

Visuaalisen käytettävyyden opas 2007

Risto Näsänen, TTL



Visuaalisen käytettävyyden opas

3. uudistettu "painos", 2007

RISTO NÄSÄNEN, kokeellisen psykologian dosentti, erikoistutkija - Aivot ja työ -tutkimuskeskus Työterveyslaitos, Topeliuksenkatu 41 a A 00250 Helsinki.
risto.nasanen@iki.fi.

Opas on pdf-muodossa TTL:n tietotyön tietopankissa (www.ttl.fi ->Tietotyö) ja saatavissa myös osoitteesta www.iki.fi/risto.nasanen/Opas2007.pdf

SISÄLLYS

Johdanto	3
OSA I. MITEN NÄKÖAISTI KÄSITTELEE TIETOA	4
Vaaleus- ja värikontrastien havaitseminen	4
Tiedon valikointi	6
Silmänliikkeet ja verkkokalvon epähomogeenisuus	7
Huomion kohdistaminen eli visuaalinen attentio	9
Kaavio tiedon käsittelystä näköjärjestelmässä	10
Yksilöiden väliset erot näkökyvyssä ja ikääntyminen	11
Näöntarkkuus ja kontrastiherkkyys	12
OSA II. TIEDON ESITYS	16
Koon ja kontrastin vaikutukset	16
Tiedon sijoitus (Layout)	17
Tiedon tiheys	18
Teksti- ja numerotieto	18
Graafisen tiedon esittäminen	19
Minkälaiset visuaaliset piirteet vetävät huomion puoleensa	21
Iän vaikutusten ja alentuneen näkökyvyn huomioonottaminen	21
VISUAALISEN KÄYTETTÄVYYDEN OHJEET LYHYESTI	23
LÄHTEITÄ	24

Tiedon esitystapa visuaalisissa toiminta-ympäristöissä ja käyttöliittymissä vaikuttaa tiedon vastaanottamisen, käsittelyn ja tulkinnan nopeuteen ja virheettömyyteen. Hyvin suunniteltu esitystapa helpottaa keskeisen viestin havaitsemista, nopeuttaa työskentelyä ja vähentää kuormittumista. Tämä opas on tarkoitettu visuaalisten käyttöliittymien, esitysten ja ympäristöjen suunnittelijoille.

JOHDANTO

Sujuva tiedon välittyminen on edellytys hyvin toimivalle ihmisen ja ympäristön väliselle vuorovaikutukselle. Kenties kaikkein keskeisin tiedonsiirto-väylä ulkomaailmasta ihmisen aivoihin on näköaisti. Visuaaliseen tietoon perustuva vuorovaikutus on helppoa ja sujuvaa, jos visuaalinen tieto on esitetty selkeästi, mutta saattaa olla varsin hankalaa, jos tiedon esitystavassa ei ole otettu huomioon ihmisen tapaa vastaanottaa ja käsitellä tietoa.

Tämä opas on kirjoitettu suurelta osin tietotekniikan käytön näkökulmasta, mutta tässä esitetyt periaatteet ovat yleispäteviä ja sopivat varmaankin myös muunlaisiin visuaalisen tiedon esitystapoihin.

Visuaalinen käytettävyys määritellään tässä seuraavasti: Tiedon esitystapa on visuaalisesti käytettävää, kun visuaalisen informaation havaitseminen on nopeaa, virheetöntä ja vaivatonta.

kuvan verkkokalvolle. Pienet yksityiskohdat piirtyvät heikko-kontrastisempina kuin suurikokoiset kohteet. Tämä johtuu valon leviämisestä silmässä (22, 45). Valon leviäminen heikentää myös ääri viivojen terävyyttä. Verkkokalvokuvassa pienten yksityiskohtien, kuten pienikokoisien kirjainten, piirtyminen heikentyy erityisesti silloin, kun silmän optiikka ei tarkenna kuvaa oikein (3,4). Näin käy esimerkiksi ikänäköisellä yli 45 vuotiailla henkilöillä, jos silmälasikorjaus ei ole oikea lähietäisyydelle.

Aivot kompensoivat tietyissä rajoissa silmän optiikan aiheuttamaa epäterävyyttä (37) ja siten pyrkivät terävöittämään verkkokalvolle piirtynyttä kuvaa (11, 29). Tämä pätee vain vaaleuserojen havaitsemiseen. Värien havaitsemisessa ei ole samanlaista kuvan terävöitysjärjestelmää (19, 37). Siksi emme näe tarkasti pieniä yksityiskohtia, kuten pienikokoisia kirjaimia, jos ne erottuvat taustastaan vain värin perusteella eli ovat yhtä vaaleita kuin tausta. Tämä on värien käytön kannalta erityisen tärkeä ottaa huomioon.

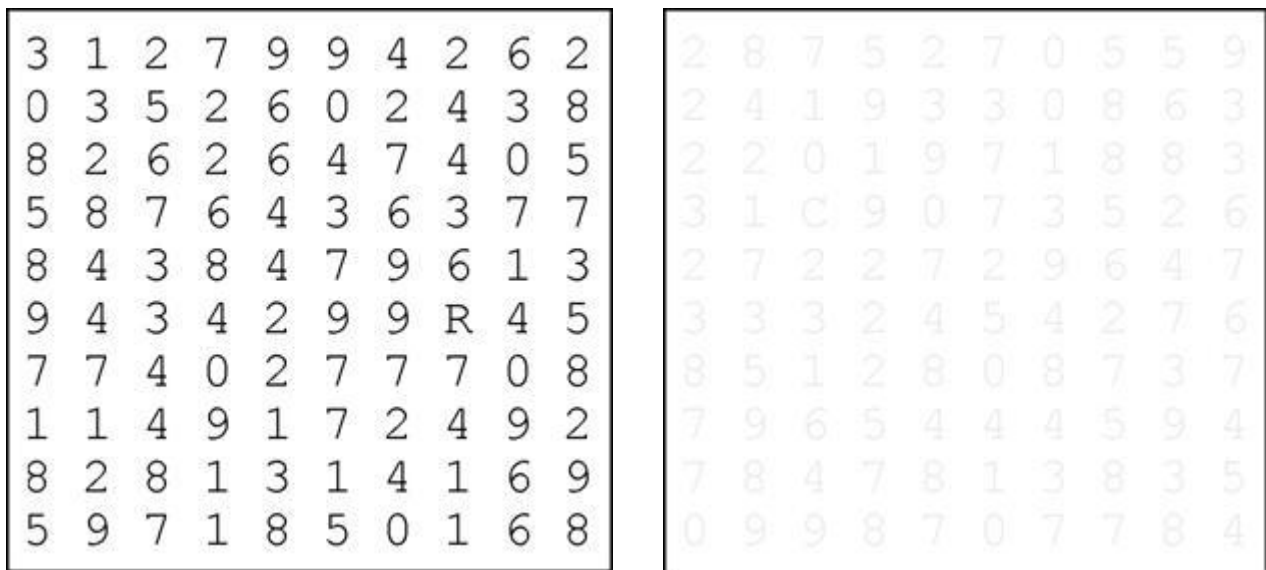


©Risto Näsänen, 2007

Kuva 2. Värienkäyttö voi merkittävästi vaikuttaa tekstin ja grafiikan näkyvyyteen. Jos kaksi väriä ovat tummuudeltaan samanlaiset, niiden välinen ääri viiva havaitaan epäterävänä ja pieniä yksityiskohtia on vaikea havaita.

Kontrastien havaitsemiseen vaikuttaa näköaistin kyky vahvistaa tai vaimentaa kontrastia, näköjärjestelmän "kohina" (= satunnaisuonteinen vaihtelu hermosignaaleissa) sekä aivojen kyky käyttää sinne saapunutta informaatiota (15, 36).

Kuvan kontrasti ja katseltavien kohteiden koko vaikuttaa siihen miten nopeasti tieto niistä siirtyy verkkokalvolta aivoihin. Matalakontrastisesta ja pienikokoisesta kuvasta tiedon siirtyminen aivoihin kestää kauemmin kuin korkeakontrastisesta ja suurikokoisesta (40, 42). Myös aivojen hahmontunnistusalueilla tiedon käsittelyyn kuluva aika pidentyy, kun kontrasti tai koko ovat hyvin pieniä. (28).



Kuva 3. Löydätkö kirjaimen numeroiden joukosta. Matala kontrasti hidastaa tiedon löytymistä.

Jotta suurikokoiset kuvat tai kohteet näkyisivät hyvin, riittää pienempi kontrasti kuin pienikokoisille kuville tai kohteille. Suurikokoiset havaitaan myös nopeammin. Sama koskee myös värierojen havaitsemista (31).

