

Jani Kurhinen

**LYHYEN KANTAMAN VERTAISVERKOT
TIEDONLEVITTÄJINÄ**

Lisensiaatin tutkielma

04.11.2004

**Jyväskylän yliopisto
Tietotekniikan laitos**

TIIVISTELMÄ

Tutkielmassa tarkastellaan mobiilien vertaisverkkojen toimimista informaation välittäjinä. Kiinteiden verkkojen puolella vertaisverkkotutkimusta tehdään jo varsin paljon, mutta mobiiliympäristön vaikutusta informaation leviämiseen vertaisverkkoympäristössä ei juurikaan ole vielä tutkittu. Tässä työssä esitellään uusi malli informaation välittymiseen mobiilien vertaisverkkojen avulla. Mallissa tarkastellaan varsinaisen informaation välittymisen lisäksi sitä, miten mobiilien vertaisverkkojen käytön yleistyminen vaikuttaa informaation leviämiseen. Tutkimusta varten luotiin simulatio-ohjelmisto, jonka avulla mallinnettiin informaation leviämistä erilaisilla laitekannoilla eli sen mukaan, miten laajalle tämän teknologian käyttö on edennyt.

Tulokseksi saatiin, että hyvin pienellä laitekannalla mobiilit vertaisverkot eivät pysty juurikaan toimimaan johtuen liian vähäisistä mobiilikäyttäjien välisistä kontakteista, mikä puolestaan estää informaation välittymisen käyttäjältä toiselle. Laitemäärän kasvaessa hieman nousee mobiilien vertaisverkkojen informaation välityskyky hyvin voimakkaasti. Erityisesti havaittiin, että mobiileilla vertaisverkoilla on voimakas vaikutus informaation leviämisen alkuvaiheessa: mallinnettaessa mobiileja vertaisverkkoja todettiin niiden vaikutuksen informaationlevittäjinä olevan erityisen suuri heti uuden informaation päästyä levitykseen.

Avainsanat: mobiili vertaisverkko, informaation leviäminen

ABSTRACT

This thesis focuses on information diffusion in a mobile peer-to-peer network. Similar studies have been conducted in the field of structured networks, but the mobile element has not yet been studied much. The thesis provides a new model for information diffusion in mobile peer-to-peer networks, focusing also on how the increase in the number of users affects the diffusion of this information. A simulation application was created in order to study this problem.

As a result, it was found that mobile peer-to-peer networks are not able to operate with a very small number of users, but as the number increases the influence of the technology on the diffusion of information will grow substantially. It was especially noted that the effect of mobile per-to-peer networks is at its strongest at the very beginning of the process of information diffusion.

Keywords: mobile peer-to-peer networks, information diffusion

JULKAISUT

Tämän tutkielman aihepiiristä ja tuloksista on syntynyt seuraavat kolme julkaisua. Yhteisjulkaisusta Vapan, Weberin, Kotilaisen ja Vuoren kanssa tutkielman tekijän osuutena olivat vertaisverkkoja ja mobiileja vertaisverkkoja käsittelevät luvut.

Kurhinen, J., Vapa, M., Weber, M., Kotilainen, N., Vuori, J. 2004. Short Range Wireless P2P for Co-operative Learning. Proceedings of 3rd International Conference on Emerging Telecommunications Technologies and Applications (ICETA 2004).

Kurhinen, J. 2003. Mobile Computing Environments. Telecommunications and Radio Engineering. Vol 58 (9-10), 2003.

Kurhinen, J. 2003. The Effect of Diffusion of Innovation on Information Diffusion in a Mobile Peer-to-Peer Network. Proceedings of the 9th International Conference on Theory and Tools for Transmitting, Receiving and Processing of Information.

SISÄLTÖ

1 Johdanto	1
2 Muuttuva tietojenkäsittely-ympäristö	3
2.1 Suurkoneista kämmentietokoneisiin	3
2.1.1 Vaeltava tietojenkäsittely	4
2.1.2 Liikkuva tietojenkäsittely	5
2.1.3 Verkkopohjaiset palvelut	6
2.2 Liikkuvan tietojenkäsittelyn välineitä	7
2.2.1 Mobiililaitteiden päätyypit	10
2.2.2 Luokittelu laitteiden koon perusteella	14
2.2.3 Luokittelu käyttötarkoituksen mukaan	15
2.2.4 Luokittelu laitteiden ominaisuuksien mukaan	17
2.3 Mobiiliympäristöt	18
2.3.1 Mikromobilitteetti	21
2.3.2 Makromobilitteetti	22
2.3.3 Näennäismobilitteetti	23
2.3.4 Mobilitteettitasojen vertailua	24
3 Innovaatioiden leviäminen	27
3.1 Teoria innovaatioiden leviämisestä	27
3.1.1 Innovatiivisuusryhmät	29
3.1.2 Innovaatioiden leviäminen sosiaalisessa systeemissä	31
3.2 Korkean teknologian innovaatioiden leviäminen Suomessa	32
4 Vertaisverkot	36
4.1 Mobiilit vertaisverkot	38
4.2 Informaation välittyminen vertaisverkoissa	40
5 Tutkimusmenetelmä	42
5.1 Malleja informaation leviämiseen mobiileissa vertaisverkoissa	42
5.2 Putkimalli	44
5.3 Simulaatioympäristö	48
5.4 Simulaatio-ohjelmisto	50
6 Tiedon leviäminen mobiilissa vertaisverkossa	52
6.1 Informaationleviämisfunktio	52

6.2	Informaation leviäminen populaatiossa	59
6.2.1	Informaation leviämisen nopeus	60
6.2.2	Mobiilien vertaisverkkojen tuoma hyöty informaation leviämiseen	61
6.2.3	Leviävän informaation eliniän tarkastelu	64
6.2.4	Mobiilien vertaisverkkojen yleistyminen	66
7	Yhteenveto	67
8	LÄHTEET	68

1 Johdanto

Mobiilit tietojenkäsittelylaitteet ovat tulleet jäädäkseen, ja niiden merkitys lisääntyy koko ajan. Matkapuhelimet, vaikkakaan eivät perusmerkitykseltään olekaan tietojenkäsittelylaitteita, ovat lyöneet itsensä läpi ainakin Suomalaisessa yhteiskunnassa. Näistä puhelinlaitteista on myös kehittynyt varsin monipuolisia yleiskäyttöisiä työkaluja, joilla voidaan kuunnella musiikkia joko radiosta tai muistikortilta, niitä voidaan käyttää kokouksissa muistiinpanojen tekemiseen tai niillä voidaan "räpsä" valokuvia.

Tämän tutkielman tarkoitus on tarkastella mobiilien tietojenkäsittelylaitteiden yhdistämistä toiseen varsin paljon julkisuutta saaneeseen teknologiaan: vertaisverkkoihin. Joitain aikoja sitten vertaisverkkoyhtiö Napster nousi uutisotsikoihin, koska sen kehittämällä tuotteella voitiin helposti levittää Internetin välityksellä yksityisten kotikäyttäjien tietovarastoissa olevaa materiaalia. Itsessäänhän tämä ei olisi todennäköisesti minkäänlaista uutiskynnystä ylittänyt, mutta leviävänä materiaalina oli valitettavan monessa tapauksessa tekijänoikeuden alaista materiaalia: musiikkia, elokuvia tms.

Vertaisverkot sopivat toki muuhunkin kuin laittomaan musiikin levitykseen, vaikka tämä yksittäinen epäkohta onkin tuonut kyseisen teknologian näkyvästi esille. Perusajatukseltaan vertaisverkot tarjoavat täysin erilaisen lähestymistavan perinteisempään asiakas-palvelin arkkitehtuuriin verrattuna, ja juuri tämä ominaisuus on tehnyt niistä myös tieteellisesti kiinnostavia. Aiemmin vertaisverkkoja on tutkittu ainoastaan kiinteiden, tiettyyn ennalta määrättyyn verkkotopologiaan sidottujen tietoverkkojen piirissä. Viime aikoina kuitenkin vertaisverkkoteknologian soveltaminen jatkuvan muutoksen kohteena olevaan mobiilimaailmaan on noussut uudeksi kiinnostuksen kohteeksi. Aihetta on vielä toistaiseksi tutkittu varsin vähän ja tämän tutkielman tarkoituksena onkin tuoda aiheeseen eräs uusi näkökulma: koska määritelmänsä perusteellakin mobiilin vertaisverkon verkkosolmut ovat liikkuvia, annetaan näiden liikkuvien solmujen toimia informaation kuljettajina sen sijaan, että päästettäisiin informaatiota sisältävä datapaketti irti tietoverkkoon etsimään vastaanottajaa erittäin vaikeassa ja ennalta arvaamattomasti käyttäytyvässä verkkoympäristössä.

Tämän tutkielman tarkoitus on mallintaa tilannetta, jossa informaatiota voidaan välittää kahden käyttäjän välillä mukana kulkevien päätelaitteiden avulla. Erityisenä piirteenä tarkastelussa otetaan huomioon tämän uuden innovaation, mobiilin vertaisver-

kon, leviämisen vaikutus ja sen toimiminen informaation leviämisen välineenä. Tutkimusongelmaan on siis sisällytetty varsinaisen tietojenkäsittelytieteellisen perusongelman lisäksi yhteiskuntatieteellinen lisäongelma: miten uudet innovaatiot leviävät yhteisön sisällä? Tämän lisäongelman myötä pyritään löytämään vastauksia siihen, miten tällaisen palvelun toimintaan vaikuttavat erilaiset käyttäjämäärät, ja erityisesti siihen saavutetaanko tämän teknologian avulla "näkyviä" hyötyjä jo pienelläkin laitekannalla?

Ennen paneutumista varsinaiseen ongelmaan tässä tutkielmassa tarjotaan ensin katsaus liikkuvan tietojenkäsittelyyn käsitetasolla. Liikkuva tietojenkäsittely on vielä varsin nuori haara tietojenkäsittelyn maailmassa, eivätkä sen termistö tai käsittelytavat ole vielä vakiintuneet. Jotta lukijalle tulisi selväksi, millaisten laitteiden ja palveluiden puitteissa liikkuvaa tietojenkäsittelyä tutkitaan, tarjoaa tämä tutkielma ensin eräänlaisena välituloksena määritelmiä liikkuvan tietojenkäsittelyn saralta niin laitteisiin kuin niiden käyttötapoihinkin liittyen. Koska tässä osiossa käydään läpi varsin arkisiakin käsitteitä ja toimintatapoja, on kyseisen osuuden kirjallisuuslähteiksi valittu tieteellisten julkaisujen lisäksi "populaarimpia" ammattilehtiä eri aloilta.

Tutkielma rakentuu seuraavasti: johdannon jälkeen seuraavassa luvussa esitellään mobiiliteetin vaikutuksia tietojenkäsittelyjärjestelmiin sekä esitellään liikkuvan tietojenkäsittelyn laitteisiin ja käyttöympäristöihin liittyviä määritelmiä. Kolmannessa luvussa perehdytetään lukija innovaatioiden diffuusioteoriaan, jotta varsinaisten tutkimustulosten ymmärtäminen olisi mahdollista. Neljännessä luvussa luodaan katsaus vertaisverkkoihin ja siihen, miten mobiilit vertaisverkot eroavat kiinteiden verkkojen vastaavista.

Viides ja kuudes luku keskittyvät varsinaiseen tutkimukseen: ensin viidennessä luvussa esitellään tutkimusongelma yksityiskohtaisesti ja kuvataan käytetyt menetelmät sekä välineet. Sen jälkeen kuudes luku tarjoaa tutkimustulokset, niiden analysointi prosessin kuvauksen sekä tulosten analyysin. Lopussa oleva yhteenveto kokoaa tutkimuksen tavoitteet ja tulokset tiivistettyyn muotoon.

2 Muuttuva tietojenkäsittely-ympäristö

Erilaiset taskutietokoneet eivät ole nykypäivänä mikään harvinaisuus, ja osa matkapuhelimistakin on jo ehtinyt saada normaaliin puhelimella tehtävään kommunikointiin liittymättömiä lisäominaisuuksia. Tällaisia lisätoiminnallisuuksia ovat esimerkiksi erilaiset viihdeohjelmistot, kuten pelit, ja kalenteritoiminnot, mutta ei kuitenkaan tekstiviestien lähettäminen, sillä sitä on pidetty jo pitkään yhtenä modernin matkaviestinkommunikoinnin kanavana. Tietojenkäsittelylaitteet ovat kulkeneet kohtuullisen lyhyessä ajassa pitkän polun. Seuraavassa kuvataan tietojenkäsittely-ympäristön kehittymistä nykyiseksi ja tarkastellaan syvemmin nykyisiä tietojenkäsittelyvälineitä ja niiden käyttötarkoituksia. Historiaosuus ennen siirtymistä vaeltavan tietojenkäsittelyn vaiheeseen on poimittu Williamsin [49] Paanasen [33] ja Tienarin [47] teoksista.

2.1 Suurkoneista kämmentietokoneisiin

Tietojenkäsittelyn alkuaikoina 1940- ja 50-luvulla suorituskyky oli kallista ja harvinaista. Siellä, missä tietojenkäsittelykapasiteettia oli saatavilla, oli suurtakin käyttäjäjoukkoa varten vain yksi kone, jota yksi käyttäjä pystyi käyttämään kerralla. Konetta käytettiin antamalla sille eräajotyypisesti yksi työ kerrallaan suoritettavaksi ja seuraava työ voitiin aloittaa sen jälkeen, kun edellinen oli saatu päätökseen. Koska prosessoriteho oli hyvin kallista, tuli koneen vierellä olla koko ajan operaattori ottamassa vastaan prosessoitavia tehtäviä ja syöttämässä niitä heti edellisen työn valmistuttua, jotta kallista tietokoneaikaa ei kuluisi hukkaan.

Tekniikan kehittyessä tiedonsyöttötavat kehittyivät myös mahdollistaen suoritettavien tehtävien käynnistämisen tietokoneelle asennetusta massamuistista. Tämä mahdollisti useiden tehtävien tallentamisen massamuistiin ja niiden suorittamisen peräjälkeen komentojonoskriptien avulla. Nyt tietokoneen viereen ei enää vaadittu käyttäjää tarkkailemaan yksittäisen työn edistymistä, vaan useiden töiden peräkkäinen ajo onnistui automaattisesti. Tässäkin vaiheessa yhdellä kertaa pystyi kuitenkin suorittamaan vain yhtä tehtävää.

Käyttöjärjestelmien kehittyessä 1960-luvulla useamman käyttäjän palveleminen samanaikaisesti tuli mahdolliseksi. Keskuskoneeseen liitettiin yksinkertaisia päätteitä,

jotka tarjosivat mahdollisuuden tiedon syöttämiseen, käsittelyyn ja tarkastelemiseen usealle käyttäjälle samanaikaisesti. Yksittäisestä paikallisesti käytettävästä tietokoneesta oli siirrytty keskitettyyn tietojenkäsittelyyn.

Laskentatehon ja tallennustilan halventuessa 1980-luvun alussa alkoi uusi henkilökohtaisten tietokoneiden aikakausi. Laitteet ja muistikapasiteetti olivat halventuneet tasolle, jolla oli kannattavaa hankkia jokaiselle käyttäjälle oma henkilökohtainen laite, joka kykeni täysin itsenäisesti suorittamaan vaativiakin tietojenkäsittelytehtäviä. Koska kukin laite palveli itsenäisesti pääasiassa yhden käyttäjän tarpeita, ei käyttäjän tarvinnut välittää muista käyttäjistä, vaan suoritinaikaa sai käyttää itse niin paljon kuin laite sitä kykeni tarjoamaan. Yksinkertaiset päätteet olivat siis kehittyneet älykkäiksi ja itsenäisiksi työasemiksi. Huomionarvoista on myös työasemien käyttöjärjestelmien siirtyminen palvelimien monen käyttäjän järjestelmistä takaisin yksittäisten suurtietokoneiden ajan yhden käyttäjän järjestelmiksi.

Tietokoneiden vallatessa toimistoja 1990-luvun taitteessa yhtä käyttäjää palvelevien työasemien aikakauden laiteiden ryhmätyöskentelyominaisuudet eivät olleet enää riittäviä. Käyttäjien tuli päästä käsiksi dataan, joka oli luotu jollain toisella työasemalla. Työasemat kytkettiin toisiinsa tietoverkkojen avulla, jolloin yhdellä työasemalla luotu tieto oli saatavilla useasta eri paikasta. Käyttäjien vapausaste oli juuri noussut huomattavasti. Tiedon saaminen toiselta työasemalta edellytti kuitenkin, että se oli kytketty päälle ja että työasema oli konfiguroitu jakamaan tietoa toisille verkon käyttäjille. Ongelman ratkaisemiseksi verkkoon liitettiin yksi tiedon varastointiin erikoistunut palvelin, jota voitiin käyttää muiden käyttäjien tarvitseman tiedon tallennuspaikkana. Yhteistä tietoa ei enää tallennettu paikallisesti, vaan keskitettyyn tietovarastoon.

2.1.1 Vaeltava tietojenkäsittely

Edellisessä vaiheessa tieto oli tarvittaessa saatavilla keskitetyltä palvelimelta, mutta työasemat olivat kuitenkin pääsääntöisesti yhden käyttäjän koneita. Henkilökohtaisia tietoja ei haluttu laittaa kaikkien nähtäville yleiselle levypalvelimelle, vaan ne tallennettiin omalle työasemalle paikallisesti. Näiden lisäksi myös työaseman käyttöön liittyvät asetukset olivat aina laitekohtaisia. Ihmisten liikkuvuus työpaikoilla kuitenkin lisääntyi ja pelkkä työryhmien välinen tiedonsiirto ei ollut enää riittävää. Syntyi käsite vaeltava tietojenkäsittely (nomadic computing), jonka perusajatuksena oli mahdollistaa pääsy tarvittaviin tietoihin useista eri paikoista. Erityisiksi vaeltavaan tietojenkä-

sittelyyn liittyviksi tehtäviksi Schmandt [41] listaa kommunikoinnin, henkilökohtaisen tiedon hallinnan, tietoon käsiksi pääsyn sekä tiedon väliaikaisen tallentamisen.

Vaeltavan tietojenkäsittelyn ajatuksessa ei sinänsä vaadita liikuteltavuutta itse tietojenkäsittelylaitteilta, vaan käyttäjän liikkuvuus on siinä avainasemassa ja pääsy tietoon muodostetaan olemassa olevan infrastruktuurin avulla [41]. Erityisesti varsinainen tietoon käsiksi pääseminen tuli olla käyttäjälle läpinäkyvää käytetyn laitteen tai tavan suhteen, eikä siihen saanut vaikuttaa käytetty laitealusta tai verkkoyhteys [4], [22]. Yksi käytännön toteutus vaeltavan tietojenkäsittelyn periaatteesta on keskustietokoneelle tallennettavat käyttäjäkohtaiset profiilit ja kotihakemistot. Täysin tämä ei noudata vapaan laitealustan tai yhteyden laadun vaatimusta, sillä tällaiset toteutukset vaativat yleensä tietyn käyttöjärjestelmäalustan sekä asettavat joitain minimirajoja käytössä olevalle tiedonsiirtokanavalle. Nyt kuitenkin tietojenkäsittelylaitteiden käyttötapaan oli tullut selkeästi aiemmista poikkeava uusi mahdollisuus. Palvelinkäyttöjärjestelmiltä oli jo aiemmin vaadittu ominaisuutta kyetä palvelemaan useita käyttäjiä samanaikaisesti, mutta nyt myös työasemien tuli kyetä mukautumaan palvelimelta ladataan käyttäjäkohtaiseen tietoon.

2.1.2 Liikkuva tietojenkäsittely

Yhteiskunnassa, mm. työpaikoilla, ihmisten liikkuvuuden merkitys korostui entisestään, mikä loi tarpeen koko ajan mukana kulkeville laitteille [21]. Aikaa leimaasi myös sille ominainen menestyssovellus: tietoon käsiksi pääsy, jonka ominaispiirteenä on vapautuminen kiinteästä verkosta ja täten verkkopalveluiden joustavampi käyttö [7], [19]. Bellavista ym. [5] pitävät Internetin ja televerkkojen yhdistymistä perustana hajautetun tietojenkäsittelyn infrastruktuurille ja näkevät näiden liiton tarjoavan mahdollisuuden lähes täydelliseen riippumattomuuteen ajasta ja paikasta. Oltiin siis siirtynyt liikkuvan tietojenkäsittelyn aikakauteen.

Alkuun näitä mukana kulkevia laitteita ei käytetty varsinaiseen koneelliseen tietojenkäsittelyyn siinä mielessä, että niillä olisi tehty varsinaisia tiedonkäsittelytehtäviä, vaan niiden tehtävänä oli vain auttaa hallitsemaan hyvin nopeasti muuttuvaa henkilökohtaista tietoa. Edellisissä evoluution vaiheissa uusi teknologia ja uudet järjestelmät oli suunniteltu korvaamaan olemassa olevat systeemit, mutta liikkuvien tietojenkäsittelylaitteiden kanssa näin ei ollut. Niille oli määrätty alun perin selkeästi olemassa

olevia järjestelmiä täydentävä tehtävä, ja kuten edellä mainittiinkin, niiden alkuperäinen tarkoitus oli erityisesti tukea henkilökohtaisen tiedon hallintaa.

Edes siinä vaiheessa, kun taskukokoisten laitteiden suoritustehot olivat kasvaneet uudelle tasolle mahdollistaen todellisen liikkuvan tietojenkäsittelyn erilaisine koneellisine tietojenkäsittelytehtävineen, ei niiden käyttötarkoitus edelleenkään vähentänyt olemassa olevien järjestelmien tarvetta. Syntyi tietojenkäsittelyn kolmikenttä, johon oleellisesti kuuluivat palvelinkoneet, henkilökohtaiset työasemat sekä käyttäjien mukana kulkevat laitteet. Edellä mainitun kokonaisuuden eri osilla on selkeästi oma käyttötarkoituksensa ja asemansa kokonaisjärjestelmässä: palvelimilla on resursseja käsitellä ja varastoida suuria tietomääriä, kun taas mobiilipäätteen tulee vain tarjota luku- ja kirjoitusmahdollisuus tähän tietoon samalla, kun sen omia resursseja pyritään säästämään [6]. Erityisesti laskentaa ja raakaa prosessointia vaativat tehtävät tulisi siirtää niitä varten suunnitelluille järjestelmille jo senkin vuoksi, että näin mobiililaitteista saadaan pienempiä, vähemmän virtaa kuluttavia ja täten pidempikestoisempia ja miellyttävämpiä kuljettaa mukana [7]. Tässä yhteydessä ei toki sovi unohtaa liikkuvien tietojenkäsittelylaitteiden alkuperäistä tehtävää eli henkilökohtaisen tiedon hallintaa. Kolmannella osalla, kiinteillä työasemilla, on lisäksi helppo luoda uutta sekä editoida olemassa olevaa tietoa.

2.1.3 Verkkopohjaiset palvelut

Liikkuvan tietojenkäsittelyn aikakausi oli siis tuonut välineet tiedon prosessointiin ajasta ja paikasta riippumatta. Tällaisia ajan ja paikan vapaudelle kriittisiä palveluita on nykyään käytössä yhä enenevässä määrin: esimerkiksi huoltomiehet voivat kuvata ongelmia aiheuttavan putkiliitoksen kamerapuhelimella ja lähettää kuvan analysoitavaksi suunnitteluosastolle tai kotikäynthejä tekevät hoitopalveluhenkilöt voivat kirjata hoidettavaan henkilöön liittyviä kommentteja suoraan kämmentietokoneellensa samalla kun tarkistavat hoidettavalle henkilölle annosteltavat lääkemäärät.

Hyvin monissa nykyajan verkkopalveluissa on tyypillisenä piirteenä lisäksi aikariippuvuus. Tällä tarkoitetaan sitä, että käsiteltävän tiedon tulee olla reaaliaikaista ja se tulee myös voida käsittelyn jälkeen välittää eteenpäin yhtä reaaliaikaisena. Tällaisissa tilanteissa ei voida yleisesti käyttää yhteydettömiä tallennusratkaisuja, kuten CD-ROM tai USB-muisti, ja näin ollen tarvittaessa muodostettava tietoverkkoyhteys jää ainoaksi mahdolliseksi tiedonsiirtovälineeksi [6]. Kuitenkaan tietoverkkoyhteys itses-

sään ei poista ongelmia, vaan avainasemassa on nykyisen infrastruktuurin muuttaminen tukemaan mobiileja elementtejä ja langattomia palveluita [19].

Mahdollisesti yhteydettömässä tilassa tehtävät muutokset monen käyttäjän järjestelmissä ovat yksi pulmallisimmista liikkuvan tietojenkäsittelyn ongelmista. Jos muutoksia tehdään vain toisessa päässä, ei ongelmia luonnollisestikaan ole, mutta jos muutoksia on mahdollista tehdä sekä mobiilipäässä että palvelimen puolella, voi tiedon synkronointi muodostua mahdollisesti ongelmalliseksi. Erityisesti, jos muutos tehdään kummassakin päässä yhteyden ollessa poikki, syntyy konflikti [18].

Kuten edellä esitettiin ovat tietojärjestelmät kehittyneet lyhyen historiansa aikana varsin monipuolisiksi systeemeiksi, jotka ovat valjastettu palvelumaan käyttäjää sen sijaan, että käyttäjät joutuisivat taipumaan kaikkiin koneiden rajoituksiin. Edellä käytiin läpi tietojenkäsittelyjärjestelmien päätyypit teknologisen kehityksen näkökulmasta. Siinä todettiin tietojenkäsittelyjärjestelmien vaihdelleen aaltomaisesti yhden käyttäjän järjestelmistä usean käyttäjän järjestelmiin ja takaisin. Toisena esiin nousevana asiana olivat eri laitteiden välillä olleet tietoliikenneyhteydet, jotka katosivat hetkittäin ilmestyäkseen uudelleen seuraavassa kehitysvaiheessa. Tämän tutkielman kohteena ovat ainoastaan liikkuvat tietojenkäsittelylaitteet, joten kokonaisjärjestelmiä ei tämän syvällisemmin kuvata. Sen sijaan ryhdytään tarkastelemaan liikkuvaa tietojenkäsittelyä sekä sen mahdollistavien laitteiden että erilaisten käyttöympäristöjen kannalta.

2.2 Liikkuvan tietojenkäsittelyn välineitä

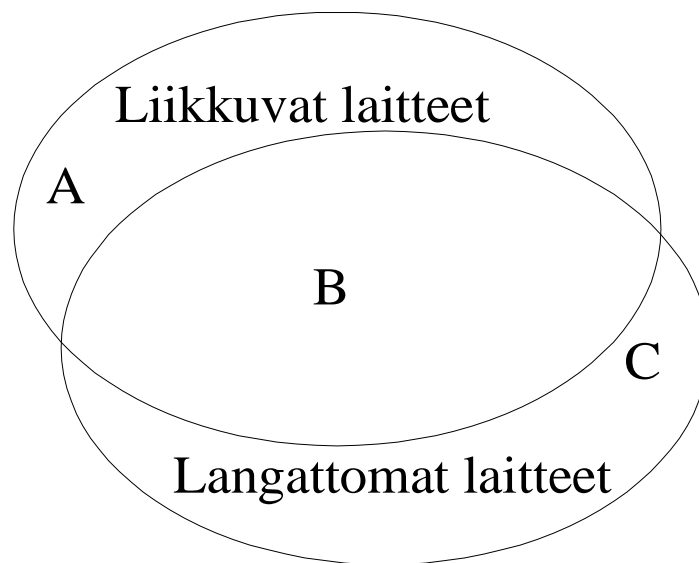
Puhuttaessa liikkuvasta tietojenkäsittelystä mukaan liitetään hyvin usein oletus jonkinlaisesta langattomasta tiedonsiirtomenetelmästä (ks. esim. [12] ja [26]). Toinen hyvin yleinen asiaan liitettävä käsitys on liikkuvan tietojenkäsittelylaitteen taskukokoisuus. Puheominaisuuksia ei vielä oleteta kuuluvan tällaisiin laitteisiin, vaan puhumiseen tarkoitettu laite mielletään yleisesti puhelimeksi. Jos puhelimesta on puheominaisuuksien lisäksi integroituna muita ominaisuuksia, katsotaan nämä vain puhelimen lisäominaisuuksiksi eikä niiden ajatella kuuluvan laitteen ensisijaiseen käyttötarkoitukseen.

