Antti Kurki

Kimmo Tokkari

LIIKKUVAN TIETOJENKÄSITTELYN KEHITYKSEN JA ERITYISPIIRTEIDEN VAIKUTUKSET PAIKKATIETOISIIN SOVELLUKSIIN

Tietojärjestelmätieteen
pro gradu -tutkielma
27.7.2001

Jyväskylän yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Jyväskylä

TIIVISTELMÄ

Kurki, Antti Kustaa

Tokkari, Kimmo Tapani

Liikkuvan tietojenkäsittelyn kehityksen ja erityispiirteiden vaikutukset paikkatietoisiin sovelluksiin / Antti Kurki ja Kimmo Tokkari.

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2001.

156 s.

Pro gradu -tutkielma

Langattomien verkkotekniikoiden kehitys on tehnyt mahdolliseksi liikkuvan tietojenkäsittelyn. Samalla tarjottavien palveluiden ja sovellusalueiden määrän on arveltu moninkertaistuvan. Yhdistämällä paikannuspalvelut langattomuuteen ja liikkuvuuteen luodaan edellytykset myös paikkatietoisille sovelluksille.

Tarkastelemme radioteknologiaan perustuvien langattomien verkkotekniikoiden kehitystä, liikkuvuuden erityispiirteitä, eri paikannustekniikoita ja näiden tekijöiden vaikutuksia paikkatietoisiin sovelluksiin. Tutkimus on luonteeltaan pääosin käsitteellisteoreettinen, mutta normatiivisen näkökulman vuoksi siinä on myös konstruktiivisia piirteitä.

Muodostamme luokittelun paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille, jotka jaottelemme käyttäjäryhmän mukaisesti yleisiin, verkon ylläpito- ja erillissovelluksiin. Käyttötarkoituksen mukaan sovellukset jaotellaan vielä viestintä-, informaatio-, seuranta-, lähi-, viranomais-, sisäisiin - ja laskutussovelluksiin. Sijoitamme luokitteluun aiemmin tehtyjä sovelluksia, palveluita ja sovellusideoita. Kartoitamme vaikutuksia sovelluksiin erityisesti vaaditun kapasiteetin, yhteistoiminnan, tietoturvan ja -suojan sekä paikannustarkkuuksien ja laitteiden aiheuttamien rajoitteiden osalta.

Ainoastaan liikkuvan tietojenkäsittelyn sekä eri verkko- ja paikannustekniikoiden yhteistoiminnan avulla voidaan tarjota täysimittainen tuki paikkatietoisille sovelluksille. Teoriassa tämä on mahdollista, mutta se vaatii kehitykseltä suurta avoimuutta ja useiden uusien kysymysten ratkaisemista.

AVAINSANAT: liikkuva tietojenkäsittely, paikkatietoiset sovellukset, verkkotekniikat, paikannustekniikat

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ I

SISÄLLYS II

1 JOHDANTO 1

2 VERKKOTEKNIIKOIDEN KEHITYS 5

2.1 BLUETOOTH 6
2.1.1 Protokolla-arkkitehtuuri 7
2.1.2 Pikoverkko 9
2.1.3 Hajaverkot 10
2.1.4 Palvelun löytäminen 11
2.1.5 Turvallisuus 12
2.1.6 Sovellukset 13
2.1.7 Bluetooth-teknologian heikkoudet 14
2.2 LANGATTOMAT LÄHIVERKOT 15
2.2.1 IEEE 802.11 16
2.2.2 HiperLAN 18
2.3 MATKAPUHELINVERKOT 22
2.3.1 GSM 22
2.3.2 HSCSD 23
2.3.3 GPRS 25
2.3.3.1 Piirikytkennästä pakettikytkentäisyyteen 25
2.3.3.2 Tiedonsiirto ja verkkoarkkitehtuuri 26
2.3.3.3 GPRS:n heikkoudet ja kohdatut ongelmat 29
2.3.4 EDGE 30
2.3.4.1 Tekniset uudistukset 31
2.3.4.2 Verkkojen päivitys ja kustannukset 32
2.3.5 Kolmannen sukupolven verkot 33
2.3.5.1 UMTS 35
2.4 NELJÄS SUKUPOLVI 40
2.5 YHTEENVETO VERKKOTEKNIIKOIDEN KEHITYKSESTÄ 42

3 LIIKKUVAN TIETOJENKÄSITTELYN ERITYISPIIRTEET 44

3.1 PALVELUN LAATU 45
3.1.1 Erityyppinen data 45
3.1.2 Oikea-aikaisuus 46
3.1.3 Kapasiteetti 47
3.1.4 Luotettavuus 52
3.1.5 Yhtäjaksoisuus 53
3.1.6 Peittoverkkojen vaikutus palvelun laatuun 55
3.2 YHTEISTOIMINTA 57
3.2.1 Sisäinen yhteistoiminta 57
3.2.2 Ulkoinen yhteistoiminta 59

3.3 MUKAUTUMINEN 63
3.4 TIETOSUOJA JA TIETOTURVA 66
3.5 LAITTEIDEN RAJOITTEET 73
3.6 YHTEENVETO LIIKKUVAN TIETOJENKÄSITTELYN ERITYISPIIRTEISTÄ 77

4 PAIKANNUSTEKNIIKAT 79

4.1 MATKAPUHELINVERKKO 79
4.2 GPS-JÄRJESTELMÄ 82
4.3 ERILLISTEKNIIKAT 85
4.4 TEKNIIKOIDEN YHDISTÄMINEN 87
4.5 PAIKANNUSTARKKUUDET 89
4.6 YHTEENVETO PAIKANNUSTEKNIIKOISTA 91

5 PAIKKATIETOISET SOVELLUKSET JA PALVELUT 93

5.1 LUOKITTELU PAIKKATIETOISILLE SOVELLUKSILLE JA PALVELUILLE 94
5.2 VIESTINTÄSOVELLUKSET JA -PALVELUT 97
5.3 INFORMAATIOSOVELLUKSET JA -PALVELUT 100
5.4 SEURANTASOVELLUKSET JA -PALVELUT 104
5.5 LÄHISOVELLUKSET 106
5.6 LASKUTUSPALVELUT 108
5.7 SISÄISET SOVELLUKSET 109
5.8 VIRANOMAISSOVELLUKSET JA -PALVELUT 110
5.9 YHTEENVETO PAIKKATIETOISISTA SOVELLUKSISTA JA PALVELUISTA 112

6 VAIKUTUKSET SOVELLUKSILLE 115

6.1 VERKKOTEKNIIKAT PAIKKATIETOISTEN SOVELLUSTEN TUKENA 115
6.2 TOIMINNAN YHTENÄISYYDEN MERKITYS 121
6.3 TIETOTURVAN JA TIETOSUOJAN HUOMIOON OTTAMINEN 123
6.4 PAIKANNUSTEKNIIKOIDEN MERKITYS 127
6.5 LAITTEIDEN ASETTAMAT RAJOITTEET 129
6.6 YHTEENVETO VAIKUTUKSISTA SOVELLUKSILLE 131

7 YHTEENVETO 133

LÄHTEET 137

LIITE 1: IP-PROTOKOLLAN KEHITTYMINEN 153

LIITE 2: SIGNAALIN HÄIPYMINEN 154

LIITE 3: LINKKEJÄ KAUPALLISIIN PAIKKATIETOISIIN SOVELLUKSIIN 155

1 JOHDANTO

Tietojenkäsittely elää murrosvaiheessa. Teknisen kehityksen myötä käyttäjät pystyvät liikkuessaan käyttämään langattomia yhteyksiä sähköpostin lukemiseen, tietojärjestelmien etäkäyttöön ja yhä enemmän myös kaupallisten palveluiden hyödyntämiseen.

Liikkuva tietojenkäsittely (mobile computing) voidaan ymmärtää monella tapaa. Forman ja Zahorjan (1994) määrittelevät sen tietojenkäsittelyksi, jossa käyttäjillä on kannettavien laitteiden kautta yhteys jaettuun infrastruktuuriin fyysisestä sijainnistaan riippumatta. Liikkuvaan tietojenkäsittelyyn liitetään usein kiinteästi *langaton tietojenkäsittely* (wireless computing). Katzin (1995) mukaan langattomassa tietojenkäsittelyssä laitteet liittyvät langattoman yhteyden avulla verkkoon, joka voi olla myös yhdyskäytävä perinteiseen langalliseen verkkoon. Tässä tutkielmassa tarkoitamme liikkuvalla tietojenkäsittelyllä edellä olevien määritelmien yhdistelmää, eli *langatonta liikkuvaa tietojenkäsittelyä*. Rajaamme langattomien yhteyksien käsittelyn koskemaan ainoastaan radioteknologioita. Emme käsittele radioteknologioista satelliittiperustaisia matkapuhelinverkkoja, koska niiden hyöty sovelluksille näyttää tällä hetkellä vähäiseltä korkeiden kustannusten ja alhaisten tiedonsiirtonopeuksien vuoksi.

Matkapuhelinverkoissa on alkanut siirtymävaihe kohti kolmannen sukupolven järjestelmiä. Myös muita langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitettuja tekniikoita kehitetään edelleen. Tavoitteena on luoda maailmanlaajuinen yhtenäinen langaton tiedonsiirtoverkko. Tulevista verkkotekniikoista luvataan tiedonsiirtokyvyltään entistä nopeampia, ja samalla tarjottavien palveluiden ja sovellusalueiden määrän oletetaan nousevan moninkertaiseksi. Tämän seurauksena käyttäjämäärien ja siten myös sovellusmarkkinoiden rahallisen arvon on arveltu kasvavan merkittävästi.

Kehitys mahdollistaa yhä useamman kiinteistä verkoista tutun sovellusalueen tuomisen myös liikkuvan tietojenkäsittelyn sovelluksiksi. Liikkuvuus tuo lisäksi mukanaan aivan uusia sovellusalueita. Tässä tutkielmassa tarkastelemme paikkatietoisia sovelluksia,

joille asetetut odotukset ovat erityisen suuret. Määrittelemme *paikkatietoiset sovellukset* liikkuvan tietojenkäsittelyn sovelluksiksi, jotka toiminnassaan hyödyntävät tietoa laitteen sijainnista.

Liikkuvassa tietojenkäsittelyssä on monia ongelmia, jotka vaikuttavat myös sovellusten toimintaan. Esimerkiksi yhteyksien kapasiteetti ja luotettavuus saattavat heilahdella hyvin arvaamattomasti ja käytettävien laitteiden resurssit ovat rajallisemmat kuin pöytäkoneiden (Satyanarayanan 1996, 1; Forman & Zahorjan 1994). Liikkuvassa tietojenkäsittelyssä joudutaan tulemaan toimeen näiden ongelmien kanssa. Paikkatietoiset sovellukset tarvitsevat lisäksi erilaisia paikannustekniikoita, jotka tuottavat sovelluksille laitteiden sijaintitietoja.

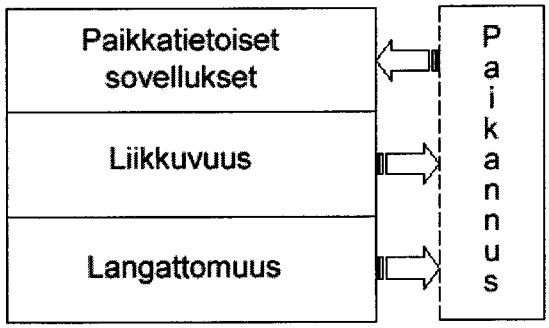
Paikkatietoisiin sovelluksiin asetetut suuret taloudelliset odotukset, tunnetut liikkuvan tietojenkäsittelyn ongelmat ja lähes mahdottomilta kuulostavat lupaukset tulevaisuuden verkko- ja paikannustekniikoista olivat tämän tutkielman motivaationa. Asetimmekin tutkimusongelman seuraavasti: *Miten verkkotekniikoiden kehitys, liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteet ja eri paikannustekniikat vaikuttavat paikkatietoisiin sovelluksiin?*

Käsittelyn selkeyttämiseksi jaoimme ongelmaan vastaamisen seuraaviin neljään osaongelmaan:

1. Millaisia verkkotekniikoita käytetään lähitulevaisuudessa, ja mihin suuntaan niiden kehitys etenee?
2. Mitä erityispiirteitä liittyy liikkuvaan tietojenkäsittelyyn?
3. Millaisia paikannustekniikoita on olemassa?
4. Miten paikkatietoiset sovellukset voidaan luokitella?

Näemme liikkuvan tietojenkäsittelyn rakentuvan erillisistä palvelukerroksista (KUVIO 1). Langattomuus toteutetaan alimmalla kerroksella, joka koostuu tiedonsiirron toteuttavista verkkotekniikoista. Keskimmäinen kerros tarjoaa tuen liikkuvuudelle sisältäen mekanismeja, joiden avulla liikkumisen vaikutukset voidaan peittää sovelluksilta. Ylimmällä kerroksella sijaitsevat varsinaiset sovellukset. Paikkatietoisten

sovellusten tarvitsema paikannuspalvelu on vuorovaikutuksessa kaikkien kerrosten kanssa tarjoten laitteiden sijaintitietoja sovelluksille. Aikaisemmissa alueen tutkimuksissa näiden kerrosten välisten yhteyksien ja riippuvuuksien huomioiminen on mielestämme ollut vähäistä. Asettamamme osaongelmat liittyvät kerrosmallin eri osiin. Tutkielman tavoitteena on käsitellä ensin osaongelmat ja löydettyihin vastauksiin perustuen luoda tiiviimpi yhteys kerrosten välille ja siten vastata tutkielman pääongelmaan.



KUVIO 1: Liikkuvan tietojenkäsittelyn kerrosmalli paikkatietoisille sovelluksille.

Tutkielman lähestymistapa aiheeseen on käytännönläheinen, vaikka näkökulma onkin tulevaisuuteen suuntaava. Vain harvat tutkielmassa esitellyistä teknologioista ovat tällä hetkellä yleisesti käytössä, ja sen vuoksi onkin käytännössä mahdotonta liittää tutkimukseen empiiristä osaa. Tutkimusmenetelmä on käsitteellisteoreettinen, mutta tutkimuksen normatiivisen näkökulman vuoksi siinä on myös konstruktiivisia piirteitä.

Tutkielmassa muodostimme olemassa olevien kategoriointien ja sovellushierarkioiden perusteella luokittelun paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille. Samalla pyrimme laaja-alaisen käsittelyn kautta kartoittamaan eri teknologioiden yhteisvaikutuksia paikkatietoisille sovelluksille sekä esittelemään ratkaisumalleja parempien toimintaedellytysten luomiseksi niille.

Tutkielman lukurakenne etenee esittämämme kerrosmallin mukaisesti. Luvussa 2 käsittelemme todennäköisimpiä tulevaisuuden langattomia verkkotekniikoita. Luvussa 3 tarkastelemme liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteitä ja luvussa 4 esittelemme

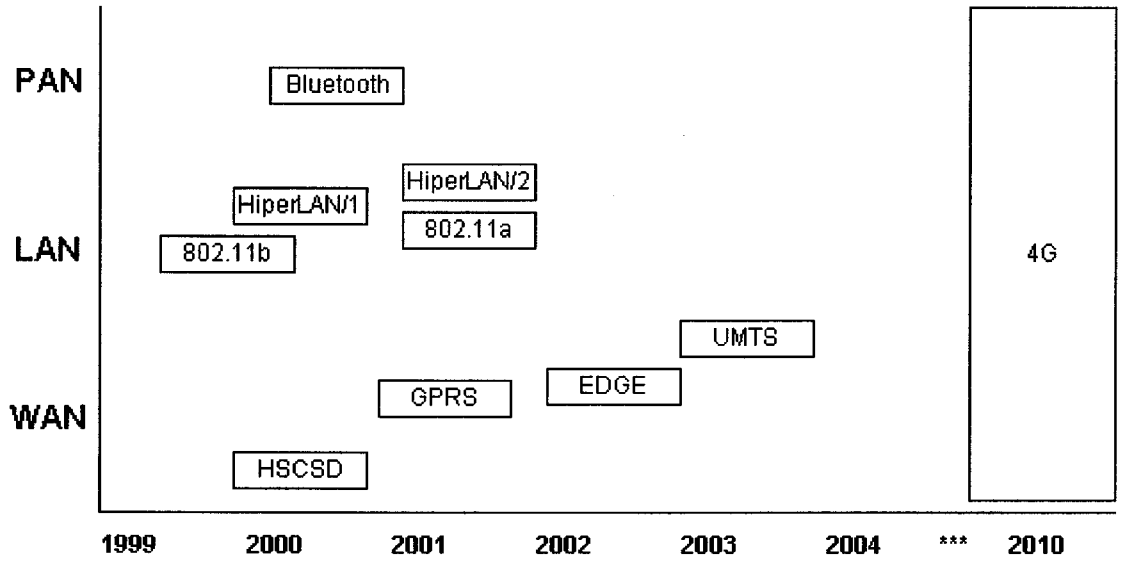
paikannustekniikoita. Käsiteltyämme nämä sovellusten toteuttamisen mahdollistavat osat keskitymme luvussa 5 sovelluksiin. Luomme paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden luokittelun ja esittelemme esimerkkejä niistä. Luvussa 6 yhdistämme käsitellyt kokonaisuudet sekä osoitamme niiden välisiä riippuvuuksia ja vaikutuksia paikkatietoisiin sovelluksiin. Luvussa 7 teemme yhteenvedon tutkimuksen tuloksista ja ehdotamme jatkotutkimusaiheita.

2 VERKKOTEKNIIKOIDEN KEHITYS

Langattomien verkkojen tiedonsiirtokyky on lähes aina ollut pienempi kuin lankaverkkojen. Vaikka radiotiellä käytettäviä taajuuksia voidaan kierrättää solukokoja pienentämällä, tarjolla olevaa spektriä ei käytännöllisistä ja taloudellista syistä voi loputtomasti uudelleenkäyttää. Toisaalta taajuuksien kierrätys ei myöskään lisää yksittäisen yhteyden kapasiteettia. Spektriä on varattu sotilas- ja TV-käyttöön, josta sitä saatetaan tulevaisuudessa siirtää tietoliikenneoperaattorien käyttöön. Lankaverkoissa taas kapasiteetin lisääminen onnistuu rakentamalla lisää tiedonsiirtokaapeleita, ja siksi lankaverkot skaalautuvatkin rajattomasti. Lisäksi lankaverkoissa käytetty digitaalinen tiedonsiirto nostaa entisestään niiden tiedonsiirtokykyä.

Langattomien verkkojen suorituskykyä voidaan nostaa ainoastaan kehittämällä tiedonsiirtomenetelmistä entistä älykkäämpiä ja tehokkaampia esimerkiksi parantamalla kanavien jakoa, modulointia ja protokollia. Tässä luvussa luomme katsauksen nykyisiin ja tuleviin langattomiin radiotekniikoihin. Tarkastelemme *henkilökohtaisen alueen* - (Personal Area), *lähialueen* - (Local Area) ja *alueverkon* - (Wide Area) verkkotekniikoita, sillä erilaiset ratkaisut ovat sidoksissa palveltavan alueen kokoon. Ensimmäisenä tarkastelemme Bluetoothia, joka edustaa selvästi henkilökohtaisen alueen verkkoa. Tämän jälkeen käsittelemme langattomien lähiverkkojen IEEE 802.11 - ja HiperLAN-standardiperheitä, jotka ovat lähialueen verkkoja. Seuraavaksi tarkastelemme GSM-matkapuhelinverkkoa edelleen kehittäviä HSCSD-, GPRS-, EDGE- ja UMTS-alueverkkoja. Lopuksi pyrimme luomaan katseen vieläkin kauemmaksi tulevaisuuteen. (KUVIO 2)

Langattoman maailman kehitys on tavattoman nopeaa. Tarkoituksenamme on antaa luvun lukijalle parempi kuva siitä, missä tilanteessa kehitystyö on tällä hetkellä ja mihin suuntaan ollaan menossa. Ennen kaikkea haluamme selvittää, pystytäänkö jonkin verkkotekniikan avulla toteuttamaan riittävä palvelukyky kaikkialla ja kaikissa tilanteissa.



KUVIO 2: Verkkotekniikoiden arvioitu käyttöönottoaikataulu

2.1 Bluetooth

Vuonna 1994 Ericsson Mobile Communication AB alkoi tutkia vähän virtaa kuluttavia, halpoja radioliittymiä langattomien laitteiden ja niiden oheislaitteiden välille. Vuonna 1997 Ericssonilla tultiin siihen tulokseen, että lyhyen etäisyyden radioliitännän menestyminen vaatisi myös muiden valmistajien laitteiden markkinoille tuloa (Haartsen 1998). Helmikuussa 1998 viisi perustajajäsentä - Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba ja Intel - perustivat Bluetooth SIG:n (Special Interest Group) kehittämään avointa Bluetooth - määrittelyä. Nykyisin kehitystyössä on mukana yli 2000 yritystä eri aloilta. Työn tuloksena saatiin kesällä 1999 valmiiksi standardin ensimmäinen 1.0 versio, ja joulukuussa 1999 standardia päivitettiin vielä hieman: *Bluetooth Core* 1.0B sisältää kaikki *tekniset määrittelyt*, ja *Bluetooth Profiles* 1.0B koostuu erilaisista *sovellusprofiileista* ja niiden vaatimuksista (Bluetooth 1999a; Bluetooth 1999b).

Bluetooth-teknologia mahdollistaa langattoman kommunikoinnin pienten tietojenkäsittelylaitteiden välillä. Bluetooth koostuu radiolähettimestä ja protokollapinosta, jotka pyritään pakkaaman yhteen pienikokoiseen siruun. Bluetoothin kilpailuvaltteja on kerrottu olevan pieni koko, halpa hinta, vähäinen tehonkulutus,

laitteiden välinen yhteensopivuus ja suhteellisen suuri tiedonsiirtokyky lyhyillä etäisyyksillä. Ennusteet teknologian käyttöönotosta ovat valtaisat, ja esimerkiksi Ericsson uskoo siihen, että kolmen vuoden kuluttua jokainen matkapuhelin sisältää myös Bluetooth-ominaisuudet. Varsinaisia kilpailijoita Bluetoothilla ei oikeastaan ole, vaikka HomeRF-työryhmän (HRFWG) lähinnä kotien langattomuutta tavoitteleva HomeRF-standardi onkin sitä osittain. Lisäksi IEEE perusti maaliskuussa 1999 802.15 WPAN-työryhmän tutkimaan ja kehittämään lyhyen etäisyyden verkkoja. WPAN keskittyy kuitenkin enemmän OSI-mallin kahdelle alimmalle kerrokselle, kun Bluetooth määrittely kattaa kaikki 7 kerrosta.

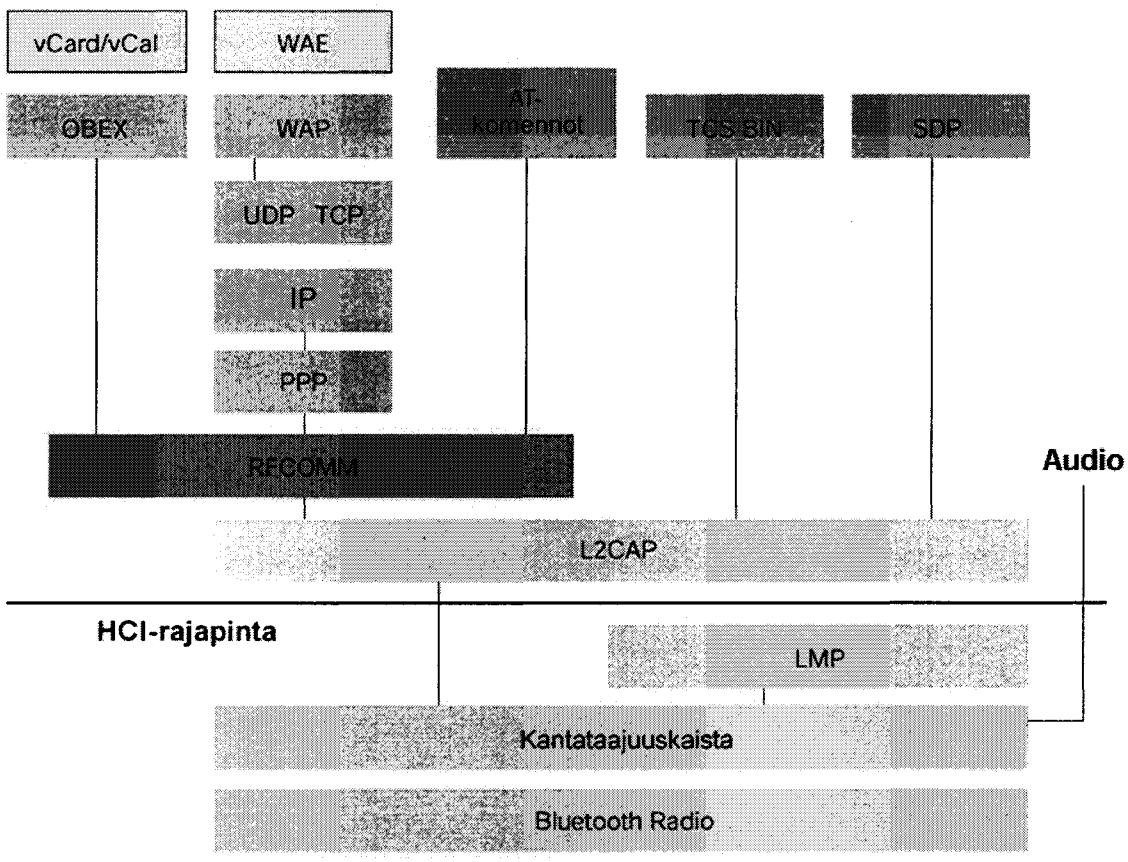
2.1.1 Protokolla-arkkitehtuuri

Bluetooth -teknologian yhtenä suunnittelulähtökohtana on ollut varmistaa, että eri valmistajien laitteet toimivat keskenään (ks. alakohta 3.2.1). Tämän takia radiotiet, protokollat ja sovellusprofiilit on määritelty tarkkaan. Protokolla-arkkitehtuuria muodostettaessa on hyödynnetty mahdollisimman paljon jo olemassa olevia protokollia. Tämän toivotaan auttavan ohjelmistosuunnittelijoita sovellusten siirtämisessä langattomaan Bluetooth -ympäristöön ja sovellusten yhteensopivuuden takaamisessa.

Bluetoothin toiminnallisuus perustuu erilaisille *käyttömalleille* (usage models). Protokollapinon päällä voidaan käyttää tarvittaessa valmistajien omia protokollia, ja erilaisia sovellusalueita varten spesifikaatiossa on määritelty useita räätälöityjä protokollapinoja (Bluetooth 1999b). Kaikki sovellukset käyttävät kuitenkin samaa fyysistä - ja siirtoyhteyskerrosta (KUVIO 3). (TAULUKKO 1).

Bluetooth toimii 2.45 GHz:n vapaalla taajuusalueella. Käytetyt radiolähettimet ovat hyvin pieniä, ja esimerkiksi Ericssonin Bluetooth-radiopiirin koko on vain 10 x 14 x 1.6 millimetriä. Spesifikaation mukaan lähetysteho voi olla 1-100 milliwattia (Bluetooth 1999a, 20), jonka avulla saavutetaan keskimäärin 10-100 metrin kantama. Koska käytetty lähetysteho on verrattain pieni, laitteiden toivotaan toimivan samalla paristolla tai akulla useita kuukausia. Saavutettava tiedonsiirtonopeus vaihtelee sen mukaan, onko

kysymyksessä synkroninen vai asynkroninen yhteys, mutta maksimitiedonsiirtokyky on noin 1 Mbit/s. Kun tästä poistetaan protokollaliikenteen aiheuttama kuormitus, saadaan todelliseksi tiedonsiirtonopeudeksi 721 kbit/s.



KUVIO 3: Bluetoothin protokollakerrokset (Au-Systems 2000, 8; Bluetooth 1999a, 251; Mettälä 1999, 5)

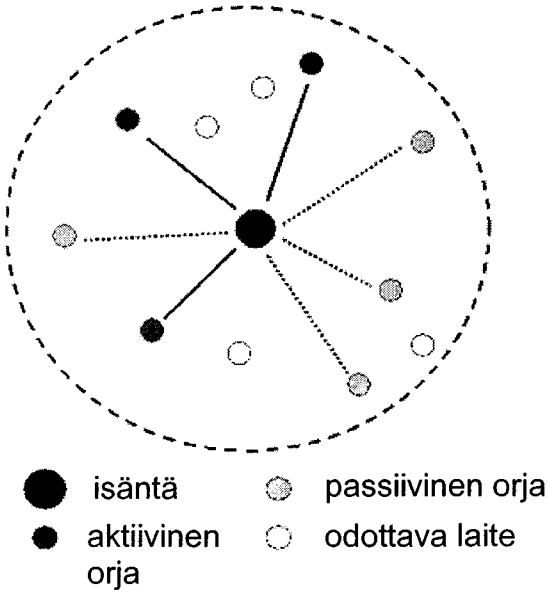
Bluetoothin vapaata taajuusaluetta käyttävät myös muut laitteet kuten WLAN -kortit. Osin tästä syystä Bluetooth käyttää liikennöinnissä laajakaistaista taajuushyppelyä. Langaton Bluetooth-laite vaihtaa käytettyä taajuutta 1600 kertaa sekunnissa, joten se pysyy samalla taajuudella vain hyvin vähän aikaa (625 μs) ja pyrkii näin minimoimaan interferenssin toisten laitteiden kanssa. Jos lähetys jostain syystä tukkeutuu, voidaan tarvittaessa käyttää kuitenkin virheenkorjausalgoritmeja.

TAULUKKO 1: Bluetoothin protokollapinon kerrokset

Protokollakerros	**Protokollapino**
Bluetoothin ydinprotokollat	Baseband, LMP (Link Manager Protocol), L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), SDP (Service Discovery Protocol)
Kaapelinkorvausprotokolla	RFCOMM
Puhelunhallintaprotokollat	TCS BIN (Telephony Control - Binary), AT-Commands
Mukautetut protokollat	PPP, UDP/TCP/IP, OBEX (Object-exchange), WAP, vCard/vCalendar, WAE

2.1.2 Pikoverkko

Kun langattomat Bluetooth-laitteet tulevat lähetysetäisyydelle toisistaan, ne voivat muodostaa keskenään tilapäisverkkoja (ad-hoc connections). Tällaista verkkoa kutsutaan *pikoverkoksi* (piconet) (KUVIO 4). Laitteet voivat sitten käyttää verkkoa keskinäiseen kommunikointiin ja tiedonsiirtoon. Bluetoothin pikoverkkoon kuuluu aina yksi isäntälaite ja loput laitteet ovat orjia. Yhdessä pikoverkossa voi olla rajoittamaton määrä laitteita, mutta vain 8 niistä voi olla *aktiivisena* yhtä aikaa eli ne voivat osallistua



KUVIO 4: Bluetoothin pikoverkko ja laitteiden yhteystilat.

tiedonsiirtoon. Isäntälaite hallitsee kaikkea pikoverkossa kulkevaa liikennettä. Sen tehtävänä on vastata lähetysvuorojen jaosta ja varmistaa, että vain yksi laite liikennöi kerrallaan. Tämän lisäksi pikoverkossa voi olla *passiivisia laitteita*, jotka seuraavat hyppelysekvenssiä mutta eivät osallistu liikennöintiin, ja *odottavia laitteita* jotka sattuvat olemaan pikoverkon alueella osallistumatta sen toimintaan mitenkään. Isännät ja orjat eivät eroa toisistaan laite- ja sovellustasolla mitenkään – kysymys on pikemminkin loogisista rooleista. Yhteyden muodostajasta tulee isäntä-laite, mutta roolit voivat myös muuttua. Näin tapahtuu esimerkiksi siinä tapauksessa, että isäntänä toiminut laite poistuu pikoverkon lähetysetäisyydeltä. Tällöin joku jäljelle jääneistä laitteista muodostaa uuden pikoverkon, koska verkon isännyyttä ei voi siirtää toiselle laitteelle.

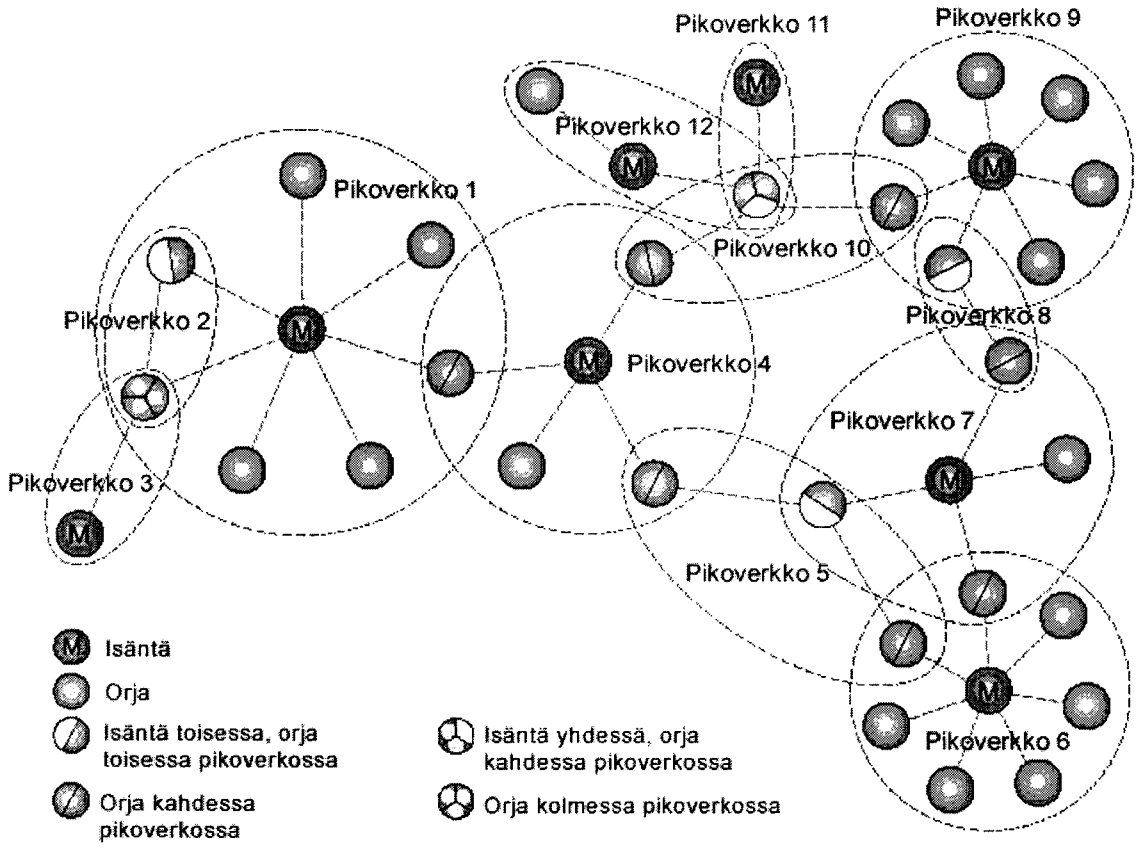
Langattomat Bluetooth-laitteet voivat liikennöidä kahdella eri tavalla, *synkronisesti* (Synchronous Connection Oriented, SCO) tai *asynkronisesti* (Asynchronous Connectionless Link, ACL). Synkronisessa liikennöinnissä orja-laitteelle on aina varattuna tietty määrä aikavälejä liikennöintiin huolimatta siitä, onko laitteella mitään lähetettävää jakson aikana. Asynkronisessa liikennöinnissä laite voi saada käyttöönsä tarvittavan määrän aikavälejä. Isäntälaite on vastuussa aikavälien jakamisesta.

2.1.3 Hajaverkot

Taajuuskaistan käytön optimoimiseksi useita pikoverkkoja voi olla samalla kantoalueella. Tätä kokonaisuutta nimitetään *hajaverkoksi* (scatternet) (KUVIO 5). Kaikki alueen pikoverkot käyttävät samaa taajuusaluetta, jossa jokaisella pikoverkolla on kuitenkin oma taajuushyppelysekvenssi. Kaikki pikoverkot jakavat keskenään 80 MHz:n taajuuskaistan, josta yksi pikoverkko käyttää aina 1 MHz:n kaistan. Pikoverkon taajuushyppely tapahtuu kuitenkin koko 80 MHz:n taajuuskaistalla.

Tiedonsiirron optimoinnin kannalta on viisasta käyttää pieniä pikoverkkoja. Jos esimerkiksi käyttäjä haluaa kytkeä useita Bluetooth -laitteita omaan matkapuhelimeensa, kannattaa pyrkiä muodostamaan yhden hajaverkon alaisuuteen niin

monta pikoverkkoa kuin mahdollista. Tällöin jokainen yhteys voi käyttää pikoverkon maksimikapasiteettia (721 kbit/s). Mitä useampaan pikoverkkoon langaton Bluetooth-laite kuuluu, sitä useampaa taajuushyppelysekvenssiä se joutuu käyttämään. Käytännössä tämä rajoittaakin laitteen kuulumisen 2-3 pikoverkkoon.