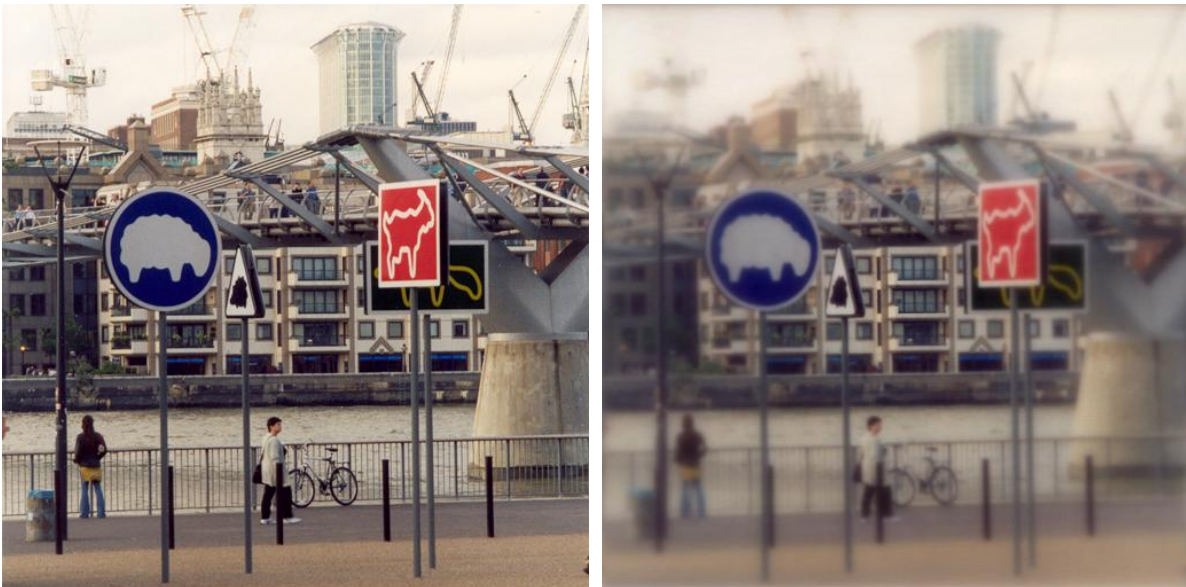
Tiedon valikointi

Visuaaliset ympäristöt sisältävät yleensä paljon informaatiota. Tämä pätee erityisesti luontoon, jonka havaitsemiseen näköaisti on kehittynyt. Myös keino-tekaisissa ympäristöissä, kuten kaupunkimiljöössä ja tietokoneiden graafisissa käyttöliittymissä on runsaasti informaatiota. Jotta aivot voisivat tehokkaasti tulkita näköaistin välittämää tietoa ympäristöstä, tietoa on kullakin

hetkellä rajattava erittäin voimakkaasti valikoinnin avulla. Useat mekanismit tiedonkäsittelyn eri tasoilla osallistuvat tiedon valikointiin.

Silmän verkkokalvon epähomogeenisuus

Ensimmäisessä vaiheessa valikointia tapahtuu silmän verkkokalvolla siten, että tarkka tiedon keruu rajoittuu silmän kohdistuskohdan läheisyyteen. Näemme tarkasti vain näkökentän keskiosassa. Tämä johtuu siitä, että verkkokalvon solutiheys (gangliosolut erityisesti) vähenee voimakkaasti katseen kohdistuspisteestä sivullepäin (9). Samalla solujen ns. reseptiiviset kentät eli alue, josta ne summaavat näköinformaatiota, kasvaa. Tämä johtaa siihen, että tarkkaa, yksityiskohtaista, näköinformaatiota voidaan havaita vain katseen kohdistuskohdassa ja näöntarkkuus laskee katseen kohdistuskohdasta sivulle päin voimakkaasti (ks. esim. 44, 43).



Kuva 4. Oikeanpuoleisessa kuvassa näytetään miten vasemmanpuoleisen kuvan yksityiskohtien välittyminen muuttuu verkkokalvolla. Katseen kohdistuskohta on kuvan keskellä, jossa piirto on terävin, mutta vähenee asteittain sivuille.

Silmänliikkeet

Jotta havaitsisimme pieniä yksityiskohtia tarkasti eri puolilta ympäristöämme, on katsetta kohdistettava eri suuntiin. Liikkumattomia kohteita katsottaessa, silmät liikkuvat nykäyksittäin eli sakkadisesti. Nykäysten välillä silmät ovat pienen hetken lähes liikkumattomina (8). Näköaisti vastaanottaa melkein kaiken tiedon näiden pysähdysten eli katseenkohdistusten (fiksaatioiden) aikana. Silmän pysähdysten kestot vaihtelevat välillä 0,15-0,4 sekuntia. Tähän vaikuttavat ärsykkeen ominaisuudet sekä kulloinenkin havainto-tehtävä.

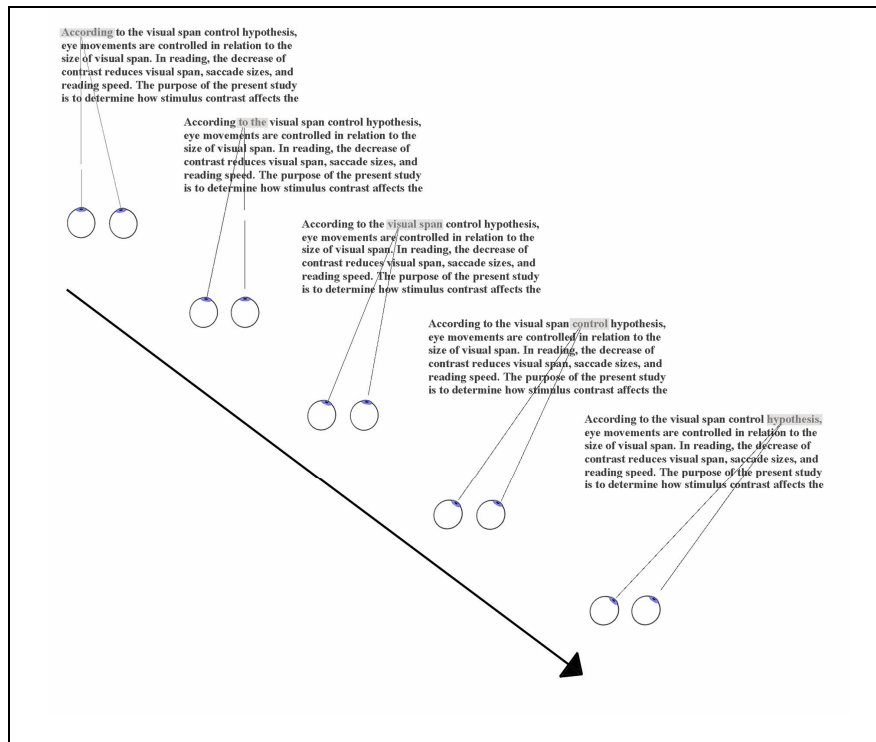
Lukemisessa pysähdykset kestävät keskimäärin 0,25 sekuntia. Jos tekstin kontrasti on pieni, pysähdykset pitenevät jonkin verran (14). Sama pätee myös visuaalisessa haussa, jossa katselija hakee esimerkiksi jotain tietokoneikonia muiden ikonien joukosta (25, 24). Liikkuvia kohteita katsottaessa silmät seuraavat tasaisella liikkeellä kohdetta. Tällaista liikettä kutsutaan seurantaliikkeeksi (smooth pursuit). Liikkumattomia kohteita katsottaessa silmät liikkuvat aina nykäyksittäin.

Yhden silmänpysähdyksen eli fiksaation aikana nähdään rajallinen määrä informaatiota. Aluetta, josta tieto kerätään kutsutaan näkyvyysalueeksi (visual span, perceptual span). Luettaessa näkyvyysalue on pitkänomainen ja rivien suuntainen. Tällöin nähdään noin 10 merkkiä kerralla, kolme merkkiä katseen kohdistuspisteen vasemmalta puolelta ja 7 oikealta puolelta. Sanavälejä koskevaa tietoa kerätään kauempaakin.

Visuaalisessa haussa näkyvyysalue on pysty- ja vaakasuunnassa ilmeisesti yhtä suuri ja sen koko riippuu siitä, minkälaista informaatiota haetaan. Esimerkiksi kirjain- ja numeromerkkejä käytettäessä alueen koko on noin 5x5 merkkiä (24), myös tietokoneikoneille se on noin 5x5 ikonia (16), mutta kasvokuville vain 2-4 kasvoa (26). Alueen koko näyttää riippuvan kohteiden monimutkaisuudesta niin, että monimutkaisille kohteille näkyvyysalueen koko on pienempi (26), kun koko ilmaistaan kohteiden lukumääränä. On ilmeistä, että näkyvyysaluetta rajoittaa verkkokalvon epähomogeenisuuden lisäksi se, että vierekkäiset kohteet häiritsevät toistensa näkymistä sekä se, että emme voi kohdistaa huomiotamme kovin suureen määrään informaatiota kerrallaan.

