

GOMS-mallit ja niiden käyttö käytettävyyden suunnittelussa ja arvioinnissa

Tomi Löfman

4.7.2000

Joensuun yliopisto
Tietojenkäsittelytiede
Kandidaatintutkielma

TIIVISTELMÄ

GOMS-mallit (**G**oals, **O**perators, **M**ethods, **S**election rules) ovat ihmisen ja systeemin välisten vuorovaikutusten kuvaamiseen tarkoitettuja apuvälineitä. Ne tarjoavat tavoitekeskeisen lähestymistavan vuorovaikutusten mallintamiseen. GOMS-mallit koostuvat neljänlaisista komponenteista, joiden avulla tapahtumia jäsenellään. Komponentteja ovat *tavoitteet*, *operaattorit*, *menetelmät* ja *valintasäännöt*.

GOMS-malleja on hyödynnetty etenkin järjestelmien käytettävyyden suunnittelussa ja arvioinnissa. Mallien avulla voidaan ennustaa suoritusajoja, oppimisaikoja sekä ennakoida menetelmiä, joita käyttäjä soveltaa pyrkiessään tekemään jonkin tehtävän. GOMS mallien avulla voidaan joissain tapauksissa saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna koehenkilöillä tehtäviin käytettävyytutkimuksiin.

Tässä työssä esitellään GOMS perusmallin rakenne ja muotoilu sekä neljä erilaista GOMS-perusmallin variaatiota.

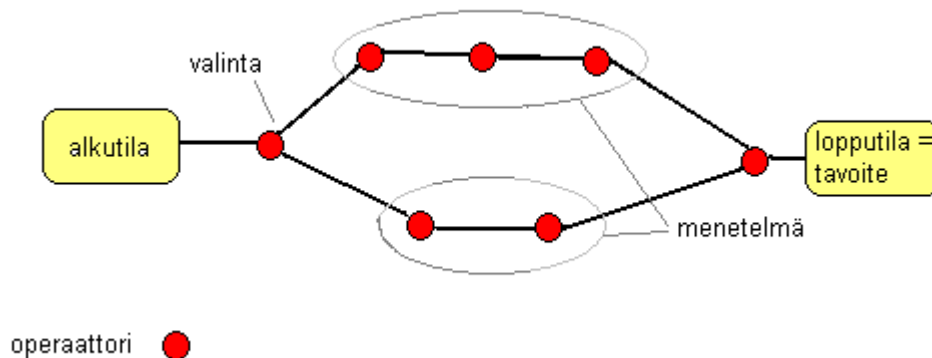
SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 GOMS-MALLIN RAKENNE	3
2.1 Komponentit.....	3
2.1.1 Tavoitteet.....	3
2.1.2 Operaattorit	3
2.1.3 Menetelmät.....	4
2.1.4 Valintasäännöt.....	4
2.2 Muoto.....	5
2.2.1 Ohjelmamuotoinen malli.....	5
2.2.2 Peräkkäismuotoinen malli	6
3 GOMS-MALLIT	6
3.1 KLM-MALLI.....	7
3.2 CMN-GOMS.....	9
3.3 NGOMSL	11
3.4 CPM-GOMS.....	14
4 MALLIEN VERTAILU	16
4.1 Arkkitehtuuri.....	16
4.2 Komponentit.....	17
4.3 Ennusteet.....	19
5 PÄÄTELMÄT.....	19
LÄHTEET	20

1 JOHDANTO

GOMS-mallit (**G**oals, **O**perators, **M**ethods, **S**election rules) ovat ihmisen ja systeemin välisten vuorovaikutusten kuvaamiseen tarkoitettuja apuvälineitä. Ne tarjoavat tavoitekeskeisen lähestymistavan vuorovaikutusten mallintamiseen. GOMS perusmalli esiteltiin 1980-luvun alussa ja siitä on erilaisten sovelluskohteiden ja -tarpeiden myötä versonut joukko variaatioita.

GOMS-mallit koostuvat neljänlaisista komponenteista, joiden avulla tapahtumia jäsennellään. Komponentteja ovat *tavoitteet*, *operaattorit*, *menetelmät* ja *valintasäännöt* (kuva 1). Lähtökohtana on tavoite, johon käyttäjä toimillaan pyrkii. Tavoite saavutetaan, kun suoritetaan joukko alkeistehtäviä, eli operaattoreita sopivassa järjestyksessä. Operaattorit ovat yksinkertaisia, yksittäisiä tapahtumia, esimerkiksi hiirellä klikkaaminen tai silmänliike. Peräkkäisistä operaattoreista muodostuu menetelmiä. Jos jonkin tavoitteen saavuttamiseksi on olemassa vaihtoehtoisia menetelmiä, käytetään valintasääntöjä päätettäessä, mitä menetelmää käytetään.



Kuva 1. GOMS mallin komponentit tavoitekeskeisessä mallissa.

GOMS-malleja on hyödynnetty etenkin järjestelmien käytettävyyden suunnittelussa ja arvioinnissa. Mallien avulla voidaan ennustaa suoritusajoja, oppimisaikoja sekä ennakoida menetelmiä, joita käyttäjä soveltaa pyrkiessään tekemään jonkin tehtävän. GOMS-mallit soveltuvat matalan tason toiminnoista koostuvien tapahtumaketjujen mallintamiseen. Myös käyttöliittymien monimutkaisuudesta ja tehokkuudesta

voidaan tuottaa tarkkaa tietoa. Peräkkäisten tapahtumien käsittelyn lisäksi viimeisimmät GOMS tekniikat mahdollistavat rinnakkaisten tapahtumien käsittelyn.

GOMS-mallit pohjautuvat kognitiiviseen psykologiaan ja ne tarjoavat tutkijoille kehyksen, jonka avulla tutkia erilaisia tietokoneen ja ihmisen välisiä vuorovaikutustilanteita. GOMS-malleja kehitettäessä on pyritty huomioimaan myös psykologiaan perehtymättömät henkilöt, jotta kynnys mallien hyödyntämiseen käytännön suunnittelutilanteissa olisi mahdollisimman matala. Käyttöliittymien suunnittelijat voivat GOMS-mallien avulla parantaa työnsä laatua ja tuottavuutta.

GOMS-malleja voidaan hyödyntää järjestelmän elinkaaren kaikissa vaiheissa. Suunnitteluvaiheessa voidaan erilaisia käyttöliittymän toteutusvaihtoehtoja verrata mallintamalla vaihtoehtoisia toteutustapoja ja ennustaa niille suoritusaikoja. Ylläpitovaiheessa voidaan käyttöliittymästä paikallistaa hitautta tai monimutkaisuutta aiheuttavia tekijöitä. Kun vanhaa järjestelmää ollaan korvaamassa uudella, voidaan päätöksenteon tueksi GOMS-mallien avulla tehdä kannattavuusvertailuja eri järjestelmien välillä.

GOMS mallien avulla voidaan joissain tapauksissa saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna koehenkilöillä tehtäviin käytettävyystudkimuksiin. GOMS-mallit eivät kuitenkaan täysin korvaa koehenkilöillä tehtäviä tutkimuksia, sillä niissä ei kovin hyvin huomioida käyttäjien erilaisia taitotasoja. GOMS-malleissa oletetaan, että käyttäjät ovat taitavia ja eri operaattoreiden suoritus on rutiininomaisesti.