KUVIO 5: Bluetoothin hajaverkko (Frodigh, Johansson & Larsson 2000, 258)

2.1.4 Palvelun löytäminen

Mitä enemmän langattomia Bluetooth-laitteita tulee olemaan, sitä tärkeämmäksi tulee näiden tarjoamien palveluiden löytäminen. Lisäksi tulee määritellä keinot palveluiden valintaan, hyödyntämiseen, kontrolloimiseen ja laskuttamiseen.

Bluetoothissa palveluiden löytäminen on toteutettu erillisellä *palvelunetsintäprotokollalla* (Service Discovery Protocol, SDP). Se on optimoitu

toimimaan erityisesti Bluetooth-ympäristön vaihtelevissa olosuhteissa. Palvelunetsintäprotokolla ei kuitenkaan määrittele tapoja palvelun käyttämiseen, vaan siitä huolehtii jokainen sovellus itse. Palvelunetsintäprotokollaa voidaan käyttää myös muiden etsintäprotokollien kuten SLP:n, Jinin ja Salutation kanssa (ks. Veizades, Guttman, Perkins & Kaplan 1997; Waldo 1999; SC 1999). Bluetooth-ympäristössä palvelun etsimiseen käytetään SDP:tä, mutta palvelua täytyy käyttää jonkun muun protokollan avulla.

2.1.5 Turvallisuus

Koska radiosignaalien kuuntelu on helppoa, langattomat Bluetooth -laitteet pyrkivät takaamaan turvallisuuden *autentikoinnin* (authentication) ja *salauksen* (encryption) avulla (Bluetooth 1999a, 154, 159). Autentikoinnin avulla pyritään varmistumaan siitä, että käyttäjä on juuri se kuka hän väittääkin olevansa. Sen avulla pyritään estämään alkuperäisten viestien väärentäminen (spoofing) ja sulkemaan asiattomilta pääsy kriittiseen dataan. Salauksen avulla pyritään estämään salakuuntelu (eavesdropping).

Bluetooth spesifikaatio määrittelee myös kolme erillistä toimintatilaa eri sovelluksia ja niiden tarpeita varten (Muller 1999, 8):

1. Tilaa 1 (Ei-turvallinen) käytetään ei-kriittisissä sovelluksissa, jolloin siirtoyhteyskerroksen turvallisuustoiminnot ohitetaan. Ei-turvallinen tila sopii esimerkiksi digitaalisten käyntikorttien ja vastaavien harmittomien tietojen siirtämiseen.
2. Tilaa 2 (Palvelutason turvallisuus) käyttäville sovelluksille voi määritellä yksilöityjä turvallisuustoimintoja. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi silloin kun samasta sovelluksesta on suoritettavana useita eri ilmentymiä eri turvallisuusmäärittelyillä.
3. Tilassa 3 (Siirtokerrostason turvallisuus) tiedonsiirtoyhteys on salattu kahden eri laitteen välillä. Tila ei ole aivan niin joustava ja monipuolinen kuin tila 2, mutta se soveltuu varsin hyvin perustason turvallisuuden takaamiseen ja on yksinkertaisempi toteuttaa.

Siirtoyhteystason turvallisuus perustuu salaisten *linkkiavaimien* käyttöön. Linkkiavain on 128 bitin pituinen satunnainen numerosarja, joita on yksi kappale jokaista kahden Bluetooth-laitteen välistä yhteyttä kohti. Avain luodaan erillisen *yhteydenmuodostusprosessin* (pairing) aikana, jolloin käyttäjän syöttämästä PIN-koodista (pituus 1-16 numeroa, pituus vaikuttaa arvattavuuteen) muodostetaan alkuavain, autentikoidaan osapuolet, luodaan ja vaihdetaan linkkiavaimet ja luodaan vielä yksilölliset salausavaimet (Bluetooth 1999a, 153). Teoriassa avain voi joutua kolmannen osapuolen haltuun. Langatonta Bluetooth-teknologiaa ei ole tarkoitettukaan aukotonta turvallisuutta vaativaan käyttöön. Jos teknologiaa halutaan käyttää esimerkiksi osana elektronista kaupankäyntiä, tarvitaan lisäksi sovellustason turvallisuustoteutuksia.

2.1.6 Sovellukset

Bluetoothin avulla voidaan toteuttaa lähes rajaton määrä erilaisia sovelluksia. Sen avulla voidaan esimerkiksi korvata tietokoneen ja sen oheislaitteiden väliset kaapelit. Erillisten liitäntäpisteiden ja muiden langattomien tekniikoiden avulla on mahdollista muodostaa täysin langaton toimisto. Bluetoothin avulla voidaan myös toteuttaa läpinäkyvä verkkoyhteys esimerkiksi siten, että salkussa oleva matkapuhelin liitetään kannettavaan tietokoneeseen. Erillisten liitäntäpisteiden avulla voidaan myös yhdistää tietokone langattomasti yrityksen tai kodin lähiverkkoon. Kokouksissa osallistujat voivat liittää laitteensa Bluetoothia käyttävään tilapäisverkkoon, etäkäyttää videoprojektoria tai vaihtaa elektronisia käyntikortteja ja dokumentteja.

Kotona ja toimistoissa Bluetooth-laitteita voisi käyttää ovien lukitsemiseen ja aukaisemiseen, valaistuksen automaattiseen käyttöön, kodin lämmityksen säätöön tai henkilöiden paikantamiseen. Langattomalla tietojenkäsittelylaitteella varustettu matkailija voi taas käyttää Bluetoothia paikkatietoon perustuvien reittiohjeiden saamiseen, varausten ja maksujen suorittamiseen lentokentällä, hotelleissa ja autonvuokrausliikkeissä sekä käyttää Internetiä lentokentän liitäntäpisteiden kautta omaa lentoa odotellessa.

2.1.7 Bluetooth-teknologian heikkoudet

Bluetooth-keskustelun aikana objektiivisuus on aika ajoin unohtunut. Bluetoothia ollaan oltu siirtämässä milloin mihinkin kodin elektroniikkalaitteeseen (ottamatta kantaa siihen, miksi leivänpaahdin tai mikroaaltouuni pitäisi olla langattomasti operoitavissa), koska Bluetooth-sirun hinnan on luvattu olevan todella alhainen. Hinnan pitäisi olla 10-25 markan tienoilla, mutta tässä vaiheessa jo pelkkien komponenttien hinta kohoaa yli 70 markkaan. Kun siihen lisätään sovelluksen kehittämiseen kuluneet rahat saattaa hinta kohota helposti kuluttajille kymmenkertaiseksi.

Bluetooth on suunniteltu nimenomaan lyhyille etäisyyksille, mutta usein mainostettu 1 mW:n lähetysteho ei riitä edes pienen toimiston langattomaksi tekemiseen. Näyttääkin siltä, että yli 10 metrin etäisyydet vaativat tehon nostamisen jopa 100 mW:iin. Mitä enemmän lähetystehoja käytetään sitä enemmän se kuluttaa virtaa. Tehokkaammat akut ovat suurempia ja kasvattavat samalla myös Bluetoothia käyttävän laitteen kokoa.

Bluetoothin ominaisuuksia tarkasteltaessa on kiinnitetty liikaa huomiota tiedonsiirtokykyyn, eikä olla pohdittu tiedonsiirtoviipeitä niin kuin olisi pitänyt. VTT-automaation tutkimusten perusteella Bluetooth-laitteiden ongelmana on yhteydenmuodostusajan ennustamattomuus. Tutkimusten mukaan synkronisesti (käyttää SCO-kanavia) kommunikoiva laite, joka ei tiedä isäntälaitteen osoitetta, pystyy muodostamaan yhteyden lievästi häiriöisessä ympäristössä 95 % todennäköisyydellä aikaisintaan 20 sekunnin kuluttua (Karasti 2000). Tätä ei toki pidä yleistää kaikkiin tilanteisiin, mutta se osoittaa sen, että osalle reaaliaikaisista sovelluksista muodostusajat saattavat olla liian suuria.

Liian vähälle huomiolle on jäänyt myös 2,4 GHz:n alueella liikennöivien laitteiden toisilleen aiheuttamien häiriöiden tutkiminen. Nyt Bluetoothin käyttämällä alueella toimivat esimerkiksi langattomat lähiverkot (ks. kohta 2.2), mikroaaltouunit sekä monet etäkäytettävien laitteiden kuten autotallien ovien kaukosäätimet. Pahimmassa tapauksessa häiriöt ja siirtovirheet saattavat merkittävästi haitata laitteiden toimintaa.

Ehkä merkittävin huolenaihe on kuitenkin ollut Bluetoothia käyttävien laitteiden puuttuminen markkinoilta. Vuoden 2000 piti olla Bluetoothin esiinmarssi, mutta tilanne näytti vielä kesällä 2000 todella pahalta. Tilanne on kuitenkin parantunut jonkin verran Monte Carlossa heinäkuussa järjestetyn Bluetooth 2000 konferenssin jälkeen, sillä siellä useat valmistajat julkistivat tuotteitaan. Mitään suurta rynnistystä ei sovellus- ja laitemarkkinoille ole kuitenkaan lähiaikoina tiedossa. Tilanteen pitääkin parantua, jotta Bluetoothin-markkinoiden kasvuennusteet saavutetaan.

2.2 Langattomat lähiverkot

Langattomat lähiverkot (Wireless Local Area Network, WLAN) on suunniteltu tarjoamaan lähietäisyyksien yhteyksiä. Sopivia käyttöpaikkoja ovat esimerkiksi rakennukset kuten toimisto- ja liiketilat, ostoskeskukset, lentokentät ja muut vastaavat alueet, joissa liikutaan tietyn rajatun alueen sisällä. Langattomia lähiverkkoja voidaan käyttää joko korvaamaan olemassa oleva langallinen verkko tai laajentamaan sen toimintaa. Langattomat lähiverkot soveltuvat erinomaisesti datan siirtoon lähietäisyyksillä, sillä ne tarjoavat tuen TCP/IP ja UDP –protokollille ja tiedonsiirtonopeudet ovat moninkertaiset nykyisiin matkapuhelinverkkoihin verrattuna. Suurelle osalle käyttäjistä tarjottu tiedonsiirtokapasiteetti saattaa kuitenkin olla toissijaista langattomien lähiverkkojen tarjoaman joustavuuden ja liikkuvuuden tuen rinnalla (Varshney & Vetter 2000, 74). Toisaalta verkkojen toteuttaminen langattomasti saattaa olla välttämätöntä esimerkiksi suojelluissa rakennuksissa, joissa kaapelointia ei ole mahdollista suorittaa ilman rakennuksen osien muokkaamista tai estetiikan siitä kärsimättä (Pahtavan 1988, 277-302).

Langattomien lähiverkkojen perustoiminta-ajatus on varsin samanlainen kuin matkapuhelinverkoissa. Lähetysalue jaetaan useisiin soluihin, jonka koon määrittää käytettävä teknologia, ympäristö (seinät, muut laitteet jne.) ja tavoiteltava tiedonsiirtonopeus (ks. esim. Constantinou 1993). Maksimissaan solun koko voi olla noin puoli kilometriä, huonoissa olosuhteissa ja nopeita yhteyksiä käytettäessä muutamia kymmeniä metrejä. Langatonta lähiverkkotekniikkaa käyttävät laitteet

liittyvät osaksi lähiverkkoa erillisten *yhteyspisteiden* (Access Point, AP) kautta. Yhteys verkkoon pyritään pitämään parhaan signaalin tarjoavan yhteyspisteen kautta käyttäjän liikkuessa vapaasti verkon alueella.

Langattomia lähiverkkoja vaivasi pitkään ongelma, että tarjolla ei ollut yhteistä standardia. Motorolan Altairin ja AT&T Wavelanin kaltaiset ratkaisut olivat kyllä toimivia, mutta eri valmistajien järjestelmät olivat keskenään epäyhteensopivia. Yhdysvalloissa *FCC* (Federal Communications Commission) oli kuitenkin jo vuonna 1985 määritellyt *U-NII-alueelta* (Unlicensed National Information Infrastructure) langattomille lähiverkoille kolme taajuusaluetta: 900 MHz, 2.4GHz ja 5.7-5.8GHz (López-Hernández ja Santamaria 1993, 17). Euroopassa *ETSI* (European Telecommunications Standards Institute) sopi yhteistyössä *CEPT:in* (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) kanssa vuosien 1990-1992 aikana 2.4GHz:n (ISM), 5.2GHz:n ja 17.1GHz:n taajuusalueiden käytöstä samaan tarkoitukseen (ETSI 1999, 5). Tässä kohdassa käsitelemme kahta langattoman lähiverkon standardiperhettä, IEEE 802.11:sta ja HiperLAN:ia, jotka sijoittuvat määritellyille taajuusalueille.

2.2.1 IEEE 802.11

IEEE 802 standardointikomitea muodosti vuonna 1990 työryhmän, jonka tarkoituksena oli kehittää 2.4 GHz:n taajuusalueelle 1-2 Mbit/s siirtonopeuksiin pystyvä langaton lähiverkkostandardi. IEEE 802.11 nimetyn työryhmän vuosia kestänyt standardointityö tuotti tulosta vihdoin vuonna 1997, jolloin julkaistiin ensimmäinen 802.11 WLAN standardi (IEEE P802.11 1997). Kritiikkiä on saanut erityisesti seitsenvuotiseksi venynyt standardointityö, monimutkaisuus, tiukat määrittelyt ja liian useiden ominaisuuksien mukaan ottaminen, joiden pelättiin vaikeuttavan standardiin perustuvien laitteiden markkinoilletuloa ja nostavan hintoja. Näin kävikin osittain, mutta ajan kuluessa tuotteiden määrät ovat nousseet, hinnat laskeneet ja jopa standardin määrittelemät vaihtoehtoiset toiminnotkin (kuten salaus ja virransäästö) on saatu mukaan. Standardi ei kuitenkaan täysin takaa eri valmistajien laitteiden välistä

yhteensopivuutta, sillä se vaatii ainakin saman fyysisen kerroksen, siirtonopeuden ja saman toimintomoodin käyttöä. Paineet jatkokehitykselle olivat suuret, sillä etenkin tiedonsiirtonopeutta kaivattiin lisää.

Kehitystyö jatkui välittömästi 802.11 WLAN standardin valmistuttua. Työ jakaantui kahteen osaan : *802.11-a* olisi täysin uusi 5 GHz:n taajuusaluetta käyttävä standardi, ja *802.11-b* pyrkisi kehittämään vanhasta standardista entistä nopeamman muuttamatta kuitenkaan mitään muuta kuin fyysistä kerrosta. Ensimmäisenä valmistui keväällä 1999 802.11-a standardi. Se käyttää uutta kanavanjakotekniikkaa ja U-NII taajuusaluetta, joten sitä ei pystytä käyttämään täysimittaisesti Euroopassa ja Japanissa. Se muistuttaa kuitenkin hyvin paljon Eurooppalaista HiperLAN/2 hanketta, jota käsitellään seuraavassa alakohdassa. Samana vuonna valmistui myös 802.11-b standardi, jonka merkittävimpänä uudistuksena oli aikaisempaa paljon suurempi tiedonsiirtokyky. Tällä hetkellä markkinoilla on kaikilta merkittäviltä valmistajilta sekä 802.11 että 802.11-b standardeihin perustuvia laitteita, ja 802.11-a laitteita odotetaan julkistettavan vuoden 2001 aikana.

Tarkasteltaessa lähemmin 802.11 standardiperhettä huomataan, että standardi määrittelee ainoastaan OSI-mallin kaksi alinta kerrosta. 802.11 standardissa on mukana kolme eri tapaa fyysisen kerroksen (OSI 1) liikennöinnille: Radiotaajuuksia käyttävät *taajuushyppelytekniikka* (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) ja *suorasekvenssitekniikka* (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), ja lisäksi mukana on infrapunatekniikka (jonka toteutus on kuitenkin jäänyt pahasti kahden muun jalkoihin). Kumpikin radiotekniikoista on *hajaspektritekniikoita*. Taajuushyppely käyttää samaan aikaan pientä osaa koko kaistasta liikennöintiin ja vaihtelee käytettävää taajuusalueetta koko ajan tietyn hyppelyjakson mukaan. Suorasekvenssitekniikassa taas siirrettävä signaali hajotetaan koko kaistanleveydelle tietyllä hajotusavaimella (chip key). 802.11-b standardissa ei määritellä enää kuin suorasekvenssitekniikka, sillä sen katsottiin selviävän paremmin häiriöisissä ja interferenssille alttiissa ympäristöissä. Tätä ominaisuutta tarvitaan, sillä esimerkiksi Bluetooth-laitteet käyttävät samaa 2.4GHz:n taajuusaluetta. Alustavien tutkimusten mukaan ne aiheuttavat häiriöitä langattomien lähiverkkojen toimintaan ilman ehkäiseviä toimenpiteitä (Zyren 1999). 802.11-a taas

käyttää *OFDM-tekniikkaa* (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), jonka tarkoituksena on vähentää symbolien välistä interferenssiä jakamalla kantoaalto useisiin suurempitaajuuksisiin alikantoaaltoihin. Siirtoyhteyskerroksella (OSI 2) käytetään kaikissa standardeissa CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) liikennöintitapaa. Lähettävä laite varmistaa siirtoväylää kuuntelemalla ettei muita tiedonsiirtoja ole käynnissä ja lähettää sitten datan. Vastaanottaja kuittaa viestillä (ACK) jokaisen vastaanotetun datakehyksen lähettäjälle, jolloin alkuperäinen lähettäjä voi olla varma datan perillepääsystä. Langattoman siirtotavan takia ei voida käyttää kiinteiden lähiverkkojen törmäykset tunnistavaa CSMA/CD (-- / Collision Detection) liikennöintiä, jossa dataa lähettävät laitteet tunnistavat siirtoväylällä tapahtuvat törmäykset ja pyrkivät heti uudelleenlähetykseen – radioteknologiaan perustuvissa järjestelmissä datan lähetys peittää alleen mahdolliset "törmäysäänet".

Tiedonsiirtonopeudet ovat kehittyneet 802.11:ista 2Mbit/s aina 802.11-b:n 11Mbit/s, ja tulevaisuudessa 802.11-a pääsee jopa 54Mbit/s nopeuteen. Täytyy kuitenkin muistaa, että Ethernetin kaltaisissa järjestelmissä todellinen nopeus jää noin puoleen raa'asta tiedonsiirtokyvystä, koska tiedonsiirtokaista jaetaan kaikkien käyttäjien kesken. Turvallisuuden kannalta hajaspektritekniikat ovat melko turvallisia, sillä ne joko hajottavat signaalin laajalle kaistalle tai vaihtelevat taajuutta tiheään. Tämän lisäksi 802.11 määrittelee jaetun avaimen salaustekniikan, joka takaa langallisien yhteyksien veroisen turvallisuuden (Wireless Equivalent Privacy, WEP). Toisaalta 40 bitin salausavain alkaa jo nykyisillä konetehoilla olla liian lyhyt ja siksi jotkut valmistajat tarjoavat vaihtoehtoisena 128 bitin salausta. Palvelun laadun varmistamiseksi esimerkiksi aikakriittisen datan kuten puheen siirtoon voidaan käyttää väliaikaisesti kahden laitteen välillä piirikytkentäistä yhteyttä (Point Coordination Function, PCF).

2.2.2 HiperLAN

HIPERLAN:in standardointi alkoi ETSI:n RES-10 komiteassa marraskuussa 1991. Nykyisin HiperLAN (High Performance Radio Local Area Network) standardeja kehitetään osana ETSI:n vuonna 1997 aloittamaa BRAN (Broadband Radio Access

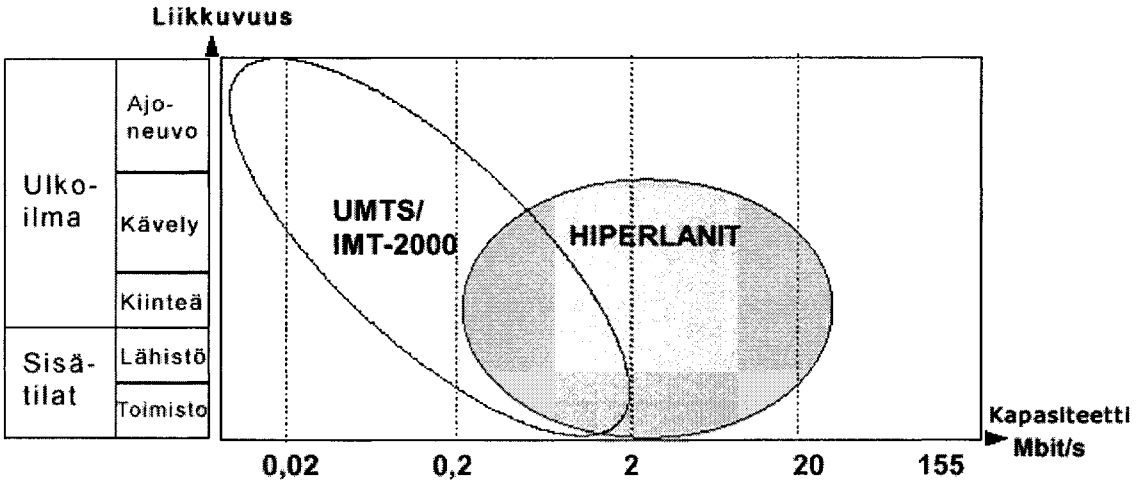
Network) projektia. HiperLAN/1 standardi saatiin valmiiksi kesällä 1998 (ETSI 1998a), ja HiperLAN/2 standardin odotetaan valmistuvan vuoden 2000 aikana. HiperLAN/1 standardi on 802.11 verrattuna yksinkertaisempi, vaikka se sisältääkin monia kehittyneitä ominaisuuksia. Toisaalta myös HiperLAN/1 vaatimukset ovat tiukat ja liikennöintiprotokolla verrattain monimutkainen, ja se nostaa tuotteiden hintoja. Kumpikin HiperLAN standardi käyttää sille osittain varattuja taajuuksia 5 GHz:n alueelta. Siksi niiden ei tarvitse käyttää hajaspektritekniikoita eri laitteiden välisen interferenssin välttääkseen kuten 802.11 standardit. Valitettavasti täysin samoja taajuusalueita ei ole pystytty varaamaan maailmanlaajuisesti, mutta neuvotteluita käydään koko ajan FCC:n ja CEPT:n kanssa taajuuksien yhtenäistämisestä. Tällä hetkellä alin 5.15-5.35 GHz:n taajuusalue on yhtenäinen Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa. Tämän lisäksi Euroopassa on käytössä vielä 5.470-5.725 GHz:n ja Yhdysvalloissa 5.725-5.825 GHz:n taajuusalueet (H2GF 1999, 14-15). HiperLAN/1 tuotteita on tullut markkinoille vuoden 2000 aikana, mutta HiperLAN/2 tuotteita saadaan odottaa ainakin vuoden 2001 loppupuolelle.

HiperLAN/1 käyttää matkapuhelinverkoista (GSM, CDPD) tuttua GMSK modulointia. HiperLAN/2 taas perustuu samaan OFDM-tekniikkaan kuin IEEE 802.11-a. On mielenkiintoista huomata, että sekä HiperLAN/2 että 802.11-a ovat fyysisen kerroksen (OSI 1) osalta samanlaisia, joten valmistajien on helpompi muokata tuotteensa sopivaksi kummallekin standardille. HiperLAN/1 on suunniteltu käyttämään ad-hoc reititystä ja se ei siksi vaadi keskitettyä resurssien hallintaa (central controller) (ETSI 1998a, 15). Jos vastaanottaja on kantomatkan ulkopuolella, välillä olevat verkkosolmut välittävät datan sille mahdollisimman optimaalista reittiä pitkin. HiperLAN/2 on lähes vastakohta, sillä se perustuu nimenomaan keskitettyyn resurssien hallintaan.

HiperLAN/1:n teoreettinen tiedonsiirtokyky on 23,5 Mbit/s, mutta käytännössä tullaan maksimissaankin pääsemään vain 19 Mbit/s (ETSI 1998a, 83-89). HiperLAN/2:n tiedonsiirtokykyyn vaikuttaa käytettävä modulointi- ja koodinmuunnostapa, jonka seurauksena nopeudet vaihtelevat 6-54 Mbit/s välillä (H2GF 1999, 7). Todennäköisesti suurimmat nopeudet tulevat jäämään 25 Mbit/s. Nopea tiedonsiirto rajoittaa myös käytetyn solukoon 30-150 metriin (ETSI 1999, 28). HiperLAN/2 on selvästi

kehittyneempi kuin HiperLAN/1, sillä sen kanssa voi käyttää monipuolisesti erilaisia salausalgoritmeja ja myös käyttäjän autentikointi voidaan toteuttaa usealla tavalla (ETSI 2000a, 17). Erilaisia palvelun laatuvaatimuksia varten HiperLAN/1 tarjoaa kolmitasoisen liikenteen priorisoinnin. HiperLAN/2:n yhteydellinen toteutustapa tekee palvelun laadun takaamisen helpommaksi kuin yhteydettömyyteen perustuvissa standardeissa. Jokaisen yhteyden laatuvaatimukset voidaan määrittää yksilöllisesti, ja resurssit voidaan joko varata kiinteästi käyttöön tai priorisoida liikenne tärkeyden mukaan. Näitä asioita käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

HiperLAN/1 toimii 802.11 standardiperheen tapaan Ethernet verkoissa. HiperLAN/2:sta aiotaan tehdä yhteensopiva esimerkiksi IP-, ATM- ja UMTS-verkkojen (KUVIO 6) kanssa (ETSI 1999, 27-28). HiperLAN/2 verkko pystyy käsittelemään niin tavallisia IP-paketteja kuin ATM-soluliikennettäkin. Erityisen tärkeänä näemme HiperLAN/2 verkon yhteistoimintakyvyn tulevien kolmannen sukupolven verkkojen kanssa, jolloin käyttäjät voivat käyttää sitä tietyillä rajatuilla alueilla suurta tiedonsiirtokykyä ja kovia laatuvaatimuksia vaativien sovellusten kanssa.



KUVIO 6: UMTS ja HiperLAN –verkkojen yhteistoiminta (ETSI 1999, 6).

HiperLAN:eilla ei ole kovin monia heikkoja puolia. Se ei tue suoranaisesti isonkronisia palveluita, saantipisteiden käyttöä ei ole standardoitu täysin ja HiperLAN-pakettien otsikkokentät ovat melko pitkät. Samaten standardiperheen eurooppalaisuus näkyy

jonkin verran esimerkiksi taajuuksien hajanaisuutena. Selvänä vahvuutena näemme kuitenkin HiperLAN/2:n hyvän suorituskyvyn, laajan tuen palvelun laadun takaamiselle, hyvät salaus- ja autentikointituet sekä tulevaisuudessa yhteensopivuuden useiden verkkojen kanssa. IEEE 802.11 ja HiperLAN standardiperheiden vertailun helpottamiseksi keskeisimmät ominaisuudet on koottu vielä yhteen taulukkoon (TAULUKKO 2).

Langattomat lähiverkot tulevat täydentämään tulevaisuuden matkapuhelinverkkoja. Niiden avulla pystytään toteuttamaan todella nopeat yhteydet rajatuille alueille, ja tarjoamaan sellaisia sovelluksia ja palveluita, joita ei pystytä käyttämään edes 3G verkoissa. Langattomiin lähiverkkoihin on saatavilla jo tänä päivänä useilta valmistajilta valmiita tuotteita, joten niiden pohjalta on helppo lähteä suunnittelemaan yhä kehittyneempiä sovelluksia.

TAULUKKO 2: Langattomien lähiverkkojen ominaisuudet

Ominaisuudet	**802.11**	**802.11b**	**802.11a**	**HiperLAN/1**	**HiperLAN/2**
Taajuusalue	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Tiedonsiirtokyky	2 Mbit/s	11 Mbit/s	54 Mbit/s	20 Mbit/s	54 Mbit/s
Taajuusalueen käyttö (OSI-1)	FHSS, DSSS	DSSS	OFDM	GMSK, FSK	OFDM, dynaaminen taajuusvalinta
Siirtoyhteyden jakotapa (OSI-2)	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA + priorisointi	Keskitetty resurssien hallinta, TDMA/ TDD
Kytkentäisyys	Yhteydetön	Yhteydetön	Yhteydetön	Yhteydetön	Yhteydellinen
QoS tuki	PCF	PCF	PCF	Priorisointi	ATM, 802.1p, RSVP, DiffServ
Salaus	40b RC4	40b / (128b) RC4	40b RC4	-	DES, 3DES
Autentikointi	-	-	-	-	NAI, IEEE osoite, X.509
Handover	-	-	-	-	-
Mukautuminen	-	-	-		Linkkitaso
Tuetut verkot	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet, (IP, ATM, UMTS)
Saatavuus	Kyllä	Kyllä	2001	Kyllä	2001

2.3 Matkapuhelinverkot

Matkapuhelinverkkojen kehitys tulee olemaan erittäin nopeaa seuraavien vuosien aikana. Toisen sukupolven digitaalisen GSM-verkon seuraajat eli 2+ ja 2.5G verkot sekä ennen kaikkea uudet 3G-verkot ovat herättäneet runsaasti keskustelua niin tutkimus- kuin talouselämässäkin. Seuraavassa käsitellään matkapuhelinverkkojen kehityskaari aina 3G:en asti keskittyen ennen kaikkea uusiin, vasta tulleisiin tai kehitteillä oleviin verkkoihin.

2.3.1 GSM

GSM-verkko (Global System for Mobile Communication) oli ensimmäinen digitaalinen matkapuhelinverkko Euroopassa. Verkon suunnittelu aloitettiin Pohjoismaiden ja Hollannin aloitteesta vuonna 1982, ja kokonaisuutena työhön osallistui suuri osa Euroopan maista. Ensimmäinen verkko avattiin liikenteelle Suomessa vuonna 1991. Verkon tavoitteena oli saavuttaa koko Euroopan laajuinen kattavuus sekä varmistaa riittävä kapasiteetti mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen. Varmuudella voidaan sanoa, että tässä onnistuttiin.

Nykyisin GSM-verkko on laajin maailmalla käytössä oleva matkapuhelinverkko yli 60 % markkinaosuudella. GSM-verkkoja on käytössä yli 150 maassa ja käyttäjiä on yli 700 miljoonaa määrän lähestyessä nopeasti miljardin rajaa. GSM-verkon lisäksi maailmalla on käytössä myös muita digitaaliverkkoja, joista merkittävimpiä ovat Pohjois-Amerikassa käytössä oleva *IS-136-verkko* (Interim Standard-136) sekä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa sekä Aasiassa käytössä oleva *IS-95-verkko* (Interim Standard -95). Keskitymme kuitenkin käsittelyssä GSM-verkon kehitykseen ja ominaisuuksiin.

GSM-verkko käyttää liikennöintiin taajuusalueita 890-915 MHz ja 935-960 MHz. Modulointimenetelmänä käytetään *GMSK:ta* (Gaussian Minimum Shift Keying). Radiotiellä käytetään *FDMA:ta* (Frequency Division Multiple Access) jakamaan 25 MHz kaista 124 taajuuskanavaan, jolloin kanavaväliksi muodostuu 200 kHz. Yksi

kanava jaetaan TDMA:n (Time Division Multiple Access) avulla kahdeksaan aikaväliin. Yhden kanavan siirtonopeudeksi muodostuu tällöin maksimissaan 9.6 kbit/s.

GSM-verkon arkkitehtuuri muodostuu kolmesta osasta: käyttäjän kantamasta verkkolaitteesta, tukiasemajärjestelmästä, joka huolehtii radiotien ylläpitämisestä verkkolaitteeseen ja verkkojärjestelmästä, joka reitittää puhelut matkapuhelin- ja lankaverkkoihin. Avoimiin rajapintoihin perustuvan GSM:n yksi menestystekijöistä on ollut verkkojen keskinäinen yhteensopivuus. Tämä on mahdollistanut sen, että matkapuhelimen käyttäjä pystyy siirtymään eri operaattorien verkkojen välillä maasta riippumatta. Sen tekee mahdolliseksi GSM-verkoissa käytetyt koti- (HLR, Home Location Register) ja vierailijarekisterit (VLR, Visitor Location Register). Jokaisen verkon käyttäjän pysyvät tiedot on talletettu oman puhelinkeskuksen (MSC, Mobile services Switching Center) kotirekisteriin. Käyttäjän poistuttua omalta verkkoalueelta tiedot voidaan kuitenkin väliaikaisesti tallentaa toisen GSM-keskuksen vierailijarekisteriin.

GSM-verkon käyttöä haittaa nykyisin kuitenkin sen vaatimaton tiedonsiirtonopeus. Hitaat yhteydet eivät tahdo millään riittää nykyisille ja tuleville liikkuvan tietojenkäsittelyn sovelluksille. Samoin käytössä oleva piirikytkentäinen tiedonsiirto ei sovellu varsinkaan dataliikenteelle, jonka määrä tulee seuraavina vuosina kasvamaan moninkertaiseksi. Tämän luvun loppuosassa käsitelläänkin GSM-verkon kehitystä kohti 3G- ja 4G-verkkoja.

2.3.2 HSCSD

ETSI hyväksyi *HSCSD-standardin* (High Speed Circuit Switched Data) vuonna 1997 (ETSI 1997). HSCSD:n avulla yhden GSM-verkon tiedonsiirtokanavan tiedonsiirtokyky pystytään nostamaan 9.6 kbit/s -> 14.4 kbit/s ottamalla käyttöön tehokkaampi kanavakoodaus. Lisäksi HSCSD:n kanssa on mahdollista käyttää neljää yhtäaikaista tiedonsiirtokanavaa, jolloin tiedonsiirtonopeus voi maksimissaan olla 57.6 kbit/s. Se vastaa jo lähes ISDN-lankaliittymän yhden B-kanavan 64 kbit/s nopeutta.

HSCSD:hen siirtyminen on tehty helpoksi operaattoreille. Päivitykset voidaan hoitaa (lähes kokonaan) sovelluspäivityksinä eikä GSM-verkkoelementtejä tarvitse lisätä. Useat operaattorit ympäri maailmaa ovat jo julkaisseet tukensa tekniikalle ja syksyllä 2000 markkinoille on tullut ensimmäinen HSCSD:tä tukeva matkapuhelin (Nokia 6210). Puhelinta on mahdollista käyttää sekä asymmetriseen (3+1) että symmetriseen tiedonsiirtoon (2+2). Asymmetrisillä yhteyksillä voidaan saavuttaa 43,2 kbit/s nopeus verkosta vastaanottajalle ja 14,4 kbit/s nopeus verkkoon päin. Symmetrisessä tiedonsiirrossa nopeus on 28,8 kbit/s kumpaankin suuntaan. HSCSD yhteyden aikana tiedonsiirtokanavien määrää ja kanavakoodausta voidaan myös tarvittaessa muuttaa dynaamisesti, joka on tarpeellista esimerkiksi verkon ruuhka-aikoina.

HSCSD sopii piirikytkentäisyyden takia erittäin hyvin reaaliaikaisen datan siirtoon, sillä se vaatii usein vakionopeuksisen tiedonsiirtokyvyn ja tasaisen tiedonsiirtoviipeen. HSCSD:tä voidaan käyttää esimerkiksi suurten tiedostojen siirtoon, pienimuotoiseen liikkuvan kuvan siirtoon videoneuvotteluissa tai videovalvontakameran kuvan välittämiseen. Kaikki tiedonsiirto ei kuitenkaan ole reaaliaikaista vaan pikemminkin luonteeltaan ajoittaista. Tällaisessa tiedonsiirrossa HSCSD:n kaistankäyttö ei ole tarpeeksi tehokasta ja siksi esimerkiksi sähköpostin lukuun ja WWW-sivujen selailuun soveltuvat paremmin pakettikäyttöiset verkot kuten GPRS ja EDGE.