Visuaalinen haku on yksi näköhavainnon perustoiminnoista. Esimerkiksi, kun yritämme löytää mustikkaa metsästä, maitopurkkia jääkaapista, kynää pöydältä, tuttua ihmistä rautatieasemalla tai määrättyä sanaa tietosanakirjasta teemme visuaalista hakua. Visuaalinen haku on sitä vaikeampaa, mitä enemmän ja samanlaisempia kohteita on haetun kohteen lähistöllä. Esimerkiksi, jos rautatieasemalla on vain muutama ihminen, tutun henkilön visuaalinen haku on helppoa, mutta ruuhka-aikaan se on hyvin vaikeaa.

Mitä pienempi näkyvyysalue on suhteessa tiedon kokonaismäärään, sitä enemmän silmänliikkeitä tarvitaan ja sitä hitaampaa ja vaivalloisempaa on tiedon vastaanotto. Varovasti arvioiden teemme työpäivän aikana noin 100 000 silmän pysähdystä. Jokainen pysähdys vie aikaa ainakin 0,15 sekuntia, mutta yleensä selvästi enemmän. Koska yhteen silmän pysähdykseen kuluu aikaa ei voida oleellisesti lyhentää, ainoa tehokas keino visuaalisen havainnoinnin nopeuttamiseksi on yrittää vähentää fiksaatioiden lukumäärää. Siksi käyttöliittymät ja muut esitykset olisi hyvä suunnitella yksinkertaisiksi ja selkeiksi, jolloin silmänliikkeitä ja fiksaatioita tarvitaan vähemmän.



Kuva 5. Lukemisessa silmät liikkuvat nykäyksittäin. Yhdellä silmän pysähdyksellä vastaanotetaan kirjaintietoa noin 10:n merkin alueelta.

Huomion kohdistaminen eli visuaalinen attentio

Toimintoja, jotka ohjaavat tiedon valikointia, kutsutaan visuaaliseksi attentioksi eli huomion kohdistamiseksi. Nämä mekanismit osallistuvat silmänliikkeiden ohjaukseen. Ne vaikuttavat myös siihen, minkälaista ja kokoista informaatiota käsitellään, sekä jossain määrin myös siihen, kuinka laajalta näkökentän alueelta tietoa kerätään kullakin katseen kohdistuksella.

Ympäristöstään poikkeavat ärsykkeet pyrkivät vetämään automaattisesti huomion puoleensa (alhaalta ylöspäin suuntautuva eli bottom up -ohjaus). Aivot voivat ohjata huomiota enemmän tai vähemmän tietoisesti ja päämäärähakuisesti (ylhäältä alaspäin suuntautuva eli top down -ohjaus).

Vaikka subjektiivinen kokemuksemme on, että näemme selvästi kaiken sen mitä katsomme, emme havaitse tietoisesti sellaista, mihin huomiomme ei kohdistu. Kuvassa 6 havainnollistetaan näkökykymme rajallisuutta. Oikealla olevassa kuvassa on neljä "virhettä" tai puutosta verrattuna vasempaan kuvaan. Vaikka koemme, että näemme molemmat kuvat selvästi, virheiden löytäminen edellyttää yksityiskohtaista kuvien tarkastelua ja useita silmänliikkeitä kummassakin kuvassa ja niiden välillä.



Kuva 6. Löydä neljä virhettä oikeanpuoleisesta kuvasta. Virheiden löytäminen vaatii aikaa. Pystymme kohdistamaan huomiomme varsin rajalliseen määrään kuvatietoa kerrallaan.

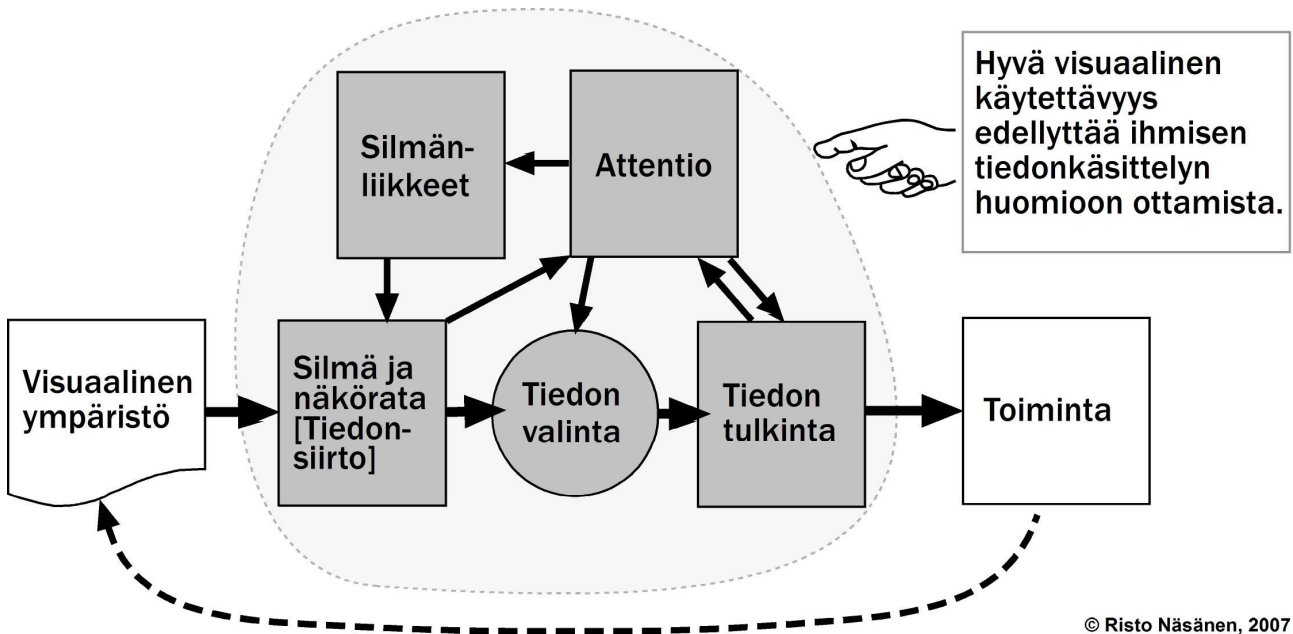
Etsiessämme esimerkiksi jotain tiettyä käyttöliittymän elementtiä silmämme liikkuvat näytön eri osissa, kunnes löydämme etsimämme. Ääreisnäköön yllättäen ilmestyvät, ympäristöstään poikkeavat ärsykkeet vetävät huomion ja silmänliikkeen puoleensa (39).

Voimakkaasti huomiota keräävät kohteet voivat myös estää tai häiritä huomion kohdistumista työn kannalta oleelliseen informaatioon. Visuaalisen haun on todettu hidastuvan yllättäen näkökenttään ilmestyvien kohteiden vaikutuksesta (42).

Kaavio tiedon käsittelystä näköjärjestelmässä

Kuva 8 esittää tiivistetyssä muodossa ne tekijät, jotka vaikuttavat näköinformaation käsittelyyn. Ympäristöstä tieto siirtyy silmien ja näkörajojen kautta aivoihin. Aivoissa kullakin hetkellä oleellinen tieto valikoidaan tulkintaa varten. Tulkinnan perusteella toimimme ympäristössä jollakin tavalla. Esimerkiksi voimme klikata hiirellä jotain käyttöliittymän elementtiä. Se puolestaan aiheuttaa muutoksen käyttöliittymässä. Kuvassa paksu katkoviiva

"toiminnasta" "Visuaaliseen ympäristöön" kuvaa käyttäjän käyttöliittymään kohdistamaa toimintaa. Muuttuneesta käyttöliittymästä tieto siirtyy silmien ja näköradan kautta aivoihin. Tyypillisesti tämä sykli toistuu lukuisia kertoja.



© Risto Näsänen, 2007

Kuva 7. Käyttöliittymän tai muun visuaalisen ympäristön sisältämän tiedon käsittely näköaistissa ja aivoissa. Tiedonkäsittelyyn vaikuttavat silmän ja näköradan tiedonsiirto-ominaisuudet, tiedon valinta ja tulkinta. Näihin edelleen vaikuttavat silmän liikkeet ja mekanismit, jotka ohjaavat huomion kohdistumista (=attentio).

Tiedon valintaa ohjaa attentio-mekanismit. Ne puolestaan ovat riippuvaisia tiedon tulkinnasta (top down -ohjaus) ja vastaanotetusta tiedosta (bottom up -ohjaus). Attentio ohjaa silmänliikkeitä eli silmien suuntausta käyttöliittymän eri osiin ja vaikuttaa myös siten tiedon valintaan.

