

Lukijalle

Tähän julkaisuun on kerätty kevätlukukaudella 2003 pitämälläni Tutkimuskurssilla tehdyt, määräaikaan mennessä valmistuneet tutkielmat.

Toimittaja

Sisällysluettelo

Musiikin automaattinen generointi.....	1
<i>Atso Kauppinen</i>	
Multimediaviestien välitys mobiili- ja Internetverkkojen välillä.....	17
<i>Hannu Lohtander</i>	
Tietotekniikan opetus Tampereen yläkouluissa.....	37
<i>Kristiina Länsiö</i>	
Agentit ja tiedon etsiminen internetistä.....	53
<i>Mika Paananen</i>	

Musiikin automaattinen generointi

Atso Kauppinen

Tiivistelmä.

Tutkielma käsittelee musiikkiteosten automaattista säveltämistä ja siihen liittyviä vaiheita sekä toimintatapoja. Aiheeseen kuuluu mm. tunteiden ja tunnelmien välittäminen tietokoneelle sekä joitakin käytännön keinoja niiden esiintuomiseksi lopullisessa sävellyksessä. Lisäksi käydään tärkeänä asiana läpi ihmisen ja tietokoneen suurimpia eroja musiikin tuottajina.

Avainsanat ja -sanonnat: generointi, musiikki, tekoäly

CR-luokat: I.2, J.5

1. Johdanto

Musiikki on taidemuotona varsin kaksijakoinen, kun ajatellaan tekoälyn soveltumista sen tuottamiseen. Toisaalta se on mallinnettavissa hyvinkin loogisesti ja matemaattisesti, mikä tekee sen esitystavan tietokoneiden kannalta ihanteelliseksi, mutta sen luonne on myös mitä suurimmissa määrin tunteisiin vetoava, mikä taas muodostaa suuren ongelman tunnetusti täysin tunteettomien tietokoneiden kanssa. Musiikin automaattista säveltämistä tekoälymetodeita käyttäen on tutkittu niin käytännössä kuin teoriassakin jo vuosien ajan. Tämän tutkielman tarkoituksena on sekä kartoittaa tähän saakka hyviksi havaittuja ja yleisesti käytettyjä metodeita, että pyrkiä niiden yhdistelemisen ja muokkaamisen avulla muodostamaan erilaisia tapoja täysipainoisen musiikin automaattiseen tuottamiseen tietokoneen avulla.

Tekoälyyn pohjaavan musiikin säveltämisessä on karkeasti ottaen kaksi pääsuuntausta: reaaliaikainen, yleensä esimerkiksi liikkeeseen tai muihin vastaaviin ärsykkeisiin perustuva taustamusiikin generointi, sekä ei-reaaliaikainen tyyli kokonaisvaltaisten teosten, teosten joilla on selkeä alku ja loppu sekä rakenne, työstämiseen. Tässä tutkielmassa keskitytään ensisijaisesti jälkimmäiseen, mutta osittain näiden kahden suuntauksen metodit myös tukevat toisiaan.

Tämä kirjoitus keskittyy musiikin teoriaa koskevissa kohdissaan perinteiseen länsimaiseen teoriaan, jossa oktaavi on jaettu kahteentoista osaan. Suuri osa jatkossa esiteltävistä sävellystavoista on kuitenkin mahdollista saada pienin lisäyksin ja muutoksin toimimaan myös muilla teoriapohjilla.

2. Säveltämisprosessi

Puhuttaessa luovasta työstä ei yleensä puhuta loogisesta älykkyydestä samanlaisessa yhteydessä kuin tieteellisissä tilanteissa. Vanha sanonta ”äly on taiteen pahin vihollinen” pitää paikkansa sikäli, että varsinkin musiikin kohdalla kyse on yleensä enemmän tunteesta kuin loogisista kertomuksista toisin kuin esimerkiksi kirjallisuudessa. Tämä antaa aihetta käsitteleville tekoälysovelluksille aivan oman luonteensa: kysymys ei ole enää oikeiden vastausten löytämisestä vaan parhaassa tapauksessa pyrkimys onkin löytää se kaikkein yllättävin ja omaperäisin tapaus. Tämä ajatus on valitettavan usein ohitettu, kun tietokonetta on yritetty valjastaa luovaan toimintaan, ja sitä onkin syytä käsitellä ennen siirtymistä konkreettisempiin asioihin.

2.1. Säveltämisen lähtökohdat

Ihmissäveltäjien työtavat vaihtelevat suuresti, eikä musiikin tekoon ole olemassa mitään tiettyä oikeaa tapaa. Kysymys kuuluukin, kuinka tietokoneen tulisi työskennellä, että siitä saataisiin sen parhaat ominaisuudet irti? Yksi karkea tapa sävellystapojen erotteluun on jaotella sävellystyylit kahteen osaan: inspiroituneeseen ja ns. työsäveltämiseen [Jacob, 1996].

Inspiroituneella sävellystyylillä ymmärretään hetken mielihohteesta, satunnaisesta tunnelmasta lähtenyt ideaa, jota säveltäjä sitten jatkaa tiettyä teemaa seuraten lopputulokseen. Tätä mallia pidetään useimmiten kaikkein ihanteellisimpana tapana musiikin tekoon, koska tällöin taiteilijan sanotaan antavan teokseen jotain ainutlaatuista itsestään ja lopputulos on usein keskimääräistä henkilökohtaisempi ja omaperäisempi.

Toinen tapa – ns. työsäveltäminen – on yksinkertaistettuna vain yritykseen ja erehdykseen pohjautuvaa työtä, jossa apuna käytetään hyviksi havaittuja teoreettisia toimintaperiaatteita. Tämän sävellystyylin suurimpana ongelmana on se, että sävellyksistä on tapana tulla melko hengettömiä ja yllätyksettämiä.

Näistä kahdesta mallista jälkimmäinen soveltuu tietokoneelle selvästi paremmin, ja sitä on myös yleisesti käytetty automaattisen musiikkituotannon kulmakivenä. Ongelma on ollut se, että sävellyksistä puuttuu usein niin tunnelma kuin yllätyksellisyyskin. Ennen kuin tietokoneet voivat

muodostaa vakavaa uhkaa eläville kollegoilleen, tämä asia on pystyttävä ratkaisemaan.

Se, mistä ihmisen inspiraatio ja intuitio syntyy, on varsin monimutkainen asia. Tang-Chun Li [1999] jakaa musiikilliset valmiudet kolmeen kategoriaan: sävellyksen lähtökohtaan, tietotaitoon ja historiaan. Näistä kahteen viimeiseen, eli musiikilliseen teoriaosaamiseen ja analyttisen kuuntelun kautta syntyneisiin näkemyksiin, keskitytään tutkielman kuluessa syvemmin ja niiden esittäminen tietokoneelle sopivassa muodossa on suhteellisen helppoa, mutta ensimmäinen muodostaa paljon moniselitteisemmän ongelman.

Li jakaa sävellyksen lähtökohdan vielä kolmeen osaan: tyyliin, ulkomusiikillisiin tekijöihin ja tuntemattomiin tekijöihin. Näistä kaksi ensimmäistä liittyvät vahvasti yhteen. Ne muodostuvat pääasiassa tekijän musiikkimausta ja sävellyksen tarkoituksesta. Niiden oleellisin ero tuntemattomiin tekijöihin on se, että ne kuvaavat tiedostettuja tarkoituseriä. Tuntemattomat tekijät ovat alitajuisia signaaleja, joihin kuuluvat suurimpana osana säveltäjän tunteet ja tuntemukset. Tuntemattomien tekijöiden vaikutus musiikkiin ja varsinkin sen lopulliseen tunnelmaan on mittaamattoman suuri, joten niiden mallintaminen ohjelmallisesti on paitsi tärkeää, myös mahdollisesti koko automaattisen säveltämisen suurin ongelma.

2.2. Tietokone ja intuitio

Hubert L. Dreyfus [HS, 1991] on tunnettu epäilevästä suhtautumisestaan tietokoneiden tekoälysovelluksiin ja hän ottaa esille aiheeseen liittyvän suurimman ongelman: tietokoneelta puuttuu intuitiivinen, vaistoihin ja - taiteen mielessä oleellisemmin - tunteisiin perustuva päättelykyky. Hän nostaa esille esimerkin nuorista ja vanhoista lääkäreistä, joiden välillä on usein se ero, että nuoret tukeutuvat tarkkoihin sääntöihin ja oppeihin siinä missä kokeneemmat kollegansa pystyvät soveltamaan oppejaan ja toimimaan vaistojensa varassa usein paremmin lopputuloksin. Hän vertaa tietokoneita ja niiden asiantuntijaohjelmia nuoriin lääkäreihin: ne tietävät faktat ja perustoiminnot, mutta eivät osaa muodostaa yllättäviä ratkaisuja maalaisjärkeen perustuen. Kun generoidulla musiikilla pyritään haastamaan eläviä ihmissäveltäjiä, tämä muodostuu yhdeksi tärkeimmistä yksittäisistä osa-alueista. Matemaattisesta luonteestaan johtuen musiikillinen tietotaito on suhteellisen helppoa syöttää tietokantoihin, mutta näiden sääntöjen pilkuntarkka noudattaminen saa aikaan yleensä hyvin yksitoikkoiselta kuulostavan lopputuloksen.

2.3. Lähtökohtien välittäminen ohjelmalle

Musiikkiteoksiin liittyy olennaisena osana aina jokin tietty tunnelma, joka voi olla niin surullinen kuin iloinenkin tai synkkä siinä kuin valoisa. Ihmiselle tunnelman aistiminen on luonnollista - joskin samalla myös yksilöllistä - mutta tietokoneelle tunnelma on kyettävä esittämään kylmän loogisella tavalla ennen kuin se pystyy siihen mukautumaan.

Ihmiselle tunnelma syntyy joko sisäisesti tai ulkoisesti. Tietokoneella kyseeseen tulee ainoastaan jälkimmäinen vaihtoehto, eli se voi sopivilla analyysiohjelmistoilla kyetä erittelemään esimerkiksi kuvasta sen värimaailman tai muotojen jyrkkyyden ja terävyyden sekä muodostamaan yleisen ilmapiirin keräämiensä tietojen perusteella. Tämäkään ei tietenkään vielä riitä, vaan lisäksi sen on kyettävä yhdistämään vaikkapa jyrkät kontrastit voimakkaaseen, ehkä synkkäänkin tunnelmaan, ja vastaavasti laimeat värit ja pehmeät muodot leppoisaan olotilaan. Kun vielä tiedetään että eri värit merkitsevät eri kulttuureissa erilaisia asioita, jää ainoaksi selväksi vaihtoehdoksi, että näiden asioiden esittelyt on jätettävä ohjelman käyttäjän harteille.

Hieman myöhäisemmässä haastattelussa [Tekniikka ja talous, 1991] Dreyfus toteaa uusimpienkin tekoälymetodien suureksi ongelmaksi sen, että niiltä puuttuu tahto ja päämäärä. Nämä kuuluvat ilmeisesti vielä pitkään ihmisen etuoikeuksiin ja ne on pystyttävä selittämään tietokoneelle ulkoa käsin. Ohjelma ei siis pysty tarjoamaan aidosti inspiroitunutta säveltämistä vaan ainakin vielä tällä hetkellä se kykenee ainoastaan kylmästi mallintamaan ihmisen ajatuksia.

3. Sävellyksen osa-alueet

Jotta kokonaista sävelteosta pystyttäisiin käsittelemään tietokoneella, on se ensin luonnollisesti pilkottava mahdollisimman pieniin osiin. Seuraava jaottelu perustuu Chong Yun [1996] luomaan malliin, joka on melko lähellä perinteistä midi-signaalien käsittelyä. Yun kehittämän hierarkian osat pienimmästä suurimpaan ovat nuotti (note), nuottilinja (line), rytmi (rythm), soitinkerros (layer), yhdistetty nuottilinja (compound line), säe (stanza) sekä kooste (section).

Nuotti on sävelteoksen pienin osa ja pitää sisällään äänenkorkeuden eli sävelen sekä nuotin keston. Yun malliin on lisäksi sisällytetty nuotin voimakkuus sekä instrumentti, mutta ne kuuluvat enemmän midi-pohjaiseen musiikinesitykseen eikä niihin perehdytä tämän tutkielman puitteissa.

Nuottilinja on peräkkäisistä nuoteista koostuva lista, joka tallentaa vain yhden äänen kerrallaan. Toisin sanoen nuottilinjaan ei ole mahdollista

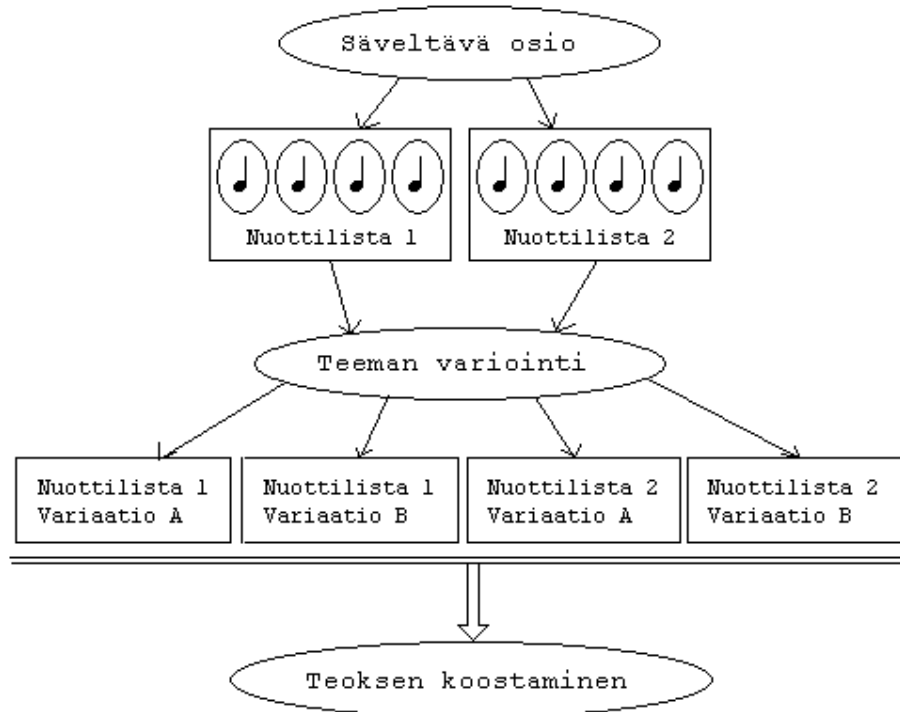
tallentaa kahta päällekkäin soivaa nuottia. Rytmiosa sisältyy nuottilinjaan ja ilmaisee milloin kunkin nuotin tulee soida.

Soitinkerros mallintaa soittajaa, esimerkiksi kunkin muusikon persoonallisuutta ja soittotyyliä. Tekniseltä kannalta se huolehtii edellisten osien hallinnomisesta eikä sillä sellaisenaan ole suurta teoreettista merkitystä, joten siihen ei paneuduta enempää.

Yhdistetty nuottilinja kasaa päällekkäin usean yksiaänisen linjan ja liittyy siis generoidun musiikin kannalta enemmän sovittamiseen kuin varsinaiseen säveltämiseen. Tämän kirjoituksen puitteissa keskitytään yksityiskohtaisen, äänipohjaisen sovittamisen sijasta enemmän pohjasointuihin. Niiden tarkempi sovittaminen on algoritmisesti vaativa ja moniselitteinen tehtävä.

Säkeet muodostuvat nuottilinjoista ja muodostavat teoksen osan. Säkeen tekeminen tapahtuu säveltämällä ensin teema (joka tallennetaan pohjasointuineen yhdistettyyn nuottilinjaan) ja sen jälkeen muuntamalla teemaa tahdista ja mahdollisesti myös osasta toiseen, tallentaen valmiit pätkät sitten säkeeseen. Kooste on taas yhdistelmä säkeitä, eli toisin sanoen lopullinen teos.

Koska osa Yun mallista liittyy ohjelmakohtaiseen tekniseen toteuttamiseen, mallia on syytä karsia hieman yksinkertaisemmaksi, eli kuvan 1 mallin mukaiseksi. Musiikin generoinnin kannalta tärkeimmät vaiheet ovat sävelkulun teko (tapahtuu nuottilistoissa), teeman variointi (jotaa varten perustetaan erillinen teemakerros) sekä lopullisen teoksen kokoaminen. Seuraavaksi käydään alustavasti läpi mitä missäkin osassa tapahtuu.



Kuva 1. Teoksen valmistamisen osa-alueet ja välivaiheet ylhäältä lähtien.

Varsinainen alustava sävellystyö tapahtuu nuottilistojen avulla. Käyttäjän määrittämien lähtökohtien avulla pyritään luomaan tunnelmaan sopiva pätkä musiikkia, mikä sitten tallennetaan melodian ja pohjasointujen osalta nuottilistaan.

Nuottilista muodostetaan jatkossa esiteltävien hierarkioiden mukaisesti sattumanvaraisuutta hyödyntäen. Koska musiikissa mahdolliset vaihtoehdot nousevat helposti määrättömän korkeiksi, pyritään kukin lista pitämään mahdollisimman lyhyenä ja yksinkertaisena. Ensimmäiset teemaa rakentavat nuottijonot ovat eräänlainen siemen, josta tuleva teos alkaa kasvaa sitä mukaa kun sitä teemaosiossa edelleen kehitetään.

Teemat saavat alkunsa jostain lyhyestä nuottilistasta. Teemaosan tärkein tehtävä on hallinnoida muunnoksia, joita alkuperäisestä pätkästä tehdään. Käytännössä tämä ohjelman osa siis muuttaa sävellettyä pätkää ja tekee siitä erilaisia versioita monotonisuuden välttämiseksi.

Kokonainen järjestää teemat oikeaan muotoonsa ja pitää huolen siitä että vaihdokset sävelkulusta toiseen kuulostavat luonnollisilta. Lisäksi se hallinnoi dramaturgista kokonaisuutta ja pitää huolen teoksen kokonaisuudesta.

4. Säveltämismekanismit

Edellisen luvun perusteella saattoi saada turhankin yksinkertaistetun kuvan järjestelmällisestä musiikin tekemisestä ja analysoinnista. Tosiasiassa nämä kaksi asiaa liittyvät toisiinsa niin saumattomasti, että niiden erottaminen on tekniseltä kannalta hyvin hankalaa.

Samoja toimintatapoja, joita käytetään musiikin analysointiin, käytetään myös sen tuottamiseen. Tämä tarkoittaa, että teeman luonti ja sen variointi ovat hyvin tiiviissä yhteistyössä keskenään. Tietokoneen toiminnan kannalta ne on kuitenkin syytä yrittää tavalla tai toisella erottaa, joten jatkossakin teeman luomista sekä sen muuntamista käsitellään erillään toisistaan jos se vain suinkin on mahdollista.

Tämä luku käsittelee ensimmäisten yksinäisten nuottilistojen luomisen pohjaäänineen ja sävellajeineen.

4.1. Yleisiä näkökulmia

Kun musiikkia lähdetään generoidusti tuottamaan, törmätään välittömästi kahteen ongelmaan: musiikin pitäisi olla omaperäistä, mutta kuitenkin ihmis-korvalle miellyttävää. Koska tietokone ei omaa esteettistä silmää eikä korvaa, on sattumanvaraisesti synnyttävälle musiikille annettava hyvin tarkat rajat. Toisin sanoen on pidettävä huolta, että ohjelma hallitsee musiikin teorian ja toimii sen puitteissa.


Seuraavaksi käsitellään teknisiä tapoja esittää teoriaosaaminen siinä muodossa, että myös tietokoneohjelma pystyy sen ymmärtämään. Samalla pyritään esittämään keinoja ensimmäisissä luvuissa käsiteltyihin tunnelmaa koskeviin ongelmiin.

4.2. Nuottitaulukot

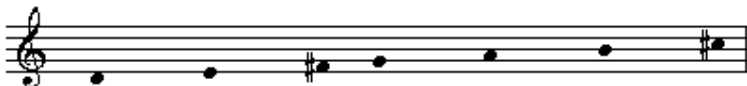
Nuottitaulukkoa ei tule sekoittaa jo aikaisemmin käsiteltyyn nuottilistaan, vaan se on tapa, jolla pystytään esittämään esimerkiksi haluttu sävellaji siten, että ohjelman arvontamahdollisuudet peräkkäisiä nuotteja koskien pystytään rajoittamaan ihmiskorvalle hyvänkuuloisiin vaihtoehtoihin.

Bruce Jacob [1995] esittää binääriseen listaan perustuvan oktaavimallin (kuva 2), missä muodostetaan taulukko joka sisältää vähintään niin monta alkioita kuin oktaavissa on nuotteja (esimerkkitapauksissa 12, mutta teoriasta riippuen ääniä voi olla joku muukin määrä). Jacob käsittelee aihetta lähinnä sovittamisen näkökulmasta, koska taulukosta on helppo nähdä, mitä ääniä kunkin soinnun ja sävellajin aikana on luvallista päällekkäin soida. Tätä on kuitenkin mahdollista ja jopa edullista käyttää jo sävellysvaiheessa, koska se on hyvä tapa rajoittaa tietokoneen mahdollisuuksia linjojen arvonnassa. Se

muodostaa myös hyvän työkalun, kun yksittäiselle sävelkululle yritetään määrittää jotakin tiettyä tunnelmaa.

(a) 

[1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0]
D Eb E F Gb G Ab A Bb H C Db

(b) 

[1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1]
D D# E F F# G G# A A# H C C#

Kuva 2. Esimerkki D-molli (a) ja D-duuri (b) asteikoista esitettynä binäärisinä nuottitaulukkoina.

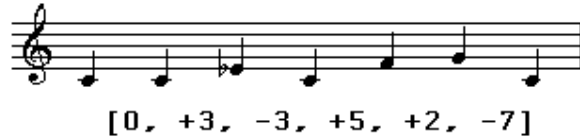
Jos tavoite on esimerkiksi rakentaa sävelteos kuvataiteellisen teoksen pohjalta, voidaan tietyt väriarvot linkittää tiettyihin skaaloihin. Yleisesti mustat ja siniset värit yhdistetään melankoliseen ja jopa synkkään ilmaisuun, mikä tarkoittaisi musiikin kielellä molliskaalojen suosimista musiikin rakentamisessa. Toisaalta taas lämpimät värit painottavat musiikkia duurivoittoisempaan suuntaan. Lopullisia vaihtoehtoja niin skaalojen kuin analyysinkin alueella on tietenkin lukemattomia.

Nuottitaulukoon voi halutessaan tallentaa toki myös monia oktaaveita, mutta yksinkertaisinta lienee pitää se vain yhden oktaavin kattavana. Kun se kohdistetaan kuhunkin nuottiin kerrallaan, se on myös riippumaton kullakin hetkellä vallitsevasta sävellajista (skaalojen äänien väliset intervallit pysyvät vakioina sävellajista riippumatta) ja soveltuu näin ollen hyvin moniin eri tilanteisiin. Samalla se myös tarjoaa mahdollisuuden hyvinkin yllättäviin melodiisiin ratkaisuihin, koska sävellajia voidaan nuottikohtaisesti koko ajan muuttaa koko ajan.