HSCSD:n houkuttelevuutta saattavat varsinkin tavallisten käyttäjien keskuudessa laskea suuret yhteyskustannukset. Jokainen puhelua varten varattu tiedonsiirtokanava maksaa erikseen, joten kolmea kanavaa käyttävä yhteys on hinnaltaan kolminkertainen. Operaattorit varmasti haluaisivat, että HSCSD yhteyksiä käytettäisiin hiljaisina liikennöintiaikoina, jolloin verkon kapasiteettia jäisi muuten käyttämättä (laskuttamatta). Kalliiden yhteyksien käyttäjiä tulevat kuitenkin pääasiassa olemaan yritysten edustajat, jolloin suurin käyttö saattaa osua jo muutenkin ruuhkaiseen virka-aikaan. Tällöin käy väistämättä niin, että kaikkia suurinopeuksisia yhteyksiä ei voida toteuttaa vaikka kysyntää olisikin. Vaikka HSCSD:n menestysmahdollisuuksia onkin epäilty, on sillä silti omat markkinansa yritysten käyttämässä reaaliaikaisen datan siirrossa. Tätä markkina-asemaa vahvistaa entisestään se, että tekniikka on saatavilla jo tänä päivänä. HSCSD ei myöskään suoranaisesti kilpaile GPRS:n kanssa vaan tekniikat

ovat toisiaan täydentäviä. Tämä tilanne saattaakin muuttua vasta EDGE:n tulon myötä, jolloin myös HSCSD-tekniikkaa kehitetään eteenpäin.

2.3.3 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) on HSCSD:n ohella toinen 2.5G päivitys GSM-verkkoihin. Se on samalla ensimmäinen askel kohti matkapuhelinverkkojen yhdistymistä, sillä sekä Euroopassa käytössä oleva GSM-verkko että Amerikan mantereella käytössä oleva TDMA-verkko (IS-136) tukevat GPRS-määrittelyä. GPRS-verkkoihin kohdistuvat odotukset ovat suuret, sillä onhan varsin samankaltainen I-Mode -palvelukokonaisuus saavuttanut suuren suosion Japanissa jo noin 20 miljoonalla käyttäjällään.

2.3.3.1 Piirikytkennästä pakettikytkentäisyyteen

GRPS-verkkojen suurin ero verrattuna GSM-verkkoihin on niiden pakettikytkentäisyys. GSM-verkoissa käytettävää *piirikytkentäisyyttä* voisi verrata lastia (dataa) kuljettavaan junaan, joka kulkee tiettyä määrättyä reittiä pisteiden A ja B välillä. Juna ei voi poiketa pois reitiltä eikä samaa reittiä voi myöskään käyttää samaan aikaan mikään muu juna. Koska juna kulkee kiskoilla niin myös junan vaunut ovat samassa järjestyksessä junan saapuessa pääteasemalle. *Pakettikytkentäisyyttä* käyttävässä GPRS-verkossa datan siirto tapahtuu hieman eri lailla. Nyt data lastataan lähtiessä useiden kuorma-autojen kyytiin. Kuljettajille annetaan vain ohjeet vielä lasti pisteeseen B. Kuorma-autot voivat käyttää moottoriteillä useita eri kaistoja, sillä ne ovat junaa ketterämpiä. Jos tiet ovat oikein ruuhkaisia, saattaa joku kuljettaja päättää kiertää määränpäähän jotain eri reittiä. Koska on todennäköistä, että kuorma-autot saapuvat määränpäähän eri reittejä, ne täytyy vielä järjestää oikeaan järjestykseen.

Piirikytkentäisyys sopii paremmin reaaliaikaisen datan kuten puheen siirtämiseen. Verkossa kulkevasta liikenteestä yhä suurempi osa alkaa kuitenkin olla dataa, joka ei ole niin aikakriittistä kuin puhe ja tärkeämpää onkin saavutettava tiedonsiirtonopeus.

Pakettikytkentäisyyden avulla saavutetaan tehokkaampi kaistankäyttö, sillä tiedonsiirtokanava on käytössä vain silloin kun käyttäjä vastaanottaa tai lähettää dataa. Muuna aikana kanava on muiden käyttäjien hyödynnettävissä. Esimerkiksi WWW-sivuja selailtaessa tietoa siirretään vain hetkittäin - silloin kun käyttäjä siirtyy sivustolta toiselle tai kun hän siirtää tiedostoja omalle koneelleen. Verkko-operaattoreja kiinnostaa varmasti GPRS-verkon tehokkaampi kapasiteetin hyödyntäminen, ja käyttäjää taas nopeampi tiedonsiirtokyky. Toisaalta samaan aikaan käynnissä oleva puheyhteys nostaa datayhteyden viipeen vaihtelua ja maksimiviivettä, sillä ääniliikenne on symmetristä (Narikka 2000, 4).

Pakettikytkentäisyyden eduiksi katsotaan myös *nopea yhteyden käyttöönotto* ja *siirretyn datan määrään perustuva laskutus*. GPRS-verkossa yhteys saadaan nopeasti käyttöön, koska se vaatii vain loogisen kanavan(-ien) käyttöönottamisen terminaalin ja tukiaseman välille liikennöintiä aloitettaessa. Tämä on suuri etu varsinkin aikakriittisten sovellusten kuten luottokortin numeron tarkastuksen yhteydessä. Laskutuksen oletetaan myös muuttuvan. Enää ei laskuteta yhteysajan perusteella vaan siirrettävän datan määrän mukaan (Bettstetter, Vögel & Eberspächer 1999, 2). Tällainen laskutus sopisi erityisen hyvin esimerkiksi sähköpostin käyttöön, tietokantahakujen tekemiseen ja satunnaiseen tiedon etsimiseen intraneteistä sekä ennen kaikkea WWW-sivujen selailuun.

2.3.3.2 Tiedonsiirto ja verkkoarkkitehtuuri

GPRS-verkon teoreettinen tiedonsiirtonopeus on noin 170 kbps. Tämä saavutetaan käyttämällä GSM-verkossa yhden kantoaallon kaikkia 8 aikakanavaa yhtä aikaa ilman minkäänlaista virheenkorjausta (ETSI 2000b, 13). Käytännössä nämä nopeudet jäävät ainakin alkuvaiheessa saavuttamatta, sillä matkapuhelinvalmistajat lupaavat markkinoille maksimissaan 4+1 aikakanavaa käyttäviä GPRS-laitteita. Tämä tarkoittaa sitä, että verkosta tulevalle liikenteelle voidaan varata 4 aikakanavaa, ja yhtä kanavaa käytetään lähtevälle liikenteelle. GPRS:ssä voidaan käyttää neljää erilaista kanavakoodausta (coding scheme), joiden avulla saavutetaan joko suurempi nopeus tai suurempi virheenkorjauskyky kanavaa kohti (TAULUKKO 3).

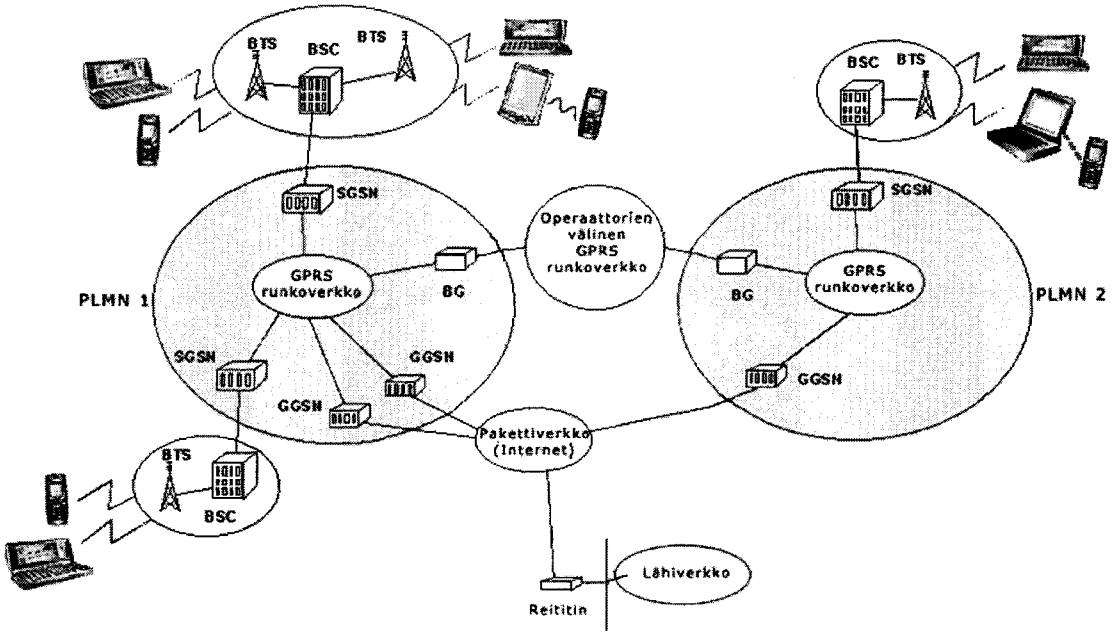
Todella huonoissa olosuhteissa tulisi käyttää CS-1 kanavakoodausta, optimaalisissa olosuhteissa taas CS-4 kanavakoodausta. Koska on hyvin todennäköistä, että nopeimpia CS-3 ja CS-4 kanavakoodauksia ei tulla kuitenkaan heti käyttämään, jää todellinen maksimitiedonsiirtonopeus hieman päälle 50 kbit/s (4 * 13.4 [CS-2]). Kun tästä vielä vähennetään muusta liikenteestä johtuva kuorma ja uudelleenlähetykset, todellinen siirtonopeus saattaa jäädä 20-30 kbit/s. Kaikesta huolimatta tämäkin on jo huomattava parannus nykyisin käytettävissä oleviin 9,6-14.4kbit/s nopeuksiin, vaikka se ei vastaakaan täysin markkinapuheita. Osa todella nopeita datayhteyksiä tarvitsevista käyttäjistä joutuu siis odottamaan EDGE- ja UMTS -verkkojen tulemista.

TAULUKKO 3: Valitun kanavakoodauksen vaikutus aikakanavan tiedonsiirtokykyyn GPRS-verkoissa (ETSI 1998f, 55-59)

Kanavakoodaus	**Kanavan tiedonsiirtonopeus (kbit/s)**	**Max. tiedonsiirtokyky (8 kanavaa)**
CS-1	9,05	72,4
CS-2	13,40	107,2
CS-3	15,60	124,8
CS-4	21,40	171,2

GPRS:n pakettikytkentäisyys on rakennettu GSM-verkon infrastruktuurin päälle. Suuri osa päivityksistä hoituu sovelluspäivityksin, mutta lisäksi tarvitaan uusi verkkoelementtiluokka GPRS-tuen saamiseksi (GPRS Support Nodes, GSN). Luokkaan kuuluu kaksi erillistä verkkoelementtiä, SGSN (Serving GPRS Support Node) ja GGSN (Gateway GPRS Support Node) (KUVIO 7). SGSN on vastuussa datapakettien välittämisestä käyttäjälle oman palvelualueensa sisällä. Tehtäviin kuuluu esimerkiksi pakettien reititys ja siirto, siirtokerroksen ja käyttäjien hallinta sekä autentikointi ja laskutus. GGSN:n tehtävänä on toimia rajapintana runkoverkon ja ulkoisten dataverkkojen välillä. Se hoitaa tarvittavat pakettimuunnokset ja lähetykset oikeaan dataverkkoon. SGSN- ja GGSN -elementtien välillä on monesta-moneen suhde. Yhden GGSN:n kautta useat SGSN:t voivat lähettää dataa ulkoisiin verkkoihin, ja vastaavasti

SGSN voi reitittää pakettinsa useiden GGSN-elementtien kautta päästäkseen käsiksi eri dataverkkoihin. (Bettstetter ym. 1999, 3-4).



KUVIO 7: GPRS verkon arkkitehtuuri ja datan reititys (Bettstetter ym. 1999, 4).

GPRS-verkon tehokkaampi tiedonsiirtokyky ja välitön yhteydenmuodostus mahdollistavat uusien datasovellusten kehittämisen. Pakettikytkentäinen GPRS tukee IP- ja X.25-protokollia, ja soveltuu erinomaisesti WWW-sivujen selailuun. Hyvin suosituksi saattavat muodostua myös erilaisten kuvien kuten elektronisten postikorttien ja valokuvien siirto. Koska GPRS:n käyttäjä pystyy halutessaan liittymään osaksi yrityksen omaa paikallisverkkoa, sellaiset sovellukset kuten sähköposti, kalenteri ja tietopankit tulevat entistä paremmin osaksi jokapäiväistä työskentelyä. Toisaalta kiinteää lähiverkon jäsentä GPRS-käyttäjästä tuskin tulee, sen verran työläitä vaihtoneuvottelut kuitenkin ovat. Ryhmätyötä parantavista sovelluksista voidaan taas toteuttaa dokumenttien jako ja yhteiset ilmoitustaulut. Viime aikoina on puhuttu paljon myös GPRS käytöstä WAP (Wireless Application Protocol) -kuljetuskerroksella, sillä se saattaisi olla ratkaisu WAP-sovelluksia vaivaavaan hitaaseen yhteydenmuodostukseen.

2.3.3.3 GPRS:n heikkoudet ja kohdatut ongelmat

GPRS:n käyttö ei ole kuitenkaan täysin ongelmatonta. Lupauksia hitaamman tiedonsiirtonopeuden lisäksi GPRS:ää vaivaa monen muun pakettipohjaisen verkon tapaan tiedonsiirtoviipeet. Tämä saattaa osoittautua tiedonsiirtokapasiteettia tärkeämmäksi pullonkaulaksi varsinkin reaaliaikaisen liikkuvan kuvan siirrossa, johon löytyy sopivampia verkkoja kuten HSCSD ja EDGE. Osoittamatta on vielä myös GPRS-verkon kyky palvella käyttäjiä ruuhkaisissa soluissa, joissa on GPRS-datasiirron lisäksi käynnissä useita tavallisia puheluita. Muiden pakettiverkkojen tapaan GPRS-verkon suorituskyky laskee suhteessa käyttäjien määrään (Narikka 2000). GPRS-verkossa on kyllä mahdollista määritellä palvelun laatuparametrejä (Bettstetter ym. 1999, 5-6; ETSI 2000b, 87-90), mutta niiden vaikusta suorituskykyyn ja muuhun liikenteeseen ei ole kattavasti tutkittu. GPRS kaistankäytön tehokkuus ei myöskään ole optimaalinen, sillä käytetty GMSK-modulointi ei pärjää varsinkaan lyhyillä etäisyyksillä EDGE ja UMTS –verkoissa käytettävälle 8-PSK moduloinnille. Jos GPRS-verkosta halutaan myöhemmin siirtyä esimerkiksi EDGE-verkkoon on edessä mitä todennäköisemmin uudet laitteistopäivitykset. Narikan (2000) raportoimien simulointien perusteella suuremman linkkikapasiteetin rakentaminen ratkaisee hetkellisesti suorituskykyongelmat. Keräämällä tilastotietoa GPRS-verkkojen alkuajan käytöstä voidaan sitten tehdä muutoksia esimerkiksi vuonhallintaan ja parantaa suorituskykyä sen avulla.

GPRS:n käyttöönottoa on hidastanut (ja tullee edelleen hidastamaan) puute sitä tukevista laitteista. GPRS:ää tukevia matkapuhelimia ja PC-kortteja on kyllä esitelty erilaisilla messuilla, mutta niiden täysimittainen saatavuus on yhä edelleen suuri kysymysmerkki. Odotettua hitaampi laitteiden saatavuus on saattanut johtua kehitysvaiheen ongelmista kuumenemisen ja virrankulutuksen kanssa. Jatkuva liikenteen kuuntelu ja useiden aikakanavien käyttö lähetyksessä on kuumentanut laitteita ja akkujen kestossa on ollut paljon toivomisen varaa. Käyttöönottoa saattaa haitata sekin, että operaattorit eivät ole tehneet vielä selvää linjausta käytettävästä laskutuksesta. Osa on datamääriin perustuvan laskutuksen kannalla ja osa haluaisi pitää rinnalla myös jollain muotoa aikalaskutuksen.

2.3.4 EDGE

EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) on suunnitelmien mukaan viimeinen niin sanotuista 2.5G tekniikoista, jotka käyttävät edelleen GSM-verkon radiotaajuusaluetta. Sekä GSMA (GSM Association), ETSI että UWCC (Universal Wireless Communications Consortium) ovat hyväksyneet sen standardikseen. Lisäksi UWCC on tehnyt ehdotuksen (UWC-136) EDGE:n käyttämisestä osana ITU:n IMT-2000 (3G) –standardiperhettä. Myös *3GPP* (Third Generation Partnership Project) on perustanut teknisen ryhmän (GSM/EDGE Radio Access Network Technical Specification Group, TSG-GERAN) kehittämään EDGE:ä.

Alun perin EDGE tarkoitettiin vaihtoehtoiseksi verkkotekniikaksi niille operaattoreille, jotka eivät saisi käyttöönsä 3G lisenssejä. EDGE:een siirtyminen saattaa kuitenkin houkutella myös lisenssinhaltijoita, sillä sen avulla nykyisin käytössä oleva modulointitekniikka voidaan päivittää tulevaa 3G verkkoa vastaavaksi. Näin verkkoinfrastruktuurin muuttamiseen liittyviä riskejä voidaan vähentää porrastamalla päivitys. EDGE:n myötä tulevien sovelluskonseptien ja palveluiden testaaminen pääsee alkuun aiemmin, sillä se on tarkoitus ottaa kaupallisesti käyttöön vuosien 2001 ja 2002 aikana. Kaikkien muiden tulevien verkkotekniikoiden tapaan tarkkoja arvioita aikatauluista on kuitenkin vaikea esittää. Myös eri mantereiden välillä on eroja – Euroopassa EDGE on jäänyt 3G keskustelun jalkoihin toisin kuin Yhdysvalloissa, jossa kiinnostus EDGE:een on ollut huomattavasti suurempaa.

EDGE:llä saattaa olla merkittävä vaikutus TDMA-verkkojen konvergenssissa. GSMA ja UWCC allekirjoittivat yhteistyösopimuksen (Memorandum of Understanding) verkkojen keskinäisen yhteistoiminnan takaamiseksi marraskuussa 1999 (ks. esim. UWCC 1999; Schmidt & Coursey 2000). Yhdysvaltalaiset TDMA-verkot ovat perinteisesti hallinneet Pohjois- ja Etelä-Amerikan markkinoita ja Eurooppalaiset GSM-verkot Euroopan, Afrikan ja Aasian markkinoita, joten nämä verkot yhdistämällä globaali liikkuvuus astuisi askeleen lähemmäksi toteutumista.

2.3.4.1 Tekniset uudistukset

EDGE verkoista puhutaan eri mantereilla hieman eri nimillä. Eurooppalaiset GSM operaattorit puhuvat usein ETSI-EDGE:stä, jolloin tarkoitetaan yleensä HSCSD:n piirikytkentäistä että GPRS:n pakettikytkentäistä tekniikkaa kehittävistä EGPRS- (Enhanced GPRS) ja ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) -tekniikoista. Amerikkalaiset TDMA/ANSI-136 operaattorit puhuvat taas yleensä EGPRS-136HS:stä, jolloin he tarkoittavat joko *EDGE Classic* tai *EDGE Compact* tekniikkaa. EDGE Classic on käytännössä sama asia kuin ETSI:n GSM verkkoihin kehittämä EDGE-standardi, ja se vaatii datasiirtoa varten vähintään 2.4 MHz kaistanleveyden. EDGE Compact taas toimii alle 1 MHz kaistanleveydellä. Muut erot liittyvät pääasiassa tukiasemien synkronointiin ja taajuuksien kierrätykseen (Nokia 2000, 4-5). ETSI-EDGE:n ja EGPRS-136HS:n erot koskevat lähinnä sitä, miten yhteensopivuus vanhoihin verkkoihin säilytetään. EDGE:ssä otetaan käyttöön uusi 8-PSK (Eight Phase Shift Keying) modulointitekniikka, jonka avulla verkon nopeus saadaan kasvatettua lähes kolminkertaiseksi vanhaan GSM verkkoon verrattuna. (TAULUKKO 4). Teoriassa tiedonsiirtonopeus saattaisi olla EGPRS:n avulla jopa 473,6 kbit/s, mutta yleisesti tyydytään puhumaan alemmasta 384 kbit/s nopeudesta. ECSD:n avulla päästään yli 30 kbit/s kanavakohtaisiin nopeuksiin. Suurempi nopeus johtuu 8-PSK moduloinnin kyvystä mukautua tiedonsiirto-olosuhteisiin, jolloin paras suorituskyky saavutetaan vähähäiriöisessä ympäristössä lähellä tukiasemaa. 8-PSK toimintaetäisyys jää kuitenkin hieman jälkeen GMSK:sta (Burkley 1993, 198-208).

TAULUKKO 4: EDGE:n suorituskyky suhteessa GSM verkkoon (Tolvanen 2000).

Ominaisuudet	**EDGE**	**GSM**
Modulointi	8-PSK, 3bit/symboli	GMSK, 1 bit/symboli
Symbolinopeus	270.833 kHz	270.833 kHz
Hyötykuorma / purske	346 b	114 b
Tiedonsiirtonopeus / aikaväli	59.2 kbit/s (EGPRS)	22.8 kbit/s
(loogisen kanavan siirtonopeus)	32-43.2 kbit/s (ECSD)	

2.3.4.2 Verkkojen päivitys ja kustannukset

EDGE ei vaadi muutoksia verkkoinfrastruktuuriin. Muuttuneen modulaation takia jokaisen tukiaseman vastaanottoyksikkö (transceiver) joudutaan kuitenkin uusimaan, jos se ei tue 8-PSK:iä. Radiotien uusiminen vaikuttaa myös siihen, että olemassaolevat matkapuhelimet eivät pysty hyötymään EDGE:n paremmista siirtonopeuksista. Ensimmäiset markkinoille tulevat matkapuhelimet tulevat todennäköisesti tukemaan nopeampaa tiedonsiirtoa ainoastaan verkosta matkapuhelimeen (downlink) päin. Synkronisen yhteyden toteuttaminen vaatisi suurempia muutoksia matkapuhelimen lähettimeen ja vastaanottimeen.

EDGE on Merrill Lynch & Co. (1999) tekemien arvioiden mukaan kallein niin sanotuista 2.5G verkoista (TAULUKKO 5). HSCSD:n toteuttaminen on selvästi halvinta, sillä se vaatii vain sovelluspäivityksiä. GPRS:ssä taas maksaa uusien verkkoelementtien lisääminen pakettikytkennän mahdollistamiseksi. EDGE:n hinta on GPRS:ään verrattuna yli kolminkertainen verkko-operaattorille, mutta toisaalta se tuo myös kolminkertaisen suorituskyvyn. Joka tapauksessa mikään 2.5G verkoista ei maksa kuin murto-osan siitä, mitä tulevien 3G verkkojen kustannukset ovat lisensseineen ja infrastruktuurikustannuksineen. Eduista huolimatta jotkut operaattoreista saattavat jättää EDGE:n kokonaan väliin siirtyessään suoraan GPRS:stä 3G verkkojen käyttöön. Jos 3G verkot saadaan rakennettua suunnitelmien mukaan, saattaa EDGE:n markkina-aika olla liian pieni suhteessa sen vaatimiin investointeihin.

TAULUKKO 5: 2.5G verkkojen päivityskustannukset (Merrill Lynch & Co. 1999)

Verkkotekniikka	**Toimintatapa**	**Investointihinta (mk) / tukiasema**	**Kokonais-kustannukset (milj. mk)**
HSCSD	Piirikytkentäinen	27 000	136-204
GPRS	Pakettikytkentäinen	136 000	340-816
EDGE	Piiri/pakettikytkentäinen	476 000	2040-4080

EDGE:n avulla pystytään käyttäjille tarjoamaan entistä monipuolisempia sovelluksia. Tällaisia ovat erilaiset langattomat multimediapalvelut, jotka sisältävät paljon grafiikkaa

ja liikkuvaa kuvaa. Lisäksi EDGE:n vuoden 2000 julkaisuun (käyttöönotto vuonna 2003) on tarkoitus sisällyttää puheluiden välitys pakettiverkon yli (Voice-over-EDGE). Paikkatietoisia sovelluksia ajatellen EDGE soveltuu esimerkiksi tarkempien karttojen siirtämiseen ja nopeampaan karttatiedon päivittämiseen. EDGE:n tiedonsiirtonopeus on pidemmillä etäisyyksillä sama kuin mitä UMTS pystyy tarjoamaan. Sitä tullaankin todennäköisesti käyttämään UMTS:n rinnalla tarjoamaan yhteyksiä esimerkiksi haja-asutusalueille, jonne UMTS verkon rakentaminen ei ole taloudellisesti järkevää (Nokia 2000, 3).

EDGE on jäänyt keskusteluissa 3G verkkojen varjoon. EDGE:n etuna UMTS:ssä käytettävään WCDMA teknologiaan verrattuna on kuitenkin sen toiminta 900 ja 1800 MHz GSM radiotaajuusalueella, aikaisempi markkinoilletulo, alemmat terminaalilaitteiden kustannukset, suora päivitettävyys GPRS ja CSD verkoista sekä yhteensopivuus vanhojen GMSK modulointia käyttävien laitteiden kanssa.

2.3.5 Kolmannen sukupolven verkot

Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkojen kehitystä tehdään *ITU:n* (International Telecommunications Union) *IMT-2000* (International Mobile Telecommunications 2000) -projektin ohjaamana. Projektin tarkoituksena on standardoida maailmanlaajuinen rakenne nopeille langattomille verkoille, jolloin standardia toteuttavat erilaiset verkot voivat toimia yhtenäisenä verkkona. IMT-2000 on siis yläkäsite kolmannen sukupolven verkoille eli se määrittelee ne vaatimukset, jotka ryhmään kuuluvien radioteknologioiden on toteutettava kuuluakseen IMT-2000-järjestelmäperheeseen. 3G-järjestelmien teknisiä määrityksiä ja raportteja tekee standardointiorganisaatioiden yhteistyössä perustama 3GPP –projekti. 3GPP:n käynnistivät joulukuussa 1998 eurooppalainen ETSI, japanilaiset *ARIB* (The Association of Radio Industries and Businesses) ja *TTC* (Telecommunication Technology Committee), korealainen *TTA* (Telecommunications Technology Association) sekä yhdysvaltalainen *ANSI* (American National Standards Institute)

(Buckingham 2000). 3GPP tekee määritykset, joiden mukaisesti kukin standardointiorganisaatio luo paikalliset standardit.

Kolmannen sukupolven järjestelmät on suunniteltu maailmanlaajuiseksi verkoksi, joka koostuu sekä maanpäällisistä että satelliittiverkoista. Maanpäälliset verkot voivat olla uusia 3G:tä varten tehtyjä verkkoja, nykyisiä GSM-verkkoja ja niiden tulevia kehittyneempiä versioita. Päätelaitteiden on pystyttävä toimimaan näissä kaikissa verkoissa ja pystyttävä siirtymään verkkojen välillä. Olennaista on myös toteuttaa GSM-verkkojen menestystekijä eli *yhteisliikenne* (roaming) eri operaattoreiden verkkojen välillä, jotta verkon maailmanlaajuinen kattavuus voidaan saavuttaa.

Kolmannen sukupolven järjestelmien kehittäminen on lähtenyt liikkeelle ajatuksesta, että tulevaisuudessa telekommunikaatiopalveluiden käyttäjät haluavat liikkuessaankin saada käyttöönsä samat palvelut, jotka heillä on käytössä työpöydällään. Tavallisten puheluiden lisäksi langattoman järjestelmän on siis kyettävä siirtämään myös dataa suurilla nopeuksilla. Toisaalta langattomien järjestelmien kehitys on mahdollistanut ajatuksen datan siirtämisestä näissä verkoissa. Nykyään tietoliikenneverkoissa siirrettävien informaatiopalveluiden sisältö ei enää ole pelkästään tekstipohjaista, vaan sisältöä rikastutetaan erilaisilla audiovisuaalisilla sanomilla ja tehosteilla. Langattomien verkkojen on siis kyettävä siirtonopeuksiin, jotka mahdollistavat jopa liikkuvan videokuvan siirtämisen langattomiin laitteisiin. Tavoitteena on lopulta langallisten ja langattomien verkkojen välisen rajan häivyttäminen, jolloin langattomat verkot muodostavat huomaamattomasti tietoyhteiskunnan liikkuvan komponentin.

Nykyiset langattomat ja liikkuvuutta hyvin tukevat järjestelmät ovat kehittymisestään huolimatta edelleen tiedonsiirtonopeuksiltaan varsin hitaita. Siirtonopeus rajoittaakin merkittävästi mahdollisten palveluiden ja ominaisuuksien määrää. 3G-järjestelmien tavoitteena on pienentää tämän rajoitteen vaikutusta tarjoamalla siirtonopeuksia, jotka mahdollistavat liikkuvalle käyttäjälle samanlaiset palvelut kuin toimiston työpöydällään työskentelevälle käyttäjälle. ITU:n julkaisemissa IMT-2000-spesifikaatioissa määritellään vähimmäissiirtonopeudet käyttäjän liikkuvuudelle. Nopeasti liikuttaessa siirtonopeuden on oltava 144kbit/s, kävelynopeudessa 384kbit/s ja sisätiloissa hitaassa

liikkeessä 2.048Mbit/s. Pelkän kaistanleveyden kasvun lisäksi IMT-2000-järjestelmät tarjoavat myös muita datasiirtoa parantavia ominaisuuksia kuten tuen IP -protokollan käytölle, parannettuja palvelun laatuun (Quality of Service, QoS) liittyviä mekanismeja ja mukautuvia laitteita, joihin voidaan ladata verkosta uusia ohjelmistoja (Agrawal & Famolari 1999).

Datasiirron ominaisuuksien parantuminen mahdollistaa paljon uusia liikkuvan tietojenkäsittelyn palveluita. 3G:n yhteydessä on keskusteltu paljon esimerkiksi liikkuvan videokuvan ja Internetin tuomisesta langattomiin laitteisiin. Teoriassa siirtonopeudet riittävät videokuvan siirtämiseenkin mutta palvelun laatu riippuu paljon paikasta, käyttäjän liikkumisnopeudesta ja verkon kuormituksesta. Toinen paljon keskustelua herättänyt uusi verkojen ominaisuus on käyttäjän paikantaminen. Sijainnin tietäminen antaa monia uusia mahdollisuuksia palveluiden kehittäjille. Vaikka uusista mahdollisuuksista paljon puhutaankin, niin markkinatutkimukset osoittavat kuitenkin, että puhe tule säilymään hallitsevana palveluna vuoteen 2005 asti. Vuoteen 2010 mennessä multimediapalveluiden uskotaan kuitenkin kasvattavan osuuttaan huomattavasti. (UMTS Forum 1998)

Laitteiden osalta kolmannen sukupolven järjestelmien standardoinnissa pyritään mahdollisimman pitkälle välttämään rajoitusten asettamista käytettäville terminaaleille. Kannettavat tietokoneet, PDA -laitteet ja matkapuhelimet ovat nykyisiä laitetyyppejä, joista tulevaisuudessa tulee monenlaisia versioita ja todennäköisesti uudentyyppisiäkin laitteita tullaan kehittämään (ks. kohta 3.5). Koska laitteiden tyyppejä ei haluta rajoittaa, niitä ei standardoida. Tästä johtuen laitteita onkin parempi jaotella niiden toteuttamien palveluiden kyvykkyyksien perusteella, kuin fyysisiin ominaisuuksiin perustuen. (3GPP 2000b)

2.3.5.1 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on Euroopassa ensimmäisenä käyttöön tuleva IMT-2000 perheeseen kuuluva järjestelmä. UMTS hankkeen käynnisti Euroopan unioni ja sen standardoinnista vastaa ETSI, jossa järjestelmään liittyvät

tutkimukset ja standardointityö aloitettiin vuonna 1991. Yhteistyössä on mukana monia kansallisia standardointiorganisaatioita ympäri maailman.

UMTS on suunniteltu otettavan käyttöön Euroopassa vuodesta 2002 lähtien. Käyttöönoton on tarkoitus tapahtua vaiheittain vuoteen 2005 mennessä. Vaiheistuksen tarkoituksena on pienentää operaattoreille koituvia kustannuksia ja riskejä. Tärkeänä vaiheena UMTS verkkoihin siirryttäessä nähdään pakettikytkentäisten järjestelmien (GPRS) tuominen GSM-verkkoihin (UMTS Forum 1998). GPRS:n toiminnasta saadut kokemukset ovat tärkeitä operaattoreille, jotta he saavat tietoa pakettikytkentäisen ja yhteydettömän järjestelmän toiminnasta langattomassa verkossa. Kokemus on tärkeää myös siksi, että tulevaisuudessa GSM ja UMTS verkkojen on toimittava yhdessä, sillä molemmat kuuluvat IMT-2000 standardiperheeseen. Kuten GPRS:n yhteydessä todettiin, sen rakentaminen GSM –verkon päälle on operaattorille melko edullista verrattuna EDGE- tai UMTS-verkkoihin. Tulevat UMTS operaattorit hyötynevät GPRS:stä myös siten, että asiakkaita voidaan houkutella ja totuttaa pakettikytkentäisyyden ja nopeamman datasiirron tarjoamiin palveluihin, jolloin he myös helpommin siirtyvät tulevaisuudessa UMTS asiakkaiksi.

Operaattoreiden ensimmäiseksi ongelmaksi saattaa koitua tarpeeksi kattavien verkkojen rakentaminen. Monissa Euroopan valtioissa operaattorit ovat joutuneet maksamaan todella suuria summia pelkistä verkon lisensseistä eli oikeudesta tietyn taajuusalueen käyttöön. Osa valtioista on myöntänyt toimiluvat hakemusten perusteella kiinteään hintaan ja osa on järjestänyt toimiluvista huutokaupan. Suomi oli ensimmäinen valtio, joka myönsi hakemusten perusteella 4 toimilupaa. Huutokaupan järjesti ensimmäisenä Englanti. Kaupan oli 5 lisenssiä, joista voittaneet operaattorit maksoivat keskimäärin noin 45 miljardia markkaa kappaleelta. Muissakin isompien valtioiden huutokaupoissa hinnat kohosivat huikean korkeiksi. Sen sijaan hakemusten perusteella myönnetyissä toimiluvissa hinnat ovat olleet operaattoreille huomattavasti kohtuullisempia (TAULUKKO 6). Korkeat lisenssimaksut saattavat hidastaa operaattoreiden mahdollisuuksia panostaa verkon infrastruktuurin rakentamiseen. Esimerkiksi Englannissa operaattoreiden arvioidaan joutuvan käyttämään noin 25 – 60 miljardia markkaa verkon rakentamiseen.

TAULUKKO 6: UMTS-toimiluvista maksettuja hintoja Euroopassa 2000-2001

Valtio	Toimilupien myöntämismenettely	Toimi-lupia	Toimiluvista maksettu yht. (mrd. mk)	Väkiluku (milj.)	Toimilupien hinta / asukas (mk)
Englanti	huutokauppa	5	223,0	58,5	3812
Saksa	huutokauppa	6	300,0	83,0	3615
Italia	huutokauppa	5	72,0	57,0	1263
Ranska	hakemusten perusteella	4*	62,1*	57,5	1080*
Hollanti	huutokauppa	5	16,0	16,0	1032
Itävalta	huutokauppa	6	4,9	8,0	612
Puola	hakemusten perusteella	3	11,6	38,6	300
Norja	hakemusten perusteella	4	0,6	4,3	138
Sveitsi	huutokauppa	4	0,8	7,0	117
Espanja	hakemusten perusteella	4	3,3	40,5	82
Ruotsi	hakemusten perusteella	4	0,0	8,9	0
Suomi	hakemusten perusteella	4	0,0	5,2	0

*Ranskan lisensseistä vasta 2 on jaettu

Kun verkot ovat olemassa, tarvitaan nopeasti asiakkaita houkuttelevia palveluita ja laitteet markkinoille riittävän nopealla aikataululla. Tällä hetkellä näyttää siltä, että valmistajat eivät kykene saamaan laitteita markkinoille siihen mennessä kun verkot pitäisi ottaa käyttöön. Palveluiden houkuttelevuudessa olennainen tekijä on palvelun hinta suhteessa saatuun hyötyyn. Huolenaiheeksi onkin noussut se, kuinka kalliiksi palvelut tulevat käyttäjille operaattoreiden yrittäessä saada investoimiaan rahoja takaisin. Operaattorit pyrkivät vakuuttelemaan, että tuloja saadaan muualtakin kuin käyttäjiltä, kuten esimerkiksi mainostajilta ja sisällöntuottajilta. Silti 3G puheluiden hinnoittelun arvioidaan nousevan ainakin kaksinkertaiseksi nykyisiin hintoihin verrattuna. Olennaista on kuitenkin saada asiakkaat käyttämään enemmän erilaisia lisäarvopalveluita, jolloin heidän kuukausittain kuluttamansa rahamäärä nousee. Tällä hetkellä englantilaiset käyttävät langattomiin puheluihin ja palveluihin keskimäärin 250 markkaa. 3G:ssä summan olisi noustava ainakin 600 – 1000 markkaan kuukaudessa, jotta operaattorit saisivat toimintansa voitolliseksi. On vaikea uskoa, että käyttäjille pystyttäisiin tarjoamaan niin houkuttelevia palveluita, että he olisivat valmiita maksamaan niin suuria kuukausittaisia maksuja. Operaattoreille koituvat

aloituskustannukset tuntuvat todella korkeilta markkinoiden arvoon verrattuna. Ennusteiden mukaan koko läntisen Euroopan langattomien palveluiden markkinoiden arvo nousee vuoteen 2004 mennessä noin 780 miljardiin markkaan (Secchi & Sheedy 2000).

