavana ja vaikeuttavana muuttujana. Mitä enemmän tehtävä vaatii kognitiivista työskentelyä, sen vaikeampi ja epämiellyttävämpi tehtävä on käyttäjälle suorittaa.

Yhdistämällä nämä kolme muuttujaa, jotka määrittävät tilallisen tehtävän monimutkaisuuden, voidaan kukin tehtävä kuvata yhdellä ordinaalisasteikollisella yhdistelmämuuttujalla, joka kertoo tehtävän monimutkaisuuden. Esimerkiksi kursorin liikuttaminen ikonin päälle voidaan kuvata yhdistelmämuuttujana 1,1,kt, jossa ensimmäinen luku kertoo syötteen kontrolloitavien dimensioiden määrän, toinen luku visuaalisen palautteen dimensioiden määrän ja kt kognitiivisen kuorman, joka on kuvan tunnistamisen aiheuttama kognitiivinen kuorma. Mikäli ikoni olisi valittava useamman ikonin joukosta, olisi kognitiivisessa kuormassa lisäksi oikean kuvan valinnan aiheuttama kuorma (kv), eli kokonaiskuorma olisi kt+kv.

Johtuen näiden kolmen muuttujan erityyppisestä osittain toisistaan riippuvasta ja osittain riippumattomasta luonteesta on mahdotonta etukäteen päätellä mikä on yhdistelmämuuttujien keskinäinen suuruusjärjestys. Tämän vuoksi ei tällaista yhdistelmämuuttujaa voida käyttää millään tavoin muiden muuttujien järjestyksen tai suuruuden ennustamiseen. Yhdistelmämuuttujan tarkoitus on ainoastaan kuvata tehtävän yleistettyä monimutkaisuutta. Tällöin on olemassa tilallisille vuorovaikutustavoille yhteinen kuvaava muuttuja, jota voi käyttää vuorovaikutuksen yleistettyyn arviointiin myöhemmin tässä tutkielmassa kuvatulla menetelmällä.

Vastaavasti voidaan kaikki tilalliset tehtävät kuvata käyttäen näitä kolmea muuttujaa. Tämä mahdollistaa tietyn syöttölaitteen soveltuvuuden mittaamisen johonkin määrättyyn vuorovaikutustapaan mittaamalla syöttölaitteen soveltuvuutta eri monimutkaisuusastetta oleviin pelkistettyihin tehtäviin. Vuorovaikutustapaa suunniteltaessa voidaan jakaa suunnitellut tehtävät näiden muuttujien avulla yleistetyksi kuvatuiksi vuorovaikutustavoiksi ja selvittää syöttölaitteesta testaamalla saadun datan avulla, soveltuuko syöttölaite tähän tiettyyn tehtävään.

Tämän vuorovaikutusmallin vahvuus on se, että se ei ota kantaa syöttölaitteiden tai -tapojen yksityiskohtaisiin ominaisuuksiin eikä palautteen tyyppihin. Malli mahdollistaa tilallisen vuorovaikutuksen hajottamisen yleisiin vuorovaikutukseen vaikuttaviin elementteihin ja sen arvioinnin näiden elementtien avulla. Tämä mahdollistaa mitä erilaisimpien syöttölaitteiden ja tapojen toimivuuden arvioinnin erityyppisiin vuorovaikutustehtäviin niin kauan kuin vuorovaikutus on tässä tutkielmassa luvussa kaksi esitetyn määritelmän mukaisesti tilallista. Malli ei myöskään määrää sitä, millä tarkkuudella yleistäminen tehdään vaan tarjoaa kehyksen soveltaa yleistämistä haluamallaan tasolla.

Esimerkiksi palautteen suhteen voidaan yleistäminen tehdä hyvin yleiselle tasolle, jolla ei oteta kantaa lainkaan palautteen tyyppiin, vaan ainoastaan lasketaan erilliset palautedimensiot. Tai vaihtoehtoisesti voidaan luokitella palautetyypit erikseen palautemuuttujan sisällä ja kasvattaa mitattavien muuttujien määrää, mutta saada tarkempaa tietoa eri palautteiden vaikutuksesta vuorovaikutukseen. Esimerkiksi voidaan muuttaa vuorovaikutus, jossa on kaksi visuaalista sekä kaksi haptista toisistaan riippumatonta palautetta, joko yleiseksi muuttujaksi 4 palautedimensiota tai vaihtoehtoisesti muuttujaksi 2 visuaalista + 2 haptista palautetta. Tarkemmalla muuttujalla rajataan mahdollisuuksia yleistää saatuja tuloksia, mutta toisaalta saavutetaan suurempi tarkkuus tuloksissa.

Se, kuinka yleiselle tasolle vuorovaikutus halutaan yleistää, voidaan aina päättää tarpeen mukaan ja soveltaa tätä mallia tilanteeseen soveltuvalla tavalla. Oleellista tässä mallissa on vuorovaikutuksen ilmaiseminen mallin esittelemällä kolmella yleisellä muuttujalla, joiden mittaaminen on helppoa yksinkertaisin menetelmin. Tässä tutkielmassa mallia on testattu ja verrattu todellisiin vuorovaikutustehtäviin ja tämän vertailun avulla todistettu mallin toimivuus sekä arvioitu yleistämisen aiheuttamaa epätarkkuutta tuloksiin.

5. Yleistämiseen perustuva vuorovaikutuksen testaus

Pelkistettyä vuorovaikutuksen mallia voidaan helposti testata luomalla yksinkertainen abstrakti mittaussovellus, jolla voidaan mitata mallinnetun vuorovaikutuksen käytettävyyttä ja tehokkuutta. Tällaisena testattavana sovelluksena, jolla mittaus suoritetaan, voi käyttää yksinkertaista abstrakteja maaleja ja elementtejä sisältävää sovellusta, jossa käyttäjän tehtävänä on siirtää elementtejä maalin päälle. Tällaisia sovelluksia on käytetty pitkään perustutkimuksessa, esimerkiksi vahvistettaessa Fittsin lain toimivuutta erityyppisissä käyttötilanteissa [Kabbash *et al.*, 1993; MacKenzie, 1992; MacKenzie and Buxton, 1992; MacKenzie and Buxton, 1993]. Tässä luvussa kuvataan periaatetasolla se, miten mallin perusteella voidaan mitata yksinkertaisesti vuorovaikutuksen toimivuutta ja kuinka näitä tuloksia voi tulkita selvittäessä suunnitellun vuorovaikutustekniikan käytettävyyttä. Seuraavassa luvussa kuvataan tarkemmin menetelmän vahvistamiseen käytetty sovellus ja testausprosessi. Tämä toimii samalla esimerkkinä siitä, miten voidaan järjestää pelkistetyn vuorovaikutuksen testaus käyttäen tässä luvussa periaatetasolla esitellyn kaltaista mittaussovellusta.

Kun arvioidaan vuorovaikutustavan toimivuutta, usein tyydytään arvioimaan vuorovaikutuksen fyysistä toimivuutta ja mitataan, kuinka tarkasti ja nopeasti käyttäjä kykenee jonkin tehtävän suorittamaan. Tämän perusteella päätellään vuorovaikutustavan toimivuutta. Tämä kuitenkin mittaa ainoastaan tekniikan tehokkuutta, eikä sitä, käyttäisikö käyttäjä tarjottua tapaa. Ihmisten työskentelyyn vaikuttaa voimakkaasti se, kuinka miellyttäväksi he työskentelyn kokevat. Tätä on perinteisesti mitattu erilaisin käytettävyydestausten menetelmin kehitystyön loppuvaiheessa ja näitä tuloksia on käytetty apuna suunniteltaessa seuraavaa versiota tuotteesta. Kuitenkin voitaisiin yksinkertaista käyttökokemusta mittaavaa lomaketta käyttäen mitata tässä tutkielmassa esitellyn mallin mukaisessa pelkistetyssä testissä käyttäjän henkilökohtaista kokemusta tehtävästä ja täten saada tarkemmin tietoon jo etukäteen, onko suunnitellun kaltainen vuorovaikutustekniikka muutenkin käytettävä, kuin nopeuden ja tarkkuuden suhteen.

5.1. Testijärjestelyt

Testi on suunniteltu noudattaen kokeellisen tutkimuksen yleisiä periaatteita pyrkien poistamaan muiden kuin mitattavien muuttujien vaikutus testin tuloksiin. Kun käytetään yksinkertaista mallia vuorovaikutuksen mallintamiseen, riittää testisovellukseksi hyvin yksinkertainen sovellus, joka

tuottaa mallin mukaiset ärsykkeet ja vastaa mallin mukaisesti käyttäjän liikkeeseen. Tällaisen sovelluksen valmistaminen on hyvin nopeaa ja helppoa käyttäen RAD-sovelluskehittäjiä (Rapid Application Development tools), kuten Borlandin C++-Builder-ohjelmaa [Borland, 2003].

Sovelluksen tulee yksinkertaisimmillaan vain tarjota yksinkertaisia maaleja, joiden päälle liikutetaan kursorina toimiva kappale tai kiinne kohta (maali), jonne siirrettävä taso liikutetaan. Ruudulla käytettyjen kappaleiden tarkkojen koordinaattien tulee olla alkutilanteessa sekä lopputilanteessa tunnettuja. Tehtävistä kerätään talteen aloitushetki, jolloin käyttäjä alkaa suorittaa tehtävää sekä lopetushetki, jolloin tehtävä on suoritettu samoin kuin kohde-elementin ja suoritus-elementin (maali ja kursori) alkutilanteen koordinaatit sekä lopputilanteen koordinaatit. Näiden avulla saadaan laskettua tehtävän suorittamiseen kulunut aika sekä suoritustarkkuus. Lopuksi käyttäjälle esitetään käyttömukavuutta mittaavia kysymyksiä viisiportaisella arvosteluasteikolla, jonka avulla voidaan arvioida vuorovaikutustavan käytettävyyttä käyttäjän henkilökohtaisen kokemuksen mukaan. Testissä käyttäjiä tulisi ohjeistaa toimimaan "mahdollisimman luonnollisesti niin kuin toimisivat työskennellessään yksinään tietokoneen kanssa", koska kumpikin, sekä tarkkuus että nopeus mitataan. Se, kumpaa käyttäjät painottavat, riippuu täysin käyttäjän omista mieltymyksistä ja työskentelytavoista. Tämän vuoksi ei saa paljastaa käyttäjille ennen testiä, että näitä arvoja mitataan, jotta käyttäjä ei muuttaisi toimintatapaansa ja siten vääristäisi tuloksia.

Huomioitavaa myös on, että koehenkilöt olisi hyvä valita vuorovaikutustavan todennäköisestä kohderyhmästä, jotta saataisiin tuloksina kyseisen kohderyhmän mieltymykset. Mikäli kyseessä on tapa, joka on tarkoitettu tietokoneenkäyttötaidoiltaan eritasoisten ihmisten käytettäväksi, olisi hyvä suorittaa testi eri ryhmille erikseen ja pitää yksi testikokonaisuus koehenkilöiltään mahdollisimman homogeenisena. Tämä rajoite syntyy siitä, että tulokset lasketaan yhteen, ja mikäli koehenkilöryhmät ovat hyvin eritasoisia, saattaa seurauksena olla tulokset, jotka antavat hyvin keskimääräisiä tuloksia suurella keskihajonnalla. Kuitenkin vuorovaikutustavan arviointia helpottaa enemmän, mikäli saadaan tietyn tyyppisille ryhmille mahdollisimman tasaisia tuloksia, jolloin voidaan helpommin tulkita tavan käytettävyyttä eri ryhmille. Kohderyhmien muodostamiseen voidaan käyttää mm. käyttäjien kokemusta vastaavanlaisista vuorovaikutustekniikoista, kuin suunnitellussa vuorovaikutusmenetelmässä on ajateltu sekä kokemusta tehtävistä, joita uudella vuorovaikutustekniikalla on ajateltu suoritettavan.

Testitehtävä tulee toistaa vähintään kolme kertaa, jotta saadaan tuloksina keskimääräinen suoritus eikä satunnaisesti pieleen menneen tai erityisen hyvin onnistuneen tehtäväsuorituksen tulosta. Käyttäjän kokemusta mittaavat kysymykset tulisi esittää tehtävän toistokertojen lopuksi kerran ja pyytää käyttäjää arvioimaan koko testitehtävää kaikkine toistokertoineen, eikä ainoastaan viimeistä tehtävän suorituskertaa. Vaikka viimeinen toistokerta yleensä painottuukin käyttäjän antamissa vastauksista ohjeista huolimatta, tasoittuu tilanne, kun käytetään useampia koehenkilöitä ja täten tasoitetaan satunnaisten onnistumisten tai epäonnistumisten vaikutusta testituloksiin.

Käyttäjän kokemusta tehtävistä voidaan mitata yksinkertaisilla kysymyksillä, joissa käyttäjän tulee arvostella asteikolla yhdestä viiteen henkilökohtaista tuntemustaan testistä. Kysymyksenä voi käyttää esimerkiksi seuraavia vertailutestissä käytettyjä kysymyksiä:

1. Kuinka tarkasti mielestäsi kykenit suorittamaan tehtävän? (1 - Todella epätarkasti, 5 - Todella tarkasti)
2. Kuinka nopeasti mielestäsi kykenit suorittamaan tehtävän? (1 - Erittäin hitaasti, 5 - Todella nopeasti)
3. Oliko tehtävä mielestäsi helppo? (1 - Hyvin vaikea, 5 - Todella helppo)
4. Oliko tehtävä mielestäsi miellyttävä tehdä? (1 - Erittäin epämukava, 5 - Todella mukava)
5. Kuinka todennäköisesti käyttäisit tällä laitteella vuorovaikutusmenetelmää, joka olisi samantapainen suorittaa, kuin testitehtävä? (1 - Hyvin epätodennäköisesti, 5 - Hyvin todennäköisesti)

Näistä kysymyksillä yksi ja kaksi saadaan käyttäjän henkilökohtainen kokemus tehtävän suoritustarkkuudesta ja nopeudesta, joka saattaa erota huomattavastikin todellisista arvoista, jotka mitattiin testin aikana. Kahdella seuraavalla kysymyksellä mitataan yksinkertaisesti käyttäjän tuntemusta siitä, tuntuuko tehtävä käyttäjän mielestä riittävän helpolta ja miellyttävältä tehdä, että voitaisiin kuvitella käyttäjän mahdollisesti käyttävän kyseisen kaltaista vuorovaikutustapaa todellisuudessa, jota käyttäjältä vielä kysytäänkin viimeisessä kysymyksessä. Kun saadut lukuarvot lasketaan yhteen, saadaan yleistetty tehtävän käytettävyyttä kuvaava lukuarvo, joka on sitä parempi, mitä suurempi lukuarvo on. Kysymyksistä osaa voidaan halutessa painottaa jollain kertoimella, mikäli tämä suunnitellun vuorovaikutustekniikan kannalta on oleellista.

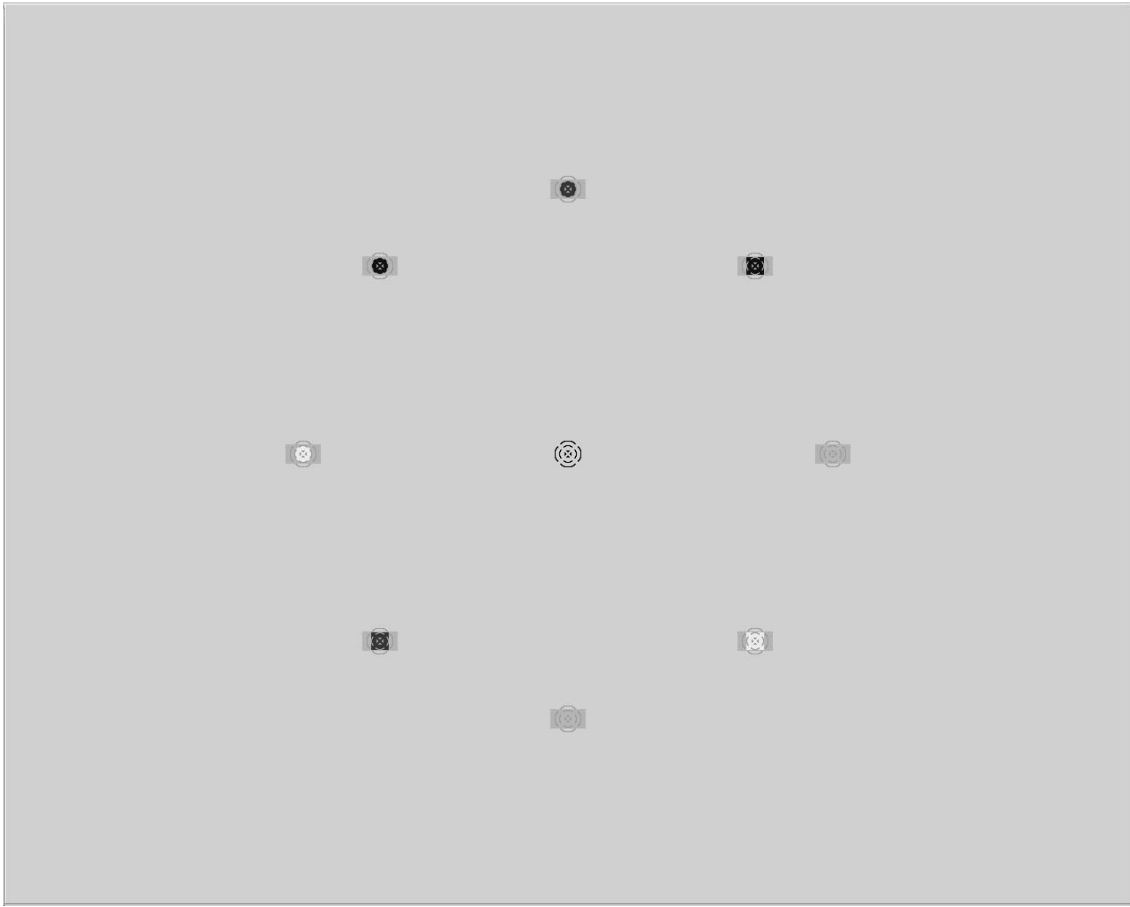
Lopullisina tuloksina testistä saadaan käyttäjien tehtäväsuorituksen kulunut aika, tehtävän suoritustarkkuus sekä käytettävyyttä kuvaava lukuindeksi väliltä 5-25, joka voidaan helposti muuttaa käyttäjätyytyväisyyttä

kuvaavaksi prosenttiluvuksi kertomalla tulos neljällä. Näitä tuloksia voidaan käyttää pohjana yritettäessä arvioida vuorovaikutustekniikan käytettävyyttä ja toimivuutta päätettäessä siitä, kannattaako tekniikan kehitykseen panostaa resursseja.

5.2. Esimerkki testitehtävästä

Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan käyttää testitehtävää, jossa käyttäjän tulee avata oikea ohjelma tunnistuen ikonin kuvasta käynnistettävä ohjelma. Tämänkaltaisessa tehtävässä syötteen kontrolloitavat dimensiot sekä palautteen toisistaan riippumattomat dimensiot ovat kumpikin suuruusluokkaa yksi, eli käyttäjä hallitsee hetkellisesti vai yhtä suuntaelementtiä ja saa palautteen tekemästään tehtävästä vain yhdestä kohtaa. Kursori liikkuu hetkellisesti vain yhteen suuntaan eikä sitä joudu ohjaamaan eri suuntiin samaan aikaan havainnoiden liikettä eri paikoista. Kaikki liikkeeseen liittyvä palaute on havainnoitavissa yhdestä kohdasta, kursorin liikepisteestä. Kognitiivinen kuorma taas on oikean ikonin valinta usean joukosta ja tunnistaminen kuvan perusteella.

Testatessa pitää huomioida, että valittavan kuvan suunta ja sijainti tulee olla käyttäjän kannalta satunnainen, mutta järjestelmällisesti satunnaistettu niin, että testikokonaisuuden kannalta eri suunnat tulevat yhtä tasaisesti käytettyä, jotta saadaan eliminoitua eri suuntiin liikuttamisen mahdollisesti aiheuttaman vaikeustason muutos testituloksista. Maalit tulee sijoitella samalle etäisyydelle niin, että ne ovat "samanarvoisia" käyttäjän tekemän toiminnan kannalta. Testitilanteessa voidaan käyttää esimerkiksi kahdeksaa maalia, jotka sijaitsevat kaikissa pää- ja väli-ilmansuunnissa samalla etäisyydellä käyttäjän aloituspisteestä. Kuvassa 5 on malliesimerkki tämänkaltaisesta testitilanteesta. Testiohjelmassa tulee myös tarjota erillinen aloitusohjeruutu, jossa annetaan käyttäjälle ohjeet siitä, mitä tulee tehdä testiruudussa. Itse testiruutu näytetään vasta, kun käyttäjä aloittaa testin suorittamisen. Tällä varmistetaan se, ettei käyttäjä etukäteen ehdi nähdä ruudulla olevia maaleja ja tehdä osaa tehtävän kognitiivisesta päättelystä jo ennen testitehtävän alkua.



Kuva 5: Pelkistetty yksidimensioinen testitehtävä maalinvalinnalla useasta kuva-ikonista. Tarkoituksena tehtävässä on valita keskellä olevalla kursorilla oikea kohde.

5.3. Tulosten tulkinta

Edellä kuvatussa testissä saatuja tuloksia voidaan soveltaa todelliseen vuorovaikutustekniikkaan suuntaa-antavina indeksiarvoina, jotka kertovat, onko tekniikka riittävän tarkka ja nopea suunniteltuun vuorovaikutustapaan ja kokevatko käyttäjät sen riittävän miellyttäväksi ja helpoksi käyttää. Ennen testiä voidaan arvioida vuorovaikutustavasta riippuen, mitkä olisivat vähimmäisarvoja, jotka tulisi testillä saavuttaa, jotta tekniikka olisi kehittämisen arvoinen. Huomattavaa tässä arvioinnissa on se, että mikäli käyttäjät pitävät jotain tekniikkaa liian hankalana käyttää, sen kehittäminen ei ole resurssien käytön kannalta järkevää, koska tällöin tapa kuitenkin jää käyttäjiltä käyttämättä.