Tämän työn tarkoituksena on esitellä GOMS perusmallin rakenne ja muotoilu sekä neljä erilaista GOMS-perusmallin variaatiota. Variaatioita vertaillaan sekä arvioidaan niiden soveltuvuutta erilaisiin käyttöliittymien suunnittelutilanteisiin. Tämä työ perustuu Johnin ja Kierasin kirjoittamiin kahteen artikkeliin (John ja Kieras 1996a, 1996b). Näihin julkaisuihin ei tekstissä erikseen viitata.

2 GOMS-MALLIN RAKENNE

GOMS-mallin rakenteella tarkoitetaan kokonaisuutta johon vaikuttavat mallin osat eli komponentit ja mallin muoto. GOMS-mallit voivat olla ohjelma- tai peräkkäismuotoisia.

2.1 Komponentit

GOMS-malli voi sisältää neljänlaisia komponentteja: Tavoitteita, operaattoreita, menetelmiä ja valintaperusteita. Eri GOMS variaatioissa käytetään eri komponentteja eri suhteissa ja niiden sijoittelu ja merkitys voi poiketa.

2.1.1 Tavoitteet

Tavoitteet (*Goals*) ovat päämääriä, joihin käyttäjä toimillaan pyrkii. Tavoitteet pilkottan usein pienemmiksi osatavoitteiksi. Kun kaikki osatavoitteet on saavutettu, saavutetaan myös alkuperäinen tavoite. Tavoite voi olla esimerkiksi raportin kirjoittaminen ja osatavoitteet leipätekstin kirjoitus, tekstin muokkaus ja oikeinkirjoituksen tarkistaminen. Tavoitteet ja osatavoitteet järjestetään usein jonkin hierarkian mukaan. Tätä ei kuitenkaan edellytetä. Myös usean yhtäaikaisen tavoitteen mallintaminen on mahdollista.

2.1.2 Operaattorit

Operaattorit (*operators*) ovat GOMS-mallien alkeishiukkasia ja edustavat niiden yksityiskohtaisinta tasoa. Operaattoreita peräkkäin tai rinnakkain suorittamalla saavutetaan tavoite. Operaatiot voivat liittyä perseptioihin, kognitioihin tai motoriseen toimintaan tai olla näiden yhdistelmiä (taulukko 1). Operaattorit voidaan jakaa havaittaviin ja näkymättömiin. Näkymättömiä operaattoreita ovat perseptioihin ja kognitioihin liittyvät toiminnot. Motoriset toiminnot ovat usein havaittavia.

Tavallinen GOMS-malleissa käytetty motorisen operaattorin taso on näppäimen painallus tai hiirellä osoittaminen. Mitä matalamman tason operaattoreista malli rakennetaan, sitä tarkempia ennusteita sen avulla voidaan tuottaa ja sitä herkempi se

on. Toisaalta, kun osat pilkotaan oikein pieniksi, niiden määrä kasvaa ja samalla kasvavat myös mallin kehityskustannukset.

Termi	Selite
<i>Perseptio</i> (lat.)	Havainto, aistimus
<i>Kognitio</i> (lat.)	Tietäminen, ajattelevinen
<i>Kognitiivinen</i>	Tietoa koskeva, tiedollinen
<i>Motorinen</i>	Liikettä koskeva

Taulukko 1. Termien määrittäjiä (Tietojätti 1989).

Operaattorin keskeinen ominaisuus on sen suorittamiseen kuluva aika. GOMS-malleissa oletetaan, että yksittäiseen operaattoriin ei vaikuta mitään tapahtunutta ennen sen suorittamista ja mikä sitä seuraa. Operaattorin suoritusajan voidaan olettaa olevan vakio tai se voidaan laskea funktion tai tilastollisen jakauman avulla. Esimerkiksi yhden sanan kirjoittamiseen kuluva aika voidaan määrittää vakioiksi, mittaamalla kuinka kauan keskimääräiseltä kirjoittajalta keskimäärin kuluu keskipituisen sanan kirjoittamiseen. Funktion avulla määritettäessä annetaan funktiolle parametritietona sanan pituus ja aika, joka käyttäjältä kuluu yhteen näppäimen painallukseen. GOMS-mallien aikaennustetarkkuus riippuu täysin siitä, kuinka tarkkoja yksittäisten operaattoreiden suoritusaja-arviot ovat.

2.1.3 Menetelmät

Menetelmät (*methods*) ovat tapahtumaketjuja, jotka muodostuvat peräkkäisistä tai rinnakkaisista operaattoreista. Menetelmiä suorittamalla saavutetaan tavoite. Jos tavoitteilla on hierarkkinen järjestys, myös menetelmillä on oltava vastaava järjestys. Menetelmien sisältöön vaikuttaa käytettyjen operaattoreiden joukko ja tehtävän luonne. Jos tavoitteena on esimerkiksi muotoilla tekstiä, menetelmiä voisivat olla tekstin lihavointi, tekstin siirtäminen ja tekstin jako kappaleisiin.

2.1.4 Valintasäännöt

Valintasäännöt (*selection rules*) sisällytetään GOMS-malliin, kun on olemassa vaihtoehtoisia menetelmiä tavoitteen saavuttamiseksi. Menetelmän valintaan vaikuttaa käyttäjän henkilökohtainen kokemusmaailma sekä harjoittelu. Jos tehtävänä

on esimerkiksi lauseen poistaminen tekstin keskeltä, käyttäjä voi joko maalata lauseen hiirellä ja painaa Delete-näppäintä tai vaihtoehtoisesti siirtyä lauseen loppuun ja painella BackSpace-näppäintä, kunnes lause on hävinnyt isoa alkukirjainta myöten. Käyttäjällä voi olla sääntöjä, joiden perusteella hän tekee valintoja menetelmien välillä. Esimerkiksi jos lause on yli 10 merkkiä pitkä, niin käyttäjä maalaa lauseen hiirellä ja painaa Delete-näppäintä, muuten hän poistaa lauseen merkki kerrallaan.

2.2 Muoto

GOMS-malli voi olla ohjelma- tai peräkkäismuotoinen. Usein muoto on kiinnitetty käytettyyn variaatioon. Mallin muoto vaikuttaa siihen, minkälaista tietoa sen avulla voidaan tuottaa.

2.2.1 Ohjelmamuotoinen malli

Ohjelmamuotoinen malli (*program form*) muistuttaa tietokoneohjelmaa, jolle välitetään parametrejä. Parametreillä ohjataan mallissa kuvattuja menetelmiä, joiden avulla edelleen suoritetaan tehtävä ja saavutetaan tavoite. Esimerkiksi jos tehtävänä on poistaa lause tekstin keskeltä, mallille välitetään parametritietona lauseen aloitus- ja lopetuskohdat. Näiden tietojen perusteella ohjelmamuotoinen malli kykenee määrittämään lauseen sijainnin tekstissä ja poistamaan sen.

Ohjelmamuotoinen malli on yleismalli ja tyypillisesti se sisältää haarautumisia. Mallin tavoite voi olla pilkottu osatavoitteiksi, jotka saavutetaan paloitetujen menetelmien avulla. Mallin suorituspolut ja operaattoreiden järjestys vaihtelevat kulloisenkin tehtävän mukaan. Kun malli on saatu muodostettua, sen avulla voidaan kattaa suuri määrä erilaisia tehtäviä kulkemalla eri suorituspolkuja. Samalla voidaan vertailla vaihtoehtoisten menetelmien hyvyttä jonkin tavoitteen saavuttamiseksi.