Operaattoreiden on myös päästävä sopimuksiin verkkojen yhteisliikenteistä. Tärkeää olisi myös saada UMTS käyttöön samanaikaisesti mahdollisimman monessa maassa, jotta yhteisliikenteestä päästäisiin hyötymään. Todennäköisesti UMTS:n käyttöönotto toteutuu kuitenkin eri maissa erilaisella aikataululla.

Paljon keskeneräisiä töitä on vielä saatava päätökseen, jotta tavoite 2002 alkavasta palvelusta täyttyisi. Ensinnäkin UMTS standardien on oltava valmiita, jotta operaattoreiden on mahdollista aloittaa kaupallinen toiminta. Toiseksi UMTS:ään liittyy monia teknisiä tekijöitä, joiden on oltava kunnossa. Tällaisia ovat mm. *UTRA - radiotekniikka* (UMTS Terrestrial Radio Access), satelliittijärjestelmien toiminta, ohjelmointirajapinta ja kehitystyökalut palveluiden kehittämiseen, laitteiden älykorttien teknologia, akkuteknologiat tai virrankulutuksen pienentäminen, laskutus ja sen periaatteet, sekä monia radiotekniikoita tukevat laitteet. Riskitekijöitä on melko paljon, kun otetaan huomioon aikataulun kireys.

Kuten aikaisemmin todettiin, yhteistoiminta muiden verkkojen kanssa on olennaista UMTS:n menestymiselle, joten laitevalmistajien on kyettävä toimittamaan monissa verkoissa toimivia päätelaitteita kohtuulliseen hintaan. Satelliittijärjestelmien toiminta puolestaan on kriittinen tekijä UMTS:n maailmanlaajuisen kattavuuden toteuttamiseksi. UTMS laitteiden älykorteilta eli USIM (Universal Subscriber Identity Module) korteilta vaaditaan edistyneempää tekniikkaa kuin nykyisiltä GSM SIM korteilta. Älykorttien teknologian odotetaan kehittyvän vuoteen 2002 mennessä siten, että niissä on enemmän muistia, suorituskykyä ja ominaisuuksia. UMTS markkinoiden ja uusien käyttäjien houkuttelemisen kannalta tärkeimpiä tekijöitä tulevat olemaan uusien palveluiden tuottaminen, jota varten tarvitaan toimiva standardoitu ohjelmointirajapinta ja kehitystyökalut. Laskutukseen on kehitettävä menetelmä, joka soveltuu uudentyyppiseen verkkoon, jossa siirretään paljon dataa ja käytetään paljon erilaisia

palveluita. Laskutuksen määräytymiseen vaikuttavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi aika, paikka, käytetty kaistanleveys tai haluttu laatu, ja lasku voi koostua mm. lähetys-, siirto-, vastaanotto- ja varastointikustannuksista (3GPP 2000e). Laskutuksen periaatteiden tulisi olla käyttäjälle selkeitä siten, että käyttäjä on koko ajan tietoinen käyttämiensä palveluiden hinnasta. Myös laitteiden virrankulutus on ainakin vielä selkeä ongelma. Kolmannen sukupolven verkkojen päätelaitteet kuluttavat enemmän virtaa kuin nykyiset laitteet ja tämä ongelma on ratkaistava joko virrankulutusta pienentämällä tai akkuteknologioita kehittämällä. Liikkuvaan tietojenkäsittelyyn liittyviä ongelmia ja haasteita käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

IMT-2000 perheeseen kuuluvissa verkoissa liikkuvat käyttäjät voivat tavallisten puheluiden lisäksi mm. käyttää Internetiä, vastaanottaa audio- ja videolähetyksiä ja siirtää isoja tiedostoja (Agrawal & Famolari 1999). Uusille ominaisuuksille perustuvia palveluita tullaan kehittämään paljon. Kaikkien verkon palveluiden on oltava käytettävissä, vaikka käyttäjä siirtyisi toisen verkon alueelle. UMTS verkon palveluiden osalta tämä on toteutettu siten, että UMTS ei suoraan standardoi mitään tiettyjä palveluita, vaan verkon palvelut perustuvat standardoiduille *palveluiden kyvykkyyksille* (service capabilities), jotka ovat yhteisiä kaikille standardia toteuttaville verkoille. Tämä mahdollistaa sen, että käyttäjälle voidaan läpinäkyvästi tarjota samat palvelut, vaikka hän siirtyisi toisen UMTS operaattorin ylläpitämään verkkoon. Tästä konseptista käytetään nimeä Virtual Home Environment (VHE). Sen tarkoituksena on peittää käyttäjältä eri verkkojen ja operaattoreiden väliset rajat. VHE sisältää *palveluiden luontiympäristön* (service creation environment), jonka avulla operaattorit tai erilliset sisällöntuottajat voivat nopeasti ilman pitkällisiä standardointiprosesseja tuoda verkkoon uusia palveluita, jotka toimivat kaikissa standardin mukaisissa verkoissa ja laitteissa (3GPP 2000c). UMTS tuleekin todennäköisesti entistä selkeämmin tuomaan markkinoille erikoistuneet sisällöntuottajat, kuten nykyään on jo ollut havaittavissa tekstiviesti- ja WAP -palveluiden kohdalla. Mahdollisesti isommat sisällöntuottajat haluavat tulevaisuudessa tuottaa myös omia laitteitaan. Nopean palveluiden tuottamisen lisäksi VHE mahdollistaa myös helpon palveluiden räätälöimisen erilaiseksi eri käyttäjäryhmille tai jopa yksittäisille käyttäjille. Lisäksi käyttäjät voivat räätälöidä oman käyttöympäristönsä ja palvelut mieleisiksiin omilla henkilökohtaisilla asetuksilla. Nämä

asetukset siirtyvät myös käyttäjän mukana verkkojen rajojen yli ja laitetyypistä toiseen. Näin käyttäjä näkee palvelut samanlaisina riippumatta siitä missä verkossa hän on tai millaista laitetta hän käyttää.

Suunnitellun aikataulun mukaisesti UMTS on siis tulossa kaupalliseen käyttöön Euroopassa vuodesta 2002 alkaen. Tuolloin UMTS tuskin kuitenkaan vielä täyttää sille asetettuja vaatimuksia ja odotuksia. Standardi on kuitenkin suunniteltu siten, että teknologioiden kehittyessä myös UMTS:n ominaisuuksia voidaan kehittää. Järjestelmän uskotaan olevan täydessä toiminnassa vuoteen 2005 mennessä (UMTS Forum 1998).

2.4 Neljäs sukupolvi

Mark Weiser esitti jo vuonna 1988 käsitteen *läsnäoleva tietojenkäsittely* (Ubiquitous Computing), jolla hän tarkoitti tietojenkäsittelyn muuttumista täysin huomaamattomaksi ja aina läsnäolevaksi osaksi ihmisten jokapäiväistä elämää. (Weiser 1991). Langattomien verkkojen kehitys on selvästi etenemässä tähän suuntaan kattavamman yhteistoiminnan sekä sovellusten sijainti- ja ympäristötietoisuuden myötä.

Neljännen sukupolven matkaviestinjärjestelmistä puhutaan jo nyt, vaikka ainoatakaan kolmannen sukupolven järjestelmää ei vielä ole markkinoilla. Kolmannen sukupolven verkkojen yhteydessä mainittiin IMT-2000 perheeseen kuuluvien verkkojen yhteistoiminta. Neljännen sukupolven järjestelmien tarkoituksena on viedä ajatus verkkojen yhteistoiminnasta vielä pidemmälle. Tiedonsiirtoverkkona voi olla GSM (GPRS, EDGE), UMTS, W-LAN, Bluetooth, digitaalinen televisio, satelliittijärjestelmät tai mikä tahansa tulevaisuudessa rakennettava verkko.

Nykyiset verkot on suunniteltu ja optimoitu hyvin erilaisiin tarkoituksiin. 4G:n ideaalitilanteena olisi yhdistää erilaisten verkkojen käyttö samaan laitteeseen, joka osaisi optimoida eri verkkojen käyttöä sen mukaan millaisia ominaisuuksia käyttäjä kulloinkin tarvitsee. Samassa laitteessa täytyisi siis yhdistyä esimerkiksi matkaviestin, WLAN-kortti, Bluetooth-siru, digitaalinen TV-vastaanotin ja GPS-paikannin.

Mukautumisen on toimittava myös siten, että samoja palveluita pääsee käyttämään samalla tavalla, vaikka käytetyt päätelaitteet ja siirtoverkot voivat olla ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Esimerkiksi sähköpostipalvelun käyttö tai WWW-sivujen selailu on todella erilaista digitaalisen television kautta kuin pienellä matkapuhelimella.

Visiot 4G:stä asettavat todella kovia teknisiä vaatimuksia laitteille ja järjestelmille. Sekä päätelaitteiden, että verkon infrastruktuurin täytyy skaalautua ja mukautua olosuhteiden ja haluttujen ominaisuuksien mukaan. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kulloinkin käytettävissä oleva radiotie, verkon kuormitus ja mahdolliset prioriteetit, sekä haluttu palvelun laatu. Suuri haaste tulee olemaan verkkojen yhdistäminen, kun verkot voivat olla matkapuhelinverkkoja, satelliittiverkkoja, digitaalisia televisioverkkoja, muita langattomia verkkoja tai kiinteitä televerkkoja. Tällaisessa ympäristössä toimivilta protokollilta vaaditaan todellista dynaamisuutta.

Tekniikkaan liittyvien muutosten lisäksi 4G tulee mullistamaan myös yleisiä toimintamalleja esimerkiksi palveluiden, laskutusjärjestelmien ja liiketoimintamallien osalta. Näitä muutoksia tullaan näkemään jo 3G-järjestelmien tullessa käyttöön, mutta 4G-järjestelmät sekoittavat ja yhdistävät entisestään markkinatoimijoiden rooleja ja tuovat markkinoille uusia osapuolia.

4G-järjestelmien aika on vielä vuosien päässä ja tulevaisuuden ennustaminen on vaikeaa, mutta selvänä kehityksen suuntana on kuitenkin nähtävissä tavoitteet verkkojen yhdistämisestä. Lopulta verkkojen teknologia olisi käyttäjälle täysin läpinäkyvää, jolloin verkot näkyisivät hänelle vain yhtenäisenä ja aina käytettävissä olevana maailmanlaajuisena verkkona. Tästäkin on kuitenkin vielä matkaa Weiserin esittämään tilanteeseen, jossa teknologia ikään kuin katoaa taustalle. Tällaisen tilanteen saavuttaminen on myös psykologinen tekijä, sillä ihmisten on totuttava teknologian olemassaoloon niin, että siitä lopulta tulee tiedostamaton osa heidän elämäänsä (Weiser 1991).

2.5 Yhteenveto verkkotekniikoiden kehityksestä

Loimme tässä luvussa katsauksen radiotekniikkaan perustuviin verkkotekniikoihin. Käsittelimme henkilökohtaisen alueen Bluetooth-tekniikkaa, lähialueen langattomien lähiverkkojen IEEE 802.11 - ja HiperLAN-standardiperheitä sekä GSM-verkkoja edelleen kehittäviä HSCSD-, GPRS-, EDGE- ja UMTS-alueverkkoja. Esittelimme kaikkien näiden tekniikoiden kehitystyötä ja teknisiä ratkaisuja sekä pohdimme niiden sopivuutta erilaisten sovellusalueiden toteuttamiseen olemassa olevien määrittelyiden ja tehtyjen tutkimusten pohjalta.

Osoitimme tässä luvussa, että yksikään verkkotekniikka ei yksinään ole riittävä globaalin liikkuvuuden tuen takaamiseksi. Kaikilla tekniikoilla on omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Esimerkiksi Bluetooth soveltuu erilaisten tilapäisverkkojen muodostamiseen, mutta laitteiden väliset etäisyydet ovat tarkkaan rajatut. Langattomat lähiverkot taas pystyvät tarjoamaan keskipitkillä etäisyyksillä todella nopeat tiedonsiirtonopeudet. Käyttöalueeksi tosin soveltuvat parhaiten alueet, joiden sisällä käyttäjien liikkuma-alueet tunnetaan (esimerkiksi toimistot ja ostoskeskukset) ja joissa käyttäjä ei liiku suurilla nopeuksilla. GSM-verkkoja kehittävät 2.5G- ja 3G-tekniikat tarjoavat taas erittäin laajan kattavuuden, mutta tiedonsiirtonopeudet eivät kuitenkaan aina riitä multimediasovellusten tarpeisiin ja kohonneet lisenssihinnat saattavat vaikuttaa käyttöönoton laajuuteen. Eri etäisyyksille soveltuvien verkkotekniikoiden avulla voimme kuitenkin tulevaisuudessa taata globaalin liikkuvuuden tuen. Tällöin erittäin tärkeäksi asiaksi nousee eri verkkotekniikoiden yhteistoiminta, jota käsittelimme lyhyesti 4G-osuudessa.

Tarkastelun perusteella voimme kiteyttää verkkotekniikoiden kehityksen kahteen perusasiaan: tekniikat tarjoavat entistä *enemmän tiedonsiirtonopeutta* ja siirtyminen pakettikytkentäisyyteen mahdollistaa *välittömän yhteyden käyttöönoton* (always on). Nämä tekijät antavat uusia vaihtoehtoja tuleville sovelluksille, mutta asettavat samalla myös vaatimuksia ihmisten käyttäytymistottumusten muutokselle. Lisäarvoa verkkotekniikat tarjoavat antamalla takuun saatavasta palvelun laadusta, turvallisuudesta tai yhteistoimivuudesta ottamalla samalla huomioon käytetyn laitteen

rajoitteet. Tarkastelemme näitä liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteitä seuraavassa luvussa.

3 LIIKKUVAN TIETOJENKÄSITTELYN ERITYISPIIRTEET

Tietojenkäsittelyn siirtäminen langattomiin ja liikkuvuutta tukeviin verkkoihin aiheuttaa monenlaisia uusia haasteita. Langattomien verkkojen yhteydet ovat tyypillisesti laadultaan langallisia verkkoja heikompia, ja lisäksi liikkuminen aiheuttaa helposti muutoksia yhteyden laatuun. Tämä näkyy esimerkiksi suurempana virheherkkyytenä, kapasiteetin arvaamattomana vaihteluna ja yhteyden ajoittaisena katkeiluna. Kuten edellisessä luvussa totesimme, käytössä tulee olemaan monia erilaisia verkkotekniikoita. Globaalin liikkuvuuden takaamiseksi näiden verkkojen on kyettävä yhteistoimintaan, ja siirtymisen verkosta toiseen tulisi sujua vaivatta. Erilaiset verkkotekniikat lisäävät myös laitetyyppien määrää. Lisäksi kannettavat laitteet ovat resursseiltaan rajallisia. Radiotien käyttäminen datan siirrossa ja liikkuminen verkkojen välillä vaikeuttaa myös riittävän tietoturvan ja tietosuojan takaamisessa. Käsittelemme tässä luvussa näitä liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteitä.

Kohdassa 3.1 käsittelemme palvelun laatua liikkuvassa tietojenkäsittelyssä tarkastelemalla laadun eri komponentteja: oikea-aikaisuutta, kapasiteettia, luotettavuutta ja yhtäjaksoisuutta. Haluttu palvelun laatu määrittelee pitkälti liikkuvuuden toimintakentän ja sille asetettavat vaatimukset ja rajoitteet. Kohdassa 3.2 osoitamme eri laitteiden ja verkkotekniikoiden välisen yhteistoiminnan merkittävyyden, ja esittelemme miten yhteistoiminta voidaan käytännössä toteuttaa. Kohdan 3.3 mukautumista tarvitsemme silloin, kun liikkuvuus aiheuttaa muutoksia yhteyden ominaisuuksiin ja näihin muutoksiin pitää jollain tavalla reagoida. Kohdassa 3.4 käsittelemme sitä, mitä ongelmia ja millaisia vaatimuksia langattomuus ja liikkuvuus tuovat tietoturvan ja tietosuojan toteuttamiseen. Lisäksi tarkastelemme lyhyesti millaisia ratkaisuja näihin ongelmiin on esitetty. Lopuksi kohdassa 3.5 esittelemme millaisia laitteita tulevaisuuden langattomissa verkoissa tullaan käyttämään ja mitä rajoitteita niiden ominaisuudet asettavat.

3.1 Palvelun laatu

Palvelun laadulla (Quality of Service) tarkoitetaan yhteydelle tarjottavaa tasaista, ennustettavissa oleva suorituskykyä. Jos laatua tarkastellaan teknologisesta näkökulmasta, siihen liittyvät keskeisesti sellaiset asiat kuten tiedonsiirtoviipeiden ja vaihteluiden minimoiminen, sovittu tiedonsiirtokapasiteetti ja yhteyden luotettavuus. Palvelun laatu saattaa olla loppukädessä hyvin subjektiivista, sillä lopullisen päätöksen siitä tekee palvelun käyttäjä. Tässä kohdassa käsitellään pääasiassa mitattavaa laatua. Tietosuoja ja tietoturva liittyvät myös oleellisesti palvelun laatuun, mutta niiden tärkeyttä korostaaksemme käsittely on omassa osiossaan.

Palvelun laatua voidaan tarkastella yleisten laadun komponenttien, parametrien, avulla. Kun palvelun laatua tarkastellaan teknologiapohjaisten ominaispiirteiden näkökulmasta, yleisiä palvelun laadun parametreja ovat *oikea-aikaisuus*, *kapasiteetti*, *luotettavuus*, sekä *yhtäjaksoisuus*. Nämä parametrit ovat luonteeltaan hyvin suorituskykykeskeisiä (Bochmann & Hafid 1997, 1). Niiden avulla pyritään kuitenkin havainnollistamaan sitä, kuinka useasta osasta palvelun laatu koostuu. Siirrettävän datan tyyppi ja käytetty tiedonsiirtotapa vaikuttavat siihen, kuinka tärkeäksi mikäkin parametri muodostuu.

3.1.1 Erityyppinen data

Erityyppinen data asettaa tiedonsiirrolle ja palvelun laadulle hyvin erilaisia vaatimuksia. Ei ole yhdentekevää, onko siirrettävä data esimerkiksi tekstiä vai videokuvaa (TAULUKKO 7). Tavallinen tekstimuotoinen data vaatii yleensä hyvin vähän tiedonsiirtokapasiteettia eikä muutamien bittien virheet muuta tekstiä lukukelvottomaksi. Binäärimuotoinen data on vaatimuksiltaan hyvin samankaltaista kuin tekstidata. Kaikki tiedonsiirrossa tapahtuneet virheet on kuitenkin korjattava uudelleenlähetyksillä, sillä yhdenkin bitin suuruinen virhe saattaa johtaa esimerkiksi siihen, että siirretty sovellusohjelma ei toimi vastaanottajalla. Tavallinen teksti- ja binääridata ovat luonteeltaan ei-reaaliaikaisia, joten yhteyden yhtäjaksoisuus ei ole välttämätöntä. Multimediadatan kuten äänen ja videokuvan siirto on taas usein

reaaliaikaista. Siksi yhteyden yhtäjaksoisuuden säilyttäminen on erittäin tärkeää. Bochmannin ja Hafidin (1997, 6) mukaan multimediadatan tiedonsiirrossa merkittävimpiä komponentteja ovat *datan tyyppi* (ääni, video, video äänen kanssa jne.), *käytetty koodaustapa* (coding scheme), *resoluutio* ja *kapasiteettivaatimus* (throughput). Käytetty koodaustapa ja resoluutio vaikuttavat siihen, kuinka paljon kapasiteettia datan siirtämiseen tarvitaan. Ne eivät kuitenkaan poista viivevaatimuksia, jotka ovat reaaliaikaisen multimediadatan siirrossa erittäin tiukat. Viipeen varianssia ei käytännössä sallita lainkaan, sillä se näkyisi puheensiirrossa taukoina ja videokuvan nykimisenä. Yhteenvetona voidaan todeta, että ihmisten asettamien laatuvaatimusten lisäksi eri datatyyppeihin liittyy implisiittisiä vaatimuksia: ei-reaaliaikaisen datan suorituskykyvaatimukset ovat joustavat, kun taas reaaliaikainen data vaatii paljon enemmän tiedonsiirtopalvelulta. Implisiittisiä vaatimuksia on vaikea poistaa, ja ainoaksi vaihtoehdoksi jääkin usein niihin sopeutuminen ja mukautuminen.

TAULUKKO 7: Eri datatyyppien asettamat vaatimukset tiedonsiirrolle

Laadun parametri	**Teksti**	**Ääni**	**Video**	**Binääriset Tiedostot**
Oikea-aikaisuus	vähäinen	suuri	suuri	Vähäinen
Kapasiteetti	vähäinen	keskinkertainen	suuri	Vaihtelee
Luotettavuus	keskinkertainen	keskinkertainen	vähäinen	Suuri
Yhtäjaksoisuus	pieni	suuri	suuri	Pieni

3.1.2 Oikea-aikaisuus

Oikea-aikaisuuden (timeliness) merkitys tiedonsiirrossa korostuu tulevaisuudessa. Mitä enemmän ja mitä monipuolisempaa dataa tullaan siirtämään, sitä tärkeämpää on pyrkiä takaamaan tiedon oikea-aikainen saapuminen vastaanottajalle. Oikea-aikaisuutta tarkasteltaessa puhutaan usein *viipeestä* (delay), joka on datan lähettämisestä sen vastaanottamiseen kuluva aika (Knoche & de Meer 1997, 2-3). Viipeen ennustaminen oli helpompaa piirikytkentäisissä verkoissa, missä tiedonsiirtokaista(t) on varattu yhteydelle tiedonsiirron ajaksi. Kehitys vie tulevaisuudessa kuitenkin kohti

pakettipohjaista tiedonsiirtoa (ks. luku 2), koska se tarjoaa tehokkaamman kaistankäytön ja välittömän yhteyden käyttöönoton. Pakettikytkentäiset verkot tulevat todennäköisesti siirtämään tietoa ainakin IP-paketteina, sillä sen avulla tiedonsiirrossa pystytään käyttämään hyväksi myös kiinteitä IP-verkkoja kuten Internetiä. Internetiä ei kuitenkaan ole suunniteltu tukemaan liikkuvuutta ja palvelun laatua (toisin sanoen HTTP ja TCP/IP –protokollat eivät sitä tue) ilman, että yhteyskäytänteisiin tehtäisiin muutoksia (Fry, Seneviratne, Vogel & Witana 1997; Rajagopalan 1997). Tuki liikkuvuudelle on aikaansaatu kehittämällä *Mobile IP –protokolla* (MoIP), joka tekee IP-protokollan käytön mahdolliseksi myös liikkuvassa tietojenkäsittelyssä (Perkins 1996; Perkins 1998, 323). Ongelmana on kuitenkin kasvaneet viestiketjut, jotka lisäävät viipeitä (Perkins 1996, 10). Tilanne paranee jonkin verran, kun IP-protokollan versio 6 otetaan käyttöön, sillä se tukee väliaikaisten osoitteiden siirtoa (Perkins 1998, 325) (LIITE 1). Lisäksi se sisältää paremman tuen palvelun laadun takaamiselle, koska tiedonsiirtopaketeille voidaan määritellä prioriteetit. Joka tapauksessa Internet soveltuu parhaiten pakettimuotoisen binääridatan siirtoon, joka on usein purskeista ja jota on helppo siirtää yhteydettömästi. Ääni ja videokuva soveltuisivat paremmin piirikytkentäiseen tiedonsiirtoon, jossa pystyttäisiin paremmin takaamaan pienempi viive. (Katz 1995, 6-7; Alonso, Chang, Iftode & Mani 1995, 30). Siksi ainakin osa tiedonsiirrosta hoidetaan tulevaisuudessa piirikytkentäisesti. Tämän on mahdollista alkuvaiheessa esimerkiksi HSCSD:tä käyttäen ja tulevaisuudessa EDGE:ssä käyttämällä ECSD:tä (ks. alakohdat 2.3.2 ja 2.3.4.1). Pakettikytkentäiseen liikennöintiin kehitetään parhaillaan pakettien merkitsemiseen (labeling) perustuvaa *MPLS-tekniikkaa* (Multiprotocol Label Switching). Sen avulla verkkotason protokollien (kuten IP) reitityksen uskotaan huomattavasti tehostuvan, ja samalla voidaan taata liikenteen priorisointi (precedence) ja erilaiset palveluluokat (class of service) (Rosen, Viswanathan & Callon 2001).

3.1.3 Kapasiteetti

Kapasiteetilla (capacity) tarkoitetaan opastetun tai opastamattoman väliaineen tiedonsiirtokykyä. Esimerkiksi järjestelmätasolla kapasiteetti voi ilmaista sen, kuinka

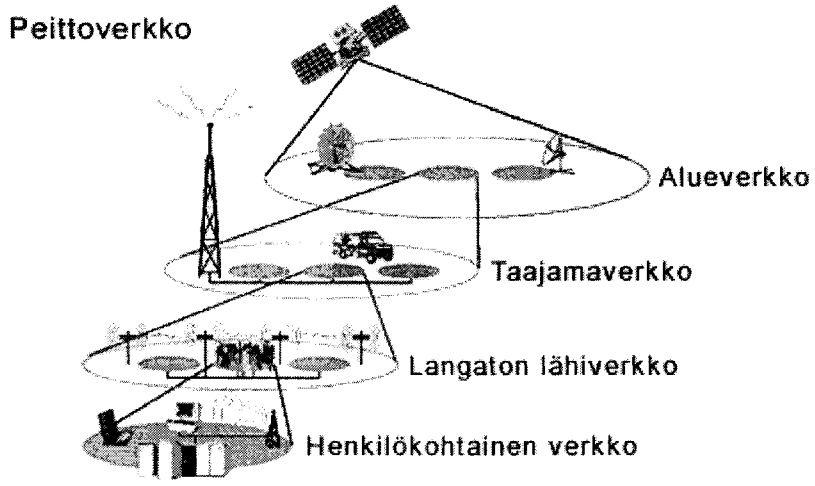
monta bittiä matkapuhelinjärjestelmän yksi tiedonsiirtokanava pystyy käsittelemään sekunnissa (bits per second, bits/s). Sovellustasolla tarkastellessa kapasiteetti voidaan myös ilmoittaa sovelluskohtaisena yksikkönä; esimerkiksi videoneuvotteluohjelma voi ilmoittaa kapasiteettivaatimuksensa videokehyksien määränä sekunnissa (frames per second, fps). Jossain tapauksissa kapasiteetti ilmoitetaan myös sekunnissa käsiteltävien tapahtumien määränä (Knoche & de Meer 1997).

Verkon kapasiteettia lisättäessä voi myös tiedonsiirtonopeus kasvaa yksittäisellä yhteydellä. Mitä enemmän kapasiteettia on tarjolla, sitä suuremmalla todennäköisyydellä liikennöivä laite voi käyttää useampia kanavia tiedonsiirtoon. Kapasiteettiin vaikuttaa myös käytetty modulointitekniikka ja kapasiteetin jakotapa (Bahl 1998, 99-100). Luvussa 2 esimerkiksi todettiin, että EDGE:n GPRS:ää suurempi tiedonsiirtonopeus johtuu kehittyneemmästä modulointitekniikasta. Käytettävä kapasiteetti voidaan taas tarvittaessa jakaa sovellusten tarpeen tai datan prioriteetin mukaan. Kehityksestä huolimatta nyt ja lähitulevaisuudessa ei ole tarjolla yhtä langatonta verkkotekniikkaa, joka voisi tarjota pieniviipeisiä ja suurikapasiteettisia palveluita suurelle käyttäjämäärälle laajalla alueella (Stemm & Katz 1998, 335). Parhaan palvelutason tarjoaminen käyttäjälle vaatii siis eri verkkotekniikoiden yhdistelyä, jonka seurauksena homogeeninen verkkorakenne muuttuu heterogeeniseksi. Matkapuhelinverkkojen siirtonopeudet ovat vielä melko pieniä, mutta muutaman vuoden sisällä nopeudet kohoavat jopa satakertaisiksi. Langattomissa lähiverkoissa tietoa pystytään jo nyt siirtämään useita megabittejä sekunnissa, mutta nopeimmat kiinteät verkot ovat silti moninkertaisesti nopeampia (ks. luku 2). Kapasiteetti voi olla myös hyvin erilainen kahden pisteen välillä johtuen verkkotekniikoiden vaihtelusta, verkkojen kuormasta ja liikenteen erilaisesta priorisoinnista - onkin huomattava, että hitain yhteysväli asettaa aina siirtonopeuden ylärajan.

Käytettävissä olevaan kapasiteettiin vaikuttaa ennen kaikkea se, missä ja kuinka nopeasti liikutaan. Rakennusten sisätiloissa ihmiset liikkuvat hitaammin ja lyhyempiä matkoja kuin esimerkiksi liikkuessaan moottoritiellä autolla. Sisätiloissa voidaankin käyttää pienempiä lähetystehoja, ja tällöin vältytään suurten taajuusalueiden varaamiselta. Tämä taas mahdollistaa pienempien solujen käytön, jolloin kapasiteettia

on vastaavasti mahdollista lisätä. Suuremman kapasiteetin ja monipuolisempien verkkotekniikoiden lisäksi sisätilat ovat yleensä helpommin hallittavissa, sillä rakennuksen katvealueet ja muut kapasiteettiin vaikuttavat tekijät tiedetään, ja niihin pystytään varautumaan toisin kuin ulkotiloissa.

Liikkuvuutta ei luonnollisestikaan voi rajoittaa vain sisätiloihin. Tällöin joudutaan väistämättä siihen tilanteeseen, että käytössä oleva kapasiteetti saattaa olla hyvin erilainen sijainnista riippuen. Katz (1995, 2) puhuukin erilaisista *kapasiteettisaarekkeista* (bandwidth islands). Hänen mukaansa tulevaisuudessa langaton kommunikointi on luonteeltaan hybridistä: rakennuksissa ja julkisilla paikoilla (lentokentät, ostoskeskukset jne.) on käytössä suuremmat kapasiteetit, kun taas näiden paikkojen välimaastossa kapasiteetti on pienempi. Kapasiteetti vaihtelee paitsi etäisyyden, niin myös nopeuden mukaan. Esimerkiksi tulevien IMT-2000-verkkojen tarjoamat nopeudet voivat vaihdella 144 kbit/s - 2 Mbit/s välillä – mitä lähempänä tukiasemaa olet ja mitä hitaammin liikut, sitä suurempi on tarjottava kapasiteetti. Eri langattomat verkkotekniikat muodostavat päällekkäisiä *langattomia peittoverkkoja* (wireless overlay networks), jotka voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan; pienikapasiteettisiin ja kattaviin verkkoihin sekä suurikapasiteettisiin pienen kattavuuden takaaviin verkkoihin (Stemm & Katz 1998, 335) (KUVIO 8).



KUVIO 8: Langattomassa peittoverkossa suurempien verkkojen kantoalueella on myös useita pienempiä verkkoja (Stemm & Katz 1998, 336).

Tulevaisuudessa esimerkiksi langattoman lähiverkon sisällä saattaa olla useita Bluetoothin pikoverkkoja, ja IMT-2000-verkon alueella taas useita langattomia lähiverkkoja. Suuremman tiedonsiirtonopeuden tai parempien palveluiden takia käyttäjän saattaa olla järkevää pysytellä mahdollisimman kauan pienimmän verkon kantoalueella ja siirtyä ylemmän verkon käyttäjäksi vasta sitten, kun on pakko (Stemm & Katz. 1998, 337).

Langattomat verkot eivät koskaan pysty tarjoamaan yhtä suurikapasiteettisia yhteyksiä kuin kiinteät verkot, koska langattoman tiedonsiirron kapasiteetti on rajallinen. Tähän kapasiteetin vähyyteen voidaan kuitenkin aina sopeutua käyttämällä tehokkaampia pakkausmenetelmiä, priorisoimalla ja muokkaamalla dataa paremmin datatielle sopivaksi (ks. kohta 3.3). Kaikkein ongelmallisinta on kuitenkin kapasiteetin ennakoimaton vaihtelu, joka saattaa johtua esimerkiksi verkon ruuhkautumisesta tai katvealueille siirtymisestä. Myös liikkuminen vaikuttaa eri verkkotekniikoiden tiedonsiirtonopeuksiin, ja sitä käsittelemme seuraavaksi.

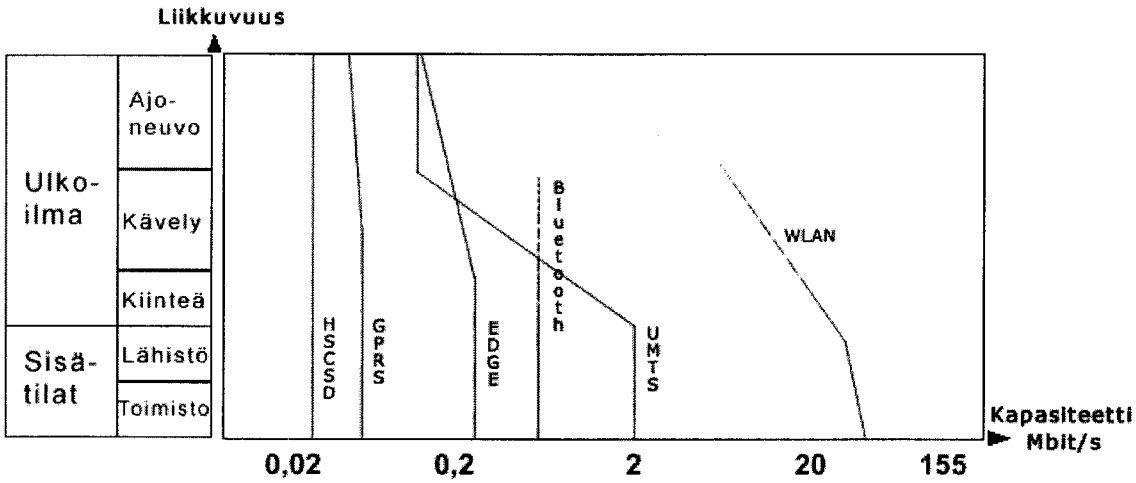
Bluetooth-verkko soveltuu ad–hoc-rakenteensa takia tilapäisiin ja dynaamisesti muuttuviin tilanteisiin, jossa erillisiä tukiasemia ei voida käyttää. Pienitehoisten lähettimien takia verkon kattavuus on väistämättä pieni (ks. alakohta 2.1.1), eikä hajaverkkojen avulla voida vielä rakentaa toimivaa langatonta lähiverkkoa tai kattavaa ulkoilmaratkaisua. Nopeus on riittävä perinteiseen käyttöön, mutta laitteiden määrän lisääntyminen pikoverkossa alentaa kapasiteettia. (TAULUKKO 8) Tiedonsiirto toimii vuorotteluperiaatteella antaen mahdollisuuden suurempiin asymmetrisiin nopeuksiin. Toisaalta symmetrisen puheen siirtäminen varaa nopeasti merkittävän osan kapasiteetista suuremman prioriteetin takia. (ks. alakohdat 2.1.2 ja 2.1.3)

TAULUKKO 8: Verkkotekniikoiden tiedonsiirtokyky ja liikkuvuuden vaikutus.

Verkkoalue	Verkko-tekniikka	Maksimi-kapasiteetti (kbit/s)	Liikkuvuuden vaikutus	Käyttöpaikka
PAN	*Bluetooth*	721 (data) 433 (puhe)	Pikoverkot pieniä, hitaasti liikkuvat kohteet.	Sisätilat
LAN	*802.11a*[1] *802.11b*[1] *HiperLAN/1*[1] *HiperLAN/2*[1]	32768 5120 13722 32768	Tukiaseman kantama noin 150 m. Alle 10 km/h nopeuksilla.	Sisätilat, rajoitetusti ulkona
WAN	*HSCSD*	43 (data) 28.8 (puhe)	Ei rajoituksia.	Sisä- ja ulkotilat
	GPRS[2]	54 (data) 27 (puhe)	Olosuhteet vaikuttavat kanavakoodaukseen.	Sisä- ja ulkotilat
	EDGE[3]	237 (EGPRS) 150 (ECSD)	Suorituskykyisempi lähempänä tukiasemaa.	Sisä- ja ulkotilat
	UMTS	2048	Liikkumisnopeus vaikuttaa suorituskykyyn. Nopein erillisten liitäntäpisteiden läheisyydessä.	Sisä- ja ulkotilat taajamissa.