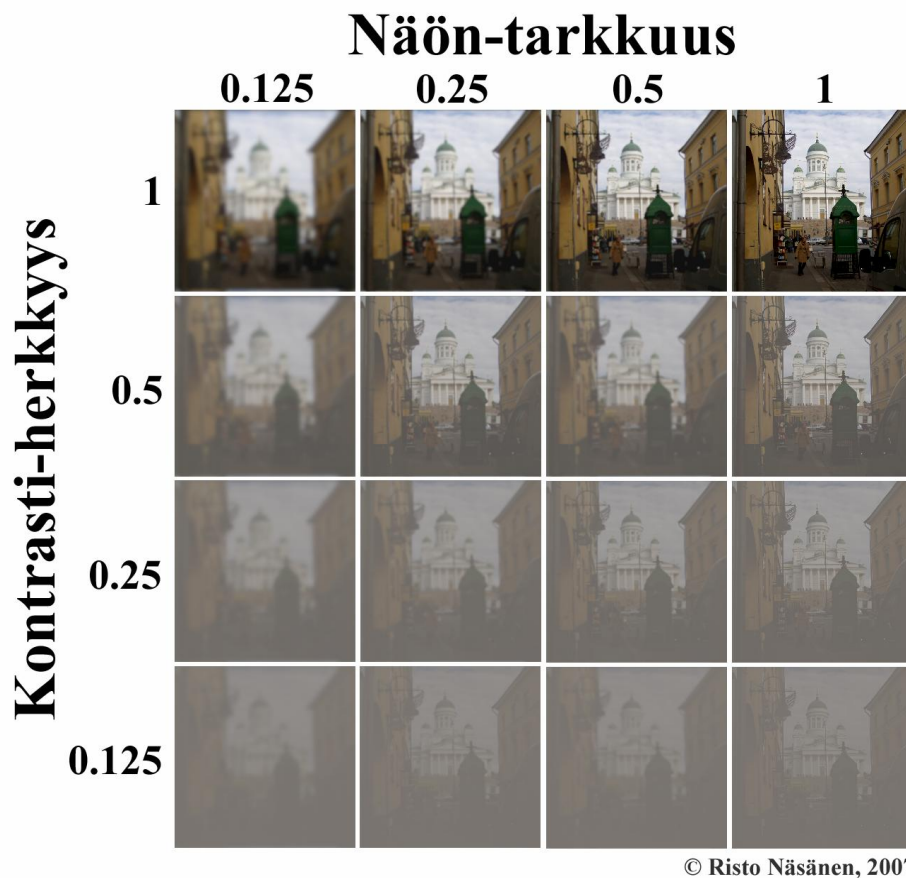
Yksilöiden väliset erot näkökyvyssä ja ikääntyminen

Yksilöiden välillä on suuria eroja näkökyvyssä, mikä on tärkeää ottaa huomioon visuaalisten ympäristöjen suunnittelussa. Tässä *näkökyvyllä* eli *toiminnallisella näöllä* (visual function) tarkoitetaan kykyä tulkita ympäristön visuaalista informaatiota oikein ja käyttää sitä hyväksi toimimisessa tässä ympäristössä. Näkökyky koostuu lukuisista eri osatekijöistä kuten kontrastiherkkyys, näöntarkkuus, kyky havaita liikettä, syvyytnäkö, havaintonopeus, huomion kohdistamiskyky eli visuaalinen attentio (tarkkaavaisuus), toiminnallisen näkökentän herkkyyden ja laajuus jne. Osa toiminnallisesta näkökyvystä perustuu eroihin ns. matalan tason prosesseissa

näköaistissa. Ilmeistä kuitenkin on, että myös korkeamman tason prosesseissa, kuten hahmontunnistus-nopeudessa, visuaalisen attention laajuudessa sekä visuo-spatiaalisen työmuistin kapasiteetissa on huomattavia yksilöiden välisiä eroja.

Näöntarkkuus ja kontrastiherkkyys

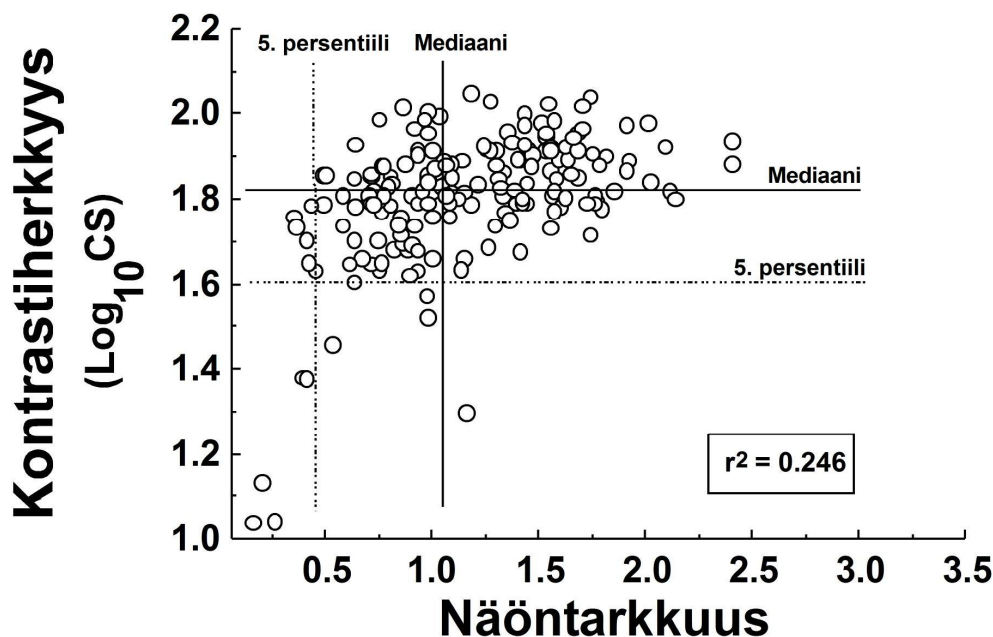
Näöntarkkuudella tarkoitetaan kykyä nähdä pieniä kohteita taikka kohteiden pieniä yksityiskohtia. Näöntarkkuutta tyypillisesti mitataan kirjaintauluilla. *Kontrastiherkkyys* puolestaan tarkoittaa kykyä nähdä pieniä vaaleus- tai värieroja. Näöntarkkuudella ja kontrastiherkkyydellä on seuraavanlainen yhteys: Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, kyky nähdä pieniä kirjaimia on huono, jos kontrasti on alhainen. Ts. näöntarkkuus riippuu kontrastista. Toisaalta kyky nähdä pieniä kontrasteja on heikko, jos merkin koko on pieni. Kontrastiherkkyys siis riippuu kohteen koosta.



Kuva 8. Tässä havainnollistetaan alentuneen kontrastiherkkyuden ja näöntarkkuuden (terävyys) vaikutusta havaittavan visuaalisen informaation määrään.

Kuva 8 kuvaa alentuneen näöntarkkuuden ja kontrastiherkkyuden vaikutusta ympäristön havaitsemiseen. Kuvasta nähdään, että molemmat osatekijät ovat oleellisen tärkeitä luotettavalla havaitsemiselle.

Kuvassa 9 on esitetty miten näöntarkkuus ja kontrastiherkkyys vaihtelevat yksilöstä toiseen ja minkälainen on kontrastiherkkyuden ja näöntarkkuuden välinen suhde. Kukin pieni ympyrä edustaa yhden henkilön vasenta tai oikeaa silmää. Sekä kontrastiherkkyudessa että näöntarkkuudessa on suurta vaihtelua. Yksilön näöntarkkuudella ja kontrastiherkkyydellä ei ole selvää yhteyttä ts. ne kuvaavat eri puolia näkökyvyssä.

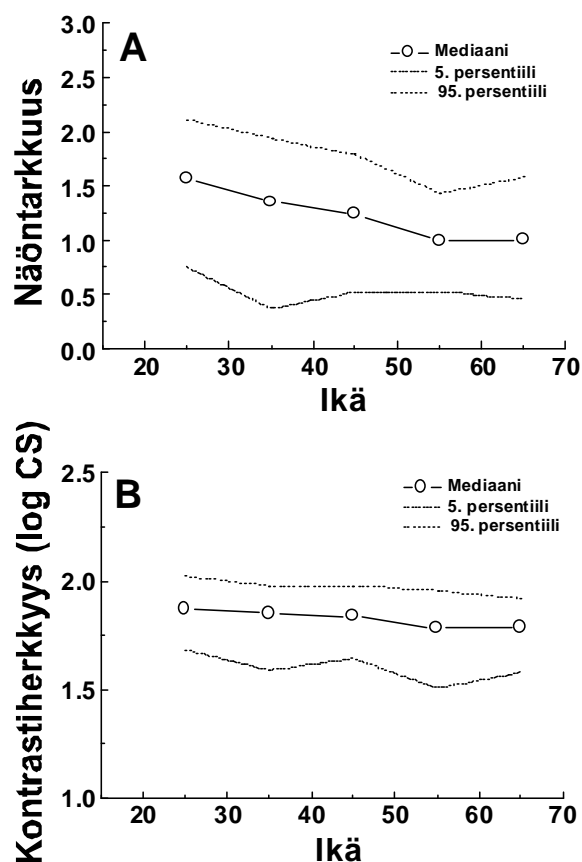


Kuva 9. Näöntarkkuuden ja kontrastiherkkyuden vertailua. Näöntarkkuus selittää vain vähän kontrastiherkkyudesta eikä henkilön näöntarkkuus ennusta suoritumista kontrastiherkkyystestissä luotettavasti (Näsänen ja Päällysaho, 2007). Mediaani tarkoittaa suoritus-arvoa, jonka ylä- ja alapuolella on 50% henkilöistä, 5. persenttiili tarkoittaa suoritus-arvoa, jonka alapuolella on 5% henkilöistä (Näsänen ja Päällysaho, 2007).