Ohjelmamuotoisen mallin etuna on, että kaikki tavoitteen saavuttamiseen tarvittava proseduraalinen tieto on analyysoijan hallinnassa. Lisäksi, jos analyysoitavana on monia eri tehtäviä, mallia on helppo muokata ja siihen voidaan lisätä pienellä väillä uusia suorituspolkuja.

Ohjelmamuotoisen mallin heikkoutena on, että jos halutaan selvittää jonkin tavoitteen saavuttamiseksi suoritettavat operaattorit ja niiden järjestys, on malli ajettava ja kirjattava suorituspolku. Mitä enemmän valintasääntöjä ja vaihtoehtoisia menetelmiä mallissa on, sitä selvemmin ongelman voi havaita. Heikkoutena on myös se, että kattavan ja tarkan mallin määrittely ja muodostaminen on aikaa vievää.

2.2.2 Peräkkäismuotoinen malli

Peräkkäismuotoinen malli (*sequence form*) muodostuu toisiaan kiinteästi seuraavista operaattoreista. Operaattorit on järjestetty siten, että haluttu tavoite voidaan saavuttaa. Mallissa voi olla ehdollisuutta ja sille voidaan välittää parametritietoa. Esimerkiksi kun tehtävänä on lauseen poistaminen tekstistä, peräkkäismuotoiselle mallille annettaisiin parametritietona kaikki ne operaattorit, joita tarvitaan lauseen poistamiseen määrätystä paikasta.

Peräkkäismuotoisen mallin edut ja haitat ovat päinvastaiset kuin ohjelmamuotoisen mallin. Etuna on, ettei analyysoijan tarvitse eksplisiittisesti määrittellä tietoja jokaista mahdollista tehtävää varten, jos mallille ei välitetä parametritietoa. Peräkkäiset operaattorit ovat myös selvästi analyysoijan näkyvillä. Peräkkäismuotoisen mallin heikkoutena on, että samankaltaisiakaan tehtäviä ei voida kattaa yhdellä mallilla, vaan tarvitaan yksilöllinen malli jokaista erikoistapausta varten. Myös menetelmien erottaminen toisiaan seuraavista operaattoreista voi olla hankalampaa kuin ohjelmamuotoisessa mallissa.

3 GOMS-MALLIT

Ensimmäinen GOMS-malli, CMN-GOMS, esiteltiin 1980-luvun alussa. Siitä yksinkertaistettiin KLM-malli, jonka avulla suoritettiin ensimmäiset todelliset mallinnukset. 1980-luvun lopussa esiteltiin variaatio, NGOMSL-malli, jonka avulla voidaan mallintaa tavoitekeskeiseen suoritukseen liittyvien asioiden lisäksi menetelmien oppimiseen liittyviä asioita. CMN-GOMS-mallista on versonut myös variaatio, CPM-GOMS-malli, jonka avulla hallitaan rinnakkaisia tapahtumia.

Eri GOMS-mallit on tarkoitettu käytettäväksi erilaisissa suunnittelutilanteissa yksinkertaisista tekstin muokkaustehtävistä monimutkaisempiin rinnakkaisia tapahtumia sisältäviin tapahtumaketjuihin. Variaation valintaan vaikuttaa se, mitä tietoa halutaan mallin avulla saada ja kuinka paljon resursseja on käytössä.

Eri GOMS-versioilla tapahtuvaa mallinnusta selventämään käytetään esimerkkitehtävää, jossa tavoitteena on yhden tai usean sanan valinta ja leikkaaminen tekstistä hiiren avulla. Tehtävä on lyhennetty lähdeartikkelin vastaavasta esimerkkitehtävästä ja etenee seuraavasti (John ja Kieras 1996b):

1. Osoitetaan hiirellä sanan tai sanajonon alkua
2. Klikataan hiiren vasenta painiketta
3. Painetaan SHIFT-näppäintä
4. Osoitetaan hiirellä sanan tai sanajonon loppua.
5. Klikataan hiiren vasenta painiketta
6. Osoitetaan Muokkaa valikkoa hiirellä
7. Painetaan hiiren vasen painike alas
8. Osoitetaan valikon leikkaa-kuvaketta
9. Vapautetaan hiiren painike

3.1 KLM-MALLI

KLM-malli (*Keystroke-Level Model*) on yksinkertaisin GOMS-variaatio (Card ym. 1980a). Se perustuu kognitiiviseen arkkitehtuuriin, jossa jäljitellään käyttäjän tapaa käsitellä informaatiota sarjalla yksittäisiä tapahtumia. KLM-malli on peräkkäismuotoinen ja sisältää GOMS-mallin komponenteista yleensä vain tavoitteen ja joukon operaattoreita. Tavoitteen saavuttamiseksi tarvittavat operaattorit järjestetään peräkkäin ja tehtävän suoritus etenee suoraviivaisesti. KLM-malli soveltuu hyvin yksinkertaisten ja kertaluontoisten tehtävien mallintamiseen. Malli on suhteellisen nopea muodostaa ja sen avulla saadaan helposti karkeita arvioita tehtävien suorittamiseen kuluva ajasta.

Alkuperäisessä KLM-mallissa operaattorit jaetaan kuuteen luokkaan (taulukko 2). Sitten operaattoriluokkia on muokattu käyttötarpeiden mukaan. Operaattorille voidaan estimoida suoritus aika tapauskohtaisesti mittaamalla tai hyödyntämällä kirjallisuudessa esitettyjä tietoja tyypillisistä suoritusajoista. Esimerkiksi operaattori K:n suorittamiseen kuluvaan aikaan vaikuttaa koehenkilön yksilöllinen kirjoitusnopeus ja P:n suoritus aikaan kohteen koko ja havaittavuus. Suoritus aikoja voidaan käyttää parametritietona KLM-mallissa.

Operaattori	Selite
K (<i>Key</i>)	Näppäimen painallus
P (<i>Point</i>)	Näytöllä olevan kohteen osoittaminen hiirellä
H (<i>Hand</i>)	Käsien vienti näppäimistöllä tai jollekin muulle laitteelle
D (<i>Draw</i>)	Viivan piirto ruudukkoon
M (<i>Mental</i>)	Mentaalinen valmistautuminen johonkin toimintaan tai sarjaan alkeistoimintoja
R (<i>Responce</i>)	Systeemin vaste aika, jonka käyttäjä joutuu odottamaan toimeettomana

Taulukko 2. Operaattoreiden jako alkuperäisessä KLM-mallissa (Card ym. 1983).

KLM-mallissa motoriset operaattorit sijoitetaan peräkkäin. Mentaalista toimintaa kuvaavat M-operaattorit sijoitetaan heuristiikkojen perusteella motoristen operaattoreiden sekaan. Alkuperäisessä KLM-mallissa M-operaattori sijoitetaan jokaisen sanan aloittavan K-operaattorin ja jokaisen komennon valitsevan P-operaattorin eteen. Mallin käyttäjät ja kehittäjät ovat räätälöineet sääntöjä kunkin sovelluskohteen tarpeiden mukaisiksi. Yksi syy muutoksiin on, että käyttöliittymät ovat muuttuneet komentorivipohjaisista graafisiksi ja suoravaikutteisiksi.