[1] verkkokerros [2] CS-2 kanavakoodaus, 4 kanavaa [3] 4 kanavaa

Langattomat lähiverkot tarjoavat kiistämättä suurimman tiedonsiirtokapasiteetin käsitellyistä langattomista verkkotekniikoista. Tulevia HiperLAN/2 ja 802.11a voidaan jo verrata kiinteisiin verkkoihin. Niiden toiminta uudella taajuusalueella taannee suuremman kapasiteetin vähempihäiriöisessä ympäristössä, jossa esimerkiksi Bluetooth-laitteet eivät häiritse tiedonsiirtoa. Liikkuvuuden tuki on riittävä sisätiloissa ja liikuttaessa hitaasti ulkotiloissa. (KUVIO 9) Nopeasti liikkuvia kohteita langattomat lähiverkot eivät kuitenkaan pysty palvelemaan, sen estävät hitaat tukiasemavaihdokset ja puutteelliset palvelun laadun takaamismekanismit. (ks. alakohdat 2.2.1 ja 2.2.2)



KUVIO 9: Liikkuvuus vaikuttaa verkkotekniikoiden tiedonsiirtokapasiteettiin

Matkapuhelintekniikoiden siirtonopeudet kasvavat koko ajan. Silti tulevaisuudessakin niiden kapasiteetti on huomattavasti alhaisempi kuin esimerkiksi langattomien lähiverkkojen. Pakettipohjaiseen tiedonsiirtoon siirtyminen tekee mahdolliseksi tehokkaamman kaistan hyödyntämisen, mutta samalla saatetaan törmätä ongelmiin siirrettäessä yhtä aikaa synkronista ja asynkronista dataa (ks. alakohta 2.3.3.1). Luvatut maksimikapasiteetit saattavat aluksi tuntua vaikuttavilta, mutta siirtokyky laskee hyvin äkkiä olosuhteiden heikentyessä, liikkeen nopeutuessa tai etäisyyden kasvaessa tukiasemaan (ks. alakohdat 2.3.3.2, 2.3.4.1 ja 2.3.5). Reaaliaikaista dataa varten täytyy kuitenkin säilyttää piirikytkentäisiä siirtomuotoja kuten HSCSD ja ECSD (ks. alakohdat 2.3.2 ja 2.3.4.1). Matkapuhelinverkot tukevat liikkuvuutta kuitenkin erinomaisesti. Vaikka esimerkiksi UMTS-verkkoja tuskin tullaan maaseuduilla näkemään (ks. alakohta 2.3.5.1), sielläkin liikennöinti tulee olemaan mahdollista - tosin hieman pienempää kapasiteettia käyttäen.

3.1.4 Luotettavuus

Luotettavuudella (reliability) tarkoitetaan sitä, että tiedonsiirtopalvelu pystyy täyttämään sille asetetut vaatimukset tiedonsiirtovirheiden ja yhteyden yhtäjaksoisuuden osalta (ks. alakohta 3.1.5). Yhteyttä voidaan pitää sitä luotettavampana, mitä vähemmän

siirtovirheitä tapahtuu. Langattomien yhteyksien takia liikkuvaa tietojenkäsittelyä voidaan luonnehtia erittäin arvaamattomaksi ja virhealttiiksi (Katz 1995, 6-7; Bahl 1998, 94; Rajagopalan 1997, 3). Liikkuvuus aiheuttaa radiotaajuuksilla sellaisia häiriöitä kuten signaalin *monitie-eteneminen* (multipath propagation), *häipyminen* (shadowing) ja *interferenssi*. Hajautumista tapahtuu, kun radiosignaali heijastuu ympäristön esteistä ja tämän seurauksena muuttaa signaalia. Signaali häipyy, kun yhteys vastaanottajaan katkeaa tilapäisesti esteiden kuten suurten rakennusten tai mäkien takia (ks. LIITE 2). Tämä aiheuttaa yleensä suuria muutoksia lähetystehoihin. Kun radiotaajuudet ovat liian lähellä toisiaan, aiheutuu kanavien ylikuulumista. Siitä seuraa radioaaltojen interferenssiä, jolloin signaalit saattavat vaimentaa toisiaan. Tämän lisäksi signaaliin vaikuttaa yhteydestä riippumatta sellaiset asiat kuten *kohina* ja *kaiku* (echoes). Kleinrock (1998) kuvaa varsin osuvasti liikkuvaa tietojenkäsittelyä sanoessaan, että häiriöiden aiheuttamia muutoksia viipeessä ja tarjotussa kapasiteetissa pidettäisiin poikkeavana ja virheellisenä kiinteissä verkoissa - langattomassa viestinnässä ne ovat vain normaalia arkipäivää.

Liikkuvassa tietojenkäsittelyssä joudutaan tekemään luotettavuuden suhteen yleensä ratkaisu kahden vaihtoehdon välillä: käytetäänkö resurssit katkojen estämiseen, vai panostetaanko parempaan virheidenkäsittelyyn ja toipumiseen virheistä? Katkoja voidaan esimerkiksi estää paremmalla signaalien uudelleenkäytöllä, liikenteenhallinnalla ja tehokkaalla lähetinasemasuunnittelulla (Katz 1995, 7). Parempi virheensietokyky saavutetaan puolestaan tekemällä laitteista riippumattomampia yhtäjaksoisesta yhteyden säilyttämisestä (Forman & Zahorjan 1994, 41) tai kehittämällä laitteiden virheenkäsittelyä. Pieniä muutoksia laadun parametreissä voidaan myös yrittää peittää asynkronisella tiedonsiirrolla, viivästetyllä puskuroinnilla (lazy write-back) ja etukäteishaulla (prefetching) (mts., 40). Tekniset ratkaisut eivät kuitenkaan sovellu kaikkiin tarkoituksiin.

3.1.5 Yhtäjaksoisuus

Yhtäjaksoisuudella (seamlessness) tarkoitetaan sitä, että yhteys säilyy katkeamattomana käyttäjän liikkuessa solusta ja verkosta toiseen sekä käyttäjän vaihtaessa käytettävää

verkkotekniikkaa. Käyttäjän liikkuessa verkossa solusta toiseen joudutaan suorittamaan joka kerta *vaihtoneuvottelu* (hand-over) tukiasemien välillä. Siinä siirretään käyttäjän tiedot uuden tukiaseman hallinnoitaviksi. Se kuinka monesti vaihtoneuvotteluita joudutaan tekemään riippuu siitä, kuinka suuria tukiaseman palvelemat solut ovat. Haja-asutusalueella solut saattavat olla hyvin suuria (useita kilometrejä, vähän vaihtoneuvotteluita) ja kaupungin keskustassa taas hyvin pieniä (jopa alle 100 m, paljon vaihtoneuvotteluita). Mitä enemmän vaihtoneuvotteluita on, sitä enemmän ne rasittavat esimerkiksi tiedonsiirtopalvelua ja vaikuttavat haitallisesti laadun parametreihin. Neuvottelut aiheuttavat aina viipeen kasvua, sillä neuvotteluprosessin aikana data joudutaan siirtämään aluksi vanhalle tukiasemalle ja sieltä eteenpäin uudelle. Pahimmassa tapauksessa muutaman metrin liikkuminen vaikuttaa myös siihen, että käyttäjä siirtyy operaattorin pakettiverkosta toiseen, jolloin yhteydentarjoajaa joudutaan vaihtamaan ja tiedonsiirto keskeytyy.

Ratkaisuksi ehdotetaan *yhtäjaksoisuusparametrin* (probability of seamless communication) määrittämistä (Ghai & Singh 1994). Ideana on, että jokainen langattoman verkon solu kuuluisi tiettyyn soluryhmään. Aina kun data lähetettäisiin yhteen soluun se siirtyisi (multicasting) myös muille ryhmän soluille. Tällöin pystyttäisiin useissa tapauksissa varmistumaan siitä, että vaihtoneuvottelun alkaessa data olisi jo siirretty valmiiksi uudelle tukiasemalle - näin ylimääräisiltä viipeiltä vältyttäisiin ja siirto jatkuisi ilman katkoja. Tällaista datan siirtoa kutsutaan usein *ennakoivaksi puskuroinniksi* (predictive buffering). Ratkaisutavan soveltuvuus on kuitenkin kyseenalainen sen aiheuttaman haittakuorman (overhead) takia. Data täytyy siirtää kaikkiin ryhmän soluihin, vaikka käyttäjä siirtyy vain yhteen soluista. Lisäksi vaihtoneuvottelun aikana joudutaan joka tapauksessa siirtämään data vanhan tukiaseman kautta silloin, kun siirrytään soluryhmästä toiseen. Toisaalta ratkaisu soveltuu ainoastaan homegeenisiin verkkoihin. Kuten jo aiemmin ollaan todettu, tämä ei riitä tulevaisuudessa. Käsittelyä täytyykin laajentaa ottamalla mukaan *vertikaaliset vaihtoneuvottelut*, jotka voidaan toteuttaa joko alaspäin tai ylöspäin riippuen siitä, siirrytäänkö kattavammasta verkosta suppeampaan (esimerkiksi GSM-verkosta langattomaan lähiverkkoon) vai päinvastoin. Ajatuksen taustalla on, että kattavampien verkkojen kantoalueen sisällä on useita pienempiä verkkoja: verkot ovat siis osittain

päällekkäisiä (ks. KUVIO 8). Tämän takia alaspäin siirtyminen ei ole niin aikakriittistä, sillä käyttäjän yhteys kattavampaan verkkoon säilyy kuitenkin koko ajan (Stemm & Katz 1998). Vaihtoneuvottelun laukaisee pakettien ilmaantuminen verkon alueelle tai niiden häviäminen alueelta. Tämän avulla saavutetaan suurempi riippumattomuus käytettävästä verkkotekniikasta. Tutkimuksessa ilmenee kuitenkin, että multimediadatan oikea-aikaisuusvaatimukset (ks. alakohta 3.1.1) täyttääkseen vaihtoneuvottelun suorituskykyä täytyy parantaa haittakuorman ja suuremman lähetystehon kustannuksella. Tällaista on esimerkiksi vaihtoneuvotteluiden ennakoiminen joko eksplisiittisesti käyttäjän avustuksella tai implisiittisesti päättelemällä.

Palvelun laatuun vaikuttaa siirrettävän datan tyyppi, sillä se asettaa sille vaatimuksia. Oikea-aikaisuuden takaaminen on taas hankalaa varsinkin pakettiverkoissa, sillä nopeasti liikkuvat käyttäjät muuttavat verkon kuormitusta. Kapasiteetin todettiin olevan todella niukka resurssi, mutta sitä pyritään tarjoamaan tulevaisuudessa enemmän käyttämällä tilanteeseen parhaiten soveltuvaa verkkotekniikkaa. Suurempana ongelmana pidettiin kuitenkin liikkuvuuden aiheuttamaa kapasiteetin ennakoimatonta vaihtelua. Langaton liikkuva ympäristö on aina altis virheille, ja vaikka niihin pystytään osin reagoimaan, joudutaan lähes aina tekemään myös kompromisseja jonkun laadun parametrin osalta. Huolimatta yhteyden yhtäjaksoisuuden takaamisen hankaluudesta, siihen pitää silti pyrkiä.

3.1.6 Peittoverkkojen vaikutus palvelun laatuun

Yksikään verkkotekniikka ei siis yksinään ole riittävän hyvä globaaliin liikkuvaan tietojenkäsittelyyn. Verkkotekniikat ovat toki yhä tehokkaampia, langattomien tietojenkäsittelylaitteiden kasvanut suorituskyky antaa mahdollisuuden tiedon pakkaamiseen, uusia taajuusalueita otetaan käyttöön ja liikenne voidaan priorisoida entistä paremmin. Silti yksittäinen verkkotekniikka kärsii kapasiteetin riittämättömyydestä, liian pienestä kattavuudesta, puutteellisesta palvelun laadun takaamisesta, tai sitten sen taloudelliset käyttökustannukset ovat liian suuret.

Eri verkkotekniikat eivät poikkea toisistaan radikaalisti huonoihin tiedonsiirto-olosuhteisiin reagoinnissaan. Pieniä eroja niiden välillä on kuitenkin havaittavissa. Bluetooth on alusta lähtien suunniteltu toimimaan huonoissakin oloissa. Sen varmistaa nopea taajuushyppely, kuittausmenettelyllä hoidettava tiedonsiirto ja mahdollisuus lähetystehojen dynaamiseen muuttamiseen. Langattomista lähiverkoista HiperLAN/2 tukee erilaisia modulointeja ja koodimuunnoksia eri olosuhteisiin. 802.11-verkot taas käyttävät hajaspektritekniikoita ja hyppelevät, tosin verkkaisemmin kuin Bluetooth, taajuudelta toiselle. Langattomien verkkojen tiedonsiirtokyky laskee etäisyyden kasvaessa. Matkapuhelintekniikat taas perustavat toimintansa signaalin voimakkuuden kuunteluun, parhaan tukiaseman valitsemiseen ja lähetystehojen dynaamiseen muuttamiseen.

Verkkotekniikoiden yhdistäminen hierarkkiseksi rakenteeksi, peittoverkoksi, antaa ainakin teoriassa mahdollisuuden parhaan suorituskyvyn tarjoamiseen joka tilanteessa (ks. alakohta 3.1.3). Peittoverkkorakenne auttaa liikkuvan tietojenkäsittelyn olosuhteisiin sopeuduttaessa. Erilaisiin ympäristön esteisiin voidaan esimerkiksi varautua asennettaessa sisätiloihin langattomia lähiverkkoja. Siksi matkapuhelinverkon käyttäjä voisi omien palveluiden heikentyessä vaihtaa toiminnan toiseen verkkoon. Verkot täydentäisivät toinen toisiaan myös muissa hankalissa paikoissa kuten tunneleissa, hissikuiluissa ja korkeiden rakennusten peittoalueilla. Luotettavuuden näkökulmasta verkkotekniikoiden resursseja vapautuisi päällekkäisen rakentamisen vähentyessä esimerkiksi virheiden käsittelyn ja liikenteenhallintaan parantamiseen ja kokonaisvaltaisempaan lähetinasemasuunnitteluun.

Luotettavuuden lisäksi peittoverkoilla voidaan saavuttaa entistä suurempi yhtäjaksoisuus. Ne tarjoavat varmistetut yhteydet, sillä jonkun verkkotekniikan signaalin heikentyessä tai suorituskyvyn loppuessa voidaan turvautua toiseen tekniikkaan. Päällekkäiset verkkorakenteet tekisivät myös mukautumisen tilapäisiin, merkittäviin muutoksiin mahdolliseksi, sillä kuormaa voisi jakaa eri verkkotekniikoiden kesken.

3.2 Yhteistoiminta

Ideaalisen tiedonsiirtopalvelun toteuttaminen vaatii useiden verkkotekniikoiden yhteistoimintaa, sillä yksikään niistä ei ole yksinään tarpeeksi luotettava, kattava ja suorituskykyinen. Siksi käyttäjä joutuukin siirtymään osittain päällekkäisten verkkojen välillä (ks. kohdat 3.1.3 ja 3.1.6) omien tarpeiden ja verkkoinfrastruktuurin tarjoamien mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi sähköpostit liitetiedostoineen voi lähettää helposti GPRS-verkon yli, mutta videoneuvotteluyhteyksiä varten käyttäjä tarvitsee langattoman lähiverkon tiedonsiirtonopeuksia. Mitä suuremmat yhteistoiminnan edellytykset tarjotaan, sitä paremmin verkko skaalautuu.

Verkkotekniikoiden yhteistoiminta voidaan jakaa *verkon sisäiseen ja ulkoiseen yhteistoimintaan*. Sisäisellä yhteistoiminnalla tarkoitetaan sitä, että käytetään samaa verkkotekniikkaa, mutta laitteet saattavat olla eri valmistajilta. Esimerkiksi langattomassa lähiverkossa voidaan käyttää sekä Nokian että 3COM:in verkkokortteja ja tukiasemia. Ulkoiseen yhteistoimintaan liittyvät taas useat eri verkkotekniikat ja laitevalmistajat. Käyttäjä saattaa kytkeytyä Bluetooth-pikoverkon yhteyspisteen kautta UMTS-verkkoon. Pikoverkossa voi olla käytössä Lucentin ja Motorolan tuotteita, ja UMTS-verkko saattaa sisältää sekä Ericssonin että Nokian valmistamia kokonaisuuksia.

3.2.1 Sisäinen yhteistoiminta

Edellytykset sisäiselle yhteistoiminnalle saavutetaan *verkkotekniikoiden standardoinnilla*. Ellei verkkotekniikan protokollakerroksia, lähetintaajuuksia, tehoja ja lukuisia muita muuttujia ole määritelty tarpeeksi tarkasti, päätyvät eri valmistajat lähes aina toisistaan poikkeaviin teknisiin ratkaisuihin. Standardit pitäisikin olla valmiina ja niillä täytyisi olla valmistajien hyväksyntä ennen kuin ensimmäistäkään laitetta on suunniteltu saati sitten rakennettu. Valitettavan usein näin ei kuitenkaan käy tosielämässä, vaan standardointityö laahaa monesti auttamatta kehitystyön perässä. Hyvänä esimerkkinä tästä olivat ensimmäiset langattomat lähiverkot, jotka toimivat ainoastaan yhden valmistajan laitteilla (jos silloinkaan) – verkon pystyttäminen oli kallista, sitovaa eikä skaalautumisesta ollut tietoakaan. 802.11-standardin

valmistuminenkaan ei asiaa juurikaan auttanut, sillä se oli vain eri valmistajien teknisistä ratkaisuista keinotekoisesti koottu laaja kompromissiratkaisu. Lopputulos olikin, jos mahdollista, vielä lähtötilannetta huonompi. Ei siis ihme, että erinomainen idea langattomista lähiverkoista saavutti varsin penseän vastaanoton muutama vuosi sitten.

Sanotaan, että erehdyksistä opitaan. Langattoman lähiverkon 802.11b-standardia lähdettiin rakentamaan valmistajien tuella, ja standardointityö sujui huomattavasti nopeammin. Lisäksi eri tuotteiden yhteensopivuuden varmistamiseksi on perustettu *WECA-konsortio* (Wireless Ethernet Compatible Alliance) itsenäisine testilaboratorioineen. Testin läpäisseet tuotteet saavat käyttää WECA-logoa, joka takaa laitteen yhteensopivuuden muiden merkkiä kantavien tuotteiden kanssa. Samanlaiseen joskin hieman laajempaan lähestymistapaan ovat päätyneet Bluetooth SIG:n jäsenetkin. Bluetooth-tuotemerkin voivat saada itselleen ainoastaan ne tuotteet, jotka ovat läpäisseet *laadunvalvontaohjelman*. Siinä testataan, että langattoman Bluetooth-laitteen radiolähetin, protokollat, profiilit ja dokumentaatio vastaavat määrittelyjä. HiperLAN/2 Global Forum aikoo myös tulevaisuudessa testata eri laitteiden yhteensopivuuden keskenään. Sitä varten on määritelty erillinen neliosainen määrittely testausten toteuttamiselle (ks. ETSI 1998b; ETSI 1998c; ETSI 1998d; ETSI 1998e). Matkapuhelinverkoissa sisäinen yhteistoiminta on toteutunut alusta asti. Esimerkiksi GSM-verkon kaikki rajapinnat on määritelty riittävän tarkasti, jotta verkot pystyvät sisältämään eri valmistajien verkkoelementtejä ja verkkoja pystytään käyttämään eri valmistajien matkapuhelimilla. Tuskin matkapuhelimista olisi tullut niin suosittuja kuin ne tänä päivänä ovat, jos osassa verkoista voisi käyttää vain Nokian ja Benefonin puhelimia, tai jos matkapuhelimista voisi soittaa vain oman operaattorin matkapuhelinliittymiin. Suosiota on lisännyt entisestään mahdollisuus yhteisliikenteeseen, jonka ansiosta omaa puhelinta on pystynyt käyttämään esimerkiksi muualla Euroopassa. ITU:n IMT-2000 hanke pyrkii myös varmistamaan sen, että sisäinen yhteistoiminta on taattu myös tulevaisuudessa standardiperheen sisällä.

Näyttäisi siltä, että valmistajilla ja erilaisilla riippumattomilla konsortioilla on ainakin aikomuksena taata tuotteiden keskinäinen yhteistoiminta. Kritiikkiä on kuitenkin esitetty esimerkiksi laadunvalvonnan hitaudesta, kalleudesta ja testauslaboratorioiden

riippumattomuudesta. Tuotteen yhteistoiminta pitää toki varmistaa, mutta se ei saa olla kohtuuttoman kallista eikä se saa viivästyttää tuotteen markkinoille tuloa kohtuuttomasti. Suvaittavana ei voida myöskään pitää sitä, että valmistajilla itsellään voi olla virallisia testauslaboratorioita. Yhteistoiminnan testaamista merkittävämpänä ongelmana voidaan pitää verkkotekniikoiden käyttämien taajuusalueiden epäyhtenäisyyttä. Jotta verkkotekniikkaa voitaisiin vaivattomasti käyttää maailmanlaajuisesti, olisi käytettävien taajuusalueiden oltava samoja. Ongelmia voidaan pitää pitkälti poliittisina. Monet maat, näiden joukossa esimerkiksi Ranska, Japani ja Yhdysvallat, ovat toistuvasti vaikeuttaneet eri teknologioiden tarvitsemien taajuusalueiden käyttöönottoa milloin sotilaallisiin, milloin kaupallisiin, eli omien teknologioiden suojeluun liittyviin syihin vedoten. Jotta näiltä ongelmilta vältyttäisiin tulevaisuudessa, tulisi eri liittoumien ja valmistajien koota voimansa yhteen ja tätä kautta pyrkiä vaikuttamaan päätöksentekijöihin.

3.2.2 Ulkoinen yhteistoiminta

Nykyiset verkot on suunniteltu ja optimoitu hyvin erilaisiin tarkoituksiin. Eri tarkoitukseen soveltuvia verkkotekniikoita pitäisi yhdistää niin, että käyttäjä pystyisi koko ajan käyttämään tarkoitukseen sopivinta verkkoa. Tämä asettaa suuret vaatimukset langattomille tietojenkäsittelylaitteille ja toimintaa tukeville sovellusarkkitehtuureille. Tietojenkäsittelylaitteiden täytyy esimerkiksi tukea useita lähetystaajuuksia ja signalointeja. Sovellusarkkitehtuurin taas pitää selviytyä erilaisista yhteyskäytänteistä ja protokollakonversioista. Saumattoman ulkoisen yhteistoiminnan saavuttaminen on vielä vuosien päässä. Järjestelmiä suunnitellaan kuitenkin paraikaa, joten tieteellisten ja kaupallisten tahojen olisi korkea aika ottaa yhteistoimintakysymykset huomioon. Käymmekin seuraavaksi läpi eri verkkotekniikoiden mahdollisuuksia yhteistoiminnan toteuttamiseksi.

Ainoa tällä hetkellä näköpiirissä oleva tapa yhdistää eri verkkotekniikat keskenään on käyttää siihen IP-protokollaa. Se on levinnyt laajalle niin kiinteissä kuin langattomissakin verkoissa, toimistoissa kuin kotiverkoissakin. Lisäksi sitä tukee suuri

määrä sovelluksia, se on riippumaton alla käytettävästä verkkotekniikasta, ja se tarjoaa kehittäjille hyvät ohjelmointirajapinnat. IPv6 tuo mukanaan vielä suuremman osoiteavaruuden, liikenteen priorisoinnin ja salaamisen, ja tämä vahvistaa entisestään protokollan asemaa (UMTS Forum 2000b, 60-63). Päämääränä on toteuttaa kaikki matkapuhelinverkon runkoyhteydet IP-protokollan avulla. Tämän *All-IP–ratkaisun* arvellaan tuovan, paitsi universaalin liityntärajapinnan, myös synergiaetuja yleisen IP-kehitystyön kanssa, parantavan palveluiden hallintaa ja alentavan tiedonsiirtokustannuksia. Sen katsotaan myös soveltuvan kaikenlaisen datan siirtoon, oli se sitten ääntä, dataa tai reaaliaikaista multimediadataa (3GPP 1999, 8). Kehitystyön nopeus on riippuvainen useista eri tahoista. 3GPP on vastuussa All-IP–arkkitehtuurin vaatimuksista ja teknisestä määrittelystä, mutta erittäin merkittävää on myös IETF IPv6-protokollan määrittelyn eteneminen. Muutokset IP-protokollassa saattavat heijastua tehtäviin arkkitehtuuriratkaisuihin, jotka taas vaikuttavat IMT-2000 standardiperheen määritykset toteuttaviin verkkoihin kuten UMTS:ään (UMTS Forum 2000b, 58-59). Koska tulevissa verkoissa kaikki laitteet vaativat yksilöivän IP-osoitteen, loppuisi vanhan IPv4-protokollan osoiteavaruus hyvin äkkiä kesken ja tuki käyttäjän liikkuvuudellekin olisi hankalampaa toteuttaa. Tuen toteuttaminen on riittävän ongelmallista jo IPv6-protokollan kanssa, sillä langattomien tietojenkäsittelylaitteiden pitää tukea suoraan Mobile-IP-määrittelyä. Todennäköisesti tuki on julkaisuhetkellä vain osassa laitteista, joten yhteensopivuus vanhempiin laitteisiin täytyy taata (UMTS Forum 2000a, 47-48).

Bluetooth-arkkitehtuuri tukee TCP/IP-protokollia, mutta ainoastaan PPP-yhteyden ja sarjaporttiemulaation kautta (Bluetooth 1999a, 251). Avoimet kysymykset liittyvät IP-osoitteiden jakoon, osoitteiden kyselyyn, lähetysviesteihin, reititykseen ja yhteyksien tilapäisyyteen (O'Keeffe 2000). Langattomista lähiverkoista HiperLAN/2 standardoinnissa on ajateltu ulkoista yhteistoiminta kaikkein pisimmälle. HiperLAN/2 arkkitehtuuriin liittyy erityinen konversiokerros, joka tukee sekä pakettimuotoista että kytkentäistä liikennettä. Tälle konversiokerrokselle voidaan lisätä pienin muutoksin eri komponentteja hoitamaan erilaisten verkkotekniikoiden vaatimat muunnokset. HiperLAN/2:n luvataan tukevan ainakin Ethernet-, IP- ja UMTS-liikennettä, näistä tosin alkuvaiheessa vain Ethernetiä (H2GF 1999, 12-13). 802.11-standardiperheen

teknologiat tukevat tällä hetkellä vain Ethernet-liikennettä eikä laajennussuunnitelmista ole ollut puhetta. Kuten äsken mainittiin, matkapuhelinverkot siirtyvät vaiheittain IP-pohjaiseen liikennöintiin sekä äänen että datan osalta. Tulevissa verkoissa tuki GSM-verkkoihin säilyy kuitenkin pitkään, sillä verkkopäivitykset saattavat kestää monia vuosia – ja kuten luvussa 2 mainittiin, monille seuduille niitä ei välttämättä rakenneta kasvaneiden kustannusten takia koskaan. Merkittävä asia on myös se, miten HSCSD:n ja ECSD:n kaltaiset tekniikat saadaan toimimaan yhteen tulevien verkkojen kanssa? Toisin kuin GPRS, EGPRS ja UMTS, ne perustuvat täysin kytkentäiseen tiedonsiirtoon.

Eräs merkittävä este ulkoiselle yhteistoiminnalle on eri verkkotekniikoiden signaalien keskinäinen interferenssi. Erityisen kuormitettu tuntuu tällä hetkellä olevan 2.4GHz:n ISM-alue, jolla Bluetooth-laitteiden sekä kummankin langattoman lähiverkkotekniikan pitäisi pystyä toimimaan. Vapaalla taajuusalueella toimii myös monia muita yleisiä laitteita kuten mikroaaltouuni ja erilaiset kauko-ohjaimet. Vaikka laitteet muuten pystyisivät toimimaan hyvin keskenään, saattaa saman taajuusalueen käyttö hankaloittaa tai pahimmassa tapauksessa estää yhteistoiminnan (Zyren 1999). Onneksi ruuhkaisen taajuusalueen laitteista langattomat lähiverkot siirtyvät tulevan kehityksen myötä eri taajuusalueille (ks. kohta 2.2). Toisaalta vielä on selvittämättä, haittaavatko langattomat lähiverkot toisiaan uudellakin taajuusalueella. Myös matkapuhelinverkot kärsivät keskinäisestä yhteensopimattomuudesta. Esimerkiksi Eurooppalainen GSM-verkon käyttäjä on saattanut törmätä aikaisemmin ongelmiin Japanissa tai Yhdysvalloissa, joissa käytettävät PDC- ja IS-54/IS-136–verkot ovat GSM-verkon kanssa epäyhteensopivia (Zorzi 1998, 9-14). Ainoana ratkaisuvaihtoehtona on ollut hankkia matkapuhelimia, jotka pystyvät toimimaan eri taajuusalueilla ja eri toimintamuodoissa. Tulevaisuudessa näiltä ongelmilta saatetaan välttyä, jos TDMA-verkkojen konvergenssi etenee odotetusti ja käyttöön saadaan yhteensopivat toteutukset GPRS- ja/tai EDGE-verkoista.

Ulkoinen yhteistoiminta vaatii siis yhteisiä rajapintoja eri verkkotekniikoiden välille. Yksi tällainen rajapinta voisi olla Bluetooth-teknologia, jonka avulla ihmisten mukanaan kantamat teknologiat voitaisiin valjastaa yhteiseen käyttöön. Oletetaan, että henkilöllä on käytössään GPRS-puhelin sekä WLAN-kortilla varustettu kannettava

tietokone, joista kumpikin on varustettu Bluetooth-sirulla. Laitteet ovat muodostaneet keskenään pikoverkon. Henkilöllä on siis käytössään yksi laitekokonaisuus, joka voi toimia eri taajuusalueilla ja toimintomoodeissa. Esimerkiksi ulkotiloissa liikuttaessa kannettava tietokone käyttää GPRS-yhteyttä, sisätiloissa taas otetaan käyttöön langaton lähiverkkoyhteys, ja kahden tai useamman henkilön tavatessa voidaan käyttää Bluetoothin tilapäisverkkoja.

Ulkoisen yhteistoiminnan toteuttaminen ei kuitenkaan ole aivan näin yksioikoista. Kuten edellä mainitsimme, Bluetoothin ja langattoman 802.11-verkon välillä häiritsevät samanlaiset taajuusalueet. Käytännössä joudutaan siis odottamaan esimerkiksi HiperLAN/2-verkon tuloa, joka toimii eri taajuuksilla ja tulee tukemaan IP-liikennöintiä. Toisaalta ongelmana voidaan nähdä myös linkittävä Bluetooth-teknologia. Koska hitain yhteysväli asettaa siirtonopeuden ylärajan, muodostuu Bluetoothista rajoittava tekijä ainakin langattomassa lähiverkkoliikenteessä (721 kbit/s vs. >5 Mbit/s). Toki myös Bluetooth kehittyy ajan kuluessa, ja toisaalta käytön mielekkyys on pitkälti kiinni käytettävästä sovelluksesta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että todellisen globaalin liikkuvuuden saavuttamiseksi laitteiden pitää olla sekä sisäisesti että ulkoisesti yhteistoimivia. Sisäinen yhteistoiminta on otettu melko hyvin huomioon eri verkkotekniikoiden standardointityössä. Kolmannen sukupolven verkkojen suunnittelutyön myötä standardointielimet ja erilaiset konsortiot ovat laajentaneet toimintaansa myös muita verkkotekniikoita koskeviksi. Silti saumaton ulkoinen yhteistoiminta on vielä useiden vuosien päässä, eikä tuleva kolmas sukupolvi ratkaise näistä ongelmista kuin muutamia. Näihin asioihin pitää kuitenkin kiinnittää huomiota jo tässä vaiheessa, sillä jos käyttäjille aiotaan tarjota raskaita multimediapalveluita, se vaatii eri järjestelmien välistä yhteistoimintaa. Matkapuhelinverkkojen keskinäinen yhteistoiminta ei riitä, vaan henkilökohtaiset- ja lähiverkkoratkaisut täytyy myös saada integroitua mukaan. Tämä vaatii suurempaa avoimuutta standardointiin, laajempialaista yhteistyötä ja halua määritellä yhteisiä rajapintoja tekniikoiden välille.

3.3 Mukautuminen

Liikkuvalle tietojenkäsittelylle on tunnusomaista käyttäjän liikkuvuus ja sen arvaamaton luonne. On hyvin todennäköistä, että langattomien verkkojen kuormitus muuttuu tilanteen ja paikan mukaan. Muutos saattaa olla tilapäinen, tiettyyn ajanhetkeen sidottu ja kestoltaan lyhytaikainen. Esimerkiksi Suomessa koulutustilaisuuksien ja seminaarien väliajat saatetaan käyttää työasioiden hoitamiseen, jolloin langattomien verkkojen kuorma kasvaa hetkellisesti. Verkkojen kuorma saattaa myös muuttua käyttäjien liikkuessa verkosta toiseen, esimerkiksi ralliyleisön siirtyessä EK:lta toiselle. Verkkojen suorituskyky vaihtelee siis dynaamisesti, ja tähän muutokseen sopeutumiseen tarvitaan *mukautumista* (adaptation) (Bharghavan & Gupta 1997; Katz 1995; Kunz & Black 1999; Noble ym. 1997). Vaikka liikkuvassa tietojenkäsittelyssä ehkä suurin pullonkaula onkin langaton tiedonsiirtoverkko, mukautumista voidaan suorittaa myös muiden rajattujen resurssien kuten virrankulutuksen, muistin ja käytetyn salauksen vahvuuden suhteen (ks. kohta 3.5). Käsittelemme tässä kohdassa sitä, miksi mukautuminen on tärkeää liikkuvassa tietojenkäsittelyssä, miten muutos havaitaan, kenen vastuulla muutokseen reagoiminen on, miten muutokset luokitellaan ja miten niihin reagoidaan.

Kuten kohdassa 3.1.3 mainittiin, verkon tarjolla oleva kapasiteetti vaihtelee huomattavasti riippuen siitä, missä ja millä nopeudella liikutaan. Neuvoteltuja yhteyden laatuparametreja ei välttämättä pystytä pitämään yllä, toisaalta joskus laatutasoa pystyisi myös nostamaan korkeammaksi. Muutokseen voidaan suhtautua Formanin ja Zahorjanin (1994) mukaan kolmella eri tavalla: Käytetään yhteyttä vain silloin kun sovellukselle pystytään tarjoamaan maksimaalinen suorituskyky, tyydytään jo neuvotteluvaiheessa alempaan laatutasoon eikä muuteta sitä, tai pyritään neuvottelemaan laatuparametrit aina uudestaan olosuhteiden muuttuessa. Ensimmäinen vaihtoehto voidaan hylätä siksi, että liikkuvan tietojenkäsittelyn pitäisi olla mahdollista aina ajasta ja paikasta välittämättä. Toinen vaihtoehto ollaan nähty järkevänä siksi, että sen avulla vältytään jatkuvilta laatuparametrien uudelleenneuvotteluilta (Lu, Lee & Bharghavan 1997, 3). Valitettavasti tällöin osa palveluista tai toiminnallisuudesta saattaa jäädä turhaan kokematta (Kunz & Black 1999, 5; Chalmers & Sloman 1999, 6). Ainoa todella varteenotettava vaihtoehto on siis säädelty muutokseen reagoiminen,

jonka tuloksena käyttäjälle pyritään tarjoamaan hyväksyttävä laatutaso joka kontekstissa (Bochmann & Hafid 1997, 23).

Muutokseen reagoimiseksi se pitää aluksi havaita. Tätä varten suurimmassa osassa arkkitehtuureista on keskeisessä roolissa *resurssien monitoroija* (Bharghavan & Gupta 1997, 5; Kunz & Black 1999, 6-7; Noble ym. 1997, 1-3). Sen tehtävänä on havainnoida ympäristön muutoksia ja ilmoittaa raja-arvoja suuremmista laatuparametrien vaihteluista kiinnostuneelle osapuolelle, joka on valitun lähestymistavan mukaan joko käyttöjärjestelmä tai tietty sovellus. Tutkijat (Noble ym. 1997, 2-3) ovat pitäneet hyvänä myös hybridiratkaisua. Siinä monitorointivastuu on käyttöjärjestelmällä, ja sovelluksen tehtäväksi jää *mukautumiskäytännön* (adaptation policy) valinta, jonka seurauksena sovelluksen toiminta muutetaan paremmin yhteysresursseja vastaavaksi. Tutkijoiden mukaan (mts., 10) yhteydelle ei edes kannata varata tiettyä laatutasoa, sillä se johtaisi liian usein laatuparametrien uudelleenneuvotteluihin. Tällöin sovelluksella itsellään on suurempi vastuu muutoksiin sopeutumisessa. Näin pitkälle viety päättelykyky tekisi kuitenkin sovelluksista mielestämme liian monimutkaisia toteuttaa. Tärkeämpää on kuitenkin se, kuinka nopeasti ja tarkasti sovellukset reagoivat muutoksiin. Stabiileissa ympäristöissä kuten tavallisessa toimistoympäristössä riittää hitaampi reagointi, kun taas turbulentit ympäristöt kuten paljon radiohäiriöitä sisältävät teollisuushallit vaativat huomattavasti ketterämpää reagointia. Sovellusten reagointiherkkyys saattaa myös vaihdella eri resurssien välillä - joskus lähetystehon muutoksiin saattaa olla tärkeää reagoida aggressiivisemmin kuin tiedonsiirtokapasiteetin muutoksiin (mts., 2). Muutokseen reagoimisen helpottamiseksi verkkokerroksellakin voisi olla monitorointivastuuta, jolloin se ilmoittaisi ylemmille kerroksille tulevasta muutoksesta.

