



Katseenseuranta syötemenetelmänä

Päivi Majaranta
Tampereen yliopisto
Informaatitieteiden yksikkö
paivi.majaranta@uta.fi

Tiivistelmä

Katseenseuranta mahdollistaa silmien liikkeen ja katseen suunnan mittaamisen. Erityisen hyödyllinen katseenseuranta on vaikeavammaisille, tarjoten vaihtoehdoisen tavan kommunikoida. Kun tietokone analysoi ja muuttaa katseinformaation katsevektoreiksi ja edelleen näytön koordinaateiksi, katsetta voidaan käyttää tietokoneen ohjaamiseen. Hiiren korvikkeena katse on nopea, mutta epätarkka osoitusmenetelmä. Artikkelissa tutustumme katseenseurannan perusteisiin ja katsekäyttöliittymän suunnittelun haasteisiin. Käymme läpi tapoja tehostaa katseella kirjoittamista yksinkertaisten käyttöliittymäratkaisujen avulla. Käyttäjäkokeiden tulokset osoittavat, että katseella kirjoittamisen miellyttävyyttä ja nopeutta voidaan parantaa merkittävästi huolellisen käyttöliittymäsuunnittelun avulla.

1 Johdanto

Ihminen käyttää katsetta visuaalisen informaation keräämiseen ympäristöstä. Katseen suunnasta voi päätellä, mihin katsojan visuaalinen huomio kohdistuu. Katse on myös tärkeä osa jokapäiväistä ihmistenvälistä vuorovaikutusta, esimerkiksi keskusteluissa vuorovaihdon ilmaisijana tai ympäristön esineisiin kohdistuvana osoitusvälineenä [22]. Merkitsevä katse suolasirotimeen voi saada pöytäseurueen jäsenen ojentamaan sen sinulle.

Silmänliikkeiden seurantamenetelmiä on perinteisesti hyödynnetty tutkimusvälineenä mm. lääketieteessä, psykologiassa, markkinointi- ja käytettävyystudkimuksissa [7]. Tutkijoita on kiinnostanut esimerkiksi se, miten silmät liikkuvat ihmisen lukiessa, kuvia katsoessa tai erilaisissa ongelmanratkaisu- ja hakutehtävissä [33]. Katseen käyttäytymisen uskotaan heijas-

tavan kognitiivisia prosesseja. Tätä tietoa voidaan edelleen soveltaa ihmisen ja teknologian väliseen vuorovaikutukseen. Yksi esimerkki on lukemisen apuohjelma, joka osaa automaattisesti hakea käännöksen vieraskieliselle sanalle havaitessaan poikkeaman lukemisessa; käyttäjän katse pysähtyy vaikean sanan kohdalle normaalia pidemmäksi aikaa [16].

Katse on myös luonteeltaan toimintaa ennakoivaa [22]. Kohdetta katsotaan, ennen kuin kädet tarttuvat siihen. Katse on siis luonnollinen osoitusväline, joten sen voisi ajatella sopivan hyvin esimerkiksi hiirtä korvaamaan käyttöliittymissä. Katseen tietoinen käyttäminen tietokoneen ohjaamiseen ei kuitenkaan ole täysin ongelmatonta. Käyttäjän aikomusten päättely pelkän katseen perusteella on haasteellista: onko kyse yleisestä havainnointitapahtumasta vai tietoisesta kohteen

valitsemisesta katseella?

Esittelemme seuraavaksi silmän ja katseen ominaisuuksia, jotka ovat olennaisia käytettäessä katsetta syötemenetelmänä ihmisen ja tietokoneen välisessä vuorovaikutuksessa. Kerromme myös lyhyesti, miten katseenseurantalaite toimii ja tutustumme muutamaasi esimerkkisovelluksiin, joissa katsetta on hyödynnetty menestyksekkäästi.

Yksi tärkeä sovellusalue on katseeseen pohjautuvat vammaisten apuvälineohjelmistot. Pohdimme, mitä erityisvaatimuksia siitä seuraa, jos katseenseurantalaite toimii käyttäjän ensisijaisena kommunikaatiomenetelmänä. Käymme läpi erityisesti katseella tapahtuvan tekstinkäsittelyn haasteita ja tutkimustuloksiin perustuvia konkreettisia esimerkkejä ja ohjeita siitä, kuinka katseella kirjoittamisen miellyttävyyttä ja nopeutta voidaan parantaa huolellisen käyttöliittymäsuunnittelun avulla. Monet näistä katsekirjoittamista tukevista ratkaisuista ja suunnittelun periaatteista yleistyvät myös muihin katsepohjaisiin sovelluksiin. Lopuksi pohdimme katseenseurannan tulevaisuuden näkymiä ja tutkimushaasteita.

2 Silmänliikkeet ja visuaalinen havaitseminen

Näköaisti on ensisijaisesti visuaaliseen havainnointiin keskittyvä aisti, joten katseen käyttäminen komentojen antamiseen tietokoneelle aiheuttaa omat haasteensa. Jos katsetta halutaan hyödyntää käyttöliittymissä, on tärkeää ymmärtää muutamia perusasioita silmän toiminnasta ja katseen käyttäytymisestä.

Ihmisen silmä on rakentunut siten, että suurin osa aistinsoluista on keskittynyt ns. tarkan näön alueelle (fovea). Tarkan näön alue kattaa näkökentästä vain noin puolitoinen astetta. Helppo peukalosäätö fovean koon arvointiin on katsoa peukalon

kynttä käsivarren mitan etäisyydeltä. Koska ihminen näkee yhdellä katseella vain pienen alueen tarkasti, silmää täytyy siirtää, jos halutaan tutkia tarkemmin jotain ääreisnäön alueen kohdetta.

Katseen pysähtymistä kohteeseen sanotaan fiksaatioksi. Fiksaatio kestää noin 200–300 ms. Katseen siirtymistä kohteesta toiseen sanotaan sakkadiksi. Sakkadit ovat nopeita, ballistisia liikkeitä, joiden kesto on noin 20–40 ms. Näkeminen tapahtuu enimmäkseen fiksaation aikana ja aivot yhdistävät näköinformaation yhtenäiseksi näköhavainnoksi (lisätietoa havaitsemisesta löytyy esim. [12]).

Katseenseuranta perustuu siihen, että ihmisen pitää suunnata silmä (pupilli ja fovea) kohteeseen nähdäkseen tarkasti. Esimerkiksi lukiessa katsetta joutuu siirtämään rivillä sanasta toiseen, koska ihminen näkee tarkasti vain noin 11 kirjainmerkkiä yhdellä fiksaatiolla (käytännössä sakkadien pituus vaihtelee hieman eri kielissä). Fiksaation kesto vaihtelee riippuen tekstin vaikeudesta. Katse pysähtyy vaikeiden sanojen kohdalle pidemmäksi aikaa tai niihin saatetaan palata myöhemmin. Katseen käyttäytyminen heijastelee siis myös kognitiivista kuormaa. Toisaalta lyhyiden apusanojen (”ja”, ”kun”) yli saatetaan hypätä kokonaan, koska ne tunnistetaan fovean ja ääreisnäön reuna-alueella jo hahmon perusteella.

Katsominen on suurelta osin tiedostamaton tapahtuma, jota ohjaavat erilaiset tahdosta riippumattomat prosessit [12]. Esimerkiksi liike ääreisnäön alueella aiheuttaa helposti vilkaisun liikkeen suuntaan. Katsottavan kohteen piirteet myös ohjaavat silmänliikkeitä ihmisen kerätesä tietoa ympäristöstään. Katse harvoin kohdistuu tyhjän pintaan, kun taas voimakkaat kontrastit ja värit vetävät huomion puoleensa. Katsominen on osittain myös opittu tapahtuma. Esimerkiksi län-

simaalaiset tutustuvat painettuun materiaaliin edeten vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas. Kokeneet Internetin käyttäjät ovat ”sokeita” verkkosivujen mainosbanderolleille, koska ovat oppineet välttelmään niitä [3].

Katseenseuranta voi paljastaa, mihin kohdistimme visuaalisen huomion tai mitkä kohteet jäivät näkemättä (tarkasti). Fiksaatioista ja sakkadeista muodostuva katsepolku kertoo, missä järjestyksessä huomionne siirtyi kohteesta toiseen. Jos käyttäjällä on vaikeuksia löytää kohdetta, se saattaa näyttäytyä pitkänä, harhailevana katsepolkuna [9].

Kiinnostuksen tai aikomusten päättely ei kuitenkaan onnistu pelkän katseen perusteella. Motivaatio ja tehtävän päämäärä muuttavat myös katseen käyttäytymistä. Jos tavoite esimerkiksi taideteosta katsoessa on arvioida kuvassa esiintyvien ihmisten ikä, se tuottaa aivan erilaisen katsepolun verrattuna tehtävään, jossa tavoitteena on painaa muistiin esineiden ja ihmisten paikat [44].

Ihminen voi myös keskittyä tehtäväänsä niin, että häneltä jää havaitsematta asioita, jotka hän normaalisti näkisi helposti [32]. Katseen suuntaaminen kohteeseen ei siis takaa sitä, että kohde varmasti havaittiin tai sen sisältö ymmärrettiin.