Nuottitaulukko on helppo myös laajentaa painotetuksi. Tähän palataan myöhemmin, kun käsitellään jo tehdystä musiikista oppivia järjestelmiä.

4.3. Intervallitaulukot

Intervallitaulukko (kuva 3) on hyvin samantyyppinen kuin kuvassa 2 on esitetty, mutta tällä kertaa nuottien sijasta tallennetaan niiden välisiä suhteita ja eroja eli intervalleja.



Kuva 3. Intervallikartta tallentaa nuottien sijasta niiden välisen eron.

Eräs malli intervallitaulukon käytöstä on Darren Conklinin [2002] esittelemä tapa. Se eroaa nuottitaulukosta siinäkin mielessä, että siinä ei tallenneta mahdollisia päällekkäisiä tai peräkkäisiä ääniä vaan konkreettiset nuotinvaihdokset. Näin ollen intervallitaulukot eivät ole musiikin varsinaisen tekemisen kannalta niin joustavia kuin nuottitaulukot.

Käytännössä intervallitaulukkoja voi käyttää sävelletessä siten, että tallennetaan tauluun kustakin nuotista mahdolliset intervallit seuraavaan nuottiin ja ratkaistaan lopputulos sen perusteella. Käytännön mekaniikan kannalta niiden käyttö on vaikeaa sellaisissa tilanteissa, joissa sävellaji on selvästi tärkein kokonaisuutta sitova osa-alue, mutta suurin ilo niistä saadaan irti kun ne muutetaan painotetuiksi ja käytetään niitä esimerkiksi jo sävellettyjen teosten analyysiin. Tämä tekee menetelmästä tärkeän jatkoa ja varsinkin analyysin kautta oppivia menetelmiä ajatellen.

4.4. Algoritminen metodi

Siinä missä kaksi edellistä metodia keskittyivät melodiakulun esittämiseen sellaisenaan, on olemassa myös metodi, joka ei tallenna nuottidataa vaan ainoastaan tunnelman. Tämä tapa on yleisesti käytössä reaaliaikaisissa sovelluksissa, joissa musiikkivirran on oltava tauotonta ja pystyttävä nopeasti reagoimaan eri tilanteisiin.

Idea on lähtökohdaltaan mielenkiintoinen: algoritmille annetaan tietyt parametrit, joiden puitteissa sen on toimittava ja se tulostaa koko ajan annettuja arvoja vastaavaa nuottivirtaa. Tällaista sävellystapaa edustaa esimerkiksi MAgnetA-ohjelma [Casella and Paiva, 2001]. Se on järjestelmä, joka on kehitetty reaaliaikaisen taustamusiikin luontiin, ja se osaa reagoida erilaisiin sille annettuihin ärsykkeisiin. Algoritmien tallentamisessa valmiin nuottidatan sijasta on se hyvä puoli, että näin vältetään mahdollisesti töksähtäen muuttuvat tunnelmatilat varsin tehokkaasti. Toisaalta ongelmaksi muodostuu kestävien teemojen hallittu kehittäminen. MAgnetA:n kaltaisilla ohjelmilla on taipumusta varioida teemaa liiallisesti, minkä seurauksena musiikista ei yleensä muodostu kokonaisuutta vaan hahmotonta ja sekavaa taustahälyä vailla varsinaista rakennetta.

Algoritminen metodi siis pitää sisällään sekä säveltävän että muuntelevan osuuden ja lyö näin ikään kuin kaksi karpästä yhdellä iskulla. Ongelmaksi muodostuvat helposti teoksen koostaminen (kokonaisvaltaista teosta kehitettäessä tietoa on oltava mahdollisuus muutella vielä sävellystyön jälkeenkin) sekä mahdollisesti erilaiset musiikinteoriat, jotka kaikki pitäisi ohjelmoida algoritmiin erikseen. Ainakin nykyisissä toteutusmuodoissaan puhtaaseen algoritmiikkaan perustuva musiikki ei siis ole paras vaihtoehto selkeiden teoskokonaisuuksien säveltämiseen, mutta sillä on omat hyvät puolensa ja sen olemassaolosta on syytä olla tietoinen.

4.5. Nuottien rytmitys

Nuottien pituuden valitseminen on ehkä hieman yllättäenkin paljon moniselitteisempi asia kuin äänenkorkeudet johtuen lähinnä siitä, että niitä koskemaan ei ole melodiatasolla tehty kovinkaan selkeitä teoriasäädöksiä. Tietynlaisen yhtenäisyyden aikaansaamiseksi peruslinja kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja välttää nopeita vaihtoja, koska niihin asioihin tullaan kuitenkin vaikuttamaan siinä vaiheessa, kun pätää aletaan muokata. Yksi hyväksyttävä metodi on jopa pitää kaikki yhtä pitkinä vielä ohjelman tässä vaiheessa.

Yhtenä vaihtoehtona rytmin elävyydelle on MAgneta-ohjelmiston kaltainen ratkaisu, jolla on kyky etsiä rytmiä sille välitetystä ympäristöstä (mikä useimpien musiikkisysteemien kohdalla on esimerkiksi tietokonepelin tapahtumat). Liikkuvaa kuvaa on myös käytetty yleisesti antamaan teoksille rytmiä. Rytmiä on haettu milloin valvontakameroista, milloin poliisin ylinopeus-tutkista.

5. Teeman variointi ja musiikin analysointi

Selvyyden vuoksi tässä vaiheessa on hyvä sanoa, että sovittaminen ja teeman variointi käsitetään tätä aihetta käsitellessä kahtena erillisenä asiana. Teeman muuntelussa on kyse lähinnä säveltämisestä ja sovittamisella tarkoitetaan päällekkäisten äänien järjestelyä. Vaikka nämä käsitteet hieman leikkaavat toisiaan, ei niitä tule sekoittaa toisiinsa.

5.1. Teeman variointi

Kun edellisen luvun metodeita hyväksikäyttäen on saatu aikaiseksi selvä melodialinja sointuineen, on siirryttävä muuttelemaan tätä teemaa siten, että lopputuloksessa sama osa ei toistu loputtomiin samanlaisena.

Jacob [1996] esittelee sarjan toimintoja, joilla alkuperäistä melodianpätkää saadaan muutettua siten, etteivät ne sotke musiikin teoreettisia osa-alueita. Toimintoihin kuuluvat variaatioiden (jolla Jacob tässä yhteydessä tarkoittaa nuottilistaa) jatkaminen tai kesken katkaiseminen, nuottikorkeuksien tai rytmien kääntäminen toisinpäin, sävellajin muutokset siten, että nuottikorkeudet pysyvät ennallaan, nuottisarjan nostaminen tai laskeminen tietyn määrän sävellajia muuttamatta, nuottiarvojen kertominen tietyllä vakiolla ja pyöristäminen joko lähimpään ylimpään tai alimpaan nuottiin skaalan rajoissa, satunnaisten äänten pudottaminen listasta sekä erilaiset kvanttisoinnit, joilla melodian kokonaisrytmiä pystytään muuttamaan. Lisäksi on mahdollista esimerkiksi lisätä väliäänä suuren ja hitaiden vaihtojen väliin, sekä muuttaa tiettyjä nuottiketjuja esimerkiksi trioleiksi.

Mahdollisuuksia löytyy satoja, mutta yleisesti ottaen ohjenuorana on se, että teoksen teoreettinen eheys tulisi pystyä säilyttämään myös muutoksia tehtäessä. Toisin sanoen mitkään muutokset eivät saa rikkoa valittua tunnelmaa tai musiikin teoriaa vastaan.

5.2. Kuunteleva osio

Kun tiettyä pätkää on muunneltu ja saatu alkuperäisen pohjalta tukku uusia, ne on yleensä syytä kuunnella läpi. Tietokoneella tämä tarkoittaa analysointia, jolla mm. selvitetään, onko uusi versio aiheesta sallittujen normien rajoissa ja mitä erikoispiirteitä se sisältää muihin variaatioihin nähden.

Mikäli aikaisemmin esitetyt sävellys- ja muuntelutekniikat ovat oikein ohjelmoidut, ei lopputuloksessa pitäisi olla suuriakaan teoreettisia virheitä. Koska ne kuitenkin ovat kaikesta huolimatta mahdollisia, pätkät kannattaa vielä tässä vaiheessa tarkastaa. Tutkinnassa käytetään hyvin samanlaista lähestymistapaa kuin säveltämisessäkin, eli esimerkiksi nuotti- ja intervallitaulukoita hyväksikäyttäen tarkastetaan vaihteluiden laillisuus ja mikäli teema ei läpäise tarkastusta, se hylätään.

Toinen tärkeä asia on tarkastaa, toteuttaako teema halutun tunnelman. Tunnelma voi muuttua sävellystä muokattaessa hyvinkin paljon, joten samat tekniikat, joita käytettiin sävellyksen luomiseen, tulevat käyttöön myös tässä vaiheessa teoksen kasaamista. Näiden kahden tarkastuksen jälkeen jäljellä pitäisi olla sarja suhteellisen yhtenäisiä osia.

Yhden teoksen teemaosan kokoaminen edellyttää kuitenkin myös näiden osien laittamista oikeaan järjestykseen ja se on kuuntelevan osion tärkein tehtävä. Analysoimalla esimerkiksi nuottien vaihtojen tiheyttä saadaan hyvä kuva siitä, kuinka suuren intensiteetin kyseinen sävellyksen osa omaa.

Yleisesti hyvä ratkaisu on järjestää osat siten, että ne pätkät, joissa nuottitiheys on pienempi, asetetaan osan alkuun ja siitä eteenpäin aletaan laittaa järjestyksessä peräkkäin entistä intensiivisempiä osia. Mikäli kyseessä on hitaampaan päin palaava bridge-osa tai joku muu vastaava nopeasta hitaaseen osaan kulkeva teema, toimitaan luonnollisesti päinvastoin. Tätä analysoidaan kuitenkin enemmän siinä vaiheessa, kun on aika koostaa teos lopulliseen muotoonsa.

5.3. Oppivat ohjelmat

Mikäli ohjelma kykenee analysoimaan jo olemassa olevaa musiikkia, se on kykeneväinen myös oppimaan sen perusteella. Aikaisemmin on useampaankin otteeseen mainittu mahdollisuus tiettyjen metodien laajentamisesta painotettuun muotoon. Kaikessa yksinkertaisuudessaan tämä tarkoittaa sitä, että kun ohjelmalle esimerkiksi syötetään jo valmis, jonkun toisen säveltämä teos, se pystyy analysoimaan, millaisia vaihtoksia sävellys pitää sisällään ja toimimaan niiden mukaan.

Idea on hyvin yksinkertainen ja se toimii sekä nuotti- että intervallitaulukoilla. Paras lopputulos saadaan aikaan yhdistämällä molempien ominaisuudet siten, että intervallitaulukko tallentaa melodian ja pohjasoinnun liikkeitä ja jokaisen uuden nuotin kohdalla nuottitaulukko ottaa talteen vallitsevan sävellajin.

Esimerkiksi intervallitaulukkoa käyttävä melodian analysointiohjelma toimisi C-pseudokielisenä kutakuinkin kuva 4 esittämällä tavalla.

```
Jokaisen nuotinvaihdoksen kohdalla
int intervalli = edellinen nuotti - seuraava nuotti
if (intervalli > 0) // sävelissä mennään ylöspäin
    intervallitaulu[intervalli]++;
else // sävelissä mennään alaspäin
    intervallitaulu[12 + intervalli]++;
```

Kuva 4. Pseudokielinen esimerkki painotetun intervallitaulukon käytöstä musiikin analysoinnissa.

Lopputuloksena valmiista kappaleesta olisi saatavilla painotettu intervallitaulukko, jota käyttämällä pystytään tunnistamaan kunkin sävellyksen yleisimmät vaihdot ja ominaisimmat piirteet. Käyttämällä tällaista taulukkoa musiikin säveltämiseen siten, että eniten esiintyneet vaihdot olisivat etusijalla uutta intervallia arvottaessa, analysoidun teoksen ominaispiirteet siirtyisivät myös tietokoneen arpomaan musiikkiin. Samaa ideaa jatkamalla olisi mahdollista tehdä myös ns. musta lista sellaisista vaihdoista,

joita ei halua koneen käyttävän. Sama lähestymistapa toimii myös rytmin ja sointuvaihtojen analysoinnissa ja analysoidun teoksen ominaispiirteet alkavatkin hahmottua vasta kun kaikki kolme elementtiä yhdistetään.

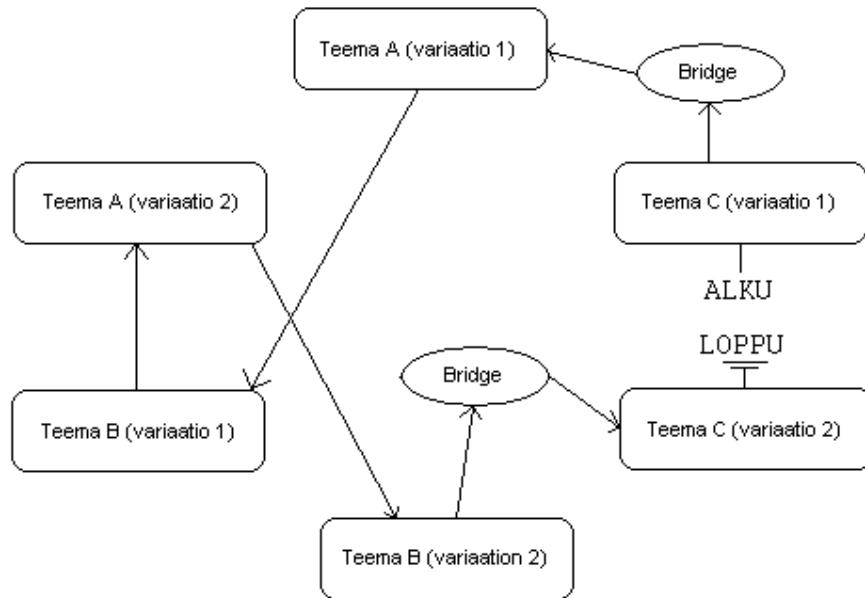
6. Teoksen koostaminen

Kun kukin teoksen osa on saatettu lopulliseen (tai ainakin alustavasti lopulliseen) muotoonsa, on ne vielä laitettava sellaiseen järjestykseen, että niistä muodostuu kunnollinen ja yhtenäinen teos. Tämän tekemiseen on totta kai myös olemassa useita toisistaan täysin poikkeavia metodeita. Aikaisemmat menetelmät huomioon ottaen käytännöllisimmäksi tavaksi nousee kuitenkin graafin tai puun käyttö lopullista rakennetta päätettäessä.

6.1. Osagraafi ja sen järjestely

Kun teoksen osat ovat lopultakin siinä kunnossa kuin ne on tarkoitus esittää, muodostetaan suunnattu graafi, jonka solmuiksi nämä osat sijoitetaan. Analysoinnissa saatujen intensiteettilukujen perusteella määritellään, mikä osa tulee sijoittaa sävellyksen mihinkin kohtaan. Yleisesti hyväksi havaittu tapa on jakaa teos (mikäli kyseessä on suhteellisen pieni sävellyks) esimerkiksi kolmeen osaan, jotka kaikki saavat sisälleen yhden alkuperäisen nuottilinjan pohjalta muunnellut teemat. Näistä suurimman intensiteetin ja dramatiikan omaava osa valitaan huippukohtaksi ja pyrkii sen jälkeen järjestämään loput osat niin, että lopputulos sisältää puhtaita nousuja huippukohtiin, jotka pyritään aikajanalla saamaan mahdollisimman lähelle kultaisia leikkauksia.

Näin ollen ohjelman tulee ottaa huomioon osien kesto ja tarvittaessa vielä pystyä joko jatkamaan tai katkomaan niitä kesken oikeanlaisen dramaturgian aikaansaamiseksi. Lopullinen järjestys muodostetaan hyvin yksinkertaisesti rakentamalla polku solmusta toiseen perinteisiä hakualgoritmeja käyttäen, että kokonaisuus on mahdollisimman lähellä haluttua ihannetta. Kun osat on saatu oikeaan järjestykseen, on jäljellä enää viimeistely.



Kuva 5. Esimerkki mahdollisesta osagraafista.

6.2. Osien vaihdosten viimeistely

Nuottidataa muokkaavaa osiota ei ole mahdollista jättää rauhaan vielä tässä vaiheessa, vaan sen ominaisuuksien pohjalta on mahdollista muodostaa niin sanottuja bridge-osia eri teemojen välille. Käytännössä tämä tarkoittaa eräänlaista siirtymäosaa, jossa teema muunnetaan loogisesti toisesta toiseksi.

Periaatteessa osanvaihto on logiikkaohjelmille jopa melko yksinkertainen hakutehtävä. Nuottitaulukkoa apuna käyttäen etsitään paras mahdollinen reitti tietystä soinnusta ja melodian äänestä toiseen käyttäen taulukkoon tallennettuja hyväksytyjä muutosvaihtoehtoja hakua rajoittavana tekijänä. Suurimmaksi ongelmaksi tuleekin, mikä tämä paras mahdollinen reitti tilanteesta toiseen on. Tässä kiteytyykin käytännössä koko generoidun musiikin suurin ongelma: oikeita ratkaisuita ei ole ja loogisesti tarkastellen paras vaihtoehto ei yleensä ole se, mikä ihmiskorvaa eniten miellyttää.

7. Yhteenveto

Edellä mainittu tapa ja sen erilaiset sovellusmallit ovat vain yksi tapa mallintaa ihmisen työskentelyä sävellysprosessissa, mutta kaiken kaikkiaan yleisin prosessi kulkee, kuten nyt on esitelty. Rakenteeltaan teoksen luonti ei kuitenkaan parhaassakaan tapauksessa muodostu täysin virtaviivaiseksi, vaan aiemmin valmistettuihin pätkiin on hierarkian yleisemmällä tasolla palattava yhä uudelleen, että saataisiin varmuus lopullisen teoksen yhtenäisyydestä.

Lisäksi mielenkiintoisena kysymyksenä voi esittää, kannattaako tietokonetta ylipäättään valjastaa mallintamaan ihmisen ajatuksia. Toinen näkökulma olisi antaa ohjelmalle vapaammat kädet ja tämä voisi avata kokonaan uusia uria koko taidesuunnan suhteen. Toisaalta musiikin kuluttajat ovat ilmeisesti vielä pitkälle tulevaisuuteen ihmisiä, joten tietynlaiset säännöt musiikin luonnissa ihmiskorvalle kiinnostavaksi ovat ajankohtaisia vielä pitkään.

Viiteluettelo

- [Casella ja Paiva, 2001] Pietro Casella, Ana Paiva. MAgentA: An Architecture for real time automatic composition of background music. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **2190**, 224-232.
- [Conklin, 2002] Darren Conklin, Representation and discovery of vertical patterns in music, In: *Proc. Music and Artificial Intelligence, Second International Conference, ICMIAI 2002, Lecture Notes in Artificial Intelligence* **2445**, 32-42.
- [Jacob, 1995] Bruce L. Jacob, Composing with Genetic Algorithms, International Computer Music Conference, Banff Alberta, September 1995. Electronically available:
http://www.ee.umd.edu/~blj/algorithmic_composition/icmc.95.html
- [Jacob, 1996] Bruce L. Jacob, Algorithmic composition as a model of creativity, *Organised Sound* **1**, 3 (Dec. 1996). Electronically available:
http://www.ee.umd.edu/~blj/algorithmic_composition/algorithmicmodel.html
- [HS, 1991] Tietokoneelta puuttuu intuitio, *Helsingin sanomat* 24.9.1991, s. 26.
- [Li, 1999] Tang-Chun Li, *Who or what is making the music: music creation in a machine age*, 1999, 57-62. Electronically available:
<http://doi.acm.org/10.1145/317561.317573>
- [Tekniikka ja talous, 1991] Naisen vaistokin päihittää tietokoneen, *Tekniikka ja talous* 2.10.1991.
- [Yu, 1996] Chong (John) Yu, Computer Generated Music Composition, May 28, 1996. Electronically available: <http://www.oz.net/~cyu/Thesis.html>

Multimediaaviestien välitys mobiili- ja Internetverkkojen välillä

Hannu Lohtander

Tiivistelmä

SMS-viestin (tekstiviestin) jälkeisen mobiiliviestinnän odotukset kohdistuvat multimediaaviestin yleistymiseen käytetyimmäksi viestin muodoksi. Multimediaiviesti on tekstiviestin laajennus, joka voi tekstin lisäksi sisältää kuvan, ääntä, animaatiota tai videoleikkeen. Se on edelleen mobiiliverkkoon tarkoitettu viestinnän muoto. Tutkielma pyrkii tuomaan esiin, miten sen käyttöä voitaisiin laajentaa koskemaan internetverkon ja mobiiliverkon välistä viestintää, siihen liittyviä teknisiä ratkaisuja sekä kohdattavia teknisiä ja taloudellisia ongelmia. Miten multimediaaviestien integroiminen internetympäristöön on syytä toteuttaa? Turvallisuus internetverkossa on ohjelmistosuunnittelijoiden vastuulla. Miten turvallisuus taataan internetverkossa liikkuville viesteille?

Avainsanat ja -sanonnat: integroidut ympäristöt, multimediaiviesti

CR-luokat: C.2.1, D.2.6

1. Johdanto

Multimediaiviestejä pidetään seuraavana askeleena tekstiviestien jälkeen mobiiliviestinnässä. Nämä kaksi eroavat teknisesti huomattavasti toisistaan, mutta ne toimivat käyttäjän näkökulmasta samalla tavalla, mikä on omiaan helpottamaan niiden käyttöönottoa viestinnän uutena muotona. Tämä uusi viestinnän muoto ei kuitenkaan poista sitä vanhaa muuria, joka erottaa internetissä tapahtuvan viestinnän mobiiliverkossa tapahtuvasta viestinnästä, vaikka multimediaiviesti lainaa teknisellä tasolla huomattavan osan semantiikastaan http-protokollasta.

Multimedia määritellään "tietokoneen käyttämiseksi esitettäessä tekstiä, grafiikkaa, videota, animaatiota ja ääntä integroidulla tavalla" [WEBOPEDIA]. Viestin multimediasta tekee se, että sillä on lähettäjä ja vastaanottaja, jotka vaihtavat multimediaa sisältävää dataa keskenään. Viestin esityksen määrittäminen voi olla viestin sisäinen ominaisuus tai ulkoinen komento, joka vastaa viestin eri mediaobjektien (integroidusta) esityksestä. Jälkimmäinen toteutuu multimediaaviestin esittämisessä viestin yhteydessä lähetettävän SMIL-osion

[SMIL] määräämän synkronoinnin mukaisesti. Multimediaviestin sisältämien medioiden tyyppiä ei ole rajoitettu muutoin kuin päätelaitteiden ominaisuuksin. Koska multimediaviestit on tarkoitettu lähinnä mobiiliympäristöön, rajoitukset ovat riippuvaisia matkapuhelinvalmistajista ja niiden tukemista mediaformaateista. Laajasti tuettuja formaatteja ovat jpeg-, gif- ja png-kuvat, midi- ja amr-äännet sekä tavallinen teksti.