Kun usealla käyttäjällä suoritetusta testistä lasketaan keskiarvot ja keskihajonta, nähdään hyvin helposti, onko tehtävä liian vaikea, epätarkka tai hidas käytettäväksi. Tai päinvastoin, onko suunniteltu tehtävä todella tarkka,

nopea tai helppo käyttää. Keskihajonnasta taas voidaan päätellä se, ovatko saadut tulokset yleisesti tasaisia, vai onko teknikka kenties soveltuva vain osalle käyttäjistä, mutta toisille taas hyvin huono. Mikäli koehenkilöryhmien muodostamisessa on onnistuttu hyvin ja saatu kuhunkin testisarjaan samantasoisia henkilöitä tulisi keskihajonnan olla mahdollisimman pieni. Mikäli keskihajonta tästä huolimatta on suuri, tulisi löytää se tekijä, mikä vaikuttaa keskihajontaan, jotta voidaan päätellä, onko tämä se tekijä, mikä vaikuttaa ratkaisevasti vuorovaikutustekniikan käytettävyyteen.

Lopullisesti tulosten tulkinta riippuu hyvin pitkälle siitä, minkä tyyppisiä vaatimuksia suunniteltu vuorovaikutustekniikka asettaa. Tämän vuoksi ei voida sanoa mitään selkeitä raja-arvoja eri tuloksille, koska jokin tehtävä voi olla aivan käytettävä, vaikka onkin hidas, kunhan on tarkka, ja päinvastoin. Käyttäjien kokemus tehtävistä sen sijaan on aina arvo, jonka tulisi olla mahdollisimman korkea. Mitä miellyttävämmäksi käyttäjät jonkin tavan alusta alkaen kokevat, sitä todennäköisemmin he sitä myös käyttävät.

5.4. Mahdollisia ongelmia tulosten tulkinnassa

Koska menetelmän tuloksina saadaan keskiarvoisia tuloksia ihmisten suorituskyvystä ja omasta arviosta vuorovaikutustavan toimivuudesta ja miellyttävyydestä, voi tulosten tulkinta tuottaa joissain tilanteissa hankaluuksia.

Yksi ongelma saattaa syntyä yleistetyn testin käytöstä. Mitä enemmän vuorovaikutusta on yleistetty, sitä suurempi saattaa olla yleistämisestä aiheutunut virhemarginaali oikeaan vuorovaikutukseen verrattuna. Tämän vuoksi onkin suotavaa harkita testiä suunniteltaessa hyvin tarkkaan, kuinka paljon vuorovaikutustapaa yleistetään. Esimerkiksi mikäli suunniteltu tapa antaa sekä auditiivista että visuaalista palautetta, on samoja palaute-elementtejä käytettävä myös yleistetyssä abstraktissa tehtävässä. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, kuinka suuri yleistämisen aiheuttama vaikutus tuloksiin on normaaleissa tasolla tapahtuvissa vuorovaikutustekniikoissa, joihin nykyiset työpöytämetaforassa tehtävät vuorovaikutustehtävät perustuvat.

Toinen ongelma saattaa syntyä tulosten toivottavien tavoitearvojen tulkinnassa. Menetelmällä saadaan keskiarvoisia tuloksia ja näiden keskihajonta. Tästä voidaan päätellä, kuinka hyvin koehenkilöt keskimäärin pärjäsivät ja oliko tulos tasainen, vai mahtuiko joukkoon erinomaisia tuloksia ja erittäin heikkoja tuloksia huomattava määrä. Menetelmä siksi kertookin kyllä helposti, mikäli suunniteltu vuorovaikutustekniikka on täydellisesti

epäonnistunut idea, tai erinomainen idea, mikäli tulokset ovat erittäin hyvät tai erittäin huonot. Toisaalta voi olla vaikea päätellä keskinkertaisista tuloksista, onko tekniikka epäonnistunut vai ei. Toisaalta, mikäli vuorovaikutustekniikkaa on testattu eri monimutkaisuusasteilla, saadaan luultavasti näkyviin, kuinka monimutkaisuuteen tehtäviin tekniikka soveltuu. Tuloksista nähdään, missä monimutkaisuusasteessa tulokset heikkenevät liikaa.

Menetelmän rajoitteena onkin vaikeus toimia portaattomana mittarina, jossa on selkeä raja, jota noudattaa. Menetelmä itsessään ei ota mitään kantaa siihen, mitkä ovat tavoiteltavia tuloksia, vaan tämän arviointi jää tekniikan kehittäjän arvioitavaksi. Yksi tapa välttää tämän aiheuttamia ongelmia olisikin toteuttaa testi sekä suunnitellun kaltaisesta vuorovaikutuksesta yleistetyllä testisarjalla, että mahdollisesti olemassa olevasta vaihtoehtoisesta toimintatavasta yleistetyllä testisarjalla, jolloin voidaan verrata nykyisen ja suunnitellun vuorovaikutustavan eroa ja tämän avulla nähdä, onko uusi suunniteltu tapa kenties parempi kuin olemassa oleva.

6. Esimerkki menetelmän soveltamisesta

Jotta uuden vuorovaikutusmallin toimivuus saataisiin selvitettyä, sitä testattiin tekemällä mallin mukainen perustestisarja sekä todellisia vuorovaikutustehtäviä vertailutehtävinä, ja näitä tuloksia verrattiin. Näin saatiin verrattua, kuinka tarkasti yleistetyllä testillä saadaan todellisiin vuorovaikutustilanteisiin skaalautuvia tuloksia sekä selvitettyä yleistämisestä johtuva virhe tuloksissa. Koesarjassa mitattiin neljä erityyppistä syöttölaitetta kahdesta neljään eri raajalla käytettynä. Mitatut laitteet olivat tavallinen optinen hiiri, ohjauspallo, Microsoft DualStrike pad-ohjain sekä piirtolevy. Tarkoituksena oli saada esille tehtävien soveltuvuus ominaisuuksiltaan erilaisille syöttölaitteille sekä testata arviointimenetelmän skaalautuvuutta erityyppisille syöttölaitteille. Koehenkilöitä testissä oli yhdeksän kappaletta, jotka kaikki olivat kokeneita tietokoneen käyttäjiä.

6.1. Testiasetelma

Perustestisarjaksi valittiin muuttujasarja 1,1,0 monimutkaisuusasteesta 2,2,2 monimutkaisuusasteeseen asti, eli vaikeimmassa tehtävässä oli 2 hallittavaa dimensiota, 2 palautteen tasoa, jotka tässä testisarjassa olivat molemmat visuaalisia palautteita sekä 3 kognitiivisen kuorman tasoa. Testitehtävissä käytettiin kognitiivisen kuorman ensimmäistä tasoa kuvaamaan lukua 0, koska alimmalla tasolla ei ollut mitään kognitiivista päättelyä vaativaa osatekijää. Käytetyt kognitiiviset kuormat olivat: taso 0, yksi havaittava maalielementti; taso 1, kahdeksan maalielementtiä, joista piti valita oikea elementtien erotessa toisistaan värin ja muodon perusteella; taso 2, kahdeksan maalielementtiä, joista piti valita oikea elementtien erotessa toisistaan sisältämänsä sanan perusteella. Näillä muuttujilla saadaan katettua suurin osa tämän päivän työpöytäympäristössä tapahtuvasta vuorovaikutuksesta. Perustestisarjassa oli 12 tehtävää suoritettuna eri raajoilla ja eri laitteilla taulukon 1 mukaisesti, sekä neljä tavanomaista nykyisissä käyttöliittymissä olevaa vuorovaikutustehtävää vertailutehtävinä. Jokainen tehtävä toistettiin kolme kertaa. Viimeisellä kerralla annettiin koehenkilöille jokaisen tehtävän jälkeen ruudulle 5-portainen arviointilomake, jossa kysyttiin käyttäjän omaa kokemusta tehtävän vaikeudesta, tarkkuudesta, nopeudesta ja miellyttävyydestä. Käytetyt kysymykset olivat seuraavat, jo aiemmin esimerkkikysymyksinä esitellyt:

1. Kuinka tarkasti mielestäsi kykenit suorittamaan tehtävän? (1 - Todella epätarkasti, 5 - Todella tarkasti)

2. Kuinka nopeasti mielestäsi kykenit suorittamaan tehtävän? (1 - Erittäin hitaasti, 5 - Todella nopeasti)
3. Oliko tehtävä mielestäsi helppo? (1 - Hyvin vaikea, 5 - Todella helppo)
4. Oliko tehtävä mielestäsi miellyttävä tehdä? (1 - Erittäin epämukava, 5 - Todella mukava)
5. Kuinka todennäköisesti käyttäisit tällä laitteella vuorovaikutusmenetelmää, joka olisi samantapainen suorittaa, kuin testitehtävä? (1 - Hyvin epätodennäköisesti, 5 - Hyvin todennäköisesti)

Tehtävät sekä vertailutehtävät suoritettiin kaikki seuraavilla laite-raaja yhdistelmillä:

1. hiiri oikealla kädellä,
2. hiiri vasemmalla kädellä,
3. piirtolevy oikealla kädellä,
4. piirtolevy vasemmalla kädellä,
5. Microsoft DualStrike-ohjain molemmilla käsillä,
6. ohjauspallo oikealla kädellä,
7. ohjauspallo vasemmalla kädellä,
8. ohjauspallo oikealla jalalla ja
9. ohjauspallo vasemmalla jalalla.

| | Käytetyt laite-raaja yhdistelmät | | | | | Syöte-, Palaute-, Kognitiotasot | Testitehtävät | Vertailutehtävät |
|------------|----------------------------------|------------|--------------|-------------|-------------|---------------------------------|---------------|------------------|
| | oikea käsi | vasen käsi | kaksikäsinen | oikea jalka | vasen jalka | | | |
| Hiiri | x | x | | | | 1,1,0 | x | |
| DualStrike | | | x | | | 1,1,1 | x | |
| Trackball | x | x | | x | x | 1,1,2 | x | x |
| Piirtolevy | x | x | | | | 2,1,0 | x | x |
| | | | | | | 2,1,1 | x | |
| | | | | | | 2,1,2 | x | |
| | | | | | | 2,2-1,0 | x | |
| | | | | | | 2,2-1,1 | x | x |
| | | | | | | 2,2-1,2 | x | |
| | | | | | | 2,2,0 | x | |
| | | | | | | 2,2,1 | x | x |
| | | | | | | 2,2,2 | x | |

Taulukko 1: Käytetyt testitehtävät.

Yhteensä tehtäviä kertyi siis jokaiselle koehenkilölle suoritettujen laite-raaja-yhdistelmien määrä * suoritettujen tehtävien määrä * toistojen määrä eli $9 * (12 + 4) * 3 = 432$ tehtävää. Tehtävien suuresta määrästä johtuen tehtävät suoritettiin kolmella eri testikerralla kolme laite-raajayhdistelmää kerrallaan

viikon kuluessa ja vertailutehtävät erikseen kahta kuukautta myöhemmin. Tällä saatiin kerralla suoritettavien tehtävien määrä riittävän pieneksi, ettei koehenkilön väsyminen vaikuttanut tuloksiin merkittävästi. Koska tehtäväjärjestys ja käytettävät laitteet satunnaistettiin eri koehenkilöiden välillä myöhemmin kuvattavalla tavalla, saatiin tuloksista tasoitettua tehtäviin kohdistuva yksittäisten koehenkilöiden väsymisestä johtuva vaikutus yksittäisiin tehtäviin sessioittain sekä tehtävien oppimisen aiheuttama oppimisvaikutus kokonaistuloksiin.

Tehtävien järjestys satunnaistettiin järjestelmällisesti koehenkilöiden kesken, samoin kuin tehtävien toistojen välillä siten, että järjestys oli koesarjan testitehtäväsarjojen välillä mahdollisimman tasaisesti erilainen ja samat tehtävät eivät toistuneet peräkkäin. Tällä pyrittiin eliminoimaan tehtävien oppimisen vaikutus tehtävistä mitattaviin arvoihin. Myös tehtävien liikesuunnat satunnaistettiin samalla tavalla, jotta liikkeen suunnan vaikutus kerättäviin tuloksiin saataisiin hallitusti poistettua tuloksista. Tarkemmin tämä tehtiin niin, että maalien suunta oli aina jokin kahdeksasta ilmansuunnasta lähtöpisteeseen nähden ja nämä suunnat toistuivat koesarjassa tasaisesti erilaisina eikä mikään tietty suunta toistunut toisia useammin. Maalien etäisyys pidettiin tässä koesarjassa vakiona, koska eri etäisyyksien lisääminen koesarjaan yhtenä riippumattomana muuttujana olisi tehnyt koesarjasta liian pitkän koehenkilöille.

Myös käytettyjen laite-raajayhdistelmien järjestys satunnaistettiin järjestelmällisesti eri käyttäjien kesken. Tämän vuoksi koehenkilöiden määrä rajattiin yhdeksään, koska laite-raajayhdistelmät saatiin tällöin jaetuksi tasaisesti. Satunnaistaminen tehtiin niin, että aina yksi koehenkilö käytti jotain tiettyä laite-raajayhdistelmää eri tehtäväkierroksella. Eli aina vain yksi käytti jotain tiettyä yhdistelmää ensimmäisellä tehtäväsarjalla, tai toisella jne. Tällä varmistettiin, että tuloksissa ei syntyisi jollekin käytetylle laitteelle parempaa tulosta sen vuoksi, että koehenkilöt ovat jo oppineet suoritettavat tehtävät ja kyseinen laite-raajayhdistelmä olisi sattumalta enemmän testisarjan lopussa kuin jokin toinen laite.

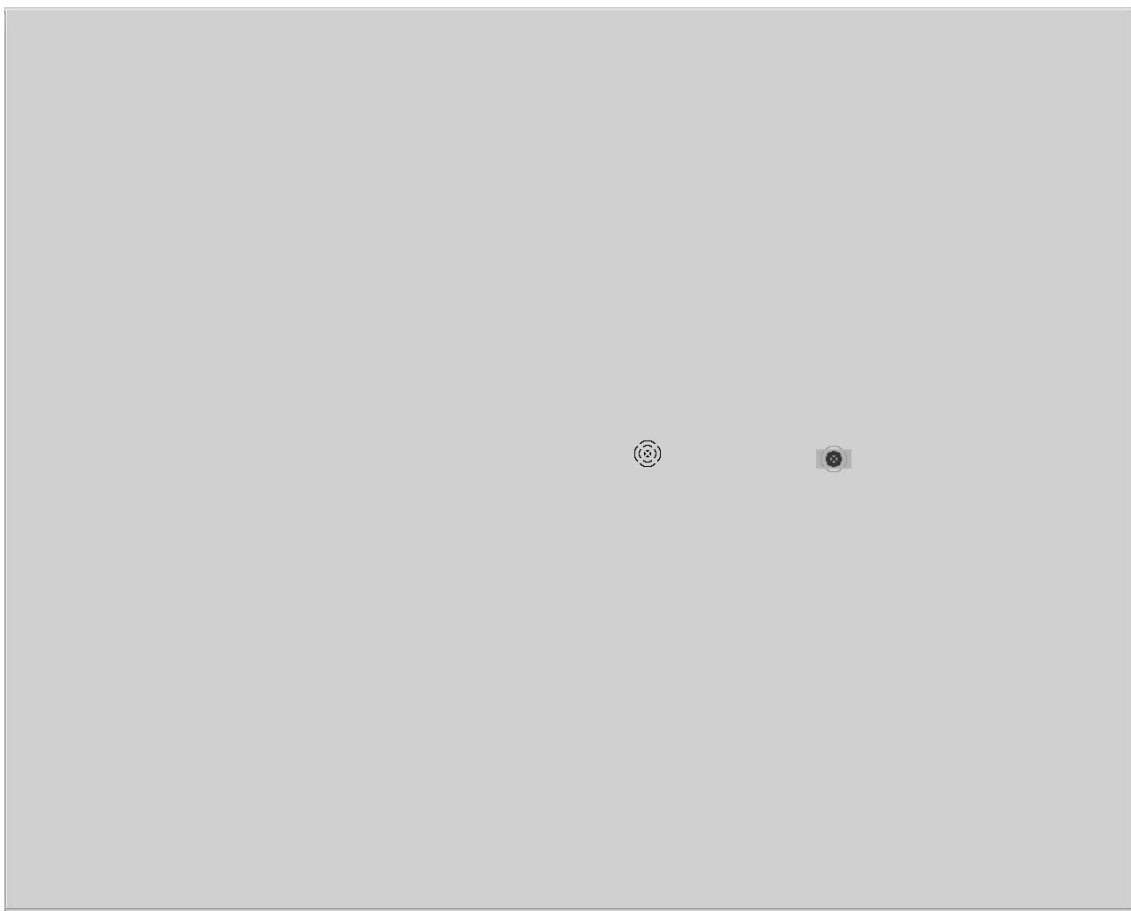
Testitehtävien eri osien järjestelmällinen satunnaistaminen toteutettiin luomalla tehtävistä taulukko, jossa kutakin satunnaistettavaa osaa kuvattiin tietyllä värillä ja numerolla. Tämän jälkeen taulukko järjestettiin käsin niin, ettei mikään satunnaistettava osa toistunut useammin kuin jokin toinen osa. Satunnaistamiseen ei käytetty ohjelmistollista satunnaistamisalgoritmia, jottei syntyisi sattuman tuottamia järjestyksiä tehtäviin. Tällä saatiin varmistettua se,

ettei käyttäjien oppiminen vaikuta keskimäärin minkään tietyn tehtävän suorittamiseen enempää kuin jonkin toisenkin tehtävän.

6.2. Testitehtävät

Testit suoritettiin neljällä eri hallittavien liikesuuntien ja palautteen laadun kombinaatiolla toistaen kaikki tehtävät kolmella eri kognitiivisella kuormalla. Käytetyt kognitiiviset kuormat olivat seuraavat:

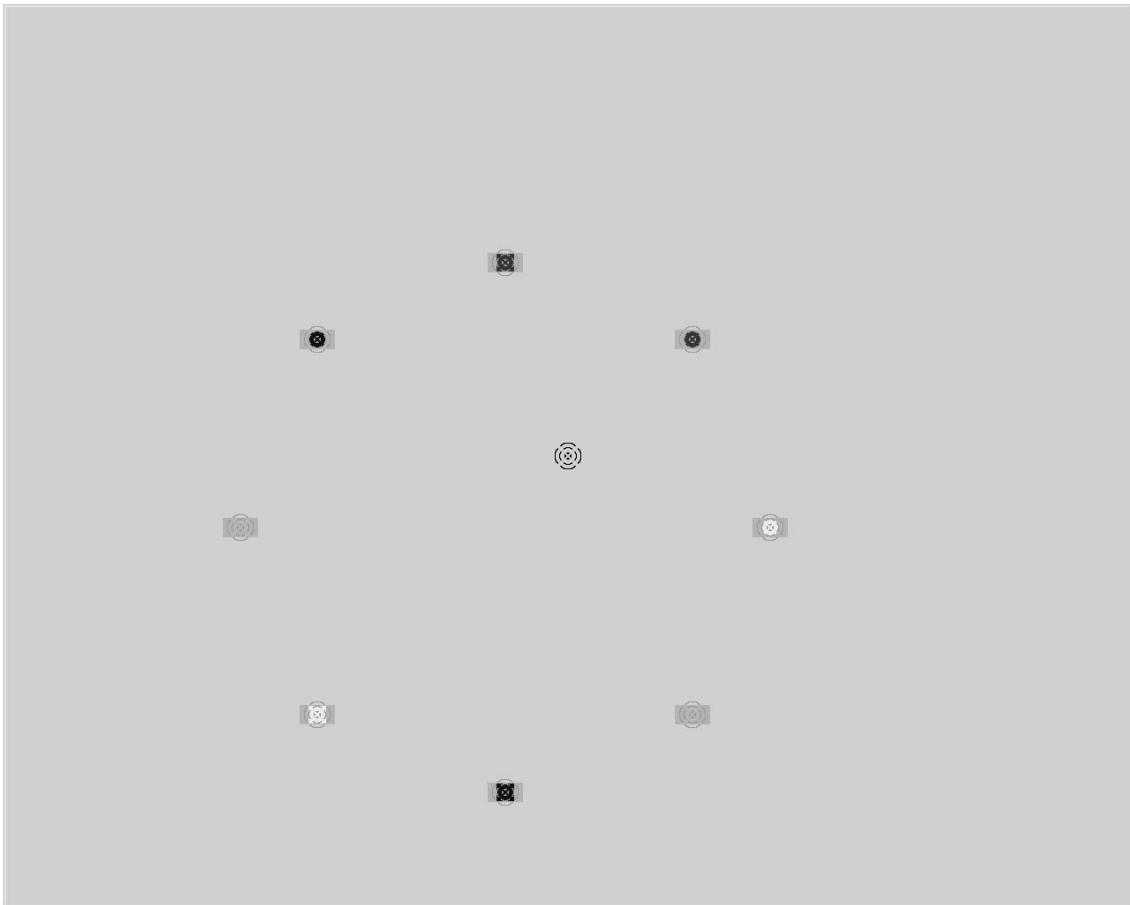
1. Maalin tunnistaminen, jossa käytettiin yhtä maalielementtiä, joka piti havaita satunnaisesta suunnasta (Kuva 6).



Kuva 6: Monimutkaisuusastetta 1,1,0 oleva abstrakti tehtävä.

Tehtävän tarkoituksena oli valita satunnaiseen suuntaan sijoitettu maali tähtäintä muistuttavalla kursorilla. Ohjeruudussa koehenkilölle annettiin oikean maalin kuva, sekä tehtävän kuvaus, jonka jälkeen hiiren painalluksella koehenkilö aloitti tehtävän ja tehtävä loppui, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta maalin valinnan merkiksi.