Tässä tutkielmassa käytetään kuitenkin toista lähestymistapaa ja tarkastellaan liikkuvia tietojenkäsittelylaitteita ainoastaan niiden ominaisuuksien perusteella. Tarkoituk-

senä on siis hylätä arkikielessä käytetyt ilmaisut ja luoda uusi tyypittely puhtaasti laitteiden ominaisuuksiin perustuen. Otetaan käyttöön seuraava määritelmä:

Liikkuva tietojenkäsittely tarkoittaa mitä tahansa tiedon koneellista prosessointia kohtuullisen helposti liikuteltavalla laitteella, johon on liitetty sen käyttämä energiasäilö, riippumatta siitä onko sillä mahdollisuutta tiedonvälitykseen muiden laitteiden kanssa.

Erityisesti edellisessä määritelmässä ei vaadita minkäänlaista langatonta tiedonsiirtokykyä vaan esimerkiksi tiedonsiirtokaapelin avulla kommunikoivat sekä täysin itsenäisesti toimivat laitteet voivat täyttää määritelmän ehdon. Lisäksi toinen erityisen huomion arvoinen asia on, että laitteessa oleva langaton tiedonsiirtotapa ei vielä tee siitä liikkuvaa. Ainoat vaadittavat kriteerit siis ovat, että laitteella voidaan tehdä jonkinlaisia tiedonkäsittelytehtäviä, kuten tiedon lukeminen, syöttäminen tai prosessointi, ja että se tulee toimeen jonkin aikaa ilman ulkoista virtalähdettä.



Kuva 1. Jaottelu liikkuviin ja langattomiin laitteisiin.

Kuten edellä todettiin, liikkuvuus ja langattomuus eivät ole toisistaan riippuvia käsitteitä puhuttaessa tietojenkäsittelylaitteista. Toisaalta ne eivät ole myöskään missään nimessä toisiaan poissulkevia, vaan ne yksinkertaisesti kuvaavat laitteen erilaisia toiminnallisuuksia. Kuvassa 1 on pyritty havainnollistamaan liikkuvuuden ja langattomuuden suhdetta toisiinsa. Siinä on kuvattuna langattomien laitteiden sekä liikkuvien laitteiden muodostamat joukot. Kuvassa on kolme näihin joukkoihin kuuluvaa alkioita, A, B ja C. Näistä A:lla ei ole minkäänlaista langatonta tiedonsiirto-ominaisuutta, mut-

ta se voidaan kuitenkin lukea liikkuvaksi tietojenkäsittelylaitteeksi. C:llä puolestaan on mahdollisuus kommunikoida langattomasti muiden laitteiden kanssa, mutta sitä ei voida lukea kuuluvaksi liikkuvien laitteiden joukkoon. B kuuluu näiden kahden joukon leikkaukseen, joten se lasketaan kuuluvaksi liikkuvien tietojenkäsittelylaitteiden joukkoon, minkä lisäksi sillä on mahdollisuus langattomaan tiedonsiirtoon.

Esimerkkinä kategoriaan A kuuluvista laitteista voidaan antaa taskutietokone, jolla on yhteys työasemaan erillisen irrotettavan kaapelin avulla. Laite kykenee toimimaan itsenäisesti paristojen tai akun avulla, mutta siinä ei ole minkäänlaisia langattomia kommunikointimahdollisuuksia. Lisäominaisuutena laitteella voi vaihtaa informaatioita työaseman kanssa silloin, kun se on kytkettynä kaapeliin, mutta tällä ominaisuudella ei ole vaikutusta edellä kuvattuun jaotteluun liikkuvien ja langattomien joukkojen välillä. Kategoriasta C esimerkkinä voidaan käyttää tavallista pöytämallista työasemaa, joka on kytkettynä langattomaan lähiverkkoon. Laitetta ei voi käyttää kytkemättä sitä ulkoiseen virtalähteeseen eikä se myöskään täytä vaatimusta kohtuullisen helpposta kannettavuudesta. Langattoman lähiverkkoliittymän ansiosta se kuitenkin voi viestiä ympäristönsä kanssa. Jos esimerkin A laitteen tiedonsiirtomenetelmä vaihdettaisiin kaapelista joksikin langattomaksi tai esimerkin C työasema korvattaisiin kannettavalla tietokoneella, saataisiin näistä kummastakin kategoria B:n laite.

Liikkuvien tietojenkäsittelylaitteiden joukko on moninainen. Kuten edellä jo mainittiinkin liikkuviksi tietojenkäsittelylaitteiksi mielletään helposti erilaiset taskukokoiset kämmenmikrot, mutta esimerkiksi uudenlaiset älypuhelimet jätetään herkästi huomiotta. Yksi suuri laitteiden joukko, joka myös jää useimmilta mainitsematta, on teollisuuden käyttöön hankittavat räätälöidyt päätelaitteet. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset teollisuusautomaation ohjaus- ja säätölaitteet tai trukkiin liitetty päätelaite, jolla kuljettaja saa työohjeensa. Lisäksi liikuteltavien tietojenkäsittelylaitteiden uutuus johdattaa herkästi hyvinkin voimakkaisiin yleistyksiin. Kaikki laitteet, joilla on jotain tekemistä mobiiliteetin kanssa, luokitellaan helposti samaan kategoriaan, vaikka niiden ominaisuuksia ei yleensä ole mielekästä kuvata vain yhdellä kriteerillä. Tällä hetkellä ei olekaan olemassa mitään yhtenäistä luokittelua mobiililaitteille.

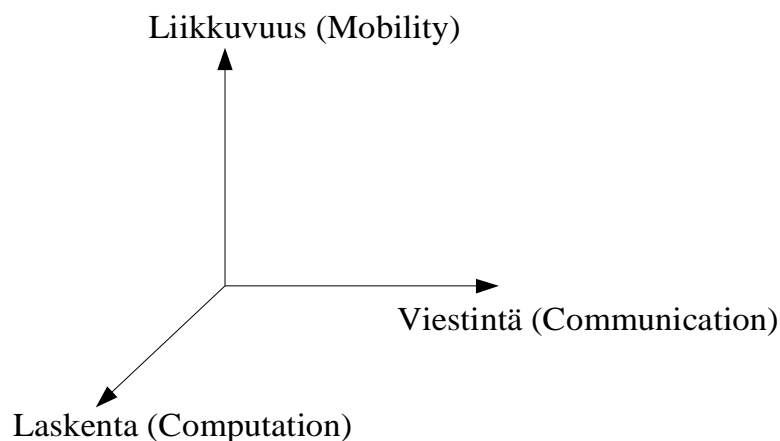
Tätä tutkielmaa varten pyrittiin luomaan jonkinlainen luokittelu, jota voitaisiin käyttää yleisesti. Kuitenkin huomattiin, että yhdellä luokittelumallilla ei voida kuvata koko mobiililaitteiden kirjjoa, vaan eri tilanteisiin vaaditaan hieman erilaisia näkökulmia. Seuraavassa on esitettyä ensin mobiililaitteiden yleiset tuotekategoriat, jonka jälkeen

on vuorossa kolme luokittelua erilaisten näkökulmien perusteella. Jaotteluissa on jonkin verran päällekkäisyyksiä johtuen siitä, että luokitteluperusteet eivät ole täysin toisiaan poissulkevia, mutta niiden esittämistä pidetään perusteltuna näiden riittävällä erilaisuudella.

2.2.1 Mobiililaitteiden päätyypit

Perinteisesti mobiileiksi tietojenkäsittelylaitteiksi on laskettu kuuluvaksi erilaiset kämmentietokoneet. Kuten jo edellä todettiin, puhelinominaisuuksilla varustettuja laitteita on pidetty puhtaasti puhelimina. Kannettavat tietokoneet puolestaan ovat täysiverisiä tietokoneita, joita pystyy kuljettamaan mukanaan, joten niitäkään ei ole laskettu kuuluvaksi mobiililaitteiden joukkoon.

Pieniä tasku- tai kämmentietokoneita on väheksytty ja niitä on pidetty lähinnä teknologiainventiivien leikkikaluna. Niillä ei ole ollut omaa selkeää paikkaansa, vaan niiden on ollut tyytyminen eräänlaisen väliinputoajan kohtaloon: ne eivät ole vakavasti otettavia tietokoneita, eikä niillä taten ole käyttöä työkaluina. Lisäksi ne ovat keskimäärin hieman liian isoja mahtuakseen taskuun, joten niiden kuljettaminen mukana koko ajan on kömpelöä.

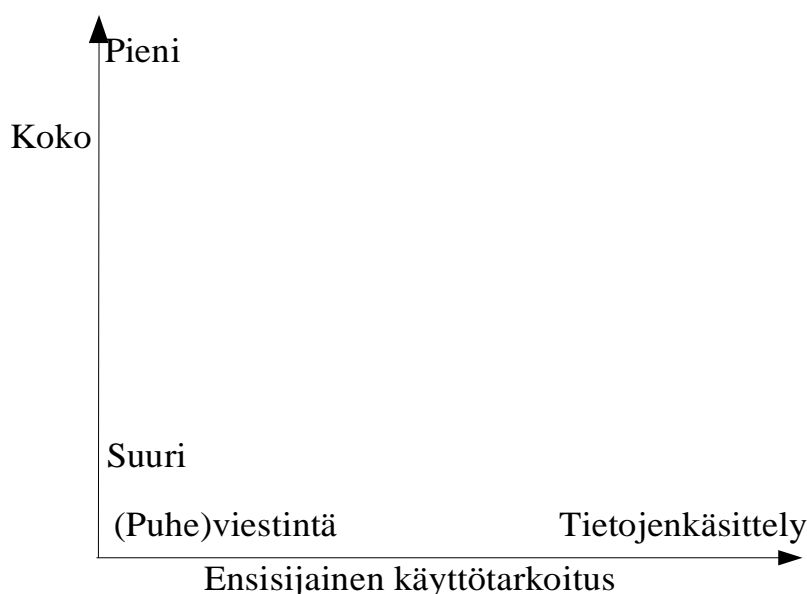


Kuva 2. Sunin ja Sauvolan mobiliteettikonsepti [43].

Sun ja Sauvola [43] ovat esittäneet kuvan 2 mukaisen mallin kuvaamaan mobiliteettikonseptiä. Siinä kullakin mallilla kuvattavalla alkiolla on kolmenlaisia toiminnallisuksia, joiden painotuksista riippuen määräytyy alkion paikka mallin avaruudessa.

Eli jos laitteessa korostuu liikkumisen tarve ja mahdollisuus, sijoittuu se korkeammalle liikkuvuus-akselin suuntaisesti, kun taas laskentaan ja tiedon prosessointiin tarkoitettu laite sijoittuu syvyys suunnassa laskenta-akselia pitkin origosta pois päin.

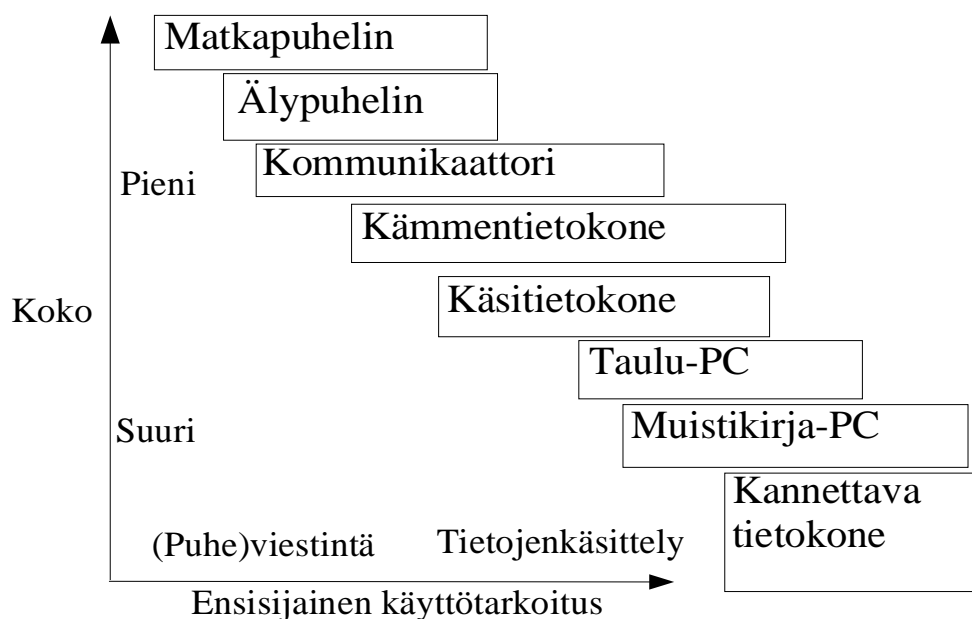
Kuitenkin, kuten Sun ja Sauvola [43] itsekin huomauttavat, laskenta ja viestintä eivät aina suinkaan ole toisistaan riippumattomia. Tästä osittaisesta riippuvuudesta huolimatta voidaan usein löytää laitteelle ensisijainen käyttötarkoitus, joka liikkuu jossain täysin laskentaan ja täysin viestintään keskittyneen käyttötarkoituksen välimaastosta. Yleisistä teknisistä rajoituksista johtuen sekä laskentaan että henkilökohtaiseen viestintään keskittyntä laitetta on varsin mahdotonta luoda. Tähän perustuen päädyttiin määrittelemään uusi malli Sunin ja Sauvolan mallia hyväksi käyttäen. Nyt luodulle mallille riittää kaksi kanta-akselia kuvaamaan laitteen sijoittumisen mallin avaruudessa: Ensimmäinen akseli muodostuu ensisijaisesta käyttötarkoituksesta, jossa ääripäinä ovat viestintä ja tietojenkäsittely. Sunin ja Sauvolan mallin laskenta-viestintä-taso on siis litistetty janaksi. Toinen akseli puolestaan pohjautuu kuvan 2 mallia vastaten laitteen liikuteltavuuteen, mutta se on nimetty liikkuvuuden sijaan laitteen kokoon perustuvaksi. Tämä uusi malli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Malli mobiililaitteiden luokitteluun.

Kuvan 3 mukaiseen malliin perustuvassa luokittelussa laitteen koko pienenee siirryttäessä alhaalta ylös ja sen ensisijainen käyttötarkoitus muuttuu kuljettaessa vaakakselia oikealle puhtaasta viestintälaitteesta tietojenkäsittelyyn erikoistuneeseen laitteeseen. Edellä mainittiin matkapuhelimen ja kannettavan tietokoneen muodostavan

eräänlaiset ääripäät mobiililaitteiden joukossa: Toinen on hyvin pieni ja tarkoitettu pääsääntöisesti viestintään. Toinen puolestaan on mobiililaitteeksi kokonsa puolesta suuri ja sen ensisijainen käyttötarkoitus on nimenomaan tiedonkäsittely. Käyttäen hyväksi edellä mainittuja kahta ääripäätä, puhdasta matkapuhelinta ja kannettavaa tietokonetta, on tehty kuvan 4 kaltainen ryhmittely kuvaamaan nykyisin saatavilla olevien kuluttajakäyttöön tarkoitettujen mobiililaitteiden sijoittumista määritellyn mallin mukaisesti.



Kuva 4. Erilaisten mobiililaitteiden päätyypit.

Matkapuhelin on siis edellä esitellyn kuvauksen toinen ääripää. Alkuperäiseltä tarkoitukseltaan se on puhdas viestintälaitte. Nykyään niissä on kuitenkin yhä useammin joi-tain ei-viestinnällisiä ominaisuuksia, ja ero matkapuhelimen ja jatkumossa seuraavana olevan älypuhelimien välillä onkin häilyvä. Kuten jo edellä mainittiin, periaatteessa matkapuhelin on vain viestintään erikoistunut laite eikä se sisällä minkäänlaisia tietojenkäsittelyominaisuuksia. Näin ollen tällä hetkellä lähestulkoon kaikki markkinoilla olevat matkapuhelimet ovatkin käytännössä älypuhelimia. Älypuhelimelle tyypillistä onkin ei-viestinnällisten ominaisuuksien kirjo erilaisista ajanvietetarkoituksista ke- vyeen henkilökohtaisen tiedon hallintaan.

Älypuhelimien jälkeen seuraavana tuleva kommunikaattori on muodoltaan ja ominai- suuksiltaan yleensä joko kämmen- tai käsitietokoneen kaltainen, mutta sille on kuiten- kin varattu oma luokkakategoriansa pääasiassa sen ensisijaisen käyttötarkoituksen, monimuotoisen viestinnän vuoksi. Kommunikaattorilla tehtävää viestintää voidaan pi-

tää monimuotoisena, koska se ei enää rajoitu pelkästään puhelinjärjestelmän tarjoamiin palveluihin, vaan keskeisinä viestintämuotoina ovat myös esimerkiksi sähköposti ja WWW. Tällainen viestintätapa vaatii monipuoliset kontaktivarastot ja mahdollisuuden erityyppisiin viestinkoostamistapoihin. Perinteisten puhelinnumeroiden ohella tarvitaan siis yhteystietoihin esim. sähköpostiosoitteita ja WWW-linkkejä, minkä lisäksi näihin uusiin viestintämuotoihin on myös oltava soveltuva käyttöalusta sovelluksiin ja tekstinsyöttötapoihin.

Kämmen- (palm size) ja käsitietokoneet (hand held) ovat toiminnoiltaan melko samanlaisia. Erottavana tekijänä on niiden fyysinen koko ja muoto. Pienempi kämmen-tietokone mahtuu yhteen käteen, ja sen näyttö on pystysuuntainen. Käsitietokoneessa näyttö on puolestaan vaakasuuntainen, ja sitä käytetään kahdella kädellä. Vaikka kämmen-tietokonetta harvemmin kykenee täysin käyttämään yhdellä kädellä, on sitä käytettäessä toinen käsi lähinnä kannattelualustana. Lisäksi oleellisena erona laitteiden välillä on tekstinsyöttötapa: käsitietokoneessa on leveän poikittaisen näytön yhteydessä yleensä näppäimistö. Kämmen-tietokoneen kapean näytön alle näppäimistö ei mahdu, joten sitä käytetään yleensä jonkinlaisella kynällä. Näistäkin on olemassa poikkeuksia, mutta tätä voidaan pitää jonkinlaisena yleistyksenä. Nämä kaksi laite-tyyppiä ovat kuvan 4 mukaisessa jatkumossa ensimmäisiä, joilla viestintä ei ole enää päätarkoitus, vaan niitä käytetään monipuolisemmin erilaisiin tiedonkäsittelytehtäviin.

Taulu-PC (Tablet PC) on uudehko tulokas. Se on hieman erityyppinen kuin muut esitellyt laiteluokat. Käyttäjälle taulu-PC koostuu lähinnä suurehkosta näytöstä ja muutamista hallintanäppäimistä. Se on käyttötarkoitukseltaan lähinnä informaation lukulaite ja sijoittuu näin ollen lähinnä tietojenkäsittelyreunaan kuvassa 4. Viestintä näillä laitteilla on usein yksisuuntaista ja ne ovatkin erinomaisia esimerkiksi WWW-sivujen selailuun.

Uudehkona välimuotona ennen varsinaista kannettavaa tietokonetta on muistikirja-PC (notebook), joka on kooltaan perinteistä kannettavaa tietokonetta pienempi ja ominaisuuksiltaan yleensä hieman rajoittuneempi. Käytettävät sovellukset ovat muistikirja-PC:ssä samankaltaisia kuin kannettavissa tietokoneissa ja pöytätietokoneissa, mutta eivät välttämättä täysin samoja. Kuten itse laite, myös sen käyttämät sovellukset ovat yleensä kevyempiä ja siinä voidaan käyttää jotakin mobiililaitteisiin tarkoitettua käyttöjärjestelmää pöytäkonien käyttöjärjestelmien sijaan. Viimeisenä ja kaavion toisena äärilaitana on kannettava tietokone, joka on yleisesti mukaan otettava pöytätietoko-

neen vastine. Sillä tehtävät toiminnot ja siinä käytettävät sovellukset ovat samoja kuin pöytätietokoneilla. Erityisesti mobiililaitteeksi sen kuitenkin tekee kyky toimia itsenäisesti ilman ulkoista virtalähdettä.

Edellä kuvattiin erilaisia mobiililaitteiden tuotekategorioita. Tämän perinteisen luokittelun suurimpana ongelmana on kuitenkin se, että näistä laitteista ei aina suinkaan käytetä niiden tuoteluokkanimikkeitä, vaan niitä tarkastellaan yleensä jostain tiettyyn tarkoitukseen keskittyvästä näkökulmasta. Seuraavassa esitellään kolme lähestymistapaa, joita käytetään yleisesti mobiililaitteista puhuttaessa. Nämä määritelmät eivät siis tuo uusia laiteluokkia, mutta ne tarjoavat uusia näkökulmia mobiililaitteiden ryhmittelyyn.

2.2.2 Luokittelu laitteiden koon perusteella

Kuten esimerkiksi termit kämmentietokone tai kannettava tietokone antavat ymmärtää, laitteen koko on yksi tärkeä mobiililaitteiden luokittelukriteeri. Tämän tyyppiset nimitykset kuvaavat laitteen fyysisiä ominaisuuksia, sen kokoa ja ulkomuotoa: kannettava laite ei voi olla kovinkaan painava ja kämmentietokonetta on voitava pitää yhdessä kädessä.

Ensimmäisenä esiteltävä kokoon perustuva luokittelu pohjautuu hyvin läheisesti kuvassa 4 esitetyn ryhmittelyn koko-akselin suuntaiseen projektiioon. Tämä lähestymistapa on kirjattu omaksi luokittelumallikseen, koska kuvassa 4 esitetystä mallista puuttuu akselien metriikat johtuen mallin yleisestä luonteesta. Tässä työssä jaotellaan mobiililaitteet koon mukaan kolmeen ryhmään: taskuun mahtuviin, kädessä pidettäviin ja mukana kannettaviin.

Taskuun mahtuva mobiililaitte on pieni ja kevyt ja täten helppo kuljettaa mukana. Tyypillinen esimerkki taskuun mahtuvasta laitteesta on matkapuhelin. Lisäksi luvun 2.2.1 tyyppityksestä taskukokoisten laitteiden luokkaan kuuluvat älypuhelimet sekä pienet kommunikaattorit ja kämmentietokoneet. On siis huomattava, että tuoteluokituksen mukaiset ryhmät eivät suoraan kuvaudu ainoastaan yhteen ryhmään, vaan joissakin tapauksissa tuoteluokka voi jakautua useampaan koon perusteella muodostettuun ryhmään.

Seuraavana kokojärjestyksessä on kädessä pidettävä laite, jollainen on esimerkiksi käsitietokone. Kädessä pidettävät laitteet ovat kooltaan hieman liian suuria mahtuakseen paidan tai housun taskuun, mutta ne voidaan helposti sujauttaa salkkuun tai käsilaukuun. Käsitietokoneiden lisäksi tähän luokkaan kuuluvat edellisestä kokoluokasta ulos jääneet kommunikaattorit sekä kämmentietokoneet.

Loput mobiililaitteet kuuluvat mukana kannettavien laitteiden ryhmään. Ne ovat suurehkoja, mutta kuitenkin riittävän keveitä täyttääkseen vaatimuksen suhteellisen helposta liikuteltavuudesta. Yleensä laitteen koko määräytyy tässä luokassa pitkälti näyttölaitteen perusteella.

2.2.3 Luokittelu käyttötarkoituksen mukaan

Mobiililaitteet hankitaan yleensä niiden tulevan käyttötarkoituksen perusteella. Jotta oikea valinta voidaan suorittaa, on käytössä oltava käyttötarkoitukseen perustuva luokittelu. Kuvan 4 mukaisessa ryhmittelyssä vaaka-akseli antaa lähtökohdan tämän tyyppiseen luokitteluun. Edellinen, kokoon perustuva luokittelu voitiin tehdä suoraan kuvan 4 ryhmittelyn perusteella, sillä laitteen kokoa voidaan käyttää absoluuttisena mittarina verrattaessa laitteita toisiinsa.

Pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaista luokittelua ei voida tehdä vastaavasti, koska käyttötarkoitukselle ei ole käytännössä mahdollista asettaa absoluuttista mitta-asteikkoa samaan tapaan. Toki sellainen voitaisiin määritellä, mutta tämä ei välttämättä palvelisi mitään yleistä tarkoitusta. Kuvan 4 mukaisessa mallissa laitteen pääasiallinen käyttötarkoitus oli asetettu määräytyvän viestintä-tiedonkäsittely jaottelun mukaisesti. Näitä kumpaakaan ääripäätä ei määritely sen tarkemmin eikä myöskään niiden väliin sijoitettu mitään asteikkoa. Kuitenkin jo molemmat ääripäät voidaan jakaa osiin ja näiden välimaastosta löytyy lisää mahdollisia luokkia.

Seuraavassa jaottelussa on otettu käyttöön seuraavat tyypilliset mobiililaitteiden käyttötarkoitukset: viestintä, henkilökohtaisen informaation hallinta, työtehtävien suorittaminen toimiston ulkopuolella sekä etäluku ja etähallinta. Näistä ainoastaan puhdas viestintä voidaan löytää suoraan kuvan 4 mallista. Tietyissä erityistapauksissa, jolloin työtehtävien suorittaminen tai henkilökohtaisen tiedon hallinta ei vaadi kommunikointia muiden järjestelmien kanssa, voidaan ne laskea kuuluviksi toiseen äärilaitaan, puhtaaseen tietojenkäsittelyyn, mutta yleisesti näin ei ole.

Henkilökohtaisen informaation hallintaan kuuluvat esimerkiksi kalenteri, erilaiset tehtävälisterit sekä henkilökohtaisten kontaktien yhteystiedot. Varsinkin paljon liikkuvat käyttäjät tarvitsevat näitä ominaisuuksia. Henkilökohtaisen informaation hallinta mainittiin jo luvussa 2.1.1 kuuluvan vaeltavan tietojenkäsittelyn perustehtäviin, eikä sen merkitys ole vähentynyt liikkuvan tietojenkäsittelyn aikakaudella. Henkilökohtaisen informaation hallintaan käytettävät laitteet voivat edustaa lähes mitä tahansa mobiililaitteiden tuoteluokkaa: matka- ja älypuhelimissa on luonnollisesti tallennettuna kontaktitietoja, käsi- ja kämmentietokoneet tuotiin alun perin markkinoille juuri tätä tarkoitusta varten ja muistikirja PC sekä kannettava tietokone sisältävät hyvin usein joltakin pöytäkoneelta synkronoidun kalenteri- ja osoitetietokannan.

Kun tarve vaatii työtehtävien suorittamista toimiston ulkopuolella, esimerkiksi neuvottelutilanteessa tai työmatkalla, on mobiililaitteen toimittava eräänlaisena siirrettävänä työpöytänä. Tällöin laitteessa tulee olla mahdollisuus samoihin toimintoihin kuin toimistossa, joten pääsy käsiteltävään tietoon on erittäin tärkeää. Riippuen työn luonteesta tieto voidaan saada joltakin yhteydettömältä mukana kulkevalta medialta, tai vaihtoehtoisesti vaaditaan verkkoyhteys tiedon varastointipaikkaan. Käytössä olevien toimintojen samanlaisuus saavutetaan helpoimmin käyttämällä samoja ohjelmia, minä vuoksi tämän ryhmän tärkeimmät välineet ovat kannettavat tietokoneet. Toki myös muilla laiteryhmillä voidaan suorittaa vastaavia toimintoja, jos näille vain on saatavilla sopiva sovellus.

Mobiililaitteita koetaan luonnollisesti myös viestintälaitteena. Kuten edellä jo mainittiinkin, stereotyyppinen kuva mobiililaitteesta sisältää langattoman viestinnän mahdollisuuden. Viestintäkanavia voivat olla esimerkiksi sähköposti sekä erilaiset pikaviestit. Myös puhelinominaisuus lasketaan kuuluvaksi tähän käyttökategoriaan, vaikka puhe sinänsä ei tiedonkäsittelyä perinteisessä mielessä olekaan, mutta se on mobiililaitteiden käyttöä ajatellen hyvin keskeinen toiminnallisuus.