Esimerkkitehtävässä KLM-malli on peräkkäismuotoinen. (kuva 2). Tavoitteena on siis valita sana tai peräkkäisiä sanoja tekstistä. Tavoitteen saavuttamiseksi ensimmäisenä käytetään mentaalioperaattori (M), johon on arvioitu kuluvaan 1,35 sekuntia. Mentaalioperaattoria seuraa joukko motorisia hiirellä osoitus- ja näppäimen painallusoperaattoreita. Näihin on arvioitu kuluvaan 0,20- 1,10 sekuntia operaattorista riippuen. Mallin keskellä on vielä toinen M-operaattori ennen valikon käsittelyä. Yhteensä tehtävän suorittamiseen kuluu 7,98 sekuntia.

Operaattorin kuvaus	Operaattori	Suoritus aika (s)
Mentally prepare	M	1.35
Move cursor to beginning of phrase	P	1.10
Click mouse button	K	0.20
Move cursor to end of phrase	P	1.10
Shift-click mouse button		
average typing	K	0.28
average mouse button click	K	0.20
Mentally prepare	M	1.35
Move cursor to Edit menu	P	1.10
Press mouse button	K	0.10
Move cursor to Cut menu item	P	1.10
Release mouse button	K	0.10
YHTEENSÄ		7,98

Kuva 2. Sanan tai usean sanan leikkaaminen tekstin keskeltä KLM-mallin mukaan kuvattuna (John ja Kieras 1996b).

Kehittyneempien GOMS-versioiden avulla voidaan ennustaa menetelmä, jota tarvitaan jonkin tehtävän suorittamiseen. KLM-mallissa tämä ei ole mahdollista, joten menetelmän määrittäminen jää analyysoijan tehtäväksi.

KLM-mallia sovellettiin ensi kerran 1980-luvun alussa tekstieditorin suunnittelussa (Card ja Moran 1988). Tavoitteena oli kehittää helposti opittava ja nopeasti käytettävä menetelmä tekstin valitsemiseksi hiiren avulla. Ehdolla oli useita rinnakkaisia menetelmiä. Koska hiiren käyttö tekstin valinnassa oli uusi asia, ei sopivan menetelmän valintaa kannattanut tehdä pelkästään kokemattomilla koehenkilöillä mitattujen vasteaikojen perusteella. Vaarana oli, että oltaisiin valittu helposti opittava, mutta tehoton menetelmä. Ongelma ratkaistiin käyttämällä KLM-mallia yhdessä koehenkilöiden kanssa. Näin saatiin kehitettyä helposti opittava menetelmä, joka soveltuu myös ammattimaiseen käyttöön.

3.2 CMN-GOMS

CMN-GOMS-malli (*Card, Moran, Newell*) on ohjelmamuotoinen ja se noudattaa tiukkaa tavoitekeskeistä hierarkiaa (Card ym. 1980b). Tavoite koostuu peräkkäisistä välitavoitteista ja operaattoriketjut muodostavat menetelmiä. Mallissa voi olla ehdollisuutta ja haarautumisia. Mallin avulla voidaan ennustaa sekä suoritusajoja, että operaattoreiden suoritusjärjestys.

CMN-GOMS-mallin arkkitehtuuri perustuu kahteen MHP:ssa (*Model Human Processing*) esitettyyn käsitykseen ihmisen tavasta käsitellä tietoa (Newell ja Simon 1972). Ensimmäisen mukaan käyttäjän toimia voidaan mallintaa peräkkäisten alkeistapahtumien (operaattoreiden) avulla. Kun käyttäjä tietää alkutilanteen ja suorittaa sopivat alkeistehtävät, hän saavuttaa lopputilan eli tavoitteen. Toisen perusajatuksen mukaan käyttäjä pyrkii kehittämään mahdollisimman tehokkaita menetelmiä tavoitteiden saavuttamiseksi.

Esimerkkitehtävä CMN-GOMS tekniikalla mallinnettuna on ohjelmamuotoinen (kuva 3). Malli sisältää kaksi rinnakkaista menetelmää tekstin valitsemiseksi ja valintasäännön: Jos valittavana on ainoastaan yksi sana, tehdään valinta kaksoisklikkaamalla sanaa hiirellä. Muissa tapauksissa valinta tehdään hiiren osoittimen siirtojen ja erilaisten näppäinyhdistelmien avulla. Yksittäisen sanan valintaan ja leikkaamiseen kuluu aikaa 6.60 sekuntia ja useiden sanojen valintaan 7.98 sekuntia. CMN-GOMS-mallissa mentaalioperaattori sijaitsee menetelmän lopussa (verify) ja se antaa palautteen käyttäjälle.

```

goal: cut-text
  goal: highlight-text
    select**
      goal: highlight-word
        move-cursor-to word          1,10
        double-click-mouse button    0,40
        verify-highlight             1,35
        YHTEENSÄ                    2,85
      goal: highlight-arbitrary-text
        move-cursor-to-beginning     1,10
        click-mouse-button            0,20
        move-cursor-to-end            1,10
        shift-click-mouse-button      0,48
        verify-highlight              1,35
        YHTEENSÄ                    4,23
    goal: issue-cut-command
      move-cursor-to-edit-menu        1.10
      press-mouse-button              0.10
      move-mouse-to-cut-item          1.10
      verify-highlight                1.35
      release-mouse-button            0.10
      YHTEENSÄ                    3.75

```

**selection rule for goal: highlight-text: if the text to be highlighted is a single word, use the highlight-word method, else use the highlight-arbitrary-text method.

Kuva 3. Tekstin leikkaaminen CMN-GOMS-mallin mukaan kuvattuna (John ja Kieras 1996b).

CMN-GOMS-mallin etuna on, että se on suhteellisen helppo rakentaa. Lisäksi etuna on se, että jos samankaltainen tavoiteasettelu toistuu eri tehtävissä, voidaan operaattoriketjuista muodostaa menetelmiä ja käyttää näitä rutiininomaisesti apuna eri tilanteissa. Tämä vähentää päällekkäisyyttä ja toistoa käyttöliittymien suunnittelussa. Myös poikkeuksellisen pitkät tai lyhyet menetelmät erottuvat helposti mallista. Tämä voi synnyttää uusia suunnitteluideoita ja auttaa havaitsemaan mahdolliset virheet tai puutteet.

CMN-GOMS-mallin heikkoutena on, että malli on hieman epämääräinen. Tämä johtuu siitä, että menetelmiä ei ole eksplisiittisesti kuvattu, eikä mekanismeja tehtävien suorittamiseksi ole tarkasti määritelty.

3.3 NGOMSL

NGOMSL (*Natural GOMS Language*) mallin notaatiossa käytetään luontaisen kaltaista, rakenteista kieltä (Kieras 1988). Malli on ohjelmamuotoinen ja sen avulla voidaan kuvata hyvinkin korkean tason tavoitteita. NGOMSL-mallin avulla voidaan ennustaa operaattoreiden suoritusjärjestyksen ja tehtävän suoritusajan lisäksi aika, joka käyttäjältä kuluu jonkin menetelmän oppimiseen.