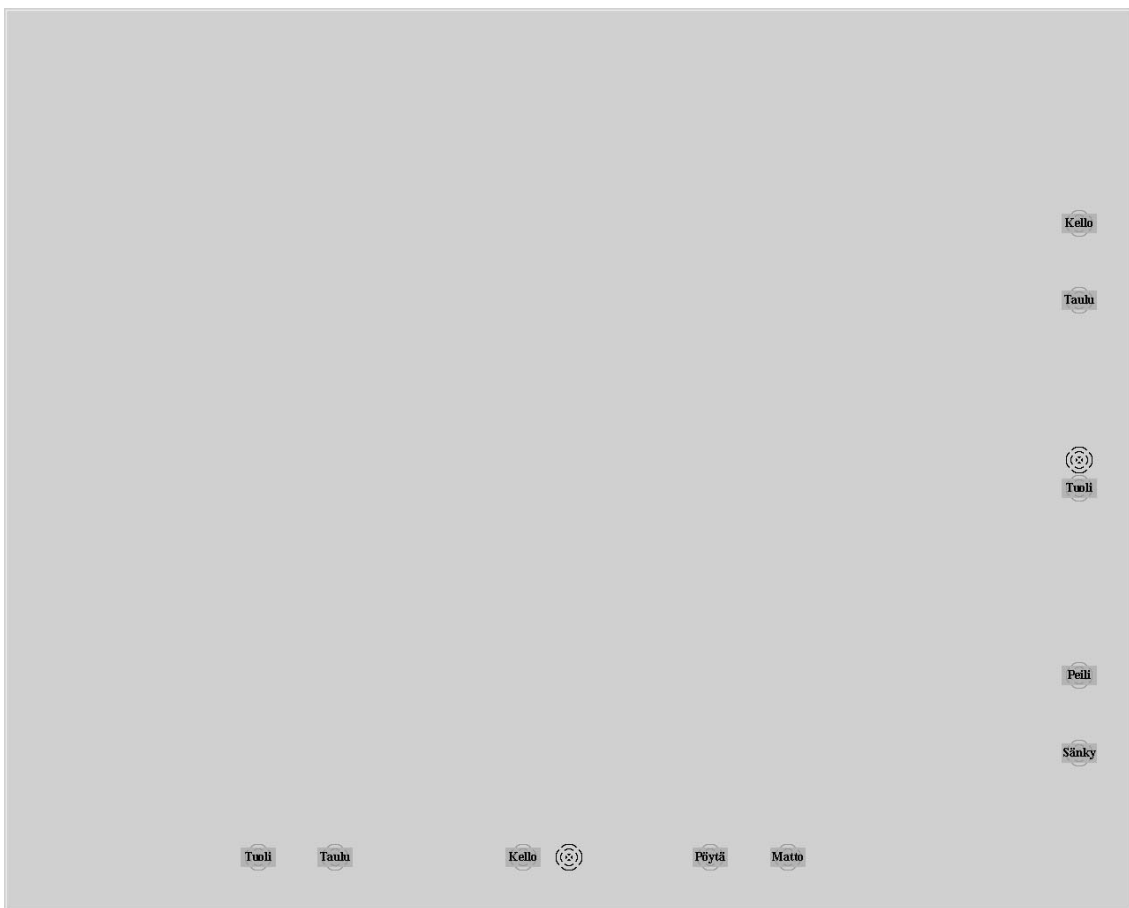
2. Maalin ja kuvan tunnistaminen, jossa piti tunnistaa oikea maali kahdeksan eri maalin seasta. Maalit erottuivat toisistaan kuvion ja värin perusteella (Kuva 7).



Kuva 7: Monimutkaisuusastetta 2,1,1 oleva abstrakti tehtävä.

Tehtävän tarkoituksena oli liikuttaa maalitasoa niin, että oikea maali tulee keskellä olevaan tähtäimellä merkittyyn kohtaan. Maalit eroavat toisistaan värin ja muodon perusteella. Ohjeruudulla annettiin tehtävän kuvaus ja kuva oikeasta maalista ja koehenkilö aloitti tehtävän hiiren painikkeen painalluksella. Tehtävä loppui, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta suoritettuaan omasta mielestään tehtävän.

3. Maalin ja tekstin tunnistaminen, jossa piti tunnistaa oikea maali kahdeksan eri maalin seasta. Maalit erottuivat toisistaan sisältämänsä sanan perusteella. Sanat olivat yhtä pitkiä ja neutraaleja sanoja (Kuva 8).



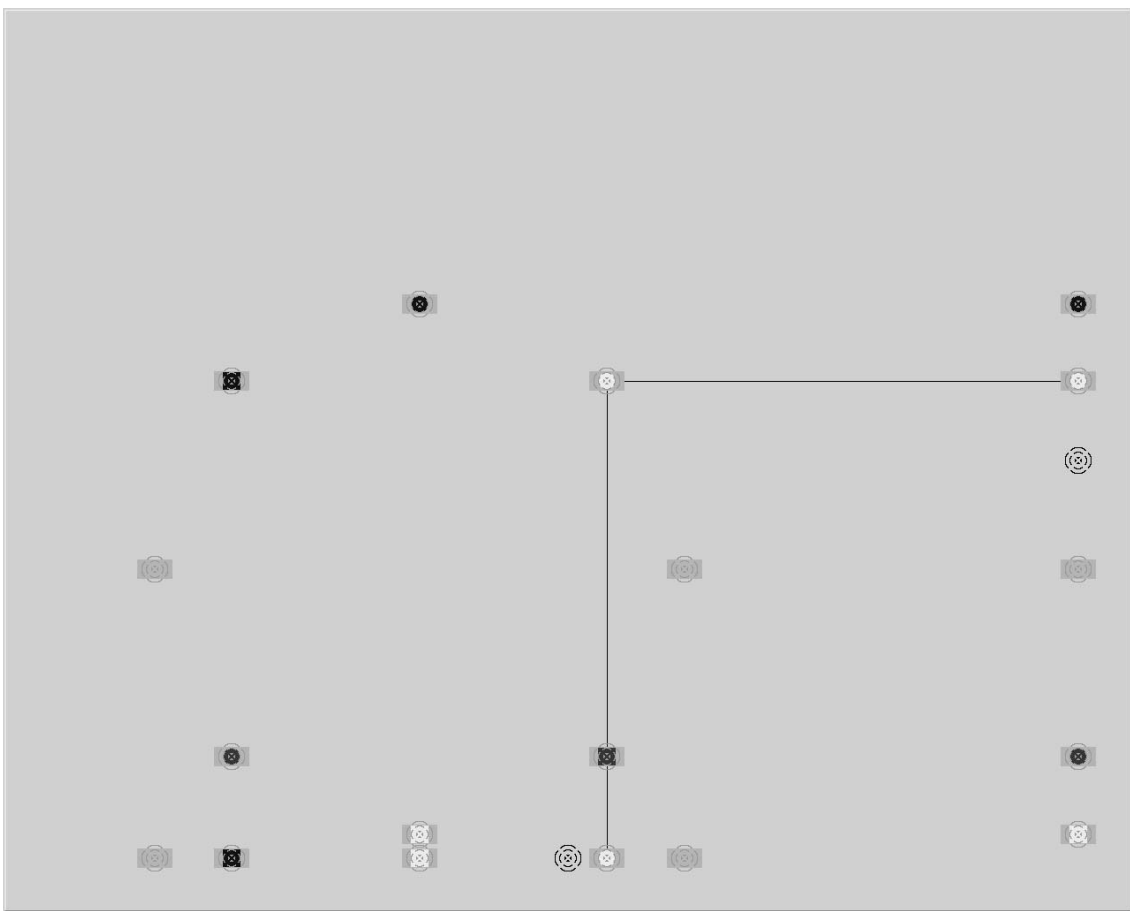
Kuva 8: Monimutkaisuusastetta 2,2,2 oleva abstrakti tehtävä.

Tehtävän tarkoitus oli valita oikea sana liikuttamalla alla olevaa tasoa. Sana tuli saada oikeaan kohtaan sekä alhaalla olevalta riviltä että oikealla olevalta sarakkeelta maalikohtia merkitsevien tähtäinten kohdalle. Edeltävällä ohjeruudulla annettiin tehtävän kuvaus, sekä oikean maalin kuva ja tehtävä alkoi hiiren painikkeen painamisella. Tehtävä loppui, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta saatuaan tehtävän mielestään suoritettua.

Käytetyt hallittavien liikesuuntien ja palautteen yhdistelmät taas olivat seuraavat:

1. Yksi liikesuunta ja yksi palautedimensio, eli vastaava tehtävä kuin hiiren kursorin liikuttaminen (Kuva 6).
2. Kaksi liikesuuntaa ja yksi palautedimensio, eli tason liikuttaminen (Kuva 7).

3. Kaksi liikesuuntaa ja kaksi erillistä palautedimensiota, eli vastaava tehtävä kuin ikkunan vierittäminen ilman ikkunan sisällön näkymistä (Kuva 8).
4. Kaksi liikesuuntaa ja kaksi erillistä palautedimensiota yhden helpottavan palautteen kanssa, eli vastaava tehtävä, kuin ikkunan vierittäminen siten, että ikkunan sisältö näkyy vieritettäessä ikkunaa (Kuva 9).

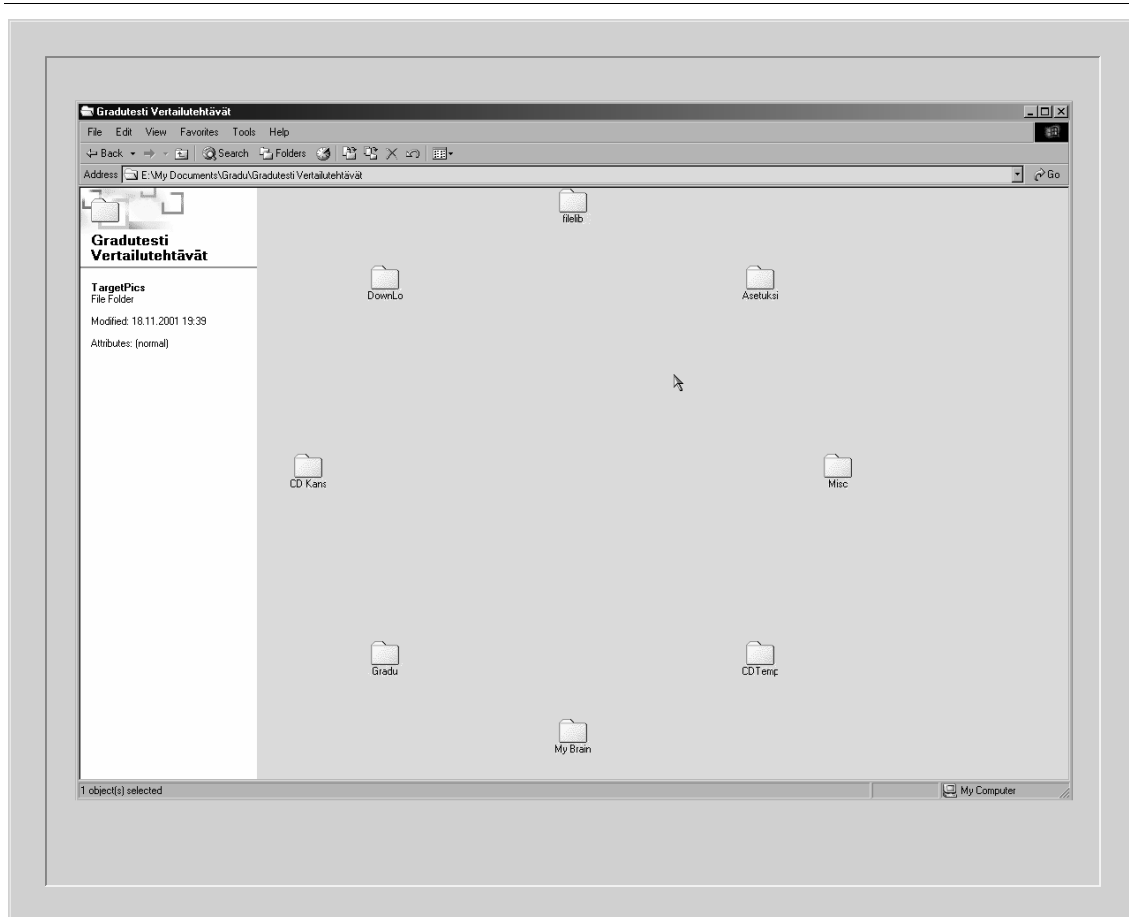


Kuva 9: Monimutkaisuusastetta 2,2-1,1 oleva abstrakti tehtävä.

Tehtävän tarkoituksena oli liikuttaa maalitaso oikeaan kohtaan siten, että oikea maali on keskellä. Oikea kohta oli merkitty sivuilla olevilla tähtäimillä. Edeltäneellä ohjeruudulla annettiin koehenkilölle tehtävän kuvaus, sekä kuva oikeasta maalista ja tehtävä alkoi, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta. Tehtävä loppui, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta saatuaan tehtävän mielestään suoritettua.

Vertailutehtävinä käytetyt tehtävät puolestaan olivat seuraavat:

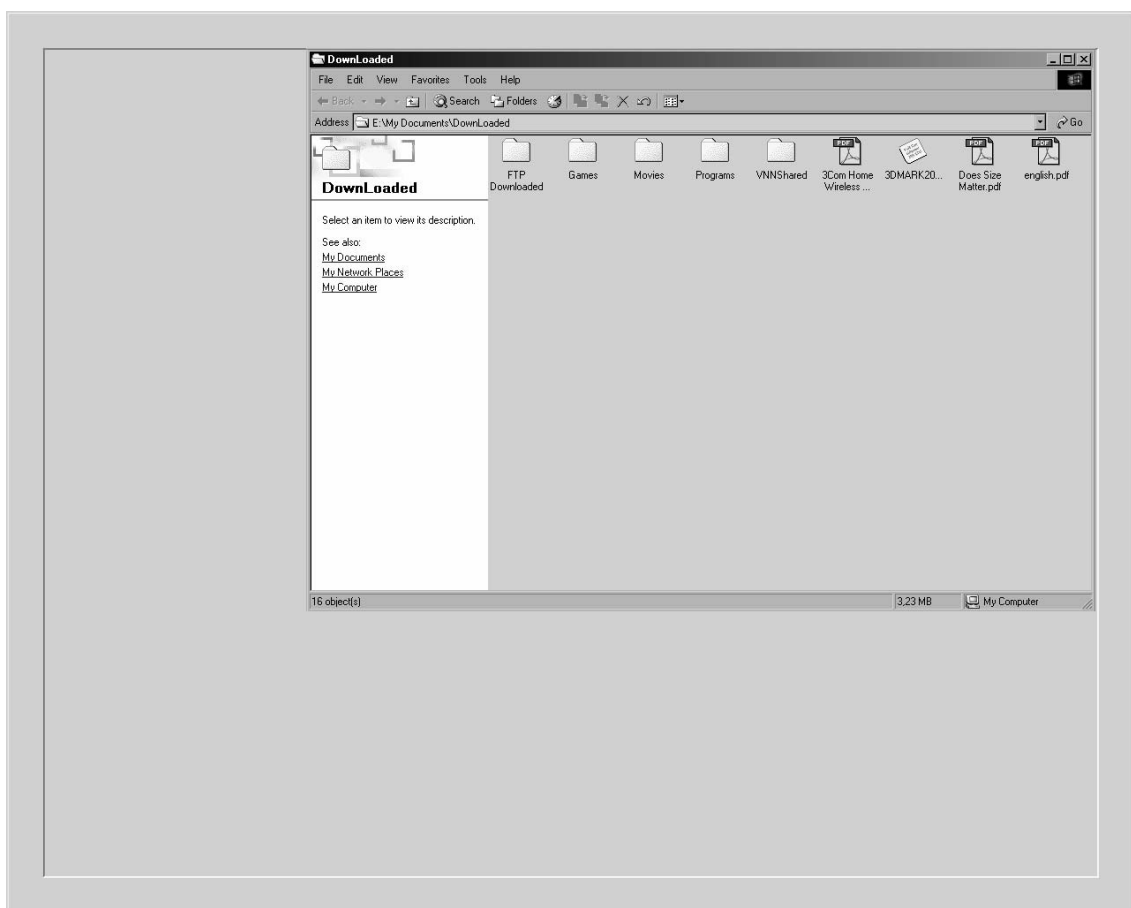
1. Oikean kansion valinta, joka oli vastaava kuin testitehtävä yksi tekstin tunnistamisen kognitiivisella kuormalla (Kuva 10).



Kuva 10: Abstraktin tehtävän monimutkaisuusastetta 1,1,2 vastaava todellista tehtävää matkiva vertailutehtävä.

Tehtävän tarkoituksena oli valita oikea kansio kursorilla kahdeksan kansion joukosta. Edellisellä ohjeruudulla annettiin tehtävän kuvaus sekä oikean kansion kuva. Kansiot erosivat toisistaan nimensä perusteella. Tehtävä alkoi, kun koehenkilö ohjeruudulla painoi hiiren painiketta ja päättyi, kun koehenkilö valitsi kansion painamalla hiiren painiketta.

2. Avatun kansion siirtäminen tiettyyn kohtaan ruudun alueella siten, että kohta, johon kansio siirretään, riippuu kansion alkusijainnista. Alkusijainti oli vastaava kuin testitehtävä kaksi maalin tunnistamisen, eli tason yksi kognitiivisella kuormalla, jossa suunnan tunnistaminen oli maalin tunnistamista vastaava kognitiivinen kuorma (Kuva 11).

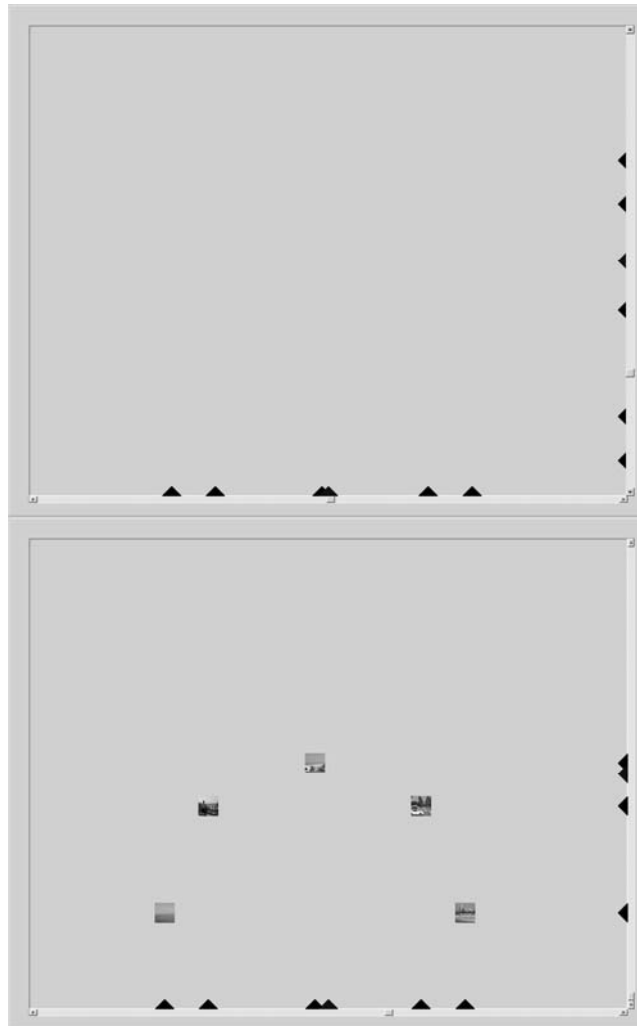


Kuva 11: Abstraktin tehtävän monimutkaisuusastetta 2,1,0 vastaava todellista tehtävää matkiva vertailutehtävä.

Tehtävän tarkoitus oli siirtää auki oleva kansio oikeaan kohtaan ruudulla. Edeltäneellä ohjeruudulla annettiin ohjeet siitä, miten oikea paikka tulee tulkita. Mikäli kansion lähtöpaikka oli merkityn alueen kulmassa, siirrettiin kansio myötäpäivään seuraavaan kulmaan. Mikäli taas lähtöpaikka oli keskemällä aluetta, siirrettiin kansio vastakkaiseen kulmaan. Tehtävä alkoi kun koehenkilö painoi ohjeruudulla hiiren painiketta ja päättyi, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta tehtävän suorittamisen merkiksi.

3. Kahdeksan kuvaa sisältävän ikkunan vierittäminen siten, että oikea kuva pitää saada keskelle. Ikkunan sisältöä ei näytetä vieritettäessä, joka oli vastaava kuin testitehtävä kolme maalin ja kuvan tunnistamisen sisältävällä kognitiivisella kuormalla (Kuva 12).

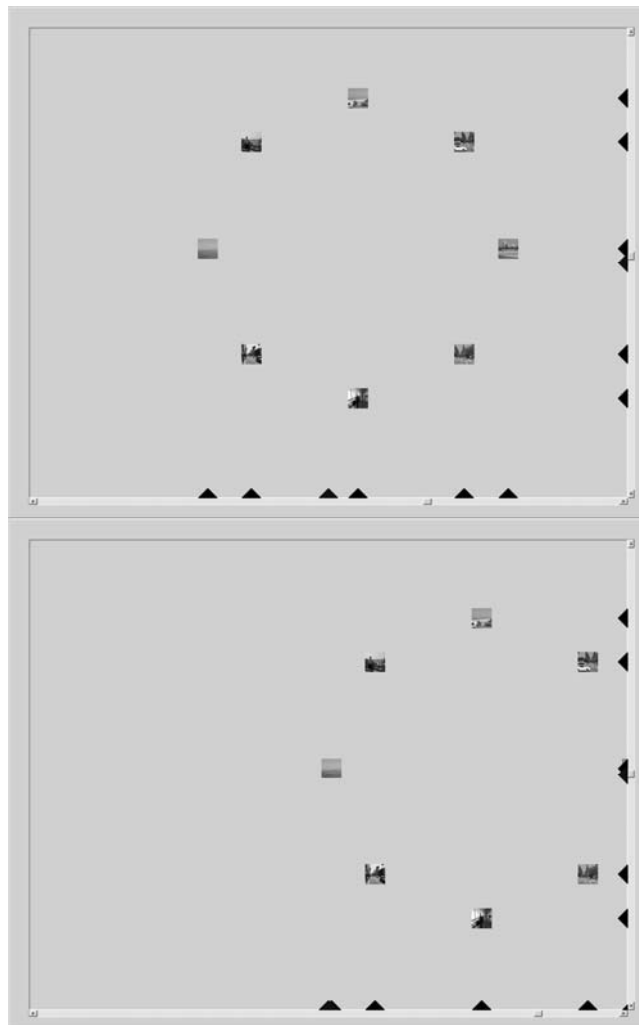
Tehtävän tarkoitus oli siirtää oikea kuva keskelle. Jokaisesta kuvasta oli reunoilla nähtävillä mustat kolmiot, jotka merkitsivät kuvan kohdan reunoissa ja sinisellä kolmiolla osoitettiin ruudun keskikohta. Edellisellä ohjeruudulla koehenkilölle annettiin testitehtävä sekä oikea kuva. Tehtävä alkoi, kun koehenkilö painoi hiiren painiketta ja loppui, kun hiiren painikkeella annettiin merkki tehtävän suorittamisesta.



Kuva 12: Abstraktin tehtävän monimutkaisuusastetta 2,2,1 vastaava todellista tehtävää matkiva vertailutehtävä. Ylempänä ikkunaa vieritetään, alempana pidetään hiirtä paikallaan.