Stereotyyppisenä kuvattu mobiililaitteiden viestintäominaisuus omana jaotteluperusteenaan on kuitenkin perusteltu sen yleisyyden vuoksi. Henkilöiden välisen viestinnän lisäksi ominaisuutta tarvitaan myös laitteiden väliseen kommunikointiin: dataa pitää pystyä lukemaan etäkohteesta tai etälaitetta pitää voida kontrolloida mobiilipäätteellä. Esimerkkinä ensimmäisestä voidaan mainita lämpötilan lukemista mittausasemalta, etälaitteen kontrollointia taas on esimerkiksi saunan lämpenemään laittaminen.

Joskus mobiililaitteilla saattaa olla myös aivan erityisiä käyttötarkoituksia, jotka vaativat täten myös erityisominaisuuksia, kuten esimerkiksi erityistä fyysistä kestävyyttä tai äärimmäisen yksinkertaista käyttöliittymää. Palomiehen viestintälaitteelta vaaditaan huomattavasti suurempaa kestävyyttä kuin myyntineuvottelijan vastaavalta. Vanhuksen käytössä olevassa turvapuhelimessa ei taas saa olla yhtään ylimääräistä nappulaa. Tällaisten erityistapausten joukko on aivan liian suuri, jotta niistä kustakin voitaisiin tehdä oma luokkansa. Tämän määritelmän puitteissa tyydytään luokittelemaan nämä kaikki yhteen erityisien tehtävien joukkoon.

2.2.4 Luokittelu laitteiden ominaisuuksien mukaan

Arkikielessä tyypillinen tapa jaotella mobiililaitteita perustuu niiden näkyviin tai tunnettuihin ominaisuuksiin. Tämä laitteiden ominaisuuksien perusteella tehtävä luokittelu ei pohjaudu mitenkään luvussa 2.2.1 esitettyyn malliin mobiililaitteiden kategorioinnista, vaan sen pohjana on puhdas arkitodellisuus. Vaikka tieteessä ei yleensä annetakaan sijaa arkielämän terminologioille, yleisyytensä vuoksi tämäkin luokittelutapa haluttiin tuoda esiin tässä tutkielmassa: onhan liikkuva tietojenkäsittely luonteeltaan hyvin voimakkaasti ihmisten arkielämää koskettavaa. Aiemmin todettiin käyttötarkoituksen määräävän pitkälti sen, mitä ominaisuuksia laitteessa tarvitaan, ja ominaisuuksiin perustuva jaottelu onkin siten hyvin läheisesti sidoksissa edellisen alaluvun käyttötarkoituksen mukaiseen luokitteluun. Kuitenkin ominaisuuksien mukaisella luokittelulla saadaan joitain vielä käsittelemättömiä näkökulmia esitettyä, joten myös tätä luokittelutapaa voidaan pitää perusteltuna.

Eräänä luokitteluperusteena voidaan pitää tekstinsyöttötapaa. Jos laitteessa on jokin kehittyneempi mahdollisuus tekstin syöttöön kuin esimerkiksi ns. tavallisen matkapuhelimen numeronäppäimiin yhdistetyt kirjaimet, tätä ominaisuutta käytetään herkästi laitteesta puhuttaessa. Täysverinen näppäimistö ja kynä ovat esimerkkejä tällaisista.

Toinen tärkeä laitteen ominaisuus, jota käytetään yleisesti luokitteluun, on niiden kyky tiedonvaihtoon. Ainakin nimityksellisesti hallitsevin on puhelinominaisuus: vaikka puhelimessa olisi mitä lisätoimintoja, sitä kutsutaan ensisijaisesti puhelimeksi. Tietyt tiedonvaihtoon käytetyt lisäominaisuudet, jotka eivät ainakaan vielä ole laitteissa vakiona, mainitaan myös herkästi laitteen nimessä. Tästä esimerkkinä ovat WAP- ja Bluetooth-puhelimet, kun taas joka puhelimessa olevaa tekstiviestiominaisuutta ei erikseen mainita.

Myös muunlaiset tekniset innovaatiot näkyvät laitteiden nimityksissä. Esimerkiksi tällä hetkellä kameran lisääminen älypuhelimien varustukseen leimaa välittömästi laitteen kamerapuhelimeksi. Toinen vastaava leimaava piirre on java-ominaisuuksien löytyminen puhelimesta. Aikaisemmasta selkeästi poikkeava uusi teknologia tms. heijastuu siis usein laitteen nimeen.

Kuten edellä todettiin, käyttötarkoituksen ja ominaisuuksien mukainen jaottelu liittyvät läheisesti toisiinsa. Ensisijaisesti laite valitaan varmasti käyttötarkoituksen perusteella. Tämän jälkeen huomio kiinnittyy kuitenkin lisäarvoa tuoviin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi laitteen keveyteen, fyysiseen kestävyys sekä pitkään käyttöaikaan. Myös nämä lisäarvot voivat joskus vaikuttaa laitteiden nimeämiseen, varsinkin jos ne ovat hyvin äärimmäisiä. Esimerkiksi fyysisesti erittäin kestäväillä puhelimilla on oma englanninkielinen nimityksensä *rugged*.

Edellä olevista esimerkeistä voidaan löytää kaksi hallitsevaa piirrettä: vaatimus laitteen ominaisuuksille ja lisäominaisuuksien korostaminen. Kumpikin näistä on tuonut oman osansa arkikieleen ja niiden vaikutus todennäköisesti tulee muuttumaan ajan kuluessa. Laitteiden ominaisuuksiin perustuvaa luokittelua voidaankin pitää arkipäiväisenä luokitteluna, joka heijastaa oman aikansa teknologista kehitystä ja täten tämä luokittelu tulee myös vaihtelevaan ajan kuluessa.

2.3 Mobiiliympäristöt

Edellä kuvattiin mobiileja tietojenkäsittelylaitteita kolmesta eri näkökulmasta. Esitettyjen jaotteluiden perusteella on helppoa todeta, että mobiilipäätteiden kirjo on hyvin moninainen ja laitteiden kehitys on johtanut selkeään erikoistumiseen. Erikoistumisen lopputulos on jo nähtävillä, mutta sen perimmäinen syy ei ole niin selvä. Voidaan ajatella erilaisten laitteiden olemassa olon johtuvan käyttäjien erilaisista tarpeista ja selittää laitteiden moninaisuutta niiden erikoistumisella kullekin laitteelle tyypilliseen käyttötarkoitukseen. Tämä johtaa kuitenkin kehäpäätelmiin, eikä varsinaista selitystä laitteiden erikoistumiselle tarjota.

Mobiliteetti vaikuttaa eri tavoin riippuen siitä, millä tavalla asiaa tarkastellaan. Tilanne on täysin vastaava kuin edellä esitetyt erilaiset näkökulmat laitteiden luokitteluun. Friday ja Davis [14] pitävät liikkuvan tietojenkäsittelyn tärkeänä erityispiirteenä sitä,

että käyttäjä tai varsinaisesti itse laite kokee eritasoisia yhteyksiä käyttöjaksojen aikana. Laitteet voivat olla yhteydettömässä tilassa, heikossa yhteydessä tai täysin yhdistettynä. Samoin kuin itse yhteyden tila voi vaihdella käyttöjakson aikana voivat myös yhteyden laatuparametrit, kuten nopeus ja viive, muuttua kesken käytön. Katz [19] puolestaan löytää merkittäviä eroja mobiliteettiin liittyvän nopeuden suuruudesta. Lisäksi hän huomauttaa sisäkäytön poikkeavan ulkokäytöstä.

Edellisissä kahdessa liikkuvan tietojenkäsittelyn luonnehdinnassa ei vielä otettu mitenkään kantaa itse liikkuvaan kohteeseen. Bellavista ym. [5] määrittelevät mobiliteetille kolme tasoa sen mukaan, mihin liikkuvuus kohdistuu. Ensimmäinen taso on laitteen käyttäjä, toinen itse laite ja kolmas laitteen avulla suoritettava tietoon käsiksi pääseminen. Näistä tasoista tietoon pääsystä myös Papadopouli ja Schulzrinne [34] sekä Sun ja Sauvola [43] ovat esittäneet omat tarkennat jaottelunsa.

Papadopoulin ja Schulzrinnen [34] määritelmässä mobiili tietoon pääsy jaetaan kolmeen osaan: Jatkuva langaton yhteys on näistä ensimmäinen. Tällainen yhteys saadaan aikaan esimerkiksi matkapuhelinverkkojen avulla. Toinen tapa on käyttää hyväksi tiettyssä paikassa sijaitsevia kiinteitä informaatioasemia. Tällainen informaatioasema voitaisiin sijoittaa esimerkiksi lentoaseman odotusaulaan, missä se tarjoaisi lähtöä odottaville lentomatikustajille yhteyspisteen esimerkiksi langattoman lähiverkon avulla. Kolmas tapa on mobiilisolmujen välinen rakenteeton tiedonvälitysverkko. Tällaisella verkolla ei välttämättä ole yhteyspistettä ulkopuolisiin verkkoihin, vaan tiedonvaihto tapahtuu verkkoon osallistuvien mobiilisolmujen kesken.

Sunin ja Sauvolan [43] versiossa on myös kolme tasoa, mutta he keskittyvät yhteyden muodostumisen sijaan tiedonvaihdon jatkuvuuteen tila-aika-avaruudessa. Tästä huolimatta näiden kahden mallin välillä voidaan kuitenkin havaita tiettyjä yhtäläisyyksiä. Sunin ja Sauvolan ensimmäinen mobiliteettitaso on vaeltava (nomadic) tiedonvälitys. Tällä tasolla käyttäjällä on tiettyjä kiinteitä pisteitä, joissa tiedonvaihtoa voidaan suorittaa, mutta näiden pisteiden välillä ei yhteyttä ole. Toinen taso on soluperustainen (cellular) tiedonvaihto, jossa kiinteillä tukiasemilla on tietty kuuluvuusalue ja nämä alueet kattavat yhdessä koko liikkumisalueen. Kolmas taso on läpinäkyvä (pervasive) tiedonvälitys, jossa ei enää ole minkäänlaisia ennalta määrättyjä yhteysalueita, vaan tietoa välitetään dynaamisesti muuttuvassa käyttäjien keskenään muodostamassa verkossa.

Verrattaessa edellä esitettyjä Sunin ja Sauvolan sekä Papadopoulin ja Schulzrinnen mobiiliyhteyden tasoja toisiinsa nähdään niissä selkeitä yhtäläisyyksiä: yksi taso on koko alueen kattava jatkuva tai ainakin tarvittaessa muodostettavissa oleva yhteys, toinen taso on tietyissä ennalta määrätyissä pisteissä mahdollinen yhteyden muodostus ja kolmas taso on käyttäjien keskinäinen tiedonvaihto ilman erillistä ulkoista verkkoa. Tämän yhteisen yleisen osan lisäksi Sun ja Sauvola tarkastelevat vielä edellisiä mobiliteettitasoja tiedonvälitysjärjestelmän kannalta. He määrittävät kuusi mobiliteettityyppiä sen mukaan, mitä laitteen liikkuvuus aiheuttaa tiedonsiirtojärjestelmässä. Nämä mobiliteettityypit ovat mega-, makro, mikro-, mini-, piko- ja nanomobileetti. Näillä kuudella mobiliteettityypillä Sun ja Sauvola kuvaavat erilaiset tilanteet, jonka liikkuva, verkkoyhteydessä oleva päätelaite voi aiheuttaa tiedonsiirtojärjestelmälle.

Megamobileetti kuvaa siirtymistä eri palveluoperaattoreiden välillä tai eri teknologiaa käyttävien verkkojen välillä. Makromobileetti tarkoittaa siirtymistä yhden palveluoperaattorin yhtä tekniikkaa käyttävän verkon sisällä siten, että verkon laitteelle antama nimialue (domain) kuitenkin vaihtuu. Mikromobileetti on liikkumista yhden nimialueen sisällä, mutta paikallisten alueiden välillä. Minimobileetilla tarkoitetaan siirtymistä yhteysalueelta (access point region) toiselle ja pikomobileetilla siirtymistä yhden yhteysalueen sisällä toiseen yhteyspisteeseen (access point), jos sellaisia on useita. Viimeinen mobiliteettityyppi, nanomobileetti, kuvaa yhden yhteyspisteen kattaman alueen sisällä tapahtuvia siirtymiä. Kuvatut mobiliteettityypit siis ilmaisevat tiedonsiirtojärjestelmälle asti näkyvät liikkumisen aiheuttamat muutokset, mutta tämä ei välttämättä ole mitenkään verrannollinen fyysisten siirtymien suuruuteen. Esimerkiksi megamobileettia on paikallaan pysyvän käyttäjän tiedonsiirtoverkon vaihtaminen GPRS-yhteydestä langattomaan lähiverkkoon. Koska malli ei ota kantaa mobileettiin fyysisten siirtymien tasolla, ei se täten kuvaa mitenkään itse käyttäjän liikkumista.

Edelliset mallit keskittyivät siihen, miten nykyisillä ja tulevilla laitteilla tapahtuvaa mobiliteettia voidaan jotenkin kuvata, mutta ne eivät tarjoa mitään selitystä sille, riipuvatko mobiliteettien tyypit käytetyistä laitteista, tai kääntäen, onko jokin laite sidoksissa johonkin tiettyyn mobiliteettitasoon? Lisäksi koska edelliset mobiliteettia määritelleet mallit jättivät käyttäjän lähes täysin kuvausten ulkopuolelle, päädyttiin kehittämään tätä puutetta täydentämään mobiililaitteen käyttäjään keskittyvä malli, jo-

ka kykenee myös tarjoamaan selityksen mobiililaitteiden lukuisiin erilaisiin ilmentymiin.

Malli lähtee ajatuksesta, että yritys löytää yksi yhteinen teoria liikkuvalla tietojenkäsittelylle ei ole sovelias lähestymistapa. Laitteiden käyttötarkoitukset ovat yksinkertaisesti liian erilaisia voidakseen tulla määritellyksi yhdellä kuvauksella. Mallin kantavana ajatuksena on, ettei laitteiden erilaisuus itsessään ole syy niiden erilaisiin käyttötarkoituksiin, vaan se on nimenomaan seuraus käyttäjien erilaisista vaatimuksista, joiden ajatellaan pohjautuvan erilaisiin mobiliteettitasoihin. Liikkuva tietojenkäsittely tarjoaa työkaluja hyvin erilaisiin tilanteisiin, joissa yksi käyttäjä hyötyy jo hyvin pienestä liikkumisen vapaudesta, mutta jollekin toiselle rajoituksia liikkumisen suhteen ei saa asettaa.

2.3.1 Mikromobiliteetti

Kuten jo termi mikromobiliteetti antaa ymmärtää, tässä mobiliteettitasossa on kysymys lyhyen toimintasäteen liikkuvuuden ja siellä tapahtuvan tietojenkäsittelyn mahdollistamisesta. Tämän tyyppinen liikkumisen vapaus on ehkä lähimpinä sitä ajatusta, joka monella on liikkuvasta tietojenkäsittelystä: tiedon etäprosessointia langattomassa ympäristössä. Vaikka liikkuva tietojenkäsittely tai mobiliteetti termeinä eivät vaadi minkäänlaisia langattomia datalinkkejä, on niiden merkitys hyvin voimakas mikromobiilissa ympäristössä. Mikromobiili ympäristö painottuu verkon yli tehtäviin tai tietoverkkoon tiukasti tukeutuviin tietojenkäsittelytehtäviin. Henkilökohtaisen tiedon hallinta ei tässä ole kovinkaan merkittävässä osassa, sillä tämän tiedon voi saada helposti jostain toisesta lähellä olevasta järjestelmän osasta.

Tyypillinen esimerkki mikromobiliteetista on tarvikevarasto, jossa työntekijöillä on mukanaan informaatiopäätteitä, joilla voidaan lukea tietoa keskusjärjestelmästä. Tällä tavoin voidaan tehostaa toimintaa, ja esimerkiksi havaittaessa jonkin tuotteen loppuminen varastohyllyltä, voidaan siitä raportoida välittömästi. Vastaavia tilanteita on jonkin tietyn tuotteen paikantaminen varastosta tai puuttuvan tavaran toimitusajan kysely. Edelliset esimerkit osoittivat erään mikromobiilille ympäristölle tyyppisen vaatimuksen: kyvyn toimittaa jokin tehtävä paikan päällä sen sijaan, että joutuisi kulkemaan, vaikkakin vain pienen matkan, jonnekin sitä suorittamaan. Monissa tapauksissa tämä säästää selkeästi myös aikaa sen lisäksi, että suoritettu tehtävä ei pääse unohtumaan, mikä mahdollisuus on aina olemassa, jos tehtävää joudutaan lykkäämään. [42].

Toinen tyypillinen käyttötilanne on informaation esittäminen jollekin. Esimerkiksi nykyään yhä suosittumpi langaton toimisto, joka perustuu kannettaviin tietokoneisiin ja langattomaan lähiverkkoon, mahdollistaa tämän tyyppisen käytön: käyttäjät voivat neuvotteluun mennessään napata tietokoneensa mukaan ja pystyvät esittämään sen avulla tarvittavia tietoja toisille. Vastaavia tilanteita löytyy monista muistakin työympäristöistä, kuten opetus- ja koulutuslaitoksista tai tuote-esittelyistä. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että liikkuva tietojenkäsittely tuo tällaisissa tapauksissa palvelut asiakkaiden luo [31].

Jos oletetaan, että jälkimmäisessä edellä esitetyistä käyttötilanteista data ei ole tallennettu paikallisesti, molempiin kuuluu oleellisesti tarve langattomaan tiedonsiirtoon. Erityisesti kokonaisuuden toiminnan kannalta on merkittävää, että jos siirrettävää tietoa on paljon, on yhteyden myös oltava nopea. Runkojärjestelmän ja mobiiliterminaalien on siis kyettävä saumattomaan yhteistyöhön. Riippumatta siitä, käytetäänkö palvelinpuolen komponentteja ainoastaan tietovarastoina vai suorittavatko ne osan tehtäväketjusta, on mikromobiilissa ympäristössä yleensä langattomuuden vaatimus käytännön järjestelmissä, vaikka itse mikromobiliteetti ei sitä määritelmänsä puolesta vaadikaan.

Mikromobiilin ympäristön tyypillisiä laitteita ovat toimisto-oloissa suurinäyttöiset kannettava tietokone sekä taulu-PC. Varastoympäristössä laitteet ovat toisenlaisia ja yleensä räätälöityjä juuri kulloiseenkin tehtävään. Pääasia näissä laitteissa on se, että ne ovat helposti käsillä ja niillä pääsee kiinni tietovarastoihin ilman, että on sidottu johonkin tiettyyn työpisteeseen.

2.3.2 Makromobiliteetti

Päinvastoin kuin pienelle alueelle rajoittuva mikromobiliteetti, makromobiliteetti ei aseta käyttäjän liikkumiselle mitään rajoituksia. Tosin aivan näin rajoittamatonta ympäristöä harvoin käytännössä saavutetaan, jolloin toiminta-alueen rajoittaminen hyvin laajalle, esimerkiksi valtion tai maanosan alueelle, voidaan sallia. Näissä tilanteissa toiminta-alue on kuitenkin niin laaja, että yleiset makromobiliteetin vaatimukset pätevät.

Makromobiilin ympäristön tietojenkäsittelylaite kulkee käyttäjänsä mukana koko ajan, minkä vuoksi se yleensä sisältää runsaasti käyttäjänsä henkilökohtaista tietoa.

Kuten luvussa 2.1 esitettiin, mobiilipäätteillä on kaksi päätehtävää: henkilökohtaisen tiedon hallinta sekä tietovarastojen etäkäyttö. Siinä missä mikromobiilissa ympäristössä jälkimmäinen on erityisen tärkeää, makromobiilissa ympäristössä ensimmäinen tehtävä korostuu. Syynä henkilökohtaisen tiedon hallinnan tärkeyteen on erityisesti se, että mobiilikäyttäjä on fyysisesti erillään muista, mutta kuitenkin hyvin useat työtehtävät vaativat kanssakäymistä muiden kanssa, mikä puolestaan vaatii runsaasti kalenteri-, kontakti- ym. tietoutta.

Koska makromobiililaitteita kannetaan koko ajan mukana, vaaditaan niiltä erityisesti pientä kokoa ja pitkää toiminta-aikaa. Toisaalta taas jotkut muissa ympäristöissä tärkeät ominaisuudet, kuten esimerkiksi nopea verkkoyhteys, ovat vähemmän tärkeitä tässä ympäristössä. Kun mikromobiliteetille olennainen nopea verkkoyhteys puuttuu tai se on korvattu hitaalla yhteydellä, voi makromobiililla laitteella kuitenkin yhä operoida.

Rajoittamattoman toimintaympäristönsä vuoksi makromobiili ympäristö pitää sisällään yleensä pitkien matkojen liikkuvuutta. Tästä huolimatta suinkaan kaikkia tietojenkäsittelylaitteiden kuljettamiseen liittyviä tehtäviä ei voida käsittää makromobiliteetiksi. Vaikka esimerkiksi kannettavan tietokoneen vieminen salkussa toimistosta toiselle paikkakunnalle ja sen käyttäminen siellä voisi pitkän välimatkan takia vaikuttaa makromobiililta käytöltä, ei se sitä suinkaan ole, vaan tässä kyseisessä esimerkissä kannettavaa laitetta käytetään kahdessa erillisessä mikromobiilissa ympäristössä. Laitetta ei siis käytetty matkalla ollenkaan eikä sitä myöskään kuljeteta yleisesti koko ajan mukana, eivätkä makromobiliteetin tyypilliset piirteet täten täyty. Tyypillisiä makromobiilin ympäristön laitteita ovat erilaiset taskukokoiset ja kädessä pidettävät tietojenkäsittelylaitteet.

2.3.3 Näennäismobiliteetti

Molemmat edellä käsitellyt mobiliteetin lajit perustuivat tietojenkäsittely-ympäristön fyysiseen kokoon. Myös näennäismobiliteetti perustuu tähän jossain määrin. Esimerkiksi Ye ym. [50] käyttävät näennäismobiliteetin termiä (quasi-mobility) kuvaamaan liikkuvuutta stadion- tai tehdasalueen laajuisesti. Koko ei kuitenkaan ole keskeisin asia määriteltäessä näennäismobiilia ympäristöä, vaan näennäismobiliteetissa olennaista on hyvin suuri liikkumisen vapaus tarkasti määritellyllä alueella: alueen rajaa tietojärjestelmän toimintasäde. Mobiililaitteen kaikkia ominaisuuksia voidaan käyttää

niin pitkään, kun pysytään järjestelmän toimintasäteen sisäpuolella, mutta poistuttaessa siitä menetetään merkittävä osa laitteen toiminnallisuuksista tai laite voi menettää toiminnallisuutensa kokonaan.

Eräässä mielessä se on mikro- ja makromobilitiitin välimuoto: makromobilitiitin kanssa yhteinen piirre on mahdollisuus hyvin vapaaseen liikkumiseen ja täten myös laitteen toiminta-ajan tarve, mikromobilitiitin kanssa yhteistä taas on se, ettei laitteen koolla ole niin suurta merkitystä, koska sitä ei välttämättä kanneta koko ajan mukana. Välimuotoroolia vahvistaa näennäismobilitiitin tyypillisten laitteiden tarkastelu: tähän ympäristöön ei voida asettaa mitään tiettyä tyypillistä laiteryhmää, vaan tapauskohtainen tarve määrittää käytetyn laitteen.

Vaikka näennäismobilitiittia kuvattiinkin edellä lähinnä kahden muun ympäristön hybridiksi, on sillä myös joitain omia erityispiirteitä, esimerkiksi verkkoyhteyden tarve: sitä ei tosin tarvita koko aikaa, mutta se on syytä saada tarvittaessa muodostettua.

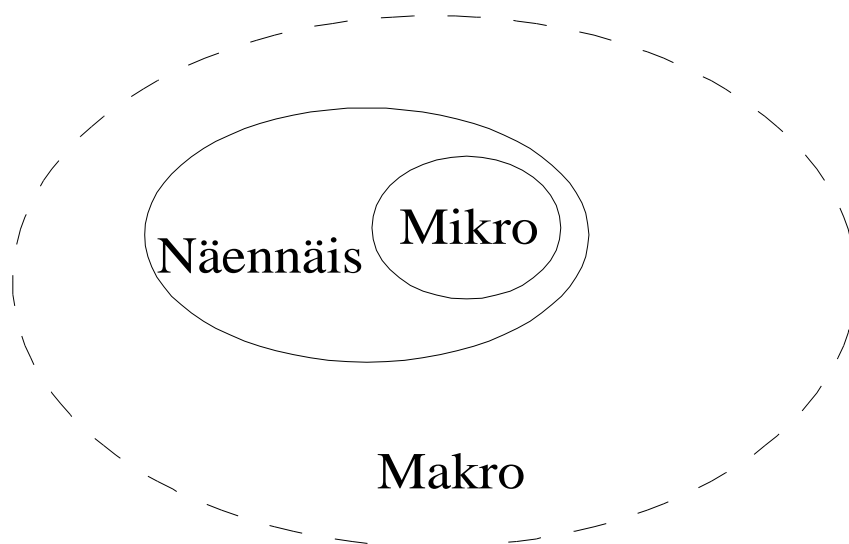
Esimerkkinä näennäismobiilista ympäristöstä voidaan antaa kampusalueelle levittäytyvä langaton lähiverkko. Liikkumisen vapaus on laajempaa kuin mikromobiilissa ympäristössä, sillä nyt ei rajoituta vain yhden rakennuksen rajaamaan alueeseen. Kuitenkin makromobiiliin ympäristöön verrattuna kampusalueella on selkeät rajat, joiden ulkopuolella merkittävä osa mobiililaitteiden toiminnallisuudesta menetetään: tässä tapauksessa menetetään ulkoinen verkkoyhteys.

2.3.4 Mobilitiittitasojen vertailua

Edellä määriteltiin kolme mobilitiittitasoa: mikro-, makro- ja näennäismobilitiitti. Määritelmän lisäksi kuvattiin niiden tyypillisimpiä piirteitä. Tämän alaluvussa tarkoituksena on verrata ympäristöjä toisiinsa niiden erojen ja erityispiirteiden havainnollistamiseksi.

Kuvassa 5 esitetään ympäristöjen kokojen suhteet toisiinsa. Kuvan mittasuhteet eivät ole merkityksellisiä, vaan ympäristöjen looginen asettelu. Mikromobilitiitissa on kyse aina liikkumisesta pienellä alueella, kuten toimistoissa tai varastohalleissa. Näennäismobilitiitti mahdollistaa suuremman alueen, mutta sekin kuitenkin rajoittuu selkeästi joihinkin fyysisiin rajoihin. Esimerkkinä tällaisista rajoista voidaan mainita kaupungin keskusta-alue. Makromobilitiitti on alueista suurin ja periaatteessa määri-

telmänsä perusteella sillä ei ole rajoja. Kuitenkin joitakin rajoituksia voidaan hyväksyä: esimerkiksi, jos toiminta on yhä mahdollista hyvin suurella alueella, kuten valtion tai maanosan sisällä, voidaan tämä laskea makromobiiliksi ympäristöksi.



Kuva 5. Mobiliteettitasojen fyysiset suhteet.

Vaikka kuvassa 5 kuvattiinkin mobiiliympäristöjen kokojen suhdetta toisiinsa, koko ei suinkaan ole ainoa ympäristöjä toisistaan erottava piirre. Olenaisia eroja on muun muassa laitteiden koolle asetettavissa rajoituksissa, virtalähteen kestossa, verkkoyhteyden tärkeydessä ja käytettyjen sovellusten yhteistoiminnallisuudessa runkojärjestelmien kanssa. Taulukkoon 1 on koottu edellä käsiteltyjen ympäristöjen eroavaisuudet näiden seikkojen suhteen.

Taulukko 1. Mobiiliympäristöjen vertailu.