3 Katse syötemenetelmänä

Katse on nopea mutta epätarkka osoitusmenetelmä [18]. Kuten yllä opimme, katseen siirtäminen kohteesta toiseen vie vain parikymmentä millisekuntia ja katse ehtii kohteeseen, ennen kuin käsi siirtää hiiren kohdistinta [45].

Koska ihminen näkee kaiken tarkasti tarkan näön alueen rajoissa, pelkän katseen suunnan perusteella ei voida varmuudella sanoa, täsmälleen mihin pisteeseen (näytön pikseliin) käyttäjä on huomionsa kiinnittänyt. Katseenseurantalaitteisto-

jen rajoitteet ja katseen suunnan mittaukseen liittyvät haasteet tuovat myös epävarmuutta mittaustarkkuuteen – kerromme näistä seuraavassa luvussa. Yleisenä sääntönä voidaan kuitenkin pitää sitä, että katseella osoittaminen on tarkkuudeltaan parhaimmillaan n. 0,5 astetta. Käytännössä tämä tarkoittaa n. 15 pikselin levyistä aluetta 17-tuumaisella 1024 × 768 -näytöllä 70 cm:n katseluetäisyydellä.

Katseenseurannan epätarkkuudesta seuraa se, että aivan pienimpiin kohteisiin on vaikea tai jopa mahdoton osua ilman apuvälineitä. Kohteiden koon kasvattaminen helpottaa niiden valintaa katseella, mutta vie samalla tilaa ruudulta. Tähän on kehitetty ratkaisuksi erilaisia hierarkkisia valikoita ja tekniikoita, joissa suurenuslasityökalujen avulla kohteen kooka kasvatetaan tarvittaessa [34]. Näiden käyttö kuitenkin vie aikaa, joten samalla menetetään katseen vahvuudeksi mainittu nopeus.

Katseenseurantalaitteesta tulevien häiriöiden lisäksi silmien jatkuva pieni liike (mikrosakkadit) aiheuttaa epätarkkuutta, joten hiiren kohdistimen sitominen silmänliikkeeseen sellaisenaan ei toimi. Hiiren jatkuva liike häiritsee ja saattaa varastaa käyttäjän huomion [19]. Yleensä katseeseen pohjaavissa hiiriemulaattoreissa kohdistimen nykivää liikettä pehmenetään keskiarvoistamalla, jotta osoittaminen olisi helpompaa ja miellyttävämpää.

Katseella osoittaminen vaatii jonkin verran harjoittelua myös siksi, että kohdistin on mittaustarkkuuden takia usein muuttaman pikselin verran pielessä ja osuu harvoin täsmälleen katsotun kohteen keskelle. Joskus onkin parempi piilottaa kohdistin ja sen sijaan antaa palaute valittavan kohteen keskellä, jolloin katseenseuranta näyttäytyy käyttäjälle tarkkana.

Ehkä tarkkuuttakin suurempi haaste on kuitenkin katseen samanaikainen käyt-

tö havaitsemiseen ja komentojen antamiseen. Yleisesti puhutaan Midaksen kosketus -ongelmasta, jossa kaikki, mihin ihminen katsoo, tulee valituksi [18]. Vaikka teoriassa käyttäjä olisi oppinut ruudulla näkyvän näppäimistön ulkoasun osaten siirtää katseen näppäimestä toiseen oikeassa järjestyksessä, jokin ylimääräinen liike (esim. kärpäsen laskeutuminen ruudulle) voi aiheuttaa katseen tahattoman siirtymisen väärän kirjaimen kohdalle. Tarvitaan siis keinoja erottaa valinta satunnaisesta katselusta.

Helpoin tapa välttää Midaksen kosketus on yhdistää katseella osoittaminen ja jonkun muun modaaliteetin käyttö valintakytkimenä (esim. käsin, jaloin tai päällä toimiva painike, puhallus- tai imukytkin). Katse voidaan myös yhdistää puhekomentoihin [20], mikä ei tietenkään toimi niillä vammaisilla, jotka käyttävät katsetta nimenomaan puhetta korvaavana kommunikointimenetelmänä.

Valinta voidaan tehdä myös otsaa kurtistamalla tai silmää räpsäyttämällä, mutta näihin liittyy omat haasteensa. Valintaan tarkoitettu silmänräpäys pitää erottaa normaalista silmien räpyttelystä. Jatkuva räpyttely ja otsan kurtistelu saattavat myös pidemmän päälle väsyttää ja otsan liikkeiden tunnistus saattaa vaatia ylimääräistä tekniikkaa (esim. lihasaktiiviteettia mittaavien elektrodien kiinnittämisen iholle [38]). Toisaalta on olemassa menetelmiä, joiden toiminta perustuu kokonaan silmänräpäytyksiin [11].

Jos käytössä ei syystä tai toisesta ole muita syötetapoja kuin katse, pelkän katseen avullakin on mahdollista tehdä valintoja. Näistä eniten käytetty on viiveaika (engl. dwell time). Viiveellä valitessa käyttäjä tahdonalaisesti kiinnittää katseensa kohteeseen normaalia katselua pidemmäksi aikaa. Ajan pituus riippuu kohdesovelluksesta ja käyttäjän kokeneisuudesta.

Pitkä viive (yli 1000 ms) sopii no- viiseille tai sovelluksiin, joissa valinnan tekeminen vaatii harkintaa. Paljon toistuvia valintoja vaativissa sovelluksissa, kuten katseella kirjoittaminen, viive voi olla huomattavasti lyhyempikin; harjaantuneet käyttäjät suosivat valinta-aikoja, jotka ovat 500 ms tai vähemmän [25].

Viive ehkäisee virhevalintoja, mutta katseen pitäminen pitkään paikallaan voi olla vaikeaa ja tuntua raskaalta. Tahattoman silmänräpäytyksen tai sakkadin mahdollisuus myös kasvaa viiveen ollessa yli 800 ms [37]. Erityisen haastavaa katseella osoittamisen opettelu voi olla ihmiselle, joka ei vammansa takia ole ehkä koskaan käyttänyt tietokonetta [6].

Muita tapoja valita pelkän katseen avulla on mm. erilaisten valinta-alueiden lisääminen ruudulle tai ruudun ulkopuolelle. Esimerkiksi Ohno [31] käytti kaksiosaista valintapainiketta, jossa käyttäjän piti siirtää katse painikkeen sisällä komentoalueelta (komennon nimi) erilliselle valinta-alueelle vahvistaakseen valinnan.

Katse-eleet tarjoavat käyttökelpoisen tavan valita pelkän katseen avulla. Käyttäjä liikuttaa silmiä tiettyssä järjestyksessä, jolloin hän piirtää silmillään tietyn kuvion, joka tulkitaan komennoksi. Katse-eleet voivat olla suhteellisia, jolloin seurantalaitte tarkastelee pelkästään muutoksia katseen suunnassa. Suhteellisiin katse-eleisiin perustuvat komennot ovat erityisen hyödyllisiä tilanteissa, joissa tarkka katseella osoittaminen ei toimisi, esim. matkapuhelimen operointi katse-eleillä [2].

Elepohjaisia järjestelmiä on kehitetty myös tietokoneen ruudulla käytettäväksi. Tällöin ihminen katsoo ruudulla tai ruudun reunoilla tiettyjä alueita tiettyssä järjestyksessä muodostaen näin katsepolun, joka voidaan tulkita eleenä. Molemmissa tapauksissa pitää varmistaa, että eleet tun-

nistetaan oikein ja että ne erotetaan normaalista katselusta.

Katse-eleitä voi käyttää joko yksinään tai muiden menetelmien tukena; esim. Istance ym. [17] käyttivät eleitä moodin vaihtamiseen, kun käyttäjä siirtyi 3D-maailmassa liikkumismoodista (katse ohjaa avatarin liikkumista) hiirimoodiin (katse ohjaa hiiren kohdistinta).

Lopuksi on hyvä muistaa, että katse on aina ”päällä”. Katsekäyttöliittymän on hyvä tarjota mahdollisuus valita taukotila, joka sallii vapaan katseluun ilman pienintäkään pelkoa vääristä valinnoista.

4 Katseenseurantalaitteet

Silmänliikettä on yritetty vuosien saatossa mitata erilaisin keinoin. Ensimmäiset tutkimukset perustuivat suoraan havaintoon, jossa tutkija tarkkaili tutkittavan silmänliikkeitä. Silmien liikettä on yritetty myös tallentaa erilaisilla teknisillä välineillä.

Varhaisimmat välineet saattoivat olla epämiellyttäviä ja hankalia käyttää. Yarus [44] teki paljon siteeratut kokeensa laitteella, jossa käyttäjän silmään asetettiin kuppi, jonka liikkeitä järjestelmä rekisteröi. Käyttäjän silmä jouduttiin huumamaan ja silmäluomet teippaamaan auki, jotta hän ei silmänräpäytyksillä olisi vaurioittanut silmäänsä tai laitetta. Dodgen ja Clinen 1900-luvun alkupuolella kehittämässä valokuvausta hyödyntävässä menetelmässä silmään ei tarvinnut koskea, mutta siinäkin käyttäjän pää jouduttiin tukemaan paikalleen, jotta pään liike ei häiritsisi silmänliikkeiden rekisteröintiä. Lisää esimerkkejä löytyy Waden ja Tatlerin [41] kattavasta silmänliiketutkimuksen historiakatsauksesta.