4. Kahdeksan kuvaa sisältävän ikkunan vierittäminen siten, että oikea kuva pitää saada keskelle. Ikkunan sisältöä näytetään vieritettäessä, joka oli vastaava kuin testitehtävä neljä maalin ja kuvan tunnistamisen sisältävällä kognitiivisella kuormalla (Kuva 13).

Tehtävän tarkoitus oli sama kuin edellisessä tehtävässä, mutta tässä tehtävässä kuvat näytettiin myös ikkunaa vieritettäessä, mikä helpotti tehtävää, koska visuaalinen palaute kuvien sijainnista oli jatkuvasti saatavilla.



Kuva 13: Abstraktin tehtävän monimutkaisuusastetta 2,2-1,1 vastaava todellista tehtävää matkiva vertailutehtävä. Ylempänä ikkunaa vieritetään, alempana pidetään hiirtä paikallaan.

6.3. Testien suorittaminen

Aluksi koehenkilöiltä kerättiin kokemustason määrittämiseksi taustatietoja, joista löytyy yhteenveto taulukosta 2. Koehenkilöiltä kysyttiin ikä sekä käyttökokemus graafisista käyttöliittymistä, osoitinsyöttölaitteista sekä kustakin testissä käytetystä laitteesta, lisäksi kysyttiin henkilön kätisyys ja jalkaisuus. Jalkaisuus oli käyttäjille ennestään hieman tuntematon käsite. Heitä neuvottiin miettimään, kummalla jalalla esimerkiksi potkaisevat jalkapalloa, kun haluavat potkaista tämän pitkälle. Yksi koehenkilöistä oli puna-vihersokea, mutta hän kertoi, ettei tämä aiheuttanut minkäänlaisia erottamisvaikeuksia tehtävien aikana, vaikka osassa maaleja erottava tekijä oli väri. Yhteenvetona koehenkilöt olivat erittäin kokeneita graafisten käyttöliittymien ja osoitinsyöttölaitteiden sekä hiiren suhteen, mutta kokemattomampia muiden syöttölaitteiden suhteen. Tämän voisi olettaa vaikuttavan tuloksiin siten, että hiiri koetaan parhaaksi laitteeksi ja tällä saavutetaan parhaat tulokset.

| Tiedot | | | Kokemus (Arvosanalla 1-5) | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Koehenkilö (Nro) | Sukupuoli (Mies/Nainen) | Ikä | Graafiset k-liittymät | Osoitinsyöttölaitteet | Hiiri | Ohjainpallo | Piirtolevy | Dual-Strike ohjain | Graafisten k-liittymien käyttövuosia | Kätisyys (Oikea/Vasen) | Jalkaisuus (Oikea/Vasen) |
| 1 | N | 34 | 5 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | >10 | o | o |
| 2 | M | 29 | 5 | 3 | 5 | 2 | 1 | 1 | 10 | o | o |
| 3 | N | 26 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 7 | o | o |
| 4 | M | 27 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | 12 | o | o |
| 5 | M | 29 | 4 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 10 | o | o |
| 6 | M | 23 | 5 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 6 | o | o |
| 7 | M | 25 | 4 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 12 | o | o |
| 8 | M | 25 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 | 10 | o | o |
| 9 | N | 42 | 5 | 3 | 5 | 2 | 1 | 1 | 15 | o | o |
| Keskiarvo | | 28,89 | 4,67 | 3,33 | 4,89 | 2,11 | 1,44 | 1,00 | 10,25 | | |

Taulukko 2: Koehenkilöiden kokemustasot.

Testiin varattiin aikaa tunti jokaista kertaa varten, eli yhteensä koehenkilöt tekivät neljä maksimissaan tunnin mittaista tehtäväsarjaa. Kolmella ensimmäisellä kerralla mitattiin eri laite-raajayhdistelmiä kolme kullakin kerralla ja viimeisellä kerralla suoritettiin vertailutehtävät kaikilla laite-

raajayhdistelmillä. Viimeisen testikerran jälkeen koehenkilöille kerrottiin tarkasti, mitä mitattiin ja testin tarkoitus, sekä annettiin heille mahdollisuus esittää kysymyksiä. Tätä ei kerrottu ennen testien aloittamista, jotta tieto siitä, mitä mitataan, ei vaikuttaisi tuloksiin. Alussa koehenkilöitä pyydettiin vain "toimimaan kuten toimisivat työskennellessään normaalistikin, eli mahdollisimman luonnollisesti" ja painotettiin, ettei heidän odotettu yrittävän tehdä tehtäviä mitenkään painotetusti millään lailla esimerkiksi tarkkuuden tai nopeuden suhteen, vaan toimivan niin kuin itse tuntevat parhaaksi. Tällä yritettiin eliminoida testitilanteen aiheuttama vääristymä suorituskyykyyn ja saada koehenkilöt toimimaan mahdollisimman normaalisti.

Testin aikana koehenkilöitä ei häiritty ja testit suoritettiin hiljaisessa tilassa, jossa he saivat keskittyä tehtävien suorittamiseen rauhassa. Koehenkiöitä ohjeistettiin pitämään mieluummin tarvittaessa tauko aina vaihdettaessa laitetta, mutta heille annettiin kuitenkin mahdollisuus pitää tauko halutessaan, jotteivät testitulokset vääristyisi sen vuoksi, että he suorittavat tehtäviä "väkisin". Yksikään koehenkilö ei kuitenkaan pitänyt taukoja testisarjojen välissä vaan he pitivät lepotaukoja ainoastaan vaihdettaessa laitetta. Kaikki koehenkilöt siis suorittivat testitehtävät samanlaisissa jaksoissa.

Tehtävistä mitattiin suoritukseen kulunut aika millisekunteina sekä suorituksen tarkkuus pikseleinä. Kunkin tehtäväsarjan viimeisen toistokerran jälkeen esitettiin kohdassa 6.1 esiteltyt kysymykset kustakin tehtävästä erikseen ja näiden vastausten lukuarvot tallennettiin. Myös mahdollista tarkempaa analyysiä varten kerättiin talteen kaikki hiirenliikkeet aikaleimoineen tehtävien suorittamisen aikana, mutta tätä tietoa ei käytetä tässä tutkimuksessa. Tämä tieto kerättiin sen vuoksi, että tämän avulla voidaan mahdollisesti myöhemmin selittää tässä tutkimuksessa ilmenneitä seikkoja suorittamalla jatkoanalyysijä kerätylle datalle. Tässä tutkielmassa esitelyihin tuloksiin ja analyysiin käytetään siis ainoastaan tehtävien suoritustarkkuutta, suoritusaikaa sekä kyselylomakkeilla mitattua henkilökohtaista kokemusta tehtävistä.

Kyselylomakkeiden kysymyksiin käyttäjiä ohjeistettiin vastaamaan siten, että huomioisivat myös aiemmat toistokerrat tehtävästä, eivätkä ainoastaan viimeistä juuri suoritettua toistokertaa. Kun käyttäjiltä kysyttiin lopuksi, kuinka paljon viimeinen toistokerta painottui vastatessa, sanoivat he sen painottuvan ehkä jonkin verran, mutta yrittäneensä kuitenkin pohtia kokonaisuutta. Koska käyttäjät eivät kuitenkaan järjestelmällisesti epäonnistuneet viimeisellä toistokerralla samoissa tehtävissä, tämän ei voi odottaa vaikuttavan kovin merkittävästi kerättyihin tuloksiin.

7. Tulokset ja pohdinta

Tässä luvussa esitellään saatuja tuloksia sekä käydään esimerkin avulla läpi testimenetelmän tulosten tulkinta. Lisäksi verrataan tutkielmassa kuvattua mallintamismenetelmän toimivuuden vahvistamiseksi abstrakteista menetelmän mukaisista tehtävistä saatuja tuloksia todellisia käyttöliittymän tehtäviä matkivista vertailutehtävistä saatuihin tuloksiin. Vertailun avulla saadaan selville tehtävien yksinkertaistamisesta ja mallin yleistämisestä koituva epätarkkuus, joka on otettava huomioon mallin mukaisen vuorovaikutuksen arvioinnin tuloksissa.

7.1. Tulosten käsittely

Kustakin tehtävästä laskettiin toistojen tuloksista keskiarvot, jotka otettiin mukaan analysointiin. Jokaisesta tehtävästä mitattiin tehtävän suorittamiseen kulunut aika millisekunteina, tehtävän onnistunut tarkkuus pikseleinä sekä koehenkilön henkilökohtainen kokemus tehtävästä kyselylomakkeella. Nämä arvot mitattiin siten, että tehtävän suorittamiseen kulunut aika aletaan laskea siitä hetkestä, kun koehenkilö testitehtävän esittelyruudussa klikkaa hiiren painiketta ja testiruutu näytetään käyttäjälle ja aika loppuu siihen, kun hän seuraavan kerran klikkaa hiirenpainiketta tehtävän lopettamisen merkiksi. Tehtävän tarkkuus taas saatiin ottamalla talteen testin lopussa maalin keskipisteen sijainnin etäisyys oikean maalin keskipisteestä pikseleinä. Tässä tutkimuksessa käytettiin mittauksen helpottamiseksi etäisyyden yksikkönä pikseleitä. Tämä siksi, että oleellista tehtävien vertailussa on ainoastaan käyttää samaa yksikköä molemmissa sekä abstraktissa että luonnollisessa vertailutehtävässä, eikä tuloksia tarvitse soveltaa tässä tapauksessa käytäntöön.

Hintana valinnasta on se, että menetelmän mukaisen testin tulokset pätevät ainoastaan normaalimonitoreihin tehtyihin vuorovaikutusmenetelmiin, joissa pikselitiheys on vakio. Todellisessa käyttötilanteessa käytettävä yksikkö on valittava joko pikseleinä tai millimetreinä, riippuen siitä, onko kohdelaitteen pikselikoko vakio vai ei. Kyselylomakkeen vastausten arvot taas saatiin suoraan lomakkeelta viidestä kysymyksestä kustakin asteikolla yhdestä viiteen. Näistä arvoista saadaan laskettua prosenttiarvo käyttäjän kokemukselle tehtävän sujuvuudesta ja miellyttävyydestä laskemalla vastausten yhteispisteiden osuus maksimipisteistä. Tämä prosenttiarvo kuvaa käyttäjän tyytyväisyyttä tehtävään.

Esimerkkinä käydään läpi hiirellä oikealla kädellä suoritettu testisarja ja sen tulokset. Tässä esimerkissä esitellään, miten menetelmän mukaisen testauksen tulokset voidaan nopeasti ja yksinkertaisesti havainnollistaa ja tulkita.

Menetelmän perusteella voidaan tehdä johtopäätökset testatusta vuorovaikutuksesta. Menetelmän kannalta oleellista on, että suunnittelijoilla on ideaa testatessaan itsellään tiedossa raja-arvot tuloksista, jotka ovat hyväksyttävissä rajoissa. Testaus mahdollistaa näiden rajojen tarkistamisen yleisellä tasolla, ennen varsinaisen prototyypin valmistamista ja testaamista. Yleistämisestä johtuen, tulokset eivät suoraan ole samoja, kuin todellisella vuorovaikutusmenetelmällä saadut tulokset, mutta kuten tässä tutkimuksessa myöhemmin osoitetaan, antavat yleistetyt testauksen tulokset riittävän tarkkoja tuloksia, jotta näiden avulla voidaan päätellä, onko uusi suunniteltu vuorovaikutustehtävä kannattava jatkokehitykseen.

Taulukossa 3 näkyy esimerkki testitehtävien ja vertailutehtävien tulosten keskiarvoista kaikkien koehenkilöiden tuloksista laskettuna. Tuloksista näkyy selvästi, että vaikka tehtävän tarkkuus ei monimutkaisuusasteen kasvaessa juurikaan kärsinyt, tehtäviin käytetty aika kasvoi monimutkaisuusasteen kasvaessa ja käyttäjien tyytyväisyys tehtävään heikkeni tehtävän vaikeutuessa. Menetelmää käytettäessä oleellista on asettaa raja-arvot, jotka ovat hyväksyttäviä. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelijoiden tulee päättää tulosten perusteella, onko tehtävän suorittaminen riittävän tarkkaa ja nopeaa ja mikä on hyväksyttävä käyttäjien tyytyväisyysaste, jotta vuorovaikutustapa kannattaisi ottaa käyttöön. Taulukon 3 mukaisessa esimerkissä käyttäjät olivat vaikeimmassakin tehtävässä noin 75%:sti tyytyväisiä tehtävän suoritukseen, vaikka aikaa kuluikin vaikeimman tehtävän suorittamiseen yli kaksi kertaa enemmän kuin helpoimman. Taulukosta myös näkyy, ettei vaikeusindeksi ole välttämättä yksiselitteisesti järjestävä. Vaikeusindeksin 2,1,0 mukainen tehtävä on tulosten perusteella käyttäjille helpompi kuin vaikeusindeksin 1,1,2 mukainen tehtävä. Tämä esimerkki tuo esille jo aiemmin esitetyn seikan, ettei tulosten perusteella voi ennustaa muiden vaikeusindeksin tehtävien arvoja, koska eri yhdistelmät saattavat olla käyttäjille tehtävää vaikeuttavia eri tavoin. Oletettavasti indeksit 1,1,x ovat helpompia kuin 2,1,x (yksi hallittava liike-elementti vs. kaksi hallittavaa liike-elementtiä), mutta kognitiivinen kuorma ensimmäisessä tehtävässä nostaa vaikeusastetta enemmän, kuin hallittavien elementtien vähyys helpottaa. Mikäli vertailussa olisi mukana 1,1,0-indeksi, huomattaisiin, että tulosten perusteella tehtävä on helpompi, kuin 2,1,0-tehtävä. Keskiarvot 1,1,0-tason tehtävässä olivat tarkkuus 2,20 pikseliä, nopeus 2195 ms, tyytyväisyys 87%. Ainoastaan suoritustarkkuus tuossa tehtävässä on hieman heikompi kuin 2,1,0-tehtävässä, ellei lukuja pyöristetä mittaustarkkuuteen, jolloin kummankin tarkkuus olisi 2 pikseliä. Vastaavasti suoritus aika ja tyytyväisyys ovat hieman parempia.

| Laite | Raaja | Vaikeus | keskiarvo | | |
|-------|------------|---------|---------------------|-----------|------------|
| | | | Etäisyys (pikseliä) | Aika (ms) | Kysely (%) |
| Hiiri | oikea käsi | 1,1,2 | 2,46 | 3176 | 84 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,1,0 | 1,82 | 2304 | 85 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2-1,1 | 2,53 | 5551 | 79 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2,1 | 2,29 | 5935 | 75 |

Taulukko 3: Malliesimerkki testituloksista (keskiarvot).

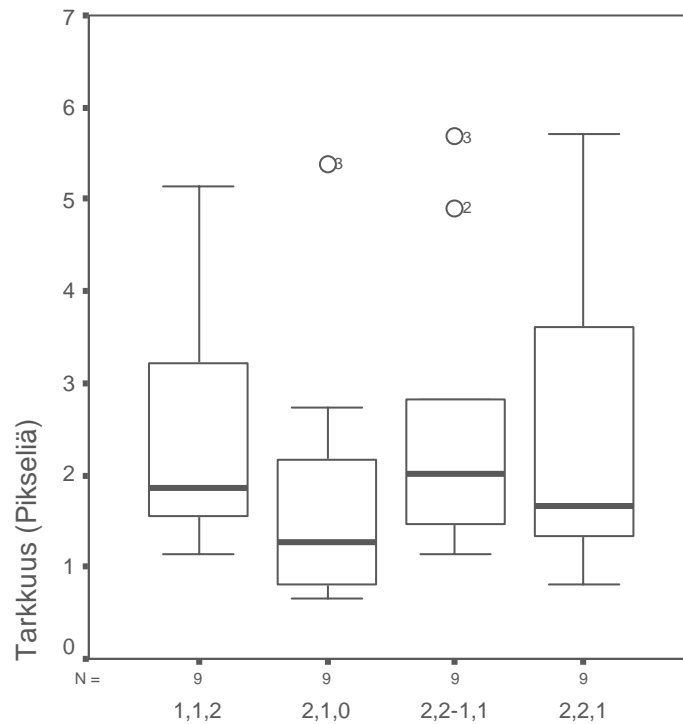
Tuloksista kannattaa myös laskea keskihajonnat, joiden avulla voidaan arvioida tulosten tarkkuutta. Mikäli keskihajonnat, varsinkin käyttäjätyytyväisyydessä, ovat suuria, on syytä pohtia toimiiko suunniteltu vuorovaikutustapa valitulla kohderyhmällä vai onko kyseessä sopiva tapa esimerkiksi kokeneille käyttäjille. Taulukossa 4 on edellisen esimerkin keskihajonnat. Kuten taulukoista 3 ja 4 näkyy, etäisyyden keskihajonnat olivat jopa suurempia, kuin tulosten keskiarvot, jolloin voidaan helposti päätellä, että käyttäjien tarkkuus vaihteli suuresti. Samoin oli suoritusaikojen laita, joissa keskihajonta oli jopa puolet keskiarvoista. Käyttäjätyytyväisyys sen sijaan oli tasaisempaa ja siksi antaakin selkeämmin tulokseksi, että käyttäjät olivat suhteellisen tyytyväisiä tehtävien suorittamiseen ja pitivät niiden suorittamista mahdollisena ja jopa suhteellisen miellyttävänä. Tästä voidaan päätellä, että käyttäjät luultavasti olisivat menettämään suhteellisen tyytyväisiä ja käyttäisivät menetelmää, mutta mikäli suoritusnopeudet tai tarkkuudet olisivat lähellä asetettua raja-arvoa hyväksyttävistä arvoista, tiedetään, että osa käyttäjistä ei pystyisi saavuttamaan vaadittua tarkkuutta tai nopeutta. Toisaalta mikäli suoritustarkkuudet ja nopeudet olisivat hyvin hyväksyttävällä puolella, ei suuri keskihajonta välttämättä merkitsisi mitään muuta, kuin että osa käyttäjistä käyttäisi menetelmää tehokkaammin kuin toiset.

| Laite | Raaja | Vaikeus | Keskihajonta | | |
|-------|------------|---------|---------------------|-----------|------------|
| | | | Etäisyys (pikseliä) | Aika (ms) | Kysely (%) |
| Hiiri | oikea käsi | 1,1,2 | 1,67 | 1058 | 10 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,1,0 | 1,61 | 811 | 8 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2-1,1 | 2,66 | 2410 | 12 |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2,1 | 1,99 | 1991 | 12 |

Taulukko 4: Malliesimerkki testituloksista (keskihajonnat).

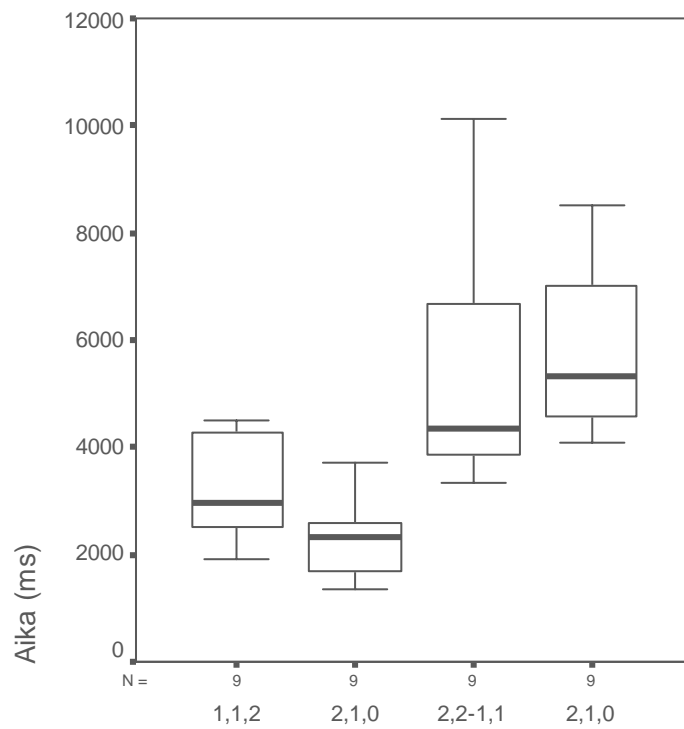
Onkin huomattava ottaa huomioon, että aikaan ja tarkkuuteen vaikuttavat suuresti käyttäjien valitsemat strategiat tehtävien suorittamisessa. Osa käyttäjistä saattaa suorittaa tehtävän mieluummin nopeammin ja epätarkemmin, kun toiset taas haluavat tehdä annetun tehtävän tarkasti ja

käyttää enemmän aikaa. Tämän vuoksi tärkein muuttuja on käyttäjätyytyväisyyttä kuvaava kysely ja tarkkuus ja nopeus tulisi ottaa huomioon vain siinä mielessä, että täyttävätkö saadut tulokset suunniteltuun tehtävään vaadittavat arvot.

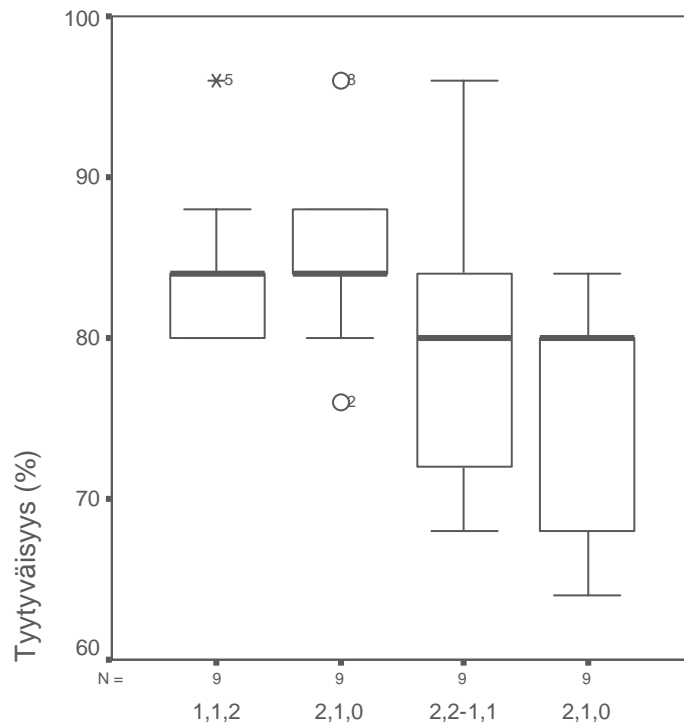


Kuva 14: Esimerkkitapauksen suoritustarkkuudet.