Näköaistissa tapahtuu fysiologisia ja anatomisia muutoksia iän myötä. Parhaiten tunnettu muutos on varmaankin ns. ikänäköisyys, jossa silmän linssin mukautumiskyky eri katseluetaisyyksille vähitellen vähenee iän lisääntyessä. Tämä on edelleen varsin merkittävä ongelma mm. tietokonetyöskentelyssä, jossa joudutaan katselemaan eri etäisyyksillä ja eri suunnissa sijaitseviin kohteisiin kuten näyttö, näppäimistö ja mahdollinen paperilla oleva teksti. Nykyisillä moniteho-laseilla ei aina saada verkkokalvolle terävää kuvaa kaikilta tarpeellisilta etäisyyksiltä kaikissa katselukulmissa.

Ikä tuo myös muita muutoksia silmän optiseen järjestelmään. Erilaiset optiikan

vääristymät (aberraatiot) lisääntyvät ja heikentävät verkkokalvolle muodostuvan kuvan terävyyttä vaikka tavanomaiset taittovirheet olisi korjattu (10, 3). Pupillin koko pienenee iän myötä (senile miosis), mikä osin kompensoi optiikan vääristymien vaikutuksia. Lisäksi silmän optisten väliaineiden valon läpäisevyys vähenee. Siksi verkkokalvolle muodostuvan kuvan kirkkaus heikkenee iän lisääntyessä. Varsin merkittävä optinen muutos on myös häikäistymisalttiuden kasvu, joka pääosin liittyy silmän linssin ja muiden optisten väliaineiden vähittäiseen samentumiseen. Tällä on merkitystä erityisesti liikenne-ammateissa vastavalo-tilanteissa. Myös toimisto-olosuhteissa ikkunoista tuleva valo tai näkökentässä olevat valaisimet voivat aiheuttaa häikäistymistä. Häikäisy heikentää verkkokalvolle muodostuvan kuvan kontrastia.



Kuva 10. (A) Iän vaikutus näöntarkkuuteen ja (B) kontrastiherkkyteen. Iän vaikutus on tilastollisesti merkitsevä, mutta yksilöiden väliset erot (katkoviivojen välinen ero) kussakin ikäryhmässä ovat paljon suuremmat kuin iän vaikutus (Näsänen ja Päällysaho, 2007).

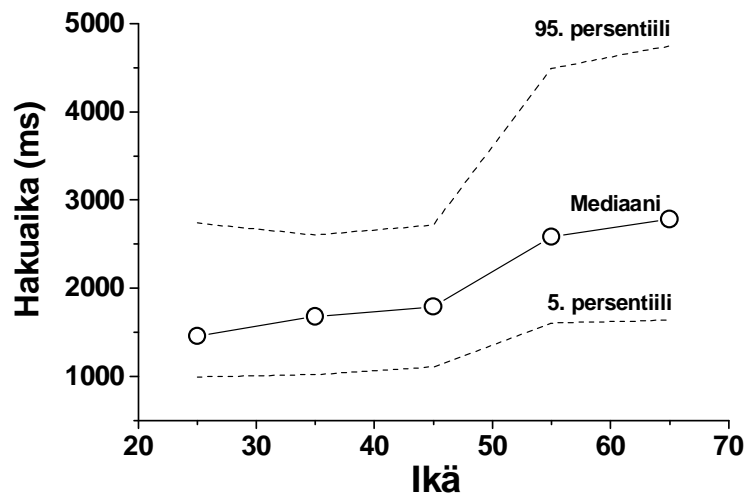
Useat tutkimukset osoittavat, että näön kontrastiherkkyys, eli kyky nähdä pieniä kontrasteja, heikkenee iän myötä (7, 33, 5). Pääosin kontrastiherkkyden aleneminen tapahtuu kuitenkin vain ns. melko korkeilla paikkataajuuksilla (spatial frequency), mikä tarkoittaa sitä, että se koskee vain pienehköjen yksityiskohtien havaitsemista. Suuret objektit havaitaan melkein yhtä hyvin kuin nuorena. Osa tästä selittyy yllä mainituilla optisilla tekijöillä,

mutta osa kontrastiherkkyiden alenemisesta perustuu näön hermojärjestelmän tiedonkäsittelyn hyötysuhteen (efficiency) pienenemiseen.

Käytettävissä olevasta informaatiosta pienempi osa pystytään siirtämään aivoihin taikka kyetään tulkitsemaan (33, 5).

Kuvassa 10 on esitetty iän vaikutus näöntarkkuuteen ja matalataajuisen tiedon (isokokoisten kohteiden) kontrastiherkkyteen sekä näöntarkkuuden ja kontrastiherkkyiden vaihtelu katkoviivoilla. Näissäkin tuloksissa iällä nähdään olevan selvä vaikutus molempiin, varsinkin näöntarkkuuteen: näöntarkkuus ja kontrastiherkkyys alenevat iän lisääntyessä. Kuitenkin yksilöiden välinen näöntarkkuuden ja kontrastiherkkyiden vaihtelu on suurempaa kuin iän vaikutus.

Iän myötä havaintonopeus hidastuu jossain määrin. Havaintonopeutta voidaan mitata visuaaliseen hakuun kuluvana aikana. 60-70-vuotiailla hakuajat ovat kesimäärin noin kaksinkertaiset 20-30-vuotiaisiin verrattuna (27). On ilmeistä, etteivät iän mukanaan tuomat silmän optiikan muutokset selitä tätä tulosta. Tulos heijastanee aivojen näkötiedon prosessointinopeuden hidastumista. Tässäkin tapauksessa yksilöiden väliset erot kussakin ikäryhmässä ovat suuremmat kuin iän vaikutus.



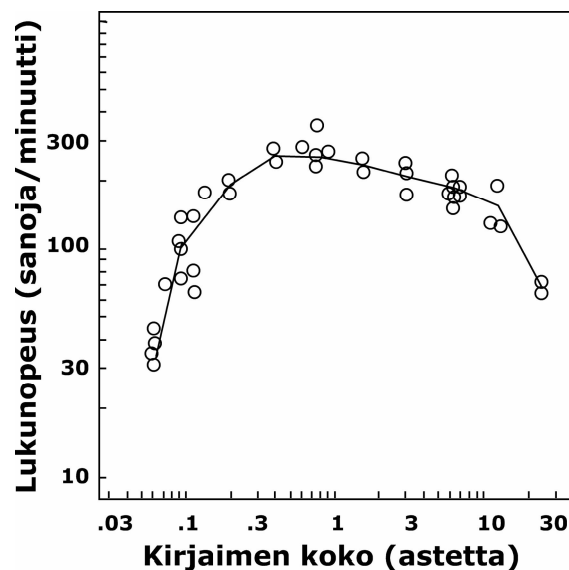
Kuva 11. Iän vaikutus visuaaliseen haun nopeuteen. Hakuaika kasvaa iän myötä eli haun nopeus vähenee. Katkoviivojen välinen alue kuvaa yksilöiden välistä vaihtelua hakuajoissa.

Myös kuvakkeiden löytymisnopeudessa iän vaikutukset ovat vähäisemmät kuin yksilöiden väliset erot kussakin ikäryhmässä (17). *Ikä on siis vain yksi osatekijä, joka aiheuttaa yksilöiden välisiä eroja näkökyvyssä.*

OSA II. TIEDON ESITYS

Koon ja kontrastin vaikutukset käyttöliittymäinformaation havaitsemiseen

Merkkien (kirjainten ja numeroiden) koolla ja kontrastilla on huomattava vaikutus alfanumeerisen tiedon tulkinnanopeuteen. Korkealla kontrastilla merkkien lukunopeus paranee. Tällöin riittävä keskimääräinen kirjaimen koko on noin 0,4 näkökulman astetta (13). Tämä vastaa kirjaimen korkeutta 0,4 cm katseluetäisyydeltä 57 cm, kirjaimen korkeutta 0,5 cm katseluetäisyydeltä 70 cm ja kirjaimen korkeutta 0,7 cm etäisyydeltä 100 cm. Jos kirjainkoko puolitetaan, puoliintuu myös lukunopeus (13). Typografiassa kirjainkoko on määritelty pienen x :n korkeuden mukaan. On kuitenkin huomattava, että näinkin määriteltynä kirjainkoko on hieman epätarkka ilmaisu, koska kirjainten korkeus ja leveys vaihtelee ja riippuu myös kirjasinlajista (typeface, font).