Multimediaviestin teknisen toteutuksen ymmärtäminen on oleellista, jos viestejä halutaan käsitellä muussa kuin niiden tavanomaisessa ympäristössä: matkapuhelimessa ja mobiiliverkossa. Esitän tämän teknisen toteutuksen ja jatkoajatuksia siitä, miten multimediaviestin integrointi internetverkkoon olisi mahdollista toteuttaa. Sitä varten on ymmärrettävä molempien ympäristöjen kyky käsitellä viestin sisältämien mediaobjektien dataa, ja kyettävä soveltamaan ymmärrettyä multimediaviestin osalta.

Reititys mobiiliverkossa ja internetverkossa tapahtuvat erilaisten osoitemäärittelyiden perusteella. Verkkosivua ei haeta soittamalla puhelinnumeroon, eikä tekstiviestiä tai multimediaviestä lähetetä (vielä) www-osoitteeseen. Puhelimet ovat puhelinverkkoja ylläpitävien operaattoreiden tavoitettavissa, ja tavoitettavuus internetistä käsin on näistä riippuvaista. Tämä onkin suurin yksittäinen syy siihen, miksi viestit eivät liiku sujuvasti näiden kahden verkon välillä. Onko teknisissä tai taloudellisissa rakenteissa sellaisia ongelmia, jotka selittäisivät, miksi näitä osoitteita ei nykyään voida käyttää viestien lähetyksessä verkkojen välillä? Onhan yleistä, että tekstiviestitse tilataan internetistä puhelimeen logoja ja soittoääniä, ja mobiiliverkon www:n, wapin, sivujen osoitteet muistuttavat läheisesti www-osoitteita.

Turvallisuus ja käytettävyys ovat usein toisensa poissulkevia vaihtoehtoja. Multimediaviestin tuominen internetiympäristöön, jota pidetään vihamielisenä ympäristönä, aikaansaa sen, että viestin sisällön suojaamiseen ja lähettäjän ja vastaanottajan väliseen tunnistukseen on etsittävä ratkaisuja.

Suoraviestintä ei ole ainoa multimediaviestien käyttötarkoitus, mutta se on jatkuvasti laajeneva ja suosiotaan kasvattava alue. Multimediaviesteillä voi olla tärkeä osa sitä myös fyysiset verkot yhdistävänä viestinnän muotona.

2. Mobiiliverkko viestinnässä

Tutuin viestimuoto mobiilimaailmassa on tähän asti ollut ja on edelleen SMS-viesti. SMS eli tekstiviesti on "lyhyiden tekstiä sisältävien viestien lähetystä matkapuhelimesta toiseen matkapuhelimeen, faksiin tai ip-osoitteeseen"

[WEBOPEDIA]. Tekstiviestin välitys tapahtuu puhelinverkossa toimivan operaattorin tekstiviestikeskuksen (Short Message Service Center, SMSC) kautta. Tekstiviestikeskus on vastuussa halutun vastaanottajan paikantamisesta ja viestin toimittamisesta perille. Tekstiviestikeskus saa tiedon puhelimen olinpaikasta HLR-palvelulta (Home Location Register). Yhteys tekstiviestikeskukseen on vain sitä ylläpitävällä operaattorilla ja niillä asiakkaila (esim. liittymän haltijoilla), jotka ovat tehneet sopimuksen sen käytöstä. HLR on vain operaattorin tavoitettavissa. Toinen tuttu viestinnän muoto on wap, jonka läpimurtoa odotettiin jo joitakin vuosia sitten. Multimediasviesti kolmantena viestimuotona tarvitsee toimiakseen edellämainittuja ja lisää jotain uutta, mm. multimediasviestikeskuksen MMSC viestien reitittämissiksi erona SMSC:tä.

Matkapuhelinverkkoon tarkoitettulle viestinnälle on olemassa omat protokollamäärittelyt, joita ylläpitävät 3gpp [3gpp] ja Open Mobile Alliance [OMA]. Ensin mainittu vastaa kuljetuskanavan määrittelyistä, jälkimmäinen on sovelluksen ja verkon väliin jäävien protokollien määrittely. OMA:n tunnetuin määrittely on WAP, Wireless Application Protocol [WAP]. WAP yksinkertaistetusti on viisi tasoa protokollia, joista jokaisella on oma tehtävänsä:

WAE (wireless application environment)

- säännöt sovelluskehittäjille ja laitevalmistajille.

WSP (wireless session protocol)

- määrittelee protokollan sovellusten väliseen kommunikointiin.

WTP (wireless transaction protocol)

- toimii yhteyskäytävänä sovellus- ja kuljetustason välillä.

WTLS (wireless transaction layer security)

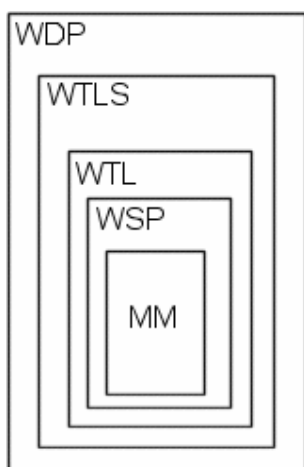
- turvallisuustaso.

WDP (wireless datagram protocol)

- integrointi käytettävään verkkoprotokollaan.

Useimmiten sovellukset kommunikoivat suoraan WSP- tai jopa WTP-tasojen kanssa. WAE on tarkoitettu lähinnä wap-selain tyyppisten ratkaisujen pohjaksi.

Multimediaviesti on WSP-tasoa vastaava protokollamäärittely. Viesti on toisiinsa upotettuja pdu- elementtejä (Protocol Data Unit), tässä tapauksessa multimediaviestin pdu on hyötykuorma (payload) WSP Push tai Get pdu - elementissä. WSP-tason pdu puolestaan on hyötykuorma WTP- protokollan pdu elementissä, tämä taas WTLS/WDP-tason elementissä. WDP-tasolla koodattu pdu on valmis lähetettäväksi käytettävissä olevalla kantaja (bearer) protokollalla (ks. Kuva 1).



Kuva 1. WDP pdu, joka sisältää multimedia-pdu:n.

2.1 Multimediaviestin rakenne

Mobiiliverkko asettaa omat haasteensa datan välittämiseen. Verkot ovat hitaita, päätelaitteiden ominaisuudet rajoitettuja ja viestien perillemeno epävarmaa. Multimediaviesti on pakattu pieneen tilaan binäärisen koodauksen avulla. Tässä koodauksessa jokaista merkkiä (token) vastaa kahdeksanbittinen tavu. Merkkejä vastaavat abstraktit kuvaukset ovat mielenkiintoisia. Kaikki nämä kuvaukset on määritelty http-protokollan otsakkeiden (header) mukaisesti. Laajennukset otsakkeihin on tehty http:n vaatimalla tavalla. Tässä on selvä yhteys internet- ja mobiiliverkon välillä. Toinen yhteys multimediaviestin ja internetin välillä on viestin hyötykuorman (payload) määrittely. Hyötykuorman abstrakti kuvaus määrittää Multipurpose Internet Mail Extension [MIME] -määrittelyä vastaavasti, joka on internetin sähköpostin ja sen liitetiedostojen muodon määrittely. Tämä määrittely määrittää viestiin osiorakenteen; jokaisella osiolla on viestiä kuvaavia otsakkeita ja osion sisältämä data. Multimediaviesti erottuu siis

Internetin http- ja mime-protokollista muutamien poikkeuksin vain binäärisen koodauksensa ja joidenkin ylimääräisten otsakkeiden perusteella.

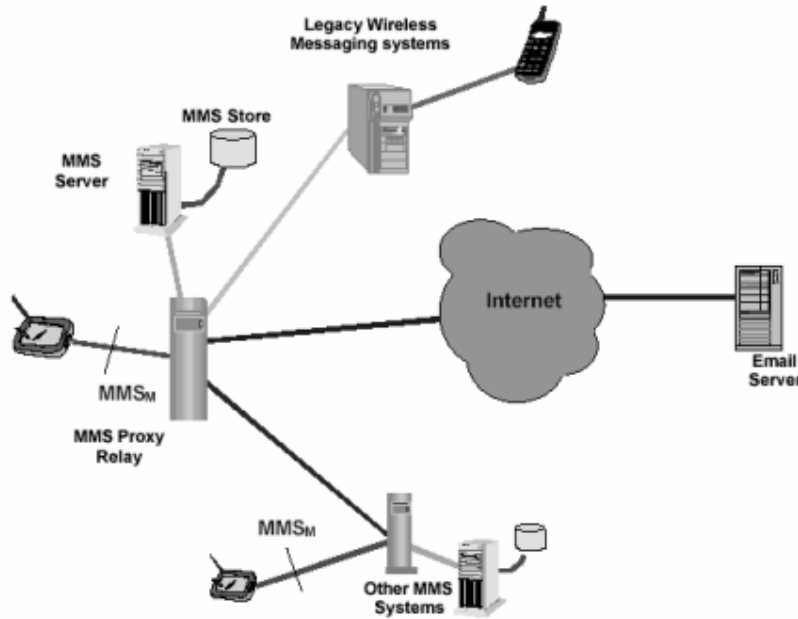
Binäärinen koodaus on määritelty wap-230 -dokumentissa. Informaation pakkaus pieneen tilaan on ollut tärkein määrittelyn motivaatio ja koodaus onkin viety äärimmilleen tilan säästämiseksi. Jokaista otsaketta ja tunnettua parametriä vastaa yksi tavu (8 bitin heksadesimaaliluku). Otsake, parametrin nimi tai niiden arvot voidaan tarvittaessa koodata myös nimenä tekstimuodossa. Esimerkki siitä, miten tilaa on säästetty on, että tekstimerkkikoodauksen päättelyminen purettavasta viestistä perustuu siihen tosiasiaan, että minkään http-otsakkeen nimi ei ala kirjaimella, jonka arvo on pienempi kuin desimaalijärjestelmässä 32 (heksadesimaalina 20), ts. tavu, jonka arvo on pienempi kuin 32 on koodausmerkki, muutoin luetaan nimi. Kaikki multimediaviestin otsakkeet saavat arvoja väliltä hex01,hex19. Samalla tavalla päättelysäännöin koodataan muut merkit, teksti ja kokonaislukuarvot. Tämä koodaus tekee viestien lukemisesta ja kirjoittamisesta huomattavan vaikeaa ilman hyvää tuntemusta wap- ja mms-ympäristöstä. Se on hinta, joka on maksettu päätelaitteiden ja verkon suorituskyvyn vuoksi.

2.2 Multimediaviestin kuljetusprotokolla

Multimediaviestin kuljetusta varten on määritelty kuljetusprotokolla. Tämä määritelmä löytyy Wap-foorumin spesifikaatiossa [WAP 205]. Multimediaviestin kuljetuksesta vastaavaa ohjelmistoa kutsutaan multimediaviesti-palveluksi (MultimediaMessageService, MMS). Protokolla on erillisiä multimediaviestejä, joiden tarkoitus on varmistaa viestien perillemeno ja informoida tästä verkon toimijoita.

Multimediaviestin osoite voi olla neljää eri tyyppiä [WAP 209] : 1) globaali puhelinnumero, 2) sähköpostiosoite, 3) Ipv4 verkko-osoite, 4) Ipv6 verkko-osoite.

Kuva 2 esittää viestin reitityksessä mukana olevat palvelimet ja asiakkaat.



Kuva 2. Multimediaviestin reitityksessä mukana olevat palvelimet ja asiakkaat.

Viestin reititys tapahtuu yksinkertaistaen siten, että matkapuhelin lähettää viestin mms-välityspalvelimelle (proxy-relay), joka tallentaa viestin mms-palvelimelle (server). Ensimmäinen välityspalvelin hoitaa vastaanottajalle tiedon siitä, että hänelle on tullut viesti; mahdollisesti useamman välityspalvelimen kautta. Vastaanottaja lähettää hakupyynnön (request), jolloin mms-palvelimeen tallennettu viesti toimitetaan pyynnön vasteena (response) vastaanottajalle. Viestin vastaanottaja voi lykätä tai kieltäytyä lopullisesti viestin vastaanotosta. Kun viestin vastaanottaja on tavoitettu, voi lähettäjä halutessaan saada tästä ilmoituksen. Tätä viestintäprotokollaa varten on määritetty [WAP 209, WAP 230] seitsemän eri PDU:ta (Protocol Data Unit). Jokainen näistä on multimediaviestin sen määrittelyn mukaan, joskin puhekielessä multimediaviestillä tarkoitetaan vain niitä pdu:n muotoja, jotka sisältävät mediaobjekteja. Näiden lisäksi määritellään WSP-protokollan yhteydessä WSP/HTTP GET -kutsu, jolla puhelin hakee saapuneen viestin:

0 WSP/HTTP GET request. Vastaanottaja tekee pyynnön viestin hakemiseksi, jolloin paluuviesti (response) sisältää lähetetyn viestin.

1 m-send.req. Pyyntö viestin lähettämiseen (lähettäjä).

2 m-send.conf. Mms-välityspalvelin ilmoittaa lähettäjälle viestin tulleen välityspalvelimelle (ja sen statuksen).

3 m-notification.ind. Mms-välityspalvelin ilmoittaa vastaanottajalle saapuneesta viestistä.

4 m-notify.resp. Vastaanottaja varmistautuu viestin saapumisesta välityspalvelimelle ja tiedottaa siitä, halutaanko viestin vastaanottoa lykätä ja saako tästä tapahtumasta (vastaanottaja on tavoitettu) ilmoittaa viestin lähettäjälle. (kts. m-delivery.ind).

5 m-retrieve.conf. Paluuviesti GET-pyyntöön; sisältää mediaobjekteja.

6 m-acknowledge.ind. Vastaanottaja varmistaa välityspalvelimelle vastaanottaneensa GET pyynnön paluuviestinä multimedaviestin.

7 m-delivery.ind. Välityspalvelin lähettää alkuperäiselle lähettäjälle ilmoituksen viestin saavuttaneen halutun vastaanottajan.

Koska puhelinnumero voi olla mikä tahansa verkossa toimiva numero, multimedaviesti voidaan reitittää myös niin sanottuihin lyhytnumeroihin [LYHYTNUMERO].

Välitys tapahtuu grps- tai vastaavan datayhteyden access-pointin kautta lukuunottamatta m-notification.ind -viestiä. Operaattori saattaa tarjota useamman access-pointin käyttöön, jolloin yksi saattaa olla tarkoitettu wap-liikenteelle, toinen mm-liikenteelle ja kolmas antaa pääsyn puhelimesta internet osoitteisiin.

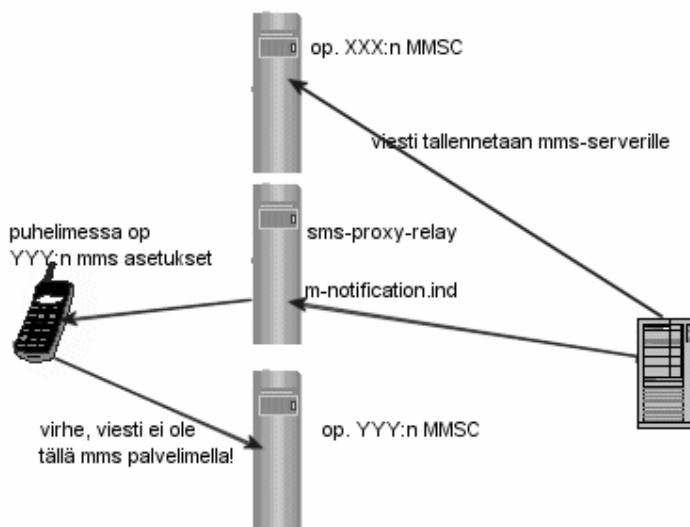
2.2.1 Välityspalvelimen valitseminen viestin hakemiseksi

Reitityksessä oleellista on se, että lähetettävä m-notification.ind, joka ilmoittaa vastaanottajalle (puhelimelle) saapuneesta viestistä, ei sisällä minkäänlaista viittausta siihen, mille välityspalvelimelle puhelimen tulisi kohdistaa WSP/HTTP GET -kutsu. Se sisältää vain yksilöivän tunnusteen viestille, joka on tarkoitettu tiedoksi sille palvelimelle jolla haluttu viesti fyysisesti sijaitsee. Välityspalvelin on etukäteen määritelty puhelimen asetuksiin. Näitä asetuksia voi olla puhelimesta useita, mutta vain yksi niistä voi olla aktiivinen kerrallaan ja aktiivisen asetuksen vaihtaminen on manuaalinen tehtävä.

2.2.2 M-notification.ind pdu:n toimittaminen puhelimeen

Multimedaviestintä ei ole sms-viestinnästä irrallinen ratkaisu. Nykyisiin puhelimiin voi toimittaa push-viestinä [WAP 250] dataa vain sms-viestinä. Tämä tarkoittaa sitä, että m-notification.ind toimitetaan tekstiviestin erityistapauksena, wap-push -viestinä puhelimeen. Koska sms-viestin lähettäminen

puhelimien on mahdollista kenelle tahansa, jolla on olemassa yhteys operaattorin SMSC:iin, seuraava skenaario on mahdollinen: Operaattori X tallentaa multimediaviestin omaan MMS-palvelimeen ja lähettää wap-push -viestin asiakas Z:n puhelimeen, jonka sisältää m-notification.ind pdu:n. Tämä viesti lähetetään operaattori Y:n SMSC:in kautta, sillä tämä on asiakas Z:n liittymän tarjoaja. Jos asiakas Z:n puhelimesta on myös operaattori Y:n multimedia välityspalvelimen asetukset aktiivisina, puhelin kohdistaa WSP/HTTP GET-kutsun operaattori Y:n MMSC:iin. Paluuviestinä on virheilmoitus (viestiä ei löydetä), ei haluttua operaattori X:n multimedia- viestiä. Tätä käyttäytymistä puhelimen suhteen ei voi muuttaa. Jos asiakas Z muuttaa puhelimeensa MMSC:n asetuksiksi operaattori Y:n asetukset, vaikka säilyttäen SMSC-asetukset samanlaisina, viesti menee perille normaalisti. Prosessia on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Puhelin kohdistaa kutsun väärälle mms-palvelimelle.

Tämä ongelma aiheuttaa sen, että käytännössä multimediaviestipalveluiden tarjoajiksi jäävät operaattorit, jotka tekevät keskenään roaming-sopimukset. Roaming-sopimus tarkoittaa sitä, että multimediaviestit reititetään operaattoreiden välityspalvelimien välillä. Tällöin m-notification.ind osoittama viesti on myös siirretty operaattoreiden viestipalvelimien välillä ja viestit menevät perille haluttuihin päätelaitteisiin.

2.3 Oma MMSC?

Multimediaviestien eri pdu:t koodataan WSP-protokollan pdu:n sisään. Lähetettäessä multimediaviestit puhelimesta, lähetetään protokollatasolla tällainen WSP pdu-koodattuna kuljetusprotokollan mukaiseen muotoon siihen osoitteeseen, joka puhelimesta on määritetty mms-välityspalvelimeksi, sen grps-access-pointin kautta, joka on määritetty näille mms-asetuksille. Tämä mahdollistaa mms-viestien lähettämisen puhelimesta mihin tahansa internetin ip-osoitteeseen; internetyhteyden tarjoava grps-access-point mahdollistaa tämän. Kyseisessä ip-osoitteessa täytyy olla ohjelmisto, joka kykenee käsittelemään wdp-wtl-wsp pdu:t ja multimediaviestin pdu:n. Multimediaviestit vastaavasti lähetetään wsp pdu:ssa, jonka sisältö on m-notification.ind. Tässä viestissä kanavana käytetään sms-viestiä jonka välittämisestä huolehtii valinnaisen operaattorin smsc. Suurista matkapuhelinoperaattoreista riippumattoman MM- palvelun tarjoaminen on vaikeaa jo aiemmin mainitun aktiivisten asetusten ongelman lisäksi myös siksi, että tekstiviestikeskuksiin pääsy on operaattoreiden ja rahan takana.

Oma multimediaviestipalvelun tarjoaminen on teoriassa jokseenkin yksinkertaista. Multimediaviesteille ei ole määritelty kuljetuskanavaa, mutta käytännössä se on grps-dataliikenne tai vastaava nopean dataliikennepalvelu. Asiakas saa oikeuden lähettää ja vastaanottaa grps-dataa puhelimeensa tilaamalla tällaisen palvelun operaattoriltaan. Grps-data reititetään mobiiliverkosta internetverkkoon grps-access-pointin kautta, eivätkä operaattorit toistaiseksi aseta rajoituksia sille, mihin palveluun asiakkaan puhelin ottaa yhteyden grps-datapalvelulla.

Vaihtoehtona on tilata operaattoreilta oikeus lähettää sms-viestejä heidän smsc:n kautta. Itseasiassa, jos operaattoreilla on roaming-sopimus tekstiviestien suhteen, riittää kun tilaa yhdeltä operaattorilta tällaisen palvelun.

Tämänkin vaihtoehdon jälkeen jää jäljelle ongelma aktiivisista yhteysasetuksista puhelimesta. Jos yksittäisellä MMSC:llä ei ole operaattoreiden kanssa roaming-sopimusta, jää tuotettu multimediaviestipalvelu vain sen viestikeskuksen palvelun piirissä olevien käyttäjien keskinäiseksi palveluksi. Tällaisellekin palvelulle voi tuki löytyä käyttäjiä.

3. Operaattoreiden tarjoamat lyhytnumeropalvelut

Vaihtoehtona omalle multimediaviestikeskukselle on ns. Lyhytnumeropalvelu. Operaattoreiden lyhytnumeropalveluilla tarkoitetaan mahdollisuutta

saada sms- ja mms-viestit reititettyinä mobiiliverkosta lyhytnumeron perusteella internetin ip-osoitteeseen ja siitä mobiiliverkkoon. Lyhytnumeroon tulevia viestejä eivät koske roaming-sopimukset, joten jokaisen operaattorin kanssa on tehtävä jokaista lyhytnumeroa koskien erillinen sopimus. Sopimusta vastaavasta ip-osoitteesta tulevat multimediasviestit sen sijaan välitetään käytettävästä operaattorista riippumatta, ts. näitä viestejä roaming-sopimus koskee. Jokainen sopimus maksaa erikseen, mikä tuo mukanaan suhteellisen korkeat kustannukset. Tämä palvelu kuitenkin tarjoaa mahdollisuuden tavoittaa jokainen multimediasviestipalvelun tilannut matkapuhelinasiakas ilman oman multimediasviestikeskuksen rakentamista ja roaming-sopimusten tekemistä. Tämä on kustannustehokas tapa tarjota mms-viestiyhteyttä, joka yhdistää internetverkkon mobiiliverkkoon sisältäen potentiaalisesti kaikki olemassa olevat käyttäjät mobiiliverkosta. Tämä poistaa lyhytnumeron omistajalta myös tarpeen lähettää m-notification.ind -viestejä, sillä operaattori ottaa huolehtiakseen myös tämän viestin lähetyksen. Rajoituksena myös kaikki muu multimediasviestin protokollan viestit lukuunottamatta m-delivery.ind -viestiä, joka haluttaessa toimitetaan lyhytnumeroa vastaavaan ip-osoitteeseen, jää operaattorin tarjoaman palvelun sisäiseksi liikenteeksi.