Kuvassa 14 näkyy laatikko-jana-kuvio esimerkkitapauksen suoritustarkkuudesta, kuvassa 15 suoritusajoista ja kuvassa 16 käyttäjätyytyväisyydestä. Laatikko-jana-kuvioissa näkyvät tulosten hajonnat visuaalisesti havainnollistettuina siten, että laatikon keskimäinen viiva kuvaa mediaania, laatikoiden reunat keskimäisiä kvartaaleja ja janojen päät ulommaisina kvartaaleja. Erillisinä pisteinä esitetään havainnot, jotka poikkeavat muuttujan muista arvoista huomattavasti. Näiden kuvioiden avulla on helppo havainnollistaa saatuja testituloksia ja tehdä päätelmiä siitä, minkä vaikeusasteen tehtävät soveltuvat vuorovaikutustavassa käytettäviksi. Kuvioiden avulla näkeeikin esimerkkitapauksesta selkeästi, että suoritusajat sekä käyttäjätyytyväisyys olivat selkeästi parempia kahdessa alemmassa vaikeusasteessa kuin kahdessa ylemmässä vaikeusasteessa. Vaikka tulokset keskimäärin pysyivät koko ajan hyvinä, hajonta kasvoi selkeästi ja lisäksi tulokset vääristyivät ”heikompaan” suuntaan, joka kertoo sen, että osalla koehenkilöistä tulokset alkoivat selkeästi heikentyä.



Kuva 15: Esimerkkitapauksen suoritusajat.

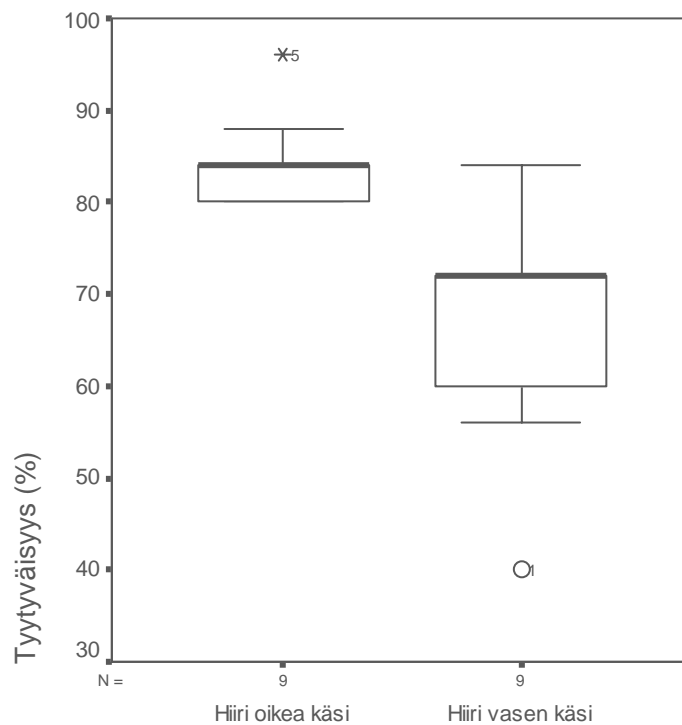


Kuva 16: Esimerkkitapauksen käyttäjätyytyväisyys.

Edellä esitellyn esimerkin mukaisesti voidaan minkä tahansa menetelmän mukaisen testin tuloksia nopeasti havainnollistaa ilman syvällistä tilastoanalyysiä ja tehdä päätelmiä suunnitellun vuorovaikutustavan toimivuudesta tietyllä laitteella eri vaikeusasteilla suunniteltuihin tehtäviin. Menetelmän kannalta riittää, mikäli tehdään perustason havaintoja mitatuista tuloksista laskemalla keskiarvot ja keskihajonnat, joista voidaan päätellä suunnitellun menetelmän toimivuus. Tuloksia voidaan myös visualisoida tekemällä tuloksista laatikko-jana-kuviot, joista helposti näkee suoraan tulosten tason ja nähdään, ovatko ne riittävän hyviä ajateltuihin minimiarvoihin nähden.

Kuten tässä tutkimuksessa osoitetaan, tulokset vastaavat riittävällä tarkkuudella todellisia vuorovaikutustehtäviä, jotta tuloksiin abstraktilla mallilla voidaan luottaa päätelmien tekemiseksi. Tuloksia tarkasteltaessa pitää kuitenkin muistaa, että koska yleistäminen hieman vaikuttaa tuloksiin, menetelmä ei sovellu tarkkojen tulosten ennustamiseen uudella vuorovaikutustekniikalla tehtyihin tehtäviin, vaan antaa ainoastaan suuntaviivoja siitä, onko suunniteltu menetelmä hyvä vai huono. Mikäli tulokset ovat lähellä suunniteltuja raja-arvoja, tulisi muistaa, että abstraktin mallin tehtävissä käyttäjät toimivat keskimäärin hieman tarkemmin ja hitaammin kuin todellisissa tehtävissä, kuten myöhemmin tässä tutkimuksessa osoitetaan. Käyttäjätyytyväisyydet toisaalta vastasivat toisiaan melko tarkasti, joten tämän tutkimuksen perusteella saatu käyttäjätyytyväisyysarvo vastaa hyvin todellisia tehtäviä.

Vastaavasti mikäli vaikeusaste suunnitellussa tehtävässä on tunnettu ja halutaan mitata millä laitteilla tehtävä on mahdollista suorittaa, voidaan tulokset vastaavasti taulukoida ja esittää vaikeusindeksin sijaan käyttäen esittävänä muuttujana mitattua laitetta ja esittää jokaisesta laitteesta vain yksi vaikeusindeksi, kuten kuvan 17 laatikko-jana-kuviossa verrataan käyttäjäkokemusta hiiren käytössä oikealla ja vasemmalla kädellä 1,1,2-vaikeusindeksin tehtävässä.



Kuva 17: Käyttäjätyytyväisyys hiirtä käytettäessä oikealla ja vasemmalla kädellä.

7.2. Menetelmän vertaaminen todellisiin testitehtäviin

Menetelmän vastaavuutta todellisuuteen verrattiin testaamalla kaikki laite-
raajayhdistelmät sekä menetelmän mukaisilla tehtävillä että todellisuutta
matkivilla tehtävillä. Käytetyt testitehtävät kuvattiin kohdassa 6.2 ja näiden
tulokset analysoitiin vertaamalla abstraktin tehtävän tuloksia todellisuutta
vastaavien tehtävien tuloksiin. Kustakin tehtäväsarjasta laskettiin erikseen
keskiarvot kaikkien henkilöiden tuloksista jokaista vaikeusindeksiä kohden
kultakin laite-
raajayhdistelmältä ja muuttujalta erikseen (taulukko 7) ja tulokset
ristiintaulukoitiin abstrakti tehtävä vs. todellinen tehtävä kultakin laite-
raajayhdistelmältä erikseen. Taulukoista laskettiin Spearmannin korrelaatiot (Liite
1.2 - 1.10, taulukot 1.1 - 1.10), joilla saatiin selville kuinka hyvin abstraktit
tehtävät vastaavat todellisia tehtäviä. Tuloksista myös tehtiin laatikko-jana-
kuvaajat rinnakkain kustakin muuttujasta abstraktien testitehtävien sekä
vertailutehtävien osalta (Liite 1.2 - 1.10, kuvat 1.1 - 1.10). Näitä kuvaajia
vertaamalla saadaan selville miten yleistäminen vaikuttaa tuloksiin.

| Spearmanin Korrelaatio | Arvo |
|--|-------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,711 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,778 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,537 |

Taulukko 5: Spearmanin korrelaatioiden itseisarvojen keskiarvot.

Koska testitehtävät ovat ordinaaliasteikollisia lukuarvoja, pitää tuloksia verrata toisiinsa käyttäen ristiintaulukointia ja ordinaaliasteikollisiin arvoihin sopivaa korrelaation laskentaa. Tulosten vertailu tehtiin käyttäen Spearmanin korrelaatiota. Liitteessä 1 on kultakin laite-raajayhdistelmältä taulukot saaduista korrelaatioista ja taulukossa 5 näiden itseisarvoista lasketut keskiarvot. Kuten taulukosta 5 näkyy, korreloivat eri tehtävien tulokset erittäin hyvin vertailutehtävien tuloksiin ja tämä osoittaa, että mallin mukaiset abstraktit tehtävät käyttäytyvät vaikeusindeksin suhteen samankaltaisesti todellisten vuorovaikutustehtävien mukaisesti. Tämä vastaa yhteen tämän tutkimuksen kysymyksistä, eli tässä tutkimuksessa esitetyn mallinnusmenetelmän avulla voidaan mallintaa vuorovaikutustehtäviä ja mitata näiden toimivuutta abstraktilla testillä ja tulosten avulla selittää todellisiin tehtäviin perustuvien testien tuloksia. Laskemalla Spearmanin korrelaatiot kaikkien eri laite-raajayhdistelmien tulosten keskiarvoista (Taulukko 6) saadaan korrelaatio abstraktin mallin ja todellisten tehtävien välille erinomaiseksi, eli useammalla eri kokoonpanolla suoritettuna malli vastaa todellisuutta vielä paremmin, kuin yksittäisillä kokoonpanoilla mitattuna.

| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 1,000 | 0,000 | | |

a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptootista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

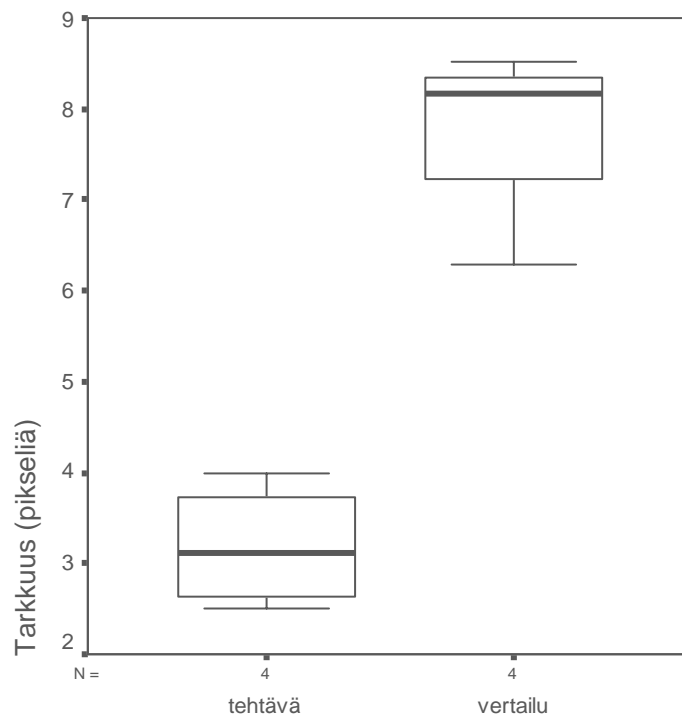
c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 6: Spearmanin korrelaatiot kaikkien tulosten keskiarvoista.

| Keskiarvot kaikista | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|---------|------------------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|--|--|
| Laite | Raaja | Vaikeus | Etäisyys (Pikseliä) | | Aika (ms) | | Kysely (%) | | | |
| | | | Testi | Vertailu | Testi | Vertailu | Testi | Vertailu | | |
| DualStrike | Kaksi kättä | 1,1,2 | 4,23 | 8,50 | 4313 | 3475 | 62 | 69 | | |
| DualStrike | Kaksi kättä | 2,1,0 | 3,49 | 7,31 | 4343 | 5829 | 65 | 58 | | |
| DualStrike | Kaksi kättä | 2,2,1 | 4,53 | 6,62 | 6958 | 9283 | 61 | 54 | | |
| DualStrike | Kaksi kättä | 2,2-1,1 | 5,09 | 7,12 | 7462 | 7260 | 60 | 62 | | |
| Hiiri | oikea käsi | 1,1,2 | 2,46 | 6,91 | 3176 | 2360 | 84 | 86 | | |
| Hiiri | oikea käsi | 2,1,0 | 1,82 | 6,19 | 2304 | 3616 | 85 | 83 | | |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2,1 | 2,29 | 5,24 | 5935 | 7197 | 75 | 77 | | |
| Hiiri | oikea käsi | 2,2-1,1 | 2,53 | 9,88 | 5551 | 5446 | 79 | 80 | | |
| Hiiri | vasen käsi | 1,1,2 | 2,16 | 7,75 | 3484 | 2785 | 66 | 76 | | |
| Hiiri | vasen käsi | 2,1,0 | 2,35 | 5,06 | 2866 | 4647 | 64 | 63 | | |
| Hiiri | vasen käsi | 2,2,1 | 3,75 | 10,60 | 7480 | 7725 | 62 | 58 | | |
| Hiiri | vasen käsi | 2,2-1,1 | 2,61 | 9,94 | 6547 | 6857 | 60 | 63 | | |
| Piirtolevy | oikea käsi | 1,1,2 | 2,09 | 7,87 | 3849 | 3011 | 74 | 78 | | |
| Piirtolevy | oikea käsi | 2,1,0 | 1,95 | 4,59 | 3011 | 5083 | 76 | 76 | | |
| Piirtolevy | oikea käsi | 2,2,1 | 2,92 | 9,36 | 7072 | 9034 | 68 | 64 | | |
| Piirtolevy | oikea käsi | 2,2-1,1 | 2,95 | 5,49 | 6246 | 7120 | 68 | 70 | | |
| Piirtolevy | vasen käsi | 1,1,2 | 2,27 | 7,61 | 3747 | 3217 | 68 | 68 | | |
| Piirtolevy | vasen käsi | 2,1,0 | 2,14 | 4,41 | 3054 | 4790 | 64 | 64 | | |
| Piirtolevy | vasen käsi | 2,2,1 | 3,11 | 5,79 | 6929 | 8680 | 62 | 61 | | |
| Piirtolevy | vasen käsi | 2,2-1,1 | 6,66 | 9,25 | 6274 | 7926 | 67 | 63 | | |
| Ohjauspallo | oikea jalka | 1,1,2 | 2,75 | 8,91 | 6019 | 4184 | 59 | 50 | | |
| Ohjauspallo | oikea jalka | 2,1,0 | 3,33 | 8,97 | 5235 | 6264 | 54 | 48 | | |
| Ohjauspallo | oikea jalka | 2,2,1 | 4,10 | 9,92 | 10977 | 10136 | 46 | 44 | | |
| Ohjauspallo | oikea jalka | 2,2-1,1 | 4,02 | 8,95 | 9044 | 9037 | 51 | 51 | | |
| Ohjauspallo | oikea käsi | 1,1,2 | 2,18 | 8,45 | 4122 | 2746 | 78 | 80 | | |
| Ohjauspallo | oikea käsi | 2,1,0 | 1,94 | 5,27 | 2879 | 3917 | 79 | 76 | | |
| Ohjauspallo | oikea käsi | 2,2,1 | 2,33 | 7,17 | 5839 | 6854 | 75 | 70 | | |
| Ohjauspallo | oikea käsi | 2,2-1,1 | 2,95 | 11,83 | 6444 | 5506 | 73 | 78 | | |
| Ohjauspallo | vasen jalka | 1,1,2 | 3,90 | 9,36 | 5837 | 4013 | 54 | 56 | | |
| Ohjauspallo | vasen jalka | 2,1,0 | 3,43 | 10,20 | 5369 | 5828 | 52 | 46 | | |
| Ohjauspallo | vasen jalka | 2,2,1 | 5,24 | 8,95 | 9955 | 9200 | 47 | 46 | | |
| Ohjauspallo | vasen jalka | 2,2-1,1 | 5,60 | 7,47 | 9434 | 7864 | 51 | 47 | | |
| Ohjauspallo | vasen käsi | 1,1,2 | 2,78 | 8,17 | 4466 | 2958 | 75 | 74 | | |
| Ohjauspallo | vasen käsi | 2,1,0 | 2,12 | 4,69 | 3218 | 4575 | 73 | 67 | | |
| Ohjauspallo | vasen käsi | 2,2,1 | 2,99 | 9,73 | 7214 | 7449 | 70 | 65 | | |
| Ohjauspallo | vasen käsi | 2,2-1,1 | 3,52 | 6,82 | 5985 | 6218 | 69 | 66 | | |

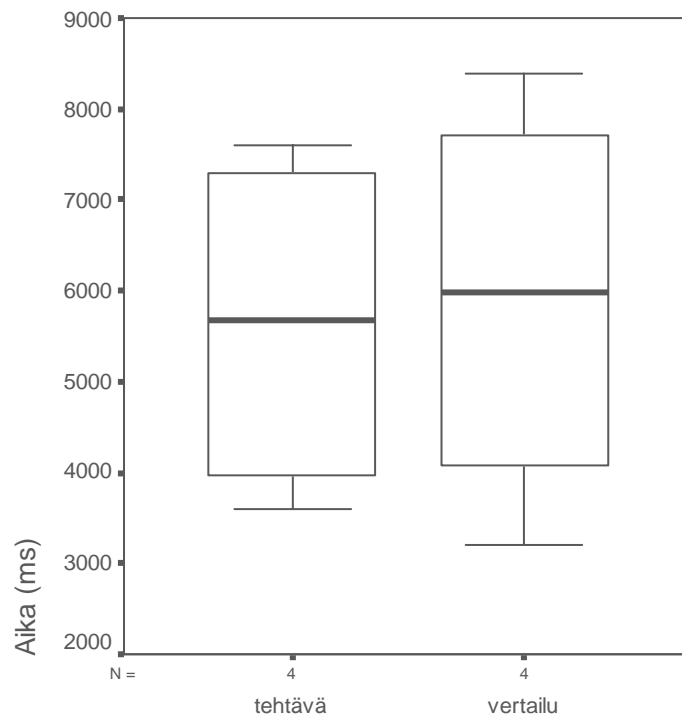
Taulukko 7: Kaikkien tulosten keskiarvot.

Vertaamalla eri laite-raaja-yhdistelmien, sekä keskimääräisten tulosten, laatikko-jana-kuvioita kunkin muuttujan osalta mallin mukaisen testin ja todellisuutta vastaavan vertailutestin välillä nähdään miten mallin mukainen yleistäminen vaikuttaa tuloksiin. Liitteessä 1.2-1.10 on kuvat kaikista eri laatikko-jana-kuvioista eri laite-raajayhdistelmien osalta, sekä kuvissa 18, 19 ja 20 keskimääräisten tulosten perusteella.

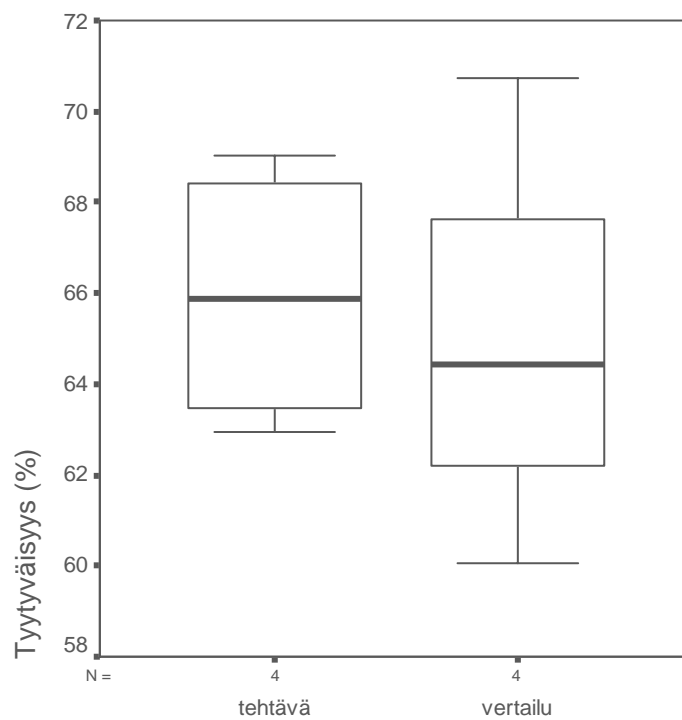


Kuva 18: Laatikko-jana-kuvio suoritustarkkuuksista kaikkien tulosten keskiarvojen suhteen.

Selkein havaittava ero on havaittavissa tarkkuudessa. Käyttäjät selkeästi tekevät abstraktit tehtävät tarkemmin kuin yleisemmät vuorovaikutustehtävät, jotka ovat ennestään tuttuja. Vaikka eri laite-raaja-yhdistelmissä onkin pientä vaihtelua siinä, kuinka abstraktit testit eroavat vertailutesteistä, on keskiarvoista laskettujen kuvioiden mukainen trendi hyvin selvä. Suoritusajat ja käyttäjätyytyväisyys ovat hyvin lähellä toisiaan abstrakteissa ja normaaleissa tehtävissä ja suoritustarkkuus havaittavasti parempi abstrakteilla testeillä. Tosin tarkkuuden erossa on otettava huomioon, että tarkkuuden vaihteluväli on keskimäärin 10 pikselin sisällä, eli erolla ei ole suurta merkitystä muissa kuin erittäin suurta tarkkuutta vaativissa tehtävissä. Osittain tämä ero saattaa selittyä sillä, että abstrakti malli oli käyttäjille vieras ja siksi he ehkä saattoivat pyrkiä toimimaan mahdollisimman tarkasti, kun taas todellisuutta matkivissa vertailutehtävissä heillä oli jo ennestään olemassa tuttu malli vaaditusta tarkkuudesta, jolloin he saattoivat valita strategian vertailutehtävissä vaadittavan tarkkuuden mukaan.



Kuva 19: Laatikko-jana-kuvio suoritusajoista kaikkien tulosten keskiarvojen suhteen.



Kuva 20: Laatikko-jana-kuvio käyttäjätyytyväisyydestä kaikkien tulosten keskiarvojen suhteen.

Mallin mukainen abstrakti tehtävä mittaakin kenties tarkkuudessa pikemminkin sitä, kuinka tarkasti käyttäjä kykenee toimimaan mukavuuden rajoissa suoritusajan ja tyytyväisyyden kärsimättä. Tässä tapauksessa mallin mukaiset tarkkuustulokset antavatkin hyvin suuntaa kysymykseen, johon malli pyrkiikin vastaamaan, eli siihen, kuinka tarkasti käyttäjät pystyvät tehtävän suorittamaan tehden sen normaalisti, eikä pyrkien suurimpaan mahdolliseen tarkkuuteen.