	<i>Koko</i>	<i>Toiminta-aika</i>	<i>Langaton yht.</i>	<i>Integraatio</i>
<i>Mikro-mobiliteetti</i>	Vähemmän tärkeä	Vähemmän tärkeä	Tärkeä	Välttämätön
<i>Näennäis-mobiliteetti</i>	Vähemmän tärkeä	Merkittävä	Yleensä	Jossain määrin
<i>Makro-mobiliteetti</i>	Tärkeä	Tärkeä	Hidas riittävä	Lukusuunta

Mikromobiilissa ympäristössä laitteen koko ja toiminta-aika eivät ole kovin merkityksellisiä, sillä tässä ympäristössä on usein saatavilla täydennystä energiavarastoihin ei-

kä laitetta välttämättä tarvitse kantaa koko ajan mukana. Vastaavasti nämä ominaisuudet ovat hyvin merkittäviä makromobiilissa ympäristössä, koska varaenergiaa ei useinkaan ole saatavilla ja laite puolestaan kulkee käyttäjänsä mukana. Näennäismobiilissa ympäristössä näiden ominaisuuksien merkityksellisyys on hyvin tapauskohtaista, mutta yleisesti voidaan sanoa niillä olevan jonkin verran merkitystä, kuitenkin ei välttämättä kaikissa tapauksissa suurta.

Tietoliikenneyhteyksien suhteen mikromobiili ympäristö on hyvin vaativa: yhteys on tarpeellinen lähes aina ja siihen myös kohdistuu monesti korkeita laatuvaatimuksia esimerkiksi nopeuden ja turvallisuuden suhteen. Näennäismobiilissa ympäristössä selvittää pienemmillä laatuvaatimuksilla, mutta tässäkin tapauksessa yhteys on yleensä voitava muodostaa sitä tarvittaessa. Makromobiili ympäristö puolestaan ei aseta ehdottomia vaatimuksia verkkoyhteydelle, mutta monessa tapauksessa se tuo palveluihin lisäarvoa. Tässä ympäristössä myös hidas yhteys voidaan kokea täysin riittäväksi.

Viimeisenä taulukossa 1 on esitetty taustajärjestelmään integraation merkitys. Mobiilijärjestelmien integroimista osaksi muuta tietojärjestelmää pidetäänkin yhtenä huolen aiheena suunniteltaessa mobiilijärjestelmien käyttöönottoa [32]. Koska mikromobiili ympäristö muutenkin nojaa hyvin voimakkaasti tietoverkkoihin, voidaan sen tapauksessa sanoa integraation olevan välttämätöntä. Näennäismobiilissa ympäristössä myös on tarvittaessa voitava muodostaa yhteys tietovarastoihin, joten myös sen ollessa kyseessä integraatiolla on merkitystä, vaikkakaan ei aivan yhtä voimakas kuin mikromobiilissa tapauksessa. Makromobiilin ympäristön kohdalla luvussa 2.2.2 mainittiin tämän ympäristön tärkeäksi erityispiirteeksi henkilökohtaisen informaation hallinta ja todettiin tämän vaativan runsaasti kanssakäymistä muiden kanssa. Vaikka makromobiili käyttäjä tulee toimeen tarvittaessa ilman verkkoyhteyttä, antaa ainakin taustajärjestelmien lukumadollisuus sille runsaasti lisäarvoa, ja näistä onkin eri alojen ammattilehdissä runsaasti esimerkkejä (ks. esim. [15],[11]).

3 Innovaatioiden leviäminen

Edellinen luku keskittyi kuvaamaan tietojenkäsittelyn muuttumista ajasta ja paikasta riippumattomaan muotoon. Kuitenkaan itse muutosprosessista ei varsinaisesti kerrottu mitään. Tämän luvun tarkoituksena on valottaa uusien teknologisten kehitysaskelten leviämistä käyttäjäkunnan keskuudessa. Tällaisesta leviämisestä käytetään nimitystä innovaatioiden diffuusio, eli uutuuksien leviäminen. Teorian innovaatioiden leviämisen tyypillisistä piirteistä kehitti Everett M. Rogers 1960-luvun alussa (ks. [38]). Malleja ovat myöhemmin kehittäneet myös muut (ks. esim. Frankin ja Heikkilän [13] koonti asiasta).

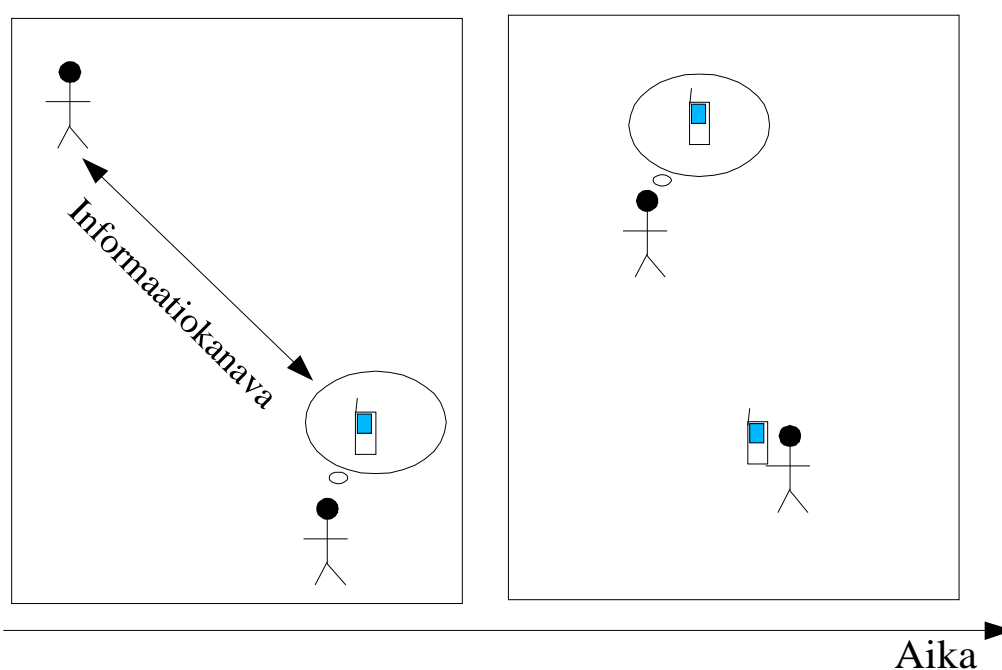
Tähän tutkimukseen valittiin tunnetuin ja yleisimmin käytetty innovaatioiden leviämistä kuvaava Rogersin malli. Malli tarjoaa pelkistetyn ja yksinkertaisen kuvan jonkin tietyn innovaation leviämisen prosessista. Malli valittiin tämän työn perustaksi siitäkin huolimatta, että kyseisen mallin ominaisuuksia on myös voimakkaasti kritisoitu. Esimerkiksi Heikkilä [16] pitää yhtenä vakavana puutteena sitä, ettei mallissa oteta lainkaan huomioon innovaation leviämisen mahdollisia vaikutuksia kyseisen innovaation hyödyllisyyteen: toisin sanoen innovaation käytön omaksumista Rogers pitää yksilön itsenäisenä päätöksenä, mutta Heikkilä painottaa myös ulkoisten tekijöiden vaikutusta. Puutteistaan huolimatta Rogersin malli sopii tässä tutkielmassa käytettäväksi, sillä innovaation diffuusiomallia käytetään ainoastaan antamaan peruste simulaatioissa käytetyille uuden teknologian omaksuneiden määrille.

3.1 Teoria innovaatioiden leviämisestä

Innovaation diffuusio on Rogersin [38] mukaan prosessi, jossa innovaatio leviää tietyn ajan kuluessa tiettyjen viestintäkanavien kautta tietyn yhteisön jäsenten keskuudessa. Innovaatiolla hän tarkoittaa ideaa, käytäntöä tai esinettä, jota yksilö tai muu käyttäjä pitää uutena. Vaikka yleinen käyttäytymistiede ei ota kantaa aikaulottuvuuteen, on se kuitenkin oleellinen osa diffuusioprosessissa, minkä vuoksi se mainitaan määritelmässä erikseen. Viestintäkanavaa puolestaan käytetään tietämyksen välittämiseen: sen avulla tieto innovaatiosta välittyy sitä tuntemattomalle yksilölle. Yhteisö muodostaa sosiaalisen systeemin, jossa toisiinsa jollakin tapaa liittyvät yksilöt pyrkivät yhdessä ratkaisemaan jonkin yhteisen ongelman.

Innovaatioiden diffuusioteorian mukaan diffuusioprosessissa on siis neljä tärkeää tekijää: innovaatio itsessään, leviämiseen kuuluva aika, innovaation olemassaolosta kertova informaatiokanava sekä sosiaalinen systeemi, jossa innovaatio leviää.

Kuvassa 6 on esitetty periaatekuva yhden innovaation leviämisestä. Kuvassa on sosiaalisen systeemin kaksi jäsentä, joista vasemmanpuoleisessa kuvassa alemmalla henkilöllä on jostakin saatua tietoa uudesta innovaatiosta, ja hän välittää tätä tietoa toiselle käyttäen informaatiokanavaa. Oikeanpuoleisessa kuvassa aikaa on kulunut vasemmanpuoleiseen kuvaan verrattuna. Tällä välillä alempi henkilö on jo omaksunut kyseisen innovaation käytön, ja ylemmälläkin henkilöllä on siitä tietoa, vaikka hän ei vielä olekaan omaksunut itse tämän innovaation käyttöä.



Kuva 6. Tekijät innovaatioiden leviämisprosessissa.

Itse innovaatiota tarkasteltaessa voidaan kiinnittää huomiota viiteen seikkaan. Ensimmäkin arvioidaan sen tuomaa suhteellista hyötyä. Tällöin tutkitaan sitä, miten paljon innovaatio on edeltäjäänsä parempi. Toinen tarkasteltava seikka on yhteensopivuus: se, miten hyvin innovaatio on sopusoinnussa mahdollisten omaksujien arvojen, kokemuksien ja tarpeiden kanssa. Kolmantena näkökulmana on innovaation mukanaan tuoma kompleksisuus. Uusi tapa tai menetelmä muuttaa aina vallitsevia käytäntöjä ja onkin tärkeää tarkastella uutuuden käyttöönoton vaikeutta. Neljäs tekijä on kokeilu-

mahdollisuus eli se, missä määrin innovaatiota pystyy kokeilemaan rajoitetusti ennen käyttöönottoa. Helposti kokeiltava innovaatio omaksutaan helpommin kuin sellainen, jossa kokeilumahdollisuutta ei ole. Viimeinen huomioon otettava asia on innovaation havaittavuus. Mitä helpommin innovaation tuoma hyöty on havaittavissa sosiaalisen systeemin muille jäsenille, sitä todennäköisemmin se myös päättyy laajempaan käyttöön.

Innovaatioiden leviämisen aikaperspektiiviä voidaan tarkastella kolmelta eri kannalta. Yksi mahdollisuus on tarkastella yksilön käyttämää aikaa, joka kuluu päätösprosessiin, eli ajanjaksoa ensimmäisestä tiedonsaannista käyttöönotto- tai hylkäyspäätökseen. Toinen tapa on tarkastella kiinteitä aikavälejä ja havainnoida tällä aikavälillä omaksujien lukumäärä. Kolmas aika-aspekti on tarkkailtavien yksilöiden innovatiivisuus, millä tarkoitetaan ajanhetkeä, jolloin hän omaksuu innovaation käytön. Viimeksi mainittu näkökulman on tämän tutkimuksen kannalta tärkein. Seuraavassa alaluvussa kuvataan innovaation omaksumishetken mukaan ryhmiteltyjä käyttäjiä, joita tullaan käyttämään myöhemmin innovaation leviämisen vaikutusta tutkivassa simulatiomallissa.

Innovaatio siis leviää viestintäkanavan kautta. Jotta diffuusio voi tapahtua, tarvitaan luonnollisesti uusi innovaatio. Lisäksi tarvitaan kaksi sosiaalisen systeemin yksilöä, joista toisella on tieto innovaatiosta ja toisella ei. Näiden kahden välillä on oltava jonkinlainen kanava, jota pitkin tieto innovaatiosta kulkee. Viestintäkanavia voi olla erilaisia: tieto voi kulkea suoraan yksilöltä toiselle tai se voi myös levitä joukkotiedotusvälineiden kautta. Jälkimmäisessä tapauksessa innovaatiosta tiedottava yksilö on joukkotiedotusvälineen sisällöntuottaja ja vastaanottava osapuoli taas on jokin joukkotiedotusvälineen kuluttajista. Kanava ei siis aina ole pelkästään kahdenkeskeinen, vaan siksi voidaan laskea mikä tahansa menetelmä, jolla tietoa voidaan välittää sosiaalisen systeemin sisällä.

Sosiaalisessa systeemissä on tiettyjä rakenteita, jotka vaikuttavat yksilöiden väliseen kommunikointiin. Systeemin sisällä on vakiintuneita kommunikaatioverkostoja, joiden sisällä kommunikointi on todennäköisempää kuin kaikkien jäsenten välillä keskimäärin. Yhteisön kommunikaatorakenne voi edistää tai haitata innovaatioiden leviämistä systeemin sisällä.

3.1.1 Innovatiivisuusryhmät

Ihmiset jaetaan innovaatioiden diffuusioteorian mukaan ryhmiin sen perusteella, missä vaiheessa he omaksuvat kyseisen innovaation käytön. Jaottelun mukaan ryhmiä on viisi, ja nämä omaksuvat innovaation käytön seuraavassa järjestyksessä: innovaattorit, aikaiset omaksujat, aikainen enemmistö, myöhäinen enemmistö ja vitkastelijat. Kaikilla ryhmillä on oma tärkeä roolinsa innovaatioiden leviämisessä.

Innovaattorit ovat innokkaita kokeilemaan uusia asioita ja halukkaita jopa riskinottoon. Tämän kiinnostuksen ansiosta heidän sosiaalinen elämänsä ei rajoitu pelkästään paikallisiin ympyröihin, vaan heillä on runsaasti sosiaalisia suhteita myös laajemmalti. Lisäksi he kommunikoivat innokkaasti muiden kanssa, vaikka kumppani olisikin maantieteellisesti etäällä. Innovaattorilla tulee olla käytössään riittävästi varallisuutta, jotta hän voi kompensoida riskinotossa mahdollisesti tulevia tappioita. Samaan riskinottoon liittyvänä ominaisuutena heillä on korkea epävarmuuden sietokyky. He myös pystyvät ymmärtämään ja käyttämään hyväkseen monimutkaistakin teknistä tietoa. Innovaattoreilla on hyvin merkittävä rooli innovaatioiden diffuusioprosessissa: he tuovat omaan sosiaaliseen systeemiinsä ideoita sen ulkopuolelta ja täten he säätelevät innovaatioiden virtaa systeemien välillä.

Innovaattoreiden jälkeen innovaation ottavat käyttöönsä aikaiset omaksujat. Myös heillä on tärkeä rooli innovaatioiden leviämisessä, sillä heidän omaksumiskäyttäytymisensä vaikuttaa enemmistön suhtautumiseen innovaatiota kohtaan. Aikaisten omaksujien oletetaan tekevän ratkaisunsa järkiperaisten syiden pohjalta. Heitä pidetään yleensä mielipidejohtajina, jolloin heidän positiivinen suhtautumisensa vähentää yhteisön jäsenten epävarmuutta liittyen uutuuden käyttöön.

Aikainen enemmistö muodostuu käyttäjistä, jotka omaksuvat innovaation juuri ennen keskivertokäyttäjää. He seuraavat toisten kulutuskäyttäytymistä ja ottavat mielellään käyttöön hyväksi havaitut innovaatiot. Aikainen enemmistö on sosiaalisesti säännöllisen aktiivista, mikä tekee heistä tärkeän linkin innovaatioiden diffuusioketjussa, sillä he välittävät tietoa myös hitaasti omaksuvien keskuuteen.

Myöhäinen enemmistö puolestaan koostuu käyttäjistä, jotka omaksuvat innovaatiot juuri keskivertokäyttäjän jälkeen. He ovat luonteeltaan skeptisiä eivätkä halua muuttaa vallitsevaa asioiden tilaa ennen kuin se alkaa olla taloudellisesti tai ympäristön paineen vuoksi lähes välttämätöntä.

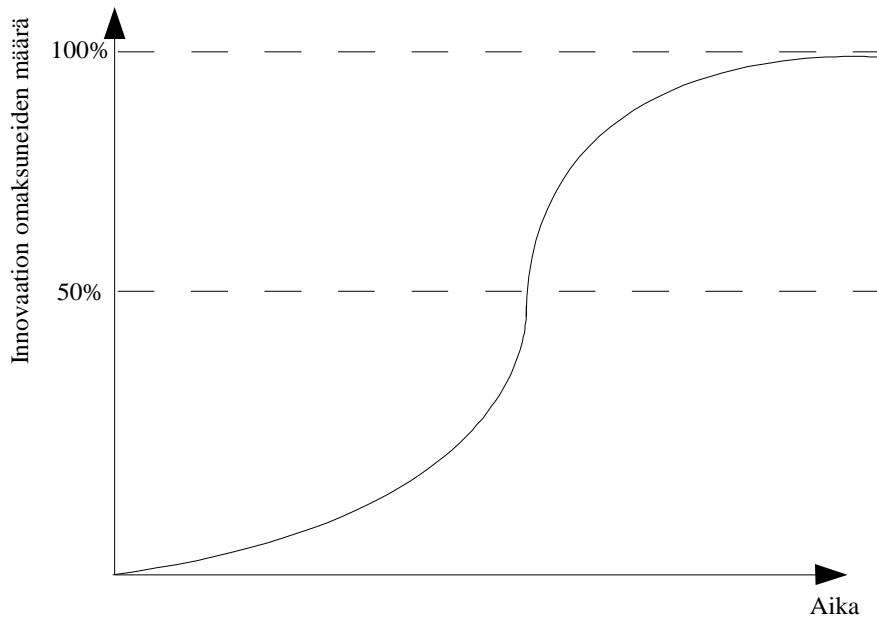
Viimeisenä innovaatiot tavoittavat vitkastelijoiden joukon. Tässä joukossa sosiaalinen aktiivisuus on vähäistä, ja he voivat olla jopa erakkoja. He arvostavat perinteisiä arvoja sekä tapoja ja kommunikoivat lähinnä vain muiden kaltaistensa kanssa. Vitkastelijat ovat hyvin epäluuloisia muutoksia kohtaan. Heidän lopulta ottaessaan innovaation käyttöön on se jo yleensä vanhentunut ja innovaattoreilla on jo jokin korvaava menetelmä käytössään.

Yleisesti voidaan todeta, että aikaisemmin innovaation omaksuvilla ryhmillä on enemmän sosiaalisia kontakteja sekä oman yhteisönsä sisällä että sen ulkopuolelle kuin myöhemmin tulevilla. He liikkuvat enemmän, etsivät aktiivisesti tietoa ja käyttävät aktiivisemmin tiedonvälityskanavia.

3.1.2 Innovaatioiden leviäminen sosiaalisessa systeemissä

Innovaatioiden leviämisen sosiaalisen systeemin sisällä on todettu noudattavan tiettyä mallia. Jos seurataan niiden sosiaalisen systeemin jäsenten määrää, jotka ovat omaksuneet jonkin innovaation käytön, muodostaa tämä määrä kuluvan ajan funktiona S-muotoisen kuvaajan (ks. kuva 7). Käyrän leveys vaihtelee sen mukaan, miten nopeasti innovaatio leviää, mutta perusmuodostaan se on sama. Kuten kuvasta 7 voidaan havaita innovaation leviäminen alkaa hitaasti, nopeutuu vähitellen, kunnes päästään 50% levinneisyysasteeseen. Tämän jälkeen leviäminen taas alkaa hidastua ja jatkaa hidastumistaan lähestyessään 100% levinneisyysastetta.

Kuvan 7 mukaisen funktion kuvaajan muoto voidaan selittää sosiaalisen systeemin jäsenten erilaisilla innovatiivisuusasteilla. Aikaisessa vaiheessa innovaation omaksuvia innovaattoreita on vain vähän, minkä vuoksi leviäminen käynnistyy hitaasti, mutta kun enemmistökin kiinnostuu innovaatiosta kasvaa leviämistä nopeasti ja hidastuu taas, koska jäljellä ovat enää vitkastelijat, jotka välttävät uusien innovaatioiden omaksumista viimeiseen asti. Innovatiivisuusryhmien osuudet on esitetty taulukossa 2.



Kuva 7. Innovaation omaksuneiden osuus sosiaalisessa systeemissä.

Taulukko 2. Innovatiivisuusryhmät

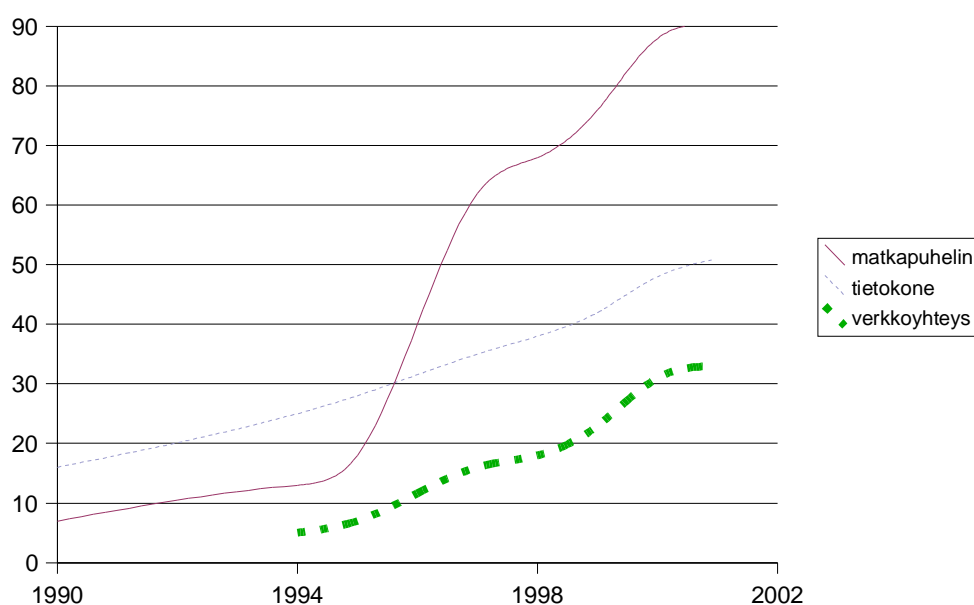
<i>Innovatiivisuusryhmä</i>	<i>Osuus</i>
Innovaattorit	2,5 %
Aikaiset omaksijat	13,5 %
Aikainen enemmistö	34 %
Myöhäinen enemmistö	34 %
Vitkastelijat	16 %

Innovaattoreiksi lasketaan kuuluvan vain 2,5 % sosiaalisen systeemin jäsenistä. Heidän jälkeensä seuraavaksi helpommin uudet innovaatiot omaksuvia aikaisia omaksujia on 13,5 %. Tavalliset käyttäjät jaetaan kahteen ryhmään, aikaiseen ja myöhäiseen enemmistöön, joiden kummankin osuus on 34 %. Aikaisen enemmistön omaksuttua uuden innovaation käytön on tämän innovaation levinneisyysaste kokonaispopulaatiossa 50 %. Normaalikäyttäjien jälkimmäisen puoliskon, myöhäisen enemmistön jälkeen jäljellä on vain vitkastelijat, joiden osuus on 16 %.

Edellä kuvattiin innovaatioiden leviämisteoria Rogersin mukaan. Seuraavaksi luodaan katsaus siihen, miten käyttäjätilastojen valossa tämä innovaatioiden leviämisteoria pitää paikkansa.

3.2 Korkean teknologian innovaatioiden leviäminen Suomessa

Tässä luvussa on tarkoitus tarkastella joidenkin tutkielman kannalta merkityksellisten innovaatioiden leviämistä. Viime aikoina Suomeen levinneitä innovaatioita ovat mm. matkapuhelin, tietokone ja kotitalouksien Internet-yhteys. Näistä matkapuhelin ja tietokone ovat merkittäviä tutkielman kannalta, koska ne totuttavat ihmisiä tekemään arkipäiväisiä askareita teknisten välineiden avulla "vanhanaikaisten" välineiden sijasta. Internet-yhteys taas on merkityksellinen, koska sen myötä käyttäjien ei enää tarvitse säilöä kaikkea informaatiota itsellään, vaan opitaan hyödyntämään muualta verkko-ympäristöstä löytyviä resursseja. Näiden kolmen innovaatio leviäminen maahamme esitetään kuvassa 8.



Kuva 8. Eräiden innovaatioiden leviäminen Suomessa [44],[45],[46].

Kuvasta voidaan havaita, että matkapuhelin on lyönyt itsensä läpi kahta muuta innovaatiota nopeammin, ja onkin ainoa näistä, joka on saavuttanut kuvassa 7 mainitun kaltaisen S-muotoisen käyrän, toisin sanoen vain se on levinnyt yhteiskunnassamme jo lähes kaikille. Toisilla kahdella innovaatiolla levinneisyysaste on vielä niin alhainen, etteivät ne vielä ole saavuttaneet S-muotoa, mutta se tulee tapahtumaan tulevaisuudessa, joskin S-kirjaimista tulee toki loivempia.

Mikä sitten tekee matkapuhelimesta niin houkuttelevan innovaation, että se on levinnyt paljon muita nopeammin? Luvussa 3.1 esitettiin viisi tekijää (suhteellinen hyöty,

yhteensopivuus, kompleksisuus, kokeilumahdollisuus ja havaittavuus), joiden perusteella tätä houkuttelevuutta voidaan selittää.

Suhteellisella hyödyllä tarkoitetaan sitä, miten paljon innovaatio on edeltäjänsä parempi. Matkapuhelimen tapauksessa suhteellisen hyödyn saavuttaminen on helppoa, koska aiemmin ei oikeastaan ole ollut vastaavaa laitetta, joka pitäisi syrjäyttää. Toki matkapuhelimella on yhteneväisyyttä mm. lankapuhelimeen, mutta sen käyttötapa on monella tapaa erilainen. Pikemmin kuin suora lankapuhelimen korvaaja matkapuhelin on yhdistelmä lankapuhelimen ja joidenkin palveluiden (esim. kalenteri, puhelinmuistio, postikortti, elektroniikkapeli) ominaisuuksista, ja täten sen on ollut helppo korvata aiemmin käytettyjä menetelmiä ja tapoja.

Toisena tekijänä mainitun yhteensopivuuden voidaan ajatella tarkoittavan sitä, miten hyvin innovaatio sopii mm. käyttäjänsä tarpeisiin ja miten kyseisen innovaation leviäminen vaikuttaa sosiaaliseen systeemiin. Kuten edellisessä kohdassa mainittiin, matkapuhelin palvelee monia eri tarpeita. Lisäksi matkapuhelimesta on tullut jo niin yleinen, että tämä yleisyys aiheuttaa lopuillekin ihmisille helposti tarpeen matkapuhelimen hankintaan: koska toisetkin käyttäjät ovat tavoitettavissa milloin tahansa, on itselläkin oltava laite käytössä, jossa voisi tavoittaa toisen milloin haluaa. Suomalaisessa yhteiskunnassa alkaa olla vaikea selvittää ilman matkapuhelinta, koska sitä pidetään jo itsestäänselvyytenä: esimerkiksi puhelinkoppeja ei enää juuri ole, ja ihmiset olettavat, että toisiin saa yhteyden ajasta ja paikasta riippumatta. Näin ollen suomalaisen yhteiskunnan kommunikaatorakenne on alkanut suosia tämän kyseisen innovaation leviämistä (vrt. luku 3.1).

Kolmas innovaation leviämiseen vaikuttava seikka oli kompleksisuus eli se, miten helppoa tai vaikeaa innovaation käyttöönotto on. Perustoiminta eli puhuminen on matkapuhelimella varsin samankaltaista lankapuhelimeen verrattuna. Myöskään laitteen käyttöönottoa ei voida pitää vaikeana, sillä tarvittaessa itse laitteen ja sen käyttöön vaadittavan liittymän saa yleensä käyttövalmiina liikkeestä; laitteen joutuu korkeintaan itse lataamaan. Verrattuna esimerkiksi kuvassa 8 olleisiin tietokoneeseen ja Internet-yhteyteen matkapuhelimen käytön aloittamista voidaan siis pitää helppona: ei ole tarvetta yhdistellä johtoja, asentaa ohjelmia tms.