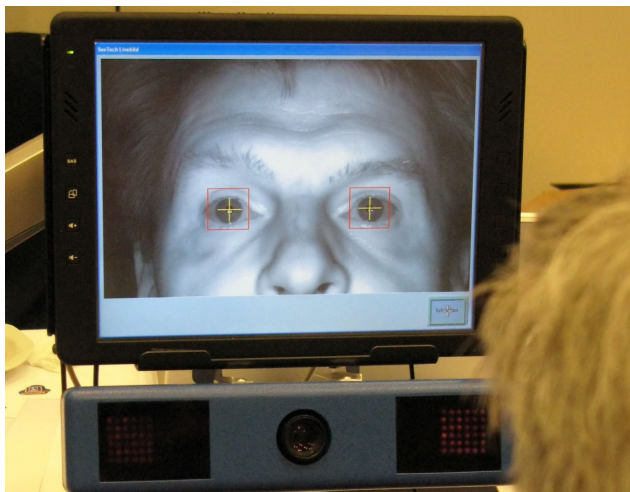
Nykyään katseenseurantalaitteita on tarjolla laaja valikoima useilta eri valmistajilta. Saatavana on sekä päähän puettavia että pöydälle tai ruudun kulmaan asennettavia laitteistoja. Lisäksi on mahdollis-

ta ladata netistä ohjelmisto, joka muuttaa tavallisen web-kameran yksinkertaiseksi katseenseurantalaitteeksi.

Tutkimuskäytössä on yhä järjestelmiä, jotka vaativat pään tukemista ja linssin asettamista silmään, jotta laite rekisteröisi pienimmätkin silmänliikkeet (kuten mikrosakkadit, joita tapahtuu myös fiksaation aikana [12]). Duchowski [7] tarjoaa hyvän johdatuksen katseenseurannan menetelmiin, tekniikoihin ja sovellusalueisiin. Hansen ja Ji [14] puolestaan tarjoavat katsauksen katseen mallintamiseen ja seurantaan käytetyistä menetelmistä.

Käytettävyystudkimuksiin ja vuorovaikutteisiin sovelluksiin sopii paremmin videoteknologiaan perustuva katseenseurantalaite, joka seuraa pupillin liikettä kaukaa. Tyypillisessä videopohjaisessa katseenseurantalaitteessa on videokamera, joka kuvaa silmänliikettä ja tietokone, joka analysoi katsedataa (kuva 1). Usein käytössä on myös heikkotehoinen infrapunasäde, jota käytetään katseenseurannan tarkkuuden parantamiseen (ja silmän valaisemiseen). Infrapuna aiheuttaa sarveiskalvon pinnalle heijasteen, jonka tuloksena videokuvassa on kaksi pistettä, joihin katsevektorin laskenta perustuu: pupillin keskikohta ja infrapunaheijaste. Nämä kaksi pistettä muuttavat sijaintia toisiinsa nähden katsekulman muuttuessa.

Jotta katsevektori pystytään yhdistämään näytön koordinaatteihin, järjestelmä pitää ensin kalibroida. Kalibrointi tapahtuu katsomalla näytöllä esitettäviä pisteitä. Järjestelmä analysoi pupillin ja sarveiskalvoheijasteen sijainnin kutakin kalibrointipistettä katsottaessa. Näytön muut osat lasketaan näiden kalibrointipisteiden perusteella. Kalibroinnin onnistuminen ja tarkkuus vaikuttaa olennaisesti katseenseurannan tarkkuuteen. Kalibrointi pitää tehdä jokaisen käyttäjän kohdalla erikseen, koska ihmisten silmän geometria on



Kuva 1: Kuvan katseenseurantalaitteessa (www.see-tech.de) videokamera sijaitsee näytön alla ja infrapunalähteet ovat kamerasen molemmin puolin. (c) www.cogain.org.

erilainen ja myös laitteistojen asetelma saattaa vaihdella (etäisyys, katselukulma, valaistusolosuhteet).

Nykyaikaisilla laitteilla päästään usein noin puolen asteen tarkkuuteen, mutta käytännössä mittaustarkkuus on usein heikompi. Yksi tarkkuuteen olennaisesti vaikuttava asia on kamerasen resoluutio, esim. web-kameroilla osoitustarkkuus jää muutamisiin asteisiin [15]. Tarkkuus saattaa myös heiketä käytön myötä. Järjestelmä saatetaan siis joutua kalibroimaan myöhemmin uudelleen, jollei ohjelmisto sovellalla jotain dynaamista menetelmää, joka korjaa kalibroitua käytön aikana [37].

Jos laite seuraa molempia silmiä, se parantaa tarkkuutta. Erityisen hyödyllistä molempien silmien seuraaminen on tilanteissa, joissa esimerkiksi käyttäjän silmälasien pinnalle aiheutuu ympäristön valonlähteistä heijastuksia, jotka estävät pupillin näkymisen kameralle. Myös voimakas meikki, piilolinssien aiheuttamat ylimääräiset heijastepisteet tai vääristymät, käyttäjän pään liike tai silmien siristämi-

nen voivat vaikeuttaa silmänliikkeen rekisteröintiä tai estää kamerasen näkemästä pupillia [10].

Videopohjaisissa järjestelmissä myös näytteenottotaajuus saattaa rajoittaa tarkkuutta. Tutkimuskäyttöön tarkoitetut (jopa 500 Hz tai yli) laitteet pystyvät havaitsemaan hyvin pienetkin muutokset. Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen tutkimukseen riittää hyvin useimpien markkinoilla olevien järjestelmien näytteenottotaajuus (usein n. 50–120 Hz). Lisätietoa katseenseurantalaitteen toiminnasta löytyy esimerkiksi kirjasta [7].

5 Katseenseuranta kommunikaation apuvälineenä

Motorisesti vammautuneille ihmisille katse tarjoaa tavan kommunikoida. Vakava onnettomuus, sairaus tai aivoinfarkti voi aiheuttaa tilan, jossa ihminen ei pysty liikkumaan eikä puhumaan. Esimerkiksi ALS (Amyotrofinen lateraaliskleroosi) on

vakava etenevä sairaus, joka rappeuttaa liikehermoja ja johtaa vähitellen täydelliseen liikunta- ja puhekyvyttömyyteen. Lopulta silmien liike on ainut tapa kommunikoida ympäröivän maailman kanssa.

Silmien liikettä ja katseen suuntaa voidaan hyödyntää kommunikaatiossa. Yksinkertaisimmillaan lääkäri voi esimerkiksi pyytää potilasta katsomaan ylös myöntymisen merkiksi. Henkilön eteen voidaan myös asettaa läpinäkyvä kommunikaatiotaulu, johon on kiinnitetty kuvia tai kirjaimia. Taulun avulla on mahdollista muodostaa sanoja ja lauseita katsomalla kirjaimia yksi kerrallaan. Keskustelukumppani tulkitsee viestin seuraamalla kommunikaatiotaulun toiselta puolelta henkilön katseen suuntaa (kuva 2). Kommunikaatiotaulua kehittyneempi menetelmä on katseenseurantalaite, joka mahdollistaa itsenäisen kirjoittamisen ja tietokoneen ohjaamisen katseella.

Täysin halvaantuneet ihmiset eivät ole ainut käyttäjäryhmä, joka hyötyy katseenseurannasta. Monelle pakkoliikkeistä kärsivälle ihmiselle katse saattaa olla helpompi ja vähemmän raskas tapa ohjata tietokonetta kuin kytkimet tai päähiiri, koska kohteen katsominen ei vaadi ylimääräistä fyysistä ponnistelua [6].

Toimintaperiaatteet katseeseen perustuvassa apuvälineessä ovat samankaltaiset kuin tutkimuskäyttöön tarkoitetuissa katseenseurantalaiteissa yleensäkin. Joissain tapauksissa täsmälleen sama laite toimiikin molemmissa tarkoituksissa; ero tulee esiin ohjelmiston ja lisävarusteiden kautta (esim. ympäristön hallinnan mahdollistava lisäosa). Käyttötarkoitus, käyttäjän ominaisuudet ja tarpeet ratkaisevat, millainen laite-ohjelmisto-yhdistelmä toimii parhaiten.

Katseenseurantalaitteen käyttäminen apuvälineenä asettaa sille vaatimuksia, jotka on hyvä huomioida sopivaa laitet-

ta valittaessa. Laitteistoissa on myös eroja, jotka saattavat vaikuttaa siihen, kuinka hyvin ne palvelevat erilaisia käyttäjiä. Käyttäjällä saattaa olla esimerkiksi pakkoliikkeitä, jolloin tulee valita laite, joka pystyy kompensoimaan pään liikkeitä ja jonka toiminta-alue (kameran laajakulma) sallii pään eri asennot. Kaikille yhteisinä vaatimuksina voidaan pitää luotettavuutta, kestävyyttä, turvallisuutta ja teknisen tuen saatavuutta. Helppokäyttöisyys ja laajennettavuus ovat tärkeitä ominaisuuksia.