3.1 Operaattoreiden MMSC:n tarjoamat rajapinnat

Suomalaisista operaattoreista tärkeimmät ovat DNA, Telia, Sonera ja Radiolinja. Jokaisella näistä on SMSC ja MMSC ja jokainen on tehnyt vastaavia viestejä koskien roaming-sopimuksen toistensa kanssa.

Multimediasviestikeskuksia on käytössä kahden valmistajan versioita. DNA, Telia ja Radiolinja käyttävät TECNOMENMMSC:ä (valmistaja Tecnomen) ja SONERA käyttää NOKIAMMSC:ä (valmistaja Nokia). On operaattorista kiinni, millaisen rajapinnan mmsc:iin se antaa lyhytnumeropalvelun tilaajalle, mutta tämä on käytännössä tullut keskuksen valmistajan mukana. Tecnomenin viestikeskuksen tilanneet operaattorit tarjoavat MM7-nimisen Tecnomenin määrittämän rajapinnan (joka pyrkii olemaan tulevan 3gpp-standardin mukainen) ja NOKIAMMSC välittää viestit multimediasviestin määrittelyn mukaisena, siis sen määrittelyn mukaan joka on löydettävissä wap-230-, wap-209-, mime- ja http-määrittelyistä. Rajapintojen määrittelyillä pyritään sellaiseen yksinkertaisuuteen että vähemmän määrittelyistä perillä olevat voivat tarjota mms-palveluita ymmärtämättä teknisiä yksityiskohtia.

3.2 Viestien välitys internet-verkkoon

Viestejä välittävä lyhytnumeron haltija, palveluntarjoaja, voi välittää operaattorisopimuksiensa mukaisesti viestejä eteenpäin internetin muihin osoitteisiin ja välittää uusia viestejä takaisin mobiiliverkkoon. Palveluntarjoajalle teknisesti helpoin lähestymistapa olisi välittää viestit muokkaamatta niitä mitenkään molempiin suuntiin. Toinen palveluorientoitunut ja parempi tapa käyttäjäystävällisyyden näkökulmasta on tarjota internetissä toimiville loppukäyttäjille standardirajapinta, ja huolehtia viestien muokkauksesta näiden kahden rajapinnan välillä. Huomattavaa on myös se tosiasia, että internetissä käytettävät scriptikielet ovat huonoja binäärisen tiedon käsittelyyn, jolloin esikäsitelty viesti on helpompi käsitellä edelleen.

4 Multimediaviestit internetissä

Välitetäänpä viestit internet-ympäristöön oman multimediaviestikeskuksen tai operaattorin tarjoaman lyhytnumeropalvelun kautta, on päätettävä siitä, miten ja millaisina viestit eteenpäin välitetään. Multimediaviestin binäärinen koodaus on langattoman verkon hitaiden ja epävarmojen yhteyksien ja päätelaitteiden rajoittamien ominaisuuksien kompromissi. Internet-ympäristössä monet näistä rajoituksista poistuvat. Huomattavasti nopeammat yhteydet mahdollistavat vähemmän pakatun tiedon siirtämisen nopeasti ja suurempi prosessoriteho ja käytettävässä olevan konemuistin määrä mahdollistavat raskaamman laskennan suuremmille datamäärille lyhyemmässä ajassa. Onkin järkevämpää reitittää ja koodata viestit uudestaan sen ympäristön mukaan jossa toimitaan.

Protokollatasolla push-vesti käy tarpeettomaksi internet-ympäristössä. Kyseinen viesti on olemassa mobiiliverkossa vain siitä syystä, että puhelimeen on vaikeaa tai mahdotonta toimittaa yli n. 1500 merkkiä pitkiä viestejä. Toisaalta mobiiliverkossa ei ole tarkoituksenmukaista kuormittaa verkkoa viesteillä, joita vastaanottaja ei halua tai voi ottaa vastaan. Internetin protokollista esimerkiksi http sisältää lähetettävän viestin määrittämisen, jolloin voisi ajatella tätä käytettävän suoraan viestin toimittamiseksi perille ilman erillistä ilmoitusta ja pyyntö-vaste -protokollaa. Oleellinen ero puhelimen ja internet-palvelimen välillä on siinä, ettei puhelin ole samalla tavoin tavoitettavissa oleva palvelin, kuin esimerkiksi Apache-web-palvelin on, joka kuuntelee saapuvia viestejä jatkuvasti.

UDP/IP-protokolla on siirtoprotokollana mobiiliverkossa, sillä on turhaa lähettää verkkoa kuormittaen jokaiseen palvelupyyntöön vasteita, eikä se aina ole edes järkevää. TCP/IP-protokolla sisältää vasteen siitä, onko haluttu vastaanottaja tavoitettu, koska jokainen datapaketti kuitataan vastaanotetuksi protokolla tasolla. Jos tämä otetaan huomioon viestien perille menemisen varmistamisessa, niin mms-protokolla tasolta tarvitsee ottaa ainoastaan m-send.req ja m-delivery.ind pdu:t mukaan. Näin toimiessa on otettava huomioon, että mms on määritelty ”tallenna ja toimita” (store-delivery) -viestiksi ja tätä rikotaan poistamalla viestin tallennusvaihe protokollasta.

4.1 Internet-protokollat

Internetissä tiedonsiirtoon on olemassa useitakin protokollia. Tutuimpia näistä ovat http, ftp ja smtp. Näistä yksikään ei sovellu suoraan multimediatekniikan siirtoon. Tiedostojen siirtoon tarkoitettu ftp ei sisällä mahdollisuutta osoittaa viestiä eri osoitteita vastaaviin järjestelmiin, smtp on nimenomaan yhden, sähköpostijärjestelmän siirtoprotokolla. Lähinnä multimediatekniikalle soveltuva protokolla on http.

Kuten aiemmin jo mainittiin, multimediatekniikan viesti on lainannut semantiikkansa määrittelyistä, jotka ovat laajasti käytössä internet-viestiliikenteessä. Http-protokollassa viestiin liittyvä tietoa kuljetetaan otsakkeissa ja viestin varsinainen sisältö on hyötykuormassa. Sitä käytetään esimerkiksi html-sivujen hakemiseen ja datan lähettämiseen. Multimediatekniikan http-semantiikka ei ole sattumalta valittua: tavoitteena on kyetä käyttämään http-protokollaa käytännössä vaihtoehtoisesti wsp-protokollan sijasta, jos laite- tai sovellusvalmistaja näin haluaa. Tämän lähestymistavan mukaan viesti siirrettäessä internet-verkkoon koodattaisiin binäärisestä muodostaan suoraan vastaavaksi http-määrittelyiksi ja lähetettäisiin eteenpäin otsakkeina ja hyötykuormana.

Tällä lähestymistavalla on kuitenkin heikkoutensa. Mms määrittää lähettäjän osoitteeksi vain ipv4-, ipv6-, msisd- tai email-muotoiset osoitteet. Käytetyin osoitemuoto internetissä on kuitenkin URI [URI]. Lisäksi ei ole yhteistä sovittua protokollaa mahdolliselle lisätiedolle reitityksen, laskutuksen tai palveluntarjoajan lisäpalveluiden suhteen. Tällaisia lisäpalveluita voi olla esimerkiksi päätelaitteen ominaisuuksien mukaan viestille tehtävät muokkaukset. http-protokollan lisäksi hyötykuormalle on määriteltävä oma muotonsa. Kuljetettavan datan koodaamiseen sopii mime-määrittely, mutta sitä tarvitsee laajentaa käsittämään otsakkeiden sisältämä data, otsakkeista on

tehtävä oma osionsa mime-kapsulointiin tai kuljetusprotokollaksi on valittava http, jolla on edellä mainitut puutteet. Jotta saataisiin suurin mahdollinen hyöty viesteistä ja luotua laajennettavuus lisäinformaation suhteen, tarvitaan jokin toinen määrittely. Tällaisen määrittelyn tulisi olla riippumaton kuljetusprotokollasta kuten wsp määrittelee, mahdollistaa binääristen objektien koodaamisen, sisältää mahdollisuuden säilyttää kaikkien otsakkeisiin tulevan informaation säilyvyys muuttumattomana ja olla laajennettavissa tulevaisuuden tarpeiden mukaan.

4.1.2 Multimediaviestille sopivia protokollia internetympäristössä

Multimediaviesti sisältää siis määritelmänsä mukaan viestiin sisältyvää multimediaa. Multimedia on mm. kuvaa ja ääntä, siis binääristä tietoa ja tekstiä. Viestin sisältöön liittyvä kuvaustieto on esitettävissä abstraktista muodostaan johdettuina tekstimuotoisina otsakkeina. Tällaisen tiedon määrittelyyn käytetty uusi kuvauskieli on XML [XML]. XML on tarkoitettu rakenteisen tiedon määrittelyyn [XMLSCHEMA] ja esittämiseen. Itseasiassa aiemmin mainittu SMIL-esitysosio multimediaviestissä on XML-muotoinen dokumentti.

XML esittää kaiken tiedon tekstuaalisessa muodossa ja tämä pakottaa binääriseen tiedon muokkaamiseen; yleisin tällainen tekstuaaliseen muotoon muokkaus on base64-koodaus. Tämä on XML:n heikkous binääriseen datan suhteen. Base64-koodaus tarvitsee noin kolmanneksen enemmän tilaa kuin vastaava binäärinen muoto. Tämä näkökulma on otettu huomioon IETF:n suosituksessa 3470 [RFC3470] , joka on kategorian "best practices" -dokumentti. Tämä dokumentti ei ehdota mitään rajaa sille, minkä kokoista tiedostoa ei tulisi enää muuntaa XML-määrittelyn mukaiseksi tekstiksi. Normaalin mobiililaitteille tarkoitettujen multimediaviestin binääristen tiedostojen koot ovat kuitenkin vain muutamia kilotavuja, Nokian mallissa 3510i koko viestin maksimikoko on 50 kilotavua. Tämän kokoluokan tiedostojen kasvamista kolmanneksella, joka on karkea arvio base64-koodauksen lisätarpeesta, ei voi pitää syynä hylätä XML-määrittelyä multimediaviestien määrittelyyn internet-ympäristössä.

XML koostuu elementeistä, tageista. Elementeillä voi olla attribuuteja ja ne voivat sisältää tekstiä ja uusia elementtejä. Esimerkiksi multimediaviestin osoite elementti voitaisiin määrittää nimellä osoite, sille voitaisiin antaa attribuutti osoitetyyppi ja sen sisältö olisi osoitteen arvo.

Vasta 1998 esiteltynä määrittelynä XML on varsin nuori. Sen yleistyy nopeasti, sillä sen avulla on helppo määrittää yhteisiä sääntöjä toimijoiden kesken. Yksi tällainen sovittu määrittely on SOAP [SOAP]. Simple Object Access Protocol määrittää jäsenetylle tiedolle protokollan sen vaihtamiseksi hajautetuissa verkoissa. SOAP-määrittely ei sisällä kuljetustason määrittelyä tai aseta XML-kielen ulkopuolisia rajoituksia sen sisältämälle tiedolle. Määrittely on yksinkertaistettuna on seuraava: SOAP-viesti sisältää envelope tagin juurielementtinään ja tällä on kaksi lapsielementtiä, header ja body. Lisäksi määrittelyssä hyvänä tapana pidetään sitä, että siirrettävä data sijoitetaan body tagiin ja siihen liittyvä lisäinformaatio header tagiin. Tämä on yhteensopiva multimediaviestin tarpeisiin; sen vaatima ylimääräinen määrittelyyn kuulumaton data voidaan sijoittaa header tagiin ja multimediamiesti itsessään ilman informatiivisia muutoksia XML-määrittelyn mukaisena body tagiin. Tällöin multimediaviesti kapseloituna XML- ja SOAP-määrittelyin graafisesti esitettynä näyttäisi kuvassa 4 esitetyltä.



Kuva 4. SOAP Envelope-elementti sisältää Header-elementissä lisäinformaation ja Body-elementissä multimediaviestin.

Tähän asti esitetyn perusteella muodostetaan esimerkkiedosto, jossa kuvataan osa m-send.req pdu:sta koodattuna xml määrittelyn mukaiseen muotoon käyttäen kapsulointiin soap määrittelyä.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
```

```

<env:Envelope xmlns:env="http://www.w3.org/2002/12/soap-envelope">
  <env:Header>
    <mms:multimediamessageinfo
xmlns:mms="http://esimerkki.com/mmsnamespace">
      <routinginfo>
        <routing>
          <routingpoint>ddmmsc</routingpoint>
          <routingaddress>uri</routingaddress>
          <routingvalue>user:password@195.197.208.158</routingvalue>
        </routing>
      </routinginfo>
    </mms:multimediamessageinfo>
  </env:Header>
  <env:Body>
    <mms:multimediamessage
xmlns:mms="http://esimerkki.com/mmsnamespace">
      <m-send-req>
        <header>
          <delivery-report>no</delivery-report>
          <message-class>personal</message-class>
          <message-type>m-send.req</message-type>
        ...
        <to>
          <address address="msisdn">+358400767743</address>
          <address address="msisdn">358400767742</address>

```



```

    </to>

    <transaction-
id>AAAAAAABCDEFGAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA</transaction-id>
...

</header>

<body>

    <bodypart>

        <content-type>audio/amr</content-type>

        <content-location>HelloWorld.amr</content-location>

<data>IyFBTVIKDIVov+Pz/bVufS4CiIAMtZJz4CikmhK01Yo6Cgwqzuff//+
1/6gGMBmYDMBOKd6E328F7BrKznYMCFA338s/64MGTwMiLgyWFqj+5w
j54Y5gQWIQDPNAG5r/sTv58ieoIxYM9FAN13++GWev1gdZIAx2BG2z9ywY
6622OG4uDGcYz/9+6BNOB6X9Bn5EakdyquJ8fERyRtqKcnx8fHx8fHxE5mH
SkZJ8fHwMnMtVrcZ0E8sraP6amgxTbNyTM8gnpcb94HFADJuQE9ul/pblwg
ZnowwMA+NHQGK39Wvmr/iKmgz6KT9RL4/OSzABE0pIDMAtp3G0h89+
5QyOswomwNk/bUeMZkPXBfzmHgZ6wz8tK5v3iM2FkRoYDIC0R2ibClBrm
zMnDbgMgNJPZRUvh2zKWbqVsgxwdFdpLH==</data>

    </bodypart>

</body>
...