Neljäntenä seikkana mainittu kokeilumahdollisuus on matkapuhelimella mukana kannettavana laitteena varsin hyvä: tuttavahan kännykkää on helppo lainata tarpeen tullen.

Vertailukohtana voitaisiin ajatella jotakin kiinteää kodinkonetta, esimerkiksi pesukonetta. Harva lienee kokeillut pestä pyykkinsä tuttavan koneella ennen omaa ostopäätöstä.

Viimeisenä leviämiseen vaikuttavana asiana on mainittu innovaation havaittavuus. Mukana kannettavalla laitteella myös tämä ominaisuus on merkittävä. Matkapuhelimella havaittavuus on siksikin erityisen suuri, että sitä ei pelkästään kanneta aina mukana, vaan sitä pyritään myös mielellään esittelemään muille [23].

Matkapuhelinten nopea yleistyminen on tehnyt niistä kiinnostavan tutkimuskohteen. Niiden leviämisen mallintamista ovat tutkineet esimerkiksi Mäkinen ja Jaakkola [28]. He ovat huomanneet matkapuhelinten leviämisen olevan yhteydessä mm. kulttuurien piirteisiin, ja leviäminen onkin nopeinta sellaisissa kehittyneissä maissa, joissa paikallinen kulttuuri sisältää paljon kommunikointia.

Vaikka edellä onkin käsitelty matkapuhelinlaitteiden nopeaa leviämistä ja sen syitä, käytetään sitä suurimmaksi osaksi hyvin rajoitetusti. Seuraavaksi esiteltävät vertaisverkot tarjoavat seuraavan sukupolven älykkäille matkapuhelimille uuden sovelluskohteen, jolla on mahdollisesti vaikutusta laitteiden käytön odotettuun monipuolistumiseen.

4 Vertaisverkot

Yksi tämän tutkimuksen keskeisistä tavoitteista on tutkia innovaatioiden leviämisen vaikutusta. Tarkkailtava levittäytyvä innovaatio on mobiili vertaisverkko ja tämän luvun tarkoituksena on luoda lukijalle kuva siitä, mikä tämä kyseinen innovaatio on, miksi sellaisen leviäminen on kiinnostavaa ja minkä vuoksi sen uskotaan leviävän.

Vertaisverkkojärjestelmät ovat saaneet viime aikoina runsaasti huomiota osakseen. Toisaalta tämä huomio on tehty arkielämän uutisoinneissa, joissa Internetin välityksellä tavalliset ihmiset levittävät erilaista materiaalia vertaisverkkojen kautta, ja toisaalta myös tiedemaailmassa, jossa pyritään etsimään mahdollisimman hyviä ja tehokkaita algoritmeja vertaisverkkojen toimintaa tehostamaan. Syy siihen, miksi vertaisverkot ovat päätyneet arkipäiväisiin medioihin, on niiden yleistyneessä laittomassa käytössä: vaikka itse järjestelmässä ei mitään laitonta olekaan, käytetään niitä laajalti tekijänoikeudellisten materiaalien, kuten musiikin ja elokuvien, laittomaan levitykseen. Tämän medianäkyvän väärän käyttötavan lisäksi vertaisverkkoja voidaan käyttää myös monenlaiseen hyötytarkoitukseen, mistä osoituksena on niiden huomattavan laaja kiinnostavuus tiedemaailmassa, ja minkä vuoksi myös tämä tutkimus keskittyy niihin.

Vertaisverkkojen ehkä suurin viehätys on niiden kyvyssä valjastaa verkon resursseja, kuten laskentatehoa, varastotilaa ja tiedonsiirtokapasiteettia paljon perinteitä asiakas-palvelin-arkkitehtuuria tehokkaammin. Verkon resurssien hyödyntäminen lähtee siitä periaatteellisesta erosta, että vertaisverkoissa ei ole yhtä ainutta palvelusta vastaavaa laitetta, vaan vastuu jaetaan verkon solmujen kesken. Tästä siis nimitys vertaisverkko. Peng ym. [36] luonnehtivatkin teknisten eroavaisuuksiensa lisäksi vertaisverkkojen olevan uusi, erilainen filosofia verrattuna perinteiseen asiakas-palvelin-arkkitehtuuriin.

Asiakas-palvelin-järjestelmällä on monia etuja, joiden vuoksi sitä on perinteisesti käytetty: asiakaspuolelta ei vaadita suuria resursseja ja järjestelmien ylläpito on yksinkertaista keskitetyn luonteensa vuoksi. Toisaalta nämä aiemmin vahvuutena kuvatut piirteet ovat kääntymässä haitoiksi verkkoon liitettyjen laitteiden määrän kasvun myötä. Asiakas-palvelin järjestelmät eivät pysty tulevaisuudessa skaalautumaan yhä kasvavan asiakasmäärän aiheuttaman kuorman lisääntyessä, ja toisaalta näiden asiakaslait-

teiden yhtä nopeasti kasvaneita paikallisia resursseja ei saada hyötykäyttöön [25]. Parmeswaran ym. [35] kuvaavatkin näiden kahden järjestelmän eroja siten, että asiakas-palvelin järjestelmässä tietoverkot ovat toiminnan vaatima osa, mutta vertaisverkko-järjestelmä keskittyy tästä tietoverkosta löytyvien resurssien hyödyntämiseen.

Tällä hetkellä verkkoon liitettävien laitteiden laskenta- ja tallennuskapasiteetit ovat jo sellaisella tasolla, että suurimman osan ajasta koneet käyttävät ainoastaan murto-osaa niistä. Ja koska tällainen ylimääräinen lisäresurssi on jo olemassa hyvin vähäisellä käytöllä, voidaan sen hyödyntämistä pitää perusteltuna. Vertaisverkkojärjestelmät siis tarjoavat erilaisen vaihtoehdon perinteisille asiakas-palvelin-järjestelmille. Niissä hyödynnetään verkosta löytyvää yhä kasvavaa kapasiteettia sen sijaan, että keskitettäisiin kaikki toiminta yhteen pisteeseen, joka täten joutuu hyvin suuren kuormituksen kohteeksi [2].

Vertaisverkoista on alettu puhua vasta viime aikoina enemmän ja tämän suhteellisen nuoren tutkimuskohteen terminologia on vielä varsin vakiintumatonta. Esimerkiksi Nakamura ym. [29] sekä Oh-ishi ym. [30] jakavat vertaisverkot aitoihin vertaisverkkoihin, joissa kaikki verkon solmut ovat tasa-arvoisia, ja hybridiverkkoihin, joissa osalla verkkosolmuista on toisia keskeisempi rooli. Vastaavasti Walkerdine ym. [48] käyttävät vastaavasta jaottelusta nimityksiä hajautettu ja puolikeskitetty, joista hajautetussa vertaisverkkojärjestelmässä kaikki solmut ovat tasa-arvoisia, kun taas puolikeskitetyssä on vähintään yksi kontrollisolmu, jolla on verkkoon liittyviä hallinnollisia tehtäviä.

Asiakas-palvelin-järjestelmään verrattuna vertaisverkkojärjestelmässä käyttäjällä on aktiivinen rooli informaation tuottamisessa. Nyt käyttäjä ei enää vain passiivisesti hyödynnä palvelimella tarjolla olevia resursseja, vaan toimii itse myös uuden informaation tuottajana [35]. Lukuisien uusien informaation tuottajien ansiosta tietoverkoista pystyy saamaan yhä enemmän ja yhä monipuolisempaa informaatiota. Toisaalta informaation paljouskin tuo omat ongelmansa, mutta vertaisverkkojen uskotaan saavuttavan erittäin merkittävän roolin tulevaisuudessa, kunhan menetelmät kutakin käyttäjää kiinnostavan tiedon etsimiseksi informaatiomassasta kehittyvät riittävästi [37].

Toki myös vertaisverkkojen käytössä on omat ongelmansa. Koska koko järjestelmä perustuu siihen, että resurssit ovat hajautettuina ympäri verkkoa, aiheutuu näiden re-

surssien käytöstä hyvin suurta kuormaa itse verkolle [2], mutta kuten Kurmanowytsh ym. [24] toteavat, tällä hetkellä tehdään paljon tutkimusta juuri tämän verkkoresurssin käytön optimoimiseksi. Lisäksi vertaisverkkojärjestelmässä menetetään se asiakaspalvelin-järjestelmän etu, että käyttäjän, siis asiakkaan, laitteelta ei vaadita suuria resursseja [30], mutta toisaalta näissä paikallisissa laitteissa käyttämättöminä olevien resurssien hyödyntämisen myös todettiin edellä olleen yksi keskeinen tekijä vertaisverkkojärjestelmien kehittämisessä.

4.1 Mobiilit vertaisverkot

Vertaisverkkojen ohella toinen varsin suurta huomiota tiedemaailmassa viime aikoina saanut teknologia ovat rakenteettomat mobiiliverkot, MANET (mobile ad hoc network). Nämä kehitettiin Yhdysvaltojen puolustusministeriön tutkimusviraston (DARPA) projektissa 1970 luvun alussa [40] ja nyttemmin ne ovat siis päätyneet myös siviilikäyttöön. Rakenteeton mobiiliverkko on sellaisen langaton liikkuvien verkkosolmujen muodostama verkko, jossa ei ole mitään ennalta määrättyä rakennetta, ja jossa verkon solmut kommunikoivat keskenään toistensa välityksellä [10].

Verrattaessa rakenteettomia mobiiliverkkoja ja vertaisverkkoja toisiinsa voidaan näistä löytää tiettyjä samankaltaisuuksia. Ensinnäkin kummassakaan järjestelmässä ei ole toimintaa kontrolloivaa keskussolmua. Toinen yhtenevä piirre on, että molemmissa järjestelmissä verkkotopologia on jatkuvan muutoksen kohteena, mistä johtuen yksi suurimmista ongelmista kummassakin on viestien välittäminen kahden solmun välillä. Vaikka näillä kahdella järjestelmällä onkin hyvin samankaltaisia piirteitä, on kuitenkin tärkeätä huomioida, että ne toimivat eri kerroksilla tietoverkkojen abstraktiotasojen määrittelyn perusteella: rakenteettomat mobiiliverkot koskettavat verkkokerrokseen liittyviä määritelmiä, kun taas vertaisverkot kuuluvat sovelluskerrokselle [10]. Nyt näiden kahden toisiaan muistuttavan järjestelmän yhdistäminen on nousemassa seuraavaksi tiedemaailmaa kiinnostavaksi tutkimushaasteeksi, ja se on myös tämän tutkielman aiheena. Yhdistelmästä käytetään nimitystä mobiili vertaisverkko, MP2P (Mobile Peer-to-Peer).

Näiden kahden teknologian yhdistäminen ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Sovelluskerroksella toimivat perinteiset vertaisverkkoprotokollat eivät ole tietoisia alempien verkkokerrosten toiminnasta, joten ne eivät myöskään voi tietää toimivatko ne

esimerkiksi kiinteässä verkossa vai rakenteettomassa mobiiliverkossa. Esimerkiksi rakenteettomassa mobiiliverkossa kahden verkkosolmun välisen yhteyden menettäminen on tavallista solmujen liikkeen vuoksi, ja verkkoyhteyden katketessa vertaisverkkosovellus pyrkii muodostamaan yhteyden uudelleen, mikä onkin kiinteässä verkossa mielekästä. Kuitenkin vaihtuvan verkkotopologian vuoksi tämä yhteys ei välttämättä olisi enää edullisin vaihtoehto, vaan tilanne tulisi tutkia uudelleen [40].

Ottaen huomioon molempien järjestelmien erityispiirteet Charas [9] luonnehtii mobiilia vertaisverkkojärjestelmää kolmen erityispiirteen avulla seuraavasti: 1) Mobiilissa vertaisverkossa on täydellinen yhteystavan valinnan vapaus ja mitä tahansa yhteystapa tulee voida käyttää. Eli varsinaisella langattomuudella ei tässä ole merkitystä, vaan periaatteessa myös langallisia yhteyksiä voidaan käyttää langattomien ohella. Tärkeintä tässä on liikkuvuus, jota ei tässä yhteydessä rinnasteta langattomuuteen aivan kuten sitä ei rinnasteta liikkuvan tietojenkäsittelyn määritelmässäkään (ks. luku 2.2). 2) Palveluiden on oltava täysin riippumattomia viestin välitykseen käytettävistä menetelmistä ja välineistä. Tämä ominaisuus on suoraan riippuvainen ensimmäisen kohdan yhteystavan valinnan vapaudesta, mutta lisävaatimuksena tulee myös käytettyjen verkko- ja kuljetusprotokollien yhteensopiminen. 3) Käyttäjän ja käytetyn palvelun tunnistaminen tapahtuu ilman keskitettyä hallintomenettelyä, koska mobiilissa vertaisverkossa ei tällaista voida tarjota. Täten käyttäjän vastuulle jää lopulta vastuu tunnistamisen tekemisestä: miten tunnistaminen suoritetaan ja millaisia apuvälineitä tähän käytetään? Mahdollisia tunnistuskeinoja ovat esimerkiksi SIM-kortit, digitaaliset sertifikaatit ja älykortit.

Mobiilin vertaisverkkojärjestelmän teknisistä syistä johtuen siinä on perinteiseen vertaisverkkoon verrattuna joitakin erityisiä rajoituksia, jotka johtuvat käytössä olevan tiedonsiirtokapasiteetin vähydestä, epäluotettavista yhteyksistä sekä itse mobiililaitteiden ominaisuuksien asettamista rajoituksista [36]. Näin ollen palveluiden saatavuus ja niiden laatuominaisuudet nousevatkin hyvin merkittävään asemaan mobiileissa vertaisverkkojärjestelmissä [27]. Koska nykyiset vertaisverkkosovellukset eivät pysty käsittelemään edellä lueteltujen kaltaisia uusia ongelmia, tulee syntymään uusi tarve erilaisille väliohjelmistoille, joilla paikataan tätä aukkoa sovellusten ja varsinaisen tiedonvälittämisen välillä, ellei sitten nykyisiä vertaisverkkosovelluksiamme muokata kokonaan uusiksi [17].

Vertaisverkkoajattelusta on tulossa yhä merkittävämpää sen tarjotessa mahdollisuuden hyödyntää nopeasti lisääntyvien mobiililaitteiden yhä kasvavaa resurssitarjontaa. Toisaalta vielä tällä hetkellä mobiililaitteiden tiedonsiirtokapasiteetti ja energiavaroitukset ovat vielä kovin rajallisia ja vertaisverkkoajattelun laajentaminen näihin rajallisiin resursseihin herättää mahdollisesti jonkin verran varautuneisuutta. Kuitenkin, jos säävutetaan riittävä määrä käyttäjiä mobiileille vertaisverkoille, tullaan tilanteeseen, että järjestelmästä saatava hyöty korvaa siitä aiheutuneet kustannukset [27].

4.2 Informaation välittyminen vertaisverkoissa

Kuten edellä todettiin, on sekä vertaisverkoissa että rakenteettomissa mobiiliverkoissa yhtenä suurimmista ongelmista viestin välittyminen toisten verkkosolmujen kautta jatkuvasti muuttuvassa verkkotopologiassa. Tarkasteltaessa tätä viestien välittämistä hieman tarkemmin voidaan tapaukset jakaa kahteen ryhmään: pyynnöstä tapahtuvaan viestin välittämiseen ja aktiiviseen automaattiseen viestintään. Molempiin näihin tapoihin löytyy kuvaavat esimerkit reititysinformaation välittymisestä, jolla onkin hyvin merkittävä osuus verkkosolmujen välisestä viestinnästä yleisesti.

Kumpaakin tapaa voidaan soveltaa rakenteettomien mobiiliverkkojen tapaukseen, mutta aktiivinen reititysinformaation päivittäminen aiheuttaa hyvin suurta ylimääräistä kuormaa verkkoliikenteeseen, koska verkkosolmujen liikkuaessa kaikille solmuille tulee myös välittää tämä uusi muuttunut verkkotopologia. Aktiivinen reititysinformaation keräys sopiikin paremmin kiinteisiin, rakenteellisiin verkkojärjestelmiin, joissa tapahtuu huomattavasti harvemmin muutoksia verkkosolmujen välisissä linkeissä. Pynnöstä tapahtuva reitin etsiminen puolestaan soveltuu rakenteettomien mobiiliverkkojen tilanteeseen, jossa paras reitti kohden solmun välille selvitetään juuri silloin, kun sille on tarvetta.

Molemmille edellä esitellyille esimerkkitapauksille on yhteistä se, että niissä välitettävä viesti kulkee toisten verkkosolmujen kautta. Tämä onkin ainoa tapa välittää viesti kahden sellaisen solmun välillä, jos näillä ei ole yhteistä tiedonsiirtolinkkiä. Mobiilissa vertaisverkossa tilanne kuitenkin muuttuu sen myötä, että solmujen liikkuaessa niillä on mahdollisuus jossakin vaiheessa päätyä sellaisen verkkosolmun läheisyyteen, jolla on hallussaan halutunlaista tietoa tai jolle halutaan välittää jotakin tietoa. Koko järjestelmä yksinkertaistuu, jos rajoitutaan tilanteeseen, jossa viestinvälitykseen ei käytetä-

kään muita sivullisia verkkosolmuja, vaan tyydytään välittämään informaatiota ainoastaan viereiselle verkkosolmulle, johon itsellä on suora tiedonsiirtolinkki. Kuva 9 havainnollistaa tätä jaottelua.

Viestin kulku Välitystapa	Yksi hyppy	Monta hyppyä
Pyynnöstä	Vierailu informaatiolähteen luona	Perinteinen ad hoc- reititys
Aktiivinen etsintä	Viestinvaihto solmujen kohdatessa	Struktuurisen verkon reititys

Kuva 9. Informaation välittyminen erilaisissa ympäristöissä.

Kuvassa 9 on esitetty nelikenttä, joka koostuu kahdesta erilaisesta viestinvälitystavasta ja kahdesta viestin kulkutavasta. Perinteisten monen verkkosolmun kautta kulkevien viestinvälitystapojen rinnalle on otettu yksinkertaistettu vain viereiseen solmuun lähetettävä viestinkulku. Tämä uusi lähestymistapa tarjoaa mobiileille vertaisverkoille uuden ja yksinkertaisemman mallin viestinvälitykseen. Myös tästä yhden hypyn mallista voidaan erottaa pyynnöstä tapahtuva tiedonvaihto ja aktiivinen pyrkimys tiedon välittämiseen: Pyynnöstä tapahtuva viestinvälitys tulee kyseeseen sellaisessa tilanteessa, että mobiilisolmu on itse hakeutunut sellaisen verkkosolmun läheisyyteen, jolta se tietää saavansa halutun informaation, esimerkiksi jonkin tuotteen hintatietouden pyytäminen kaupan palvelutiskiltä. Jälkimmäinen tilanne taas tulee vastaan silloin, kun etsitään jotakin tiettyä informaatiota, mutta ei tiedetä, mistä sen varmasti saa, tai ei jostain muusta syystä voida liikkua sinne. Näin ollen ainoaksi mahdollisuudeksi jää tämän tiedon etsiminen liikkeessa kohdatuilta toisilta verkkosolmuilta.

Tämä tutkimus keskittyy selvittämään, millaisissa olosuhteissa tätä uutta, yksinkertaisempaa tiedonvaihtomallia voitaisiin käyttää ja miten informaatio voi levitä sen myötä. Seuraavassa luvussa kuvataan tutkimusasetelma ja esitellään käytetyt mallit ja välineet.

5 Tutkimusmenetelmä

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää informaation leviämistä mobiilissa vertaisverkossa. Koska vaadittavaa teknologiaa ei ole vielä tällä hetkellä yleisesti saatavilla, perustuvat työn tulokset ja johtopäätökset tietokonesimulaatioihin.

Jotta voitaisiin kehittää tapahtumaa kuvaava simulaattori, on sen pohjaksi saatava soveltuva teoreettinen malli, jota simulaattori noudattaa. Kirjallisuudessa on esitetty joitain malleja liikkuvien verkkosolmujen kulkemisesta annetulla alueella sekä informaation leviämisestä niiden avulla. Aiemmin esitetyissä malleissa on kuitenkin joitain puutteita ja ongelmia, minkä vuoksi tätä tutkimusta varten päädyttiin kehittämään uusi, oma malli, joka pyrkii kuvaamaan informaation leviämistä mobiileissa vertaisverkoissa aiemmin esitetyjä malleja paremmin.

Seuraavassa alaluvussa esitetään aiemmin käytettyjä mobiilisolmujen liikkumismalleja sekä informaation leviämismalleja, ja kuvataan uuden mallin luomiseen johtanut päätelmäketju sekä esitellään se.

5.1 Malleja informaation leviämiseen mobiileissa vertaisverkoissa

Kirjallisuudessa esitetyissä mobiileja vertaisverkkoja käsittelevissä tutkimuksissa oletetaan lähes poikkeuksetta tiedonvaihtoa varten syntyneiden verkkojen muodostuvan dynaamisesti vailla ennalta määrättyä rakennetta. Kyseessä on siis edellisessä luvussa kuvatun mukainen rakenteeton mobiili vertaisverkko eli MP2P-verkko.

Jotta rakenteettomasta ja hyvin dynaamisesta systeemistä voidaan tehdä tutkimusta, on liikkeelle lähdetty perinteisesti antamalla verkkosolmujen liikkumiselle matemaattinen malli. Yu ja Li [51] mainitsevat kolmen suosituimman mallin olevan satunnainen kohdepiste- (random waypoint), satunnaiskävely- (random walk) ja satunnaisuuntamalli (random direction). Camp ym. [8] esittelevät artikkelissaan joukon muitakin erilaisia liikkuvuusmalleja, jotka he jaottelevat yksilön liikkumista ja ryhmän liikkumista kuvaaviin malleihin. Lähes kaikki nämä mallit perustuvat vapaaseen ja satunnaiseen liikkeeseen oli sitten kyseessä yksilön tai ryhmän yhteinen liikkumismalli. Ai-

noastaan liikkeen suunnan ja nopeuden kiinnittävien parametrien muodostuminen vaihtelee eri mallien välillä.

Täysin vapaan liikkumisen salliminen on kuitenkin ongelmallista, sillä harvoin reaali-maailmassa esiintyy kyseistä täysin vapaata liikettä, jos puhutaan ihmisten omasta tai ihmisten muodostamien sääntöjen puitteissa yleisesti tapahtuvasta liikkumisesta. Jois-sakin malleissa, kuten todennäköisyysjakaumalla painotetussa satunnaiskävelymallis-sa ja kaupunkimallissa, liikkeen vapautta on rajoitettu tai liikkumista on muuten oh-jattu tiettyyn suuntaan [8]. Tällaiset mallit perustuvat esimerkiksi ihmisen ennalta määrittämään kaupunki-infrastruktuuriin ja täten ne kuvaavat reaali-maailman liikkeitä jo hieman paremmin.

Mobiilien vertaisverkkojen dynaaminen luonne johtaa siihen, että solmutiheys ei ole vakio, vaan vaihtelee sekä ajan että paikan suhteen [20]. Tämän mukaisesti solmuti-heyden vaihdellessa syntyy siis tihentymiä ja harventumia. Koska tässä tutkimuksessa ovat aiheena lyhyen kantaman vertaisverkot, menettävät harvassa olevat mobiilisol-mut merkityksensä kokonaisuuden kannalta, koska tietoa voi välittyä vain lähikontak-tissa. Eli harvassa olevien verkon solmujen kesken ei määritelmän perusteella voi ta-pahtua minkäänlaista tiedonvälittymistä. Edelliseen perustuen päädyttiin pohtimaan uutena tapana tarkkailla tihentymiä paikkoina yksittäisten solmujen tai solmuryhmien tarkkailun sijaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että tarkkailupisteeksi kiinnitetäänkin tila-avaruuden kohta, paikka tai taso, sen sijaan että tarkkailtaisiin implisiittisesti kunkin mobiilisolmun liikkumista erikseen annetussa avaruudessa. Aiemmissä tutkimuksissa käytetyt vapaan liikkumisen mallit antavat kyllä toisiaan tukevia tuloksia, mutta kui-tenkin erityisesti reaalisen tilanteen voidaan olettaa asettavan tiettyjä rajoja liikkumi-selle, minkä voidaan olettaa vaikuttavan lopputulokseen.

Tiedon kulkeutumista tällaisissa mobiileissa ad hoc -verkoissa ovat tutkineet esimer-kiksi Arai ym. [3] sekä Khelil ym. [20]. Näissä kummassakin tutkimuksessa käytetään mobiilisolmuille jotakin satunnaista liikemallia. Arai ym. olivat lisänneet omaan tutki-mukseensa kiinteät informaatiolähteet, joista saatua tietoa välitettiin eteenpäin. Vas-taavan laajennoksen ovat myös esittäneet Papadopouli ym. [34]. Vaikka heidän tutki-muksensa ei varsinaisesti käsittele tiedon välittymistä mobiileissa vertaisverkoissa, ovat myös he esittäneet ajatuksen kiinteiden solmupisteiden esiintymisestä mobiilisol-mujen lomassa. Toisin sanoen mobiiliyhteisöjä mallinnettaessa on myös otettava huo-mioon liikkumattomat elementit, jos näillä voi olla vaikutusta mobiilisolmujen käyt-

täytymiseen tai muihin attribuutteihin. Tämä on sinänsä varsin hyödyllinen mallien reaalisuutta korostava lisä tietyissä tilanteissa. Erityisesti ajatus soveltuu tämän tutkimuksen aihepiiriin, sillä myöhemmin esitettävät sovelluskohteet sisältävät tarpeen vastaaville kiinteille verkkosolmuille.

Mobiilisolmujen liikkumisen ohella myös informaation leviämislle on annettava jonkinlainen malli, jotta haluttua ympäristöä voitaisiin simuloida. Yksi mahdollinen tapa on käyttää epidemistä tiedonleviämisen mallia. Tällaiseen ratkaisuun ovat päätyneet esimerkiksi Khelil ym. [20] omassa tutkimuksessaan. Vaikka epideminen malli onkin varsin monessa eri tieteenalan tutkimuksessa paljolti käytetty, ongelmaksi muodostuu epideemisen tiedonleviämismallin sitominen johonkin satunnaiseen liikkumismalliin. Vapaaseen liikkumismalliin sidottuna epideminen tiedonleviämismalli antaa edellä mainitun Khelilin ym. tutkimuksen mukaisia tuloksia, joissa tiedon leviäminen voidaan todeta noudettavan S-muotoista käyrää. Tätä tulosta perustellaan sillä, että ensiksi vaaditaan tietty joukko tartuttajia, jotta leviäminen voisi nopeutua ja tietyn ajan jälkeen mahdollisia tartunnan saajia ei enää ole riittävästi, mikä hidastaa leviämistä lopussa. Jos kuitenkin päädytään mallintamaan mobiilisolmujen liikkumista siten, että korostetaan niiden keskittymistä tiettyihin paikkoihin, voidaan tällaisessa tihtentymässä ajatella tapahtuvan lähes räjähdysmäinen tartunta. Tällä tarkoitetaan sitä, että leviäminen on hyvin voimakasta heti siitä lähtien, kun joku tuo ensimmäisen kerran leviättävän informaation tihtentymään.