Myös laitteen asennukseen tulee kiinnittää huomiota: saako sen asennettua pyörätuoliin ja kallistettua sopivasti eri asennoissa käytettäväksi (esim. käyttäjän ollessa makuuasennossa). Jotkin katseenseuranta-apuvälineet sisältävät kaiken tarpeellisen integroituna yhteen laitteeseen (esim. tablet-tyyppinen ratkaisu), kun taas osa järjestelmistä tukee modulaarista ratkaisua, jossa käyttäjä voi valita erikseen laitteen, lisäosat ja ohjelmistot. Laite kannattaa aina testata käyttäjän kanssa ennen lopullista valintaa. Katseen käyttöön apuvälineenä löytyy hyvä johdatus kirjasta [26], jota on ollut kirjoittamassa laaja joukko alan asiantuntijoita.

6 Katseella kirjoittaminen

Yleisin tapa kirjoittaa katseella on tarjota virtuaalinäppäimistö tietokoneen ruudulla ja käyttää katsetta osoitinvälineenä. Tietokoneen ohjelma tulkitsee katseenseurantalaiteelta saamansa tiedon katseen suunnasta ja päättlee, mihin kohtaan näytöllä käyttäjä kulloinkin katsoo.

Käyttäjä katsoo ruutua kirjain kerrallaan. Hän antaa katseensa viipyä hetken kunkin kirjaimen kohdalla. Lyhyt vilkaisu ei vielä aktivoi kirjainta. Viiveen avulla tietokone pystyy erottamaan tietoisien valinnan satunnaisesta katselusta. Seuraavaan kirjaimeen voi siirtyä, kun tietokone ilmaisee joko äänimerkin tai visuaali-



Kuva 2: Nainen taulun toisella puolella katsoo kehyksen reunaa. Kirjaimen valinta tapahtuu katsomalla ensin kirjainta ja sen jälkeen kirjaimen väriä vastaavaa nappia. Kirjainten ryhmittely helpottaa ja nopeuttaa katseen suunnan tulkintaa, kun avustajan ei tarvitse yrittää erottaa lähellä olevia kohteita toisistaan. Avustaja varmistaa kirjaimen sanomalla sen ääneen. (c) www.cogain.org.

sen palautteen avulla, että kirjain tuli valituksi. Pitkä viive auttaa ehkäisemään virhevalintoja, mutta hidastaa samalla kommunikaatiota.

Katsetta voidaan käyttää tekstin tuottamiseen monella eri tavalla. Jos henkilö ei pysty kohdistamaan katsettaan, silmiä voidaan käyttää kytkimen tavoin. Tällöin halutun kirjaimen valinta tapahtuu esimerkiksi katsomalla alas tai silmää räpäyttämällä. Perhonen lasikuvussa -kirjan kirjoittaja [1] käytti räpäytystä valintamenetelmänä avustajan luetellessa kirjaimia yksi kerrallaan. Elepohjaisessa järjestelmässä jokaiselle kirjaimelle on oma katseleensä [43]. Esimerkiksi L-kirjaimen voi muodostaa katsomalla ensin ylhäältä alas ja sitten oikealle.

Katseella kirjoittamisen nopeuttamiseksi on kehitetty erilaisia kielimalliin perustuvia järjestelmiä, jotka pystyvät jo kirjoitetun tekstin tai kirjainten perusteella ennustamaan, mitä käyttäjä todennäköi-

sesti haluaa kirjoittaa seuraavaksi. Erilaisin käyttöliittymäteknikoin nämä järjestelmät sitten tarjoavat todennäköisiä vaihtoehtoja käyttäjälle, pyrkien täten nopeuttamaan ja helpottamaan kirjoittamista [8].

Järjestelmä voi esimerkiksi tarjota todennäköisten sanojen listoja käyttäjälle [24]. Sanalistojen käytössä pitää kuitenkin huomata, että niiden läpikäyminen vie aikaa ja kognitiivisia resursseja [21]. Lisäksi sanalistat vievät tilaa ruudulla, joten varsinkaan pitkät listat eivät välttämättä edistä katseella kirjoittamisen tehokkuutta ja miellyttävyyttä.

Kuuluisin tai ainakin eniten mediahuomiota kerännyt ennustava järjestelmä lieinee Dasher [42], jossa käyttäjä navigoi animoidussa kirjainten ”maailmassa”. Jokaisella kirjaimella on oma aktiivinen alueensa, jonka sisällä kirjain tulee valituksi. Alueen koko vastaa kirjaimen sen hetkistä todennäköisyyttä, joten todennäköisyyden kasvaessa myös kirjaimen ruudul-

ta valtaama alue kasvaa tehden sen näin helpommin valittavaksi.

Katseeseen perustuvia tekstinsyöttöjärjestelmiä on kehitetty muutaman vuosikymmenen ajan ja niiden käyttö kommunikaation apuvälineenä on yleistynyt viime vuosina [29]. Vaikka järjestelmiä on kehitetty useita, niiden käytettävyyttä ja vuorovaikutuksen yksityiskohtia ei ole juurikaan tutkittu [28]. Meidän tavoitteenamme oli tutkia, kuinka sopivan palautteen ja huolellisen käyttöliittymäsuunnittelun avulla katseella kirjoittamista voidaan tehostaa ja parantaa sen miellyttävyyttä. Olimme myös kiinnostuneita siitä, kuinka kauan oppiminen vie ja kuinka nopeasti katseella on mahdollista kirjoittaa.

Keskityimme ensisijaisesti viiveaikaan pohjautuvan näppäimistön tutkimiseen. Tutkimme erilaisten käyttöliittymäratkaisujen toimivuutta rakentamalla prototyypejä ja testaamalla vaihtoehtoisia käyttöliittymäratkaisuja käyttäjäkokein. Kokeet suoritettiin Tampereen yliopiston laboratoriossa. Osallistujat olivat vapaaehtoisia opiskelijoita tai laitoksen henkilökuntaan kuuluvia ihmisiä, joilla ei ole fyysisiä vammoja, mikä on syytä ottaa huomioon tuloksia tulkittaessa.

Vaihtoehtojen paremmuutta arvioitiin mm. mittaamalla kirjoitusnopeutta ja virheiden määrää. Suorituskyvyn arviointiin käytettiin tekstinsyöttötutkimuksissa yleisesti käytettyjä mittareita. Kirjoitusnopeutta arvioitiin laskemalla, kuinka monta sanaa minuutissa käyttäjä kirjoittaa, yhden sanan tarkoittaessa viittä merkkiä mukaan lukien välilyönti ja välimerkit [23]. Virhemääriä arvioitaessa otettiin huomioon sekä lopulliseen tekstiin jääneet virheet (virheprosentti) että kirjoituksen aikana korjatut virheet. Korjattujen virheiden määrä laskettiin jakamalla sanan kirjoittamiseen käytetty näppäimistön painallusten kokonaisuus (mukaan

lukien korjausnäppäin) lopullisen sanan merkkien määrällä [35].

Lisäksi kehitimme omia mittareita, joiden avulla pystyimme arvioimaan käyttäjän katseen käyttäytymistä [27]. Laskimme mm., kuinka monta kertaa käyttäjä joutui siirtämään katseensa näppäimistön ja tekstikentän välillä sekä kuinka monta kertaa käyttäjä katsoi kohdekirjainta, ennen kuin lopulta valitsi sen (keskimääräinen fiksaatioiden määrän suhde valintojen määrään, optimin ollessa yksi fiksaatio per valinta).

Käytettävyyttä selvitettiin havainnollisella käyttäjällä ja sitä, millaisiin vaikeuksiin he törmäsivät eri ohjelmaversioita käyttäessään. Osallistujien mielipiteitä ja kokemuksia kartoitettiin haastatteluin ja kyselylomakkein. Osa käyttäjäkokeista oli pitkittäisiä, eli osallistujat tulivat testiin useita kertoja.

Kerron seuraavaksi lyhyesti testaamistamme käyttöliittymäratkaisusta ja käyttäjäkokeissa saamistamme tuloksista.

7 Syötepalautte

Yksi tutkimuskysymyksistä koski palautteen merkitystä ja sitä, miten katseella kirjoittamista voi helpottaa palautetta parantamalla. Kun käyttäjä kirjoittaa katseella, hän katsoo näytöllä olevaa näppäimistöä. Kohteen katsomiseen ei normaalisti liity muuta luonnollista palautetta kuin näköhavainto katsottavasta kohteesta.

Palautteen merkityksen huomaa vertaamalla katseella kirjoittamista ja käsin kirjoittamista fyysisistä näppäimistöä käyttäen. Kun konekirjoittaja painaa kirjoituskoneen näppäintä, hän saa palautetta tunto-, kuulo- ja näköaistin kautta. Hän tuntee näppäimen kosketuksen, kun se painuu alas. Hän myös kuulee pienen naksahduksen ja näkee näppäimen painuvan alas, jos sattuu katsomaan näppäintä. Jos hän katsoo tietokoneen ruutua, hän näkee

kirjaimen ilmestyvän tekstikenttään.