</m-send-req>

</mms:multimediamessage>

</env:Body>

</env:Envelope>

```

Tähän SOAP-viestiin vastattaisiin toisella SOAP-viestillä, jonka määrittely olisi m-delivery.ind. Muita viestejä ei välttämättä tarvita. Määrittely on tietysti helppo ulottaa käsittämään kaikki pdu-tyypit. Tällöin koko multimediasviestin kuljetusprotokolla olisi mahdollista toteuttaa XML-määrittelyin ja

kaikki toiminnallisuus rakentaa sovellustasolla vastamaan mobiiliverkossa toimivaa protokollaa. Yksi syy tehdä näin on se, että multimediasviestin luonne on "varastoi ja välitä" -ominaisuus. Viesti voidaan siis varastoida väliaikaisesti kunnes vastaanottaja haluaa sen noutaa. Tätä ominaisuutta ei saa toteutettua pelkästään m-send.req ja m-delivery.ind pdu -tyypeillä.

4.2 Turvallisuus

Turvallisuus (security) kostuu monesta osa-alueesta, mm. Luottamuksellisuudesta, datan muuttumattomuudesta ja tunnistamisesta.

Internet ympäristönä on avoin toisin kuin langaton verkko, tämä pätee vähintään matkapuhelimien osalta. Multimediasviestin määrittely ei sisällä turvallisuuteen liittyviä elementtejä; turvallisuudesta wap-maailmassa vastaa wtls, joka on kuljetuskerroksen protokolla. Internetin turvallisuus on kuitenkin heikompaa, osittain johtuen juuri tästä avoimuudesta. Http protokolla määrittelee message digest authentication [RFC 2617] -menettelyn, jonka tarkoituksena on tunnistaa lähettäjä turvallisesti. Itse siirrettävään dataan määrittely ei ulotu. SOAP ei määrittele edes tämän vertaa turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, vaan jättää viestin sisältämän datan turvaamisen määrittelyn ulkopuoliseksi tehtäväksi. XML Encryption Syntax and Processing on olemassaoleva XML-kielen mukainen määrittely jolla datan suojaamisesta ja XML Signature Syntax and Processing jolla lähettäjän tunnistamisesta voidaan sopia. Nämä ovat sopimuksia salauksessa ja tunnistamisessa käytettävistä syntaksista ja salaus- ja allekirjoitusalgoritmeista. Jos XML-määrittelyä käytetään multimediasviestin esittämiseen, niin on luontevaa käyttää samaa kieltä myös turvallisuustekijöihin sen yhteensopivuuden vuoksi.

5 Yhteenveto

Multimediasviesti on yksinkertaisia mediaobjekteja, joista suurin osa on hyvin tunnettuja ja laajasti käytettyjä. Tämän vuoksi niiden esitykseen on olemassa lukuisia sovelluksia. Ongelma on siinä, että näiden objektien koodaus mobiiliverkossa on omansa. Tämä on kuitenkin edellä esitetyn mukaisesti mahdollista purkaa ja koodata olemassa olevia tai uusia helposti käsiteltäviä määrittelyjä apuna käyttäen yksinkertaisempaan muotoon. Paras väline tähän tarkoitukseen on mielestäni XML- määrittely, jonka jäsentämiseen on olemassa jo työkaluja jokaiselle ohjelmointi ja scriptikielelle.

Viestien toimittaminen mobiili- ja internetverkkojen välillä on hankalaa. Ei siksi, että protokollat eivät olisi yhdistettävissä, vaan siksi, ettei puhelimen tavoitettavuus ja puhelimen ominaisuudet tue tällaista reititystä. Tämä on mobiiliverkkojen, laitevalmistajien ja operaattoreiden luoma ongelma. Operaattorien liiketoiminta on suojattu näillä ratkaisulla, ja tämä tuskin tulee muuttumaan missään tulevaisuudessa. On kuitenkin mahdollista reitittää viestejä verkkojen välillä, joko tinkien palvelun laadusta tai hyväksymällä kustannukset operaattoreiden kanssa solmittavista sopimuksista johtuen.

Tämän tutkimuksen perusteella multimediatekniikan voi välittää verkosta toiseen. Sen voi tehdä teknisesti helpoksi sovelluskehittäjille määrittelemällä viestin koodaus uudelleen. Ongelma on siinä, että käyttäjien on maksettava kustannukset, jotka operaattorit veloittavat suljetun verkkonsa käyttämisestä. Tämä nostaa kynnyksen sille, millaista palvelua tarjotaan, koska käyttäjien on oltava valmiita maksamaan tästä paitsi tarjotun palvelun mahdollistavan kustannuksen verran, myös operaattoreiden vaatimat kustannukset.

Multimediatekniikkaa ei ole tietystikään sidottu mihinkään yksittäiseen sovellukseen. Mikään ei estä toteuttamasta esimerkiksi suoraviestintäsovelluksia puhelimeen siten, että ne käyttävät multimediatekniikkaa protokolla- ja koodausmäärittelyinä mutta eivät lähetä viestiä puhelimen multimediatekniikkaasetusten mukaiseen välityspalveluun vaan suoraviestintäsovelluksen määrittämään palveluun. Tällöin internetissä ja puhelimesta toimivat suoraviestintäsovellukset mahdollistaisivat käyttäjien kommunikoinnin huomattavasti helpommin ja halvemmin kuin multimediatekniikkaa perinteisen tekstiviestin tapaan käyttäen. Push-viesti pitäisi vain korvata puhelimesta olevan sovelluksen osalta säännöllisesti toistuvalla pyyntö (request) toiminnalla.

Viiteluettelo

[3gpp] 3rd Generation Partnership Project www.3gpp.org.

[LYHYTNUMERO]

<http://www.ficora.fi/suomi/tele/lyhytsanomapalvelut.htm>.

[OMA] Open Mobile Alliance www.wapforum.org.

[RFC 2045] Multipurpose Internet Mail Extensions.

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2045.txt>.

[RFC 2617] HTTP Authentication: Basic and Digest Access Authentication.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2617.txt>.

[RFC 2068] Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2068.txt>.

[SMIL] Synchronized Multimedia Integration Language.
<http://www.w3.org/AudioVideo/>.

[SOAP] Simple Object Access Protocol.
<http://www.w3.org/2000/xp/Group/>.

[URI] Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>.

[WAP] Wireless Application Protocol
<http://www.wapforum.org/index.htm>.

[WAP 209] MultiMedia Messaging Service Encapsulation Specification.
www.wapforum.org.

[WAP 230] Wireless Session Protocol Specification. www.wapforum.org.

[WAP 250] Push Architectural Overview. www.wapforum.org.

[WEBOPEDIA] online dictionary for words, phrases and abbreviations that are related to computer and Internet technology. www.webopedia.com.

[XML] Extensible Markup Language. <http://www.w3.org/XML/>.

[XMLSCHEMA] XML Schema. <http://www.w3.org/XML/Schema>.

[XML ENCRYPTION] XML Encryption.
<http://www.w3.org/Encryption/2001/>.

Tietotekniikan opetus Tampereen yläkouluissa

Kristiina Länsiö

Tiivistelmä

Tutkielmassa tarkastellaan millaista tietotekniikan opetus on Tampereen yläkouluissa. Tutkimusmenetelmänä käytän kirjallisuuskartoitusta ja tietotekniikan opettajien haastatteluja kohdekouluissa. Kirjallisuuskartoituksen avulla tutustuin valtakunnallisesti asetettuun opetussuunnitelman perusteisiin ja tutkimus kohteena olevien koulujen opetussuunnitelmiin. Teoriatietoa olen kerännyt myös aikaisempien tutkimusten raporteista sekä Tampereen kaupungin koulutusstrategiasta. Esittelen opetusministeriön vuonna 1999 tuottamaa koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategiaa vuosille 2000-2004. Tämän strategian odotuksia tarkastelen ja vertailen kohdekoulujen tietotekniikan kurssien sisältöön.

Tutkimuksen tarkoituksena on tutustua kohdekoulujen tietotekniikan kurssien sisältöihin ja verrata tuloksia toisiinsa. Tutkimuksen yksi tarkoitus on selvittää, miten paljon kohdekoulujen välillä on eroja tietotekniikan opetuksessa. Teoriaosuudessa etsin tietoa, mitä tietoyhteiskunnassa elävän yksilön on tiedettävä tieto- ja viestintätieteistä ja vertaan näitä tuloksia tietotekniikan kurssien sisältöihin. Tutkimuksen tavoitteena on löytää vastaus kysymykseen, vastaako koulujen tietotekniikan opetus tietoyhteiskunnan odotuksiin.

Tutkimuksen lopputuotoksena ilmenee myös oppilaiden tietotekniikan taidot kunkin luokka-asteen jälkeen. Opetussuunnitelmissa ei ole yksityiskohdaisia ohjeita tietotekniikan kurssien sisältöihin ja siitä syystä se on hyvin erilaista eri kouluissa. Sisällöllisesti koulut painottavat samoja aihepiirejä, mutta joissain kouluissa ei opiskella lainkaan jotain tiettyä aihetta tai ei ehkä opiskella tietotekniikkaa lainkaan. Tietotekniikan opettaja saa melko vapaasti suunnitella kurssien sisällöt. Huomattava asia on myös se, että peruskoulusta voi todella valmistua niin, ettei ole opiskellut tietotekniikkaa ollenkaan.

Avainsanat ja -sanonnat: tietotekniikkaopetus, opetussuunnitelma.

1. Johdanto

Jokaisella ihmisellä on oikeus jatkuvaan itsensä kehittämiseen, uuden oppimiseen sekä kasvamiseen moraalisesti vastuulliseksi yhteiskunnan jäseneksi. Koulutuksen perusturva kuuluu kaikille kansalaisille. Koulutuksen keskeisenä teemana on ollut jo vuosia tietoyhteiskuntaan siirtyminen ja nykyisin teemana sekä tavoitteena on elinikäisen oppimiseen kannustaminen. Tietoyhteiskunnan kehittyminen asettaa kansalaisille paineita kehittää omia valmiuksiaan toimia tietoyhteiskunnan jäsenenä. Erilaisia palveluja on mahdollista käyttää verkon välityksellä ja usein asioiden hoitaminen tapahtuu teknisiä työvälineitä käyttäen helpommin kuin toimistossa vierailen.

Kouluissa, kuten myös työelämässä on odotuksia kansalaisten tieto- ja viestintävälineiden käyttötaidoista. Kouluissa on tietotekniikka oppiaineena ja sen lisäksi erilaisia opetusohjelmistoja käytetään useissa eri oppiaineissa opetuksen tukena. Lisäksi Internetistä haetaan useisiin oppiaineisiin erilaista tietoa. Tietokoneet ovat saavuttaneet paikkansa myös perustaitojen harjaanuttamis- eli tietokonepohjaisessa opetuksessa.

Haastattelin kohdekoulujen yhtä tietotekniikan opettajaa koulun tietokonealuokassa. Haastattelu suoritettiin kussakin koulussa erikseen ennalta sovittuna ajankohtana maaliskuun viimeisellä viikolla 2003. Esitin haastattelulomakkeen [liite 1] mukaiset kysymykset opettajalle, jonka antamat vastaukset kirjoitin itse lomakkeeseen. Haastattelu kesti noin tunnin ja ilmapiiri haastattelun aikana oli miellyttävä. Haastattelulomake koostui erilaisista osa-alueista. Aluksi keräsin yleistietoa kohdekoulusta sekä opettajan omista opetettavista aineista ja hänen näkemyksistään. Toinen osio kartoitti tietotekniikan opettajan käsityksiä tieto- ja viestintäteknikan opetuskäytöstä. Viimeinen osio sisälsi tietotekniikkaluokan varustuksen sekä kurssien sisältötiedot.

Tässä tutkielmassa esitellään ensin aikaisempien tutkimusten tuloksia, opetussuunnitelmaan vaikuttavia dokumentteja sekä tutustutaan raporttiin, joka kertoo mitä peruskoulusta valmistuvan tulisi tietää tietotekniikasta. Tämän jälkeen esitellään tutkimuskohteena olevien koulujen tutkimustulokset, joissa ilmenee tietotekniikan kurssien sisällöt. Raportin loppupäätelmissä pohditaan vielä, kuinka tätä työtä voisi jatkaa eteenpäin.

2. Tietotekniikka suunnitelmissa

Paineita tietotekniikan opetukseen tulee useista suunnista ja koulujen on otettava nämä huomioon suunnitellessaan omaa opetussuunnitelmaansa. Opetussuunnitelmiin vaikuttavat tekijät on esitetty kaaviona liitessä 2.

Kouluopetuksessa lähtökohtana on koulun oma opetussuunnitelma [Opetushallitus, 1994], jonka laatimista ohjaavat valtakunnallisesti asetetut opetussuunnitelman perusteet. Vuoden 1994 opetussuunnitelmassa tietotekniikka ei ole valtakunnallisena oppiaineena, sen sijaan tietotekniikan käyttötaito on aihekokonaisuutena, joka velvoittaa kaikkia kouluja tietotekniikan opettamiseen. Koulut voivat itse päättää, millä tavoin tietotekniikan käyttötaitojen varmistaminen kaikkien oppilaiden osalta tapahtuu. Tyypillisesti tietotekniikan perusvalmiudet annetaan oppilaalle valinnaiskursseilla, joka on opetussuunnitelmassa esimerkiksi tietotekniikan työpajan nimellä, mutta muitakin mahdollisuuksia on olemassa [Meisalo *et al.*, 2000].

2.1. Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategia

Toinen tietotekniikan opetukseen liittyvä dokumentti on Opetusministeriön vuonna 1999 tuottama koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategia 2000-2004. Tieto- ja viestintätieteiden opetuskäytön strategioilla tarkoitetaan niitä toimintamalleja, joiden avulla kehitetään oppilaitosten tieto- ja viestintätieteiden hyödyntämistä opetuksessa ja opiskelussa. Tieto- ja viestintätieteiden opetuskäytön strategian tulee painottua opetuksen laadun kehittämiseen laaja-alaisesti. [Opetusministeriö, 2000-2004]. Tämän strategian pohjalta koulut ovat sisällyttäneet sen opetussuunnitelmaansa ja ovat laatineet vuoteen 2002 mennessä oman tieto- ja viestintätieteiden opetuskäytön strategian. Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategiassa korostetaan perusvalmiuksia ja perusvalmiuksia ylittäviä taitoja. Oppilaita tulisi kannustaa kehittämään tieto- ja viestintävälineiden käyttöä mahdollisimman aitojen ongelmien ja tehtävien parissa. Tähän tavoitteeseen on mahdollista päästä, mikäli opetussuunnitelmia ja opetusjärjestelmiä kehitetään siihen suuntaan.

Koulujen tieto- ja viestintätieteiden opetuskäytön strategiaan on kirjattu koulukohtaiset tavoitteet eli millaisiin atk:n hyväksikäyttötaitoihin koulussa pyritään.

2.2. Yleissivistävän koulutuksen strategia

Koulujen opetukselle tulee vielä odotuksia kunnan puolelta. Tampereen kaupunki on tehnyt yleissivistävän koulutuksen strategian – Oppiva Tampere. Se pohjautuu kaupungin strategiaan ja siinä on määritelty kriittiset

menestystekijät ja niiden arviointikriteerit. Yleissivistävän koulutuksen strategia vaikuttaa koulujen tieto- ja viestintäteknikan opetuskäytön strategian sisältöön. Yleissivistävän koulutuksen strategian eräänä arviointikriteerinä on antaa oppilaille mahdollisuus käyttää tieto- ja viestintäteknikkaa koulussa. Tavoitetaso siinä vuodelle 2003 on se, että peruskoulussa on yksi tietokone kymmentä oppilasta kohden. Tampereen kaupungin tietostrategian päämääränä on uusia laitteistokantaa määrärahojen puitteissa, jolloin pyritään uusimaan tietokoneita 5 vuoden kierrolla. Koulujen väliset erot ovat suuria opetustilojen tietoteknisen varustuksen ja muun laitteistokannan ajanmukaisuuden osalta. Strategian päämääränä on käyttää koulutiloja alueen kulttuuri- ja toimintakeskuksina sekä alueen asukkaiden harrastus-, kokous- ja virkistystoiminnassa. Saman strategian mukaan koulut voivat ratkaista itse, miten oppilaat käyttävät tietokoneita oppituntien ulkopuolella.

Tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että jokaisessa tutkimuksen kohdekoulussa oli vähintään kaksi tietokoneluokkaa. Tietokoneluokan koneet olivat vain muutamia vuosia vanhoja, mutta vanhemmat koneet saattoivat olla yli viisi vuotta vanhoja koneita. Tampereen kaupungin strategian suhdeluku yksi tietokone kymmentä oppilasta kohtaan ei toteudu kaikissa tutkimuksen kohdekouluissa. Oppilas-kone -suhde oli parhaimmassa tapauksessa 1 kone / 7 oppilasta ja huonoimmassa tapauksessa suhde oli 1 kone/ 14 oppilasta. Kohdekouluissa tietokoneluokat eivät ole kansalaisten käytössä ja opettajat pitivät sitä hyvin hankalana vaikka se olisikin hyvin perusteltua. Luokat ovat pieniä ja täynnä koulun omaisuutta, joten vastuu luokkatilan kunnosta ja siisteydestä olisi hankalaa toteuttaa käytännössä.

2.3. Mitä peruskoulusta valmistuvan tulisi tietää tietotekniikasta

Koulujen tietotekniikan opetuksen tulisi vastata tietoyhteiskunnan odotuksiin. Tietotekniikan opetussuunnitelma on kirjava, eikä kaikkiin kouluihin ole saatu ammattitaitoista tietotekniikan opettajaa ja näin ollen kurssien sisältökin jää suppeaksi tai tietotekniikkaa ei opeteta lainkaan [Nurmi, 2002]. Tietotekniikan opetussuunnitelma on vaikea laatia, koska opetussuunnitelman perusteissa 1994 ei ole mainittu lainkaan tietotekniikkaa. Uusiin opetussuunnitelman perusteisiin onkin tulossa tarkempi kuvaus tietotekniikasta. Kouluissa voi usein olla vain yksi tietotekniikan opettaja, jolloin hän joutuu laatimaan opetussuunnitelman yksin. Nopean kehityksen takia tietotekniikan opetussuunnitelmia on tarkistettava ja tarpeen mukaan myös uudistettava vuosittain. Opettajan työtä on hankaloittanut vielä se, että

oppilaiden tietotekniikan taidot ovat olleet hyvin erilaiset eivätkä arvostelu-
periaatteet ole olleet selkeät. Tällaisten ongelmien vuoksi matemaattisten
aineiden opettajien liitto (MAOL ry) perusti tietotekniikkatoimikunnan
laatimaan dokumentin, joka sisältää tietotekniikan opettajalle vinkkejä
tietotekniikan kurssin suunnitteluun ja toteuttamiseen omassa koulussa.
Dokumentissa pohditaan, mitä peruskoulusta valmistuvan tulisi tietää
tietotekniikasta [Kaakinen *et al.*].

3. Tietotekniikka koulussa

Valinnaiskursseista valtakunnallinen opetussuunnitelmien perusteet sanovat
seuraavasti: perusopetuksen valinnaisten aineiden tehtävä on syventää ja
laajentaa perusopetuksen yhteisten oppiaineiden, erityisesti taide- ja
taitoaineiden, mukaan luettuna kotitalous, sekä haluttaessa aihekokonai-
suuksien tietoja ja taitoja oppilaan valinnan mukaisesti. Valinnaisten aineiden
tehtävä on myös antaa oppilaalle mahdollisuus syventää harrastuksiaan ja
löytää uusia kiinnostuksen kohteita. Valinnaisten aineiden tulee tukea
perusopetuksen tavoitteita [Opetushallitus, 1994].

Tällä hetkellä tietotekniikka on kouluissa valinnaisten kurssien aine.
Tietotekniikkaa pyritään kuitenkin opettamaan laaja-alaisesti niin ala- kuin
yläkouluissakin kaikilla luokka asteilla. Alakoulun luokilla varsinaista
tietotekniikan opetusta ei ole, vaan tietokoneita ehkä hyödynnetään jonkin
toisen oppiaineen opetuksessa. Tietotekniikkaa pyritään integroimaan muihin
oppiaineisiin ja tieto- ja viestintävälineiden käyttötaitoa pyritään opettamaan
opettajille. Monissa kouluissa erilaisia teemoja tai projekteja suunnitellaan ja
toteutetaan tietokoneavusteisesti, jolloin tietoa etsitään internetistä ja raportit
kirjoitetaan tietokoneella. Valitettavaa on, että tietotekniikan integrointi eri
oppiaineisiin on rajoittunut tiettyihin kouluihin, riippuen opettajien koulu-
tuksesta tai innostuneisuudesta. On kouluja, joissa opettajat eivät ole
innostuneita ottamaan tietotekniikkaa opetuksensa tueksi. Toisinaan opettaja
voi olla aktiivinen tietokoneen käyttäjä, jolloin hänen tunnillaan tietokoneet
ovat luonteva työväline. Joissakin kouluissa tietokoneita käyttävät vain
valinnaisen kurssin valinneet oppilaat ja joissakin kouluissa oppilaat voivat
jäädä täysin paitsi tietotekniikan opetuksesta. Peruskoulusta on jopa
mahdollista valmistua siten, ettei ole käyttänyt tietokonetta lainkaan. Nämä
oppilaat ovat selvästi huonommassa asemassa toisiin ikätovereihinsa
verrattuna. Tietoyhteiskuntakehityksen kannalta tasa-arvoisten oppimismah-
dollisuuksien luominen on entistä tärkeämpää ja on otettava entistä

tarkemmin huomioon. Oppilasta ei voida vaatia osallistumaan verkkokurssiin jos hänelle tulee merkittävän suuria vaikeuksia päästä verkkoyhteyteen koulun koneiden kanssa. Kaikilla ei nimittäin ole vielä kotona tietokoneita.

4. Oppimisympäristö

Opettajan tulisi tukea oppimisprosessia ja tukea oppilaiden välistä yhteistyötä. Tietokoneavusteisessa opetuksessa korostuu oppijakeskeinen oppiminen. Tietotekniikan avulla opettaja voi luoda motivoivia ja aktivoivia oppimisympäristöjä. Oppimisympäristöllä voidaan ajatella tarkoitettavan opiskelun ja oppimisen fyysisten, henkisten ja oppimateriaalien muodostamaa puitteiden ja edellytysten kokonaisuutta sekä siihen kuuluvia oppimistavoitteita tukevia aktiviteetteja [Haasio ja Piukkula, 2001].

Uusien OPS perusteiden mukaan oppimisympäristö tulee toteuttaa siten, että se tukee oppilaan kasvua ja oppimista. Työvälineiden ja materiaalien sekä kirjastopalvelujen tulee olla oppilaan käytettävissä niin, että hän voi opiskella aktiivisesti ja myös itsenäisesti. Oppimisympäristön varustuksen tulee tukea oppilaan kehittymistä nykyaikaisen tietoyhteiskunnan jäseneksi ja antaa tilaisuuksia tietokoneiden ja muun mediatekniikan sekä mahdollisuuksien mukaan tietoverkkojen käyttämiseen. Monipuolinen oppimisympäristö kannustaa oppilasta elinikäiseen oppimiseen. Oppimisympäristön tulee tukea oppilaan oppimismotivaatiota ja uteliaisuutta sekä hänen aktiivisuuttaan, itseohjautuvuuttaan ja luovuuttaan. Sen tulee tukea myös sekä opettajan ja oppilaan välistä että oppilaiden keskinäistä vuorovaikutusta. Oppimisympäristön tulee edistää myös oppilaan oman toiminnan arviointia. Tavoitteena on avoin, rohkaiseva, kiireetön ja myönteinen ilmapiiri, jonka ylläpitämisestä vastuu kuuluu sekä opettajalle että oppilaille [Opetushallitus, 1994].

Avoimeksi rakennetussa opiskeluympäristössä opiskellaan aktiivisesti, useita viestintävälineitä käyttäen ja yhteisöllisesti. Avoimuuteen liittyy myös mahdollisuus verkottumiseen opiskelutilanteissa, oppijoiden liikkuvuus ja osittainen ajasta ja paikasta riippumattomuus. Valintojen kautta tuetaan opiskelijan itseohjautuvuutta ja opiskelumotivaatiota [Opetusministeriö, 2000-2004].