Kuva 12. Maksimilukunopeuden riippuvuus kirjainten koosta (13). Kun kirjainkoko on pieni, lukunopeus hidastuu hyvin jyrkästi. Yksi aste vastaa 1 cm:n kokoa katseltuna 57 cm:n etäisyydeltä.

Lukunopeus (14) ja visuaalisen haun nopeus (24, 25, 35) pienenevät, kun merkkien tai symbolien (ikonien) kontrasti pienenee. Silmän optinen järjestelmä ja näön neuraalinen järjestelmä vaimentavat pienten kirjainten kontrastia, siksi pienten kirjainten ja matalan kontrastin yhteisvaikutus on erityisen haitallinen lukunopeuden ja visuaalisen haun kannalta. Tämä pätee sekä alfanumeerisen tiedon että graafisen tiedon visuaaliseen hakuun (23,

16).

Kun käytetään mustaa ja valkoista on vaaleuskontrasti maksimaalinen. Vaaleuskontrasti heikkenee tai voi hävitä jopa kokonaan, kun käytetään muita värejä. Jos kirjaimet erottuvat taustasta vain värisävyiltään (värikontrasti), esimerkiksi vihreät kirjaimet vaaleusarvoltaan samanlaisella punaisella taustalla, täytyy kirjainten olla kooltaan noin kolminkertaiset verrattuna mustien kirjainten esittämiseen valkoisella pohjalla. Tämä johtuu siitä, että näköaistin erotuskyky (näöntarkkuus) on värierioille huomattavasti pienempi kuin vaaleuseroille (19, 20).

Lukunopeus ja visuaalisen haun nopeus hidastuvat merkittävästi vaaleuskontrastin pienetessä, vaikka värikontrasti olisikin lähes maksimaalinen. Esimerkkinä tästä ovat vihreät kirjaimet punaisella taustalla (30). Hidastuminen on seurausta lisääntyneestä tarpeesta käyttää silmänliikkeitä. Samalla silmän pysähdysten kesto pitenee.

Hyvän luku- tai havaintonopeuden saavuttamiseksi teksti, numerot ja muut graafiset symbolit on esitettävä riittävän suuressa koossa. Jos käytetään värejä tai vaaleuskontrasti on muutoin pienempi kuin maksimaalinen (valkoinen ja musta), tulisi käyttää suurempia merkki- tai symbolikokoja. Yksinkertainen käytännöllinen keino varmistaa tiedon riittävän hyvän näkyminen, on katsella tekstiä tai graafista esitystä etäisyydeltä, joka on noin kolminkertainen normaaliin katseluetäisyyteen verrattuna (tai vastaavasti koossa, joka on kolmasosa suunnitellusta koosta). Jos informaatio vielä tällöin on juuri tunnistettavissa, se on nopean havaitsemisen kannalta riittävän näkyvää normaalilta katseluetäisyydeltä.

Tiedon sijoitus (Layout)

Tiedon sijoittelun tulisi tukea tiedon nopeaa löytymistä ja ymmärrettävyyttä. Yleensä haetun tiedon löytymiseen kuluva aika on suoraan verrannollinen kokonaistiedon määrään. Tämän vuoksi näytöllä ei saisi olla tehtävän kannalta epäoleellista tietoa. Tiedonhaku monimutkaiselta näytöltä vaatii useita silmänliikkeitä. Vain pieni osa näytöstä voidaan nähdä tarkasti katseen kohdistuskohdassa tai sen läheisyydessä. Jokaista silmän liikaudesta seuraa silmän pysähdys, fiksaatio, joka vie aikaa 0,15-0,4 sekuntia. Mitä enemmän silmänliikkeitä tarvitaan sitä enemmän aikaa kuluu, ja sitä vaivalloisempaa näytön katselu on. Jos informaatio on sijoitettu niin, että kullakin katseen kohdistuksella voidaan kerätä mahdollisimman paljon tietoa, katseen kohdistuksia on vähemmän ja havaitseminen on sujuvampaa.

Toisaalta tiedonsijoittelun tulisi ohjata katseen kohdistusta osoittamalla, missä kohdassa näyttöä on oleellista informaatiota. Jos yhdellä katseen kohdistuksella keskelle näyttöä pystytään näkemään kaikki näytön pääosat, layout on riittävän yksinkertainen. Eräs mahdollinen tapa selkeyttää tiedon sijoittelua on merkitä oleelliset alueet käyttöliittymässä haaleilla taustaväreillä,

jotka voidaan nähdä ääreisnäössä (41). Epäterävä ääreisnäkö antaa käyttäjälle vihjeitä siitä, mihin silmiä kannattaa seuraavaksi kohdentaa. Tämä vähentää tarvetta tehdä aikaa kuluttavia silmänliikkeitä.

Tiedon tiheys

Se, kuinka lähekkäin toisiaan ikonit on sijoitettu, ei vaikuta kohdeikonin hakemiseen kuluvaan aikaan. Ikonien sijoittaminen kovin lähelle toisiaan koetaan kuitenkin erittäin epämiellyttäväksi. Suositeltava ikonien väli on leveydeltään noin yksi ikoni (16). Tällä on merkitystä erityisesti suunniteltaessa mobiililaitteiden käyttöliittymiä. Niissä näyttöjen koko on pieni ja houkutus sijoittaa tietoa tiheästi on suuri.

Teksti- ja numerotieto

Listan suunta

Valikoissa informaatio on tyypillisesti esitetty alfanumeerisesta informaatiosta koostuvina listoina. Listan suunta voi yleensä olla joko vaaka, pysty tai sitten se on useammalla rivillä. Kohteen löytymiseen kuluva aika ei riipu listan suunnasta, mutta pystysuuntaiset listat kyetään käsittelemään pienemmällä määrällä silmänliikkeitä (32). Pystylistoista koehenkilöt lukivat yhdellä silmän kohdistuksella 4-5 sanaa, kun taas vaakalistoista kyettiin lukemaan vain 1-2 sanaa (32). Silmänliikkeiden kannalta on siis parempi suosia pystylistoja.

Tekstin esittäminen mobiililaitteiden pienillä näytöillä ei aina salli normaalilevyisten palstojen käyttöä. Jos palstan leveys on vain yksi sana, on lukunopeus vain hieman huonompi kuin normaalilevyisiä palstoja käytettäessä (12). Tällöin useampaa kuin yhtä sanaa ei voida lukea yhdellä katseen kohdistuksella.

Se johtuu todennäköisesti normaalitekstin ajatuksen etenemisestä ajassa tietyssä järjestyksessä: Tekstissä sanat käsitellään ja tulkitaan ajallisesti peräkkäin eikä esimerkiksi 4-5 sanaa samanaikaisesti, kuten luettaessa ja tulkittaessa pystysuoria menulistoja. Rivien väli ei saisi olla suurempi kuin kaksi kirjaimen korkeutta (32).

Listojen tasaus

Yleinen käytäntö (1) on, että pystysuuntaiset sanalista tasataan vasempaan reunaan. Numeeriset listat, joissa on desimaalipiste tai -pilkku tasataan pisteen tai pilkun mukaan. Jos numeerisessa listassa ei ole desimaalipilkkuja, se tasataan oikealle.

Kirjasinlajin vaikutus tiedon luettavuuteen

Tutkimukset osoittavat, että kirjasinlajilla on vain vähän merkitystä lukunopeuden kannalta, kunhan kirjainten koko on riittävä. Kirjasinlaji, jossa kirjaimen viemä tila on suhteutettu kirjaimen leveyteen (esim. 'i' on kapeampi kuin 'm' ja vie pienemmän tilan), nopeuttaa lukemista hieman. Tällöin yhdellä katseen kohdistuksella nähdään hieman enemmän kirjaimia (18) kuin suhteuttamatonta kirjasinlajia käytettäessä.

Käänteinen kontrasti

Tavallisimmin tumma teksti esitetään vaalealla taustalla. Toisinaan graafisena tehokeinona käytetään käänteistä kontrastia, jolloin vaalea teksti esitetään tummalla taustalla. Lukunopeustutkimukset osoittavat, ettei käänteisyydellä ole vaikutusta lukunopeuteen, kunhan kontrasti kirjainten ja taustan välillä on riittävä. Kuitenkin tietokoneiden näytöillä ulkoisista valolähteistä tulevat heijastukset näkyvät helpommin tummalla kuin vaalealla taustalla. Heijastukset voivat joissakin tapauksissa olla häiritseviä. Muutoin ei näytä olevan mitään estettä käyttää käänteistä kontrastia.