Katseella kirjoitettaessa tietokoneohjelman pitää antaa selkeää palautetta, jota käyttäjä tietää mitä tapahtuu. Ensinnäkin, jos ohjelma ei mitenkään reagoi käyttäjän katseeseen, käyttäjä ei voi tietää, toimiiko katseenseuranta oikein ja tunnistaa-ko se, mitä kirjainta käyttäjä katsoo. Kun näppäin valitaan viivettä käyttäen, ilman sopivaa palautetta, käyttäjä joutuu arvailemaan, kuinka kauan hänen pitää tuijottaa näppäintä, että se tulisi valituksi. Jotta käyttäjä tietäisi, milloin hän voi siirtyä seuraavaan kirjaimeseen, ohjelman pitää antaa selvä palaute näppäimen painalluksesta. Visuaalinen palaute voi olla esimerkiksi se, että käyttäjä näkee ruudulla olevan näppäimen painuvan alas.

Testasimme palautteen vaikutusta kolmen kokeen sarjassa. Kokeissa käytetty menettelytapa oli kaikissa samankaltainen. Käyttäjien tehtävänä oli kirjoittaa kohdelauseita eri käyttöliittymävaihtoehtoilla. Vaihtoehdot olivat muuten samankaltaisia, mutta annettavaa palaute oli eri.

Testeissä käytetyt lauseet oli poimittu MacKenzie'n erityisesti tekstinsyöttötutkimuksia varten kehittämästä lausekokoelmasta (englanniksi), jonka Poika Isokoski (University of Tampere, Finland) myöhemmin käänsi suomeksi. Lauseet esitettiin ruudulla erillisessä kentässä ja käyttäjät ohjeistettiin ensin painamaan lause mieleensä ja sen jälkeen kirjoittamaan lause niin nopeasti ja virheettömästi kuin pystyvät.

Käyttäjät myös ohjeistettiin korjaamaan virheet heti kun sen havaitsivat, mutta jos virhe esiintyi aivan lauseen alussa, heidän ei tarvinnut palata korjaamaan sitä. Aina lauseen lopuksi käyttäjää pyydettiin katsomaan Valmis-painiketta, jonka jälkeen ohjelma latasi uuden kohdelauseen. Valinta tehtiin kaikissa kokeissa viiveikkaa käyttämällä.

Ensimmäisessä kokeessa testasimme neljää eri vaihtoehtoista palautetta: (1) pelkkä visuaalinen palaute, (2) visuaalinen palaute yhdistettynä naksahdusääneen ("klik") valinnan merkinä, (3) puhe ja visuaalinen palaute yhdessä, sekä (4) pelkkä puhepalaute.

Kokeeseen osallistui 16 vapaaehtoista, jotka kaikki olivat noviiseja katseella kirjoittamisessa. Jokainen heistä testasi kaikkia neljää eri palautevaihtoehtoa kirjoittamalla viisi lausetta kullakin vaihtoehdolla. Koe toistettiin neljässä eri sessiossa ja palautevaihtoehtojen järjestys tasapainotettiin sessioittain ja käyttäjittäin. Tulokset perustuvat 13 käyttäjän aineistoon, koska kolmen käyttäjän data jouduttiin hylkäämään teknisten ongelmien takia (mm. katseenseurantalaitteen kalibraation epäonnistuminen).

Tulokset osoittavat, että naksahdusäänien liittäminen visuaaliseen palautteeseen nopeuttaa merkittävästi kirjoittamista pelkkään visuaaliseen palautteeseen verrattuna ($p < ,0005$). Keskimääräiset kirjoitusnopeudet hitaimmasta nopeimpaan olivat: 7,00 (pelkkä puhe), 7,12 (pelkkä visuaalinen palaute), 7,14 (puhe ja visuaalinen palaute) ja 7,55 sanaa minuutissa (naksahdus yhdistettynä visuaaliseen palautteeseen).

Puhepalautteen havaittiin olevan erityisen hyödyllistä noviiseille, jotka vasta opettelevat katseella kirjoittamista. Kirjaimen sanominen ääneen vähensi virheiden määrää merkittävästi ($p = ,005$). Kokeen osallistujat myös arvostivat äänipalautetta ja pitivät erityisesti naksahdusäänestä, koska se on lyhyt ja selvä osoitus onnistuneesta valinnasta. He myönsivät puhepalautteen helpottavan kirjoittamista, mutta muutamia osallistujia jokaisen kirjaimen sanominen ääneen ärsytti.

Kun noviisi harjoittelee kirjoittamista tavallisella näppäimistöllä, hän voi rau-

hassa katsoa näppäimistöä ja valita haluamansa kirjaimen painamalla näppäintä sormella. Kun viivettä käytetään valintaan katseella kirjoitettaessa, ohjelma valitsee näppäimen, kun viiveaika on kulunut umpeen. Jos käyttäjä ei ole varma, kuinka pitkään hänen pitää katsoa kirjainta, jotta se tulee valituksi, se aiheuttaa virheitä ja epävarmuutta käyttäjässä.

Toisessa kokeessa tutkimme, kuinka viiveajan kulumisen esittäminen animaation avulla vaikuttaa katseella kirjoittamisen tehokkuuteen. Kokeessa osallistujille esitettiin kaksi vaihtoehtoista käytölliittymää. Ensimmäisessä vaihtoehdossa käyttäjä sai palautetta pelkästään katseen kohdistumisesta näppäimeen ja näppäimen onnistuneesta valinnasta. Toisessa vaihtoehdossa lisäksi viiveajan kuluminen esitettiin animaation avulla. Kirjaimen koko pieni, kun käyttäjä katsoi sitä. Käytölliittymät olivat muuten samanlaiset.

Kokeessa havaittiin, että animaatio auttoi osallistujia pitämään katseensa kohdistettuna näppäimeen riittävän pitkään, jotta se tuli valituksi. Animaatio siis esti virheitä, jotka aiheutuivat siitä, että käyttäjä siirtyi seuraavaan kirjaimen liian nopeasti. Tämä puolestaan nopeutti kirjoittamista. Nopeuden lisäys oli pieni, mutta merkittävä (7,02 animaation kera ja 6,65 sanaa minuutissa ilman animaatiota, $p < ,01$). Virheiden määrässä ei havaittu merkittävää eroa.

Kahdessa ensimmäisessä kokeessa osallistujat olivat noviiseja ja käytetty viiveaika oli pitkä (900 ms). Kolmannessa kokeessa tutkimme palautteen vaikutusta puolta lyhyemmällä viiveajalla (450 ms). Kokeen osallistujat oli koottu kahden aineemman kokeen osallistujista, joten heillä kaikilla oli jo jonkin verran kokemusta katseella kirjoittamisesta.

Tulokset antavat viitteitä siitä, että palaute kannattaa sovittaa viiveaikaan. Ly-

hyt viiveaika vaati lyhyen, selkeän ja täsmällisen palautteen. Esimerkiksi puhepalaute ei välttämättä toimi lyhyellä viiveajalla, koska kirjaimen sanominen ääneen vie aikaa. Kokeessa puhepalaute aiheutti erityisesti virheellisiä kirjaimen toistoja, eli käyttäjä kirjoitti vahingossa saman kirjaimen kahteen kertaan. Vaikutti siltä, että kuunnellessaan puhepalautea käyttäjät jäivät kirjaimen kohdalle liian pitkäksi aikaa, mikä aiheutti virheellisen toiston.

Kokenut konekirjoittaja voi katsoa kirjoittamaansa tekstiä samanaikaisesti, kun hänen sormensa painelevat näppäimistöä. Katseella kirjoitettaessa katse on sidottu kohteeseen, jota ollaan valitsemassa. Käyttäjä ei siis voi samanaikaisesti sekä katsoa tekstikenttää että valita kirjainta katseella. Tästä seuraa se, että käyttäjä joutuu jatkuvasti siirtämään katsettaan näppäimistön ja tekstikentän välillä halutessaan tarkastella kirjoittamaansa tekstiä.

Kokeidemme tulokset osoittivat, että tarve siirtää katsetta näppäimistön ja tekstikentän välillä vähenee huomattavasti, jos ohjelma tukee kirjoittamista antamalla sopivaa palautetta. Kokeissa mitatut erot eri palautevaihtoehtojen välillä olivat pieniä, muttavaikutus kumuloituu toistojen myötä pitkää tekstiä kirjoitettaessa.

Hyvä palaute kertoo selvästi, mihin kirjaimen katse on kohdistettu ja milloin kirjain tulee valituksi. Kun käyttäjä voi luottaa ohjelman antamaan palautteeseen, katseella kirjoittaminen on tehokkaampaa, helpompaa ja miellyttävämpää. Lisätietoa ja kokeiden perusteella johdettuja suunnittelun ohjenuoria löytyy koostartikkelista Majaranta ym. [27].