NGOMSL-malli kehitettiin alunperin korkean tason notaatioksi CCT:lle (*Cognitive Complexity Theory*)(Kieras ja Polson 1985). CCT:ssä kuvataan tiedon sisältö, rakenne ja määrä, joka tarvitaan jonkin laitteen käyttöön. Tieto jaetaan kahteen osaan: Tietämykseen tehtävätilanteesta (*job situation*) ja tietämykseen, kuinka erilaisia tehtäviä suoritetaan (*how-to-do-it*)., Tehtävätilanteen tietämyksellä tarkoitetaan käyttäjän tietoa siitä, minkälaisia tehtäviä jollain laitteella voidaan ylipäätään suorittaa, sekä miten erilaiset tehtävätilanteet ovat kytköksissä toisiinsa. Tehtävien suoritukseen liittyvällä tietämyksellä taas tarkoitetaan GOMS-mallien mukaista tietoa yksittäisestä tavoitteesta, menetelmistä, valintasäännöistä ja operaattoreista.

NGOMSL-malli rakennetaan asteittain tarkentamalla. Tavoite jaetaan osatavoitteiksi ja edelleen menetelmiksi. Jakoa jatketaan, kunnes menetelmät koostuvat operaattoreista, jotka ovat riittävän alhaisella tasolla. Tavallinen konkreettista toimintaa kuvaavien operaattoreiden taso NGOMSL-mallissa on näppäimenpainallus-taso.

Mallissa esitetään tavoitteen saavuttamiseksi vaadittavat menetelmät sekä niiden suoritusjärjestys ja hierarkia. Menetelmät esitetään numeroituna listana ja kussakin listan kohdassa esitellään operaattori. Operaattori voi olla konkreettista toimintaa kuten hiirellä osoittaminen tai CCT:en perustuva *NGOMSL-lause* kuten päätös opitun menetelmän hyödyntämisestä.

Method for goal: Cut Text		
Step 1.	Accomplish goal: Highlight text	
Step 2.	Retain that the command is CUT, and accomplish goal: Issue a command	
Step 3.	Return with a goal accomplished	
Selection rule set for goal: Highlight text		
If text-is word, then		
accomplish goal: Highlight word		
If text is arbitrary, then		
accomplish goal: Highlight arbitrary text		
Method for goal: Highlight word		
Step 1.	Determine position of middle word	1.20
Step 2.	Move cursor to the beginning of the word	1.10
Step 3.	Double-click mouse button	0.40
Step 4.	Verify that correct text is selected	1.20
Step 5.	Return with goal accomplished	0.00
		YHTEENSÄ 3.90
Method for goal: Highlight arbitrary text		
Step 1.	Determine position of beginning of text	1.20
Step 2.	Move cursor to beginning of text	1.10
Step 3.	Click mouse button	0.20
Step 4.	Determine position of end of text	0.00
Step 5.	Move cursor to end of text	1.10
Step 6.	Shift-click mouse button	0.48
Step 7.	Verify that correct text is selected	1.20
Step 8.	Return with goal accomplished	0.00
		YHTEENSÄ 5.28
Method for goal: Issue a command		
Step 1.	Recall command name and retrieve from LTM the menu name for it and retain the menu name	1.10
Step 2.	Recall the menu name, and move cursor to it on Menu Bar	0.10
Step 3.	Press mouse button down	1.10
Step 4.	Recall command name, and verify that it is selected.	1.20
Step 5.	Release mouse button.	0.10
Step 6.	Forget menu name, forget command name and return with goal accomplished	
		YHTEENSÄ 3.60

Kuva 4. NGOMSL-mallin mukaiset lauseet ja aika-arviot, kun tavoitteena on leikata sana tai useita sanoja tekstistä (John ja Kieras 1996b).

Esimerkkitehtävän mallinnuksessa erona CMN-GOMS tekniikalla laadittuun malliin on, että valikoista löytyviä toimintoja kuten leikkaa-komento, mallinnetaan "issue-

command”- apumenetelmän avulla (kuva 4). Näin huomioidaan valikkotoimintojen soveltamisen samankaltaisuus ja malliin olisi helppo lisätä muita valikoiden kautta käytettäviä toimintoja, esimerkiksi liitä-toiminto. Koska mallissa on esitetty muistin käyttö eksplisiittisesti, voidaan käyttöliittymän suunnittelussa aiempaa helpommin kiinnittää huomiota käyttäjän muistikuormaan. Esimerkkitehtävän suorittamiseen kuluu NGOMSL-mallin ennusteen mukaan yhden sanan tapauksessa 7.5 sekuntia ja usean sanan tapauksessa 8.88 sekuntia.

Mallin menetelmien oppimiseen kuluva aika on lineaarinen NGOMSL-lauseiden lukumäärään nähden. Näin ollen oppimisaikaennusteet voidaan määrittää laskemalla mallissa olevat NGOMSL-lauseiden lukumäärä ja kertomalla saatu summa sopivalla kertoimella. Kerroin määritetään empiirisesti koetehtävien avulla. Aikaennusteen luotettavuuden kannalta on tärkeää, että menetelmät on kirjoitettu yhdenmukaisella tyylillä sekä varsinaisessa mallissa, että koetehtävissä.

Oppimisen vaikutus suoritusaikaan voidaan huomioida kokonaissuoritusajassa seuraavasti: Jos käyttäjä tuntee menetelmän, voidaan sen suorittamiseen kuluva ajasta vähentää NGOMSL-lauseiden suoritukseen kuluva aika. Edellä kuvattua menetelmää voidaan soveltaa myös, kun jokin menetelmä muistuttaa paljon jotain opittua menetelmää.

NGOMSL-mallin ennusteet suoritusajoista ja oppimisajoista ovat järkeviä ainoastaan, jos käyttäjä tuntee operaattorit. NGOMSL-malli ei sisällä tietoa siitä, miten yksittäiset operaattorit suoritetaan, vaan ainoastaan tiedon siitä, mitä operaattoreita tarvitaan ja missä järjestyksessä ne suoritetaan. 1980-luvun alussa hiirellä osoittaminen oli monille käyttäjille ennestään tuntematon operaattori. Nykyään sellainen voisi olla silmänliikkeiden avulla toimivan osoittimen käyttö tai kolmiulotteisen kohteen käsittely ruudulla.

NGOMSL-mallia on käytetty television säätövalikon (Elkerton 1983) ja ydinvoimalan hälytysjärjestelmän hallinnan suunnittelussa (Endestad ja Meyer 1983). Älykkäitä oppimisympäristöjä lentokoneiden hydraulikkajärjestelmien vikojen jäljitykseen

(Steinberg ja Gitomer 1993) sekä terästehtaan koneiden ajastusjärjestelmä on suunniteltu NGOMSL-mallin avulla (Nessbitt ym. 1994).