7.3. Abstrahoitu testaus vs. aiemmat menetelmät

Tässä tutkielmassa esitetyllä abstraktilla mallilla testaaminen antaa vastauksen siihen kysymykseen, onko suunniteltu vuorovaikutustekniikka käyttökelpoinen ja käyttäjien mielestä miellyttävä jo ennen prototyypin toteuttamista. Tämä antaa suunnittelijoille työkalun arvioida ideoiden käyttökelpoisuutta jo idea-asteella. Tämä säästää kustannuksia verrattuna perinteisiin menetelmiin arvioida vuorovaikutustekniikoita, koska ideoita voidaan testata luotettavasti jo kehitysvaiheen alkumetreillä ja iteroida toimivammiksi idea-asteella.

Muilla tässä tutkielmassa esitetyillä menetelmillä vuorovaikutustekniikoiden kehittäminen vaatii enemmän resursseja ja sisältää suuremman riskin kehitysprojektin epäonnistumisesta ja siten resurssien hukkaamisesta. Fittsin lain avulla voidaan arvioida käyttäjien suoritustarkkuuksia ja aikoja, mutta vuorovaikutuksen toimivuuteen vaikuttaa myös käyttäjien kokemus käytön miellyttävyydestä, jota voidaan arvioida perinteisin käytettävyydestutkimuksen menetelmin. Tämä kuitenkin vaatii perinteisesti vähintään prototyypin olemassaoloa ja siten vaatii huomattavasti resursseja ennen kuin tuloksia saadaan. GOMS-mallilla taas voidaan mallintaa hyvin tunnettujen vuorovaikutustekniikoiden avulla toteutettuja toimintasarjoja ja tehtäviä, mutta menetelmä ei sovellu täysin uusien vuorovaikutustekniikoiden mallintamiseen, koska mallin kertoimet on ennestään tunnettava, jotta mallin avulla voitaisiin arvioida toiminnan etenemistä. Malli ei myöskään ota kantaa käyttäjien kokemukseen vuorovaikutuksesta, kuten tässä tutkielmassa esitelty uusi menetelmä.

Lyhyesti voitaisiin kuvailla uutta menetelmää keinoksi suorittaa käytettävyydestausta abstraktilla tasolla ilman olemassa olevia prototyyppejä. Tämä mahdollistaa resurssien säästämisen uusia vuorovaikutustapoja kehitettäessä ja siten antaa työkalun suunnitella uusia tapoja käyttöliittymien ohjaamiseen entistä tehokkaammin ja edullisemmin. Mallin tulokset vastaavat

todellisuutta hyvin ja siksi ovat käyttökelpoisia uusien vuorovaikutustekniikoiden arviointiin jo idea-asteella.

7.4. Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan helposti havaita, että tässä tutkielmassa esitetty mallintamismenetelmä vastaa hyvin todellisia vuorovaikutustehtäviä, joita sen avulla pyritään mallintamaan. Käyttäjien tyytyväisyyttä ja omaa kokemusta, sekä suoritusajkoja voidaan mitata erinomaisesti käyttäen abstraktia mallia vuorovaikutuksesta ja tulokset vastaavat erinomaisesti todellisuutta. Suoritustarkkuuksissa malli vastaa kysymykseen ”kuinka tarkasti käyttäjä voi tehdä tehtäviä suoritusajan ja miellyttävyyden kärsimättä” ja siten myös kysymykseen, onko suunniteltu tekniikka riittävän tarkka toimiakseen.

Huomioitavaa mallia käytettäessä on, että yksittäisten ihmisten tulokset eivät ole kiinnostavia, vaan että johtopäätökset tehdään keskimääräisistä tuloksista. Mikäli testi suoritetaan käyttäen useampaa kuin yhtä laitetta ja tulokset yhdistetään, tulokset vastaavat tämän tutkimuksen tulosten perusteella todellisuutta paremmin, kuin mitattaessa ainoastaan yksittäisellä laitteella. Tämä johtuneeksi yksittäisten laitteiden aiheuttaman vaikutuksen tasoittumisesta keskimääräiseksi vaikutukseksi. Hintana tästä yhdistämisestä on, että menetetään tieto yksittäisten laitteiden soveltuvuudesta, vaikka saadut tulokset vastaavatkin tarkemmin todellisten vuorovaikutustehtävien tuloksia. Mallia käyttävän tulisikin kysyä itseltään ennemmin ”Millä laitteilla tätä vuorovaikutustekniikkaa voitaisiin käyttää ja toimisiko se niillä”, kuin ”Toimisikohan tämä vuorovaikutustekniikka laitteella X”. Kuitenkin, mikäli suunniteltu vuorovaikutustekniikka on tarkoitettu käytettäväksi tietyllä laitteella, tämän tutkimuksen perusteella, tulokset yhdelläkin laitteella mitattuina vastaavat melko hyvin todellisuutta. Useammalla laitteella mitattuina tulokset vastaavat todellisuutta kuitenkin selkeästi paremmin.

8. Lopuksi

Tässä tutkielmassa esiteltiin uusi mallinnusmenetelmä uusien vuorovaikutustekniikoiden arviointiin kehitystyön alkuvaiheessa. Mallinnusmenetelmä perustuu vuorovaikutuksen yleistämiseen käyttäen kolmea vuorovaikutukseen vaikuttavaa muuttujaa, jotka ovat *syötteen kontrolloitavat dimensiot, palautteen toisistaan riippumattomat dimensiot ja tehtävään aiheuttama kognitiivinen kuorma*. Näiden muuttujien avulla voidaan kuvata mikä tahansa tilalliseen vuorovaikutukseen perustuva vuorovaikutustekniikka abstraktina vuorovaikutuksena ja mallin avulla luoda abstraktiin malliin perustuva nopeasti suoritettava testisarja, jolla voidaan arvioida vuorovaikutustekniikan käyttökelpoisuutta.

Tutkielmassa esiteltiin esimerkkien avulla, miten mallia voidaan käyttää ja sen avulla suorittaa vuorovaikutuksen testaaminen abstraktilla tasolla, sekä miten tuloksia voidaan arvioida. Menetelmä vastaa mm. kysymyksiin "Onko vuorovaikutustekniikka riittävän tarkka ja nopea käytettäväksi?" sekä "Onko tekniikka käyttäjien mielestä riittävän miellyttävä, jotta he sitä käyttäisivät?".

Menetelmän toimivuus varmistettiin suorittamalla testisarja mallin mukaisilla testeillä useilla eri laitteilla ja vertaamalla abstraktin mallin mukaisia tuloksia todellisia tehtäviä kuvaavilla testeillä saatuihin tuloksiin. Tulokset osoittivat menetelmän vastaavan todellisia tehtäviä erinomaisesti ja siten vahvistivat menetelmän luotettavuuden ja toimivuuden.

Esiteltyä mallia ja menetelmää verrattiin myös olemassaoleviin keinoihin suunnitella ja arvioida uusia vuorovaikutustekniikoita, joista esiteltiin mm. Fittsin laki, GOMS-mallit, käytettävyysestaus sekä perustutkimusten tulosten hyödyntäminen. Mallin etuna muihin verrattuna on mahdollisuus arvioida vuorovaikutuksen toimivuutta jo ideatasolla käytettävyysestauksen menetelmin ja siten mahdollisuuteen saada luotettavia tuloksia suunnitellun vuorovaikutuksen toimivuudesta mahdollisimman varhaisessa suunnittelun vaiheessa.

Vaarana mallin mukaisessa abstrahoinnissa on se, että abstrakti malli ei vastaa riittävän tarkasti todellista vuorovaikutustekniikkaa, jota yritetään mallintaa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella esitellyn mallin mukainen abstrahointi ja sen perusteella tehdyt testit vastaavat todellisia vuorovaikutustehtäviä erinomaisella tarkkuudella ja siten abstrahointi ei vaikuta saatuihin tuloksiin oleellisesti.

Saadut tulokset vastaavat todellisuutta sitä paremmin, mitä useampaa laitetta menetelmän avulla mitataan. Kuitenkin pelkästään yhdellä laitteellakin mitatut tulokset vastaavat todellisia tehtäviä riittäväällä tarkkuudella, että

menetelmä on käyttökelpoinen ja antaa hyviä tuloksia vuorovaikutuksen arviointiin. Siten menetelmä soveltuu hyvin myös käytettäväksi arvioitaessa tietyllä laitteella käytettäväksi suunniteltuja vuorovaikutustekniikoita.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin perustasolla, miten hyvin abstrakti malli vastaa todellisia vuorovaikutustehtäviä. Seuraavaksi olisi tarpeen verrata abstraktia mallia yksityiskohtaisemmin todellisiin tehtäviin ja selvittää, miten abstraktin mallin tehtävien tulokset eroavat todellisista vuorovaikutustilanteista. Syvällisemmällä tilastoanalyysillä voitaisiin saada selville, onko tuo ero säännöllinen ja matemaattisesti selitettävissä. Mikäli näin on, voitaisiin luoda matemaattinen malli, jonka avulla voitaisiin ennustaa suunniteltuja vuorovaikutusmenetelmiä. Tässä tutkimuksessa vertailu tehtiin olemassa oleviin vuorovaikutustehtäviin, eikä vertailua varten kehitetty täysin uusia vuorovaikutustekniikoita.

Seuraava askel olisi kehittää uusia vuorovaikutustekniikoita käyttäen apuna tässä tutkimuksessa esiteltyä menetelmää ja verrata lopuksi uuden tekniikan avulla mitattuja tuloksia etukäteen mallilla saatuihin tuloksiin, jolloin saataisiin varmistettua, että menetelmän tulokset pätevät myös täysin uusiin menetelmiin. Tämä sen vuoksi, että menetelmää suunniteltaessa käytettiin pohjana monimutkaisuutta kuvaavan muuttujajaottelun luomiseen nykyisin käytössä olevien vuorovaikutustekniikoiden hajottamista osatekijöihin. Kehittämällä täysin uusi nykyisistä poikkeava vuorovaikutustekniikka tilalliseen vuorovaikutukseen saataisiin varmistettua menetelmän toimivuus tilanteissa, joita ei ole aiemmin otettu huomioon millään tavalla.

Viiteluettelo

- [Accot and Zhai, 1997] Johnny Accot and Shumin Zhai, Beyond Fitts' law: Models for trajectory based HCI tasks. *Proceedings of the CHI '97*, ACM Press, 1997, 295-302.
- [Arcanum, 2003] Arcanum-pelin kotisivut, WWW, <http://arcanum.sierra.com/>, (18.11.2003).
- [Backs and Walrath, 1992] R.W.Backs and L.C.Walrath, Eye movement and pupillary response indices of mental workload during visual search of symbolic displays. *Applied Ergonomics* 23, 1992, 243-254.
- [Bhimani *et al.*, 1966] B. V. Bhimani, R. D. Merrill, R. P. Mitchell and M. R. Stark, An approach to speech synthesis and recognition on a digital computer. *Proceedings of the 1966 21st national conference*, ACM Press, 1996, 275-296.
- [Black and White, 2003] Black and White -pelin kotisivut, WWW, <http://www.blackandwhite.com/>, (18.11.2003).
- [Bolt, 1981] Richard A. Bolt, Gaze-orchestrated dynamic windows. *Proceedings of the 8th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM Press, 1981, 109-119.
- [Borland, 2003] Borland Software Corporation, WWW, <http://www.borland.com/>, (18.11.2003).
- [Burt, 1942] Harold E. Burt, *Principles of Employment Psychology*. New York: Harper, 1942.
- [Card *et al.*, 1980] S.K. Card, T.P. Moran and A. Newell, A Keystroke-Level Model for User Performance Time with Interactive Systems, *Communications of the ACM*, 23 (7), ACM Press, 1980, 396-410.
- [Card *et al.*, 1983] Stuart K. Card, Thomas P. Moran and Allen Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hills-Dale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [Dennerlein *et al.*, 2000] Jack Tigh Dennerlein, David B. Martin and Christopher Hasser, Force-Feedback improves performance for steering and combined steering-targeting tasks. *Proceedings of the CHI 2000*, ACM Press, 2000, 423-429.
- [Deitel and Deitel 2000] Deitel & Deitel, *C++ How to Program 3rd edition*, Prentice Hall, 2000.
- [Evil Twin, 2003] Evil Twin -pelin kotisivut, WWW, <http://www.eviltwin-thegame.com/>, (18.11.2003).

- [Fitts, 1954] Paul M. Fitts, The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 1954, 381-391.
- [Hyrskykari et al., 2000] Aulikki Hyrskykari, Päivi Majaranta, Antti Aaltonen and Kari-Jouko Räihä, Design Issues of iDict: A Gaze-Assisted Translation Aid. *Proceedings of ETRA 2000, Eye Tracking Research and Applications Symposium, Palm Beach Gardens, FL*, ACM Press, November 2000, 9-14.
- [John and Kieras, 1994] B. E. John and D. Kieras, The GOMS Family of Analysis Techniques: Tools for Design and Evaluation. *Carnegie Mellon University School of Computer Science Technical Report No. CMU-CS-94-181*, 1994.
- [Kabbash et al., 1993] Paul Kabbash, I. Scott MacKenzie and William Buxton, Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. *Proceedings of the INTERCHI '93*, ACM Press, 1993, 474-481.
- [Kieras, 1996] D. Kieras, Guide to GOMS Model Usability Evaluation Using NGOMSL. M. Helnader and T. Landauer Eds. *The Handbook of Human-Computer Interaction*, 2nd edition, North-Holland, Amsterdam, 1996.
- [Kopstein, 1969] Felix F. Kopstein, Rational vs. empirical approaches to job/task descriptions for COBOL programmers. *Proceedings of the seventh annual conference on SIGCPR*, ACM Press, 1969, 128-138.
- [MacKenzie, 1992] I. Scott MacKenzie, Fitt's law as a research and design tool. *Human-Computer Interaction*, 7, 1992, 91-139.
- [MacKenzie and Buxton, 1992] I. Scott MacKenzie and William Buxton, Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. *Proceedings of the CHI '92*, ACM Press, 1992, 219-226.
- [MacKenzie and Buxton, 1993] I. Scott MacKenzie and William Buxton, A tool for the rapid evaluation of input devices using Fitts' law models. *ACM SIGCHI Bulletin Volume 25 Issue 3 (July 1993)*, ACM Press, 1993, 58-63.
- [Matias et al., 1993] Edgar Matias, I. Scott Mackenzie and William Buxton, Half-QWERTY: A One-handed Keyboard Facilitating Skill Transfer From QWERTY. *Proceedings of the INTERCHI '93*, ACM Press, 1993, 88-94
- [Max Payne, 2003] Max Payne pelin kotisivut, WWW, <http://www.maxpayne.com/>, (18.11.2003).
- [Nielsen et al., 1986] Jakob Nielsen, Robert L. Mack, Keith H. Bergendorff, Nancy L. Grischkowsky, Integrated software usage in the professional work environment: evidence from questionnaires and interviews. *Proceedings of the CHI '86*. ACM Press, 1986, 162-167.
- [Nielsen, 1993] Jacob Nielsen, *Usability Engineering*. Academic Press, 1993.

- [Nielsen, 2003] Jacob Nielsen, Heuristic Evaluation, WWW, <http://www.useit.com/papers/heuristic/>, (18.11.2003).
- [Norman, 1990] Donald A. Norman, Why interfaces don't work. *The Art of Human-Computer Interface Design*, B. Laurel (Ed.), Addison-Wesley, 1990, 209-219.
- [Payne and Green, 1989] Payne and Green, Task-action grammar: The model and its developments. Diaper D. Ed. *Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Chichester: Ellis Horwood, 1989.
- [Pelit, 1995-2003] *Pelit-lehden vuosikerrat 1995-2003*, Helsinki Media.
- [Pelit, 2003] *Pelit-lehden kotisivut*, WWW, <http://www.pelit.fi>, (18.11.2003).
- [Preece. 1994] Jenny Preece, *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, 1994.
- [Segen and Kumar, 1998] Jakub Segen and Senthil Kumar, GestureVR Vision-Based 3D Hand Interterface for Spatial Interaction. *Proceedings of the sixth ACM international conference on Multimedia: Technologies for interactive movies*. ACM Press, 1998, 455-464.
- [Shannon, 1948] C. E. Shannon, A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, vol. 27, 379-423 ja 623-656, july and august, 1948.
- [Shneiderman, 1982] Ben Shneiderman, The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behaviour and Information Technology* 1, 1982, 237-256.
- [Shneiderman, 1983] Ben Shneiderman, Direct manipulation: a step beyond programming languages. *IEEE Computer*, 16, 1983, 57-69.
- [Siegman and Feldstein, 1987] Aron W. Siegman and Stanley Feldstein, *Nonverbal Behavior and Communication*, second edition. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1987.
- [Silfverberg *et al.*, 2000] Miika Silfverberg, I. Scott MacKenzie and Panu Korhonen, Predicting Text Entry Speed on Mobile Phones. *Proceedings of the CHI 2000*, ACM Press, 2000, 9-16.
- [Turunen and Hakulinen, 2000] Markku Turunen and Jaakko Hakulinen, Mailman - a Multilingual Speech-only E-mail Client based on an Adaptive Speech Application Framework. *Proceedings of Workshop on Multi-Lingual Speech Communication (MSC 2000)*, 2000, ART Spoken Language Transalation laboratories, Japan, 7-12.

Liite 1: Vertailuanalyysin tulokset

Liite 1.1 Kaikkien laite-raaja yhdistelmien keskiarvot

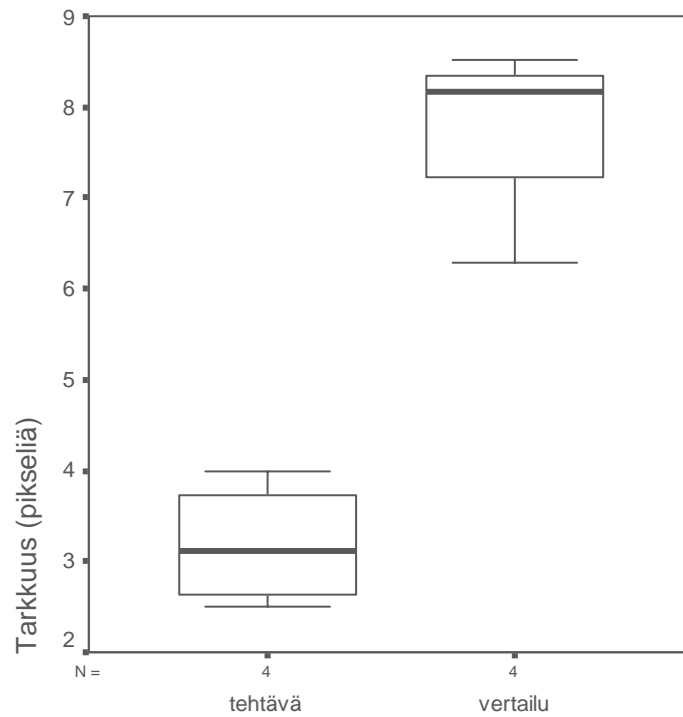
| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 1,000 | 0,000 | | |

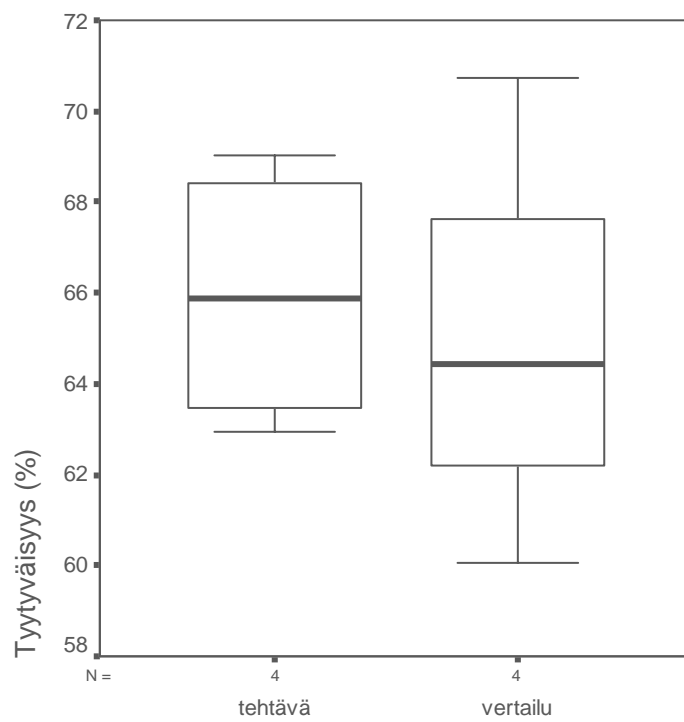
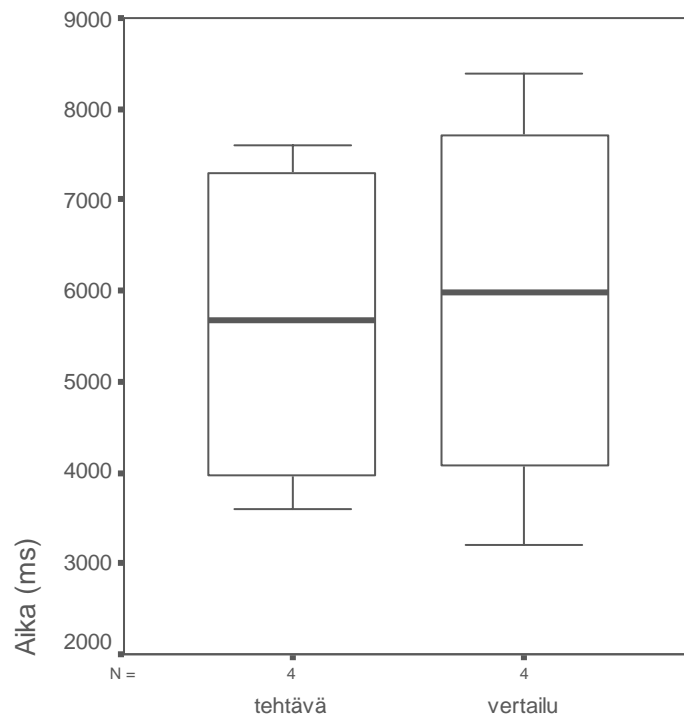
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asympotoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.1: Spearmanin korrelaatiot.