Varsinkin verkko-opiskelu voi parhaimmillaan olla konstruktivistisia käsityksiä tukeva oppimisympäristö. Oppilasta kannustetaan itsenäiseen tietojenhakemiseen internetistä. Opettaja voi itse käyttää internettiä tietovarastona, josta on löydettävissä lähes rajaton määrä materiaalia. Oppilasta ohjataan suhtautumaan kriittisesti löytämäänsä tietoon.

5. Tutkimuskohde

Tulosten suhteen on huomattavaa, että tämän tutkimuksen otos on suppea, joten tulokset ovat korkeintaan vain suuntaa-antavia. Kohdekouluja oli vain kolme ja laajemmassa otoksessa tutkimus olisi antanut tuloksiin varmasti enemmän hajontaa. Tutkimuskohteena olevat Kaarilan, Tesoman ja Harjun koulut sijaitsevat Länsi-Tampereella. Hain kouluista ennakkotietoa niiden suhtautumisesta tietotekniikkaan tutkimalla koulujen Internet-sivut etukäteen ennen yhteydenottoa. Yksikään kouluista ei painottanut tietotekniikkaa opetussuunnitelmissaan. Kohdekoulujen tietotekniikan kurssien sisältöihin tutustuin haastattelemalla tietotekniikan opettajia. Vertasin koulujen tietoja toisiinsa ja otin vertailuun mukaan eri strategioiden määritykset sekä kriteerit tietotekniikan opetuksesta.

7.1. Kohdekoulu ja opettajat

Kohdekoulut ovat yli 300 oppilaan kouluja, ja niissä on kaksi tietotekniikan opettajaa. Opettajilla on tietotekniikan lisäksi opetettavina aineina muita matemaattisia aineita. Tietotekniikan opettajat eivät käytä muita opettajia enempää tietotekniikkaa muissa opetettavissa aineissaan. Kohdekoulujen tietotekniikan opettajat toimivat toisen tietotekniikan opettajan kanssa yhdessä koulun ATK-vastuuhenkilönä, jolloin he voivat omien taitojensa mukaan asentaa ohjelmistoja, huolehtia salasanoista ja huoltaa tietokoneita. Vastuuhenkilö on yhteydessä Tampereen kaupungin mikrotukihenkilöön, joka vieraillee kouluissa kerran kuussa ja tarvittaessa. Mikrotukihenkilö vastaa tietokoneiden verkkoasetuksista, huollosta ja asetuksista, joita tietotekniikan opettaja ei voi tai ehdi tekemään. Tietotekniikan opettajalle jää myös usein vastuualueeksi antaa muille koulun opettajille tietoteknisiä neuvoja. Eräässä koulussa oli peräti varattu kaksi tuntia viikossa opettajien neuvontaan. Eniten kysymyksiä tulee seuraavista asioista:

- sähköpostin käyttö
- salasanan unohdus
- tekstinkäsittely
- tiedonhaku ongelmat ja kysymykset
- laite ei toimi -ilmoitukset
- kotikoneen ongelmat.

Koulujen opettajilla on käytössä sähköpostiosoitteet, mutta tietotekniikan opettajien arvion mukaan vain keskimäärin puolet todella käyttävät sähköpostiosoitetta. Kuntakohtaisen strategian tavoitetasona on saada kaikille

oppilaille sähköpostiosoite ja koska oppilailla on mahdollisuus saada se koulun kautta, voidaan todeta tavoitteen toteutuneen.

Koulun muut opettajat käyttävät myös tietotekniikan luokkaa opetuksessaan. Käytettävät tietokoneohjelmistot ovat kunkin oppiaineeseen kuuluvia sovelluksia. Tutkimuksessa ilmenneet oppiaineet, joissa käytetään tietotekniikkaa apuna, ovat

- kielet ja äidinkieli
- reaaliaineet kuten historia, uskonto, biologia, maantieto
- matematiikka, fysiikka, kemia
- taloustieto
- musiikki.

Tietokoneet olivat pääsääntöisesti ATK-luokissa, mutta tietokoneita oli sijoitettu myös muihin luokkiin. Luokkiin sijoittelu tukee muun opetuksen ja tietotekniikan integraatiota. ATK-luokat sopivat tietotekniikan opetukseen hyvin, kun opetellaan esimerkiksi jonkun sovellusohjelmiston käyttöä. Sitran tutkimuksessa on todettu, että oppilaiden tulisi voida käyttää tietokoneita tunnin ajan joka päivä [Sinko ja Lehtinen, 1998]. Tällainen ei kuitenkaan ole kohdekouluissa mahdollista, sillä tietokoneet eivät ole oppilaiden käytössä kouluajan ulkopuolella.

Tampereen kaupungin nuorisofoorumi on esittänyt Tampereen kaupungille, että kouluille tulisi saada tietokonekerho. Tutkimuksen kouluilla ei ole järjestetty säännöllistä kerhotoimintaa. Yhdellä koululla on varattu rahat kerhotoiminnan pyörittämiseksi, mutta toistaiseksi sitä ei ole pidetty.

7.2. Tietotekniikan luokan varustus

Perusohjelmistojen kohdalla tutkimuksen kouluissa ei ole juurikaan eroja. Jokaisessa koulussa on käytössä tekstikäsittelyohjelmisto Word, taulukkolaskentaohjelmisto Excel, piirto- ja grafiikkaohjelmisto Paint Shop Pro, tietokantaohjelmisto Access 2000 ja WORKS. Sähköpostiohjelmana käytössä oli Eurora ja Outlook, Internet-selaimena Netscape ja Explorer. Ohjelmointikielissä käytössä on Turbo Pascalia, Visual Basic, C++ ja Toolbook.

Skanneri ja digitaalikamera on joka koululla ja tulostimia on useita. Videotykki, piirtopöytä ja kortinlukijalaite ovat harvinaisempia oheislaitteita. Yksi koulu oli hiljattain saanut editointiyksikön kuvaamataidon luokkaan sekä ATK-luokkaan videotykin, joka helpottaa opettajan työtä ja auttaa oppilaita seuraamaan opetusta. Opettaja voi havainnollisesti näyttää ohjelman toiminnot ja sen jälkeen oppilaat voivat tehdä omat harjoitukset.

7.3. Työskentely tietotekniikan luokassa

Kaikissa kouluissa oppilaat työskentelevät tietotekniikan tunnilla yksin tai pareittain jos vapaita koneita ei enää ole. Mikäli opetellaan ohjelman käyttöä, on oppimisen kannalta parasta, jos vain yksi henkilö on tietokoneella. Tällöin oppilas saa itse käyttää ohjelmistoa ja tekemällä itse oppiminen on helpointa. Projektiluontoisessa tai tiedonhaku -työssä parityöskentely on parempi ratkaisu. Oppilailla on vuorovaikutusta keskenään ja he oppivat yhteistoiminnallisuutta. Ahtineva viittaa kirjassaan Sfardin tutkimukseen, jonka mukaan tietokoneavusteisen oppimisympäristöjen avulla voidaan helpottaa yksilön oppimista ja vaikuttaa positiivisesti sosiaalisten suhteiden kenttään, jossa jokainen yksilö voi toimia jakamalla omia henkisiä resurssejaan yhteiseen käyttöön yhteistoiminnallisesti [Aija Ahtineva, 2001].

7.4. Tietotekniikan kurssit

Tässä kohdassa esitetään kohdekoulujen kurssien sisällöt ja käytännön järjestelyt. Ensin käsitellään tietotekniikan pakolliset kurssit ja sen jälkeen valinnaiset kurssit.

Opettajat valmistavat pääsääntöisesti kurssimateriaalit itse, mutta kirjoja on käytettävissä. Oppilastöitä ei yleensä julkaista koulun nettisivuilla, vain yhdessä koulussa multimedia-kurssin työt voidaan julkaista mikäli jää aikaa. Yleensä oppilaat saavat surffailla netissä kun tehtävät on suoritettu, mutta tässä ilmeni erityisesti opettajakohtaisia eroja. Tietotekniikan kurssien tavoitteena on opettaa oppilaat käyttämään tietokoneita, oheislaitteita ja keskeisimpiä työväline- ja opetusohjelmistoja. Oppilaan on kyettävä itsenäiseen ja vastuulliseen työskentelyyn sekä oppia hakemaan, tulkitsemaan ja kriittisesti arvioimaan tietoverkoista hakemaansa informaatiota.

7.4.1. Pakolliset kurssit

Yhdessä kohdekoulussa ei ollut lainkaan pakollista tietotekniikan kurssia. Tämä tarkoittaa sitä, että jos oppilas ei valitse tietotekniikkaa valinnaiseksi kahdeksannella tai yhdeksännellä luokalla, hän valmistuu peruskoulusta siten, ettei ole opiskellut koulussa tietotekniikkaa ollenkaan. Mikäli oppilaalla ei ole harrastuneisuutta tietokoneita kohtaan eikä hänen kotonaan ole konetta, hän on selvästi huonommassa asemassa jatko-opinnoissaan kuin muut opiskelijat. Useissa oppilaitoksissa tehdään raportteja ja ryhmätöiden tuloksia kirjataan tietokoneella ylös. Kokematon tietokoneen käyttäjä joutuu tekemään itse suuren työn saavuttaakseen tietokoneen peruskäyttötaidon.

Muissa kouluissa pakollinen tietotekniikka kurssi on puolitettu oppilaanohjauskurssin kanssa. Näin ollen viikossa tietotekniikkaa on 0,5

tuntia. Käytännön toteutus on yksi tunti joka toinen viikko. Kurssin tavoitteena on antaa oppilaalle tuntuma tietokoneen käyttöön, siten että hän osaa käyttää tietokoneita muissakin aineissa. Tavoitteena osata käyttöä sen verran, että pärjää, vaikka ei jatkossa valitsisi valinnaista tietotekniikkaa. Pakollisesta tietotekniikan kurssista ei yleensä anneta arvosanaa.

7.4.2. Valinnaiset kurssit

Tietotekniikan valinnaiset kurssit alkavat kahdeksannella luokalla. Noin puolet tai yli puolet kohdekoulujen oppilaista valitsee valinnaisen tietotekniikan kurssin. Kurssille tulevat oppilaat ovat eritasoisia tietokoneen käytössä. Toisille sovellusohjelmien käynnistäminen tuottaa jo vaikeuksia ja toiset taas osaavat tehdä tiedonhakuja Internetistä. Yleistä on, etteivät oppilaat osaa käyttää hyötyohjelmia, mutta ohjelmien asentaminen on tuttua erilaisten pelien asentamisen myötä. Oppilaiden tietokoneen käyttötaito paranee joka vuosi, sillä keskimäärin 90%:lla oppilaista on jo kotona tietokone. Harrastuneisuus näkyy tunnilla. Usein kahdeksannella luokalla valinnaisella oleva valitsee tietotekniikan myös yhdeksännellä luokalla valinnaiseksi. Kurssille voi tulla vaikka ei olisikaan opiskellut tietotekniikka aikaisemmin. Valinnaiselle kurssille tulee enemmän poikia kuin tyttöjä ja yleensä oppilaat ovat innostuneita tietokoneista ja harrastavat käyttöä myös vapaa-aikana. Valinnaisilla kursseilla on paljon koulukohtaisia eroja. Esimerkiksi kurssien valinnassa voi sekä kahdeksannella että yhdeksännellä luokalla valita joko pitkän tai lyhyen vaihtoehdon. Toisessa koulussa oppilaalla on mahdollisuus valita valinnaisen tietotekniikan lisäksi mikrokurssi, joka on vain muutamien kuukausien pituinen. Kolmannessa kohdekoulussa oppilaalla on taas puolestaan mahdollisuus valita molemmat kurssit, jolloin hänellä on tietotekniikkaa neljä tuntia viikossa.

Kohdekouluilla kahdeksannen luokan pääsisältö on tekstinkäsittely ja taulukkolaskenta. Näiden lisäksi, riippuen koulusta, aiheina on digitaalikameran ja skannerin käyttö, animaation tekeminen, sähköposti, tiedon siirto, keskustelupalvelut ja käyttöjärjestelmä.

Yhdeksännellä luokalla tietotekniikan kurssilla opitaan syvemmin tekstinkäsittelyä ja taulukkolaskentaa, Internetin käyttöä, Power Point – esitysten tekoa, Paint Shop Pro -ohjelman avulla kuvankäsittelyä, äänen ja musiikin käsittelyä, multimediaa (ToolBook), ohjelmointia, sekä kotisivujen tekemistä.

7.5. Opettajien toiveet

Haastattelun yhteydessä kysyin opettajilta, kuinka he kehittäisivät koulun tietoteknisistä osaamista. Seuraavat toiveet tulivat esille:

- laitteistojen ja ohjelmistojen uudistamista
- mikrotuen kehittäminen ja huolto
- tietotekniikan integroimista muihin aineisiin
- kaikki koulun luokat verkkoon ja luokkiin tietokoneet
- poissaolojärjestelmä tietokoneelle
- hankitaan kuvankäsittelyohjelmisto
- oppilaille ja opettajille tietokoneiden käyttövalmiuden kehittämistä.

Tietotekniikan opettajat joutuivat hyvin usein neuvomaan muita koulun opettajia tietoteknisissä ongelmissa ja siksi heidän mielestään opettajille pitäisi saada enemmän tietokoneiden käyttökoulutusta. Opettajat tarvitsisivat erityisesti pedagogista ohjausta tietokoneiden hyödyntämiseen. Opettajat toivovat, että jokaisessa luokassa olisi vähintään yksi verkkoon kytketty tietokone, jolloin kuka tahansa voisi käyttää konetta opetuksen tai oppimisen apuvälineenä. Opettajat voisivat kirjoittaa oppilaan poissaolon suoraan koneelle poissaolojärjestelmään.

Vuonna 2002 tehdyn tutkimuksen mukaan opettajat suhtautuvat tietokoneisiin varauksellisesti tai varsin negatiivisesti [Kankaanranta, 2000]. Opettajat eivät halua paneutua tietokoneen käyttöön ja sen ottamiseen opetukseen mukaan, sillä tietokoneista ei katsota olevan mitään hyötyä opetuksessa. Opetuksessa tietotekniikka jää siis usein korvaavaksi teknologiaksi, jonka avulla vanhat, perinteiset tehtävät hoidetaan. Suurin syy tietotekniikan alikäyttöön on, ettei tietotekniikan mahdollisuuksia tunneta [Meisalo *et al.*, 2000].

8. Perustaidot

Tietotekniikan perustaitoihin [Kaakinen *et al.*] kuuluvat tiedonhankinnan, tiedonhallinnan, tietotekniikan ja verkkoviestinnän perustaidot. Tutkimuksen mukaan peruskoulusta valmistuneen tulisi osata tietotekniikasta seuraavaa:

- tietokoneen peruskäyttö
- tekstinkäsittely (tallennus, tulostus, asiakirjan teko)
- tiedonhaku internetistä
- ymmärtää hakemaansa tietoa, oikeellisuuden arviointi
- sähköpostin käyttö ja valmius käyttää sähköisiä palveluja.

Näitä odotuksia vertaamalla kohdekoulujen kurssien sisältöihin totesin, että ne vastaavat toisiaan. Oppilas saa perusvalmiudet tietokoneen käyttöön, jos hän suorittaa tietotekniikan kurssin. Kahdessa tämän tutkimuksen koulussa kriteerit täyttyvät, sillä koulussa on pakollinen tietotekniikan perustaidon antava kurssi. Yhdessä tutkimuskoulussa kriteerit täyttyvät vain, jos oppilas on suorittanut valinnaisen tietotekniikan kurssin. Tutkimuksessa haastateltujen opettajien mielestä olisi tärkeää, että kaikille oppilaille peruskoulussa olisi ainakin yksi pakollinen kurssi tietotekniikkaa. Näin oppilaat saavuttaisivat perustason tietokoneen käytössä.

Kurssien valinta vaatimustason mukaan oli yhdellä kohdekouluista. Siellä oppilas voi valita vasta-alkajien kurssin tai kokeneille käyttäjille tarkoitettua kurssin. Kurssien sisällöt olivat samansuuntaiset, mutta kokeneemmat käsittelevät asiaa syvemmin. Tasokokeita ei pidetä yhdelläkään tutkimuskouluista.

Tampereen kaupungin tietostrategian tavoitetasona on lisätä verkko-opetuksen määrää perusopetuksessa. Strategiassa mainitaan koulujen verkostoitumisesta että koulujen välisessä vuorovaikutuksessa ja tiedottamisessa tietoverkkojen tarjoamia välineitä kannattaisi hyödyntää. Kohdekoulujen opettajat ovat kuitenkin yksimielisiä, että tietoverkkojen kautta saa hyviä palveluja opetuksen tueksi mutta yhteistyötä koulujen välillä tieto- ja viestintätieteiden avulla ei tarvita.

Koulutuksen tavoitteena on tasa-arvoisuuteen kannustaminen. Oppilaat, jotka eivät saa tietotekniikan opetusta peruskoulussa, ovat selvästi huonommassa asemassa toisiin ikätovereihinsa verrattuna. Mikäli oppilaat saisivat samanlaisen tietotekniikan peruskäyttötaidon, olisi jatko-opintojen tietotekniikan opiskelu vaivattomampaa. Se mahdollistaisi myös tietotekniikan käytön muun oppimisen tukena.

Haastattelussa kaksi opettajaa oli ehdottomasti sitä mieltä, että tietotekniikan tulisi olla pakollinen oppiaine kaikille, mutta valinnaisaineena sitä myös tarvitaan. Koulu, jossa pakollista tietotekniikan kurssia ei ole, ei koe sitä tarpeelliseksi vielä. Pakollisella kurssilla tulisi olla samanlainen sisältö, jolloin peruskäyttötaito taattaisiin kaikille. Valinnaisilla kursseilla tulisi olla vapautta valita kurssien sisältö, jolloin koulu saisi yksilöityä omaan erityisosaamiseensa. Tieto- ja viestintätieteiden tulisi hyödyntää eri oppiaineissa ja sen käyttöä opetuksessa tulisi lisätä. Haastattelussa tuli ilmi, että opettajien mielestä hyviä opetusohjelmistoja on vähän, ja sen takia opettajat käyttävät harvoin tieto- ja viestintätieteiden apuna opetuksessaan.

Opettajien mielestä tietokoneiden käyttö motivoi oppilaita ja erilaisten opetusohjelmien käytöllä oppimista on mahdollista tukea.

8.1. Internetin käyttö ja Dot Safe

Opetushallitus on julkaissut Turvallisemman Internetin puolesta -toimintaohjelman loppuraportin Dot Safe -sivuston. Projekti on Euroopan komission rahoittama ja se on tarkoitettu peruskouluille ja lukioille. Raportin tavoitteena on kannustaa ja ohjata opettajia ja oppilaita Internetin hyödylliseen ja turvalliseen käyttöön. Opetushallituksen sivuilta löytyvästä raportista on koottu myös kouluille tiivis paketti, joka on toimitettu kaikkiin Suomen kouluihin. Dot Safe -sivuston mukaan oppilaiden tietokoneiden käyttökriteerinä on se, että tietokoneen käytön on oltava vastuullista ja sen tulee tukea koulun kasvatusta ja opetustavoitteita. Kaikille tutkimuksessa mukana oleville kouluille DotSafe sivustojen ohjeet eivät olleet tuttuja. Vaikka kouluille on toimitettu materiaalia, niin se on jäänyt käyttämättä. Eräs kohdekoulun opettaja oli materiaalia käyttänyt opetuksessaan, yhdessä muun materiaalin kanssa.

Oppilaiden tietokoneiden käyttö vapaa-ajalla tai kouluaikana oli vaihtelevaa. Yksi kouluista on lukion kanssa samassa rakennuksessa, joten heillä tietokoneiden käyttö yläasteen oppilaan kouluajan jälkeen on mahdollista. Tutkimuksessa tuli ilmi, että opettajien mielestä koneiden vapaa käyttö olisi hyvä, mutta he uskovat että tietokoneisiin kohdistuisi ilkeävaltaa. Nuorten surffailu Internetissä saattaisi kohdistua koulun näkökulmasta katsottuna mauttomille sivuille. Oppilaille voitaisiin sallia vapaa tietokoneiden käyttö ATK-luokissa, jos he käyttäisivät koneita oppimistehtävien tekemiseen tai tiedonhakuun.

9. Loppupäätelmät

Opetusministeriön strategian mukaan suomalaisen koulutuksen ja tutkimuksen tulevaisuus kiteytetään seuraavaksi visioksi:

Menestys perustuu kansalaisten tasa-arvoiseen mahdollisuuteen opiskella ja kehittää omaa osaamistaan sekä käyttää laajasti tietovarantoja ja koulutuspalveluja. Tasokas, eettisesti ja taloudellisesti kestävä verkostopohjaisen opetuksen ja tutkimuksen toimintatapa on vakiintunut. Vision toteutuminen edellyttää, että tietoyhteiskunnan tekninen ja sisältöperusta rakennetaan sellaiseksi, että se on opetuksen ja tutkimuksen käytössä ja tukena esteettä. Tekniikkaa on myös osattava käyttää mahdollisimman hyvin. Uudet

osaamisvaatimukset edellyttävät elinikäisen oppimisen periaatteen pikaista ja laaja-alaista soveltamista koko koulutusjärjestelmään, jotta kansalaiset motivoituisivat ja oppisivat hallitsemaan, jäsentämään, arvioimaan ja jalostamaan kasvavaa tiedon tulvaa ja siten hyödyntämään tekniikan uusia mahdollisuuksia [opetusministeriö, 2000-2004].

Uusissa opetussuunnitelmien perusteissa ihminen ja teknologia -aihekonaisuuden päämääränä on auttaa oppilasta ymmärtämään ihmisen riippuvuus nykyaikaisesta teknologiasta ja näkemään teknologian merkitys arkielämässämme. Opetuksen tulee kehittää välineiden, laitteiden ja koneiden toimintaperiaatteiden ymmärtämistä ja käyttöä. Tavoitteena on, että oppilas oppii:

- ymmärtämään teknologiaa, sen kehittämistä ja vaikutuksia eri elämänalueilla, yhteiskunnan eri sektoreilla ja ympäristössä
- käyttämään teknologiaa vastuullisesti ja kriittisesti
- käyttämään tietoteknisiä laitteita ja ohjelmia sekä tietoverkkoja erilaisiin tarkoituksiin
- ottamaan kantaa teknologisiin valintoihin ja arvioimaan tämän päivän teknologiaan liittyvien
- päätösten vaikutuksia tulevaisuuteen.

Perusopetuksen on annettava mahdollisuus monipuoliseen kasvuun, oppimiseen ja terveen itsetunnon kehittymiseen, jotta oppilas voi hankkia elämässä tarvitsemiaan tietoja ja taitoja, saada valmiudet jatko-opintoihin ja osallistuvana kansalaisena kehittää demokraattista yhteiskuntaa. Perusopetuksen on myös tuettava jokaisen oppilaan kielellistä ja kulttuurista identiteettiä sekä äidinkielen kehitystä. Tavoitteena on myös herättää halu elinikäiseen oppimiseen [Opetushallitus, 2003].

Koulut joutuvat luonnollisesti uusimaan jonkin verran myös omia opetussuunnitelmiaan. Jotta tekniikan käyttö opetuksessa toteutuisi, joutuvat useat eri aineiden opettajat paneutumaan tietotekniikkaan omassa aineessaan. He opettavat samalla oman aineensa asian ja tietokoneen käyttöä. Tietotekniikan hyödyntäminen oikeissa ongelmissa onkin parasta tietotekniikan opetusta. Tietokone on työväline, jonka avulla voidaan hallita suurta määrää tietoa. Tietokoneen käytön tulisi olla yhtä luontevaa kuin kynän ja paperin käyttö. Tiedonhankinnan, tiedonhallinnan, tietotekniikan ja verkkoviestinnän alkeiden tulee olla kansalaisten perussivistystä [Sinko ja Lehtinen, 1988]. Tämä pitäisi taata jokaiselle peruskoululaiselle.

Kuntien erilaiset opetuksen ja koulutuksen strategiat asettavat paineita koulujen opetustavoitteille, joten tietotekniikan opetus elää tällä hetkellä

murrosvaihetta. Nämä kaikki tulevat vaikuttamaan voimakkaasti tietotekniikan opetukseen. Korkeatasoisen tieto- ja viestintätekniiikan hyödyntäminen opetuksessa edellyttää uusien opetusmenetelmien käyttöä, opetussisältöjen uudelleenarviointia ja karsintaa sekä oppilaiden luovuuden ja kriittisyyden kehittämistä tiedonhankinnassa ja -käsittelyssä.

Tutkimuksessa tuli selvästi esille koulu, jossa on panostettu tieto- ja viestintätekniiikan opetuskäyttöön. Opettajat seuraavat aikaa ja ovat innostuneita kehittämään kursseja. Oppilaat ovat motivoituneita ja tietotekniikka näkyy koulun toiminnassa esimerkiksi oppilastöiden julkaisulla koulun verkkosivuilla. Innostus on ainakin siellä saanut aikaan, että laitteisiin ja ohjelmistoihin satsataan. Kohdekoulujen joukosta erottui koulu, joka ei erityisesti ole panostanut tietotekniikan opetukseen. Siellä oli huomattavasti vähemmän tietokoneita muihin kohdekouluihin verrattuna, eikä siellä ollut pakollista tietotekniikan kurssia. Dot Safe -sivuston turvallisuusohjeet eivät myöskään olleet tällä koululla käytössä.