Liikkuvuuden aiheuttamat muutokset voidaan jaotella Chalmersin ja Slomanin (1999) mukaan kolmeen kategoriaan. *Laajat muutokset* (large-grained) johtuvat usein käytetyn verkkoyhteyden muutoksesta tai langattoman tietojenkäsittelylaitteen vaihdosta. Tällaisia muutoksia tapahtuu vain harvemmin, ja niihin voidaan reagoida yhteydenmuodostuksen tai sovelluksen alustuksen yhteydessä. *Peitettävät muutokset* ovat tyypillisiä liikkuvan tietojenkäsittelyn aiheuttamia vaihteluita, jotka ovat laajuudeltaan ja kestoltaan väliaikaisia. Niihin voidaan reagoida erilaisilla puskurointi-

ja suodatusmenetelmillä siten, että yhteys pystytään säilyttämään. Sovellus pystyy mukautumaan resurssivaatimuksiin useilla eri tavoilla. Siirrettävän videokuvan sulavuutta (frame rate), resoluutiota ja käytettyä värimäärää voidaan muuttaa. Ääntä siirrettäessä voidaan taas muokata näytteenottotaajuutta tai tehdä valinta mono- ja stereoäänen välillä (Fry ym. 1997, 46-47). Tarvittaessa myös siirretyn datan formaattia (esimerkiksi BMP vs. JPG) tai esitystapaa voidaan muuttaa (pikseligrafiikka vs. vektorigrafiikka). Puskuroinnin avulla voidaan taas tasata esimerkiksi videodatan lähetyshäiriöt ja yhteyden tilapäiset katkokset. Akun säästämiseksi ja prosessoinnin vähentämiseksi tulisi käyttää heikompia pakkaus- tai salausalgoritmeja, jos se muuten sopii sovelluksen luonteeseen. *Merkittävät muutokset* (fine-grained) ovat usein ohimeneviä mutta tarpeeksi suuria kestoltaan ja variaatioiltaan, että niitä ei pystytä peittämään tavallisin menetelmin. Näihin voidaan lukea merkittävät ympäristöstä, kuormituksesta tai laitteista johtuvat muutokset. Tällöin joudutaan todennäköisesti neuvottelemaan toimenpiteistä sovelluksen tai käyttäjän kanssa, sillä jostain ominaisuuksista joudutaan tinkimään. Yksi mahdollisuus olisi käyttää Singhin (1996) esittämää *hävikkiprofiilia* (loss profile). Yhteyttä muodostettaessa käyttöönotettava profiili määrittelisi sen, mitä paketteja ruuhkatilanteissa saa tiputtaa pois. Eri datatyypeille ja jopa sovelluksille voitaisiin määritellä räätälöidysti oma käyttäytymisensä. Toinen mahdollisuus on taata yhteydelle riittävä peruslaatutaso, johon voitaisiin tilanteen niin salliessa tarjota takeettomia (best-effort) laajennuksia. IETF on ehdottanut tätä *kontrolloidun kuorman palvelua* (controlled load service) laadun takaamiseksi Internetin liikenteessä (Wroclawski 1997). Palvelua on kuitenkin rakennettu ensisijaisesti kiinteille yhteyksille, ja se olettaakin tiedonsiirron olevan normaalisti lähes virheetöntä (mts., 2-5). Muita ongelmia on datan katoamiseen liittyvissä tulkinnoissa ja toimenpiteissä, jonka takia katsommekin palvelun olevan riittämätön liikkuvan tietojenkäsittelyn tarpeisiin.

Mukautuvuutta tarvitaan, jotta voidaan sopeutua liikkuvuuden myötä dynaamisesti vaihtuvaan ympäristöön. Määrittelemällä vastuut, eri mukautumisluokat, toimenpiteet ja reagointiherkkyys, voidaan useisiin muutoksiin reagoida toivotulla tavalla. Kaikkia muutoksia ei voida kuitenkaan peittää sovelluksilta ja käyttäjiltä, joten mukautuminen ei koskaan voi olla täysin automaattista.

3.4 Tietosuoja ja tietoturva

Tietosuoja ja tietoturva ovat toisiinsa liittyviä käsitteitä, jotka eivät kuitenkaan ole toistensa synonyymeja tai osajoukkoja. Tietosuojalainsäädännön määrittelemässä merkityksessä *tietosuoja* tarkoittaa sitä, että henkilötiedot on suojattava asiattomalta käsittelyltä, tiedot on pidettävä salassa asiattomilta ja ulkopuolisilta, ja niiden oikeellisuus on varmistettava. Liikkuvassa tietojenkäsittelyssä henkilön sijainti voidaan katsoa kuuluvaksi em. henkilötietoihin. *Tietoturvalla* puolestaan tarkoitetaan tietojen, tietojärjestelmien ja tietoliikenteen luottamuksellisuuden, eheyden ja käytettävyyden säilyttämistä. Liikkuva tietojenkäsittely ja langattomat verkot tuovat mukanaan monia tietoturvaan ja tietosuojaan liittyviä ongelmia, joita ei ole tarvinnut ottaa huomioon langallisissa verkoissa.

Tietoturvan kannalta langattomat, liikkuvuutta tukevat verkot ovat monilta osin haavoittuvampia kuin langalliset verkot. Molva, Samfat ja Tsudik (1994) esittävät liikkuvuuden tuomien uusien tietoturvaongelmien johtuvan pääosin siitä, että langattomista verkoista puuttuvat fyysiset suojamekanismit. Langallisten verkkojen tietoturva luottaa aina jossain määrin fyysiseen suojaan: liikenne kulkee kaapeleissa ja laitteet ovat yleensä aina rakennusten sisällä ja lukkojen takana. Toisaalta myös kiinteissä verkoissa on varsin helppo kuunnella liikennettä, jos sitä ei erikseen salata. Langattomissa verkoissa liikenne välitetään radiotiellä ja käyttäjien liikkuminen kannettavien laitteiden kanssa kasvattaa myös sitä riskiä, että laite varastetaan, ja sen avulla luvattomat käyttäjät saavat haltuunsa salaista tietoa (Gupta & Montenegro 1998; Satyanarayanan 1996). On myös mahdollista, että liikenteen kulkiessa monien eri linkkien kautta, joku näistä linkeistä saattaa olla tietoturvaltaan kyseenalainen käyttäjän sitä tietämättä (Gupta & Montenegro 1998). Bharghavanin (1994) mukaan käytettävä laitteisto aiheuttaa haavoittuvuutta, koska laitteiden rajallisten resurssien vuoksi kovin vahvoja salauksia ei voida käyttää. Lisäksi radiokanavaa on helppo salakuunnella ja häiritä. Radiokanava voidaan tukkia kokonaan lähettämällä taajuudelle riittävän voimakkaalla teholla häiritsevää signaalia. Tällaista häirintää on mahdotonta estää.

Käyttäjien liikkuminen aiheuttaa monia huolenaiheita tietosuojan kannalta. Suurimmat uudet ongelmat ovat käyttäjien liikkumisen ja sijainnin luvaton seuraaminen (Herzberg, Krawczyk & Tsudik 1994; Asokan 1994; Samfat & Molva 1994) sekä käyttäjän identiteetin paljastuminen autentikoinnin yhteydessä (Bharghavan 1994; Samfat, Molva & Asokan 1995). Langattomien, liikkuvan tietojenkäsittelyn järjestelmien yksityisyydelle on esitetty erilaisia vaatimuksia ja luokitteluita. Katzin (1996) mukaan langattomien verkkojen yksityisyyden tulee kattaa puhe, data, käyttäjän sijainti, käyttäjän tunnistaminen, yhteyden muodostamisessa välitettävät tiedot ja käyttäjän toiminta. Järjestelmän on kuitenkin tarjottava mahdollisuus siihen, että viranomaiset voivat tarvittaessa kuunnella ja jäljittää käyttäjiä. Cooper ja Birman (1995) ovat käsitelleet yksityisyyden säilyttämisen ongelmaa liikkuvan tietojenkäsittelyn ympäristössä. He luokittelevat yksityisyyden kolmeen osaan: sisältö, osallistujat ja sijainti. Bharghavanin (1994) mukaan tärkeimmät tekijät turvallisen liikkuvan kommunikaation takaamiseksi ovat turvallinen autentikointi sekä datan ja sijainnin yksityisyys. Siirrettävän datan täytyy olla suojattu salakuuntelulta, toistamiselta ja väärentämiseltä. Käyttäjän sijainnin yksityisyys on liikkuvuuden aiheuttama erityisvaatimus, joka on kriittinen tekijä monissa ympäristöissä. Erityisesti sotilaallisissa sovelluksissa on erittäin tärkeää, että langattoman laitteen käyttäjän sijaintia tai liikkumista ei pystytä luvattomasti selvittämään. Autentikointi on liikkuvassa tietojenkäsittelyssä ongelmallisempaa siksi, että käyttäjät voivat liikkua eri auktoriteettien hallinnoimien verkkojen välillä. Siirryttäessä verkosta toiseen käyttäjä on autentikoitava ja aina ei ole suotavaa, että tässä yhteydessä vieraalle auktoriteetille paljastetaan käyttäjän tietoja. Molva ym. (1994) ovat esittäneet kriteereitä, jotka on otettava huomioon suunniteltaessa liikkuvien käyttäjien autentikointia:

- Eri auktoriteettien hallinnoimat verkkoalueet on erotettava toisistaan siten, että mitään salaisia tietoja, kuten käyttäjän salaisia avaimia tai salasanoja ei tulisi siirtää verkkoalueiden välillä.
- Autentikointiprosessin on oltava käyttäjälle läpinäkyvää ja vieraalla verkkoalueellakaan se ei saa aiheuttaa käyttäjälle näkyviä poikkeamia järjestelmän toiminnassa.

- Autentikoinnissa ei saa paljastua sellaisia tekijöitä käyttäjän identiteetistä, joiden avulla olisi mahdollista selvittää käyttäjän sijainti tai hänen liikkumisensa.
- Autentikointiin liittyvän viestinnän määrä verkkoalueiden välillä on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä, koska alueiden väliset etäisyydet voivat olla hyvinkin pitkiä.

GSM on ensimmäinen digitaalinen soluihin perustuva verkko, joka tarjoaa käyttäjilleen anonymiteetin (Samfat & Molva 1994). GSM:n tietosuoja on kuitenkin joiltain osin varsin vajavaista. GSM käyttää tunnistamisen ja jäljittämisen estämiseksi vaihtuvaa TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identifier) –koodia. Järjestelmän ongelma on siinä, että kun käyttäjä kytkee laitteensa päälle, hänen henkilökohtainen IMSI (International Mobile Subscriber Identifier) –koodi välittyy selväkielisenä radiotiellä. Käyttäjälle luodaan TMSI –koodi vasta tämän jälkeen. GSM:n autentikointi perustuu menetelmään, jossa laitteen ja verkon ei tarvitse jakaa salaisia avaimia keskenään. Verkkoon rekisteröidyttäessä käytettävät kuittaukset lasketaan tiettyjen algoritmien avulla, jotka ovat sekä käyttäjän kotiverkon että laitteen tiedossa. Jos käyttäjä liikkuu vieraan verkon alueelle, tämän verkon ei tarvitse tietää kotiverkon ja laitteen käyttämiä algoritmeja, mutta kotiverkon autentikointikeskusta joudutaan käyttämään laskettaessa rekisteröitymisen kuittauksia (Katz 1996). Molva ym. (1994) ovat eniten huolestuneita siitä, että GSM:n lähestymistapa luottaa koti- ja vieraiden verkkoalueiden välisen liikenteen turvallisuuteen. Verkkojen langallisissa osissahan tiedot liikkuvat salaamattomina. He kritisoivat myös äsken kuvattua GSM-verkon tapaa käyttäjän autentikoinnista vieraalla verkkoalueella. Ratkaisu on tehoton, koska laskenta kuormittaa aina kotiverkkoa ja tietojen välittäminen kuluttaa kapasiteettia. Lisäksi algoritmien piilottaminen ei heidän mielestään ole avointen järjestelmien filosofian mukaista. He toteavat kuitenkin GSM:n tietoturvan ja tietosuojan olevan todennäköisesti riittävä nykyisessä ympäristössä, mutta vastaavanlainen turvataso ei ole enää riittävä tulevissa maailmanlaajuisissa ja hallinnollisesti heterogeenisissä verkoissa. Yleisesti siis nykyisissä langattomissa digitaalisissa verkoissa saavutettava tietoturvan ja tietosuojan taso on ehkä riittävä omassa kontekstissaan, mutta tulevaisuudessa tarvitaan turvallisempia ja tehokkaampia menetelmiä käyttäjän yksityisyyden takaamiseksi. Seuraavaksi käsitellään joitain esitettyjä ratkaisuita sekä näihin liittyviä ongelmia liikkuvan tietojenkäsittelyn ympäristössä.

Ratkaisuna käyttäjän identiteetin ja liikkumisen paljastumisen estämiseksi on esitetty peitenimien eli aliasten käyttämistä (Herzberg ym. 1994; Samfat ym. 1995). Käyttäjän siirtyessä vieraalle verkkoalueelle hänelle luodaan alias, jota käytetään koti- ja vieraan verkkoalueen välisessä kommunikoinnissa. Tarjotakseen käyttäjälle palveluita vieraalla verkkoalueella, järjestelmän ei välttämättä tarvitse tietää käyttäjän todellista identiteettiä. Herzberg ym. (1994) kuitenkin toteavat, että aliaksen käyttäminen ei vielä yksin riitä estämään käyttäjän jäljittämistä, sillä verkkoa kuuntelemalla voidaan seurata tietyn aliaksen omaavaa käyttäjää. Tämän ongelman ratkaisemiseksi olisi suotavaa käyttää toistuvasti vaihtuvia aliaksia. Heidän mukaansa aliasten käytössäkin on kuitenkin rajoitteita, joita on vaikea kiertää. Esimerkiksi palveluiden laskutuksen vuoksi vieraan verkkoalueen on saatava tietoja käyttäjän kotiverkkoalueesta. Lisäksi jos käyttäjä siirtyy verkkoalueelta toiselle yhteyden ollessa aktiivisena, yhteyden tila on siirrettävä verkkoalueiden välillä ja tällöin kyseisten verkkojen järjestelmät saavat joka tapauksessa ainakin jotain tietoa käyttäjän liikkumisesta. Samfat ym. (1995) puolestaan esittävät joitain rajoitteita ja ristiriitoja yksityisyyden ja muiden järjestelmävaatimusten välillä:

- Korkea tietosuoja saattaa monimutkaistaa käyttöliittymiä ja siten heikentää käytettävyyttä.
- Tietoja käyttäjän maksukyvystä on joissain tilanteissa välitettävä verkkoalueelta toiselle.
- Laskutustietojen välittäminen vaatii aina jonkinasteista identifioimista.
- Tulevien puheluiden reitittämiseksi järjestelmässä on oltava tietoja käyttäjän sijainnista. Ratkaisuna olisi anonyymi reititys, mutta tällaista käytännöllistä ratkaisua ei ole olemassa.
- Järjestelmän on kyettävä havaitsemaan mahdolliset luvattomat tunkeilijat, jolloin käyttäjien käyttäytymistä on pakko valvoa jollain tasolla.

Järjestelmää suunniteltaessa ristiriitaisten vaatimusten välille on löydettävä sopivat kompromissit. Olemassa olevilla tekniikoilla olisi mahdollista saada aikaan täydellinen anonymiteetti ja jäljittämättömyys. Menetelmien ongelma on kuitenkin se, että ne vaativat paljon esimerkiksi laskenta- ja talletusresursseja sekä kaistanleveyttä, joita

langattomissa laitteissa ja verkoissa ei ole tarjolla (Samfat ym. 1995). Myös viranomaisten tarpeet vaativat, että jäljittämistä ei kokonaan estetä.

Asokan (1994) on esitellyt eri salausmenetelmien soveltuvuuksia anonymiteetin turvaamiseen. Hän jaottelee anonymiteetin sijainnin anonymiteettiin sekä datan lähettäjän ja vastaanottajan anonymiteettiin. Hänen mukaansa anonymiteetin toteuttaminen on myös filosofinen tekijä; jokaisella on oltava halutessaan mahdollisuus valita anonymiteetti, vaikka ympäristö muuten suosisikin avoimuutta. Tyypillisesti järjestelmien salausmenetelmät perustuvat jaettuun salaiseen avaimeen, julkiseen avaimeen tai näiden menetelmien jonkinlaiseen yhdistelmään. Asokanin (1994) mukaan jaettujen salaisten avaimien menetelmän suurin ongelma on se, että sijainnin anonymiteettia on vaikea toteuttaa, koska asiakkaan on aluksi ilmoitettava identiteettinsä palvelimelle selväkielisenä. Julkiseen avaimeen perustuva ratkaisu olisi puolestaan ihanteellinen tarjoamaan molemmat anonymiteetin lajit, mutta niiden käyttöä ei ole yleisesti suositeltu, koska ne kuluttavat paljon resursseja. Asokan (1994) esittääkin parhaana ratkaisuna menetelmiä yhdistävän protokollan, joka tarjoaisi riittävän anonymiteetin olematta kuitenkaan liian monimutkainen langattomaan käyttöympäristöön.

Olemme todenneet langattomuuden ja liikkuvuuden luovan uusia haasteita tietoturvalle. Edellä esitetyistä seikoista voimme huomata, että käyttäjän liikkuminen vaikuttaa pääosin tietosuojan toteuttamiseen ja verkkojen langattomuus puolestaan tietoturvaan. Tietosuojan ja tietoturvan ongelmat on havaittu ja niihin on esitetty myös käyttökelpoisia ratkaisuja. Uusia ongelmia tullaan kuitenkin kohtaamaan tulevaisuudessa, kun halutaan mahdollistaa myös liikkuminen eri verkkotekniikoita käyttävien verkkojen välillä. Aiheellista olisi tutkia miten esimerkiksi turvallisia autentikointi- ja salausmenetelmiä voidaan siirtää erityyppisten verkkojen välillä. Tietoturvan ja tietosuojan takaaminen globaalin liikkuvuuden sallivassa järjestelmässä vaatii myös maailmanlaajuista yhteistyötä poliittisten päätösten tekijöiltä erityisesti lainsäädännön osalta. On selvää, että täydellistä tietoturvaa on mahdotonta saavuttaa. Toisaalta se ei välttämättä myöskään ole absoluuttinen vaatimus, vaan riittää että

saavutetaan *käytännöllinen tietoturvan taso*, eli käytettävissä on aina niin vahva tietoturva kuin kussakin käyttöympäristössä ja -tilanteessa on tarpeen.

Bluetooth-verkon tietoturvaratkaisuna käytetään autentikointia ja salausta. Sinällään Bluetooth ei takaa vahvaa tietoturvaa alemmilla kerroksilla, mutta vahvempi tietoturva voidaan toteuttaa sovellustasolla. Bluetoothin kantama on kuitenkin niin lyhyt, että verkon salakuunteleminen kenenkään huomaamatta on melko vaikeaa. On tietysti mahdollista, että salakuuntelija piilottaisi liikennettä kuuntelevan laitteen alueelle, jossa hän tietäisi siirrettävän häntä kiinnostavaa tietoa. Tällöinkin salakuuntelijan pitäisi vielä selvitä autentikoinnista ja pystyä purkamaan salattu liikenne. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että salakuuntelijan on saatava haltuunsa kuunneltavassa yhteydessä käytetyt salausavaimet. Todennäköisesti Bluetoothin tietoturva on riittävä lähes kaikissa käyttötapuksissa.

Langattomien lähiverkkojen kehitystyössä painopiste on ollut muualla kuin tietoturvan kehittämisessä. Kehitystyön alussa tietoturvakysymyksiä ei edes ollut mukana standardoinnissa. Sittemmin tietoturva on tullut mukaan lähinnä liikenteen salaamisen muodossa. Langattomien lähiverkkojen standardit määrittelevät lähinnä 40 bittiseen jaettuun avaimeen perustuvan salaustekniikan, joka ei enää nykyään takaa kovinkaan vahvaa tietoturvaa. Laitteiden prosessointitehojen kasvaessa lisääntyy myös tarve siirtyä käyttämään pidempiä salausavaimia. Standardeista HiperLAN/2 on tietoturvaominaisuuksiltaan muita huomattavasti kehittyneempi tarjoten laajemman salausalgoritmien tuen sekä kehittyneet autentikointimenetelmät (ks. TAULUKKO 2). Langattomien lähiverkkojen salakuuntelua vaikeuttaa se, että ne käyttävät hajaspektritekniikoita - signaali hajotetaan koko kaistanleveydelle tai se hyppii jatkuvasti taajuudelta toiselle. Salakuuntelijan on tällöin tiedettävä signaalin hajotusavain tai taajuushyppelyssä käytetty hyppelyjakso. Langattomista lähiverkoista kuitenkin ainoastaan HIPERLAN/2 tarjoaa kohtuullisen tietoturvatason.

Edistyneemmät GSM-tekniikat HSCSD, GPRS ja EDGE perustuvat tietoturvaltaankin GSM-tekniikkaan. GSM:n tietoturva on todettu nykyisessä käytössä riittäväksi, jos kyseessä ei ole jonkin todella kriittisen tiedon siirtäminen (ks. kohta 3.4).

Matkapuhelinverkkojen tietoturva monimutkaistuu kuitenkin huomattavasti UMTS:n ja mahdollisten muiden IMT-2000 verkkojen myötä. Eri operaattoreiden välinen yhteisliikenne on ollut käytössä jo GSM-verkoissa, mutta UMTS tuo lisäksi mukanaan käyttäjien henkilökohtaisten asetusten, käyttäjätietojen ja jopa sovellusten siirtämisen eri operaattoreiden hallinnoimista verkoista toiseen. Myöhemmin saattaa tulla mahdolliseksi myös samanlainen siirtyminen eri verkkotekniikoita käyttävien verkkojen välillä. Nämä seikat tuovat esiin vaativia tietoturvatekijöitä, joista ei vielä ole olemassa käytännön kokemuksia.

Käytettävän tietoturvan vahvuuden valinnassa on useimmiten kyseessä kompromissien tekeminen. Vielä enemmän kompromisseja joudutaan tekemään, kun kyseessä ovat langattomat verkot. Vahva tietoturva saattaa heikentää verkon tarjoamaa palvelun laatua. Mikäli käytetään vahvoja salausmenetelmiä ja monimutkaisia autentikointimekanismeja, ne voivat aiheuttaa liikaa viipeitä tiedonsiirtoon ja sovellusten toimintaan. Tämä on ongelma erityisesti reaaliaikaisuutta vaativissa sovelluksissa. Vahvempi tietoturva vaatii myös enemmän suorituskykyä käytettävältä laitteelta ja tyypillisesti langattomat laitteet ovat suorituskyvyltään suhteellisen heikkoja.

Liikkuvuutta tukevissa verkoissa on otettava huomioon myös erilaisten tietoturvamekanismien yhteistoiminta. Jos käyttäjä voi siirtyä esimerkiksi erilaista salausta tai autentikointimenetelmää tukevien verkkojen välillä, täytyy verkoilla olla mekanismi tietoturvaparametrien neuvottelemiseen ja niiden välittämiseen. Ongelmallisinta tietoturvan yhteistoiminta onkin eri verkkotekniikoiden välillä siirtymisessä, eli ulkoisen yhteistoiminnan osalta (ks. alakohta 3.2.2). Tietoturvan sisäinen yhteistoiminta on otettu huomioon melko hyvin ainakin IMT-2000 verkkojen sisällä liikuttaessa, mutta lisäksi pitäisi huomioida myös ulkoinen yhteistoiminta esimerkiksi muiden matkapuhelinverkkojen, sekä Bluetooth- ja langattomien lähiverkkojen välillä.

Tietoturvamekanismienkin täytyy olla mukautuvia liikkuvuudelle tyypillisille olosuhteiden muutoksille. Jos verkon tarjoaman palvelun laatu muuttuu kesken

yhteyden, voidaan myös tietoturvaparametreja joutua neuvottelemaan uudelleen, jotta käyttäjälle pystytään edelleen tarjoamaan riittävä palvelun laatu kaikkien parametrien osalta. Sovellusten kannalta mukautuminen on ongelmallista, jos tietoturvaratkaisuja on toteutettu sovellustasolla. Kaikkiin tilanteisiin varautuminen sovelluksessa on mahdotonta. Tämän vuoksi mukautuminen tietoturvan osalta tulisikin toteuttaa alemmilla tasoilla.

3.5 Laitteiden rajoitteet

Yksi suurista liikkuvan tietojenkäsittelyn haasteista on käyttökelpoisten laitteiden kehittäminen. Tähän mennessä langattomat, mukana kannettavat laitteet ovat olleet resursseiltaan varsin rajallisia. Koska liikkumisen vuoksi laitteiden koko täytyy saada pidettyä suhteellisen pienenä, ei niihin ole mahdollista saada kovin suurta prosessointi-, tallennus-, muisti-, eikä näyttökapasiteettia. Kannettavissa laitteissa on aina tehtävä kompromisseja koon ja tehokkuuden välillä. Teknologiat tietysti kehittyvät jatkuvasti ja yhä pienempään kokoon saadaan kaikilta osin tehokkaampia laitteita, mutta samalla kasvavat myös sovellusten vaatimukset käytettävän laitteiston suhteen. Edellä olemme esittäneet miten myös uusia verkkotekniikoita tuodaan käyttöön nopealla aikataululla, ja monia erilaisia langattomia verkkoja tulee olemaan käytössä samanaikaisesti. Nopea laitteiden ja verkkojen kehitys johtaa siihen, että käytössä olevien laitteiden kirjo tulee olemaan varsin laaja. On siis otettava huomioon, että samoja sovelluksia voivat käyttää ominaisuuksiltaan hyvin erilaiset laitteet. Tässä kappaleessa esitellään laitetyyppien kehitystä ja keskeisimpiä langattomiin laitteisiin liittyviä rajoitteita.

Langattomia verkkoja käytetään edelleen selvästi eniten soluverkoissa toimivilla *matkapuhelimilla*, jotka ovat pieniä kädessä pidettäviä laitteita ja ensisijaisesti suunniteltu äänipuheluita varten. Näiden laitteiden näytöt ovat yleensä pieniä mustavalkonäyttöjä, jotka soveltuvat lähinnä tekstin ja pienten ikoneiden esittämiseen. Käyttöliittymä sisältää yleensä numeronäppäimet ja muutaman valikkonäppäimen. Prosessointiteho on hyvin pieni, ja muisti on suunniteltu tallentamaan vain nimiä ja puhelinnumeroita. Näiden laitteiden etuja ovat pieni koko, keveys ja pieni virrankulutus.

Langattomien laitteiden toinen ääripää ovat *kannettavat tietokoneet*, joiden verkkoyhteys on yleensä langaton lähiverkko (ks. kohta 2.2) tai matkapuhelimen avulla toteutettu datayhteys. Kannettavissa tietokoneissa prosessointiteho, grafiikkaominaisuudet, sekä muisti- ja talletuskapasiteetin määrä yltävät varsin lähelle perinteistä työasemaa. Käyttöliittymä vastaa myös normaalia tietokoneen käyttöliittymää. Haittoja puolestaan ovat iso koko ja paino, sekä suurempi virrankulutus. Akut kestävät yleensä vain muutamia tunteja tehokasta käyttöä. Nämä haittatekijät tekevätkin kannettavista tietokoneista varsin huonosti liikkuvuuteen soveltuvia.

Yhtenä kompromissiratkaisuna on kehitetty niin sanottuja kämmenmikroja eli *PDA-laitteita*. Ne ovat kooltaan vain hieman matkapuhelimia isompia, mutta prosessointitehot, muistikapasiteetit ja näytöt ovat huomattavasti isompia. Näytöt ovat joko harmaasävy- tai värinäyttöjä ja käyttöliittymänä yleensä näppäimistö ja/tai kosketusnäyttö. Perinteisesti PDA-laite ei ole sisältänyt puhelinominaisuuksia, vaan verkkoon pääsemiseen on tarvittu lisäksi matkapuhelin. Nykyinen laitteiden kehityksen suunta näyttäisi kuitenkin olevan kohti niin sanottuja *älypuhelimia*, joissa yhdistyy hyvin paljon GSM-puhelimen ja PDA-laitteen ominaisuuksia, joten matkapuhelimen ja PDA-laitteen raja on hämärtymässä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi Nokian 9210 ja Ericssonin R380S.

Uusien laitteiden myötä ollaan siirtymässä kohti tulevaisuuden langattomia tietojenkäsittelylaitteita, jotka yhä enemmän käyttävät sovelluksia verkkojen kautta ja mahdollistavat pääsyn verkoissa sijaitseviin palveluihin ja resursseihin. Laitteiden kannalta yksi olennainen kysymys on, kuinka *riippumaton* (autonomous) laitteen halutaan olevan (ks. alakohta 3.1.4). Laite voi olla täysin verkkoyhteydestä riippuva pääte tai itsenäiseen prosessointiin kykenevä työasema. Pelkkänä päätteenä toimiva laite käyttää verkkoyhteyden avulla verkossa olevia koneita suorittamaan kaikki laskentaoperaatiot. Itsenäisempi laite taas toimii ikään kuin yhtenä osana isoa hajautettua järjestelmää (Pitoura & Bhargava 1993). Täysin verkosta riippuvainen laite ei ole hyvä ratkaisu langattomissa verkoissa, sillä ne ovat erittäin alttiita tilapäisille yhteyskatkoksille ja lisäksi verkkoliikennettä aiheutuu enemmän. Mitä itsenäisempi

laite on, sitä paremmin se selviytyy hetkellisistä yhteyskatkoksista (Forman & Zahorjan 1994). Toisaalta tällaisessa laitteessa tarvitaan enemmän prosessointi- ja muistikapasiteettia.

Langattomien laitteiden prosessointitehon rajallisuuden vuoksi ainakin osa sovellusten vaatimasta prosessoinnista on tapahduttava verkossa olevilla palvelimilla. Laskentatehon vähyys aiheuttaa myös sen, että liikenteen salauksessa ei voida käyttää kovin vahvoja salausalgoritmeja, koska raskaat kryptaus- ja purkuoperaatiot hidastaisivat kohtuuttomasti muuta toimintaa. Tilanne on sama datan pakkaamisen kohdalla. Prosessointi kuluttaa tietysti myös virtaa.

Talletuskapasiteetti langattomissa laitteissa on rajoittunut laitteen koon ja virrankulutuksen vuoksi. Perinteisille kiintolevyille saadaan nykyään mahtumaan pieneenkin tilaan suuria määriä dataa. Langattomiin laitteisiin kiintolevyt eivät kuitenkaan sovellu, koska aktiivisina ne kuluttavat paljon virtaa eivätkä siedä kovin hyvin liikuttelua. Kannettavia tietokoneita pienemmissä laitteissa datan tallentamiseen käytetäänkin muistikortteja, joihin ei kuitenkaan voida tallentaa kovin paljon dataa. Ratkaisuja tähän ongelmaan ovat esimerkiksi datan pakkaaminen, datan tallentaminen verkossa oleville palvelimille ja ohjelmakirjastojen jakaminen verkon välityksellä (Forman & Zahorjan 1994). Dataa voidaan pakata tiettyyn rajaan asti, mutta jälleen ongelmaksi muodostuu pakkaamisen ja purkamisen vaatima prosessointiteho. Datan tallentamiseen verkkoon ja hakemiseen sieltä laitteelle taas tarvitaan toista rajallista resurssia eli kaistanleveyttä. Verkon käyttäminen tallentamiseen vaatii myös tiedostojärjestelmän, joka kykenee toimimaan luotettavasti yhteydeltään epävarmassa langattomassa verkossa.

Laitteen koko rajoittaa myös näytön kokoa ja siten käyttöliittymän kokoa. Langattomissa laitteissa käytetään kuitenkin usein perinteistä ikkunointiin perustuvaa tapaa esittää käyttöliittymä. Esitystapaa täytyy tietenkin muokata pienempään näyttöön sopivaksi, koska esimerkiksi useampien ikkunoiden esittäminen samanaikaisesti ei ole järkevää pienellä näytöllä. Selkeiden käyttöliittymien rakentamista vaikeuttaa ainakin vielä myös se, että vasta harvoissa laitteissa on käytössä värillinen näyttö. Laitteen koon

pienentämiseksi ja kestävyyden parantamiseksi näppäimistön käytöstä tiedon syöttämiseen on pyritty pääsemään eroon monin tavoin. Vaihtoehtoisina tiedonsyöttötapoina on kehitetty esimerkiksi *käsialan-, eleiden-* ja *puheentunnistusta* (Forman & Zahorjan 1994). Käsialantunnistus toimii siten, että käyttäjä kirjoittaa ohjainkynällä laitteen kosketusnäytölle ja laite tunnistaa kirjoitettuja merkkejä ja sanoja. Menetelmä onkin käytössä monissa laitteissa ja se tunnistaa käsialan melko tarkasti, mutta se on kuitenkin keskimäärin kolme kertaa hitaampi menetelmä kuin näppäimistöllä kirjoittaminen (mts.). Puheentunnistuksen etuja on, että se ei vaadi tilaa laitteelta ja jättää käyttäjän kädet vapaiksi. Haittana taas on iso tallennuskapasiteetin ja prosessointitehon käyttö sekä virrankulutus. Lisäksi puheentunnistusta ei voida käyttää tietyissä ympäristöissä: Se saattaa häiritä muita ihmisiä, ei toimi meluisissa tiloissa ja voi vaarantaa tietoturvan (mts.).

Edellä on monesti mainittu tarve estää laitteiden liiallinen virrankulutus. Pieni virrankulutus on langattoman laitteen tärkeimpiä ominaisuuksia, koska akut ja paristot ovat laitteen painavin osa. Liian isot akut heikentävät laitteen liikkuvuutta tekemällä laitteesta painavamman ja liian pienet akut puolestaan lyhentämällä toiminta-aikaa. On selvää, että akkuteknologiat tulevat kehittymään edelleen, mutta langattomien laitteiden on silti tulevaisuudessakin oltava säästeliäitä virrankulutuksen suhteen (Satyanarayanan 1996). Laitteissa käytettävien sovellusten tulisi myös huomioida virrankulutukseen liittyvät tekijät. Sovelluksen toiminnassa virrankulutukseen vaikuttavat prosessointi, muistien käyttö ja erityisesti tiedonsiirron määrä. Langattomissa verkoissa toimivien sovellusten olisi tärkeintä minimoida lähetettävän datan määrä, koska tyypillisesti lähettäminen kuluttaa noin kymmenen kertaa enemmän virtaa kuin vastaanottaminen (Forman & Zahorjan 1994). Suurempiakin arvioita on esitetty. Myös verkon ominaisuudet ja kattavuus vaikuttavat virrankulutukseen. Jos verkon tukiasemia on harvassa, kasvavat keskimääräiset etäisyydet laitteen ja tukiaseman välillä. Tällöin laite joutuu käyttämään suurempaa lähetystehoa, joka puolestaan kasvattaa virrankulutusta. Virrankulutusta pienentävää kehitystyötä voidaan tehdä monella tasolla, kuten esimerkiksi kehitettäessä protokollia, virheenkorjausjärjestelmiä, ohjelmistoja, signaalienkäsittelyalgoritmeja ja verkon resurssienvarausmenetelmiä (Zorzi 1998).

Tulevaisuudessakin kannettavat langattomat laitteet tulevat edelleen olemaan resursseiltaan rajallisempia kuin isommat langallisia verkkoja käyttävät laitteet. Resurssien vähyys pakottaa moniin eri kompromisseihin niin laitteiden, kuin sovellusten ja verkkojenkin suunnittelussa. Yksi merkittävä tekijä on se, kuinka suurta tiedonsiirtonopeutta ja skaalautuvuutta laitteelta halutaan. Nämä ominaisuudet määräytyvät sen mukaan mitä verkkotekniikoita laite tukee.