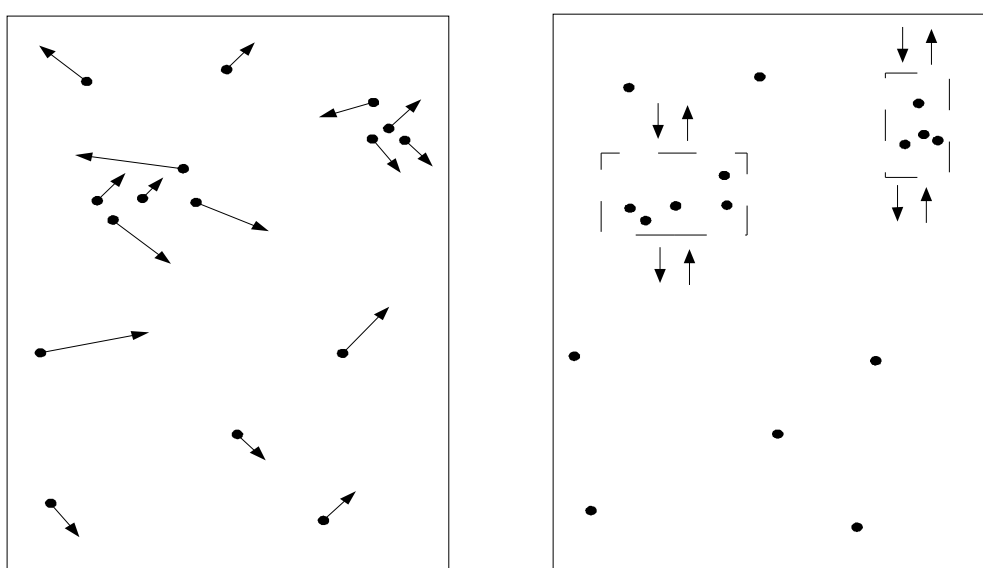
Kuten Yu ja Likin [51] artikkelissaan painottavat tilanteeseen soveltuvien mallien käyttämisen tärkeyttä, päädyttiin tässä tutkielmassa luomaan oma malli, jonka voidaan katsoa soveltuvan paremmin annettuun tilanteeseen kuin minkään aiemmin esitetyn. Malli nimettiin putkimalliksi ja se kuvataan seuraavassa.

5.2 Putkimalli

Aiempien mallien suurimmaksi ongelmaksi todettiin edellä se, että ne keskittyvät aina mobiilisolmujen liikkeen mallintamiseen. Tämän tutkielman aiheena olevien lyhyen kantaman vertaisverkkojen ei kuitenkaan voida olettaa toimivan kunnolla, ellei riittävän pienellä alueella ole tarvittavaa määrää mobiilisolmuja. Kun lisätään tähän ajatuksen edellä esitetty Khelilin ym. [20] toteamus mobiilisolmujen pakkautumisesta tietyille alueille, voidaankin pitää perusteltuna johtopäätöstä siirtyä tarkastelemaan mää-

riteltyjä havaintoalueita kaikkien erillisten mobiilisolmujen sijaan. Loppujen lopuksi tutkimuksen tarkoituksena on selvittää informaation leviämistä populaation keskuudessa, jolloin yksittäisten solmujen tilan tietämisestä ei saada mitään lisähyötyä.

Simulaatiomallia laadittaessa liikkeelle lähdettiin "kävelykatu"-ajatuksesta, jossa käyttäjät liikkuvat hyvin harvassa kävelykadun ulkopuolella ja pakkaantuvat hyvin tiiviiksi virraksi, kun suuri joukko toisistaan riippumattomia käyttäjiä haluaa asioida kävelykadun varrella olevissa liikkeissä. Kävelykadulle tullaan jommastakummasta päästä ja poistutaan toisesta päästä. Välillä kohdataan runsas joukko toisia käyttäjiä.

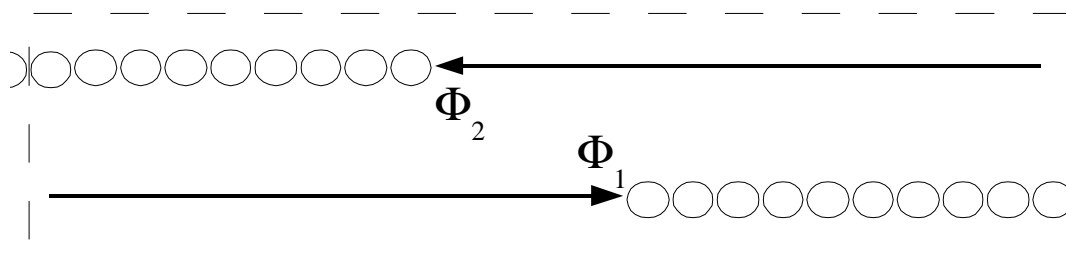


Kuva 10. "Perinteinen" malli ja putkimalli.

Kuvassa 10 on esitetty perinteinen solmujen liikkumiseen keskittyvä malli sekä tiettyjen paikkojen tarkasteluun perustuva malli, joka on kehitetty tämän tutkimuksen puitteissa. Vasemmalla puolella olevassa perinteisessä mallissa jokaisen yksittäisen solmun etenemisestä tiedetään sen suunta ja nopeus, joita kuvaavat nuolen suunta ja pituus. Kun jokaista solmua tarkastellaan erikseen, hukkaantuu resursseja runsaasti kokonaisuuden kannalta merkityksettömien solmujen tilan tarkasteluun. Merkityksellisiähan ovat vain muiden lähellä olevat solmut, sillä tiedonvaihto voi tapahtua vain lähi-kontaktissa, koska tutkimuksessa rajoituttiin lyhyen kantaman verkkoteknologioiden tarkasteluun. Oikealla puolella taas keskitytään tarkastelussa vain niihin alueisiin, joissa tietoa voi välittyä suuren solmutiheyden vuoksi. Tällöin joukko verkkosolmuja ovat siis toistensa tiedonsiirtojärjestelmien kantaman sisäpuolella. Tarkastelu sisältää myös implisiittisen oletuksen siitä, että käyttäjillä olevat tiedonsiirtolaitteet ovat tois-

tensa kanssa yhteensopivia. Merkityt alueet ovat solmutihentymiä, ja nuolet edustavat alueelle tulevia ja sieltä poistuvia solmuja. Aiemmasta mallista poiketen nyt ei siis tiedetä solmujen tilaa yksilötasolla, vaan tunnetaan ainoastaan näiden tarkastelualueiden lävitse kulkeneiden verkkosolmujen ominaisuudet.

Edellä mainittu kävelykatu muunnettiin yleisemmäksi informaation vaihtoputkeksi, mistä nimitys putkimalli. Tätä voidaan havainnollistaa ottamalla erikseen tarkasteltavaksi kuvan 10 mukainen muusta ympäristöstä eristetty mobiilisolmujen tihentyminen ja yksinkertaistamalla sitä hieman. Mallin käsittelyn helpottamiseksi putkessa voidaan ajatella olevan vain yksi ulottuvuus, pituus, ja mobiilisolmut kulkevat siellä toistensa lomassa (ks. kuva 11).



Kuva 11. Informaationvaihtoputki ja kaksi solmuvirtaa.

Putken ominaisuuksia kuvaamaan määriteltiin kaksi suuretta: solmuvirta ja ruuhkaisuus. Näistä solmuvirta (Φ) määritellään tietyn pisteen kautta annettuna aikavälinä (Δt) kulkeneiden solmujen määränä (n) seuraavasti

$$\Phi = \frac{n}{\Delta t} \quad (1)$$

Vastaavasti putken ruuhkaisuus (ρ) määritellään tietyssä tilassa samaan aikaan olevien (n) määränä tilayksikköä kohti. Tutkimuksen puitteissa haluttiin pitää informaation vaihtoputki yksiulotteisena kappaleena, joten määriteltyä tilaa edustaa pituus (x). Ruuhkaisuus määritellään seuraavasti:

$$\rho = \frac{n}{x} \quad (2)$$

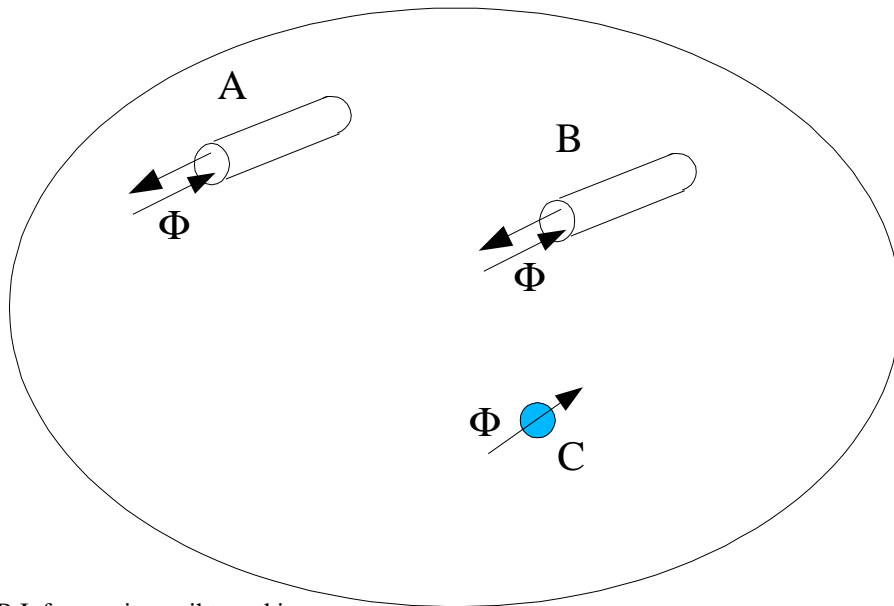
Kuten aiemmin jo mainittiin, "puhtaaseen" mobiiliympäristöön on tietyissä tilanteissa oleellista lisätä myös kiinteitä yksiköitä. Levitettävän tiedon on tultava systeemiin jostakin, ja tässä tutkimuksessa käytetyssä mallissa on oletettu tämän informaatiolähteen

olevan sijoitettu kiinteästi. Toisin sanoen, kun osa käyttäjistä liikkuu kävelykadulla, osa on jonottamassa kaupan kassalla. Kaupassa asioivat käyttäjät saavat hintatietoutta ostamistaan hyödykkeistä. Kaupat siis levittävät informaatiota koko kansalle ja riittävän pitkän ajan kuluessa kaikki käyttäjät ovat vierailleet kaupassa, jolloin informaatiopenetraatio populaatiossa on saavuttanut 100%. Pelkästään kaupasta saatuna hintatietous leviää kuitenkin suhteellisen hitaasti.

Päättyessään kävelykadulle kaupassa asioinut käyttäjä on mahdollinen tiedonlevittäjä. Kaupassa asioineena hänellä on hallussaan sellaista tietoa, josta myös toiset kävelykadulla kulkevat ovat kiinnostuneita. Kohdatessaan toisia käyttäjiä hän pystyy välittämään tämän tiedon heille. Tämän tutkimuksen kohteena olevat lyhyen kantaman vertaisverkot mahdollistavat siis tiedon välittymisen myös kaupan ulkopuolella yksittäisten käyttäjien välityksellä ja täten nopeuttavat tiedon leviämistä verrattuna tilanteeseen, jossa jokaisen käyttäjän olisi itse hankittava tieto kaupasta.

Mallia voidaan myös käyttää keskustojen kävelykatujen lisäksi esimerkiksi tieverkoston mallintamiseen: yhdistämällä useita informaationvaihtoväyliä, voidaan saada aikaiseksi kokonaista tieverkkoa mallintava tilanne. Eri osuuksille voidaan antaa erilaisia nopeuksia ja liikennemääriä säätämällä solmuvirtaa ja ruuhkaisuutta. Putkien päiden voidaan ajatella kuvaavan risteyksiä ja liittymiä pääverkostoon. Pääverkoston ulkopuolella autoja kulkee niin harvaksen, ettei se ole informaation leviämisen kannalta merkityksellistä. Informaatiolähteet puolestaan kuvaavat esimerkiksi huoltoasemia tai muita vastaavia autoilijoita kiinnostavan informaation syntypaikkoja.

Kuvassa 12 on esitettyä periaatekuva oletetusta tila-avaruudesta, joka sisältää populaation alkioiden eli mobiiliobjektien lisäksi kahden eri tyyppisiä komponentteja: informaation lähdepisteitä (C) ja informaation vaihtoputkia (A ja B). Informaation lähdepiste ja informaation vaihtoputki ovat malliin liittyviä tarkkailupisteitä ja näiden kautta kulkee kullekin komponentille ominainen solmuvirta Φ . Informaatiolähde on nimensä mukaisesti informaation levittäjä, ja se on vastuussa informaation sisällöstä sekä luovuttaa sitä kaikille haluaville. Informaation vaihtoputki on paikka, jossa mobiiliobjektit kohtaavat ja vaihtavat keskenään niillä olevaa informaatiota, jos niillä on siihen tekniset edellytykset. Teknisillä edellytyksillä tarkoitetaan sitä, että kahdella toisiaan riittävän lähellä olevalla mobiilisolmulla on molemmilla käytössään vaihtoon tarvittava laite.



A ja B Informaation vaihtoputkia
C informaatiolähde

Kuva 12. Informaation vaihtoputket ja informaatiolähde.

Malli ei oletta, että kaikilla käyttäjillä olisi uusin teknologia käytössään, vaan siihen on myös sisällytetty luvussa 3 esiteltyä innovaatioiden leviämisen teoriaa, mikä antaa mahdollisuuden tarkastella laitteistokannan vaikutusta informaation leviämiseen. Toisin sanoen malli pyrkii vastaamaan kysymyksiin miten informaatio leviää missäkin teknologian levinneisyysvaiheessa ja millainen laitekanta vaaditaan riittävään informaation leviämiseennopeuteen.

5.3 Simulaatioympäristö

Kehitetty putkimalli kuvaa siis populaation käyttäytymistä annetussa tila-avaruudessa. Populaation alkiot ovat jakautuneet innovaatioiden leviämisteorian mukaisesti viiteen luokkaan luvussa 3 esitetyn jakauman mukaisesti: innovaattoreihin (3,5%), aikaisiin omaksujiin (12,5%), aikaiseen enemmistöön (34%), myöhäiseen enemmistöön (34%) sekä vitkastelijoihin (16%). Lisäksi alkiolle on annettu liikkumisaktiivisuutta painottava kerroin ryhmän sosiaalisen aktiivisuuden perusteella. Näin ollen esimerkiksi aikaisella enemmistöllä, jotka liikkuvat melko paljon (ks. luku 3) on korkeampi aktiivisuuskerroin kuin vaikkapa hyvin vähän liikkuvilla vitkastelijoilla. Tiettyyn tarkastelupisteeseen saapuu näin ollen todennäköisemmin aikaisen enemmistön edustaja kuin

vitkastelija, vaikka vitkastelijoita onkin määrällisesti enemmän. Simulaatioissa käytetyt aktiivisuuskertoimet painottavat aktiivisemmän ryhmän esiintymistä mittauspisteissä niiden todelliseen esiintymistodennäköisyyteen nähden aktiivisuuskertoimen a mukaisesti (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Innovatiivisuusluokat ja niiden osuudet sekä aktiivisuuskertoimet.

<i>Ryhmän numero, i</i>	<i>Innovatiivisuusluokka</i>	<i>Suhteellinen osuus, p</i>	<i>Aktiivisuuskertoimen, a</i>
1	Innovaattorit	2,5%	4
2	Aikaiset omaksujat	13,5%	3
3	Aikainen enemmistö	34,0%	2,5
4	Myöhäinen enemmistö	34,0%	2
5	Vitkastelijat	16,0%	1

Tietyn ryhmän jäsenen esiintymisen todennäköisyys tarkkailupisteessä (P) voidaan laskea siten kaavalla

$$P(\text{ryhmän } r \text{ alkio}) = \frac{p_r \cdot a_r}{\sum_{i=1}^5 p_i \cdot a_i}, \quad (3)$$

jossa p_r on ryhmän r suhteellinen osuus ja a_r ryhmän r aktiivisuuskertoimen.

Mobiiliobjekteilla on siis kaksi mahdollisuutta saada leviävä informaatio haltuunsa. Ensimmäinen tapa on vierailta informaatiolähteessä, jolloin informaation saaminen on varmaa, eikä se edellytä minkään erityisen ehdon täyttymistä. Toinen tapa on kohdata vaihtoputkessa toinen alkio, jolla on jo ennestään haluttu tieto. Tämä jälkimmäinen tapa vaatii lisäehtona käytössä olevan teknologian molemmilta tapahtumaan osallistuvilta osapuolilla. Käytetyssä mallissa teknologian omistaminen on linkitetty suoraan alkion innovatiivisuusluokkaan siten, että yksittäisellä simulaatiokerralla kaikilla alkioilla, joilla innovatiivisuusaste on korkeampi kuin annettu teknologian levinneisyysvaihe, on tarvittava teknologia hallussaan. Toisin sanoen numeroimalla innovatiivisuusluokat taulukon 2 mukaisesti voidaan tiedonvaihtoon vaihtoputkessa kykenevien alkioden osuus esittää summana

$$\sum_{i=1}^n p_i, \quad (4)$$

missä p_i on ryhmän i suhteellinen osuus kokonaispopulaatiosta ja n haluttu teknologia-luokka.

Tällöin esimerkiksi teknologian levinneisyysvaiheessa 2 teknologia on käytettävissä innovaattoreilla ja aikaisilla omaksujilla ja laitteen omistavien osuus kokonaispopulaatiosta on siis 16%. Kuitenkin ottamalla huomioon aktiivisuuskerroin saadaan jossakin tietyssä pisteessä vierailevien teknologian omistamien mobiilialkioiden osuudeksi suurempi, tässä tapauksessa n. 23%. Erityisesti tämä tulee huomioida siten, että *koko populaatiosta* vain 16%:lla alkioista on mahdollisuus saada informaatiota toiselta alkiolta informaation vaihtoputkessa, vaikka 23%:lla *putkessa vierailevista* alkioista siihen onkin mahdollisuus. Aktiivisuuskerroin siis aiheuttaa vinoutumaa yhdessä tarkkailupisteessä tehdyssä havainnointiotoksessa.

Putkimallissa oletuksena ovat seuraavat asiat: Ensinnäkin tarkkailujakson aikana laittekanta on vakio, toisin sanoen innovaatio ei leviä tällä välillä. Kävelykatuesimerkin avulla tämä voitaisiin ilmaista niin, että kukaan ei hanki uutta laitetta sinä aikana, kun kadun liikennettä tarkkaillaan. Toiseksi laitteiden oletetaan toimivan koko ajan. Näin ollen kävelykatuesimerkin käyttäjistä keneltäkään ei loppuisi akku tarkkailun aikana. Kolmas oletus on, että informaatio suostutaan luovuttamaan toiselle aina pyydettyä ilman vastapalvelusta. Tämä oletus pohjautuu yleiseen vertaisverkkojen toimintaperiaatteeseen: jos kaikki tarjoavat omia resurssejaan toisilleen, myös kaikki voivat hyödyntää vertaisverkkojen sisältämää tarjontaa [39].

5.4 Simulaatio-ohjelmisto

Simulaatiota varten kehitettiin erillinen ohjelmisto, jossa edellä kuvatun ympäristön mukaista tila-avaruutta voidaan tarkkailla. Simulaattorista tehtiin oma itsenäinen sovellus ja sen kehittämiseen käytettiin C++-kieltä ja GNU-työkaluja. Luotu sovellus antaa mahdollisuuden määrittää simulaatiossa käytettäviä parametreja liittyen informaation vaihtoputkiin, informaatiolähteisiin ja käyttäjäpopulaatioon.

Vaihtoputkissa voidaan säätää putken pituutta, ruuhkaisuutta sekä solmuvirtojen määrää ja nopeutta. Informaatiolähde on tietorakenteena yksinkertaistettu tiedonvaihtoputki, jossa on kerrallaan vain yksi virta, ja josta kaikki saavat tietoa riippumatta siitä, onko heillä teknologiaa vai ei. Näiden molempien lukumäärä voidaan valita vapaasti. Käyttäjäpopulaatiossa säädettävänä ovat populaation koko ja teknologian leviämisvaihe.

Kehitetty simulaatio-ohjelmisto ei mahdollista ajan suhteen muuttuvaa solmuvirtaa, vaan virrat ovat vakionopeuksisia. Eri virrat voivat kyllä liikkua eri nopeuksilla, mutta tietty virta ei voi muuttaa nopeuttaan.

Alkiot valitaan solmuvirtoihin siten, että ensin valitaan arpomalla innovatiivisuusryhmän numero. Tässä arvonnassa valituksi tulemisen todennäköisyys lasketaan ryhmän aktiivisuuskertoimella painotetun suhteellisen osuuden avulla. Ryhmän valinnan jälkeen valitaan satunnainen ryhmän jäsen varmistaen, ettei tämä kuitenkaan ole jo kulkeudessa jossakin solmuvirrassa. Solmuvirran nopeus määrää sen, kuinka usein johonkin virtaan valitaan uusi alkio.

Tiedonvaihto on mahdollista, kun kaksi alkioita kohtaa toisensa riittävän pienellä etäisyydeltä. Tarkasteltavan kommunikaatiojärjestelmän kuuluvuusalue on normeerattu yhden pituusyksikön mittaiseksi, jolloin samassa pituuskoordinaatissa olevat verkko-solmut ovat riittävän lähellä toisiaan. Edellytyksenä vaihdolle on, että vain toisella alkiosta on tietoa, mutta molemmilla on tarvittava teknologia käytössään. Tässä toteutuksessa siis peräkkäin samaan suuntaan kulkevat alkiot eivät voi vaihtaa tietoa.

Kukin populaation alkio pitää itse kirjaa omasta teknologiatasostaan, hallussaan olevasta informaatiosta sekä siitä, mistä on informaationsa saanut. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää tietyn informaation levinneisyyden selvittämiseksi, ja lisäksi voidaan erottaa joukosta eri tavoilla informaationsa saaneet: onko tieto saatu toiselta alkiolta vaihtoputkessa vai itse noutamalla informaatiolähteestä.

6 Tiedon leviäminen mobiilissa vertaisverkossa

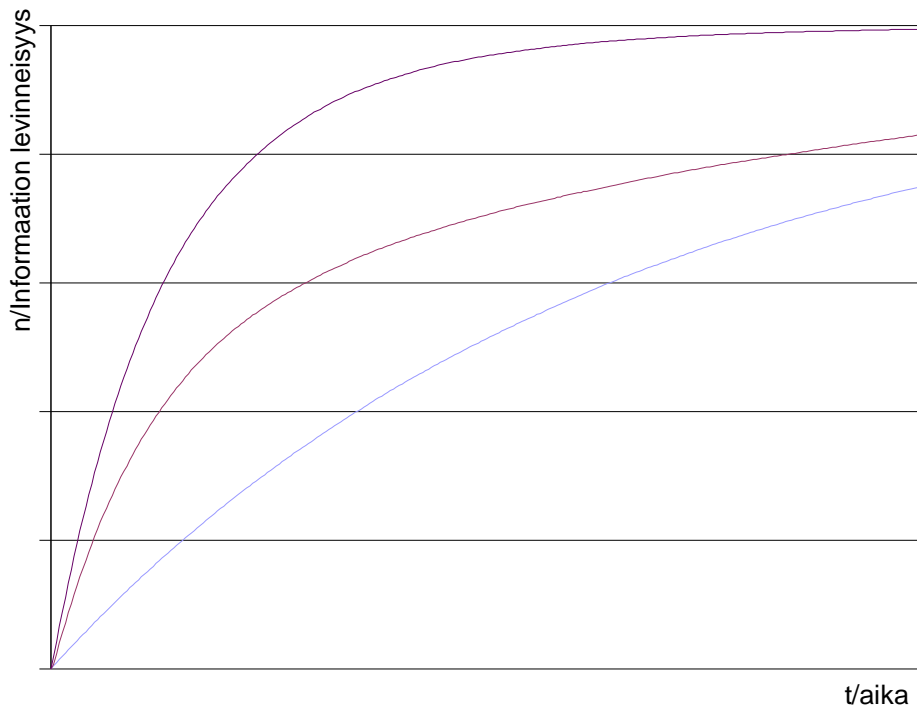
Seuraavassa kuvataan edellisen luvun mukaisen simulaatiomallin antamia tuloksia. Tulosten analyysissä lähdettiin liikkeelle informaationleviämiskuvaajan generoimisella. Simulaattorilla suoritettiin joukko ajoja, joiden tulosteena saatiin kullakin simulaatiokerralla informaation leviäminen populaatiossa ajan funktiona.

Simulaatioissa varioitiin alkuvaiheessa populaation kokoa sekä teknologiatasoa. Simulaatioympäristössä oli yksi tiedonvaihtoputki ja yksi informaatiolähde. Tiedonvaihtoputki oli pituudeltaan 20 pituusyksikköä ja koostui kahdesta toisiaan vastaan kulkevasta solmuvirrasta. Tiedonvaihtoputken ruuhkaisuus oli yksi solmu pituusyksikköä kohti ja solmuvirta yksi solmu aikayksikköä kohti molemmissa virroissa. Informaatiolähde puolestaan oli määritelmänsä mukaisesti pistemäinen eli sinne mahtui kerrallaan yksi solmu. Informaatiolähteen läpi kulkenut solmuvirta oli yksi solmu kahta aikayksikköä kohti.

6.1 Informaationleviämiskäyrä

Simulaatioiden perusteella saatiin kuvan 13 muotoisia kuvaajia. Kuvassa on esitetty kolmella eri teknologian levinneisyys -parametrilla saatuja informaation levinneisyysarvoja ajan funktiona. Populaation koko ja simulaatioaika oli kussakin ajossa sama, jotta tuloksia voidaan vertailla keskenään. Simulaatiossa populaation koko on 100 000 solmua ja simulaatioaika 300 000 aikayksikköä.

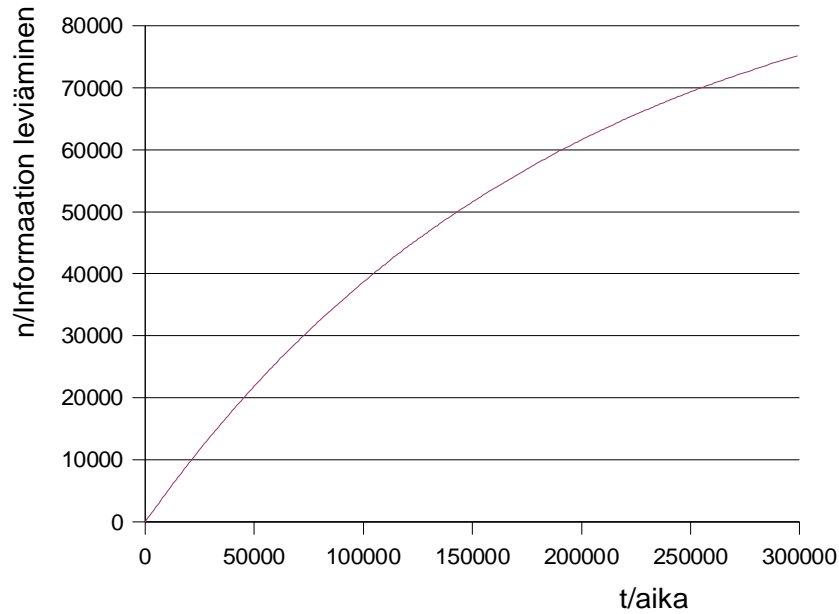
Alin käyrä kuvaa tilannetta, jossa kenelläkään ei ole käytössään lyhyen kantaman vertaisverkkoteknologiaa, jolloin tiedon leviäminen tapahtuu ainoastaan informaatiolähteestä käsin. Keskimmaisessä käyrässä teknologia on käytössä innovaattoreilla, aikaisilla omaksujilla sekä aikaisella enemmistöllä. Ylimmän käyrän tilanteessa kaikilla on teknologia käytössään.



Kuva 13. Mallikuvia simulaatioissa saaduista informaation leviämiskäyristä.

Kyseisissä simulaatioissa kaikissa käyriässä on selkeästi havaittavissa ominaisuus, että funktion arvo kasvaa voimakkaammin alussa ja hidastuu funktion saadessa suurempia arvoja. Tilanteessa, jossa kenelläkään ei ole käytössä lyhyen kantaman vertaisverkko-teknologiaa, tulos voitiin ennustaa suoraan päättelemällä: Informaatio leviää yhdestä paikasta yhdelle satunnaiselle solmulle tasaisesti kulkevassa solmuvirrassa. Aluksi informaatio siis välittyy lineaarisesti solmuvirran nopeuden mukaan, kunnes tulee tilanne, jossa informaation levinneisyys on jo niin suuri, että osalla satunnaisesti valituista solmuista tieto on jo hallussa. Ajan kuluessa yhä suuremmalla osalla satunnaisesti valituista solmuista on jo tieto hallussa, mikä johtaa leviämiskäyrän kasvun vähenemiseen. Tämä käyttäytyminen onkin simulaation mukaista (kuva 14).