Työtä voisi jatkaa laajentamalla tutkimuksen kattamaan kaikki Tampereen yläkoulut, jolloin tuloksissa olisi varmasti enemmän hajontaa. Koulujen erilaisuus tulisi laajemmassa otoksessa varmasti paremmin esille. Haastattelemalla oppilaita, tutkimukseen saataisiin uudenlainen lähestymistapa. Oppilaiden toivomukset on tietysti vaikea suhteuttaa todelliseen hyötyyn, sillä murrosikäisten tietokoneiden käyttö on voimakkaasti pelivoittoista. Tätä tutkimusta voisi jatkaa myös tutkimalla, miten tietotekniikkaa voisi käyttää opetuksen tukena. Kun perusvalmiudet on saavutettu, tietotekniikan integrointi muuhun opetukseen olisi vaivatonta.

Viiteluettelo

(Ahtineva) Aija Ahtineva, *Tutkimus kouluopetuksen kehittämisessä*. (Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuksia), Turun yliopiston julkaisuja, julkaisusarja C:17 Turun yliopisto 2001.

(Haasio ja Piukkula) Ari Haasio ja Juha Piukkula, *Oppiminen verkossa*. Gummerus, Helsinki 2001.

(Kaakinen et al.) Päivi Kaakinen, Juha Nurmi, Mia Peltomäki, Pertti Tujunen ja Pentti Vuontisjärvi. *Mitä peruskoulun päättävän oppilaan tulisi tietää tietotekniikasta*. Tietotekniikkatoimikunta, MAOL ry, http://www.maol.fi/frames/maol/julkaisut/atk_pk.pdf/suomi., 5.5.03

(Kankaanranta et al.) Marja Kankaanranta, Eija Puhakka, Pirjo Linnakylä, *Tietotekniikka koulussa*, Koulutuksen tutkimuslaitos, Jyväskylän yliopistopaino 2000.

- (Meisalo *et al.*) Veijo Meisalo, Erkki Sutinen ja Jorma Tarhio, *Modernit Oppimisympäristöt*. Tietosanoma Oy, Juva 2000.
- (Nurmi) Juha Nurmi, *Tietotekniikan opetus yläkoulussa ja lukiossa. D i m e n s i o.* 2/2002 s. 11-15.
- (Opetushallitus, 1994) *PERUSKOULUN opetussuunnitelman perusteet*. Opetushallitus, 1994.
- (Opetushallitus, 2003) *PERUSKOULUN opetussuunnitelman perusteet*. Edita Prima Oy, Helsinki, 2003, ISBN 952-13-1749-3 (nid.), ISBN 952-13-1750-7 (pdf) Opetushallitus, <http://www.oph.fi/pageLast.asp?path=1;443;5238;6094;14939>, 5.5.03
- (Sinko ja Lehtinen) Matti Sinko ja Erno Lehtinen, *bitit ja pedagogiikka*. WSOY, Juva 1998. Saatavilla myös <http://www.edu.hel.fi/page.asp?Section=35&Item=414>, 5.5.03.
- (DotSafe) DotSafe-sivusto on julkaistu Opetushallituksen Edu.fi -palvelussa <http://www.edu.fi/frontpage.asp?path=498>
- (Opetusministeriö), *Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategia, 2000-2004*. http://www.minedu.fi/toim/koul_tutk_tietostrat/ii.html, 5.5.03
- Tampereen kaupungin koulutustoimialan strategia - Oppiva Tampere 2001-2012*. http://www.tampere.fi/koulutus/pdf/strategia_yleissivistavakoulutus.pdf, 5.5.03, Koula 10.12.2002

Agentit ja tiedon etsiminen internetistä

Mika Paananen

Tiivistelmä

Tiedon etsiminen internetistä on tullut entistä haastavammaksi. Samalla kun sivujen määrä on lisääntynyt, tietojen etsimiseen käytettävien työkalujen kehitys on saanut uuden piristysruiskeen. Tiedon etsimisen menetelmät ja tekniikat ovat lisääntyneet huomattavasti, mutta laajempaa selvitystä tekniikoiden käyttökohteista ei ole tehty. Tässä tutkimuksessa kootaan yhteen ja vertaillaan eri metodeita ja agenttityyppejä, joilla tietoa voidaan hakea internetistä. Tuloksena tutkimuksesta saadaan selvät ohjeet siihen, mitä keinoja kannattaa milloinkin käyttää tiedonetsinnässä.

Avainsanat ja -sanonnat: Agentti, tiedon etsintä, Internet.

CR-luokat: I.1.2, I.2.3, I.2.11.

1. Johdanto

Internetin sisältämä tietomäärä on nykyisin valtava. Internetin on uusimpien tutkimusten mukaan laskettu sisältävän noin 3 miljardia julkista WWW-sivua [Patel-Schneider and Fensel, 2002] ja lisäksi on arvioitu, että internetissä oleva tietomäärä kaksinkertaistuu 18 kuukauden välein [Yang et al., 1999]. Samalla internetistä on tullut yksi tärkeimmistä ja kattavimmista tiedonlähteistä. Samaan aikaan, kun tiedon määrä internetissä on kasvanut räjähdysmäisesti, on sen etsiminen tullut yhä haastavammaksi. Tyypillisen internetin käyttäjän on vaikea löytää omin avuin haluamaansa tietoa. Vaikka hakukoneet osaltaan auttavat käyttäjiä tiedonetsinnässä, voi juuri oikean tiedon etsiminen olla tässäkin tapauksessa hankalaa.

Agenttitekniikat ovat suhteellisen uusi tietojenkäsittelytieteen tutkimusalue ja alalta on vielä melko vähän tutkittua tietoa. Kuitenkin agentit ovat monien asiantuntijoiden mielestä vastaus tiedon etsimisen ongelmaan internetissä. Kuitenkaan tutkijat eivät ole löytäneet yhtä suvereenisti ylivoimaista agenttia tai algoritmia kaikkien mahdollisten hakuongelmien ratkaisuksi. Sen sijaan on löydetty useita erilaisia ratkaisuja erilaisiin tiedonhakuongelmiin [Newell, 1997], [Yang et al., 1999]. Tekemättä on kuitenkin jäänyt erilaisten tekniikoiden ja agenttien vertailu sekä yhteen kokoaminen siltä kannalta, mitä tekniikoita ja toteutustapoja kannattaa käyttää missäkin tiedonhakutilan-

teessa. Tässä tutkimuksessa tehdään tällainen yhteenveto ja vertailu. Tuloksena tutkimuksesta saadaan selvät ohjeet siihen, mitä keinoja kannattaa milloinkin käyttää tiedonetsimisessä internetissä.

Luvussa 2 esitellään agentteihin liittyviä peruskäsitteitä ja erilaisia agenttityyppejä. Kolmas luku esittelee tutkijoiden käyttämiä tekniikoita ja agenttityyppejä eri tiedonhakuongelmissa. Neljännessä luvussa pohditaan, mikä tekniikka on soveliaain missäkin tiedonhakuongelmassa. Lopuksi luvussa 5 vedetään yhteen tutkielman tulokset ja pohditaan tulosten merkitystä.

2. Agentit

Koska agenttitekniikat ovat suhteellisen uusi tietojenkäsittelytieteen haara, alan käsitteistö ei ole ehtinyt muodostumaan yksiselitteiseksi. Agentteja voidaan luokitella useilla eri tavoilla niiden eri ominaisuuksista riippuen. *Internet- ja tiedonhakuagentit* (information/internet agents) luokitellaan usein omaksi agenttityypikseen [Nwana, 1996], mutta useimmissa tapauksissa tiedonhakuagentteihin sekoittuu myös muita agenttityyppejä. Seuraavassa esitellään agenttien ominaisuuksia ja käsitteitä selventämään, miten moninaisia tiedonhakuagentit voivat olla. Tässä tutkimuksessa agenteilla tarkoitetaan ohjelmistoagentteja.

2.1. Määritelmiä ja ominaisuuksia

Agentti-käsitteen määritelmä voi vaihdella kirjoittajan tai aiheen mukaan. Sille on olemassa kymmeniä – kaikki yhtä paikkansa pitäviä – määritelmiä, painotuksen vaihdellessa kirjoittajan näkökulman mukaan. Etzioni ja Weld [1995] määrittelevät ohjelmistoagentin ihmisagentin lailla käyttäytyväksi tietokoneohjelmaksi, kuten matkatoimiston virkailijaksi tai vakuutusasiamieheksi. Määritelmässä agentin rooli ymmärretään ohjelmaksi, joka on delegoitu suorittamaan jokin tehtävä käyttäjän puolesta. Yleisesti voidaankin ajatella, että juuri tämä ominaisuus on perustavaa laatua kaikille agenteille. Myös tiedonhakuagentit suorittavat tiettyä käyttäjän määrittelemää tehtävää.

Agenttimääritelmään yhdistetään usein lukuisia muitakin ominaisuuksia. Raisamo [2002] luettelee muutamia ominaisuuksia, joita on totuttu yhdistämään agentteihin. Näitä ovat

- 1) tehtävien suorittaminen tiettyyn aikaan
- 2) monien tietolähteiden yhdistäminen
- 3) hajautetun tekoälyn toteuttaminen
- 4) toimiminen älykkäänä oppaana käyttöliittymissä

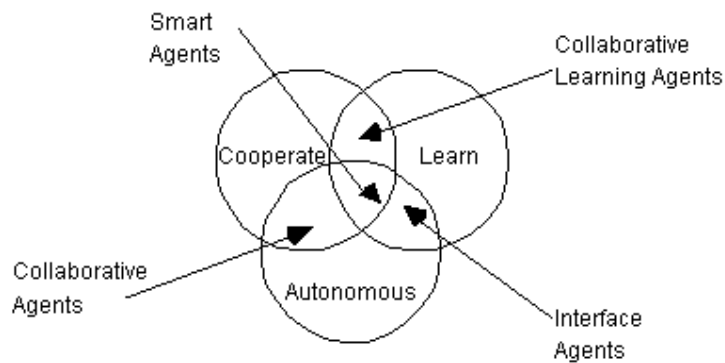
- 5) kyky siirtää kokonaisuuksia tietokoneiden välillä
- 6) uskottava graafinen ulkomuoto
- 7) kyky ymmärtää agenttien kommunikointikieltä.

Tilanteesta ja agentista riippuen tiedonhakuagentilla voi olla mikä tahansa kombinaatio edellä mainituista ominaisuuksista. Se mitä ominaisuuksia käytetään milloinkin, riippuu agentin tehtävästä, käyttäjästä ja muista tiedon etsimiseen vaikuttavista tekijöistä. Toisen henkilön älykäs agentti voi olla toisen mielestä kätevä ohjelma. Kaikkein paras ja kuvaavin määritelmä agentille onkin Nwanan [1996] määritelmä, jonka mukaan ohjelmistoagentti on vain kattotermi, jonka alle kuuluvat kaikki spesifimmät ja rajoittuneemmat agentit ja prosessit.

2.2. Agenttien luokittelua

Jotta voitaisiin paremmin ymmärtää agenttien jakaantumista laajemmasta näkökulmasta ja tiedonhakuagenttien monimuotoisuutta, on hyvä antaa määritelmiä agenttien luokitteluista. Eräs kuvaavimmista agenttien tyyppi-luokitteluista on kuvassa 1 esitetty Nwanan [1996] agenttien tyyppiluokittelu ominaisuuksien mukaan. Siinä agenttien luokittelu muodostuu kolmesta perusominaisuudesta – *autonomisuudesta* (autonomous), *yhteistyöstä* (cooperate) ja *oppimisesta* (learn) – ja niiden leikkauksista.

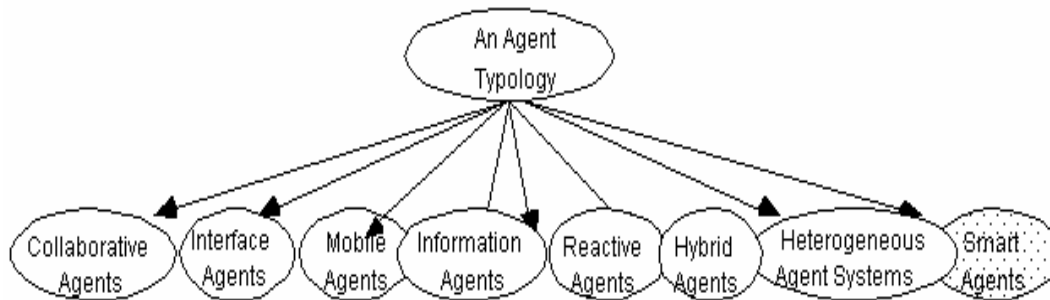
Tiedonhakuagentit voivat sijoittua mihin tahansa kuvassa 1 esitetyistä agenttityypeistä. Tiedonhakuagentit toimivat usein yhteistyössä, millä saavutetaan merkittäviä etuja yksin toimiviin agenteihin verrattuna. Yhteistyössä toimivat agentit voivat jakaa tehtäviä keskenään, jolloin pystytään vähentämään verkon liikennettä ja säästämään kaistaa [Baek et al., 2001]. Tässä tapauksessa on oleellista, että agenttien määrä ja niiden suoritus aika tiettyä tehtävää kohti on optimaalinen. Yhteistyössä toimivat agentit ovat eräs tärkeä osa tutkittaessa tehokkaita tiedonhakutapoja internetissä.



Kuva 1. Agenttien luokittelu ominaisuuksien mukaan.

Koska agentit toimivat ihmisten apuvälineinä, on oleellista, että käyttäjät pystyvät käyttämään agenteja tehokkaasti. Tämä edellyttää lähes poikkeuksetta agentilta käyttöliittymää. Toisaalta käyttöliittymäagentit ovat useimmissa tapauksissa oppivia agenteja. Ne seuraavat käyttäjän toimia ja oppivat eri tekniikoin käyttäjästä tarpeelliseksi katsomiaan asioita. Käyttäjien apuna toimivat tiedonhakuagentit ovat useimmiten oppivia ja käyttöliittymällä varustettuja. Esimerkiksi Chenin ja Sycaran [Chen and Sycara, 1998] toteuttama WebMate on esimerkki tällaisesta agentista.

Toinen tapa luokitella agenteja on lajitella ne tyyppin mukaan. Nwana [1996] luokittelee agentit kuvan 2 mukaisesti kahdeksaan eri tyyppiin: *yhteistyössä toimivat* (collaborative), *käyttöliittymä-* (interface), *liikkuvat-* (mobile), *tiedonhaku-* (informative), *reaktiiviset* (reactive), *hybridi-* (hybrid) *heterogeeniset* (heterogeneous) ja *älykkäät* agentit (smart). Tässä luokittelussa tiedonhakuagenttien huomataan olevan oma agenttityypinsä. Kuitenkaan jaottelussa ei voida tässäkään tapauksessa vetää liian tiukkoja rajoja, sillä eri agenteissa voi yhdistyä useitakin eri tyyppiä. Kun ajatellaan erityisesti internetissä toimivaa tiedonhakuagenttia, voidaan löytää esimerkkejä, joissa agentti voitaisiin kategorisoida mihin tahansa kuvassa 2 esitettyyn agenttityyppiin.



Kuva 2. Agenttien luokittelu.

Koska tiedonhauille internetissä voi olla useita eri motiiveja ja käyttötapoja, ovat eri agentitkin varustettu erilaisilla ominaisuuksilla. Koska agentin hyvyys mitataan viimekädessä sen käyttäjälle tuomansa hyödyn perusteella, voi pienenkin tehtävän yksinkertaisesti suorittava agentti olla hyvä agentti.

2.3. Tiedonhakuagenttien monimuotoisuus

Tiedonhakuagenttien ympärille kietoutuu useimmissa tapauksissa muiden ominaisuuksien kirjo, minkä vaikutuksesta tiedonhakuagentteja voitaisiin luokitella myös muunlaiseksi agenteiksi. Vaikka erilaisilla määritelmillä ei ole merkitystä itse asian kannalta, on oleellista tietää tiedonhakuagentteihin liittyvien ominaisuuksien monimuotoisuudesta, koska kyseiset ominaisuudet vaikuttavat suoraan siihen, mitä tekniikoita ja toteutustapoja agentilla on käytettävissä erilaisissa tiedonhakutilanteissa. Jos agentin käyttäjänä on vähän tietokoneita käyttänyt internetistä tietoa hakeva henkilö, on tärkeää, että agentin käyttöliittymä on selkeä ja agentti oppii käyttäjän mielenkiinnon hänen tekemiensä valintojen mukaan. Sen sijaan tutkija, joka etsii spesifiä tietoa, voi tarvita agenttia, joka on tehokas ja suorittaa haun tarkoin määritellyin parametrein vain tietyistä lähteistä.

Kuten jo alussa mainittiin, agentin tarkan määritelmän antaminen on mahdotonta. Vaikka agenttikenttää on havainnollistettu jakamalla agentteja erilaisin perustein omiin luokkiinsa (esim. kuvat 1 ja 2), ei täysin yksiselitteisiä määritelmiä pystytä tarjoamaan. Koska agentin kaikki ominaisuudet (esim. mobiilisuus, käyttöliittymä, yhteistyökyky) vaikuttavat siihen, miten tietoa etsitään verkosta (esim. hajautetusti, mobiilisti, adaptiivisesti, reaktiivisesti) ja miten saadaan selville mitä käyttäjä etsii (esim. adaptiivisuus, oppiminen, käyttäjämallit), on olennaista tietää, että agenttien ominaisuudet vaikuttavat suoraan käytössä oleviin tiedonetsintämetodeihin.

3. Agentit ja tiedon etsimismenetelmät

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, tiedon etsiminen verkosta on tullut entistä haastavammaksi verkon paisuessa yhä laajemmaksi. Agentit ovat kuitenkin tuomassa helpotusta tähän kasvavaan ongelmaan. Internetissä on jo nyt lukuisia paikkoja, joista voi asettaa agenteja suorittamaan tiettyä tiedonhakutehtävää joko kertaluontoisesti (esim. SiteSeer <http://www.arsvcs.demon.co.uk/r-comp/www/siteseer/>) tai jatkuvasti (esim. www.nelonen.fi -sivujen NHL-fanihälytys). Palvelut vaihtelevat suuresti kaupallisista agenteista tutkimusagentteihin, mutta varmaa on, että tulevaisuudessa tällaisten palveluiden määrä tulee kasvamaan. Millä menetelmillä agentit sitten löytävät juuri sen tiedon, mitä käyttäjä etsii? Tässä luvussa tutustutaan ensin käytössä oleviin yleisimpiin tiedon etsimisen tekniikoihin ja menetelmiin. Sen jälkeen tutustutaan erilaisten agenttityyppien tarjoamiin mahdollisuuksiin tiedon etsimisessä internetistä.

3.1. Tekoälytekniikat

Älykkäiden agenttien tiedon etsiminen internetistä perustuu pääasiassa tekoälyyn ja tarkemmin sen kolmeen eri pääalueeseen: *neuroverkkoihin* (neural networks), *symbolisiin oppimisalgoritmeihin* (symbolic learning algorithms) ja *geneettisiin algoritmeihin* (genetic algorithms) [Yang et al., 1999]. Tekoälyä voidaan käyttää useassa eri agentin toiminnossa. Tekoälyn avulla agentti voi oppia ymmärtämään, mitä tietoa käyttäjä. Toisaalta tekoälyä voidaan käyttää tiedon etsimisessä ja suodattamisessa.

Neuroverkkojen toiminta perustuu esimerkkien avulla oppimiseen. Oppiminen toteutuu verkon eri solmujen välisten liitosten voimakkuuksien muutoksina [Honkela, 1996]. Neuroverkko voidaan opettaa mm. vastaamaan kuvan perusteella, onko kadulla ruuhkaa vai ei. Samalla tavalla neuroverkkoja voidaan käyttää hyväksi älykkäässä tiedon etsimisessä internetissä. Choi ja Yoo [Choi and Yoo, 1998] toteuttivat tutkimuksessaan neuroverkkoja hyväksi käyttävän hajautetun agentinjärjestelmän paikallistamaan sellaiset hakukoneet, jotka löysivät käyttäjää kiinnostavaa tietoa. Tutkimus osoitti, että hakutulokset ja tiedon etsinnän tehokkuus paranivat huomattavasti verrattaessa tunnettuihin hakupalveluihin. Neuroverkkojen avulla agentti pystyi oppimaan käyttäjistä kerätyn tiedon perusteella hakemaan oikeanlaista tietoa oikeilta hakukoneilta.

Geneettiset algoritmit ovat heuristisesti ohjattuja satunnaishakumenetelmiä, jotka perustuvat luonnon valintaan [Haataja, 2003]. Perustana on evoluutioteoriaan pohjautuva ajatus siitä, että vain parhaat geenit selviävät

luonnon valinnassa. Geneettiset algoritmit sopivatkin mm. hahmontunnistusongelmiin sekä tiedon etsimiseen. Yangin ja muiden [Yang et al., 1999] toteuttama *simuloituun jäähdytykseen* (simulated annealing) perustuva agentti on läheistä sukua geneettisten algoritmien kanssa, mutta uusien sukupolvien tuottamiseen ei käytetä todennäköisyyksiä vaan stokastisia malleja. Yangin ja muiden [Yang et al., 1999] agentti perustuu dokumenttien sisällön automaattiseen indeksointiin ja sen automaattiseen analysointiin simuloidulla jäähdytyksellä.

Simuloidun jäähdytyksen algoritmi matkii aineen kiteytymisessä tapahtuvaa prosessia lämpötilan laskiessa. Tässä prosessissa järjestelmä hakeutuu automaattisesti globaaliin minimiinsä ja aineisto suodattuu [Haataja, 2003]. Kun Yang tutkimuksessaan vertailee simuloituun jäähdytykseen perustuvaa agenttiaan *paras-ensin -algoritmillä* saatuihin hakutuloksiin (best-first search), ei ero ole merkittävä kokonaisavaruuden ollessa pieni. Paras-ensin -algoritmin teho kuitenkin heikkenee kokonaisavaruuden kasvaessa. Tätä ongelmaa ei esiinny simuloituun jäähdytykseen perustuvilla algoritmeilla ja täten syötteenä saatu verkkosivujen määrä voi olla valtaisa. Täten algoritmi sopii erinomaisen hyvin tiedon hakuun internetissä, jossa aineiston määrä on valtava.

Geneettisiä algoritmeja käyttivät hyväkseen myös Martin-Bautista ja muut [Martin-Bautista et al., 1999] tehdessään tutkimusta *geneettisestä tiedonhaku agentista* (genetic information retrieval agent). Agentti käytti geneettistä algoritmia *sumeasti* (fuzzy) asetetuilla geeneillä oppimaan käyttäjän tiedontarpeet. Käytännössä käyttäjä syötti etsimästään tiedosta kyselyn agentille, joka tuotti geneettisellä algoritmilla tulosjoukon käyttäjän nähtäväksi. Tämän jälkeen käyttäjä antoi palautetta agentin tarjoamista tiedoista (esim. tämän tyyppistä tietoa etsin), jonka jälkeen agentti suoritti uuden sukupolven generoinnin käyttäjän antaman arvioinnin perusteella. Mitä enemmän iteraatiokierroksia suoritetaan sitä paremmaksi hakutulos muodostuu.

3.2. Käyttöliittymäagentit

Suurin osa internetin tiedonhakuagenteista on ymmärrettävistä syistä myös käyttöliittymäagentteja; Ilman käyttöliittymää agentin käyttö on lähes mahdotonta. Käyttöliittymän kautta agentti saa kuvauksen käyttäjän etsimästä tiedosta. Lisäksi käyttöliittymä mahdollistaa tiedon keräämistä käyttäjältä useilla eri tavoin, mikä voi parantaa hakujen laatua. Käyttöliittymä on myös tulosten esityspaikka.

Käyttäjän toimien tarkkailu ja niiden oppiminen ovat tärkeimpiä avaimia luotaessa toimivia agenttiraikaisuja. Kuitenkin käyttäjän on usein vaikea määrittellä tietokoneelle tai agentille, mitä hän on etsimässä. Erilaisia tekniikoita tähän tehtävään on nykyisin jo melko paljon, kuten *bayesilaiset luokittelijat* (bayesian classifiers), *lähimmät naapurit* (nearest neighbour), *päättelypuut* (decision trees) ja *termifrekvenssi* (TF-IDF). Chen ja Syracca [Chen and Syracca, 1998] käyttävät WebMate-järjestelmässä juuri TF-IDF-vektoreita. Nämä vektorit päivittävät ja pitävät muistissa eri käyttäjien mielenkiinnon kohteita eri sivuilla liikuttaessa. Käyttäjistä kerätään tietoa käyttöliittymässä annettujen syötteiden perusteella iteratiivisesti: käyttäjistä muodostettavaa mallia päivitetään ja korjataan lineaarisesti tiedonetsinnän edetessä. Algoritmin perusidea on esittää jokainen haussa käsiteltävä dokumentti vektorina vektoriarvuudessa ja samansisältöiset sivut muodostavat samanlaiset vektorit, jonka perusteella haku muotoutuu. WebMate on esimerkki tyypillisestä agentista, johon sulautuu tiedonhakuagentin lisäksi käyttöliittymä- ja personoitu agentti.

Käyttäjämallit (user models) ovat eräs tunnetuimmista tavoista kerätä tietoa käyttäjistä ja käyttää sitä hyväksi esimerkiksi juuri tiedonhaussa. Newell [1997] osoitti, että tiedonetsintä on tehokkaampaa käyttäjämalleja käyttävillä agenteilla kuin tavalliseen sanahakuun perustuvissa hauissa. Newell muodosti ensin yksinkertaisen käyttäjämallin, joka yhdistettiin hakumäärittelmien kanssa, jolloin tulokseksi saatiin parannettu määrittelmä käyttäjän tarpeista. Tämän jälkeen menetelmää testattiin antamalla useille eri tiedonhakuagenteilla parametriksi tuotettu määrittelmä. Tulokset olivat erittäin rohkaisevia ja tiedonhaku tehostui huomattavasti.

Tiedonhakuagentit vaativat usein käyttäjältä paljon tietämystä aihealueesta ja niiden tarjoamat tulokset aukenevat vain agentin toteuttajille. Jotta tyypillinen internetin käyttäjä osaisi käyttää ja analysoida tiedonhakuagentin tuloksia tehokkaasti, on toivottavaa että hyvän käyttöliittymäsuunnittelun ohella agentin suodattamat tiedot olisi esitetty graafisesti. McCormack ja Wohlschlaeger [McCormack and Wohlschlaeger, 2000] pureutuvat tutkimuksessaan edellä mainittuun teemaan. Heidän toteuttamansa Java-pohjainen agentti tuottaa käyttäjälle useanlaisia graafisia esityksiä suodatetusta tiedonhakuaineistosta. Agentti pystyy tuottamaan mm. kaksi- ja kolmiulotteisia tiedon visualisointeja sekä animaatioita valituista tietoa-ineiston muuttujista. Edellä mainittujen agenttien kehitys on erityisen tärkeätä tavoiteltaessa entistä helppokäyttöisempiä ja käyttäjäystävällisempiä työympäristöjä.