Kuvat 1.1 : Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.2 DualStrike - kaksi kättä

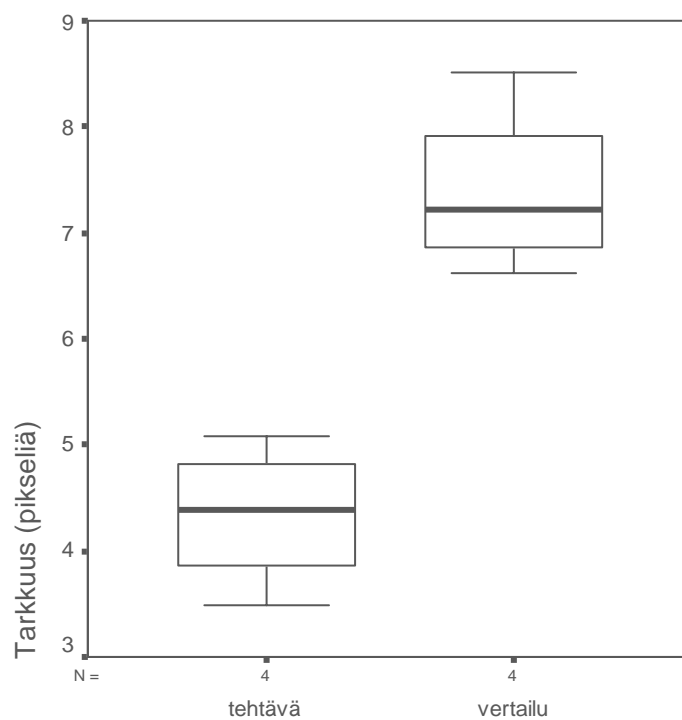
| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | -0,600 | 0,000 | -1,061 | 0,400 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 1,000 |

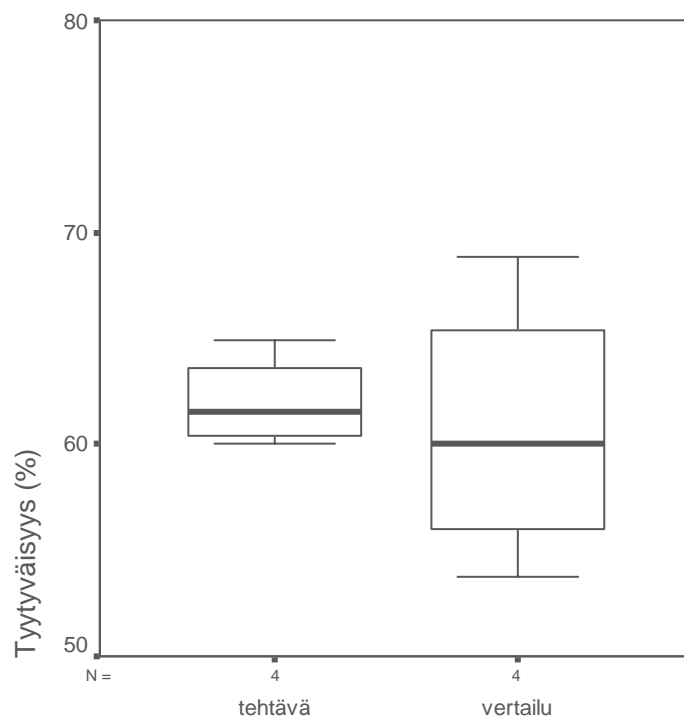
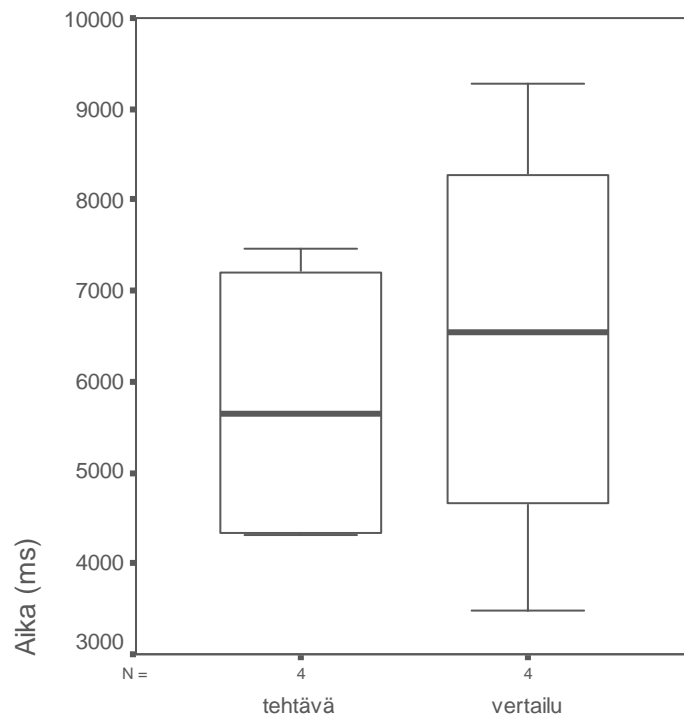
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.2: Spearmanin korrelaatiot..





Kuvat 1.2: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.3 Hiiri - oikea käsi

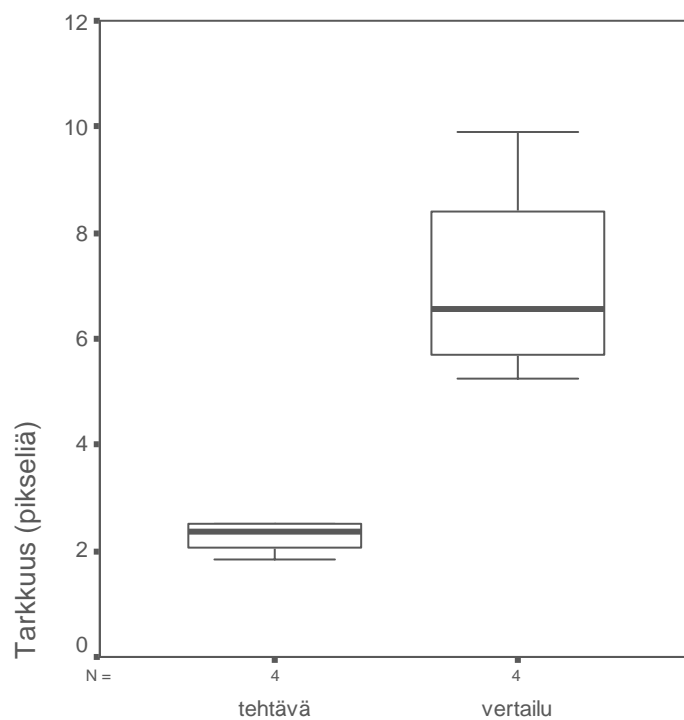
| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |

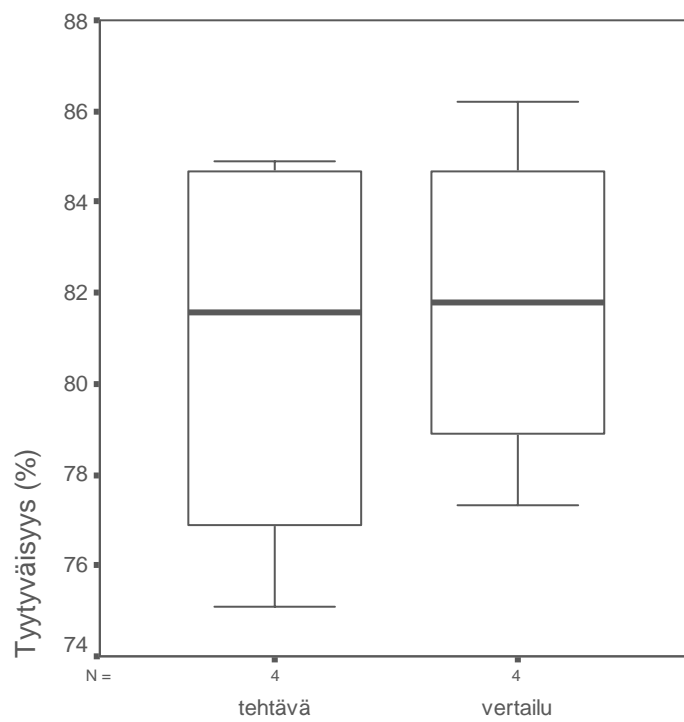
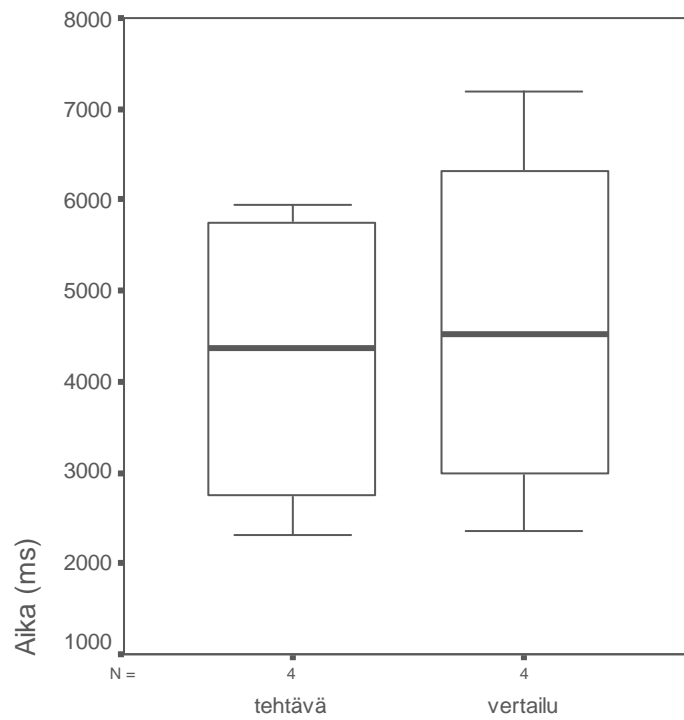
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asympotoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.3: Spearmanin korrelaatiot.





Kuvat 1.3: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.4 Hiiri - vasen käsi

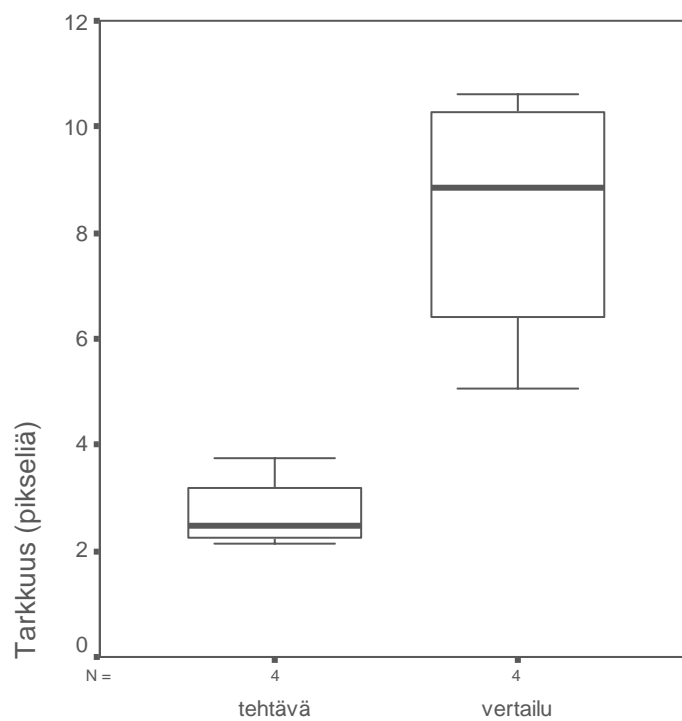
| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,632 | 0,405 | 1,155 | 0,368 |

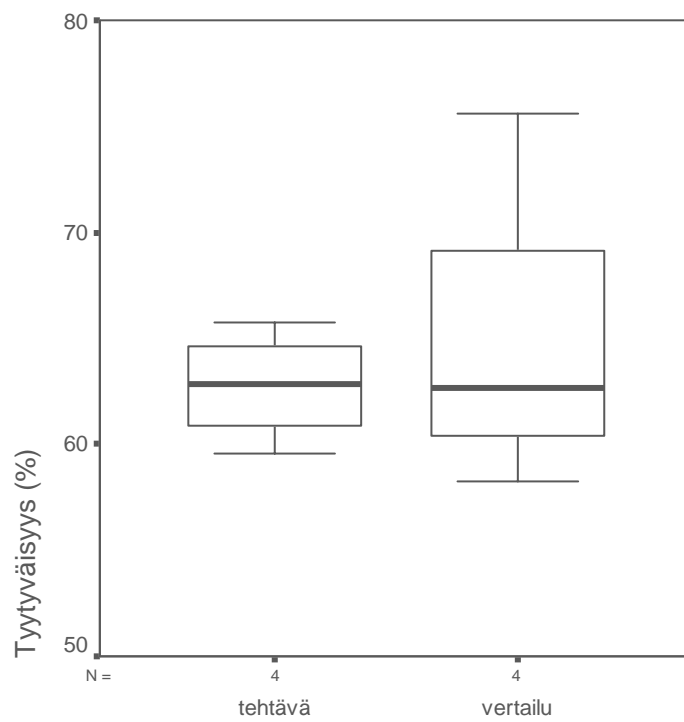
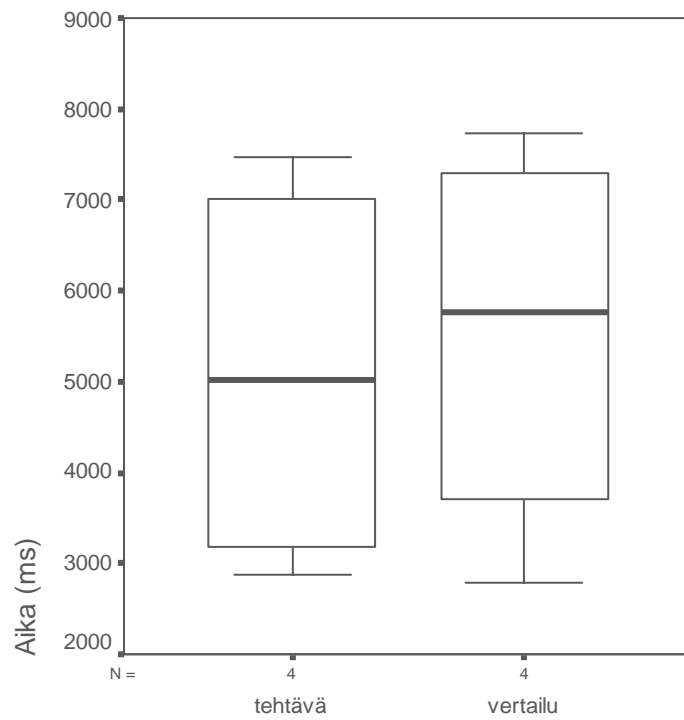
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.4: Spearmanin korrelaatiot.





Kuvat 1.4: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.5 Piirtolevy - oikea käsi

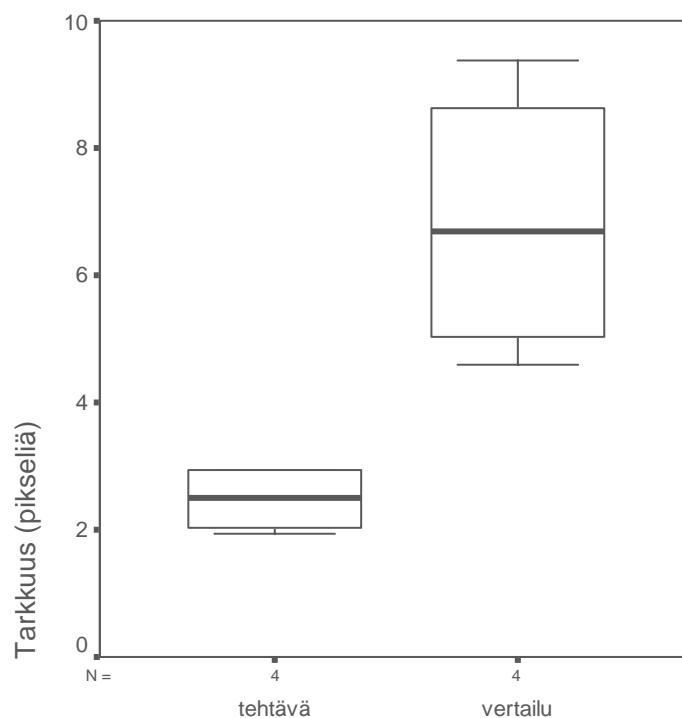
| Spearmannin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,400 | 0,574 | 0,617 | 0,600 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,600 | 0,000 | 1,061 | 0,400 |

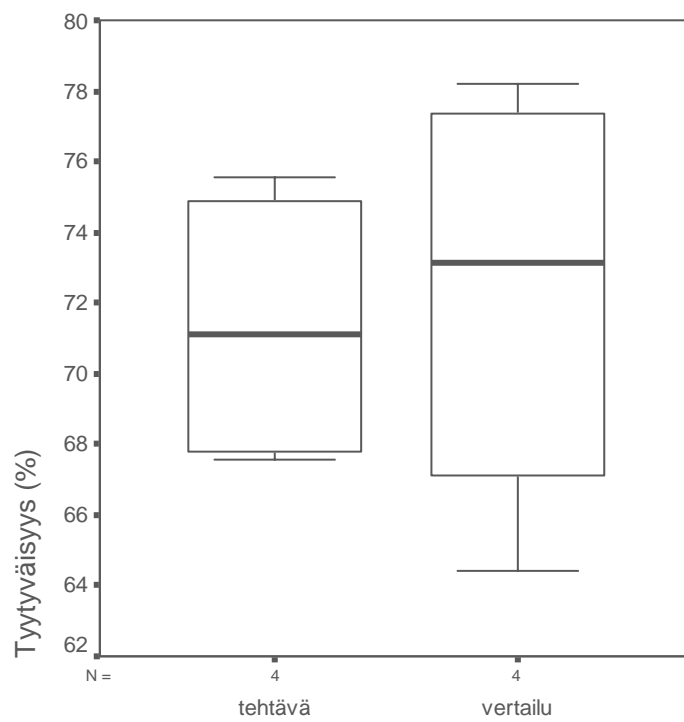
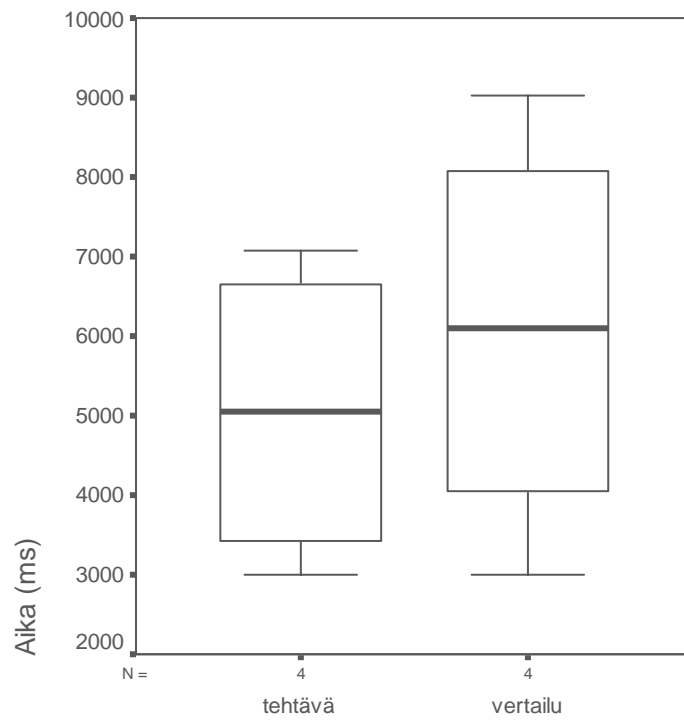
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.5: Spearmannin korrelaatiot.





Kuvat 1.5: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.6 Piirtolevy - vasen käsi

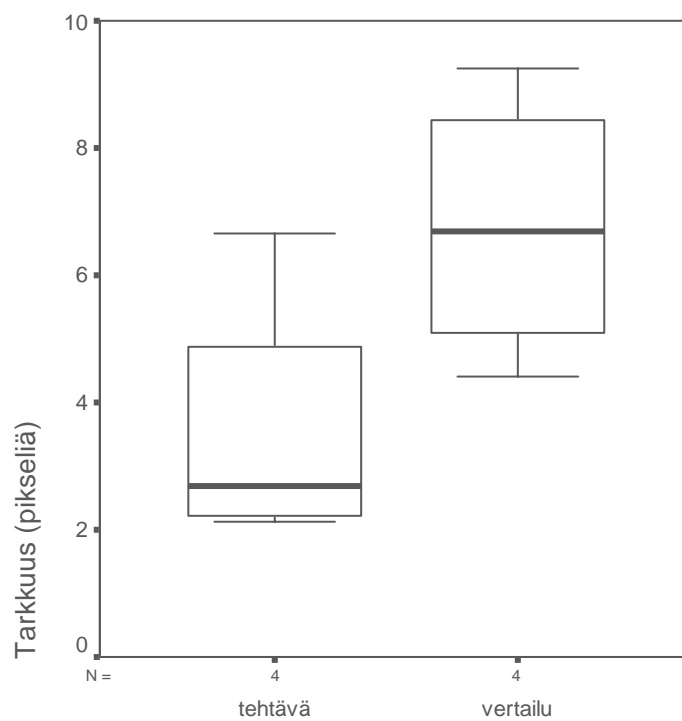
| Spearmannin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |

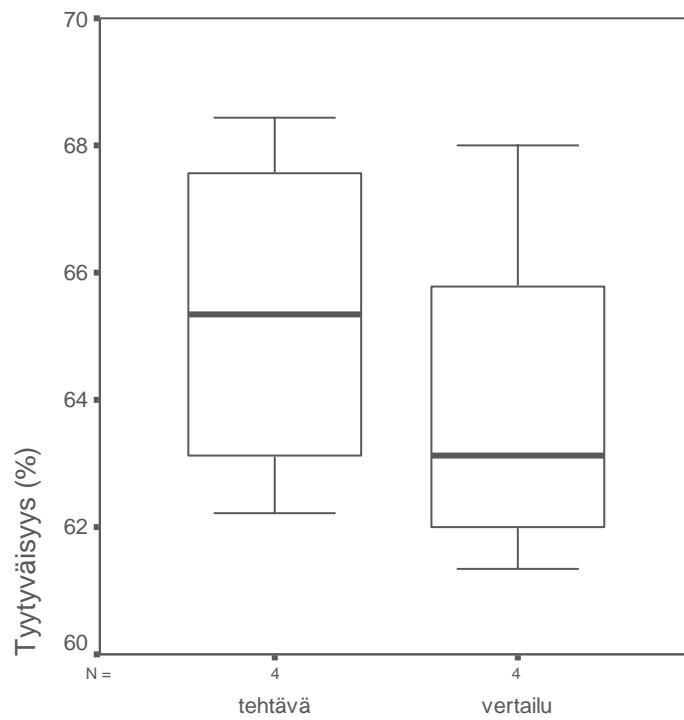
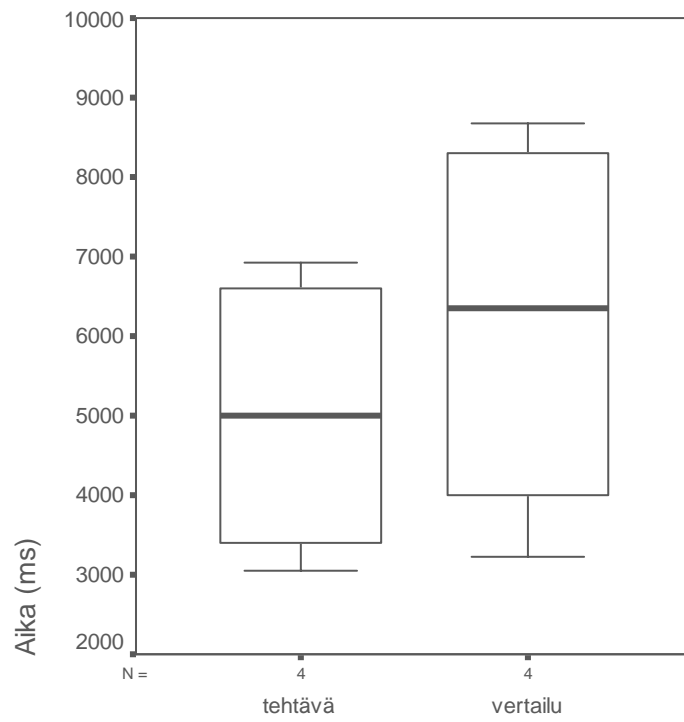
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.6: Spearmannin korrelaatiot.