3.6 Yhteenveto liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteistä

Tässä luvussa käsittelimme liikkuvaan tietojenkäsittelyyn ja langattomien verkkojen käyttämiseen liittyviä erityispiirteitä. Tarkastelimme palvelun laatua ja sen takaamista, verkkojen yhteistoimintaa, mukautuvuutta vaihtuviin ympäristöihin, tietoturvan takaamisen ongelmia, sekä käytettävien laitteiden aiheuttamia rajoitteita.

Palvelun laatua tarkasteltaessa totesimme, että halutun palvelun laadun takaaminen langattomissa liikkuvissa verkoissa on hankalaa. Käyttäjän liikkumisen nopeutuminen alentaa verkkojen suoritukykyä tai jopa estää palvelun käyttämisen. Lisäksi osa verkkotekniikoista soveltuu käytettäväksi lähes ainoastaan sisätiloissa, toisaalta tarjoten siellä parhaimman suorituskyvyn.

Ratkaisut palvelun laadun takaamiseksi ovat aina jollain tavalla kompromisseja, mutta yhteyden yhtäjaksoisuus tulisi silti pystyä säilyttämään. Käyttämällä tilanteeseen parhaiten soveltuvaa verkkotekniikkaa voidaan palvelun laatua kuitenkin parantaa. Tämä onnistuu peittoverkkojen avulla.

Verkkojen yhteistoiminnan jaottelimme sisäiseen ja ulkoiseen yhteistoimintaan. Erityisesti ulkoisen yhteistoiminnan osalta tarvitaan tulevaisuudessa paljon tutkimus- ja kehitystyötä, sillä globaali liikkuvuus vaatii myös globaalia yhteistoimintaa eri verkkotekniikoiden välillä. Esitimme, että Bluetooth-teknologiaa voidaan käyttää linkittämään eri verkkotekniikat toisiinsa ja luomaan näin edellytykset verkkojen väliselle ulkoiselle yhteistoiminnalle.

Mukautuminen on myös avaintekijä liikkuvuuden toteuttamisessa, koska sitä tarvitaan sopeuduttaessa dynaamiseen toimintaympäristöön. Myös laitteiden rajalliset resurssit aiheuttavat monia rajoitteita, jotka tulisi huomioida.

Tietosuojaan ja tietoturvaan liittyvien ongelmien totesimme saaneen tutkimuksissa huomiota langattomuuden ja liikkuvuuden osalta, ja ainakin teoriatasolla soveltuvia ratkaisuja on olemassa. Myös nämä ratkaisut vaativat usein kompromisseja. Tietosuojakysymykset ovat moniulotteisempia, ja vaativat teknisten asioiden lisäksi myös useiden eettisten ja lainsäädännöllisten asioiden ratkaisemista. Langattomia lähiverkkoja lukuun ottamatta tietoturvan taso on riittävä tavalliseen käyttöön. Tietoturvaparametrien siirtäminen verkkotekniikoiden välillä tulee olemaan avainkysymys tulevaisuudessa.

Seuraavassa luvussa esittelemme nykyisiä ja tulevia paikannustekniikoita, joiden avulla laitteiden sijainti voidaan määritellä eri ympäristöissä vaihtelevalla tarkkuudella.

4 PAIKANNUSTEKNIIKAT

Tekninen kehitys on tehnyt mahdolliseksi ihmisten mukanaan kantamien laitteiden paikantamisen. Samalla laitteista on tullut entistä pienempiä ja liikuteltavampia. Tämä on lisännyt käyttäjien liikkumavapautta ja tehnyt liikkuvasta tietojenkäsittelystä entistä suositumpaa. Mitä helpommaksi liikkuva tietojenkäsittely tehdään, sitä enemmän se houkuttelee käyttäjiä. Ennen kuin kontekstiin räätälöityjä palveluita ja sovelluksia voidaan käyttää monipuolisesti hyväksi, täytyy kuitenkin pystyä määrittelemään käyttäjän sijainti riittävällä tarkkuudella.

Paikantamisella tai *paikannuksella* tarkoitetaan kohteen sijainnin määrittämistä. Varsinainen paikantamisen kohde on tavallisesti jokin laite kuten esimerkiksi matkapuhelin. *Sijainti* tarkoittaa yhden tai useamman paikantamisen avulla määritettyä arviota kohteen sijainnista. Yleensä sijainti ilmaistaan sovitun koordinaattijärjestelmän mukaisesti, mutta se voidaan ilmoittaa myös paikallisesti *suhteellisena sijaintina*, jolloin ollaan kiinnostuneita vain kohteen sijainnista suhteessa johonkin toiseen kohteeseen.

Paikantamiseen voidaan käyttää useita tekniikoita. Käsittelemme tässä luvussa matkapuhelinverkkoon perustuvia menetelmiä, satelliittipaikannusta, lähinnä sisätilapaikannukseen tarkoitettuja erillistekniikoita sekä eri tekniikoiden yhteiskäyttöä.

4.1 Matkapuhelinverkko

Matkapuhelinverkkojen toimintaperiaatteeseen kuuluu, että verkko tietää tai voi selvittää, minkä solun alueella kukin verkkoon kytkeytynyt laite sijaitsee. Jos järjestelmä lisäksi tietää jokaisen solun tukiaseman sijainnin ja solujen yksikäsitteiset tunnisteet, voidaan näiden tietojen perusteella saada karkea arvio laitteiden sijainnista. Tästä *solupaikannuksesta* käytetään lyhennettä *COO* (Cell Of Origin). Kovin tarkkaa sijaintitietoa solun tietäminen ei kuitenkaan anna, koska esimerkiksi GSM-verkossa solun säde voi suurimmillaan olla jopa 35 kilometriä (Pfeifer 1999, 26). Tiheämmin

asutuilla alueilla solujen koko on pienempi ja siten sijaintitieto tarkempi. Pienimmillään GSM-verkon solukoko voi olla säteeltään noin 100-300 metriä (Swedberg 1999, 4; Leonhardt 1998, 34). Erityistarkoituksissa solun koko voi olla tätäkin pienempi. Myös UMTS-verkoissa solujen koot tulevat keskimäärin olemaan pienempiä kuin GSM-verkoissa. Kun tällä solun peittoalueeseen perustuvalla tekniikalla halutaan sijainnille maantieteelliset koordinaatit, arvona voidaan käyttää jotain kiinteää pistettä solun alueella, kuten esimerkiksi tukiaseman sijaintia tai peittoalueen maantieteellistä keskipistettä (3GPP 2000e, 10). COO-tekniikan tarkkuutta voidaan parantaa tarkastelemalla verkon *lähetyspurskeen aikaistusta* (Timing Advance, TA) (3GPP 2001). Aikaistusta käytetään kompensoimaan laitteen etäisyyttä tukiasemasta. Aikaistusparametrin arvosta voidaan arvioida laitteen ja tukiaseman välistä etäisyyttä. Tästä tekniikasta käytetään lyhennettä *COO+TA*.

Tarkemman sijaintitiedon selvittämiseksi matkapuhelinverkoissa voidaan käyttää menetelmiä, jotka perustuvat *radiosignaalien mittaamiseen*. Mittaukset voidaan tehdä tukiasemissa laitteen lähettämän signaalin perusteella tai vastaavasti mittaamalla laitteella tukiasemien lähettämää signaalia.

Yksinkertaisin signaalin mittaamiseen perustuva tekniikka on mitata signaalin voimakkuutta, josta saadaan arvio laitteen etäisyydestä tukiasemaan. Jotta sijainti voidaan laskea, laitteen täytyy kuulla vähintään kolmen tukiaseman signaalia samanaikaisesti. Tämän menetelmän tarkkuus on kuitenkin melko huono, koska signaalin vaimentumiseen vaikuttavat etäisyyden lisäksi monet ympäristötekijät, joista jotkut saattavat olla myös muuttuvia ja ennalta arvaamattomia. Erityisesti suurisoluisilla alueilla saadaan kuitenkin paljon solupaikannusta tarkempia tuloksia.

Paikantaminen voidaan tehdä myös mittaamalla tukiasemalle tulevan *signaalin saapumissuuntaa* erityisten antennien avulla. Tästä tekniikasta käytetään lyhennettä *AOA* (Angle Of Arrival). Menetelmän ongelmana on signaalien heijastuminen - varmuudella ei voida tietää, tuleeko havaittu signaali suoraan laitteelta vai onko se heijastuma. Menetelmän etuna puolestaan on se, että riittää kun kaksi tukiasemaa vastaanottaa laitteen lähettämää signaalia.

Tällä hetkellä pisimmälle kehitettyjä ja tarkimpia signaalin mittaamiseen perustuvia menetelmiä ovat erilaiset signaalin kulkeman ajan mittaamiseen perustuvat tekniikat. Näistä *TOA* (Time Of Arrival) ja *TDOA* (Time Difference Of Arrival) -menetelmissä tukiasemat mittaavat matkapuhelimen lähettämän signaalin kulkemaa aikaa. OTD (Observed Time Difference) ja E-OTD (Enhanced Observed Time Difference) – tekniikoissa puolestaan matkapuhelin mittaa eri tukiasemilta saapuvien signaalien kulkuaikojen eroja. Kaikki näistä tekniikoista vaativat, että laitteella on yhteys vähintään kolmeen tukiasemaan samanaikaisesti. Mittaustuloksista voidaan laskea laitteen etäisyys kuhunkin mitattuun tukiasemaan. Nämä tulokset lähetetään verkon paikannuspalvelimen laskentafunktiolle, joka laskee laitteen todennäköisen sijainnin. Teoriassa laskentafunktio voisi sijaita myös laitteessa itsessään, mutta se vaatisi laitteelta laskentatehoa ja tietoa mitattujen tukiasemien tarkasta sijainnista. Joka tapauksessa OTD ja E-OTD -menetelmät vaativat laitteisiin ohjelmiston mittausten suorittamista ja mittaustietojen välittämistä varten. Laskettu sijaintitieto on tietysti sitä tarkempi ja luotettavampi, mitä useampaa tukiasemaa laite mittaushetkellä pystyy kuuntelemaan. Vaaditun kolmen tukiasemankaan kuuleminen ei välttämättä ole mahdollista kaikissa olosuhteissa. Ongelmallinen tilanne syntyy esimerkiksi silloin, kun laite on lähellä jotain tukiasemaa. Tällöin sen signaali tulee laitteelle niin voimakkaana, että se peittää muiden samalla taajuudella olevien tukiasemien signaalit. Ongelman ratkaisemiseksi UTMS-verkossa on määritelty, että jokaisen tukiaseman on katkottava lähetystään tietyin väliajoin lyhyeksi aikaa. Tänä aikana laitteet voivat mitata muiden tukiasemien lähettämää signaalia. (3GPP 2000e, 10-11)

Signaalien mittaamiseen perustuvienkin menetelmien tarkkuus riippuu paljon solujen koosta ja häiriötekijöistä kuten signaalien heijastumisesta. Tarkempien tulosten saamiseksi voidaan solun alueelle sijoittaa *kiinteitä paikannuselementtejä*, jotka lähettävät omaa signaaliaan. Näin laite pystyy tukiasemien signaalin lisäksi mittaamaan myös elementtien signaalia ja sijaintitiedoista saadaan tarkempia (vrt. DGPS referenssiasemat, kohta 4.2). Elementtien käytöstä on hyötyä erityisesti alueilla, joissa solukoot ovat isoja tai olosuhteet muuten ongelmalliset. (3GPP 2000e, 10-11)

GSM ja UMTS verkoille on määritelty *paikannuspalvelu* (Location Service, LCS), jonka tehtävänä on tuottaa laitteiden sijaintitietoja ja siten mahdollistaa paikkatietoisten sovellusten toteuttaminen. Paikannuspalvelun arkkitehtuuri on joustava ja se tukee kaikkia paikannustekniikoita. Arkkitehtuurin loogiset komponentit ovat asiakaslaite tai –sovellus (LCS Client), palvelin (LCS Server) ja paikannettava laite. Asiakas tekee paikannuspyyntöjä palvelimelle, joka käyttää paikannusfunktiota pyydetyn laitteen sijainnin määrittämiseksi ja palauttaa vastauksen asiakkaalle mikäli asiakas on oikeutettu saamaan sijaintitiedon. Paikannuspalvelun tarkoituksena on luoda yhtenäinen kehys sijaintitietojen määrittämiselle ja välittämiselle. (ETSI 2000c)

4.2 GPS-järjestelmä

Yhdysvaltojen puolustusministeriön hallinnoima *GPS* (NAVSTAR Global Positioning System) satelliittipaikannusjärjestelmä rakennettiin alun perin sotilaskäyttöön avustamaan hävittäjälentäjiä tarkassa sijainnin määrittämisessä. Varsinainen toiminnallinen järjestelmä rakennettiin vuosien 1989-1993 välillä. GPS-järjestelmä koostuu 24 satelliitin muodostelmasta, jotka kiertävät maata kuudella ratatasolla (orbit planes) noin 20 200 km korkeudessa. Sijainnin määrittäminen onnistuu kaikkialta maapallolta, sillä muodostelman ansiosta 5-8 satelliittia näkyy joka pisteestä. Tämän lisäksi tarvitaan tietysti vielä GPS-vastaanotin sijaintitiedon vastaanottamiseen. (Dana 1999; Bennett & Nakamura 1997)

GPS-järjestelmän sijainnin määritys perustuu satelliittien atomikellojen jatkuvasti lähettämiin erittäin tarkkoihin aika- ja sijaintitietoihin. Vastaanottimen on siten mahdollista päätellä signaalin lähtö- ja saapumisajan erotuksen avulla sijaintinsa. Se ilmoitetaan leveys- ja pituuskoordinaatteina suhteessa referenssipisteeseen, esimerkiksi valitun karttajärjestelmän kuten *WGS-84* (World Geodetic System) kuvaaman ellipsoidin pintaan. Sijainnin tarkkaan määrittämiseen tarvitaan neljän satelliitin apua (oletetun kolmen sijaan), jotta vastaanottimien taloudellisista ja fyysisistä syistä epätarkempien kellojen aikavirheet saadaan korjattua.

Alun perin GPS-järjestelmässä oli tarjolla kaksi palveluluokkaa: *normaali-* (SPS, Standard Positioning Service) ja *tarkka paikannuspalvelu* (PPS, Precise Positioning Service) (Dana 1999). Normaali palvelu oli tarkoitettu kaupalliseen ja siviilikäyttöön. Tarkkaa paikannuspalvelua varten tarvittavia vastaanottimia oli käytössä vain Yhdysvaltojen puolustusvoimilla, valikoiduilla hallituksen virastoilla ja valikoiduilla henkilöillä. Normaalia palvelua häirittiin tarkoituksellisesti *valikoidun rajauksen* (SA, Selected Availability) avulla, joka pudotti paikannustarkkuuden noin viidesosaan alkuperäisestä. Valikoitua rajausta perusteltiin turvallisuussyillä, sillä vihamielinen taho olisi saattanut varustaa esimerkiksi risteilyohjuksensa GPS-järjestelmällä. Yhdysvallat taipui kuitenkin poliittisen- ja taloudellisen painostuksen alla vuoden 2000 toukokuussa, ja poisti valikoidun rajauksen käytöstä - mitä ilmeisimmin Eurooppalaisten oman satelliittihankkeen edistymisen pelossa (Bennett & Nakamura 1997). Nykyisin tavallisten GPS-vastaanottimien avulla päästään 95 % todennäköisyydellä 22 metrin vaakatarkkuuteen ja 28 metrin pystytarkkuuteen (Dana 1999). Häirinnän poiston jälkeenkään ei siis päästä täysin absoluuttisiin tarkkuuksiin, sillä sen estää ilmakehän häiriöt sekä pienoiset erot kiertoradoissa ja satelliittikelloissa – täytyy kuitenkin muistaa, että näillä etäisyyksillä miljoonasosien poikkeamat saattavat aiheuttaa satojen metrien paikannusvirheen. Paikannustarkkuuden parantamiseksi markkinoilla on tarjolla DGPS-vastaanottimia (Differential GPS), joiden sijaintivirhe voidaan vähentää 1-10 metriin. Tämä perustuu erillisten kiinteiden referenssiasemien lähettämään korjaustietoon, jonka DGPS-laitteet osaavat vastaanottaa. GPS-järjestelmän tarkkuuden lisäksi etuina voidaan pitää sitä, että se ei oikeastaan millään lailla rajoita käyttäjän liikkumisnopeutta ja järjestelmän käyttökorkeutta. GPS:än avulla voidaan myös selvittää liikkumissuunta ja nopeus.

Kymmenen vuoden aikana armeijalähtöisestä GPS-järjestelmästä on kehittynyt suosittu ja laajalle levinnyt niin siviili-, tutkimus- kuin kaupallisella puolella. Sitä käytetään vapaa-ajan käytössä kalastuksesta retkeilyyn. Tutkimuspuolella sitä on käytetty useissa opastussovelluksia kehittelevissä korkeakouluhankkeissa (ks. kohta 5.3) Kaupallisia sovelluksia ovat erilaiset navigointijärjestelmät maa-, meri- ja ilmailualalla. Monet autoteollisuuden yritykset ovat ottaneet GPS-laitteet käyttöön autoissaan, ja GPS-satelliittien antamia tietoja käytetään yleisesti risteilyaluksissa ja reittilentokoneissa.

Vaikka GPS on selkeästi kattavin tarjolla olevista paikannusjärjestelmistä, on silläkin omat heikkoutensa. Korkealla sijaitsevat satelliitit pystyvät palvelemaan käyttäjiään joka puolella maapalloa, mutta samalla niiden lähettämät signaalit ovat väistämättä alttiita ilmakehän eri kerrosten häiriöille. Aivan täsmälliseen paikannustarkkuuteen ei päästäkään ilman, että käytetään apuna erittäin tarkkoja (ja kalliita) vastaanottimia ja maassa sijaitsevia ylimääräisiä referenssiasemia. Maanpäällisiin radiosignaaleihin verrattuna GPS:n signaali on heikompaa ja aallonpituudeltaan sellaista, että se kärsii heijastumisesta, varjostuksesta ja hajautumisesta. Siksi GPS-paikannusta ei voi sellaisenaan käyttää lainkaan sisätiloissa, sillä kaikki ikkunalasia vahvemmat materiaalit estävät signaalin etenemisen. Zimmerman ja Cannon (1994) ovat kuitenkin tutkimuksessaan esittäneet tavan käyttää GPS-paikannusta myös sisätiloissa. Kaupunkiympäristössä ongelmana saattavat olla myös korkeat rakennukset sekä sillat ja tunnelit. Tarkka paikannus ei onnistu parin satelliitin avulla, vaan kaksiulotteisen sijainnin määrittäminenkin vaatii yhteyden vähintään kolmeen satelliittiin. Perinteisiä keinoja kattavuuden parantamiseksi ei voida juurikaan käyttää, sillä järjestelmän laajentaminen ja uudelleensuuntaaminen olisi erittäin kallis ja hidas prosessi (vrt. alakohta 3.1.4). GPS on myös tietyissä tilanteissa hidas järjestelmä. Nykyiset GPS-laitteet kuluttavat virtaa melko paljon, joten laite olisi mukavaa pitää pois päältä aina silloin, kun paikkatietoja ei tarvita. Laitteen käynnistyessä tarvittavien satelliittien paikantaminen kestää kuitenkin 10 sekunnista yli minuuttiin käytetyn laitteen ja sijainnin mukaan, ja se saattaa olla liian pitkä aika välitöntä paikkatietoa haluavalle. Käyttäjä joutuu siis tekemään kompromisseja virransäästön ja reaaliaikaisen paikannustiedon välillä. Toiminnan nopeuttamiseksi on esitetty verkkoavusteisen GPS-paikantamisen käyttämistä (ks. kohta 4.4). GPS-järjestelmää rasittaa sen kaksijakoisuus: päätöksiä tehdessä pitää toisaalta miettiä sotilaallisia vaikutuksia, toisaalta taas taloudellisia ja poliittisia näkökohtia. Jos GPS-järjestelmästä halutaan kansainvälinen standardi, täytyy sen käyttöoikeudet vahvistaa kansainvälisin sopimuksin (Pace ym. 1995).

Satelliittipaikannusjärjestelmistä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä GPS-järjestelmää, sillä se on ylivoimaisesti käytetyin ja laajimmalle levinnyt. Yhdysvaltalainen NAVSAT (The Navy Navigation Satellite System) on ennen GPS:ää rakennettu 4-5 satelliittiin

perustuva järjestelmä. Se on kattavuudeltaan ja tarkkuudeltaan rajoittunut, ja vaatii sijainnin määritystä varten kohdelaitteen paikallaan olemisen (Bennett & Nakamura 1997). Venäläisen GLONASS-järjestelmän on sanottu olevan tarkempi kuin GPS:n tarjoama SPS-palvelu ennen valikoidun rajauksen poistamista. Venäjän armeijan taloudellisten ongelmien takia satelliittiverkko on kuitenkin harventunut ja sen vuoksi järjestelmän kattavuus on vaillinainen. Lisäksi vastaanottimia on ollut vaikeaa tai mahdotonta hankkia (mts.). Euroopan Unioni on käynnistänyt hankkeen Eurooppalaisen Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän rakentamiseksi. Sen on arvioitu maksavan 2,2-2,9 miljardia euroa, ja paikannustarkkuudeksi on luvattu 9,1 metriä 99 % maailmanlaajuisella kattavuudella (EUC 1999). Järjestelmän on luvattu tarjoavan kolme palveluluokkaa, joista yksi käyttäjälleen GPS:n tapaan ilmainen – tosin palvelun laatua ei taata toisin kuin maksullisissa luokissa. Jää nähtäväksi saadaanko järjestelmä käyttöön vuonna 2008 kuten on kaavailtu, sillä GPS-järjestelmän rajoitusten poistuttua Galileon taloudellinen kannattavuus saattaa joutua vastatuuleen. Toisaalta Eurooppa saattaa poliittisista valtasyistä rakentaa järjestelmän kustannuksista huolimatta.

4.3 Erillistekniikat

Sisätiloissa tapahtuvaa paikantamista varten on tutkimuksissa esitetty monenlaisia erillisratkaisuja. Näillä tekniikoilla paikannettaessa sijaintitieto saadaan yleensä suhteellisena sijaintina.

Merkittävää tutkimustyötä on tehty erityisesti Olivetin tutkimuskeskuksessa ja Xerox PARC:ssa. Yhteistä erillisratkaisuille on se, että ne koostuvat yleisesti paikannusantureista (sensors) sekä laitteisiin ja/tai ihmisiin yhdistettävistä tunnistimista (tags, badges) (Want, Hopper, Falcao & Gibbons 1992; Asthana, Cravatts & Krzyzanowski 1994; Want ym. 1995; Abowd ym. 1997; Starner, Kirsch & Assefa 1997; Beadle ym. 1998). Valittu lähestymistapa vaikuttaa siihen, onko paikantamis- ja muut havainnointiominaisuudet rakennettu ympäristöön, vai onko ne sijoitettu langattomaan tietojenkäsittelylaitteeseen (Schmidt, Beigl & Gellersen 1999). Olivetin aktiivimerkit (active badges), MIT:in "heinäsirkkaparvet" (locust swarms), ja suurin osa muistakin

ratkaisuista perustuu ulkopuoliseen infrastruktuuriin. (Want ym.1992; Starner ym. 1997). Aktiivimerkit lähettävät omaa identifiointitietoaan tietyin väliajoin, jolloin jokin tietty paikannusanturi havaitsee sen ja päivittää sijaintitietoja. Heinäsirkkaparvet toimivat käänteisesti, sillä itse anturi lähettää viestejä ympäristöön. MIT:ssa kehitetyt nimikilvet (thinking tags), jotka näyttävät valikoituja tietoja keskustelukumppanista, eivät edellytä infrastruktuuria. Toinen hyvin samankaltainen ratkaisu on Göteborgin Viktoriainstituutin "kolibrit" (hummingbirds), joiden avulla voidaan selvittää onko joku tai jotkut henkilöt lähistöllä. (Borovoy, McDonald, Martin & Resnick 1996; Redström, Dahlberg, Ljungstrand & Holmquist 1999; Holmquist, Falk & Wigström 1999). On mielenkiintoista havaita, että heinäsirkat ja kolibrit liittyvät hyvin vahvasti sosiaaliseen kontekstiin. Paikannuksen näkökulmasta niissä ollaan kiinnostuneita suhteellisesta sijainnista, eikä absoluuttisesta sijainnista käytettyyn referenssiin nähden kuten muissa mainituissa esimerkeissä.

Monet erillisratkaisuista perustuvat infrapunateknologian käyttöön. Teknologian tarkempi käsittely on kuitenkin rajattu pois tästä tutkielmasta. Tutkimusten tekoajankohta on vaikuttanut paljon valittuun teknologiaan, sillä vielä pitkälti yli 90-luvun puolivälin infrapunateknologia oli kustannustehokkuudeltaan sopivin ratkaisu. Toisaalta samat ratkaisut voitaisiin toteuttaa myös radioteknologioihin perustuen (Want ym. 1995; Redström ym. 1999). Spreitzer ja Theimerin (1993) mukaan infrapunan käyttöä on hankaloittanut kirkkaan päivänvalon aiheuttamat häiriöt, yhteyden katkeamiset näköesteen takia (ihmisvartalo, huonekalut, seinät ym.) sekä useat päällekkäiset anturihavainnot. Periaatteessa ongelmat voitaisiin ratkaista nykyisin käyttämällä avuksi esimerkiksi langatonta Bluetooth-teknologiaa, jonka avulla vältyttäisiin valon ja esteiden aiheuttamilta ongelmilta. Useat havainnot voitaisiin poistaa joko valitsemalla signaaleista vahvin tai rajoittamalla laitteen käyttö yhteen pikoverkkoon kerrallaan. Bluetooth-laitteiden hinnan arvellaan myös muodostuvan pieneksi, ja lähetystehoja kontrolloimalla saataisiin sijainti määriteltyä 1-10 metrin säteellä. Huolimatta siitä, käytetäänkö infrapuna- vai radioteknologiaa hyväksi, jäävät paikannustarkkuudet silti verrattain epätarkoiksi. Todella tarkat paikannustekniikat kuten elektromagneettiset ja optiset jäljittimet ovat kuitenkin usein liian kalliita ja monimutkaisia käytettäviksi (Ward, Jones & Hopper 1997). Ratkaisuksi on kuitenkin

ehdotettu ultraäänen perustuvaa paikannustekniikkaa, jonka avulla kohteet voidaan paikantaa kolmiulotteisesti senttimetrien tarkkuudella (Ward 1998). Näitä paikannusmenetelmiä ei kuitenkaan käsitellä tässä sen tarkemmin. Erillisratkaisujen ongelmana on myös rajattu kattavuus. Niitä voi yleensä käyttää vain sisätiloissa, niissäkin monesti vain tietyssä huoneessa tai kerroksessa.

4.4 Tekniikoiden yhdistäminen

Eri paikannustekniikoita voidaan myös yhdistää keskenään. Yleisimmin esitetty yhdistelmä on satelliittipaikannuksen avustaminen matkapuhelinverkkoa hyödyntämällä (A-GPS, Assisted GPS). Matkapuhelinverkon avulla voidaan esimerkiksi pienentää satelliittisignaalin saatavuuteen liittyviä ongelmia. Verkkoavusteisessa GPS-paikantamisessa laitteen GPS-vastaanotin voi saada matkapuhelinverkon välityksellä signaalitietoja verkossa olevalta GPS-vastaanottimelta ja myös siirtää sijainnin laskemisen verkon paikannuspalvelimelle. Tällöin itse laitteessa voi olla hieman kevennetty ja suorituskyvyltään parempi GPS-vastaanotin, joka luottaa joiltakin osin verkon GPS-vastaanottimelta saataviin tietoihin. Näin laitteen vastaanotin on täysin itsenäiseen vastaanottimeen verrattuna nopeampi, vähemmän virtaa kuluttava ja pystyy toimimaan heikommankin GPS-signaalin alueella. (3GPP 2000e, 36-37) Yhdessä satelliittipaikannuksen kanssa voidaan myös käyttää edellä kuvattuja matkapuhelinverkon tarjoamia paikannustekniikoita. Tekemällä useita paikannuksia eri menetelmiä käyttäen ja yhdistämällä saadut tulokset, saadaan sijaintitiedosta tarkempaa ja luotettavampaa.

Sisätiloissa toimivia erillistekniikoitakin olisi mahdollista verkon välityksellä yhdistää matkapuhelinverkon paikannustekniikoiden ja satelliittipaikannuksen kanssa. Vaikka erillistekniikat tavallisesti antavatkin sijaintitiedon suhteellisena sijaintina, voitaisiin niistä toki saada sijainti myös koordinaattimuotoisena ja verkon välityksellä sijaintitieto voitaisiin välittää verkon paikannuspalvelimelle.

Paikannustekniikoiden yhteistoimintaa voisi ajatella yleisemminkin. Ajatusta paikannuksen yhteistoiminnan toteuttamisesta voisi lähteä kehittämään vaikkapa idealistisesta ratkaisusta, jossa sijaintitietoja talletettaisiin rekistereihin verkossa oleville paikkatietopalvelimille. Palvelimia voisivat käyttää kaikki paikannusmenetelmät ja sovellukset myös käytetystä verkkotekniikasta riippumatta. Tällöin epätarkempiin verkkoihinkin voitaisiin saada tarkempaa tietoa toisista verkoista. Palvelimet vastaisivat sijaintitietojen ja paikantamisen hallinnasta. Kaikkien sovellusten paikkatietopyynnöt tulisivat näille palvelimille, jotka ensin tarkastaisivat tietoja kysyvän sovelluksen oikeudet halutun kohteen tietoihin, tarkistaisivat sitten löytyykö riittävän tarkka paikkatieto jo rekisteristä ja tarvittaessa voisivat pyytää uutta paikantamista verkolta. Palvelinten tehtävänä voisi lisäksi olla mm. paikkatietopyyntöjen tarkkailu, sopivien paikannusmenetelmien valinta sekä paikantamisen mukauttaminen ja optimointi. Jos palvelin esimerkiksi havaitsisi tietyn kohteen sijaintia kyseltävän usein ja sen sijainnin muuttuvan varsin nopeasti, palvelin voisi automaattisesti määrittää kohteen paikannettavaksi useammin, jotta sijaintia tarvitseville sovelluksille saataisiin tarkempaa tietoa. Paikkatietopalvelimet voisivat olla operaattori- ja aluekohtaisia. Ideaalisessa tilanteessa myös eri operaattorin verkosta voisi kysyä tietoja toisen operaattorin palvelimelta, mutta tämän toteuttaminen käytännössä on vaikeaa monestakin syystä. Ongelmia aiheuttaisivat ainakin eri operaattoreiden järjestelmien tekniset erilaisuudet, tietoturvakysymykset sekä tarvittavat sopimukset operaattoreiden kesken.

Tarkempien paikkatietojen saamisen lisäksi rekisterin sisältävä paikkatietopalvelin vähentäisi myös tarvittavien paikannusoperaatioiden määrää, sillä tietyissä tilanteissa useampi sovellus voisi käyttää samaa tietoa. Jokaisesta paikannuksesta tulisi sijaintikoordinaattien lisäksi tallentaa ainakin paikannuksen aika sekä arvio tarkkuudesta. Näiden tietojen avulla sovellukset voisivat arvioida, onko rekisteristä saatu tieto riittävän uusi ja tarkka, vai pitääkö suorittaa uusi paikantaminen? Rekisteri voisi myös sisältää kunkin käyttäjän asetukset siitä, kenelle tai millaisille sovelluksille hänen sijaintitietojaan saa antaa. Tällaisesta paikkatietorekisteriin perustuvasta yhteistoiminnasta voisi olla esimerkkinä tilanne, jossa käyttäjä olisi kytkeytyneenä Bluetooth-verkkoon, josta olisi yhteys paikkatietopalvelimeen. Samaan aikaan jokin

GSM-verkossa toimiva sovellus haluaisi paikantaa kyseisen käyttäjän. Sovellus lähettäisi ensin kyselyn paikkatietorekisteriin saadakseen viimeisimmän rekisteröidyn tiedon henkilön sijainnista. Vastauksena sovellus saisi Bluetooth-verkon tallentaman tiedon, joka kertoisi henkilön sijainnin koordinaatit, ja että paikannuksen virhe on enintään 10 metriä ja tieto on 5 sekuntia vanha. Tässä tilanteessa tuskin tarvitsisi tehdä uutta paikantamista.

4.5 Paikannustarkkuudet

Bluetooth-verkoissa paikannustarkkuus riippuu siitä, kuinka tiheään laitteita havainnoivia sensoreita asennetaan. Tarkkuuteen vaikuttavat myös laitteiden kantamat, jotka taas riippuvat käytetyistä lähetystehoista. Langattomien Bluetooth-laitteiden kantamat ovat joka tapauksessa varsin lyhyitä ja käytännössä tämä rajaakin niiden laajemman käytön ainoastaan sisätiloihin. Toki käyttö on kuitenkin mahdollista rajatuilla alueilla ulkotiloissakin. Paikannustarkkuus on noin 1 – 10 metriä, joka varmasti riittääkin useimmissa tapauksissa. Yleensä sisätiloissa riittää henkilön sijainnin tietäminen esimerkiksi huoneen tarkkuudella.

Langattomissa lähiverkoissa paikantamista ei ole juurikaan tutkittu, mutta käyttäjän sijainnin määrittäminen on mahdollista ainakin palvelevan tukiaseman eli solun tarkkuudella. Edellytyksenä on tietysti, että järjestelmään on tallennettu tukiasemien sijainnit. Paikannustarkkuus riippuu solun koosta ja saattaa alueellisesti vaihdella hyvinkin paljon noin sadasta metristä kilometriin. Tosin satoihin metreihin kantama saadaan nostettua ainoastaan käyttämällä laitteissa erillisiä antenneita. Käytännössä esimerkiksi HIPERLAN/2 –verkossa solun koko voi enimmillään olla säteeltään 150 metriä. Mikäli paikannettaessa käyttäjän sijainniksi annetaan tukiaseman sijainti, suurin mahdollinen paikannuksen virhe on sama kuin solun säde.

Matkapuhelinverkoissa signaalimittauksia käyttävillä paikannusmenetelmillä päästään tällä hetkellä parhaimmillaan hieman alle sadan metrin tarkkuuteen. Näissäkin menetelmissä tarkkuuteen kuitenkin vaikuttaa solujen koko, ja tarkkuus on heikompi

syrjäisemmillä alueilla, joissa solukoot ovat huomattavasti suurempia. Tiheämmin asutuilla alueilla ongelmia taas aiheuttavat ympäristön, kuten esimerkiksi rakennusten, vaikutukset signaalien etenemiseen. Ottamalla lisäksi käyttöön GPS satelliittipaikannusjärjestelmä voidaan paikantamisessa päästä jopa metrin tarkkuuteen. GPS:n etuna on maailmanlaajuinen kattavuus, mutta kuten edellä totesimme, myös GPS:lle esimerkiksi korkeat rakennukset aiheuttavat helposti katvealueita, eikä se käytännössä toimi lainkaan sisätiloissa (ks. LIITE 2).

Taulukossa 9 on esitetty arvioita tässä luvussa esitetyillä paikannustekniikoilla saavutettavista tarkkuuksista. Tarkkuudet ovat suuntaa antavia arvioita, koska monet tekniikoista ovat edelleen kokeiluasteella.

TAULUKKO 9: Arvioita eri paikannustekniikoilla saavutettavista tarkkuuksista

Paikannustekniikka	**Arvioitu tarkkuus**
Cell Of Origin (COO)	Solukoosta riippuen noin 300 metristä useisiin kilometreihin
Time Of Arrival (TOA)	100 - 300 metriä
Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)	60 - 200 metriä (Swedberg 1999)
Langaton lähiverkko (WLAN)	Solukoosta riippuen noin 30 - 150 metriä
Global Positioning System (GPS)	10 – 30 metriä
Differential GPS (DGPS)	alle 10 metriä
Assisted GPS (A-GPS)	alle 10 metriä
Bluetooth	alle 10 metriä

GSM-verkon paikannuspalvelulle ehdotettuja paikannustekniikoita ovat TOA, E-OTD ja A-GPS (3GPP 2001, 12). UTMS-verkon ensimmäisessä vaiheessa tuetut paikannustekniikat ovat COO, A-GPS ja E-OTD (3GPP 2000e).

Kuten edellä olevasta huomataan, eri verkkojen mahdollistamilla paikannusmenetelmillä saavutetaan hyvin erilaisia tarkkuuksia, ja eri menetelmät soveltuvat erityyppisiin ympäristöihin. Lisäksi tietyn menetelmän tarjoama tarkkuus voi vaihdella paljonkin käyttöympäristöstä riippuen. Käyttäjän liikkuessa ympäristöstä toiseen myös paikantamisen on mukauduttava muutoksiin. Tämän vuoksi edellisessä kohdassa (ks. 4.4) käsitelty paikannusmenetelmien yhteistoiminta olisi tärkeää, jotta paikannustarkkuudessa päästäisiin aina parhaaseen mahdolliseen tulokseen. Yhteistoiminnan ansiosta voitaisiin aina käyttää kuhunkin tilanteeseen ja ympäristöön parhaiten soveltuvaa menetelmää.