3.3. Liikkuvat agentit

Kaikki internetissä toimivat tiedonhakuagentit ovat mobiileja eli liikkuvia. Liikkuvilla agenteilla ei ole yhtä tiukkaa kaavaa toiminnalle, vaan niiden toiminta voi vaihdella toteutuksesta ja agentin älykkyydestä riippuen. Liikkuva agentti voi liikkua verkossa joko ohjatusti tai itsenäisesti. Ohjatut agentit suorittavat tiedonhakua yleensä tietystä/tietyistä kohteista ja ne suorittavat usein yksinkertaisia tehtäviä. Itsenäiset agentit voivat suorittaa tiedonhakua parhaaksi katsomistaan paikoista, parhaaksi valitseminaan ajankohtina. Itsenäisten liikkuvien agenttien toiminta perustuu usein monimutkaisempiin algoritmeihin ja toimintamalleihin.

Liikkuvia agenteja voidaan toteuttaa monella eri tapaa myös sen suhteen, missä ne käsittelevät etsimäänsä tietoa. Liikkuvat agentit voivat tuoda hake-mansa raakadatan lähtöpaikkaansa käsiteltäväksi. Tällöin agentin suoritus-tehon kannalta on toivottavaa, että haettu suodatettava aineisto on suhteelli-sen pieni, koska muuten verkon kuormitus voi olla huomattava. Toinen liikkuvan agentin toimintatapa on raakadatan käsittely palvelimella, josta tietoa haetaan. Tämä proseduuri on käytännöllinen, jos haettava tietomäärä on suuri. Tällöin verkon yli siirretään vain oleellinen tieto [Raisamo, 2002].

Liikkuvat agentit ovat yhä useammin hajautetusti toimivia, koska niiden toiminta tehostuu tällä tavoin entisestään. Pääpaino liikkuvien agenttien tutkimuksessa on hajautetusti toimivilla agenteilla. Vaikka hajautetusti toimi-vien agenttien tiedetään olevan tehokkaita tiedon etsinnässä [Dermott and O'Riordan, 2002], myös itsenäisesti toimiva liikkuva agentti voi olla toimiva vaihtoehto tietyn tyyppisissä tilanteissa. Itsenäisesti toimiva liikkuva agentti on käyttökelpoisempi esimerkiksi silloin, kun haettava tieto on aina samassa paikassa ja tiedon haku on mekaanista.

3.4. Hajautetusti toimivat agentit

Hajautetusti toimivat agentit ovat nykyisin eniten tutkittu agenttityyppi erityisesti tiedonhaun tehostamiseen tähtäävässä tutkimuksessa. Tutkimuskentän orientoituminen tähän agenttityyppiin on ymmärrettävää monestakin syystä, mutta erityisesti siksi, että hajautetut agentit ovat erittäin monipuolisia sisältäen käyttöliittymä-, tiedonhaku-, mobiili- sekä muiden agenttityyppien ominaisuuksia. Lisäksi hajautettujen agenttien tutkiminen on askel kohti M2M-ympäristöjä (machine to machine), joissa koneet ja tässä tapauksessa agentit voivat kommunikoida keskenään.

Hajautettujen agenttien tehokas toiminta perustuu tehtävien hajauttami-seen useisiin eri yksiköihin. Hajautettujen agenttien eräs tärkeimmistä suun-

nitteluperiaatteista on tiettyä tehtävää suorittavien agenttien lukumäärä ja yksittäisen agentin omaan osatehtäväänsä kuluttama aika. Jos agenteja on paljon, yksittäisen agentin kuluttama aika tiettyä osatehtävää kohden on pieni, mutta verkon resursseja kulutetaan paljon. Jos agenteja on vähän, yksittäinen agentti suorittaa osatehtävää kauemmin, mutta verkon resursseja pystytään säästämään. Optimaalinen suhde näiden kahden tekijän välillä tuottaa tehokkaimman tuloksen. Baek ja muut [Baek et al., 2001] esittelevät tutkimuksessaan heuristisen algoritmin tämän suhteen ratkaisemiseksi. Tutkimuksessa käytetty algoritmi löysi useimmissa tapauksissa lähes optimaalisen agenttien määrän hakua kohden ja tiedonhakuun käytetty kokonaisaika väheni huomattavasti.

Haettaessa internetistä tietoa törmätään usein tiedon moninkertaisuuden ongelmaan. Tietoa on mahdollista hakea useasta eri paikasta ja useilla eri kyselyillä. Choi ja Yoo [Choi and Yoo, 1998] toteuttivat tutkimuksessaan neuroverkkoja hyväksi käyttävän agentin. Agentit hakivat tietoa internetin hakukoneilta käyttäjien antamien syötteiden mukaisesti. Lisäksi agentit pystyivät tekemään kyselyitä toisilleen, jos niiltä puuttui jokin tarvittava tieto. Jokaisen agentin sisäinen tila määräytyi neroverkon mukaisesti, joka pystyi oppimaan hyvän tiedon lähtöpaikan. Agenttien tekemät tiedonhauut olivat huomattavasti parempia kuin suoran hakukoneella tehdyt tiedonhauut.

Vaikka internetistä tehtyyn tiedonhakuun on kehitetty lukemattomia algoritmeja ja sovelluksia, ei käyttäjien eli ihmisten tuomaa inhimillistä panosta hakujen onnistumiseen voi painottaa liikaa. Käyttäjämallit on eräs hyvä tapa antaa tietokoneohjelmalle käsitys siitä, mitä käyttäjä oikeasti haluaa. Toinen tapa on käyttää hyväksi muiden käyttäjien aiemmin antamia arvioita tekemisistään. Tätä menetelmää ovat käyttäneet hyväksi Chau ja muut [Chau et al., 2003] toteuttaessaan hajautettua agenttijärjestelmää tiedon etsimiseen käyttäen hyväksi muiden käyttäjien antamia kommentteja omista hauistaan. Järjestelmässä on kolme yhteistyössä toimivaa agenttia: *käyttäjän agentti* (user agent), *yhteistyöagentti* (collaborator agent) ja *aikatauluagentti* (schedule agent). Kaikilla käyttäjillä on henkilökohtainen agentti, joka vastaa tiedon hausta, hakujen analyyseistä sekä käyttöliittymästä. Yhteistyö- ja aikatauluagentti ovat käyttäjäryhmäkohtaisia. Yhteistyöagentti mahdollistaa tietojen jakamisen käyttäjien kesken ja aikatauluagentti pitää listaa tarkkailtavina olevista tehtävistä ja on vastuussa niiden suorittamisesta. Agenttien välisen kommunikoinnin mahdollistaa yhteinen agenttikieli. Tutkimuksessa huomattiin hakutulosten parantuvan, kun käyttäjä oli riittävä määrä historiatietoja käytettävissä.

3.5. Arkkitehtuurin merkitys

Algoritmien lisäksi agenttien tiedonhakukykyihin vaikuttaa suuresti agentin arkkitehtuuri. Esimerkkinä voidaan mainita Pogacnikin ja Tasicin [Pogacnik and Tasic, 2000] esittelemä agenttiarkkitehtuuri, joka on avoin ja johon pystytään lisäämään tarvittaessa muita hakumoduuleita sekä tietoturvakomponentteja. Arkkitehtuuri ratkaisee osittain, minkälaiset eväät agentille annetaan tiedonhaun suorittamiseen. Toisaalta agenttiin haluttavat ominaisuudet vaikuttavat arkkitehtuurin valinnassa. Tärkeimmät arkkitehtuurin valintaan vaikuttavat tekijät ovat tarpeet agentin yhteistyökyvyille (itsenäinen vs. yhteistyössä toimiva), sisäiselle mallille (reaktiivinen vs. harkitseva) ja agentin jakautumiselle (yksi vs. monta agenttia) [Raisamo, 2002].

Tällä hetkellä on useita eri suuntauksia ja mielipiteitä, millä tavalla tiedon etsintää internetistä tulisi kehittää. Toisella puolella on työkalujen kehittäminen (esim. agentit) ja toisella itse tietoaaineiston kehittäminen (esim. Semantic Web [Berners-Lee, 1998]) ja mallintaminen tiedon etsimisen helpottamiseksi. Kuitenkaan eri suuntaukset eivät sulje toisiaan pois. Suuri ongelma on kuitenkin standardointi. Kaikkia tyydyttäviä ratkaisuita on vaikea löytää ja usein sopimuksena syntyvä standardi on kompromissi, parhaan ratkaisun sijaan. Kuitenkin standardeja tarvitaan esimerkiksi yhteistyössä toimivien agenttien tehokkaan toiminnan kehittämiseksi. Tulevaisuuden visio ongelmia itsenäisesti keskenään ratkovista internet-agenteista on suuresti riippuvainen yhteisistä pelisäännöistä.

4. Tiedonhakutekniikoiden soveltaminen eri ongelmiin

Tekoälytekniikat, agenttien ominaisuudet ja agenttien arkkitehtuuri vaikuttavat kaikki yhdessä ja erikseen agentin käyttötarkoitukseen. Jotta tiedonhakuagenttien kehitys ei olisi vain teknologiavetoista kehitystyötä, tulisi itse tiedonhakuongelman määrätä käytettävien tekniikoiden skaala. Tässä luvussa käsitellään, mitä tekniikoita kannattaa käyttää missäkin tiedonhakuongelmassa. Tiedon etsiminen on luokiteltu karkeasti kahteen eri luokkaan: yksinkertaiseen ja vaativaan tiedon etsimiseen.

4.1. Yksinkertainen tiedon etsiminen

Yksinkertaiseksi tiedon etsimiseksi voidaan esittää seuraavanlainen määritelmä: käyttäjän internetistä hakema informaatio on yksinkertaista ja käyttäjä tietää, mistä tiedon saa. Tällainen tehtävä voisi olla joidenkin käyttäjää kiinnostavien pörssikurssien seuraaminen ja niistä informoiminen käyttäjälle.

Agentilta ei tässä tapauksessa vaadita monimutkaisia ominaisuuksia. Agentti pystyy suorittamaan tiedonhaun mekaanisilla algoritmeilla, kun tiedetään mistä tietoa haetaan. Ainoat vaatimukset yksinkertaisessakin tiedonhaussa ovat käyttöliittymä ja agentin liikkuvuus.

Yksinkertaisessakin tiedon etsimisessä käyttöliittymä on tärkeä. Käyttöliittymä voi olla vain kerran käytettävä rajapinta, joka asettaa agentin toimittamaan tiettyä tehtävää (esim. lähettää määriteltyyn sähköpostiin tiedon jostakin NHL-pelaajasta) tai tietokoneen työpöydältä käynnistettävä ikoni. Agentin liikkuvuus on yksinkertaisessa tiedon etsimisessä kannattavin toteuttaa itsenäisesti toimivalla agentilla, joka tuo raakadatan käsiteltäväksi lähtöpisteeseen. Yksinkertaisissa tiedonhauissa raakadatan määrä on usein kohtuullisen pieni (esim. verkkosivun HTML-koodi) ja tiedonsiirto ei aiheuta kohtuutonta rasitusta verkolle. Tällöin tiedon suodatus tehdään agentin kotipalvelimella. Yksinkertaisissa tiedon etsimistehtävissä agentin arkkitehtuurisuunnittelu ei ole kriittisessä roolissa. Arkkitehtuurisuunnittelun merkitys korostuu vasta vaativammissa tiedonetsimistilanteissa, joissa vaaditaan agenttien kommunikointia tai hajauttamista.

Luonnollisesti jos raakadataa on merkittävän paljon, on kannattavaa suodattaa tieto jo haettavalla palvelimella. Tällöin toteutus on kuitenkin hankalampi ja agentilla tarvitsee olla lupa käyttää palvelimen resursseja. Agentti kannattaakin toteuttaa edellä mainitulla tavalla vain, jos raakadatan määrä on todella suuri ja tehtävä suoritetaan usein. Vaativammissa hauissa tilanne on toinen.

4.2. Vaativa tiedonhaku

Vaativa tiedon etsintä voidaan määritellä tehtäväksi, jossa käyttäjä ei tiedä, mistä tietoa etsitään. Tällainen tehtävä voisi olla vaikkapa tiedon etsiminen kvanttifysiikasta tai tietyn tyyllisen musiikin etsiminen internetistä. Vaativassa tiedonhaussa agentin ominaisuuksien valinta riippuu monesta eri tekijästä. Valintaan voivat vaikuttaa aineiston vaativuus, käyttäjän ominaisuudet, muiden käyttäjien käyttäytyminen, aineiston hakuavaruus, tehokkuuden tarve, laajennettavuus jne. Oleellista on valita oikeat ominaisuudet oikeisiin tehtäviin.

4.2.1 Tekoäly

Vaativan tiedonetsinnän moottoriksi kannattaa valita tekoälytekniikoihin perustuva algoritmi. Algoritmin valintaa tarkemmin ohjaa etsittävän aineiston ominaisuudet ja hakuavaruus. Neuroverkkojen käyttö soveltuu erityisen hyvin tilanteisiin, jossa tiedonetsinnästä on saatavilla aikaisempaa materiaa-

lia. Tällöin neuroverkko voidaan opettaa tiedon etsimiseen. Jos esimerkiksi saatavilla on aikaisempia käyttäjätietoja, neuroverkko pystyy muodostamaan uuden käyttäjän profiilin ja parantamaan käyttäjän antamia hakuehtoja.

Simuloituun jäähdytykseen perustuvan algoritmin käyttö on kannattavaa, kun suodatettava aineisto on erityisen suuri, koska algoritmin tehokkuus ei heikkene aineiston kasvaessa. Tällainen tilanne tulisi kyseeseen käyttäjän etsiessä tietoa aiheesta, josta löytyy tuhansia dokumentteja. Tehokkuudesta huolimatta hakutulokset eivät välttämättä ole hyviä, jos hakuehdot eivät ole riittävän tarkat. Geneettisten algoritmien käyttö olisi tällaisessa tiedonetsinnässä paikallaan. Geneettisiä algoritmeja voidaan hyödyntää antamalla palautetta tiedonetsinnän tuloksista joka haun jälkeen. Tällöin algoritmin suodattama aineisto paranee joka sukupolvella evoluutioteorian tapaisesti. Tekoälytekniikoita voi ja kannattaa yhdistää tilanteen niin vaatiessa. Neuroverkkoihin perustuvalla algoritmilla ongittua käyttäjätietoa voidaan esimerkiksi käyttää syötteenä simuloidun jäähdytyksen algoritmille. Tekoälytekniikat tarjoavat agenttien käyttöön tehokkuutta ja oppimiskykyä vaativiin tiedonetsimistehtäviin.

4.2.2. Agentin ominaisuudet - käyttöliittymä

Kuten jo aiemmin mainittiin tiedonetsintäagentti – tehtävän vaativuudesta riippumatta – on lähes poikkeuksetta niin käyttöliittymä- kuin liikkuva agentti. Vaativissa tiedonetsimisessä ominaisuuksia voidaan kuitenkin lisätä tehtävästä riippuen.

Käyttöliittymä on tärkein väline käyttäjän ja agentin välisessä vuorovaikutuksessa. Käyttöliittymän avulla voidaan kuitenkin tehdä paljon muutakin kuin esittää etsintätulokset monotonisesti ja ottaa käyttäjältä vastaan syötteitä. Vaativissa hauissa tiedonetsintää voidaan tehostaa erilaisilla käyttäjältä saatujen tietojen analysoinneilla. Käyttäjämallien avulla agentille pystytään luomaan kuva käyttäjää motivoivista tekijöistä. Tiedon etsimistä voidaan tehostaa jo yksinkertaisilla käyttäjämalleilla (muutama ominaisuus esim. koulutusaste ja ikä). Käyttäjämalleja voidaan käyttää hyväksi lähes kaikissa agenteissa, joissa on kyse vaativasta tiedon etsimisestä. Lisäinformaation saaminen käyttäjää ohjaavista tekijöistä ei ole koskaan pahitteeksi.

Joissakin tiedonetsimistehtävissä voidaan käyttäjämallien lisäksi käyttää hyväksi muiden käyttäjien aiemmin järjestelmään syöttämiä tietoja. Aiemmin järjestelmää käyttäneet henkilöt ovat arvioineet esimerkiksi tiedonhakuagentin toimintaa ja hakutuloksia. Agentti pystyy käyttämään näitä tietoja hyväkseen sovittamalla uuden käyttäjän kommentteja ja profiilia vanhoihin

kommentteihin. Historiatietoja käyttävä agentti voi suositella käyttäjälle tietoja, joita muuta samanlaiset ja samanlaisia hakuja tehneet käyttäjät ovat etsineet.

4.2.3. Agentin ominaisuudet – hajautetut agentit

Vaativat tiedonhauk tehdään usein laajaan aineistoon. Hajautettujen agenttien käyttö sopii erityisen hyvin tällaiseen tiedon etsintään. Jos haettavaa tietoa on paljon useissa kohteissa, voidaan suoritusajkoja pudottaa huomattavasti ja hakujen laatua parantaa. Hajautettujen agenttien käyttö sopii tehokkuutta vaativiin tehtäviin ja tiedon etsintään laajasta hakuavaruudesta. Hajautettujen agenttien käyttö on kuitenkin vielä pitkälti tutkimusasteella. Tehokkuudesta ja muista hyödyistä huolimatta hajautettujen agenttien toteuttaminen on hankalaa. Hajautettuja tiedonhakuagentteja toteuttaessa pitää pystyä varmistamaan agenttien keskinäinen kommunikointi.

4.2.4. Arkkitehtuuri

Arkkitehtuurin valinta on myös tiedonetsimisen kannalta merkittävä tekijä. Vaikka arkkitehtuuri valitaan agentilta vaadittavien ominaisuuksien mukaan, on hyvä mainita muutama tekijä, joka kannattaa pitää mielessä arkkitehtuuria valittaessa. Eri tyyppisille tiedonetsimisagenteille on olemassa omat suositeltavat perusarkkitehtuurinsa, joita ei tässä aleta käsittelemään. Arkkitehtuurivalinnalla voidaan helpottaa agentin toteutusta ja itse agentin toimintaa, jos toteutettava agentti on hajautettu ja/tai yhteistyössä. Edellä mainituilla ominaisuuksilla varustettuja agenteja varten on tarjolla omat agenttialustat. Eräs hajautettujen ja kommunikoiden agenttien toteutusalue on JAT (Java Agent Template), joka tarjoaa myös arkkitehtuurin agenttien toteuttamiseksi.

Koska eri agenttialustat tarjoavat erilaiset välineet agenteille (esim. eri kommunikaatiojärjestelmät ja -arkkitehtuurit), eri agenttijärjestelmien yhteistoiminta ei ole mahdollista. Todelliseen agenttien yhteistoimintaan päästään vasta, kun yhteisesti määritellyjä spesifikaatioita aletaan noudattamaan laajassa mittakaavassa. Paras yritys yhdistää agenttikenttää on FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents). Sen tarkoitus on edistää yleisten agenttitekniologioiden määritelmien kehitystä, jotta agenttien välinen yhteistoiminta saataisiin maksimiinsa.

Agenttien arkkitehtuurivalinnassa eräs huomioitava tekijä on laajennettavuus. Dynaamiset arkkitehtuurit mahdollistavat agenttien ominaisuuksien päivittämisen ja agentin ohjaamisen uusiin tehtäviin. Dynaaminen arkkitehtuuri on oikea valinta tilanteissa, joissa tiedonhakumääritykset vaihtelevat

usein. Tällöin dynaaminen arkkitehtuuri mahdollistaa uusien tiedonetsimisalgoritmien lisäämisen.

5. Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoite on ollut antaa kokonaiskuva tiedonhakuagenttien monimuotoisuudesta. Lisäksi tavoitteena on ollut selvittää tiedonhakuagenttien ominaisuuksien moninaista kirjoa ja sitä, miten agentin eri ominaisuudet vaikuttavat tiedonetsintään. Tiedonhakuagenttien menetelmät tiedon etsimiseen ovat moninaiset ja menetelmien valinta riippuu agentin tehtävästä. Mitä vaativampi tiedonhakutehtävä on kyseessä, sitä enemmän ominaisuuksia agentilta vaaditaan. Useimmat tekniikat ja menetelmät ovat toisiaan tukevia, eivätkä sulje pois toisiaan. Siitä huolimatta agenttitutkimus keskittyy yksittäisten ominaisuuksien tutkimiseen, sen sijaan että tutkittaisiin useita eri menetelmiä. Tulevaisuudessa tulisikin suunnata voimavaroja myös laajempien kokonaisuuksien ja useiden tekniikoiden tutkimiseen. Tällaiset tienavaajat herättävät lisää tärkeitä kysymyksiä, joita muuten ei tultaisi ajatelleeksi.

Viiteluettelo

- [Baek et al., 2001] J-W Baek, J-H Yeo, G-T Kim and H-Y Yeom, Cost effective mobile agent planning for distributed information retrieval. In: *21st IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, Mesa, AZ* (2001), 65-72.
- [Berners-Lee, 1998] Tim Berners-Lee, Semantic Web Road Map. Available at <http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic>. Checked 20.5.2003.
- [Chau et al., 2003] Michael Chau, Daniel Zeng, Hsinchun Chen, Michael Huang and David Hendriawan, Design and evaluation of a multi-agent collaborative Web mining system. *Decision Support Systems* **35**, 1 (Apr. 2003), 167-183.
- [Chen and Sycara, 1998] Liren Chen and Katia Sycara, WebMate: A personal agent for browsing and searching. In: *The 1998 2nd International Conference on Autonomous Agents, Minneapolis, MN* (1998), 132-139.
- [Choi and Yoo, 1998] Yong S. Choi and Suk I. Yoo, Multi-agent learning approach to WWW information retrieval using neural network. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent User Interfaces* (1998), 23-30.
- [Dermott and O'Riordan, 2002] Paula Mc Dermott and Colm O'Riordan, A System for multi-agent information retrieval. In: *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **2464** (2002), 70-76.

- [Etzioni and Weld, 1995] O. Etzioni and D.S. Weld, Intelligent agents on the internet: fact, fiction, and forecast. *IEEE Expert* **10**, 4 (1995), 44-49.
- [Haataja et al. 2003] Kari Haataja, Jorma Hintikka ja JanneGröös, VTT Elektronikka: Optimointi ja sen menetelmät. Saatavana osoitteessa http://www.vtt.fi/ele/tutkimus/ais/aly/opt_menetelmat.htm. Viitattu 19.5.2003.
- [Honkela, 1996] Timo Honkela, Neuroverkot: johdatus moderniin tekoälyyn. Saatavana osoitteessa <http://www.uwasa.fi/stes/step96/step96/honkela2/>. Viitattu 19.5.2003.
- [Martin-Bautista et al., 1999] Maria J. Martin-Bautista, Maria-Amparo Vila and Henrik Legind Larsen, Fuzzy genetic algorithm approach to an adaptive information retrieval agent. *Journal of the American Society for Information Science* **50**, 9 (1999), 760-771.
- [McCormack and Wohlschlaeger, 2000] Jenifer S. McCormack and Brian Wohlschlaeger, Harnessing agent technologies for data mining and knowledge discovery. In: *Data Mining and Knowledge Discovery: Theory, Tools, and Technology II, Orlando* **4057** (2000), 393-400.
- [Newell, 1997] Sima C. Newell, User models and filtering agents for improved Internet information retrieval. *User. Model. User Adapt. Interact.* **7**, 4 (1997), 223-237.
- [Nwana, 1996] Hyacinth S Nwana, Software agents: An overview. *Knowledge Engineering Review* **11**, 3 (1996), 205-244.
- [Patel-Schneider and Fensel, 2002] Peter F. Patel-Schneider and Dieter Fensel, Layering the Semantic Web: Problems and Directions. In: *Lecture Notes in Computer Science* **2342** (2002), 16-29.
- [Pogacnik and Tasic, 2000] Matevz Pogacnik and Jurij F. Tasic, Agent based retrieval of information from Internet. In: *10th Mediterranean Electrotechnical Conference (MALECON2000), Lemesos, Cyprus* (2000), 399-402.
- [Raisamo, 2002] Roope Raisamo, Lecture at a course Agenttöihjelmointi. Autumn 2002. Available as <http://www.cs.uta.fi/kurssit/AgO/>. Checked 13.5.2003.
- [Yang et al., 1999] Christopher C. Yang, Jerome Yen and Hsinchun Chen, Intelligent Internet searching agent based on hybrid simulated annealing. *Decision Support Systems* **28**, 3 (2000), 269-277.