3.4 CPM-GOMS

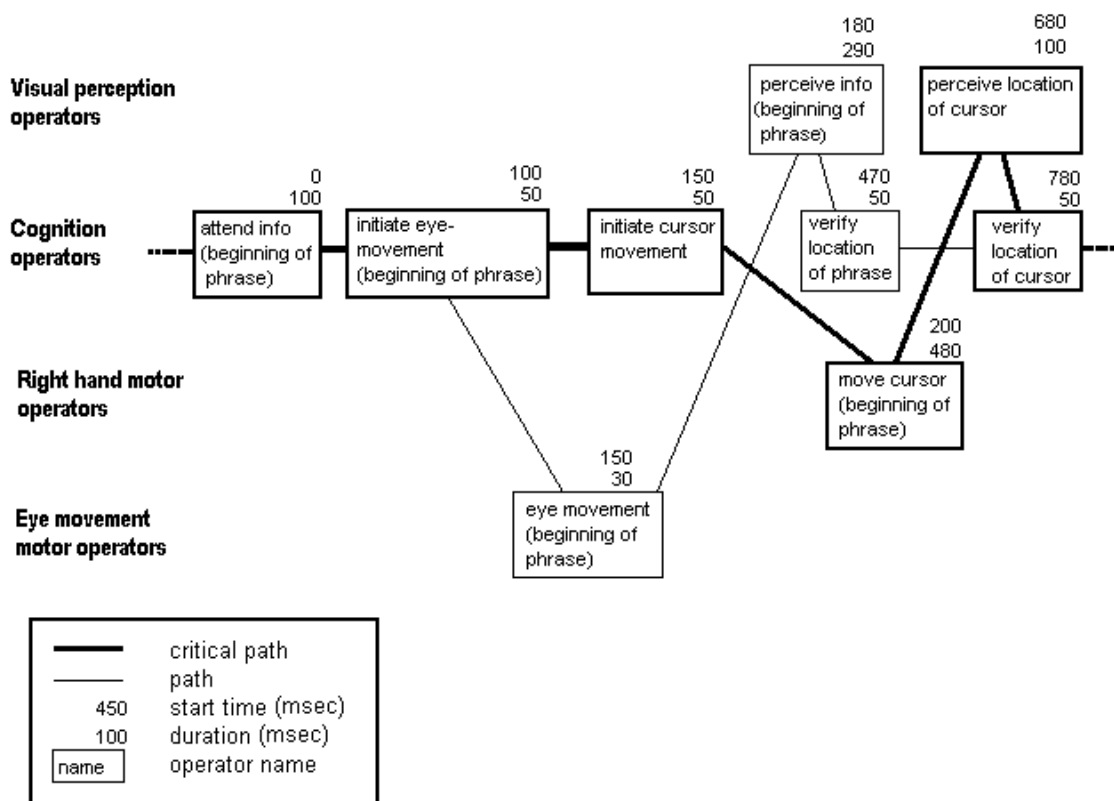
CPM-GOMS-mallin (*Cognitive-Perceptual-Motor, Critical-Path-Method*) perustana käytetään CMN-GOMS-mallia (Card ym. 1983). Erotuksena kuitenkin on, että CPM-GOMS-mallissa ei edellytä, että operaattorit suoritetaan peräkkäin. Sen sijaan operaattoreiden taso on määrätty ja on yleensä muita GOMS-malleja matalampi. CPM-GOMS-mallin operaattorit kiinnitetään havaintoihin, tiedostamiseen ja motoriikkaan liittyviin toimintoihin.

CPM-GOMS-malli esitetään PERT kaavion avulla ja se on peräkkäismuotoinen. Tutumpi PERT kaavioiden sovellusalue lienee projektin hallinnata ja suunnittelu. PERT kaavioissa solmukohtiin kirjataan mallin operaattorit ja kaarilla havainnollistetaan operaattoreiden suoritusjärjestys. Kaaviosta voidaan määrittää *kriittinen polku*, jonka varrella olevat operaattorit ovat avainasemassa tehtävän aikataulun kannalta. Näin ollen aikaennuste tavoitteen saavuttamiseksi saadaan summaamalla kriittisen polun varrella olevien operaattoreiden aikaestimaatit.

CPM-GOMS-mallin arkkitehtuuri perustuu MHP:en (*Model Human Processor*) (Card ym. 1983). MHP:ssa esitetään yksinkertaistettu malli siitä, miten ihmisäivot käsittelevät informaatiota. Informaation käsittely tapahtuu prosessorijoukon ja tietovarastojen avulla. Prosessorit jaetaan havainnointi-, tiedostamis- ja motoriikkaprosessoreihin informaation käsittelyn eri vaiheiden mukaan. Käsittely etenee seuraavasti: Ensin ulkoinen informaatio havainnoidaan ympäristöstä havainnoimisprosessoreilla ja se tallennetaan tietovarastoon. Sitten havaittua tietoa arvioidaan ja punnitaan tiedostamisprosessoreissa. Jos käsitelty informaatio aiheuttaa jatkotoimia, välitetään tiedostamisprosessoreista käsky motorisille prosessoreille, jotka toteuttavat tarvittavat liikkeet. Prosessorit voivat toimia rinnakkain.

Edellisten mallien yhteydessä käytettyä tekstin valinta esimerkkiä on lyhennetty käsittämään operaattorit, joissa havainnoidaan oikea paikka tekstistä ja osoitetaan tätä paikkaa hiirellä (kuva 5). Mallikaaviossa havainnointiin, tiedostamiseen ja moto-

riseen toimintaan liittyvät operaattorit on esitetty omilla tasoillaan. Operaattorit on kuvattu laatikoissa ja laatikoita yhdistävät viivat kuvaavat yhdessä oikealla etenevän kuvitteellisen aikajanan kanssa niiden suoritusjärjestyksen. Viivojen ja laatikoiden reunojen paksunnokset ilmoittavat kriittisen polun. Mallissa oletetaan, että oikea käsi voi alkaa kursorin siirtämisen hiirellä, ennen kuin silmät ovat havainneet ja tiedostaneet sanajonon alkukohdan. Silmillä havainnointi tapahtuu kuitenkin ennen kuin kursori voidaan siirtää oikeaan paikkaan. Näin ollen hiirellä osoittaminen muodostaa mallin kriittisen polun, jonka kulkemiseen kuluu aikaa 0,78 sekuntia.



Kuva 5. CPM-GOMS-mallin mukaiset lauseet ja aika-arviot, kun tavoitteena on leikata sana tai useita sanoja tekstistä (John ja Kieras 1996b).

Esimerkkitehtävän operaattoriaikojen estimaateissa oletetaan, että käyttäjä löytää oikean paikan tekstistä yhdellä silmänliikkeellä, mikä ei välttämättä aina toteudu. Tehtävä ei myöskään sisältänyt monimutkaista päätöksentekoa tai menetelmien

valintaa, jolloin tiedostamisoperaattoreiden suoritusajat olisivat todennäköisesti pidentäneet kriittistä polkua.

CPM-GOMS-mallia on käytetty apuna, kun puhelinyhtiössä suunniteltiin puhelunvälityksessä käytettävien työasemien vaihtamista uusiin (Gray ym. 1993, Atwood ym. 1996). Tarjolla olleissa uusissa työasemissa oli suuremman tehokkuuden lisäksi uudet näppäimistöt ja näytöt. Järjestelmien käytettävyyttä oli pyritty parantamaan korvaamalla useista näppäimen painalluksista koostuneita komentoja pikanäppäimillä sekä asettamalla syötteisiin oletusarvoja. Ennako-odotusten vastaisesti CPM-GOMS-mallin ennuste osoitti, että vanhojen työasemien käyttö oli nopeampaa kuin uusien. Syyksi tähän selvisi, että uusienkaan ominaisuuksien avulla tehtäväketjujen kriittisiä polkuja ei pystytty lyhentämään. Uusista työasemista olisi koitunut teleyhtiölle ostokustannusten lisäksi kuluja menetetyn tehokkuuden takia. Tulos vahvistettiin mittaamalla vasteaikoja koehenkilöiden avulla.