8 Ulkoasu ja rakenne

Suurin osa katsekirjoitukseen kehitetyistä menetelmistä perustuu jonkinlaiseen tietokoneen näytöllä esitettyyn virtuaaliseen näppäimistöön. Yleisin näistä lienee

QWERTY-tyyppinen näppäimistö, jossa koko aakkosto näytetään ruudulla ja käyttäjä kirjoittaa valitsemalla yhden näppäimen yhdellä fiksaatiolla. Katseen epätarkkuudesta johtuen näppäinten koko on suuri ja näppäimistö vie paljon tilaa.

Katsekirjoituksen alkuaikoina katseen-seurantalaitteiden tarkkuus ei välttämättä riittänyt täysikokoisen näppäimistön esittämiseen. Tällöin näppäimistö toteutettiin hierarkkisenä valikkorakenteena, jossa käyttäjä valitsi ensin kirjainryhmän ja toisella kerralla halutun kirjaimen [8]. Hierarkkisten valikkoratkaisujen ongelmana on usein se, että rakenteen opettelu vie aikaa ja valikoissa navigoiminen hidastaa kirjoittamista, koska yhden kirjaimen kirjoittamiseen vaaditaan useita komentoja [30].

Valikkopohjaisia ratkaisuja käytetään nykyäänkin erityisesti web-kameraan ja avoimeen lähdekoodiin perustuvissa järjestelmissä (kts. esim. [4]), jotka tarjoavat edullisen mutta epätarkemman vaihtoehdon kaupallisille järjestelmille. Lisäksi joillakin käyttäjillä silmien liikeradat saattavat olla rajoittuneita sairaudesta johtuen, esimerkiksi sallien vain vertikaalisen liikkeen. Näppäimistön asettelulla ja sopivalla valikkorakenteella on mahdollista räätälöidä toimiva kommunikaatiojärjestelmä vaativallekin käyttäjälle [6].

Yksi motivaatio tiivistää näppäimistöasettelua on näyttötilan säästäminen tilanteissa, joissa ruudun sisällön näkeminen on tärkeää. Täysikokoinen QWERTY vie paljon tilaa. Satunnaisissa tekstinsyöttötarpeissa, kuten peleissä tai verkkosivujen lomakkeita täyttäessä, voi olla tarpeen käyttää näppäimistöä, joka peittää mahdollisimman pienen osan näytöstä.

Me kehitimme QWERTY-näppäimistön pohjalta vieritettävän näppäimistöratkaisun [36]sta, mutta idea sinänsä toimi hyvin. Viiden näppäimistön opettelu ei vie aikaa, koska kirjainten asettelu on tuttu QWERTY (tai

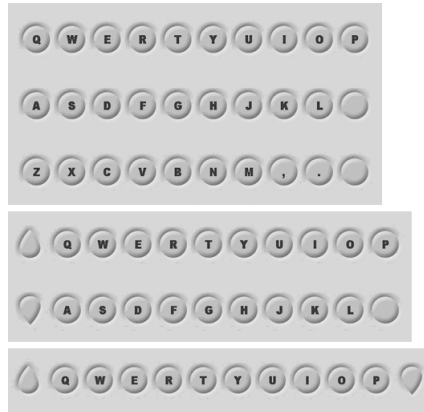
muu käyttäjälle tuttu asettelu). Vieritettävä näppäimistö vie vähemmän tilaa, koska vain osa näppäimistöä on näkyvissä. Vierityksen avulla käyttäjä saa näkyviinsä piilossa olevat näppäimistön rivit (kuva 3). Tilatarpeista riippuen, käyttäjä voi valita, kuinka monta riviä näppäimistöä näytetään.

Testasimme vieritettävän näppäimistön toimivuutta ja käytettävyyttä käyttäjäkokeessa. Kaikki kahdeksan kokeeseen osallistunutta henkilöä olivat jo aiemmin osallistuneet johonkin kokeeseen, jossa testattiin katseella kirjoittamista. Kaikki olivat siis ainakin jossain määrin kokeneita katseenseurannan käyttäjiä ja myös QWERTY-näppäimistön asettelu oli kaikille tuttu.

Kokeessa tehtävänä oli kirjoittaa lauseita, joista oli yksinkertaisuuden vuoksi poistettu erikoismerkit ja muut välimerkit paitsi piste ja pilkku. Osallistujat ohjeistettiin kirjoittamaan kohdelauseet niin nopeasti ja virheettömästi kuin pystyivät mutta olemaan välittämättä mahdollisista virheistä (yksinkertaisuuden vuoksi jätimme tässä kokeessa pois myös korjausnäppäimen).

Testin aikana osallistujat testasivat vieritettävää näppäimistöä kolmella eri asettelulla: yksirivinen, kaksirivinen ja kolmerivinen normaali näppäimistö, jossa koko kirjaimisto oli näkyvissä. Testiin kuului kahdeksan sessiota. Jokainen sessio sisälsi kaikki kolme asettelua ja käyttäjät kirjoittivat kahdeksan testilauseetta jokaisella asetteluvaihtoehdolla. Asettelujen järjestys oli tasapainotettu sessioittain käyttäjien kesken. Yksi sessio kesti noin 10–15 minuuttia.

Tulokset osoittavat, että näppäimistön jakaminen riveihin kyllä hidasti kirjoittamista, mutta idea sinänsä toimi hyvin. Viimeisessä sessiossa keskimääräinen kirjoitusnopeus kolme-, kaksi- ja yksiriviselle



Kuva 3: Käyttäjä voi valita montako riviä näppäimistöä näytetään. (c) [36].

näppäimistöille oli 15,06, 11,12 ja 7,29 sanaa minuutissa. Virheiden määrä vaihteli välillä 1–5 % mutta jäi viimeisessä sessiossa alle 2 % kaikilla asetteluilla.

Testasimme vieritettävää näppäimistöä myös jatkokokeessa, jossa tutkimme voisiko kirjoittamista tehostaa optimoidulla näppäinten asettelulla. Optimoidussa versiossa kirjaimet oli aseteltu todennäköisyyksien perusteella siten, että vieritystarve pysyisi minimissä. Kaikkein yleisimmät kirjaimet oli sijoitettu ensimmäiselle riville ja harvinaisemmat toiselle ja kolmannelle, todennäköisyyden mukaan. Lisäksi välilyöntinäppäin lisättiin joka riville yleisyytensä takia. Optimointi vähensi vieritystarvetta ja paransi nopeutta hieman, kaksirivisen näppäimistön kirjoitusnopeus oli keskimäärin 12,18 ja yksirivisen 8,86 sanaa minuutissa. Toisaalta optimoidun näppäimistön kirjainten järjestyksen opettelu vaatii aikaa, joten satunnaisen pienennetyn näppäimistön käyttötarpeeseen se tuskin tuo lisäarvoa.

9 Oppiminen ja kirjoitusnopeus

Halusimme tutkia myös, kuinka kauan kestää oppia kirjoittamaan katseella ja kuinka nopeasti katseella on mahdollista kirjoittaa.

Aiempi tutkimus osoittaa, että viiveaikaan perustuva katseella kirjoittaminen on hidasta. Kirjoitusnopeus on tyypillisesti noin viidestä kymmeneen sanaa minuutissa [29]. Aiemmat tulokset perustuvat noviiseilla mitattuihin aikoihin. Näissä tutkimuksissa viiveaika on yleensä ollut vakio, puolesta sekunnista sekuntiin. Me halusimme tietää, kuinka nopeasti noviisit oppivat kirjoittamaan katseella voidessaan vapaasti säätää viiveaikaa.

Oppimista tutkittiin pitkäaikaiskokeessa, johon osallistujat (11 vapaaehtoista) kutsuttiin kukin kymmenen kertaa. Koeasetelma ja proseduuri vastasivat pitkälti aiempia kokeita, joissa käyttäjät kirjoittivat annettuja lauseita niin nopeasti ja virheettömästi kuin mahdollista. Kukin kymmenestä sessiosta kesti n. 15 minuuttia, joten yhteensä harjoittelu-aikaa kertyi n. kaksi puoli tuntia.

Tutkimusta varten toteutimme näppäimistön, johon oli lisätty mahdollisuus säätää kirjoitusnopeutta. Osallistujat pystyivät hidastamaan katseella kirjoittamista valitsemalla miinus-näppäimen. Miinus-näppäin pidensi valintaan tarvittavaa viiveaikaa ja antoi täten käyttäjälle enemmän aikaa katsoa kirjainta, ennen kuin se tulee valituksi. Plus-näppäimellä käyttäjä pystyi nopeuttamaan kirjoittamista. Se lyhensi viiveaikaa, jolloin kirjain tuli nopeammin valituksi.

Testin alussa viiveaika oli yksi sekunti kaikilla osallistujilla, mutta testin aikana kukin heistä sai säätää kirjoitusnopeutta oman halunsa mukaan. Useimmat kokeen osallistujista halusivat nopeuttaa kirjoittamista valinta-aikaa lyhentämällä jo aikaisessa vaiheessa koesarjaa; monet halusivat nopeuttaa kirjoittamista jo ensimmäisellä kerralla. Kokeen lopussa viiveaika oli keskimäärin 282 millisekuntia. Toisin sanoen, sekunnin kolmasosa oli useimmille käyttäjille riittävän pitkä valinta-aika.