Kuvat 1.6: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.7 Ohjainpallo - oikea jalka

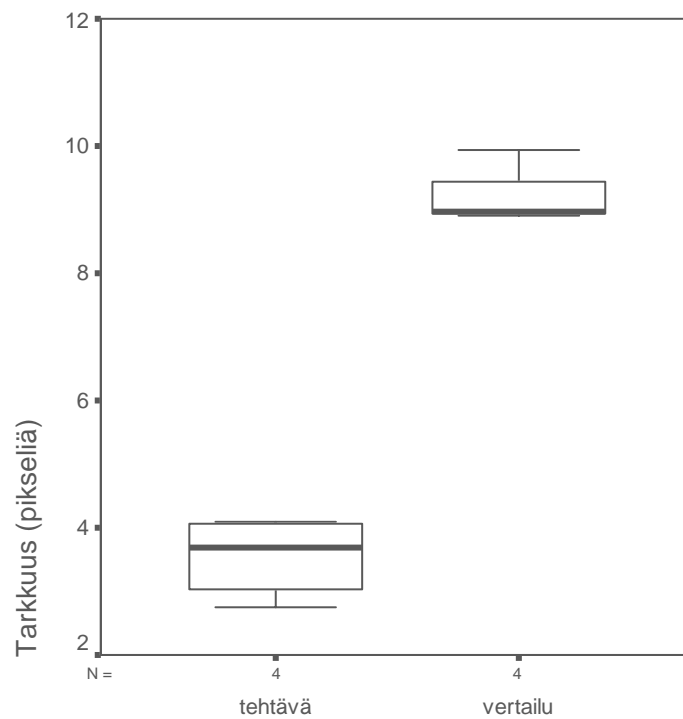
| Spearmannin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,400 | 0,574 | 0,617 | 0,600 |

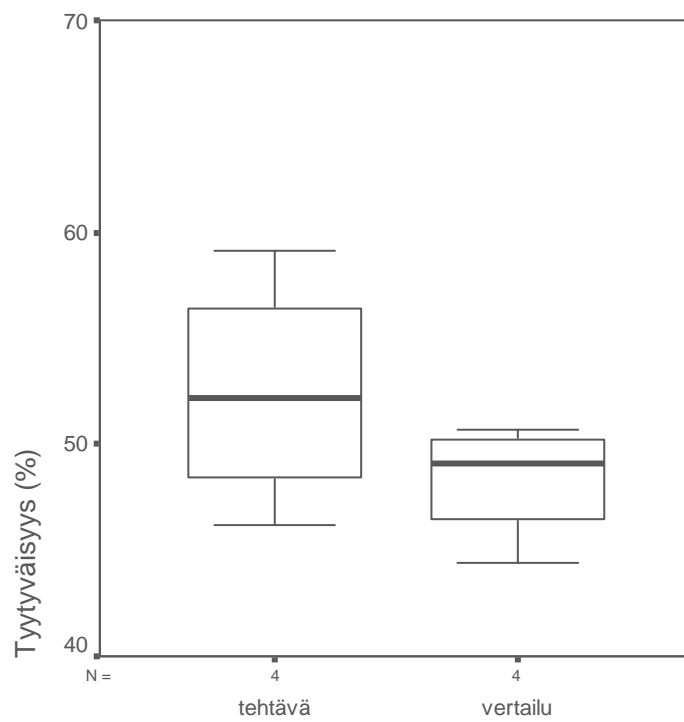
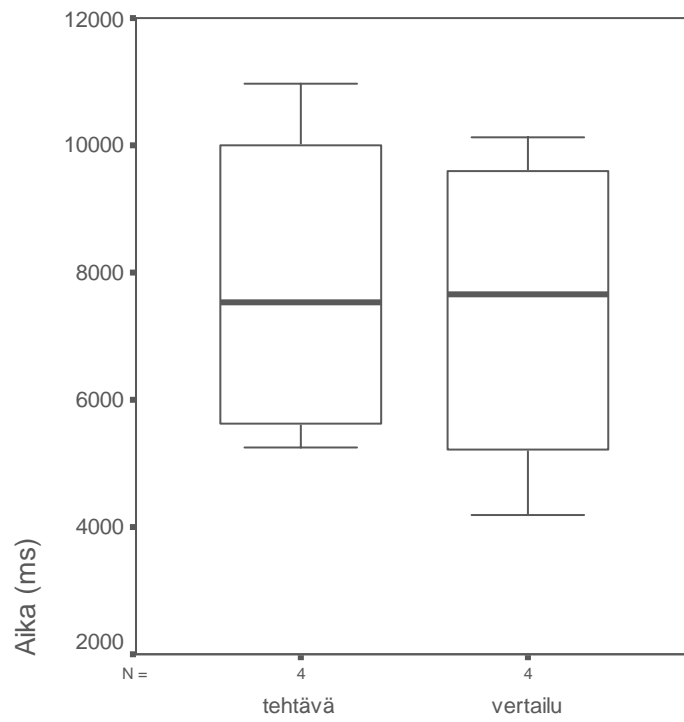
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asympotoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.7: Spearmannin korrelaatiot.





Kuvat 1.7 : Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.8 Ohjainpallo - oikea käsi

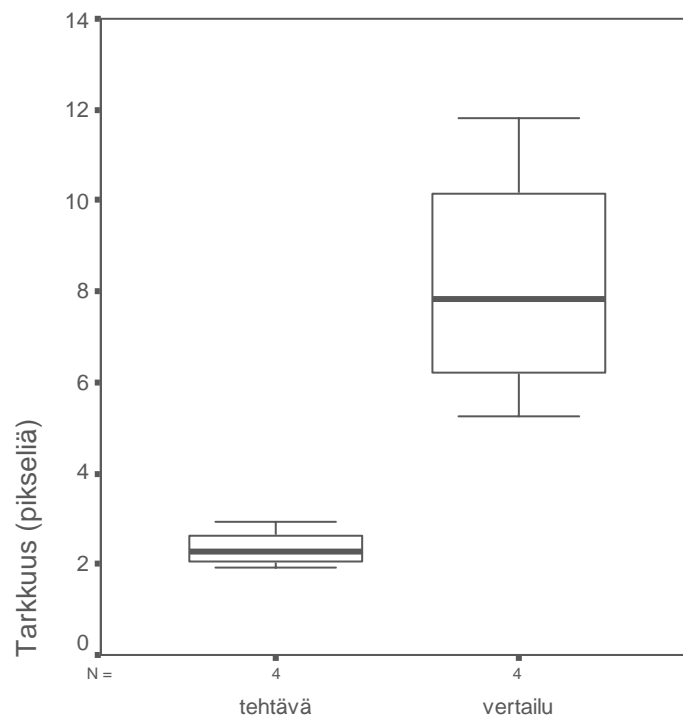
| Spearmannin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,600 | 0,000 | 1,061 | 0,400 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 1,000 |

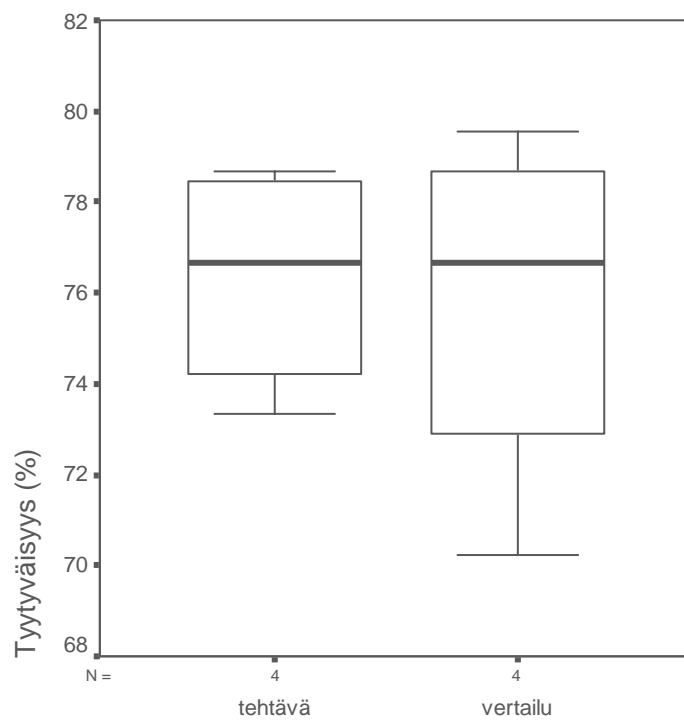
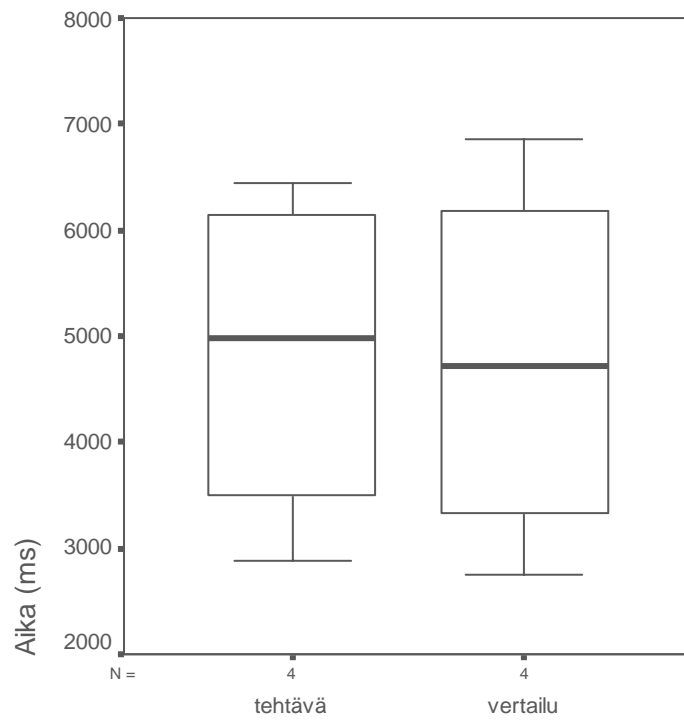
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.8: Spearmannin korrelaatiot.





Kuvat 1.8: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.9 Ohjainpallo - vasen jalka

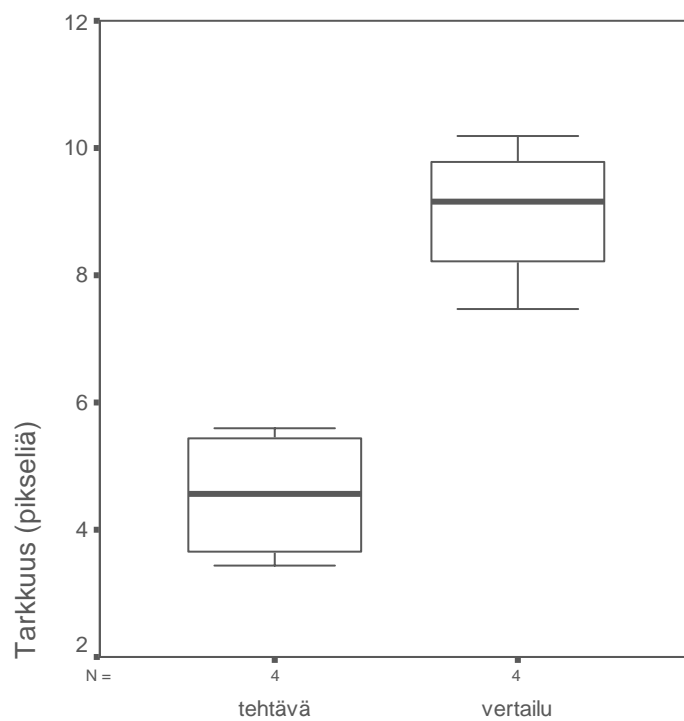
| Spearmannin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|--------|-----------------------|---------------|-------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | -1,000 | 0,000 | | |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |

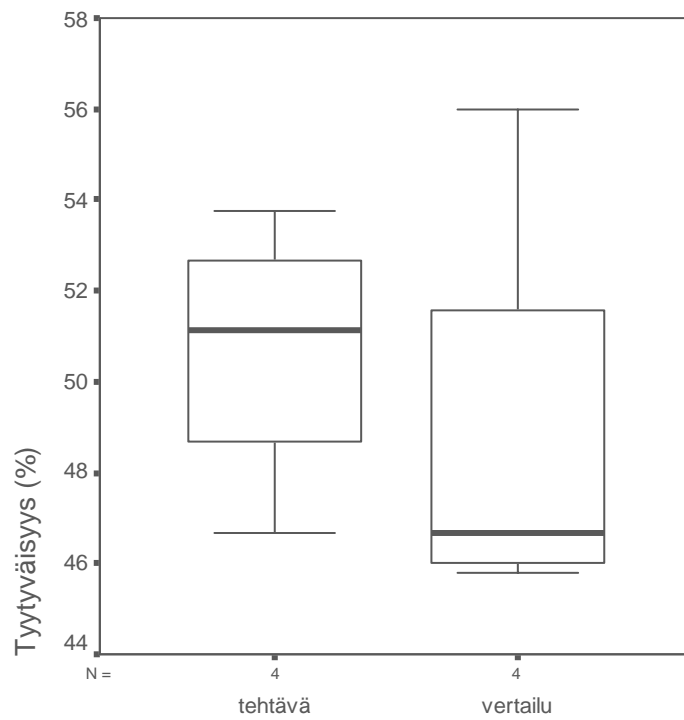
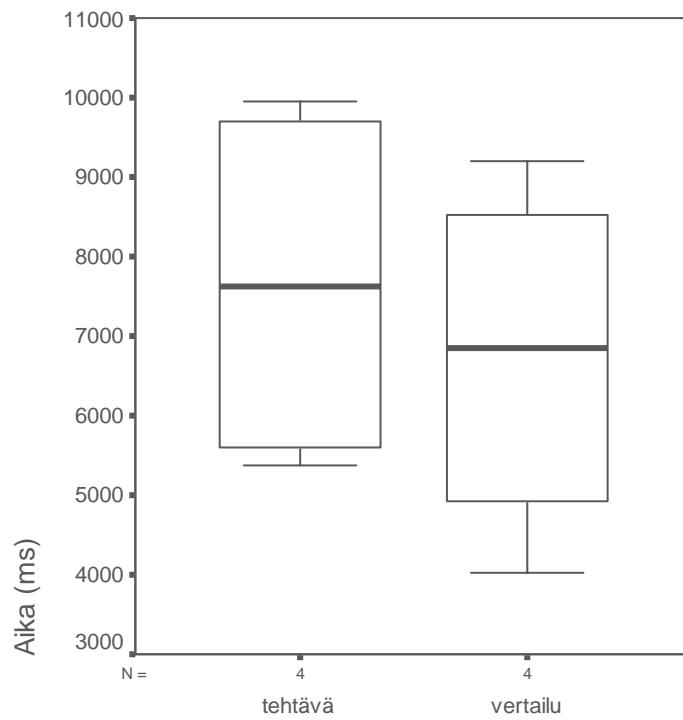
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.9: Spearmannin korrelaatiot.





Kuvat 1.9: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.

Liite 1.10 Ohjainpallo - vasen käsi

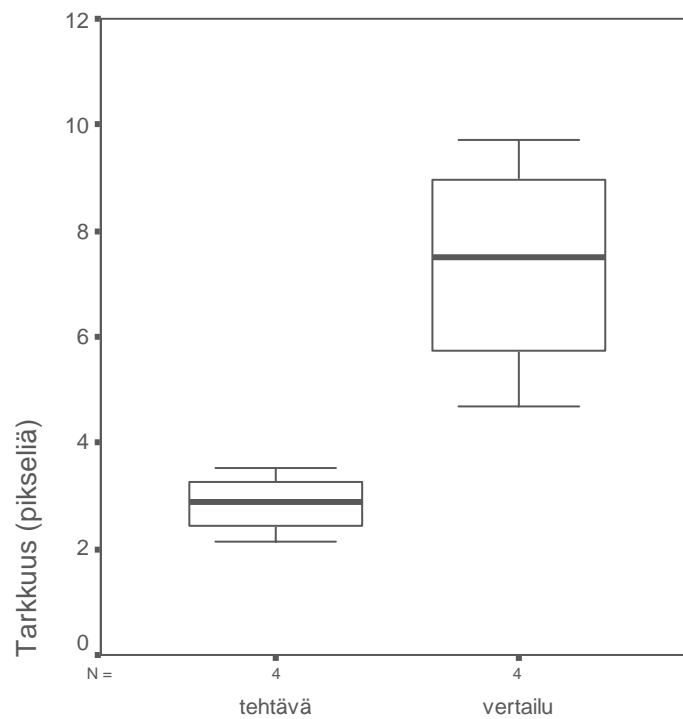
| Spearmanin Korrelaatio | Arvo | Asymp. Stnd. Virhe(a) | Arvioitu T(b) | Arvioitu Sig. (c) |
|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Etäisyys tehtävä * Etäisyys vertailu | 0,400 | 0,574 | 0,617 | 0,600 |
| Aika tehtävä * Aika vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |
| Tyytyväisyys tehtävä * Tyytyväisyys vertailu | 0,800 | 0,300 | 1,886 | 0,200 |

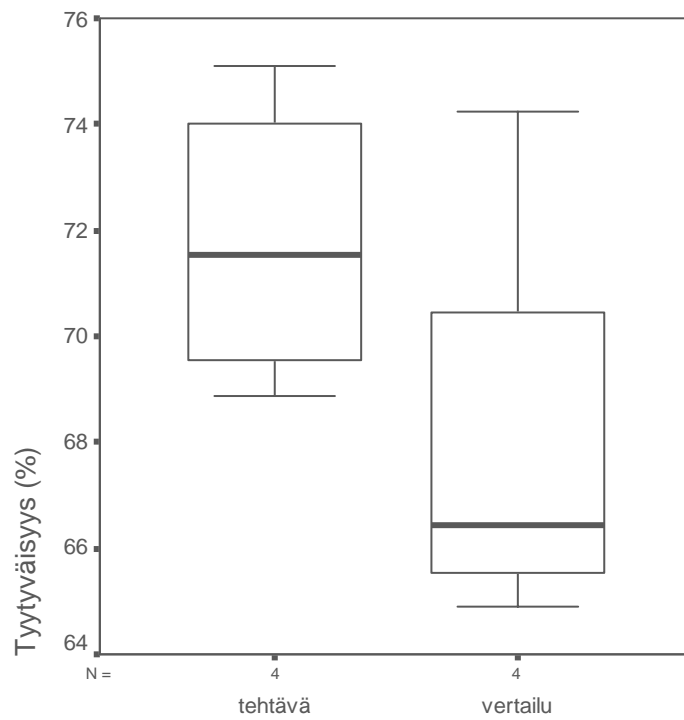
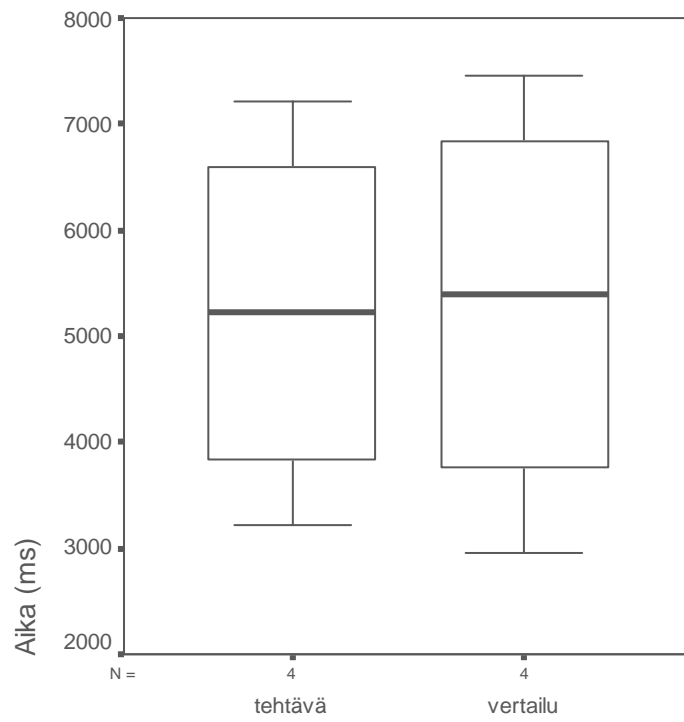
a. Kun ei oleteta nolla hypoteesia.

b. Käyttäen asymptoottista standardi virhettä olettaen nolla hypoteesi.

c. Perustuen normaali arvioon.

Taulukko 1.10: Spearmanin korrelaatiot.





Kuvat 1.10: Laatikko-jana-kuvio vertailut muuttujista.