4 MALLIEN VERTAILU

GOMS-mallien heikkoudet ja vahvuudet ja niiden väliset erot johtuvat pitkälti niiden erilaisista arkkitehtuureista. Malleissa käytetään samoja komponentteja, mutta komponenttien merkitys ja suhteet vaihtelevat mallien välillä. Arkkitehtuurien ja komponenttien erot vaikuttavat malleista saataviin ennusteisiin.

4.1 Arkkitehtuuri

KLM-mallilla on eri GOMS-versioista yksinkertaisin arkkitehtuuri ja malli on peräkkäismuotoinen. Joukko sopivia operaattoreita järjestetään peräkkäin kulloistakin tehtävätilannetta varten.

CMN-GOMS-mallin arkkitehtuurin pohjalla on MHP:ssa esitetyt ajatukset, joiden mukaan ihmisen tapaa käsitellä tietoa voidaan kuvata peräkkäisten operaattoreiden avulla ja että ihminen pyrkii keksimään mahdollisimman tehokkaita menetelmiä tavoitteiden saavuttamiseksi. CMN-GOMS-malli on ohjelmamuotoinen, joten yhdellä mallilla voidaan ennustaa suoritusajokoja useille eri tehtäville.

NGOMSL-malli on myös ohjelmamuotoinen, mutta CMN-GOMS-mallia yksityiskoh-
taisempi. NGOMSL-malli perustuu CCT:een, jonka mukaan ihmisen toimintaa voi-
daan mallintaa työmuistin ja tiukkojen toimintaohjeiden avulla. Mallissa on huomioitu
toimintaohjeiden oppiminen ja opitun tiedon hyödyntäminen toistuvissa ja saman-
kaltaisissa tehtävissä.

CPM-GOMS-mallin arkkitehtuuri perustuu CMN-GOMS-mallin tavoin MHP:en. Ero-
tuksena kaikista muista GOMS-versioista on, että CPM-GOMS-mallissa ei oleteta,
että operaattoreiden suoritusjärjestys on peräkkäinen. CPM-GOMS soveltuu hyvin
sellaisten tehtävien mallintamiseen, jotka sisältävät rinnakkaisia operaattoreita ja
joissa tehtävä ei vaadi monimutkaista päätöksentekoa tai valintoja. CPM-GOMS-
malli on peräkkäismuotoinen ja huomattavasti tarkempi ja herkempi kuin muut
GOMS-versiot.

4.2 Komponentit

Kaikissa GOMS-malleissa tavoite on yhteinen tekijä, joka ei vaihtelee mallien välillä.
Eri GOMS tekniikat on kuitenkin tarkoitettu erilaisiin suunnittelutilanteisiin ja näin
ollen erilaisten tavoitteiden mallintamiseen. KLM-malli on parhaimmillaan, kun mal-
linnetaan yksittäistä tavoitetta, joka voidaan kuvata näppäimistötason operaattoreil-
la. Jos tavoite voidaan saavuttaa usealla eri menetelmällä, mallintamiseen sopii jo-
ko CMN-GOMS tai NGOMSL. CPM-GOMS:n vahvuus on rinnakkaisuuden huomi-
oinnissa ja tarkkuudessa.

Operaattoreiden taso poikkeaa eri GOMS-versioiden välillä. KLM- ja CPM-GOMS-
malleissa operaattoreiden taso on kiinnitetty. KLM-mallissa se on näppäimen pai-
nallustaso ja CPM-GOMS:ssa huomattavasti vielä tarkempi havainnointi-
tiedostamis-motoriikka-taso. Sen sijaan CMN-GOMS:ssa ja NGOMSL:ssa mallintaja
voi suunnittelutilanteen mukaan päättää operaattoreiden tason.

Operaattorit voidaan jakaa havaittaviin ja näkymättömiin. Ensimmäiseen ryhmään
lasketaan kuuluviksi esimerkiksi yksittäiset näppäimen painallukset tai hiirellä
osoittaminen. Toiseen ryhmään kuuluvat silmänliikkeet ja tiedostamiseen liittyvät
toimet. Eri GOMS-malleissa havaittavien operaattoreiden suoritusajat ovat melkein

samat, koska niiden suorittamiseen kuluvan ajan mittaaminen empiirisesti on mahdollista. Sen sijaan näkymättömien operaattoreiden suoritusajat vaihtelevat eri mallien välillä jonkin verran.

Kaikissa GOMS-malleissa tehdään oletuksia näkymättömien operaattoreiden suhteen. Yksinkertaisimpia oletukset ovat KLM-mallissa, jossa M-nimiseen operaattoriin niputetaan kaikki havainnointiin, tiedostamiseen, silmänliikkeisiin ja päätöksentekoon liittyvät toiminnot. M-operaattorin suoritusajaksi on esimerkiksi arvioitu 1,35 sekuntia. CMN-GOMS-mallin näkymättömät operaattorit liittyvät muokkaustoimien verifiointiin ja suoritusajaksi on arvioitu myös 1,35 sekuntia. NGOMSL-mallissa näkymättömiä operaattoreita ovat paikan määrittäminen ja verifiointi. Kummankin operaattorin suorittamiseen on arvioitu kuluvan 1,20 sekuntia. CPM-GOMS-mallin näkymättömiä operaattoreita ovat paikan määrittäminen ja mentaalinen valmistautuminen ja niiden suoritukseen kuluu 0,10 sekuntia. Näkymättömien operaattoreiden suoritusajaksi arviot ovat keskimääräisiä arvoja kirjallisuudesta. Erot johtuvat lähinnä siitä, että operaattoriaikoja määritettäessä on mallinnettu erilaisia tehtäviä.

KLM-, CMN-GOMS- ja NGOMSL-mallit poikkeavat hieman myös näkymättömien operaattoreiden sijoittelun suhteen. KLM-mallissa näkymättömät operaattorit sijoitetaan toimintojen eteen ($M \rightarrow$ toiminto), CMN-GOMS-mallissa toimintojen perään (toiminto \rightarrow verifioi) ja NGOMSL-mallissa sekä toiminnon eteen, että sen perään (määritä \rightarrow toiminto \rightarrow verifioi). CPM-GOMS-mallissa näkymättömät operaattorit esitetään MHP:n mukaisina prosessorijaksoina, joita ovat havainnointi-, tiedostamis- ja silmänliikejaksot. Koska näkymättömät operaattorit sijaitsevat mallissa usein loimittain toistensa ja motoristen operaattoreiden kanssa, eivät ne välttämättä ole mukana kriittisessä polussa.

Menetelmiä ja valintasääntöjä käytetään yleensä ainoastaan CMN-GOMS ja NGOMSL-malleissa. Myös CPM-GOMS-mallista voidaan erottaa menetelmiä, mutta valintasääntöjen soveltaminen mallissa vaatii vielä lisätutkimusta.