Graafisen tiedon esittäminen

Sanalliseen informaatioon verrattuna graafinen informaatio, ikonit ja muut graafiset symbolit ja kuvaukset, voivat merkittävästi nopeuttaa ja helpottaa visuaalisen tiedon käsittelyä näköaistissa ja aivoissa. Esimerkiksi, kättä esittävä hiiren kursori, jossa etusormi on osoittavassa asennossa, voidaan havaita vain yhdellä katseen kohdistuksella. Vastaava informaatio tekstimuodossa "paina tätä nappia" vaatisi ainakin kaksi silmän pysähdystä ja siksi ainakin kaksinkertaisen tulkinta-ajan. Liikennemerkkit ovat erittäin hyviä esimerkkejä kuvakielestä, jonka havaitseminen ja tulkinta tapahtuu erittäin nopeasti verrattuna siihen, että sama informaatio esitettäisiin tekstinä. Näköärsykkeenä tekstimuotoinen esitystapa on usein paljon monimutkaisempi kuin hyvin suunniteltu graafinen esitystapa. Ollakseen tehokkaita graafiset symbolit tulee suunnitella yksinkertaisiksi ja symbolijoukon jokaisen yksittäisen symbolin tulee erota toisista selkeästi. Jos graafiset symbolit ovat liian samanlaisia keskenään, niiden tunnistus hidastuu.



Kuva 13. Saman sisällön esittäminen graafisesti ja tekstimuodossa. Liikennemerkki voidaan tunnistaa nopeasti yhdellä silmäyksellä jopa niin, ettei silmä ole siihen kohdentunut. Kuvan tekstimuotoinen esitystapa vaatii kolme silmän kohdistusta ja siten ainakin kolminkertaisen katseluajan.

Tehokkaan graafisen esityksen perusvaatimus on, että se voidaan prosessoida mahdollisimman pienellä määrällä silmäkohdistuksia. Tarvittavien silmäkohdistuksien määrä ja prosessointiaika kasvaa visuaalisen esityksen monimutkaisuuden myötä. Koon ja kontrastin vaikutukset prosessointiaikaan ovat samanlaiset kuin alfanumeerisen tiedon yhteydessä. Kovin matala vaaleuskontrasti ja pieni koko lisäävät tiedon tulkintaan kuluvaa aikaa (25, 16).

Vaikka graafinen esitys voi nopeuttaa tiedon tulkintaa huomattavasti, on graafisten symbolien merkitykset ensin opetettava. Oppimista helpottaa, jos graafiset symbolit muistuttavat niitä objekteja ja toimintoja, joita ne edustavat.

Pimeällä näkö toimii hitaasti ja epätarkasti

Valon määrän väheneminen, kuten hämärällä ajettaessa, hidastaa visuaalisen tiedonsiirron nopeutta näköaistissa sekä hidastaa hahmontunnistusta (Näsänen et al, 2006). Lisäksi näöntarkkuus ja kontrastiherkkyys heikkenevät (esim. 21). Siksi riittävä valaistus on tärkeää nopean ja luotettavan havaitsemisen kannalta. Jos on toimittava hämärässä, kuten pimeällä ajettaessa, on syytä antaa luotettavalle havaitsemiselle aikaa. Liikenteessä tämä edellyttää, että ajetaan selvästi alhaisemmalla nopeudella kuin hyvässä valossa.

Minkälaiset visuaaliset piirteet vetävät huomion puoleensa

Visuaalisen tiedon valikoinnin ja rajallisen huomiokykymme johdosta vain pieni osa näytöllä olevasta informaatiosta tulee tietoisuuteen. Tietoisesti näemme vain sen, mihin huomiomme kohdistuu. On todennäköistä, että monet yksityiskohdat ja tapahtumat käyttöliittymissä ja muissa visuaalisissa ympäristöissä jäävät huomaamatta. Jotkin tapahtumat, kuten automaatiojärjestelmien hälytykset, voivat olla äärimmäisen tärkeitä havaita. Silloin on välttämätöntä käyttää tiedon esittämisessä keinoja, jotka automaattisesti vetävät huomion puoleensa.

Näköaistissa on mekanismeja (ns. "preattentiivinen näkö"), jotka automaattisesti suuntaavat huomion ympäristöstään poikkeaviin ärsykkeisiin (38). Poikkeavat ärsykkeet ikään kuin "pomppaavat" ympäristöstään esiin (pop out). Suuret ympäristöstään poikkeavat väri-, tummuus-, koko- ja kallistuskulmaerot voivat olla huomiota herättäviä. Myös yllättäen näytölle ilmaantuvat objektit vetävät huomion (46) ja silmän kohdistuksen puoleensa (39). Välkkyvät ja liikkuvat kohteet ovat myös erittäin tehokkaita huomion sieppaajia.

Huomion kohdistaminen johonkin kohteeseen tai tapahtumaan estää huomion kohdistamista muuhun mahdollisesti tärkeämpään asiaan. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että huomiota puoleensa vetäviä menetelmiä ei käytetä muulloin kuin silloin, kun se on hyvin perusteltua.

Iän vaikutusten ja alentuneen näkökyvyn huomioonottaminen

Osa ikääntymisen näkövaikutuksista voidaan kompensoida oikealla suunnittelulla varsin yksinkertaisesti. Koska verkkokalvolle saapuvan valon määrä pienenee iän myötä, tulisi käyttöliittymän tai muun visuaalisen esityksen kirkkaustasoon (luminanssi) kiinnittää huomiota. Nykyiset LCD-näytöt (litteät näytöt vuonna 2007) ovat noin 2,5 - 4,5 kertaa niin kirkkaita (maksimi valotiheys noin 250 - 450 cd/m²) kuin perinteiset kuvaputkinäytöt eli CRT-näytöt (maksimi valotiheys noin 100 cd/m²). Lisäkirkkaus ainakin osittain kompensoi myöhemmällä keski-ikäällä alentuneen valomäärän verkkokalvolla. Kompensoinnin ansiosta esimerkiksi värien havaitseminen (erottelu) voi olla ikääntyneellä yhtä hyvä kuin nuorilla (34). Jo lähitulevaisuudessa uudet aberraatiokorjatut piilolasit tai silmälasit saattavat lieventää ikääntymisen vaikutuksia näkökykyyn. Myös uudet multifokaaliset piilolasit voivat vähentää silmien ja niska- ja hartiasseudun kuormitusta tietokonetyössä ikänäköisillä henkilöillä.

Käyttämällä suurempia kirjaimia, numeroita ja graafisia symboleita voidaan

tehokkaasti kompensoida optisen ja neuraalisen järjestelmän alentunutta kykyä välittää hienojakoista informaatiota. Kohteen ja taustan välisen kontrastin tulisi olla myös riittävä. LCD-näytöissä kontrasti muodostuu suuremmaksi, koska se heijastaa vähemmän ulkoista valoa ja sen piirtokyky on parempi. On kuitenkin huomattava, että pienikokoisilla LCD-näytöillä merkkien koko voi olla liian pieni. WindowsXP-käyttöjärjestelmän asetuksilla saattaa olla vaikea tai monimutkaista ja jopa mahdotonta korjata merkkien kokoa sopivaksi kaikissa tilanteissa. Mac OS X:ssä on varsin yksinkertainen ja käyttökelpoinen näppäinkomennoilla toimiva näytön zoomaus-menetelmä. Jos suurennus-tarve on suuri, ongelmaksi kuitenkin tulee navigointi näytön alueella, koska vain pieni osa näyttöalueesta on näkyvissä kerrallaan.

Kaikkia vanhenemisen vaikutuksia ei kuitenkaan voi kompensoida. Esimerkiksi havaintonopeus hidastuu iän myötä, vaikka optiset tai kontrastiherkkyteen liittyvät tekijät eivät olisi rajoituksena. Yksilöiden välillä on kuitenkin huomattavia eroja havaintonopeudessa. Nopea 60-70 -vuotias voi olla nopeampi kuin keskiverto 25-vuotias. Kussakin ikäryhmässä yksilöiden väliset erot nopeudessa ovat paljon suuremmat kuin keskimääräinen iän mukanaan tuoma hidastuminen.

On tärkeää huomata, että näkökyky vaihtelee enemmän kussakin ikäryhmässä kuin ikäryhmien välillä. Koska näkökyky ylipäätään vaihtelee paljon, tulisi käyttöliittymien olla helposti muokattavissa ainakin koon suhteen kunkin käyttäjän omien tarpeiden mukaisiksi (ks. esim. 17).