Huomattavaa on, että myös muissa teknologian levinneisyysvaiheissa käyrät ovat hyvin saman tyyppisiä. Putkimallia perusteltaessa luvussa 5 uskottiin informaation leviävän hyvin nopeasti heti sen jälkeen, kun joku informaation välittämiseen kykenevä päätyy vaihtoputkeen. Erityistä kuitenkin on, että vastaavan luonteinen tulos, tosin huomattavasti hitaampana, saadaan myös tilanteessa, jossa informaatio leviää ainoastaan itse noutamalla se informaatiolähteestä.



Kuva 14. Informaation leviäminen pelkästään informaatiolähteestä.

Ilman teknologiaa informaation leviämisen hidastuminen voidaan siis ajatella tapahtuvan tasaisesti. Tämän ja kuvaajien yhtenäisen muodon perusteella tehtiin hypoteesi, että informaatiopenetraation muutos ajan suhteen on aina suoraan verrannollinen tietämättömien määrään, eli

$$\Delta n = k(P - n) \Delta t \quad . \quad (5)$$

Edellisessä yhtälössä P on populaation koko ja n informaation haltijoiden lukumäärä tietyllä ajan hetkellä, jolloin $P:n$ ja $n:n$ erotus ilmoittaa tietämättömien määrän. Termi k puolestaan on vakio, joka muotoutuu simulaation parametreista. Pienentämällä tarkkailtavaa aikaväliä voidaan yhtälöstä 5 muodostaa informaation leviämiskäytännön ensimmäinen aikaderivaatta.

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n}{\Delta t} = k(P - n) \Leftrightarrow \frac{dn(t)}{dt} = k[P - n(t)] \quad (6)$$

Purkamalla yhtälö 6 auki ja käyttämällä sijoitusta $K=kP$ saadaan seuraava ensimmäisen asteen differentiaaliyhtälö

$$n' + kn = K \quad , \quad (7)$$

jonka yleinen ratkaisu on muotoa

$$n(t) = \frac{K}{k} + C e^{-k \cdot t} . \quad (8)$$

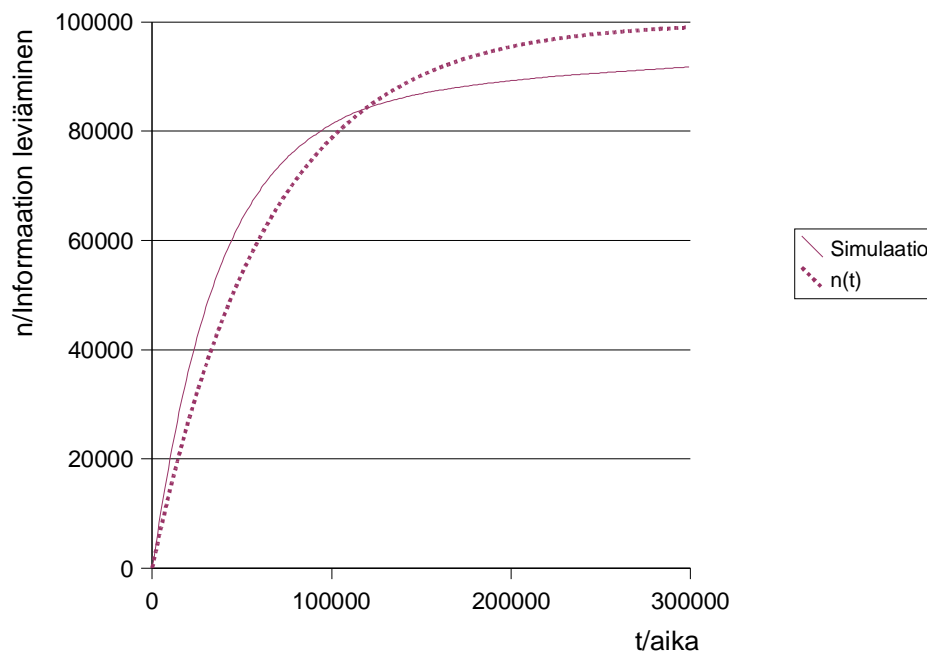
Yleisestä ratkaisusta voidaan selvittää vakio C muodostamalla soveltuva alkuarvotehdävä. Sopiva alkuehto saadaan vaatimuksesta, ettei simulaation alussa kenelläkään ole tietoa hallussaan. Sijoittamalla alkuarvo $n(0)=0$ saadaan ratkaistua lausekkeesta esiintyvä vakio C .

$$n(0) = 0 = \frac{K}{k} + C e^{-k \cdot 0} \Rightarrow C = -\frac{K}{k} \quad (9)$$

Differentiaaliyhtälössä 7 käytettiin sijoitusta $K=kP$ vakiotermin sieventämiseksi. Käyttämällä samaa sijoitusta käänteisesti tulokseen 9 voidaan yleisen ratkaisun 8 avulla esittää nyt varsinainen ratkaisu muodossa

$$n(t) = P - P e^{-k \cdot t} . \quad (10)$$

Saatua tulosta voitiin pitää mielekkäänä, sillä se on vastaavaa muotoa kuin esimerkiksi klassisen fysiikan malli lämpötilan tasaantumisesta, kun kaksi eri lämpötilassa olevaa ainetta saatetaan yhteen. Vastaavuuden voidaan ajatella muodostuvan siten, että suuri määrä tietoa on olemassa informaatiolähteessä ja se lähtee tasoittumaan käyttäjöpölypölyä keskuuteen.



Kuva 15. Simulaation kuvaaja ja funktio $n(t) = P - P e^{-kt}$.

Ratkaisuksi saadun funktion 10 soveltuvuuden testaamista varten valittiin vertailukohdaksi teknologian levinneisyysvaiheen 4 simulaatiotulos. Funktiossa 10 esiintyvän parametrin k ratkaisemiseksi käytettiin pienimmän neliösumman menetelmää. Vertaamalla generoidun funktion kuvaajaa simulaatiossa saatuihin tuloksiin voitiin kuvaajien todeta olevan hyvin saman tyyppisiä, mutta ei kuitenkaan yhteneviä (kuva 15).

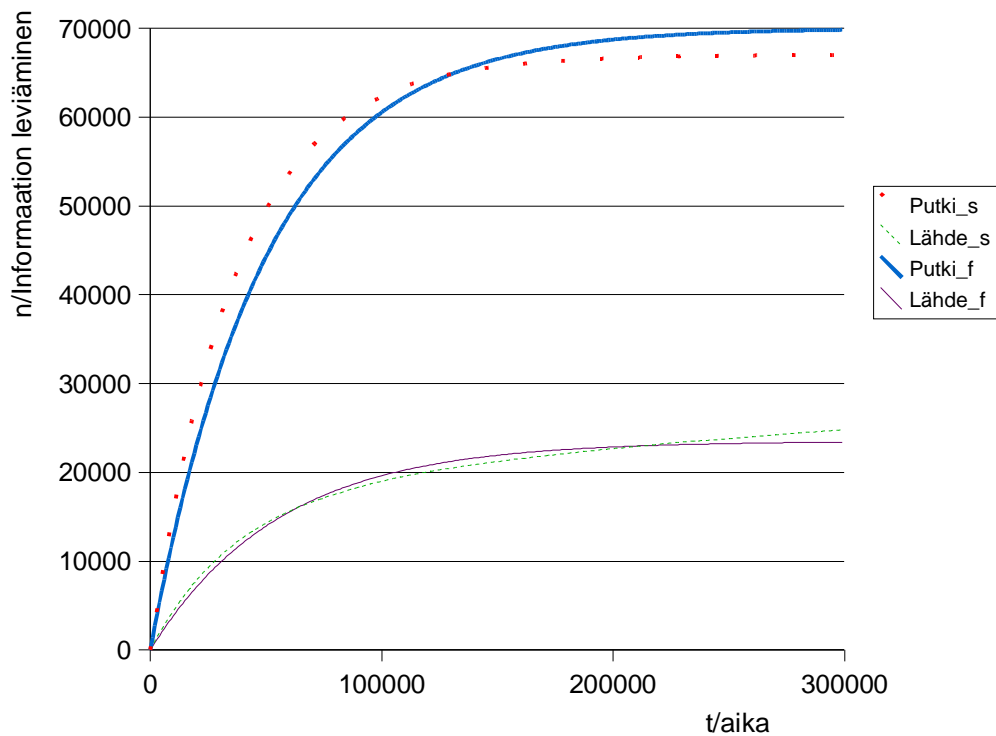
Havainnoista tehtiin jatkohypoteesi, jossa kulloinenkin teknologiataso jakaa käyttäjät kahteen joukkoon: niihin, jotka kykenevät saamaan informaatiota toisilta käyttäjiltä ja niihin, jotka saavat informaationsa vain informaatiolähteestä. Simulaattorin tulostusta muokattiin siten, että tuloksista voitiin erotella eri lähteistä hankittu informaatio. Tällöin saatiin kaksi kuvaajaa, joiden summa vastasi alkuperäistä.

Myös edellä saatu funktio 10 jaettiin kahteen komponenttiin:

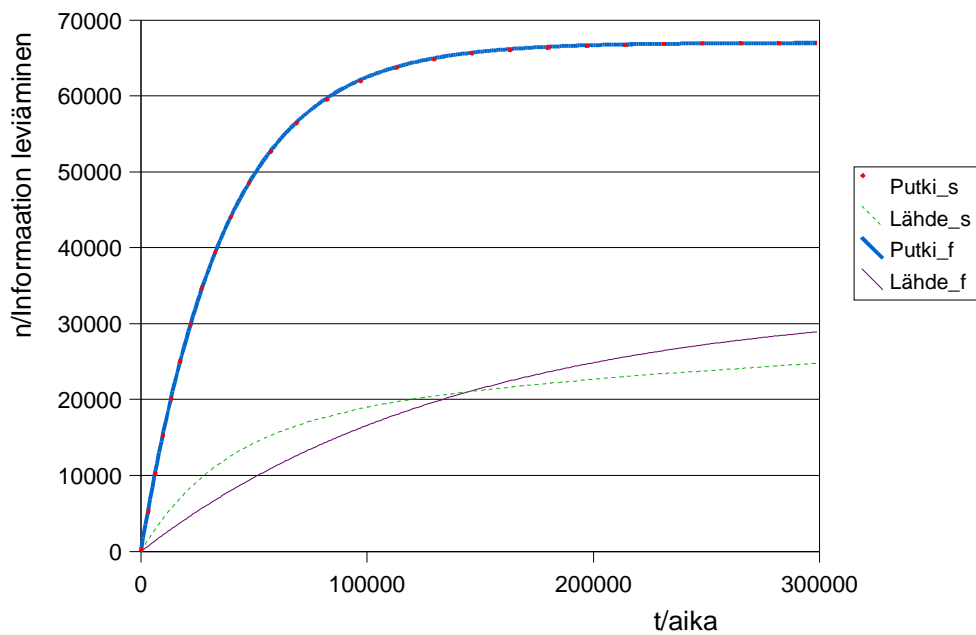
$$n(t) = \left(P_1 - P_1 e^{-k_1 \cdot t} \right) + \left(P_2 - P_2 e^{-k_2 \cdot t} \right), \quad (11)$$

missä ensimmäinen termipari alaindeksillä yksi kuvaa sitä joukkoa, jolla ei ole teknologiaa hallussaan, ja toinen termipari vastaavasti niitä, joilla on teknologiset edellytykset tiedonvaihtoon toisten käyttäjien kanssa. Termi P_i , $i \in [1,2]$ tulee joukkoon i kuuluvien käyttäjien määrästä kokonaispopulaatiosta. Termeille k_1 ja k_2 haettiin jälleen parhaat arvot pienimmän neliösumman avulla. Kuvassa 16 on esitettyä simulaattorin kahteen komponenttiin jaettu tulostus sekä funktion 11 kuvaaja.

Vertailtaessa funktiota 11 (_f-merkinnällä) simulaation tuloksiin (_s-merkinnällä) ensimmäisenä huomiota kiinnitti simulaation kuvaajan asettuminen toiselta osin funktion 11 ala- ja toiselta osin yläpuolelle. Simulaation perusteella informaatiolähteestä siis sai informaation haltuunsa suurempi osa, kuin laitteettomia oli, ja vastaavasti tiedonvaihtoputkesta simulaation perusteella tiedon sai haltuunsa selkeästi vähemmän solmuja, kuin mitä laitteellisia todellisuudessa oli. Funktiossa 11 termit P_1 ja P_2 määräävät sen, mille tasolle funktion kuvaaja asettuu. Säättämällä nämä eri joukkoihin kuuluvien solmujen määrät P_i , $i \in [1,2]$ vastaamaan simulaatiotulosta ja etsimällä uudet parametrien k_i , $i \in [1,2]$ arvot pienimmän neliösumman avulla päädyttiin kuvan 17 mukaiseen tulokseen.



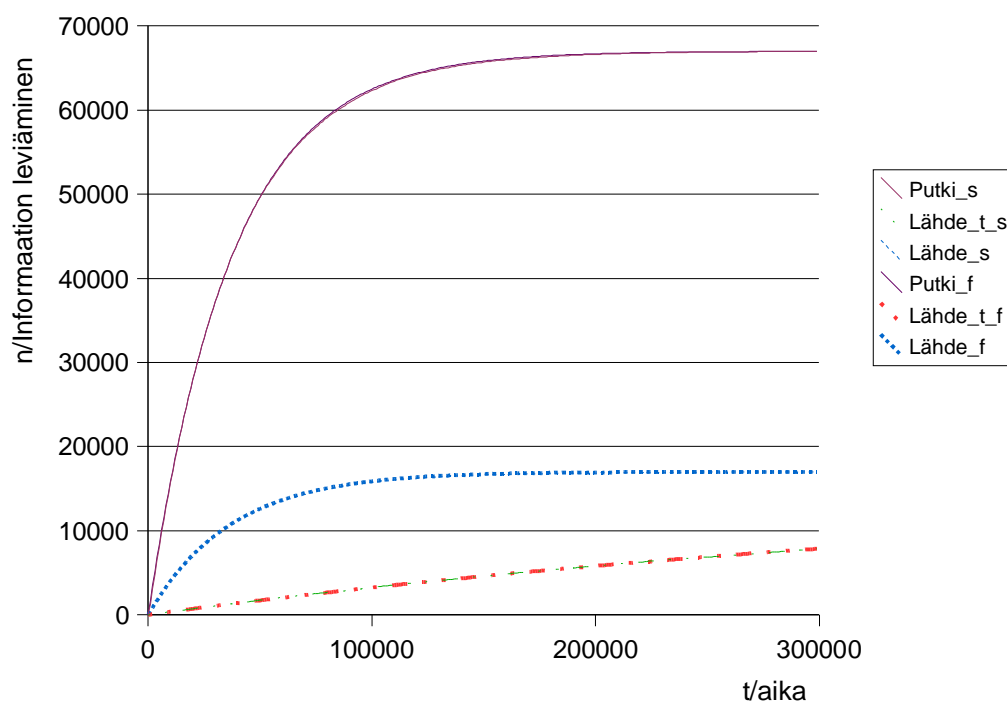
Kuva 16. Kahteen komponenttiin jaetut kuvaajat.



Kuva 17. Osajoukkoihin kuuluvien alkioiden osuudet muutettuna.

Nyt ensimmäinen termipari vastasi täysin simulaatiossa saatuja tuloksia, mutta toinen osa poikkesi yhä. Koska osajoukkoihin kuuluvien osuuksia P_i , $i \in [1,2]$ oli jouduttu muokkaamaan oletetusta tilanteesta, pääteltiin poikkeaman johtuvan siitä, että nyt tulokset oli jaoteltu sen mukaan, mistä käyttäjät saavat informaationsa, riippumatta siitä,

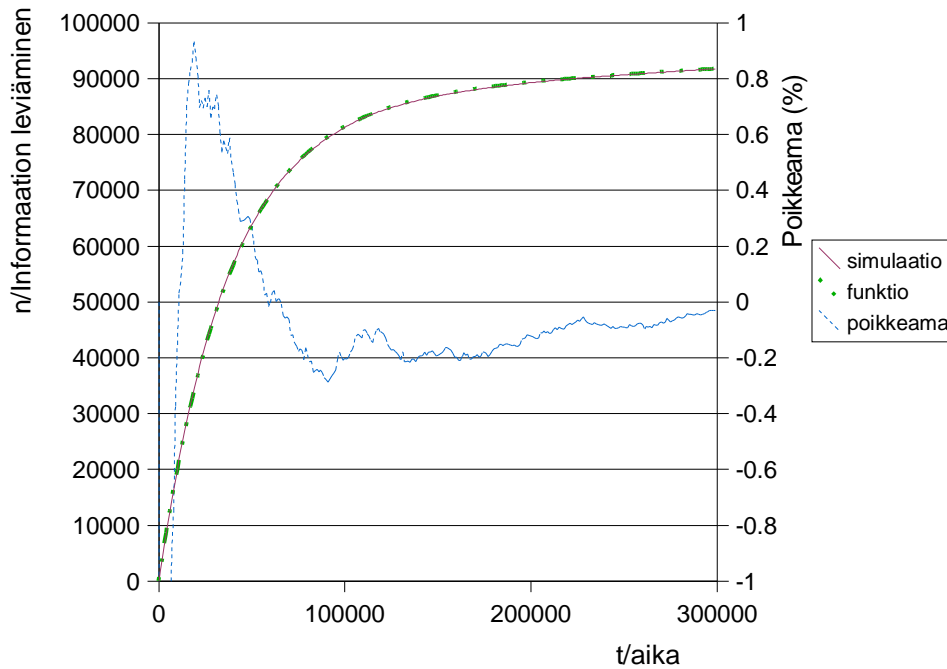
onko näillä mahdollisuutta saada sitä muualta. Simulaatiossahan informaatiolähteellä vierailee myös niitä, joilla olisi mahdollisuus saada informaatiossa muualta, mikä on myös edellytys vertaisverkkojen toiminnalle: informaationvaihtoputkessa informaatiossa saavien pitää kohdata toinen vaadittavalla teknologialla varustettu käyttäjä, jolla on jo haluttu informaatio hallussaan. Ellei kukaan niistä, joilla on teknologia käytössään, käy hakemassa sitä informaatiolähteeltä, ei tiedonvälitys voi toimia kahden käyttäjän kesken.



Kuva 18. Kolmeen komponenttiin jaetut kuvaajat.

Näin ollen simulaattorin tulostusta muutettiin edellisten päätelmien perusteella erottelemaan käyttäjät kolmeen osaan: 1) niihin, jotka saavat informaatiossa toiselta käyttäjältä, 2) niihin, jotka voisivat saada sen muilta, mutta käyvätkin informaatiolähteellä, sekä 3) niihin, joilla ei ole vaadittavaa teknologiaa hallussaan. Lisäämällä leviämiskäytännön kolmas termipari ja sovittamalla parametrit P_i ja k_i $i \in [1,3]$ kohdalleen, havaittiin simulaatiotulosten vastaavan täysin johdetun funktion käyttäytymistä (kuva 18). Verrattuna kuvaan 17 kuvassa 18 uusina kuvaajina ovat _t-merkinnöillä nimetyt kuvaajat, jotka edustavat niitä käyttäjiä, jotka voisivat saada informaatiossa muilta, mutta käyvätkin informaatiolähteellä. Informaation leviäminen mobiilissa lyhyen kantaman vertaisverkkoympäristössä voitiin siis kuvata funktiolla

$$n(t) = P_1 - P_1 e^{-k_1 \cdot t} + P_2 - P_2 e^{-k_2 \cdot t} + P_3 - P_3 e^{-k_3 \cdot t} . \quad (12)$$



Kuva 19. Simulaatiotuloksen poikkeama johdettuun funktioon verrattuna.

Kuvassa 19 on esitettyä simulaation tulos yhtenä kuvaajana sekä funktion 12 kuvaajana. Näiden voidaan sanoa olevan lähes täysin yhtenevät. Havaintoa tukee simulaation ja funktion 12 tulosten eroista laskettu suhteellinen poikkeama, joka on myös kuvassa 19.

6.2 Informaation leviäminen populaatiossa

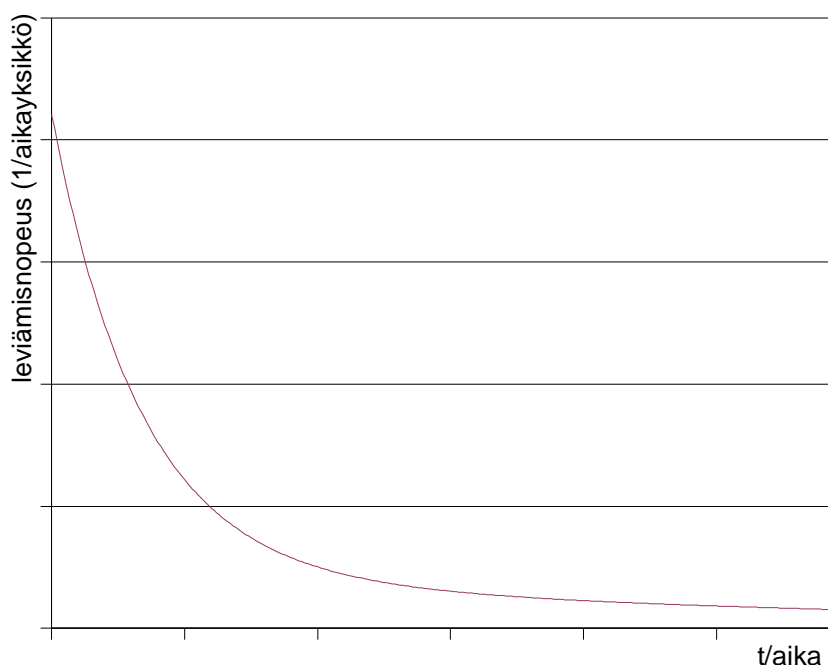
Edellä todettiin informaation leviämisen esitettyssä putkimallissa noudattavan funktion 12 mukaista käyttäytymistä. Tämän tutkielman puitteissa ei selvitetty tässä funktiossa esiintyvien kertoimien P_i ja k_i muodostumista annetuista alkuarvoista, vaan ne ratkaistiin pienimmän neliösumman avulla sovittamalla kehitetyn funktion kuvaaja simulaation tuloksiin. Ilman näiden tekijöiden analyttistä tarkasteluakin voidaan tuloksista esittää seuraavia johtopäätöksiä.

6.2.1 Informaation leviämisen nopeus

Sillä, miten nopeasti jokin tieto leviää tarkasteltavassa populaatiossa, on erittäin suuri merkitys mobiilien vertaisverkkojen käytännön soveltamiseen: ellei palvelusta ole riittävää hyötyä käyttäjille, ei sen voida olettaa menestyvän. Koska funktio 12 ilmoitti niiden käyttäjien määrän, jolla on tieto hallussaan tietyllä ajan hetkellä, saadaan tästä muodostettua leviämisen nopeutta kuvaava funktio ratkaisemalla sen ensimmäinen aikaderivaatta, eli

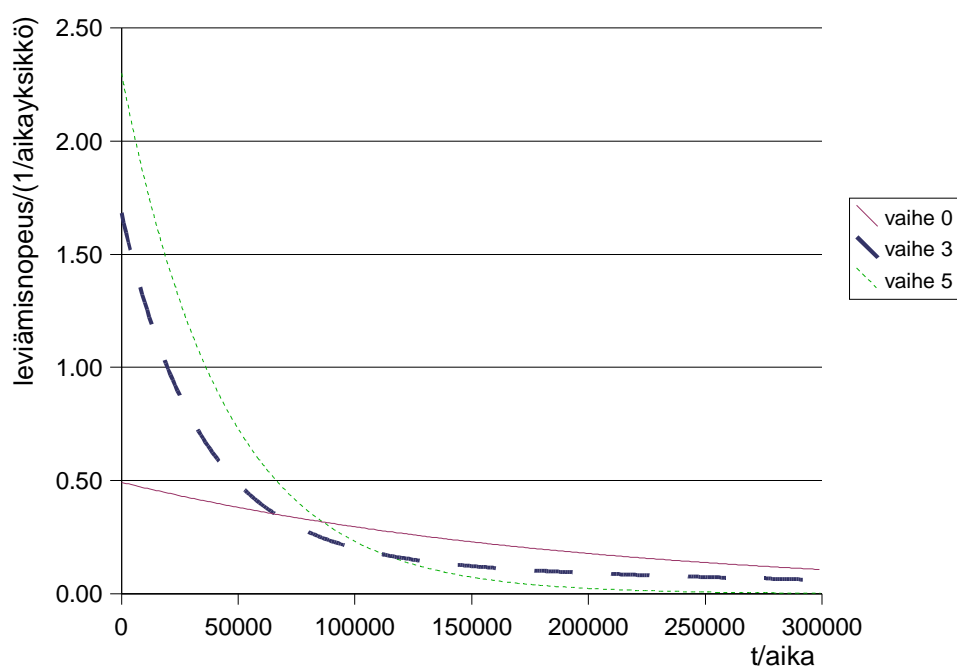
$$\frac{dn(t)}{dt} = \sum_{i=1}^3 P_i k_i e^{-k_i t} \quad (13)$$

Molempien termeistä P_i ja k_i ollessa ei-negatiivisia lukuja voidaan informaation leviämisen nopeutta kuvaavasta funktion 13 kuvaajasta nähdä leviämisen olevan voimakkainta heti alussa (ks. kuva 20). Tämän tuloksen perusteella informaation leviäminen on siis voimakkainta heti siinä vaiheessa, kun se päästetään leviämään. Tämä tulos poikkeaa selkeästi esimerkiksi Khelilin ym. [20] tuloksesta, jossa leviämisenopeuden maksimi savutettiin vasta silloin, kun riittävän suurella käyttäjäjoukolla oli mahdollisuus välittää omistamaansa informaatiota eteenpäin.



Kuva 20. Informaation leviämisenopeus.

Leviämisen nopeuteen vaikuttaa luonnollisesti hyvin suurella määrällä tarkasteluhetkellä vallitseva innovaation levinneisyysaste, eli se, miten suurella käyttäjäjoukolla on mahdollisuus saada informaatiota toisilta käyttäjiltä mobiilien vertaisverkkojen avulla. Kuvassa 21 on esitettyä kuvaajat informaation leviämisen nopeudesta innovaation leviämisvaiheissa 0, 3 ja 5, eli tilanteesta, jossa kenelläkään ei vielä ole mobiileja vertaisverkkojen käytön edellytyksiä, tilanteesta, jossa 50 % populaation jäsenistä käyttää mobiileja vertaisverkkoja, sekä tilanteesta, jossa tämä innovaatio on saavuttanut 100 % levinneisyysasteen.



Kuva 21. Informaation leviämisenopeuksia eri laitemäärillä.

Vaikka jo pelkästään informaation leviämisen nopeutta tutkimalla voidaan tehdä joitain johtopäätöksiä, saadaan mobiileista vertaisverkoista saatavaa varsinaista hyötyä tutkimalla tarkemmin selville miten paljon paremmin informaatio leviää käyttämällä mobiileja vertaisverkkoja kuin ilman niitä.