Lyhyt valinta-aika mahdollisti nopean kirjoittamisen. Viimeisellä kerralla mitattu keskimääräinen kirjoitusnopeus oli lähes 20 sanaa minuutissa, nousten ensimmäisen session keskimääräisestä 6,9 sanaa minuutista nopeudesta 19,89 sanaan minuutissa. Nopeinta oppiminen oli kolmen ensimmäisen session aikana ja neljännen session keskimääräinen nopeus oli jo 16,2 sanaa minuutissa ja sen jälkeen oppiminen ja nopeuden kasvu hidastui huomattavasti (kuva 4).

Vastaavasti myös viiveajan säätäminen lyhyemmäksi tapahtui jo ensimmäisten sessioiden aikana. Keskimääräinen viiveaika oli jo neljännessä sessiossa 378 ms kun se viimeisessä sessiossa oli 282 ms. Viimeisessä sessiossa kaikkien käyttäjien viiveaika oli alle 400 millisekuntia, lyhimmän ollessa 180 ms ja pisimmän 380 ms.

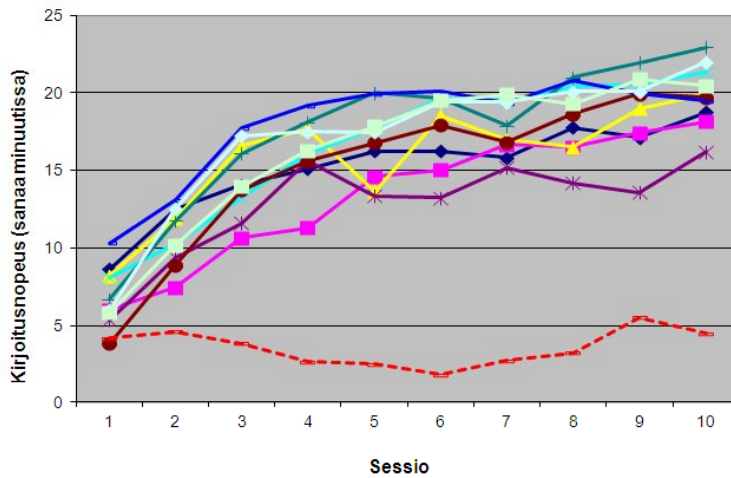
Myös virheiden määrä väheni oppimi-

sen myötä, ollen ensimmäisessä sessiossa keskimäärin 1,28 % ja 0,36 % viimeisessä sessiossa. Osallistujien tarve korjata virheitä kasvoi hieman, nousten ensimmäisen session 1,09:stä 1,18 valintaan per kirjoitettu merkki (keystrokes per character, KSPC). Lievä kasvu virheiden korjaamisen määrässä ei ole yllättävä, koska nopeuden kasvu ja virheiden määrä kulkevat usein rinnakkain ja niiden välillä joutuu tekemään kompromissin. Ero ei kuitenkaan ollut merkitsevää ($p > ,2$).

Osallistujat pitivät viiveajan säätömahdollisuutta tärkeänä. Subjekttiivinen kokemus kirjoittamisen rasittavuudesta ja silmien väsymisestä ei muuttunut merkittävästi sessioiden välillä, vaikka viiveaika lyheni ja kirjoitusnopeus kasvoi.

Tulos on varsin rohkaiseva, koska se on kilpailukykyinen Dasherillä mitattujen kirjoitusaikojen kanssa. Dasher [42] on tekstin ennustamiseen perustuva kirjoitusjärjestelmä, jonka on sanottu olevan maailman nopein tapa kirjoittaa katseella. Vastaavassa Dasherillä järjestetyssä kymmenen 15 minuutin sessiota kestäneessä kokeessa [40] novisiitit saavuttivat keskimääräisen kirjoitusnopeuden 17,3 sanaa minuutissa. Toisaalta Dasherin oppiminen oli hitaampaa ja oppimiskäyrä olikin yhä selvässä noususuunnassa vielä kymmenennen session (2,5 h) jälkeen, kun se viiveaikaa käyttäneessä kokeessa tasoittui huomattavasti jo neljännen session kohdalla (1 h).

Tämän kokeen tulokset myös osoittavat, että yksinkertainen, helposti opittava, viiveikaan perustuva näppäimistö ei olekaan niin hidas tapa kirjoittaa katseella, kuin on aiemmin kuviteltu. Kun käyttäjän annetaan vapaasti säätää viiveaikaa halutessaan, oppiminen etenee tehokkaasti ja käyttäjät saavuttavat kohtuullisen lyhyen harjoittelun jälkeen varsin nopeita kirjoitusaikoja.



Kuva 4: Käyttäjien kirjoitusnopeus kasvoi nopeasti ensimmäisten sessioiden aikana. (Katkoviivalla merkitty osallistuja jätettiin pois analyseistä, koska hän selvästi oli poikkeus.)

10 Tulevaisuuden kehityskohteita

Tutkimuksemme keskittyi katseella kirjoittamiseen. Tekstin tuottamiseen liittyy olennaisesti myös jo kirjoitetun tekstin muokkaaminen. Tekstin editointi tarjoaakin paljon uusia tutkimuskysymyksiä ja mahdollisuuksia uusille käyttöliittymäinnovaatioille. Käyttöliittymäratkaisuja suunniteltaessa on kuitenkin hyvä tiedostaa, että moni liikerajoitteinen käyttäjä saattaa haluta käyttää samoja työkaluja kuin muutkin tietokoneen käyttäjät [13]. Erikoisten räätälöityjen ratkaisujen sijaan tai lisäksi kannattaa siis myös panostaa hiiriemulaation tehostamiseen ja aputyökaluihin, jotka mahdollistavat normaalin tietokoneen ja toimistotyökalujen käytön katseella.

Tässä työssä raportoituihin käyttäjä-tutkimukseen osallistuneet ihmiset eivät kärsineet fyysisistä rajoitteista. Uskomme kuitenkin, että tulokset ovat ainakin osit-

tain yleistettävissä myös kohderyhmän ihmisille ja heille mahdollisilla käyttöliittymän parannuksilla saattaa olla jopa suurempi merkitys. Pidämme kuitenkin tärkeänä, että jatkossa kohderyhmän ihmiset osallistuisivat enemmän myös ohjelmien testaamiseen, ja näin on jo tapahtunutkin kansainvälisten kollegoidemme toimesta [6].

Vaikeasti vammaisten tuominen laboratorioon voi olla hankalaa. Yksi mahdollisuus olisi kehittää etätestausta, jolloin käyttäjät voisivat testata järjestelmiä normaalissa arkipäivän käytössä [5]. Tällöin vastaan tulevat yksityisyyden suoja ja siihen liittyvät kysymykset. Tutkittavaa ja kehitettävää on siis myös tällä saralla.

Katseenseuranta on kulkenut pitkän kehitystien. Enää ei ihmisten silmään tarvitse kiinnittää mitään, jotta silmän liikettä voidaan tutkia. Enää ei käyttäjien päätä myöskään tarvitse tukea paikalleen, koska nykyiset laitteet pystyvät toimimaan

pään liikkeistä huolimatta. Myös ohjelmistot ovat kehittyneet, nyt katseella voi lähettää sähköpostia, selata webbiä, pelata pelejä, tai jopa ohjata pyörätuolia – tosin vain suljetussa tilassa siihen liittyvien riskien tähden [34].

Katseenseurantalaitteen voi myös tehdä itse web-kamerasta lataamalla siihen ohjelmiston netistä [4]. Kun laitteiden hinnat laskevat, uskomme, että katseohjaus leviää myös arkiseen käyttöön, meidän kaikkien iloksi [5]. Vihjeitä tästä on jo näkyvässä Tobiin esiteltyä ensimmäisen prototyypin version kannettavasta tietokoneesta, johon katseenseuranta on integroitu [39].

11 Yhteenveto

Katseenseuranta mahdollistaa katseen käytön tietokoneen syötteenä tai kommunikaation apuvälineenä. Me tutkimme, miten katseella kirjoittamisen miellyttävyyttä ja nopeutta voidaan parantaa huolellisen käyttöliittymäsuunnittelun avulla. Tulokset osoittavat, että pienet parannukset käyttöliittymässä lisäävät käyttäjätyytyväisyyttä ja tehostavat kirjoittamista merkittävästi. Vaikka ero olisi pieni yhden sanan tai lauseen kohdalla, eron merkitys kasvaa samalla, kun kirjoitettavan tekstin määrä kasvaa. Tulokset myös osoittavat, että mahdollisuus säättää viiveaikaa tukee tehokasta oppimista ja mahdollistaa kohtuullisen nopean katseella kirjoittamisen.