VISUAALISEN KÄYTETTÄVYYDEN OHJEET LYHYESTI

1. Esityksessä tulisi käyttää hieman suurempia kirjaimia ja graafisia elementtejä kuin subjektiivisesti tuntuisi riittävältä.
2. Kun käytetään värejä, on tärkeää varmistaa, että kirjainten ja taustan välillä on selvä tummuusero eli selvä vaaleuskontrasti.
3. Tiedon sijoittelussa (layout) tulee pyrkiä yksinkertaisuuteen ja välttää kaiken turhan tiedon esittämistä.
4. Tiedon sijoittelu on selkeä, jos sivun kokonaishahmo on havaittavissa yhdellä silmäyksellä.
5. Graafista tiedon esitystapaa kannattaa suosia.
6. Liikkuvia tai välkkyviä elementtejä on syytä välttää, ellei niiden käyttö ole hyvin perusteltua.

LÄHTEITÄ

1. ISO 9241-12: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 12: Presentation of information.
2. Akutsu H., Bedell H.E., Patel S.S. Recognition thresholds for letters with simulated dioptric blur. *Optometry and Vision Science*, 77, 524 - 530, 2000.
3. Artal, P., Berrio, E., Guirao, A. ja Piers, P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J. Opt. Soc. Am. A* 19, 137 - 143, 2002.
4. Bedell H.E., Patel S., Chung S.T.L. Comparison of letter and vernier acuities with dioptric and diffusive blur. *Optometry and Vision Science*. 76, 115 - 120, 1999.
5. Bennett, P.J., Sekuler, A. B. ja Ozin, L. Effects of aging on calculation efficiency and equivalent noise. *J. Opt. Soc. Am.*, A 16, 654 - 668.
6. Boschman, M.C. & Roufs, J.A.J. (1997). Text quality metrics for visual display units: II. An experimental survey. *Displays*, 18, 45-64.
7. Burton , K. B., Owsley, C. ja Sloane , M.E. Aging and the neural spatial contrast sensitivity: Photopic vision. *Vision Research*, 33, 939 - 946, 1993.
8. Ciuffreda K.J. ja Tannen, B. *Eye movement basics for the clinician*. Mosby-year Book, Inc. St. Louis , 1995.
9. Curcio, C. A., & Allen, K. A. (1990). Topography of ganglion cells in human retina. *The Journal of Comparative Neurology*, 300, 5 – 25.
10. Guirao, A., Gonzáles, C., Redondo, M., Geraghty, E., Norrby, S. ja Artal, P. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40, 203 - 213, 1999.
11. Georgeson MA, Sullivan GD. Contrast constancy: deblurring in human vision by spatial frequency channels. *J. Physiol.* 252, 627-56, 1975.
12. Laarni, J. Simola, J., Kojo, I. ja Näsänen, R. Reading vertical text from a computer monitor. *Behavior and Information Technology*, 23, 75 - 82, 2004.
13. Legge G.E., Pelli D.G., Rubin G.S. & Schleske M.M. (1985). Psychophysics of reading - I. Normal vision. *Vision Research*, 25, 239 - 252.
14. Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S., & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading – XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research*, 37, 1999 – 2010.
15. Legge, G. E., Kersten, D., Burgess, A.E, Contrast discrimination in noise, *J. Opt. Soc. Am. A* 4 (1987) 391 - 404.
16. Lindberg, T. ja Näsänen, R. The effect of icon spacing and size on the speed of icon processing. *Displays*, 24, 111-120, 2003.
17. Lindberg T., Näsänen R., and Müller K. How age affects the speed of perception of computer icons. *Displays* 27 (2006) 170–177.

18. Mansfield, J.S., Legge, G.E. & Bane, M.C. (1996) Psychophysics of reading XV: Font effects in normal and low vision. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 37, 1492 - 1501.
19. Mullen, K.T. (1985) The contrast sensitivity of human color vision to red-green and Blue-yellow chromatic gratings. *Journal of Physiology*, (London), 359, 381 - 400.
20. Mullen, K.T. & Beaudot, W.H.A. (2002) Comparison of color and luminance vision on a global shape discrimination task. *Vision Research*, 42, 565 - 575.
21. Mustonen, J., Rovamo, J. & Näsänen, R.: The effects of grating area and spatial frequency on contrast sensitivity as a function of light level. *Vision Research* 33 (1993) 2065-2072.
22. Navarro, R, Artal, P, Williams, DR. Modulation transfer of the human eye as a function of retinal eccentricity. *J Opt Soc Am A* 1993;9:201–12.
23. Näsänen, R., Karlsson, J. & Ojanpää, H. (2001) Display quality and the speed of visual letter search. *Displays*, 22, 107 - 113.
24. Näsänen, R., Ojanpää, H. & Kojo, I. (2001) Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*, 41, 1817 - 1824.
25. Näsänen, R. ja Ojanpää, H. Effect of image contrast and sharpness on visual search for computer icons. *Displays*, 24, 137-144, 2003.
26. Näsänen, R. ja Ojanpää, H. How many faces can be processed during a single eye fixation? *Perception*, 33, 67 - 77, 2004.
27. Näsänen, R., Ojanpää, H., Päällysaho, J., Poutiainen, E. ja Sainio, M. Letter Search test - normal values for different age groups. *ECVP 2004, kongressi esitys Perception*, 33, Supplement, 129, 2004.
28. Näsänen R., Ojanpää H., Tanskanen T., and Päällysaho J. Estimation of temporal resolution of object identification in human vision. *Exp Brain Res*. 2006 Jul; 172(4):464-71. Epub 2006 Feb 21.
29. Näsänen, R., Tiippana, K., and Rovamo, J. (1998) Contrast restoration model for contrast matching of cosine gratings of various spatial frequencies and areas. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 18, 269-278.
30. Ojanpää, H. ja Näsänen, R. Utilisation of spatial frequency information in face search. *Vision Research*, 43, 2505 - 2515, 2003.
31. Ojanpää, H. ja Näsänen, R. Effects of luminance and colour contrast on the search of information on display devices. *Displays*, 24, 167 - 178, 2003.
32. Ojanpää H., Näsänen R. & Kojo I. (2002) Eye movements in the visual search of word lists. *Vision Research*, 42, 1499 - 1512, 2002.
33. Pardhan, S., Gilchrist, J., Elliott, D. B. ja Beh. G.K. A comparison of sampling efficiency and internal noise level in young and old subjects. *Vision Research*, 36, 1641 - 1648, 1996.
34. Päällysaho, J., Sainio, M., Näsänen, R., Kaukiainen, A., ja Mäntyjärvi, M. Cortical color vision defects in occupational chronic solvent encephalopathy. 2004. Tarjottu julkaistavaksi.
35. Roufs, J. A. J., & Boschman, M.C. (1997). Text quality metrics for visual display units: I.

Methodological aspects. *Displays*, 18, 37 – 43.

36. Rovamo J., Luntinen O., Näsänen R., Modelling the dependence of contrast sensitivity on grating area and spatial frequency, *Vision Research*, 33, 2773-2788, 1993.

37. Rovamo, J., Kankaanpää, M.I. ja Kukkonen, H. Modelling spatial contrast sensitivity functions for chromatic and and luminance modulated gratings. *Vision Research*, 39, 2387 - 2398, 1999.

38. Simons, D.J. Attentional capture and inattention blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 147-155, 2000.

39. Theeuwes, J, Kramer, AF, Hahn, S, Irwin , DE , Zelinsky, GJ. Influence of attentional capture on oculomotor control. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 25,1595-608, 1999.

40. Thomas, J.P., Fagerholm, P., Bonnet, C., One spatial filter limits speed of detecting low and middle frequency gratings. *Vision Research*, 39, 1683 - 1693, 1999.

41. Van Laar, D.L. Psychological and cartographic principles for the production of visual layering effects in computer displays, *Displays*, 22, 125-135, 2001 .

42. Vassilev, A., Mihaylova, M., Bonnet, C., On the delay of processing high spatial frequency visual information: reaction time and VEP latency study of the effect of local intensity of stimulation, *Vision Research*, 42, 851 - 864, 2002.

43. Virsu V. & Hari R. (1996) Cortical magnification, scale invariance and visual ecology. *Vision Research*, 36, 2971-7.

44. Wertheim, T.H. (1894). Über die indirekte Sehschärfe. *Zetschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorganen*, 7, 172 - 87. (Translated in English by Dunskey, L.L. (1980). Peripheral visual acuity. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 57, 915-24.)

45. Williams, D.R., Artal, P., Navarro, R., McMahon, M.J., Brainard, D.H. Off-axis optical quality and retinal sampling in the human eye. *Vision Research*, 36, 1103–1114, 1996.

46. Yantis, S. ja Jonides, J. Abrupt onset and selective attention: evidence from visual search. *J. Exp. Hu. Percept. Perform.*, 10, 601-621, 1984.