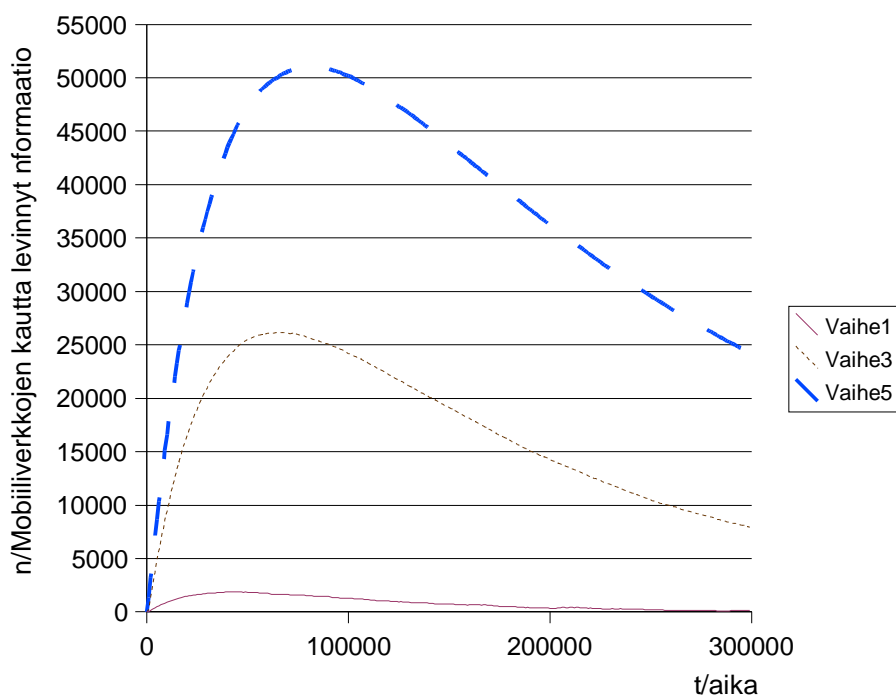
6.2.2 Mobiilien vertaisverkkojen tuoma hyöty informaation leviämiseen

Simulaatiojärjestelmä oli tehty siten, että siinä voitiin tarkastella informaation leviämistä vastaavassa tilanteessa, jossa kuitenkin käyttäjillä ei ole mobiilien vertaisverkkojen edellyttämiä laitteita käytössään. Tämän simulaatioympäristön ominaisuuden ansiosta simulaatitulosista voidaan erottaa mobiilien vertaisverkkojen tuoma varsi-

nainen lisäarvo. Merkitään mobiilien vertaisverkkojen tuoma hyötyä teknologian levinneisyysvaiheessa H_i . Täten tämä hyötyfunktio $H_i(t)$ voidaan esittää seuraavasti funktion 12 avulla:

$$H_i(t) = n_i(t) - n_0(t) \quad , \quad (14)$$

jossa i on teknologian levinneisyysvaihe, n_i tässä levinneisyysvaiheessa oleva informaation leviämiskäyrä ja n_0 informaation leviämiskäyrä ilman mobiiliverkkojen tuomaa lisäarvoa. Kuvassa 22 on esitetty kolmen levinneisyysvaiheen hyötyfunktioita kuvaavat.



Kuva 22. Informaation leviäminen mobiiliverkkojen kautta.

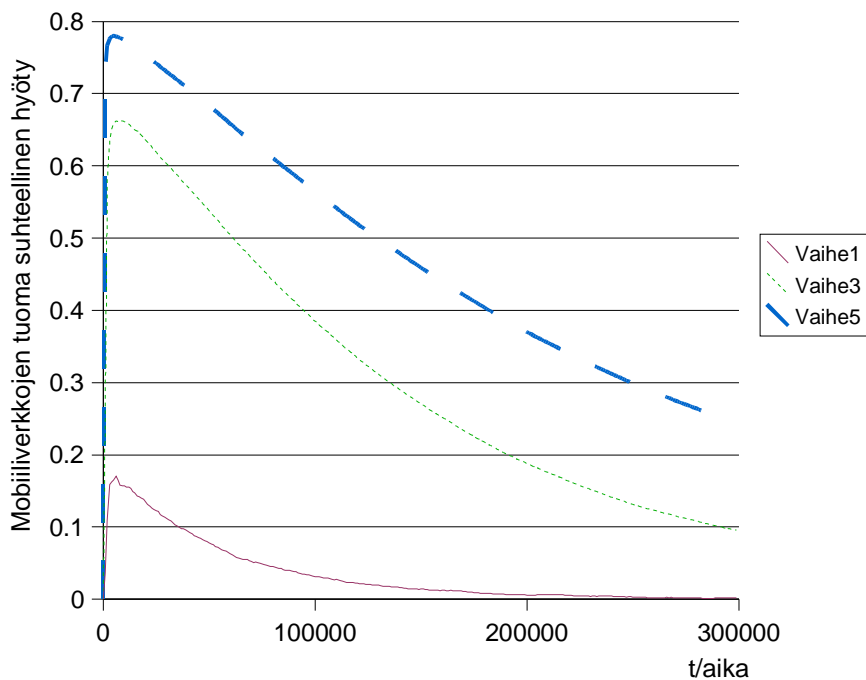
Kuten kuvasta 22 voidaan todeta, vaiheessa 1, jolloin innovaatio on käytössä ainoastaan innovaattoreilla, mobiilien vertaisverkkojen tuoma hyöty informaation leviämiseksi on sangan vähäinen. Kuitenkin laitekannan leviämisen myötä on myös nähtävissä mobiilien vertaisverkkojen voimakkaasti kasvava osuus informaation levittäjänä.

Kuvan 22 mobiilien vertaisverkkojen tuoma absoluuttinen informaation leviämisen lisäyksen määrä ei kuitenkaan vielä kerro tämän uuden palvelun tuomaa hyötyä kokonaisvaltaisesti, vaan tarkasteluun on lisättävä vielä mobiilien vertaisverkkojen kautta levinneen informaation määrän suhteellinen osuus kaikesta informaation leviämisestä. Suhteuttamalla kaavan 14 hyötyfunktio kaavan 12 informaation leviämiskäyrään saadaan suhteellinen hyötyfunktio

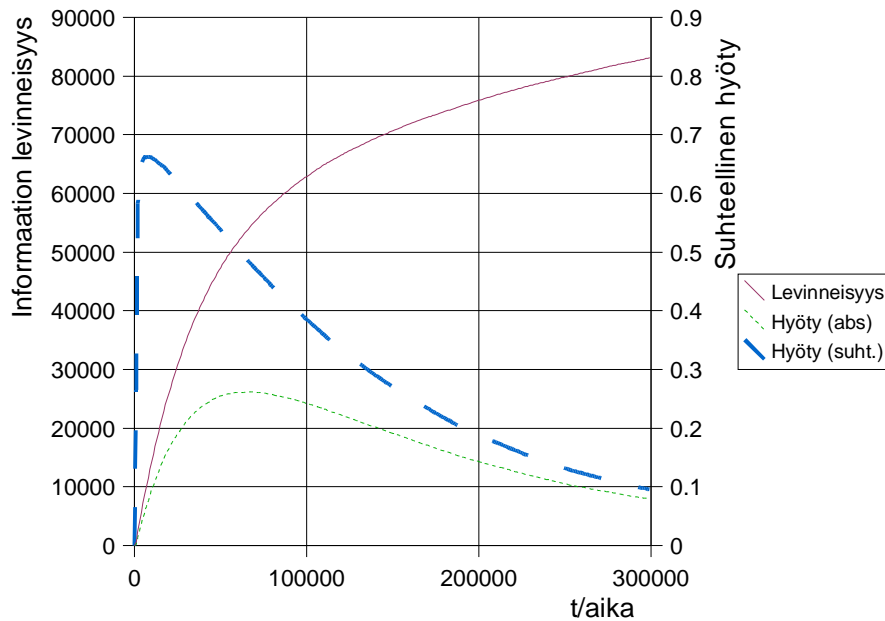
$$h_i(t) = \frac{H_i(t)}{n_i(t)}, \quad (15)$$

jonka kuvaaja on esitetty kuvassa 23.

Vertaamalla kuvien 22 ja 23 kuvaajia, nähdään suhteellisen hyödyn kuvaajan käyttäytyvän varsin eri tavalla verrattuna absoluuttisen hyödyn kuvaajaan: suhteellinen hyöty saavuttaa maksimiarvonsa jo hyvin varhaisessa vaiheessa, kun taas absoluuttisen hyödyn määrä jatkaa vielä kasvamista jonkin aikaa. Suhteellisen ja absoluuttisen hyödyn vertailun helpottamiseksi on kuvaan 24 yhdistetty yhteen teknologian levinneisyysvaiheeseen (vaihe 3) liittyvät kolme kuvaajaa: informaation levinneisyys (kaava 12), mobiilien vertaisverkkojen tuoma absoluuttinen hyöty (kaava 14) ja mobiilien vertaisverkkojen tuoma suhteellinen hyöty (kaava 15).



Kuva 23. Mobiiliverkkojen osuus informaation levittämisestä.



Kuva 24. Teknologian levinneisyysvaiheen 3 kuvaajia.

Kuvan 24 perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että mobiilit vertaisverkot vaikuttavat erityisesti informaation leviämisen alkuvaiheeseen ja niiden merkitys vähenee sitä mukaa, mitä suuremmalla osalla populaation jäsenistä on tämä tieto hallussaan. Mobiilien vertaisverkkojen voimakkaasta informaationlevittämisaikutuksesta heti sen jälkeen, kun tämä informaatio on päästetty levitykseen, voidaan löytää informaation elinikään liittyviä huomioita.

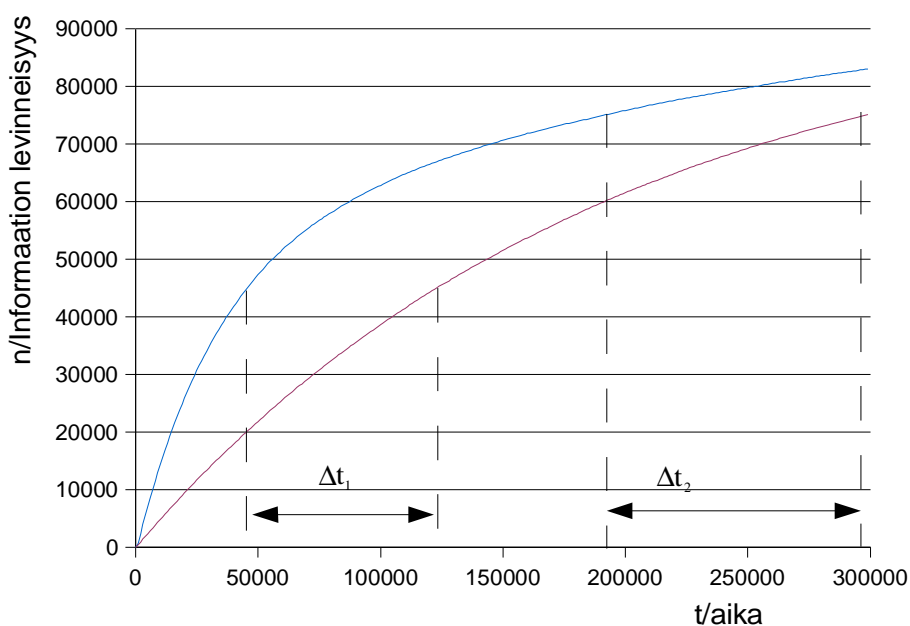
6.2.3 Leviävän informaation eliniän tarkastelu

Kuvan 24 mukaisten tuloksien perusteella voidaan sanoa mobiilien vertaisverkkojen vaikuttavan eniten lyhytikäisen informaation leviämiseen. Jos verrataan kyseisen kuvan esimerkkitapauksen mukaisia tuloksia nähdään, että esimerkiksi ajan hetkellä 50000 aikayksikköä informaatio on saavuttanut noin 45000 populaation jäsentä 100000:sta, ja näistä informaation haltioista 55 % on saanut hallussaan olevan informaatiossa mobiilien vertaisverkkojen välityksellä. Vastaavat lukemat 100000 ja 200000 aikayksikön kohdalla ovat noin 38 % 63000:sta sekä noin 19% 75000:sta. Toki näissäkin tapauksissa kokonaistavoitettavuus lisääntyy, mutta mobiilien vertaisverkkojen tuoma etu vähenee ajan kuluessa.

Informaation elinikään liittyvän tarkastelun voi kääntää myös toisin päin: kuinka kauan kestää ennen kuin tieto saavuttaa tietyn määrän käyttäjiä ja millainen vaikutus

mobiileilla vertaisverkoilla on tähän? Kuvassa 25 on esitettyä mobiilien vertaisverkkojen vaikutus leviämiseen vaadittavaan aikaan vastaavan esimerkin mukaisesti, kuin mitä käytettiin edellä kuvassa 24.

Verrattaessa teknologian levinneisyysvaiheen 3 informaation leviämiskäyrää tilanteeseen ilman mobiilien vertaisverkkojen tuomaa etua voidaan havaita 45000 populaation jäsenen tavoittamiseen vaadittavan ajan alle puolittuneen (Δt_1) mobiilien vertaisverkkojen ansiosta. Tämä tulos oli helposti oletettavissa, koska yllä olleen esimerkin mukaisesti teknologian levinneisyysvaiheessa 3 informaation tavoitettua 45000 populaation jäsentä näistä 55 % oli saanut informaation mobiilien vertaisverkkojen välityksellä. Merkittävää on kuitenkin todeta tietyn populaation jäsenmäärän tavoittamiseen kuluvan ajan pienentyvän huomattavasti myös suuremmilla tavoitemäärien arvoilla, vaikka edellisessä esimerkissä todettiin mobiilien vertaisverkkojen kautta informaationsa saavien määrän vähentyvän varsin paljon ajan kuluessa. Nyt kuitenkin 74000 populaation jäsenen tavoittamiseen vaadittava aika putoaa noin kolmasosalla (Δt_2).



Kuva 25. Informaation leviämisen nopeutuminen teknologian leviämisvaiheessa 3.

Riippuen siis näkökulmasta mobiileilla vertaisverkoilla voidaan sanoa olevan huomattava merkitys joko vain informaation leviämisen alkuvaiheeseen tai siten koko leviämisprosessiin. Jos tarkastellaan tiettyä ajanhetkenä mobiiliverkkojen tuomaa etua, se saavuttaa huippunsa informaation leviämisprosessin alkuvaiheessa ja saavutettu etu

pienenee yhä useamman saatua informaationsa muulla tavoin. Kuitenkin jos halutaan tavoittaa tietty joukko käyttäjiä, säilyy mobiilien vertaisverkkojen tuoma etu hyvin vahvana johtuen informaation leviämiskäytännön luonteesta: lähestyttäessä 100% levinneisyysastetta pienenee funktion kasvunopeus kaavan 13 mukaisesti (vrt. kuva 20).

6.2.4 Mobiilien vertaisverkkojen yleistyminen

Edellä olevissa alaluvuissa on tarkasteltu informaation leviämistä mobiilien vertaisverkkojen avulla, mutta näissä tarkasteluissa ei ole otettu kantaa siihen tuleeko tämä yksittäinen innovaatio koskaan leviämään. Tehtyjen simulaatioiden avulla voitiin mallintaa tilanteita, joissa käyttäjistä eri suuruisilla osilla oli käytössään tiedonvaihtoon "kadulla" tarvittava laite. Tämä uusi innovaatio siis vain oletettiin olevan tietyllä joukolla aina tietyssä simulaatioajossa. Kuitenkaan tämän innovaation leviämisestä ei voida sanoa yhtään mitään: ellei tämä innovaatio koskaan tule leviämään, on edellä kuvatuilla tuloksillakaan korkeintaan akateemista merkitystä, mutta ei mitään käytännöllistä.

Luvussa 3.2 esiteltiin joidenkin korkean teknologian innovaatioiden leviämistä ja näiden tilastojen valossa tämän uutuuden leviäminen on hyvinkin mahdollista. Matkapuhelin on jo saavuttanut varsin suuren suosion ja kotitietokoneiden ja Internet-yhteyksienkin määrä on tällä hetkellä nousuvaiheessa. Matkapuhelinten hyvää suosiota voidaan mahdollisesti pitää jonkinlaisena indikaattorina mobiilien vertaisverkkojen nousulle, koska niitä tulisi käyttää todennäköisesti juuri tämän tyyppisillä aina mukana kulkevilla laitteilla.

Kuten luvussa 2.2.1 todettiin, on nykyisissä matkapuhelimissa jo varsin paljon erilaisia muuhun kuin varsinaiseen puhelinkäyttöön liittyviä ominaisuuksia, eivätkä nykytrendit ennusta ainakaan näiden "ylimääräisten" toimintojen vähenemistä. Toisaalta, vaikka matkapuhelinten levinneisyysaste onkin sangen korkea, tutkimusten mukaan (ks. [1]) matkapuhelinta käytetään yhä lähinnä puhumiseen. Puhumisen lisäksi erilaiset viihdepalvelut olivat saaneet ainoana ei-viestinnällisenä palveluryhmänä jonkin verran käyttäjiä. Ehkä viihdepalvelut olisivatkin juuri se lisäarvo, joka mahdollistaa mobiilien lyhyen kantaman vertaisverkkojen nousun lähitulevaisuudessa.

7 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin innovaatioiden leviämisen vaikutusta mobiilien vertaisverkkojen avulla tapahtuvaan informaation välitykseen. Tutkimuksessa rajattiin informaation välittyminen koskemaan ainoastaan kahden verkkosolmun välistä suoraa tiedonvaihtoa ilman välissä olevia muita, ainoastaan välittävissä tehtävässä olevia verkon solmuja. Päätymällä tähän rajaukseen voidaan jättää yksi suurimmista mobiilien vertaisverkkojen ongelmista huomiotta: informaatiopakettien reitittäminen alati muuttuvassa verkkoympäristössä on erittäin vaikeasti hallittava ongelma. Vaikka informaation välittyminen rajataankin koskemaan vain kahta viereistä, toisiaan riittävän lähellä olevaa verkkosolmua, ei informaation leviämisestä koko populaation keskuuteen kuitenkaan muodostu ongelmaa, koska verkkosolmut itsessään ovat liikkuvia ja täten ne levittävät informaatiota siirtyessään paikasta toiseen.

Tutkimuksessa havaittiin, että hyvin pienellä laitekannalla mobiilit vertaisverkot eivät pysty juurikaan toimimaan, mutta laitemäärän kasvaessa hieman nousee mobiilien vertaisverkkojen vaikutus informaation välittäjinä hyvin voimakkaasti. Erityisesti näillä mobiileilla vertaisverkoilla on voimakas vaikutus informaation leviämisen alkuvaiheeseen, eli niiden avulla jokin yksittäinen informaatio saadaan välitettyä huomattavan nopeasti suuremmalle joukolle kuin ilman, mutta ajan kuluessa tämä merkitys hieman vähenee.

Selkeänä jatkotutkimuskohteena on tässä tutkielmassa esitetyn informaation leviämistä mobiilien vertaisverkkojen avulla mallintavan putkimallin kehittäminen eteenpäin. Tällä hetkellä malli on varsin rajoittunut joiltakin osin: esimerkiksi solmuvirtojen rajoittaminen vakionopeuksisiksi on eräs selkeä puute, joka tulisi korjata jatkotarkasteluita vasten. Huomioitavaa on, että tämä tuo myös mukanaan uuden ongelman: vaihtuville virtausnopeuksille tulisi taas kehittää uusi malli.

Itse simulaatiomittausten tueksi valittiin Rogersin innovaatioiden leviämismalli, jota kohtaan on esitetty kritiikkiä sen liiallisten yleistysten vuoksi. Simulaatioympäristön on toteutettu siten, että innovaatioiden leviämismallia voidaan vaihtaa varsin helposti. Eräs jatkotutkimuskohde onkin erilaisten leviämismallien avulla saatujen tulosten vertailu.

Kuitenkin simulaatioympäristöön toteutetaan seuraavana laajenuksena lisäominaisuus, jossa myös putken ulkopuolella kohtaavat mobiilit verkkosolmut voivat vaihtaa informaatiota keskenään. Alun perin koko putkimallin kantavana ajatuksena olikin, että mobiilisolmujen ollessa muualla kuin putkessa näitä on niin harvaksen, ettei niiden välittämän informaation määrällä olisi merkitystä. Kuitenkin tämän joukon ottaminen huomioon tuo lisää tarkkuutta nyt esitettyyn malliin. Tarkoituksena on mallintaa putken ulkopuolella olevien mobiilisolmujen liikkumista jonkin satunnaista liikkumista mallintavan kuvauksen perusteella ja tuoda myös tämä pieni lisä mukaan informaation kokonaisleviämiseen.

Näiden esitettyjen jatkotutkimusajatusten jälkeen onkin mielenkiintoista verrata nykyisen, rajoittuneemman mallin ennustamia tuloksia monimutkaisemman mallin vastaaviin.

8 LÄHTEET

- [1] Aarnio, A., Enkenberg, A., Heikkilä, J., Hirvola, S. 2002. Adoption and use of mobile services empirical evidence from a Finnish survey. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences.
- [2] Aberer, K., Puceva, M., Hauswirth, M., Schmidt, R. 2002. Improving data access in P2P systems. *IEEE Internet Computing*, 6 (1).
- [3] Arai, T., Yoshida, E., Ota, J. 1993. Information Diffusion by Local Communication of Multiple Mobile Robots. Proceedings of International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 'Systems Engineering in the Service of Humans'.
- [4] Bagrodia, R., Chu, W.W., Kleinrock, L., Popek, C. 1995. Vision, issues, and architecture for nomadic computing. *IEEE Personal Communications* 2 (6).
- [5] Bellavista, P., Corradi, A., Stefanelli, C. 2001. Mobile agent middleware for mobile computing. *Computer*, 34 (3).
- [6] Brewer, E., Burd, T., Burghardt, F., Burstein, A., Doering, R., Lutz, K., Narayansamy, S., Pering, T., Richards, B., Truman, T., Katz, R., Rabaey, J., Brodersen, R. 1995. Design of wireless portable systems. Digest of Papers of Comcon '95. 'Technologies for the Information Superhighway'.
- [7] Brewer, E.A., Katz, R.H., Chawathe, Y., Gribble, S.D., Hodes, T., Giao Nguyen, Stemm, M., Henderson, T., Amir, E., Balakrishnan, H., Fox, A., Padmanabhan, V.N., Seshan, S. 1998. A network architecture for heterogeneous mobile computing. *IEEE Personal Communications*, 5 (5).
- [8] Camp, T., Boleng, J., Davies, V. 2002. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research *Wireless Communications & Mobile Computing: Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*. 2 (5).
- [9] Charas, P. 2001. Peer-to-Peer Mobile Network Architecture. Proceedings of First International Conference on Peer-to-Peer Computing.
- [10] Ding, G., Bhargava, B. 2004. Peer-to-Peer File-sharing over Mobile Ad hoc Networks. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops.

- [11] Enger, J. C. 2001. PDAs: A hands-down winner with nurses. *Nursing Management*, Chicago.
- [12] Falls, P. 2001. A mobile workforce, hype or reality. *Information World Review*, Oxford, 171.
- [13] Frank, L., Heikkilä, J. 2001. Diffusion Models in Analysing Emergign Technology-Based Services. *Proceedings of The First IFIP Conference on Towards the E-Society: E-Commerce, E-Business, and E-Government*.
- [14] Friday, A., Davies, N. 1995. Distributed systems support for mobile applications. *IEE Colloquium on Mobile Computing and its Applications*.
- [15] Hau, S. S. Moving to mobile. 2001. *Health Management Technology*, Atlanta, 22 (7).
- [16] Heikkilä, J. 1995. The diffusion of a learning intensive technology into organisations. *Helsingin kauppakorkeakoulu*, Helsinki.
- [17] Horozov, T., Grama, A., Vasudevan, V., Landis, S. 2002. MOBY - A Mobile Peer-to-Peer Service and Data Network. *Proceedings of International Conference on Parallel Processing*.
- [18] Joseph, A. D., Tauber, J. A., Kaashoek, M. F. 1997. Mobile Computing with the Rower Toolkit. *IEEE Transactions on Computers: Special issue on Mobile Computing*, 46 (3).
- [19] Katz, R.H. 1994. Adaptation and mobility in wireless information systems. *IEEE Personal Communications*, 1 (1).
- [20] Khelil, A., Becker, C., Tian, J., Rothermel, K. 2002. An Epidemic Model for Information Diffusion in MANETs. *Proceedings of the 5th ACM international workshop on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems*.
- [21] Kleinrock, L. 2000. Nomadic computing and smart spaces. *IEEE Internet Computing*, 4 (1).
- [22] Kleinrock, L. 2000. On some principles of nomadic computing and multi-access communications. *IEEE Communications Magazine*, 38 (7).
- [23] Kopomaa, T. 2000. *Kännykkäyhteiskunnan synty*. Gaudeamus, Helsinki.
- [24] Kurmanowytch, R., Jazayeri, M., Kirda, E. 2002. Towards a hierarchical, semantic peer-to-peer topology. *Proceedings of Second International Conference on Peer-to-Peer Computing*.

- [25] Kwon, G., Ryu, K.D. 2003. An efficient peer-to-peer file sharing exploiting hierarchy and asymmetry. Proceedings of Symposium on Applications and the Internet.
- [26] Lock, G. Less copper, more radio. Works Management, Horton Kirby, 54 (6).
- [27] Maibaum, N., Mundt, T. 2002. JXTA: A Technology Facilitating Mobile Peer-to-Peer Networks. International Mobility and Wireless Access Workshop, MobiWac 2002.
- [28] Mäkinen, J., Jaakkola, H. 2000. Representing Infusion of Mobile Phones. IEEE Proceedings of the Engineering Management Society.
- [29] Nakamura, M., Jianhua Ma, Chiba, K., Shizuka, M., Miyoshi, Y. 2003. Design and implementation of a P2P shared web browser using JXTA. 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA 2003.
- [30] Oh-ishi, T, Sakai, K., Kikuma, K., Kurokawa, A. 2003. Study of the relationship between peer-to-peer systems and IP multicasting. IEEE Communications Magazine, 41 (1).
- [31] Orubeondo, A. 2001. Mobile computing's road to success. InfoWorld, San Mateo, 23 (5).
- [32] Orubeondo, A. Wireless holds the key to the future. InfoWorld, San Mateo, 23 (26).
- [33] Paananan, J. (toim.) 2001. Tietotekniikan peruskirja, 4. laitos. Docendo, Jyväskylä.
- [34] Papadopouli, M., Schulzrinne, H. 2001. Sensor networks and energy management: Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices. Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing.
- [35] Parameswaran, M., Susarla, A., Whinston, A.B. 2001. P2P Networking: An Information-Sharing Alternative. Computer, 34 (7).
- [36] Peng, G., Li, S., Jin, H., Ma, T. 2004. M-CAN: a Lookup Protocol for Mobile Peer-to-Peer Environment. Proceedings of 7th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks.
- [37] Ren, Y., Sha, C., Qian, W. Zhou, A. Ooi, B.C., Tan, K.-L. 2003. Explore the "small world phenomena" in pure P2P information sharing systems.

- Proceedings of 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, CCGrid 2003.
- [38] Rogers, E., M. 1983. Diffusion of Innovations, 3rd Ed. The Free Press, New York.
- [39] Schoder, D., Fischbach, K. 2003. Viewpoint: Peer-to-peer prospects. Communications of the ACM, 46 (2).
- [40] Schollmeier, R., Gruber, I., Niethammer, F. 2003. Protocol for Peer-to-Peer Networking in Mobile Environment. Proceedings of the 12th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN 2003.
- [41] Schmandt, C. 1994. Multimedia Nomadic Services on Today's Hardware. IEEE Network, 8 (5).
- [42] Singer, T. 2000. Why do maintenance departments resist mobile computing?. Plant Engineering, Barrington, 54 (9).
- [43] Sun, J.-Z., Sauvola, J. 2002. On fundamental concept of mobility for mobile communications. The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Volume: 2.
- [44] Tiedolla tietoyhteiskuntaan. 1997. Tilastokeskus, Helsinki.
- [45] Tiedolla tietoyhteiskuntaan II. 1999. Tilastokeskus, Helsinki.
- [46] Tiedolla tietoyhteiskuntaan III. 2001. Tilastokeskus, Helsinki.
- [47] Tienari, M. (toim.) 1993. Tietotekniikan alkuvuokset Suomessa. Suomen atk-kustannus.
- [48] Walkerdine, J., Melville, L., Sommerville, I. 2002. Dependability properties of P2P architectures. Proceedings of Second International Conference on Peer-to-Peer Computing, P2P 2002.
- [49] Williams, M.R. 1997. A History of Computing Technology, 2. painos. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos (CA).
- [50] Ye, T., Jacobsen, H.-A., Katz, R. 1998. Mobile Awareness in a Wide Area Wireless Network of Info-Stations. ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98).
- [51] Yu, D., Hui Li. 2003. Proceedings of International Conference on Communication Technology, ICCT 2003, Volume: 2.