Kiitokset

Tämä artikkeli pohjautuu pitkälti väitöskirjatyöhöni, joka koostui useista yhteisartikkeleista. Haluan kiittää kaikkia alkuperäisten artikkelien kirjoittajia, joiden kanssa minulla oli ilo työskennellä: Kari-Jouko Räihä, I. Scott MacKenzie, Anne Aula, Oleg Spakov, Outi Tuisku, Ulla-Kaija Ahola, Niina Majaranta, Richard Bates, Mick Donegan, Gintautas Daunys

ja Poika Isokoski. Kiitän myös Timo Porasta Latex-konsultaatiosta.

Viitteet

1. Bauby, J.-D. (1997). *Perhonen lasikuvussa*. WSOY.
2. Bulling, A., Roggen, D., & Tröster, G. (2008). It's in your eyes - towards context-awareness and mobile HCI using wearable EOG goggles. *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '08)*, 84-93. New York: ACM.
3. Burke, M., Hornof, A., Nilsen, E., & Gorman, N. (2005). High-cost banner blindness: ads increase perceived workload, hinder visual search, and are forgotten. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 12(4), 423-445.
4. COGAIN Downloads (2012). <http://www.cogain.org/wiki/downloads>. (1.2.2012)
5. Donegan, M., Majaranta, P., Hansen, J.P., Hyrskykari, A., Aoki, H., Hansen, D.W., & Räihä, K.-J. (2012). Conclusion and a look to the future. Majaranta et al. (Eds.), *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies* (pp. 365-376), IGI Global.
6. Donegan, M., Morris, D. J., Corno, F., Signorile, I., Chió, A., Pasian, V., Vignola, A., Buchholz, M., & Holmqvist, E. (2009). Understanding users and their needs. *Universal Access in the Information Society* 8(4), 259-275.
7. Duchowski, A. T. (2003). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer-Verlag.
8. Frey, L. A., White, K. P. Jr., & Hutchinson, T. E. (1990). Eye-gaze word processing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 20(4), 944-950.
9. Goldberg, J. H., & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs *International Journal of Industrial Ergonomics* 24(6), 631-645.
10. Goldberg, J. H., & Wichansky, A. M. (2003). Eye tracking in usability eva-

- luation: A practitioner's guide . Hyönä, J., Radach, R., & Deubel, H. (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 493-516). Amsterdam, The Netherlands: North-Holland.
11. Grauman, K., Betke, M., Lombardi, J., Gips, J., & Bradski, G. R. (2003). Communication via eye blinks and eyebrow raises: Video-based human-computer interfaces. *Universal Access in the Information Society* 2(4), 359-373.
 12. Haber, R.N. & Hershenson, M. (1973) *The Psychology of Visual Perception*. London: Holt, Rinehart and Winston.
 13. Hakola, J. (2011). Tekstin editointi katseella. Pro gradu -tutkielma, Tampereen yliopisto, Informaatiotieteiden yksikkö. <http://tutkielmat.uta.fi/pdf/gradu05453.pdf>
 14. Hansen, D. W., & Ji, Q. (2010). In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 32(3), 478-500.
 15. Hansen, D. W., & Pece, A. E. C. (2005). Eye tracking in the wild. *Computer Vision and Image Understanding* 98(1), 155-181.
 16. Hyrskykari, A., Majaranta, P., & RiihÄ, K.-J. (2003). Proactive response to eye movements. M. Rauterberg, M. Menozzi, & J. Wesson (Eds.), *Proceedings of INTERACT 2003* (pp. 129-136), IOS Press.
 17. Istance, H.O., Bates, R., Hyrskykari, A., & Vickers, S. (2008) Snap clutch, a moded approach to solving the Midas touch problem. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (ETRA'08), 221-228. New York: ACM.
 18. Jacob, R. J. K. (1991). The use of eye movements in human-computer interaction techniques: What you look at is what you get. *ACM Transactions on Information Systems* 9(3),152-169.
 19. Jacob, R. J. K. (1995). Eye tracking in advanced interface design . Barfield, W., & Furness, T. A. III, (Eds.), *Virtual environment and advanced interface design* (pp. 258-288). New York: Oxford University Press.
 20. Kaur, M., Tremaine, M., Huang, N., Wilder, J., Gacovski, Z., Flippo, F., & Mant-ravadi, C. S. (2003) Where is "it"? Event synchronization in gazespeech input systems. *Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces (ICMI'03)*, 151-158. New York: ACM.
 21. Koester, H. H., & Levine, S. P. (1994). Modeling the speed of text entry with a word prediction interface. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* 2(3), 177-187.
 22. Land, M., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception* 28, 1311-1328.
 23. MacKenzie, I.S. (2003) Motor behaviour models for human-computer interaction. In J. M. Carroll (Ed.), *Toward a Multi-disciplinary Science of Human-Computer Interaction* (pp. 27-54). Morgan Kaufmann.
 24. MacKenzie, I.S., & Zhang, X. (2008). Eye typing using word and letter prediction and a fixation algorithm. *Proceedings of the 2008 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications* (ETRA '08), 55-58. New York: ACM.
 25. Majaranta, P., Ahola, U.-K., & Spakov, O. (2009). Fast gaze typing with an adjustable dwell time. *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*, 357-360. New York: ACM.
 26. Majaranta, P., Aoki, H., Donegan, M., Hansen, D.W., Hansen, J.P., Hyrskykari, A., & RiihÄ, K.-J. (Eds.) (2012) *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies*, IGI Global. (Release date: October 2011. Copyright (c) 2012. 382 pages.)
 27. Majaranta, P., MacKenzie, I. S., Aula, A., & RiihÄ, K.-J. (2006). Effects of feedback and dwell time on eye typing speed and accuracy. *Universal Access in the Information Society* 5(2), 199-208.
 28. Majaranta, P., & RiihÄ, K.-J. (2002). Twenty years of eye typing: Systems and design issues. *Proceedings of the 2002*

- Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (ETRA '02), 15-22. New York: ACM.
29. Majaranta, P., & Riih , K.-J. (2007). Text entry by gaze: Utilizing eye-tracking. I. S. MacKenzie & K. Tanaka-Ishii (Eds.), *Text entry systems: Mobility, accessibility, universality* (pp. 175-187). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
 30. Miniotas, D., Spakov, O., & Evreinov, G. E. (2003). Symbol creator: An alternative eye-based text entry technique with low demand for screen space. In Rauterberg, M., Menozzi, M., & Wesson, J. (Eds.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2003* (pp. 137-143). Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
 31. Ohno, T. (1998) Features of eye gaze interface for selection tasks. *Proceedings of the 3rd Asia Pacific Computer-Human Interaction* (APCHI'98), 176-182. Washington, DC: IEEE Computer Society.
 32. Pappas, J., Fishel, S., Moss, J., Hicks, J. & Leech, T. (2005). An eye-tracking approach to inattentive blindness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, September 26-30, 2005, Orlando, FL, HFES.
 33. Rayner, K. (1995). Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. J. M. Findlay, R. Walker, & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye movement research: Mechanisms, processes and applications* (pp. 3-22). Amsterdam: North Holland.
 34. Skovsgaard, H., Riih , K.-J., & Tall, M. (2012). Computer control by gaze. P. Majaranta et al. (Eds.) *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies* (pp. 78-102), IGI Global.
 35. Soukoreff, R. W., & MacKenzie, I. S. (2003). Metrics for text entry research: An evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI'03) (pp. 113-120). New York: ACM.
 36. Spakov, O. & Majaranta, P. (2009). Scrollable keyboards for casual eye typing. *Psychology Journal* 7(2), 159-173.
 37. Stampe, D. M., & Reingold, E. M. (1995). Selection by looking: A novel computer interface and its application to psychological research. J. M. Findlay, R. Walker, & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye movement research: mechanisms, processes and applications* (pp. 467-478). Amsterdam: Elsevier.
 38. Surakka, V., Illi, M., & Isokoski, P. (2004) Gazing and frowning as a new technique for human-computer interaction. *ACM Transactions on Applied Perception* 1(1), 40-56.
 39. Tobii (2011). Tobii unveils the world's first eyecontrolled laptop. Press release, March 1, 2011. <http://www.tobii.com/en/group/news-and-events/press-releases/>
 40. Tuisku, O., Majaranta, P., Isokoski, P., & Riih , K.-J. (2008). Now Dasher! Dash away! Longitudinal study of fast text entry by eye gaze. *Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (ETRA '08), 19-26. New York: ACM.
 41. Wade, N. J., & Tatler, B. W. (2005). *The moving tablet of the eye: The origins of modern eye movement research*. Oxford: Oxford University Press.
 42. Ward, D. J., & MacKay, D. J. C. (2002). Fast hands-free writing by gaze direction. *Nature* 418(6900), 838.
 43. Wobbrock, J. O., Rubinstein, J., Sawyer, M. W., & Duchowski, A. T. (2008). Longitudinal evaluation of discrete consecutive gaze gestures for text entry. *Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (ETRA '08), 11-18. New York: ACM.
 44. Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press. (Translated from Russian by Basil Haigh. Original Russian edition published in Moscow in 1965.)
 45. Zhai, S., Morimoto, C., & Ihde, S. (1999). Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '99), 246-253. New York: ACM.