4.3 Ennusteet

Kaikilla eri GOMS-versioilla voidaan laatia ennusteita tehtävän suorittamiseen kuluva ajasta. KLM-, CMN-GOMS ja NGOMSL-mallien antamat aikaennusteet ovat karkeasti samat tekstinsiirtoesimerkissä, koska näkyvät operaattorit ovat samat (taulukko 3). Hienoiset erot johtuvat siitä, että NGOMSL-mallissa on käytetty enemmän näkymättömiä operaattoreita. CPM-GOMS-mallin aikaennuste on muita malleja lyhyempi. Tämä johtuu siitä, että malli olettaa käyttäjän olevan kokenut ja suoriutuvan tehtävistä nopeasti. Lisäksi oletetaan, että operaattoreita voidaan suorittaa rinnakkain.

Malli	Tekstin leikkaaminen (s)	paikan valinta (s)
KLM	7,98	1,10
CMN-GOMS	7,98	1,10
NGOMSL	8,88	2,30
CPM-GOMS	-	0,78

Taulukko 3. Eri GOMS-malleilla saadut aikaennusteet sanajonon leikkaamiseksi, sekä paikan valitsemiseksi tekstistä hiirellä.

Koska CMN-GOMS- ja NGOMSL-mallit ovat ohjelmamuotoisia ja ne on eksplisiitisti kuvattu, voidaan niiden avulla ennustaa menetelmät sekä operaattoreiden järjestys.

NGOMSL-mallin avulla voidaan muista malleista poiketen tuottaa tietoa menetelmien opittavuudesta ja hyödyntää tätä tietoa aikaennusteiden laadinnassa. Koska oppimista mallinnetaan melko karkeilla menetelmillä ja yksinkertaistetusti, ei oppimisaika-arvioita suositella käytettäväksi muuhun kun eri menetelmien välisiin vertailuihin. NGOMSL-mallilla voidaan myös tutkia järjestelmän johdonmukaisuutta, koska eri menetelmät ja niiden samankaltaisuus on analysoijan nähtävillä.

5 PÄÄTELMÄT

GOMS-mallit soveltuvat monenlaisiin käyttöliittymien suunnittelutilanteisiin. Niitä on käytetty todellisissa suunnittelutilanteissa ja niiden avulla tuotettujen tietojen on todettu pitävän paikkansa. GOMS-malleja voidaan hyödyntää järjestelmän suunnitte-

lun varhaisista vaiheista toteutuksen jälkeiseen arviointiin, joten ne ovat käyttökelpoisia systeemin elinkaaren kaikissa vaiheissa.

GOMS-mallit ovat tehokkaita, koska niiden avulla voidaan hallita monimutkaisia ja nopeita tapahtumaketjuja. Malleilla voidaan kuitenkin ratkaista ainoastaan tavoitekeskeisiä ongelmia. Ohessa tapahtuvat tavoitteen kannalta turhat toimet, esimerkiksi silmälasien korjailu tai huomion herpaantuminen ulkona lentävän varpusen takia ovat odottamattomia toimia ja niitä on GOMS-mallien avulla erittäin vaikea ennakoida.

GOMS-mallit perustuvat tehtäväkeskeiseen lähestymistapaan. Sen mukaan jonkin tehtävän suorittamiseksi käyttäjän on ensin opittava tarvittavat menetelmät ja sitten noudatettava tarkasti opittuja taitoja tehtävien ratkaisussa. Lähestymistapa on suoraa, eikä puutu esimerkiksi ihmisen kykyyn ymmärtää asioita eri tavoin, kykyyn ratkaista ongelmia tai erilaisiin oppimismekanismeihin.

GOMS-mallien avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Koehenkilöillä toteutettavat käytettävyytutkimukset ovat yleensä työläämpiä toteuttaa ja kalliimpia kuin GOMS-mallien rakentaminen. GOMS-mallien avulla voidaan tuottaa myös tietoa, jota koehenkilöillä tapahtuvilla mittauksilla on vaikea havaita, kuten miksi jokin asia voidaan yhdellä tavalla tehdä nopeammin kuin jollain toisella.

Tulevaisuudessa GOMS-mallien kehityksessä on tavoitteena huomioida paremmin ihmisen kyky ymmärtää ja ratkaista ongelmia. Yhtenä päämääränä on myös kuilujen poistaminen eri GOMS-mallien väliltä. Tavoitteena on toteuttaa GOMS-malli, jossa yhdistyvät nykyisten mallien hyvät puolet. Esimerkiksi malli, joka on ohjelma-
muotoinen, nopeasti hyödynnettävissä käytäntöön ja jossa on huomioitu operaattoreiden rinnakkaisuus.

LÄHTEET

Atwood M. E., Gray, W. D., John, B. E. (1996). Project Ernestine: Analytic and empirical methods applied to real-world CHI problem. Teoksessa: *Human-Computer Interface Design: Success Stories, Emerginig Methods and Real-World Context*, M.

Rudisill, C. Lewis, P. B. Polson, T. D. McKay, (toim.). Morgan Kaufmann, San Mateo. California. USA.

Bovair, S., Kieras, D. E., Polson, P. G. (1990). The acquisition and performance of text-editing skill: A cognitive complexity analysis. *Human Computer Interaction* 5, 1-48.

Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. (1980a). The keystroke-level model for user performance time with interactive system. *Community ACM* 23, 7, 396-410.

Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. (1980b). Computer text-editing: An informationprocessing analysis of a routine cognitive skill. *Cognitive Psychology* 12, 32-74.

Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum, Hillside, N.J.

Card, S. K., Moran, T. P. (1988). User technology: From pointing to pondering. Teoksessa: *A history of Personal Workstations*, A. Goldberg (toim.). ACM, New York, 489-522.

Elkerton. J. (1993). Using GOMS models to design documentation and user interfaces: An uneasy courtship. Teoksessa: *Proceedings of INTERCHI'93*. Position paper for workshop on human-computer interaction advances derived from real world experiences. ACM, New York.

Endestad, T., Meyer, P. (1993). GOMS analysis as an evaluation tool in process control: An evaluation of the ISACS-1 prototype and COPMA system. Technical Report HWR-349, OECD Halden Reactor Project, Inst for Energiteknikk, Halden, Norway.

Gray W. D., John, B. E., Atwood, M. E. (1993). Project Ernestine: A validation of GOMS for prediction and explanation of real-world task performance. *Human Computer Interaction* 8, 3, 237-249.

John, B. E., Kieras D. E. (1996a). Using GOMS for User Interface Design and evaluation: Which Technique? *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 3(4): 287-319.

John, B. E., Kieras D. E. (1996b). The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 3(4): 320-351.

Kieras, D. E. , Polson, P. G. (1985). An approach to formal analysis of user complexity. *International Journal of Man-Machine Studies*. 22, 365-394.

Kieras, D. E. (1988). Towards a practical GOMS model methodology for user interface design. Teoksessa: *The Handbook of Human-Computer Interaction*, M. Helander (toim.). North-Holland, Amsterdam, 135-158.

Nessbitt, K., Gorton, D., Rantanen, J. (1994). A case study of GOMS analysis: Extension of user interfaces. Technical Report BHPR/ETR/R/94/048, BHP Research-Newcastle Laboratories, Australia.

Newell, A., Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Steinberg, L. S., Gitomer, D. H. (1993). Cognitive task analysis, interface design, and technical troubleshooting. Teoksessa: *Proceedings of the 1993 International Workshop on Intelligent User Interfaces*, W. D. Gray, W. E. Hefley, D. Murray (toim.). ACM, New York, 185-191.

Tietojätti. (1989). Gummerus Kirjapaino oy. Jyväskylä. 1207 s.