4.6 Yhteenveto paikannustekniikoista

Paikannusteknologiaa valittaessa ratkaisee yleensä kaksi asiaa, käyttötarkoitus ja kustannukset. Käyttötarkoitus voidaan vielä jakaa vaadittuun kattavuuteen ja paikannustarkkuuteen. Käytössä olevista paikannustekniikoista yksikään ei sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin. GPS-vastaanottimet ovat melko tarkkoja, mutta ne ovat kalliita ja niitä ei voida käyttää sisätiloissa. Matkapuhelinverkkojen paikannustekniikoita voidaan taas käyttää sekä sisä- että ulkotiloissa, mutta niiden avulla määritelty sijainti on usein liian epätarkka. Rajatuilla alueilla voidaan käyttää erillisratkaisuja, jotka tarjoavat kustannustehokkaasti tarkkoja paikannuspalveluita.

Riittävän kattavuuden ja tarkkuuden saavuttamiseksi tulee käyttää useita paikannustekniikoita. Esimerkiksi matkapuhelinverkoissa voidaan tulevaisuudessa käyttää verkkoavusteista GPS-paikannusta laadukkaamman palvelun toteuttamiseksi. GPS-paikantamisesta taas saadaan tarkempaa käyttämällä erillisiä referenssiasemia paikantamisen apuna. Eri paikannustekniikat siis tukevat toistensa toimintaa. Lisää tutkimusta vaatii yhteistoiminnan laajentaminen käsittämään myös siirtymiset eri tilojen ja paikannustekniikoiden välillä. Lisäksi tulisi tutkia mahdollisuuksia käyttää aivan uusia teknologioita paikan määrittämiseen. Yksi tällaisista teknologioista saattaa olla aiemmin esittelemämme Bluetooth-verkko. Vaatimukset yhä tarkempien paikkatietojen saavuttamiseksi kasvavat koko ajan (3GPP 2000d, 14; Ward 1998, 16).

Yleisesti vallitsevan käsityksen mukaan paikannustekniikoiden käyttämisen tulee olla läpinäkyvää sovelluksille (Ward 1998, 99) ja paikkatiedon esittämismuodolle pitää sopia universaali esittämismuoto (3GPP 2000d, 12). Tämä auttaa tulevien teknologioiden käyttöönotossa, sillä uudet ominaisuudet saadaan käyttöön ilman sovellusten muuttamista.

Tässä luvussa selvitimme millaisia paikannustekniikoita voidaan käyttää kohteiden paikantamiseen niin sisä- kuin ulkotiloissa. Seuraavassa luvussa käsittelemme yhtä liikkuvan tietojenkäsittelyn sovellusaluetta, paikkatietoisia sovelluksia. Luvussa muodostetaan luokittelu paikkatietoisille sovelluksille ja esitellään luokitteluun sijoitettuja sovellusesimerkkejä.

5 PAIKKATIETOISET SOVELLUKSET JA PALVELUT

Mark Weiser (1993) on osuvasti sanonut: "Applications are of course the whole point of ubiquitous computing." Kehittyneet tekniikat mahdollistavat nopean langattoman tiedonsiirron, ihmisten vapaan liikkumisen ja heidän sijaintinsa määrittämisen paikassa kuin paikassa. Teknologian suomilla mahdollisuuksilla ei kuitenkaan ole mitään arvoa, ellemme pysty rakentamaan niitä hyväksikäyttäviä sovelluksia ja palveluita. Weiser (1991) jatkaa: "Ubiquitous computers will help overcome the problem of information overload." Käyttäjälle pitää siis pystyä tarjoamaan hänen tarvitsemaansa informaatiota silloin ja vain silloin kun hän sitä haluaa. Paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden avulla informaatiota voidaan tarjota käyttäjille paikkaan ja tilanteeseen sopivalla tavalla. Näin saadaan entistä täsmällisempää informaatiota ja vältetään kuormittamasta käyttäjää aiheettomasti.

Käsitteiden sovellus ja palvelu erottaminen toisistaan ei ole helppoa. *Sovellukset* ovat kuitenkin ydin, jonka avulla voidaan rakentaa erilaisia palveluita käyttäjille. *Palvelut* ovat taas käyttäjälle tarjottavia ratkaisukeinoja jonkin tehtävän suorittamiseen. Ero on kuitenkin häilyvä, sillä tarkastelunäkökulman mukaan sovellus saattaa olla palvelu ja päinvastoin. Käyttäjä saattaa esimerkiksi mieltää tarjotun opastus-toiminnon palveluna, mutta palveluntarjoajan näkökulmasta toiminto on palvelimella toimivan sovelluksen käyttöä. Toisaalta opastus saattaa olla langattomalla tietojenkäsittelylaitteella käytettävä palvelu, mutta yhtä lailla se voi olla esimerkiksi autoon asennettu GPS-karttasovellus. Tässä luvussa sovellus ja palvelu on pyritty erottamaan toisistaan. Paikkatietoinen sovellus on laitteelle asennettu ohjelmisto, joka sijaintitiedon saatuaan kykenee toimimaan itsenäisesti. Palvelu taas voi koostua useista sovelluksista tai palveluista, joita tarjoavat usein ulkopuoliset palveluntarjoajat. Palvelut eivät välttämättä tarvitse erillistä ohjelmistoa laitteelle, vaan ne voivat käyttää palveluntarjoajan palvelimilla olevia sovelluksia ja tietoja.

Kohdassa 5.1 muodostamme luokittelun paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille. Jokainen luokka käsitellään omassa kohdassaan aikaisempien tutkimusten, kaupallisten

palveluiden ja omien esimerkkien avulla. Luvun yhteenvedossa kokoamme vielä esitellyt sovellukset ja palvelut tehtyyn luokitteluun.

5.1 Luokittelu paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille

Vaikka paikkatietoisia sovelluksia on ollut olemassa jo 1990-luvun alusta, sovellusluokitteluita ei ole juurikaan tarjolla. Toisaalta erilaisia palveluiden kategoriointeja ja palveluhierarkioita on kyllä olemassa useita. Eri yritykset, tutkimuslaitokset ja standardointiorganisaatiot korostavat näissä jaotteluissa hieman eri asioita. Usein näkökulmat rakentuvat tietyn aihepiirin tai sovellusmarkkinoiden ympärille, eikä jaotteluissa ilmeisesti ole pyrittykään täydelliseen kattavuuteen. Harmittavaa on, että monesti ollaan tyydytty vain listaamaan sovellusluokat tarjoamatta kovinkaan paljon perusteita niiden muodostamiselle tai esimerkkejä niiden sisällöstä.

Esittelemme seuraavaksi aiemmin esitettyjä jaotteluita ja luokitteluja paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille, ja pyrimme niitä yhdistelemällä ja täydentämällä luomaan luokittelumme. Yksittäisiä luokkia ja niihin liittyviä sovelluksia ja palveluita esittelemme sitten seuraavissa kohdissa.

Liikenneministeriön laajan NAVI-hankkeen KEN-projektissa on määritelty ulottuvuudet paikkatietoisten palveluiden luokitteluun. Näitä ulottuvuuksia ovat käyttäjä, käyttötarkoitus, ympäristö, välineet ja palvelun luonne (Kaasinen, Ahonen, Anttila, Luoma & Penttinen 2001). Kirjoittajat toteavat, että kaksi yleisintä luokittelukriteeriä ovat käyttäjät ja käyttötarkoitus.

Xerox PARC:in ParcTab-projektissa luotiin kategorioita liikkuvan tietojenkäsittelyn eri sovellusalueille. Schilitin, Adamsin ja Wantin (1994) mukaan paikkatietoiset sovellukset voidaan jakaa neljään kategoriaan: läheisyyteen perustuvaan valikointiin (proximate selection), kontekstin uudelleenmäärittelyyn (automatic contextual reconfiguration), konteksti-informaatioon ja komentoihin (Contextual Information and Commands) ja tilannereagointiin (Context-Triggered Action). Samankaltaisen idean on

esittänyt myös Maass (1998, 160-161) puhuessaan tapahtumapalveluista (trigger / event services). ParcTab-projektin loppuraportissa käsitellään lisäksi kutsunta- ja viestintävälinesovelluksia sekä tietokoneavusteisia ryhmätyö- (CSCW) ja etäohjaussovelluksia (remote control) (Want ym. 1995).

Tutkimusyritys Strategis Group (SG 2000) jakaa paikkatietoiset palvelut tapahtuma-, informaatio-, seuranta- ja kolmannen osapuolen avustamispalveluihin. Palveluhierarkia sisältää erilaisia palveluita laskutukseen, mainontaan, navigointiin ja ihmisten etsimiseen.

UMTS Forum on ollut mukana määrittelemässä mahdollisia kolmannen sukupolven verkkojen palveluita (2000a, 35). UMTS Forumin mukaan tärkeitä palveluita ovat erilaiset navigointi-, informaatio-, seuranta-, tapahtuma-, laskutus ja avustuspalvelut. Navigointi käsittää eri paikkojen välillä liikkumisen ja informaatiopalveluita ovat erilaiset tilaus-, varaus- ja kohdeinformaatiopalvelut. Seurantapalveluita on sekä omaisuuden että ihmisten etsimiseen ja tarkkailuun. Tapahtumapalvelut voivat liittyä esimerkiksi mainontaan. Yhdessä laskutuspalveluiden kanssa niiden avulla on mahdollista laskuttaa henkilöitä alueen ja tilanteen mukaan. Avustuspalvelut auttavat käyttäjiä ongelma- ja hätätilanteissa.

Myös 3GPP on esittänyt esimerkkejä paikkatietoisista palveluista. (3GPP 2000a, 30-34). Niitä ovat yleiseen turvallisuuteen, laskutukseen, seurantaan, puheluiden reititykseen, informaatioon ja verkon suorituskyvyn parantamiseen liittyvät palvelut. Turvallisuuspalvelut voivat käsittää esimerkiksi hätäpuheluiden paikantamisen tai varoitustiedotteiden lähettämisen. Informaatiopalveluita ovat erilaiset navigointi-, nähtävyys-, palveluhakemisto- ja yleislähetyspalvelut.

Paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden luokittelu on haastavaa, eikä tässäkään tutkielmassa pyritä muodostamaan täysin kattavaa luokittelua. Toisaalta luokittelussa pyritään varsin laaja-alaiseen sovellusten ja palveluiden tarkasteluun rajoittumatta yksistään matkapuhelinverkoissa tarjottaviin palveluihin. Tarkoituksena onkin antaa lukijalle parempi käsitys aihealueen laajuudesta ja monipuolisuudesta. Tähän

luokitteluun voidaan sitten sijoittaa suuri osa jo tehdyistä tieteellisistä ja kaupallisista sovelluksista ja palveluista. Koska kyseessä on akateeminen työ, pääpaino tulee kuitenkin olemaan tieteellisissä tutkimuksissa. Kiistämättä suuri osa paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden kehityksestä tapahtuu yritysmaailmassa, jonka vuoksi esittelemme osittain myös tätä kaupallista kehitystä.

Luokittelumme on jaettu käyttäjäryhmien mukaan seuraaviin yläkategorioihin: 1) yleiset sovellukset ja palvelut, 2) verkon tuki- ja ylläpitosovellukset, 3) erityissovellukset ja palvelut. *Yleisten sovellusten ja palveluiden* tarkoituksena on helpottaa tai antaa lisäarvoa esimerkiksi ammatin hoitamiseen tai päivittäisten asioiden toimittamiseen, ja ne on kohdennettu kaikille kuluttajille. *Verkon tuki- ja ylläpitosovellusten* avulla pyritään taas kehittämään kuluttajille suunnattujen palveluiden laatua ja kohdentamaan niistä koituvat kustannukset paremmin. Sovellusten käyttäjiä ovat ennen kaikkea operaattorit ja palveluntarjoajat. *Erityissovellusten ja -palveluiden* käyttäjiä ovat pääosin viranomaiset ja niiden toiminta on tarkoin säädeltyä. Käyttäjäryhmien määrittelyn jälkeen tarkennamme luokittelua muodostamalla käyttötarkoituksen mukaisia sovellus- ja palvelualueita. Tällaisia ovat *viestintä-, informaatio-, seuranta-, laskutus-* ja *viranomaissovellukset ja -palvelut* sekä *lähi-* ja *sisäiset sovellukset.*

Viestintäsovelluksissa ja -palveluissa paikkatietoa voidaan käyttää hyväksi auttamaan viestien kohdentamisessa. *Informaatiosovellukset ja -palvelut* liittyvät jollain tavalla informaation saamiseen, levittämiseen ja hyväksikäyttöön. Luokan suuruuden takia se on kuitenkin syytä määritellä kohdennetumpiin alaluokkiin - näin saadaan selkeämpi kuva informaatiosovellusten tarjoamista ydinpalveluista, joita ovat navigointi, etsintä ja kohdeinformaation hankkiminen. *Seurantasovellusten ja -palveluiden* avulla seurataan (tracking) tiettyä tunnistettua tai anonyymia kohdetta, tai ne voivat tarkkailla (monitoring) jotain tiettyä aluetta. Seurannan tehtävänä on valvoa kohteen sijainnissa tapahtuvia muutoksia ja mahdollisesti tallentamaan niistä tietoja. *Sisäisten sovellusten* avulla parannetaan välillisesti loppukäyttäjien palveluiden laatua. *Lähisovellusten* toiminta taas on kiinteästi sidoksissa johonkin tiettyyn paikkaan ja liittyy usein vain laitteiden hallintaan. *Laskutuspalveluiden* avulla käyttäjälle voidaan tarjota tuotteita ja palveluita, joiden hintaa voidaan muuttaa sijainnin mukaan. Puheluiden laskutuksen

lisäksi tulee ottaa huomioon myös muunlainen sijaintiin perustuva laskuttaminen. Näitä palveluita tulevat operaattorien lisäksi tarjoamaan myös kolmannet osapuolet. Erityisryhmänä voidaan pitää *viranomaissovelluksia ja -palveluita*. (TAULUKKO 10)

TAULUKKO 10: Paikkatietoisten sovellusten ja -palveluiden luokittelu käyttäjäryhmittäin ja käyttötarkoituksittain

Käyttäjäryhmä	**Luokka**	**Käyttötarkoitus**
Kuluttajat	*Viestintä*	Hyödyntävät paikkatietoa viestien kohdentamisessa oikealle henkilölle sopivaa viestivälinettä käyttäen.
	Informaatio	Käytetään paikasta toiseen suunnistamisessa, kohteiden etsimisessä ja lisätietojen hankkimisessa.
	Seuranta	Seuraavat tiettyä tunnistettua tai anonyymia kohdetta, tai tietyllä alueella olevia kohteita.
	Lähi	Sovellukset, joiden avulla voidaan hallita erilaisia laitteita ja/tai ne reagoivat lähellä oleviin ihmisiin.
Operaattorit ja palveluntarjoajat	*Laskutus*	Tarjotaan käyttäjälle tuotteita ja palveluita, joiden hintaa voidaan muuttaa sijainnin mukaan.
	Sisäiset	Auttavat verkkoyhteyksien ja palveluiden tarjoajia parantamaan palveluiden laatua paikantamista käyttäen
Viranomaiset	*Viranomais*	Viranomaisten käyttämiä yleistä turvallisuutta parantavia sovelluksia.

5.2 Viestintäsovellukset ja -palvelut

Kleinrockin (1996) luonnehdinnan mukaan ihmiset ovat pohjimmiltaan paimentolaisia (nomads). Tällä hän tarkoittaa sitä, että ihmiset liikkuvat luontaisesti paljon – joko tietyn alueen sisällä tai paikkojen välillä. Esimerkiksi työpaikalla moni tekee töitä oman työpisteen lisäksi muiden työtekijöiden luona, ryhmätyötiloissa, kirjastotiloissa tai jopa kahvihuoneissa. Tämä usein toistuva ympäristöstä toiseen siirtyminen aiheuttaa ongelmia henkilöitä tavoiteltaessa. Matkapuhelimet ovat helpottaneet tilannetta

huomattavasti, mutta niidenkään ominaisuudet eivät vielä riitä aivan kaikkeen. Lisäksi kaikilla ei kuitenkaan ole työn puolesta matkapuhelinta tai sitä ei voi käyttää luontevasti tietyissä tilanteissa. Toisaalta nykyiset älypuhelimet ja PDA-laitteet ovat myös tiedonsiirtokyvyiltään rajattuja, käyttöympäristö poikkeaa pöytäkoneesta ja ne soveltuvat varsin huonosti usean henkilön yhtäaikaiseen ryhmäkäyttöön.

Viestintää helpottaville sovelluksille ja palveluille on selvä tarve. Useat vaikeudet ratkeavat sillä, että voidaan käyttää hyväksi paikkatietoa. Yksi ensimmäisistä paikkatietoisista sovelluksista perustui Olivetin aktiivimerkkeihin (ks. kohta 4.3) (Want ym. 1992). Puhelinvaihteen hoitaja pystyi sovelluksen avulla näkemään, oliko joku tietty henkilö työpaikalla ja missä hän parhaillaan oleili. Tiedon saatuaan vaihteen hoitaja pystyi ohjaamaan puhelun lähimpään puhelimeen. Myöhemmissä sovelluksissa *puheluiden reititys* saatiin täysin automaattiseksi (Starner ym. 1997, 1). Nykyisin matkapuhelin korvaa tarpeen puheluiden reititykseen, mutta henkilön sijaintia (työpaikalla / ei työpaikalla, kahvihuoneessa / työpisteellä) ne eivät pysty välittämään riittävällä tarkkuudella.

Xerox PARC:in tutkimuksissa taas kehitettiin sovelluksia viestien lähettämiseen tietyssä paikassa tai paikoissa oleville ihmisille (note distribution), viestintään oikeana aikana parhaiten soveltuvaan laitteeseen (Ubiquitous Message Delivery, UMD), ja tilanteeseen sopivimman viestintävälineen käyttämiseen (Media Call) (Spreitzer & Theimer 1993). Näitä *täsmäviestintäsovelluksia* voidaan käyttää vaikkapa informoitaessa tietyssä rakennuksen osassa työskenteleville sähkö- ja putkimiehille sähköjen ja vedentulon katkaisusta. Viestit voidaan lähettää kokoushuoneen digitaaliselle piirtotaululle sen koskiessa kaikkia läsnäolijoita, kun taas henkilökohtaiset viestit ilmaantuvat kannettavan tietokoneen näytölle. Jos henkilö on kieltänyt viestien läpitulon kokouksen ajaksi, voidaan ne esittää hänelle heti kokoushuoneesta poistumisen jälkeen lähimmällä päätteellä. Kaupallisia operaattoreille myytäviä täsmäviestintäpalveluita on tarjolla useita, varsinkin *aluekohtaisten liikennetiedotteiden jakamiseen*. Tällaisia on mm. Cambridge Positioning Systemin Coverge, SignalSoftin local.info ja TimesThreen Traffic-tuote (LIITE 3). Kuluttajille suunnattujen maksullisten palveluiden lisäksi tarjolle saattaa tulevaisuudessa tulla myös (osittain) julkisia liikennetiedotepalveluita,

joita alustavan toimintasuunnitelman mukaan Suomessa tarjoaisi Tiehallinto (Kaasinen ym. 2001, 6). Myös *kohdennetun markkinointiviestinnän* avuksi on mahdollista rakentaa sovelluksia ja palveluita, joiden avulla kauppa voisi mainostaa läheisyydessä oleville asiakkailleen kaupan tarjoustuotteita.

Valintamahdollisuus viestin esittämismuodolle taas määräytyy sen mukaan, missä henkilö parhaillaan on, millaisia tietojenkäsittelylaitteita on tarjolla viestin vastaanottamiseen, ja onko paikalla ketään muita (mts.). Paikan ja läsnäolijoiden perusteella voidaan myös päätellä kannattaako henkilöä häiritä – esimerkiksi yksin huoneessa olevalla henkilöllä saattaa olla paremmin aikaa kuin jos huoneessa on useita henkilöitä (Want ym. 1995). Paikkatietoisten viestintäsovellusten avulla voidaan siis vähentää tilanteita, joissa viesti saapuu vastaanottajalle "väärään aikaan väärässä paikassa."

Paikkatietoisia viestintäsovelluksia voidaan hyödyntää myös sosiaalisessa kanssakäymisessä. Tällaista kokeiltiin MIT Media Laboratorion hankkeessa, jossa konferenssin osanottajille jaettiin nimikyltit, joihin pystyi siirtämään mielipiteensä esitetyistä monivalintakysymyksistä (Borovoy ym. 1996). Kun kaksi henkilöä tuli keskusteluetäisyydelle toisistaan, nimikyltti indikoi erivärisillä valoilla kahden henkilön vastausten samankaltaisuuden. Sovelluksen havaittiin olevan avuksi tuntemattomien henkilöiden keskustelunavauksissa. Henkilöiden väliseen viestintään liittyy myös ruotsalaisella radioasemalla testattu NewsPilot-sovellus (Bergqvist, Dahlberg, Fagrell & Redström 1999a). Toimittajien työhön kuuluu suuren informaatiomäärän hallinta, uutisaiheiden äkillinen muuttuminen ja uudelleenpriorisointi. PDA-laitteeseen asennetun sovelluksen tarkoituksena oli lähettää läheisyydessä oleville työntekijöille tietoa työn alla olevasta jutusta, ja näin auttaa kollektiivisen työskentelyilmapiirin luonnissa. Paikkatietoisen sovelluksen avulla voidaan myös tuntuvasti vähentää satunnaisia tapaamisia (mts.). Se voisi ilmoittaa, kun tarvittavat henkilöt ovat seuraavan kerran lähettyvillä ja ohjata heidät lähimpään vapaaseen neuvotteluhuoneeseen palaveria varten.

Viestintää edistävien paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden avulla viestit saadaan toimitettua *oikeaan paikkaan oikeaan aikaan*. Viesti saavuttaa vastaanottajansa vaivattomasti, ja tarvittaessa myös viestin esitysmuotoon voidaan vaikuttaa. Viestintäsovellukset pystyvät vaikuttamaan sosiaaliseen kanssakäymiseen ja järjestymiseen viestittämällä ihmisten mieltymyksistä, työskentelystä ja kokoontumistarpeesta.

5.3 Informaatiosovellukset ja -palvelut

Pystymme nykyisin hankkimaan informaatiota lähes aiheesta kuin aiheesta ajasta ja paikasta välittämättä. Uhkaksi muodostuu kuitenkin informaation ylitarjonta (Redström ym. 1999, 2). Tiedon määrän ylittäessä ihmisen käsittelykyvyn saattaa ihminen joutua infoähkyn uhriksi ja menettää kiinnostuksensa koko asiaan (Koski 1998). Informaation määrää voidaan kuitenkin rajoittaa liittämällä se tiettyyn asiayhteyteen. Sovellus tai palvelu voi esimerkiksi näyttää suunnistusohjeita kaipaavalle vain tietyn kaupungin tai kaupunginosan kartan, majoituspaikkaa etsivä taas saa listan kaikkein lähimmistä hotelleista, ja arkkitehtuurista kiinnostunut voi hakea tietoa vastapäisen rakennuksen suunnitelleesta arkkitehdistä, sen tyylisuunnasta ja rakennusvuodesta. Esittelemme seuraavaksi paikkatietoisia informaatiosovelluksia ja -palveluita, jotka olemme jaotelleet navigointi-, etsintä- ja lisätietokategorioihin.

Vieraassa kaupungissa autolla ajaminen on usein tuskastuttavaa. Määränpään osoitteen tietäminen ei vielä takaa ongelmatonta perillepääsyä: tarvitsemme lisäksi tietoa kaduista, liikennejärjestelyistä ja muusta liikenteestä. Samankaltaiseen ongelmaan saattaa törmätä myös hypermarketissa, jos joutuu etsimään jotain vierasta tai harvemmin käytettävää tuotetta – osastojaottelut ovat kauppakohtaisia ja kaupan tuotevalikoimatkin voivat olla mittavat. Tällaisten tilanteiden varalle on kehitetty *navigointisovellukset ja -palvelut*. Ne näyttävät sinulle reitin lähtöpisteestä määränpäähän, ja tarvittaessa voit jopa valita reittivaihtoehdoista nopeimman tai lyhyimmän. Sovelluksia ja palveluita on tarjolla useita niin maa-, meri- kuin ilmailuliikenteeseenkin. Useiden autonvalmistajien automalleista osaan kuuluu jo

nykyisin vakiovarusteena GPS-paikannuslaite navigointisovelluksineen. Sisätiloissa navigointisovelluksia ja -palveluita on kokeiltu muun muassa ostos- ja tutkimuskeskuksissa sekä sairaaloissa suunnistamiseen (Spreitzer & Theimer 1993; Asthana ym. 1994; Abowd ym. 1997). Operaattoreista Sonera tarjoaa kuluttajille Pointer Router –palvelua, joka tarjoaa arvion tietyn kohteen etäisyydestä ja ajo-ohjeet sinne pääsystä. Pocket-it tarjoaa operaattoreille BackPocket-laitealustaa, jonka avulla käyttäjille voidaan tarjota omalla kielellään reittiopas tiettyyn kohteeseen lyhintä ja/tai nopeinta reittiä. Myös Webraskan tarjoaman Personal Navigation-ohjelmiston avulla on mahdollista saada yksityiskohtaisia (turn-by-turn) ohjeita kohteeseen suunnistamiseksi.

Navigoiminen vaatii määränpään tietämistä. Usein tätä tietoa ei kuitenkaan ole, mutta tarve on sitäkin suurempi. Esimerkiksi turisti haluaisi selvittää kaupungin suosituimmat ravintolat, retkeilijä taas tarvitsisi tiedon lähimmän koskenylityspaikan sijainnista, ja tulostusongelmien kanssa tuskaileva käyttäjä arvostaisi tietoa yrityksen mikrotukihenkilön olinpaikasta. Siksi tarjolla on usein navigoinnin lisäksi myös kohteiden *etsimispalveluita*. Tällaisia ovat esimerkiksi "keltaisten sivujen" kaltaiset palveluhakemistot, joiden avulla käyttäjälle voidaan tarjota yhteystiedot lähimmistä kodinkonehuoltajista joko tekstimuodossa tai näyttämällä sijaintitiedot karttamuodossa (3GPP 2000a, 34). TimesThreen paikkatietoinen hakemisto (L-411) tarjoaa juuri vastaavanlaisen palvelun, jonka avulla voi etsiä kiinnostavia liikkeitä ja palveluja (ks. LIITE 3). Itävaltalaisella Mobilkom-operaattorilla on taas laaja hakemistopalvelu, josta voi etsiä läheisyydessä olevien liikkeiden osoitteita, mutta tarkempaa opastusta ei tarjota. Soneran Pointer Nearest ja Pocket-it:in Proximity tarjoavat tietoa lähellä sijaitsevista palveluista kuten pankeista, posteista, raha-automaateista, taksitolpista ja kahviloista. Markkinoiden kohderyhmänä on varsin usein nuoret ihmiset, joille tarjotaan mm. palveluita ystävien sijaintien etsimiseen. Ainakin Soneran Pointer Friends ja mobilePositionin friendPosition tarjoavat tällaisen palvelun. Palvelun monipuolisuutta voidaan vielä lisätä tarjoamalla löydetyistä kohteesta lisätietoa, jolloin puhutaan *kohdeinformaatiopalveluista*. Tällöin olisi mahdollista tiedustella kodinkonehuoltajien tuntihinnastoja ja korjausjonojen pituutta. Soneran Pointer Neighbourhoodin avulla käyttäjä voi taas saada monipuolisia demografiatietoja tietystä asuinalueesta.

mobilePositionin housePositionin avulla voi selailla tietoja alueen myynnissä olevista asunnoista (ks. LIITE 3).

Olivetin tutkimuksissa rakennetun sovelluksen avulla saadaan selville tietyssä huoneessa olevat henkilöt, sillä voidaan etsiä tietyn henkilön olinpaikkaa tai ainakin paikkaa missä hänet on havaittu viimeksi (Want ym. 1992). AT&T laboratoriossa kehitetyn ostosapulaisen (Personal Shopping Assistant) tarkoituksena on auttaa asiakasta oikeiden tuotteiden löytämisessä ja tarvittaessa kiinnittää huomio uusiin tuotteisiin ja erikoistarjouksiin (Asthana ym. 1994).

Alan tieteellisiä tutkimusalueita tarkastelemalla voidaan todeta *opassovellusten ja -palveluiden* olevan kaikkein suosituimpia tutkimusaiheita. CyBARguiden (Abowd 1996; Abowd ym. 1997) avulla käyttäjä voi suunnistaa Atlantan lähikaupunkialueella eri kohteisiin ja etsiä niistä turistille tarpeellista lisätietoa. Sisätiloihin suunniteltu Cyberguide-versio taas avustaa tutkimuskeskuksessa liikkuvaa käyttäjää kertomalla hänelle tietoa esillä olevista esineistä ja laitteista. Se osaa nimetä tietyissä huoneissa työskentelevät henkilöt ja antaa tietoja käynnissä olevista työprojekteista. Sovelluksella voi myös etsiä lisätietoja samankaltaisista projekteista. Käyttäjä saattaa esimerkiksi olla kiinnostunut kaikista käyttöliittymäprojekteista tai projekteista, joissa joku tietty tutkija toimii. (mts.). Muita vastaavia sovelluksia on rakennettu Berliinin teknisen korkeakoulun Mobile Guide, Georgian (GA/USA) teknisen instituutin Cyberguide, Kistan teknologiainstituutin City Guide ja Lancasterin yliopiston GUIDE -hankkeissa antamaan turisteille sijaintitietoja heidän tutustuessaan kaupunkien lähiöalueisiin ja yliopiston kampusalueeseen (Abowd ym. 1997; Beadle, Maguire Jr., Smith 1998; Davies, Mitchell, Cheverst & Blair 1998; Pfeifer, Magedanz & Hübener 1998). Eräistä ensisijaisesti eri tarkoitukseen rakennetuista sovelluksista saadaan muokattua myös turistiopassovelluksia (ks. esim. Asthana ym. 1994, 5). Vastaavia kaupallisia turistien opaspalveluita ovat Soneran Pointer Guide ja Cambridge Positioning Systemsin Tourist Guides (LIITE 3).

Opassovellukset ja -palvelut ovat sisällöltään varsin samanlaisia, mutta eroja löytyy tiedon talletuksesta ja käytetyistä paikannustekniikoista. Osassa tiedot on talletettu

kiinteästi langattomaan tietojenkäsittelylaitteeseen (esim. Cyberguide), ja osa taas hakee tiedot laitteeseen palvelimelta (esim. GUIDE, Pointer Guide, Tourist Guide). Ratkaisut korostavat siis joko nopeita vasteaikoja ja itsenäisempää toimintaa, tai tiedon ajankohtaisuutta ja laitteiden pienempää tallennuskapasiteettia.

Tiedemaailman rakentamat järjestelmät perustuvat usein laitteelle asennettaviin itsenäisiin sovelluksiin ja GPS paikantamiseen. Kaupalliset ratkaisut taas ovat lähes yksinomaan operaattoreiden ja palveluntarjoajien portaalien kautta tarjoamia palveluita, joita voidaan käyttää matkapuhelimella joko SMS:llä tai WAP:lla. Niissä paikantamiseen käytetään matkapuhelinverkkojen paikannuspalveluita. Laitealusta sisältää yleensä tietyt ydinpalvelut, kuten koordinaattien ja läheisyyden määrittämisen, reittien optimoinnin, etsimisen ja graafiset karttakonversiot. Näitä ydinpalveluita yhdistelemällä voidaan sitten kuluttajille tarjota lukuisa määrä erilaisia palveluita. Ajatellaan vaikkapa seuraavaa esimerkkiä:

> Opasta minut lähimpään paikoitushalliin. Etsi minulle sitten lähin kiinalainen ravintola, jossa on tarjolla Pekingin ankkaa alle 200 mk hintaan. Opasta minut ravintolaan lyhintä mahdollista reittiä, jonka varrella on pankkiautomaatti.

Aluksi selvitetään käyttäjän sijainti paikannuspalvelun avulla. Tämän jälkeen tiedossa on tietty alue, jonka läheisyydestä voidaan sitten etsiä ravintoloita. Etsintäpalvelun avulla rajataan ravintolat sellaisiin, joissa on tarjolla tietty ruoka tiettyyn hintaan. Tämän jälkeen reitin optimointipalvelun avulla määritellään lyhin reitti pankkiautomaatin kautta ravintolaan. Lopuksi tämä reitti näytetään käyttäjälle esimerkiksi matkapuhelimen tyypin mukaan optimoidun kartan avulla.

Käyttäjä on yleisesti ottaen valmis maksamaan saamastaan palvelusta, sillä sen avulla hän voi helposti löytää haluamansa ruokapaikan tai muun palvelun. Yrittäjät taas ovat valmiita maksamaan saamastaan näkyvyydestä, sillä tulevaisuudessa yhä useampi kuluttaja tekee valintansa juuri tällaisten palveluiden avulla. Palveluhakemistoista puuttuvat ravintolat eivät näy hakutuloksissa, joten kuluttaja siten helpommin sivuuttaa nämä ravintolat. Kun kustannuksiin osallistuu sekä yrittäjä että kuluttaja, saattaa palveluidenkin hinta muodostua kohtuulliseksi. Markkinavoimat näkyvät siis väistämättä informaatiopalveluiden antamien tuloksien oikeellisuudessa.

Informaatiosovellusten ja -palveluiden markkinat ovat erittäin laajat, sillä niitä voidaan hyödyntää lukuisissa paikoissa ja tilanteissa. Ne sopivat erinomaisesti esimerkiksi taidemuseoihin, jossa ne auttavat käyttäjää löytämään juuri halutun teoksen tai teokset. Huvipuistoissa palvelu voi auttaa kertomaan, missä laitteissa on juuri nyt lyhimmät jonot tai mitkä laitteista ovat ne suosituimmat. Luontoretkeläiselle taas pystytään tarjoamaan erilaisia luontopolkuvaihtoehtoja ja auttamaan häntä kasvien, puiden ja eläinten pesien tunnistamisessa. Tarjolla on jo nykyisin lisäksi lukuisia ostos- ja viihdepalveluita (Kaasinen ym. 2001, 24).

5.4 Seurantasovellukset ja -palvelut

Sovelluksia, jotka jäljittävät ja seuraavat liikkumista on kehitetty siitä lähtien kun paikannusteknologioita on ollut olemassa. Seurantasovellukset ja -palvelut voidaan jakaa kahteen kategoriaan: tiettyä tunnistettua liikkuvaa kohdetta seuraaviin, ja rajattua aluetta tarkkaileviin. Samalla seuranta voi olla joko kohteita tunnistavaa tai tilastollista tietoa keräävää. Seurannan reaaliaikaisuus määräytyy sen mukaan kuinka usein kohde paikannetaan.

Seurattavat kohteet ovat yleensä joko ihmisiä tai ajoneuvoja. Suuri osa palveluista on tarkoitettu yrityskäyttöön. Tällaisia ovat kuljetuskalustojen ja työntekijöiden liikkumisen seuraamiseen ja hallintaan tarkoitetut palvelut, joita ovat esimerkiksi TimeThrees Fleet Tracking, SignalSoftin BFound-tuotteen @work ja CellPointin Resource Manager (LIITE 3). Cambridge Positioning Systems (CPS) tarjoaa kahta erillistä palvelua, joista Fleet Management on tarkoitettu ajoneuvojen ja Workforce Management ihmisten seurantaan. Lisäksi ihmisten seurantaan on tarjolla CT Motionin Mobile Workforce Management -palvelu. Aiemmin käytössä olleet sovellukset ovat perustuneet paikantamisen osalta GPS-järjestelmään, mutta yhä enenevässä määrin paikannuksessa on alettu käyttämään matkapuhelinverkkojen tarjoamia paikannuspalveluita. Monipuolisimmat tuotteet tukevat molempia tapoja tai jopa niiden yhdistelmiä.

Rajattujen alueiden tarkkailuun tehtyjä paikkatietoisia sovelluksia ja palveluita on huomattavasti vähemmän. CPS:än Family Safety –palvelun avulla vanhemmat voivat ennakolta määritellä lapsiensa koulureitit tarkkailtavaksi. Jos lapsi poikkeaa reitiltä liikaa, sovellus antaa siitä hälytyksen. TimesTreen Geofencing –palvelun avulla voidaan myös määritellä samanlaisia virtuaalialueita - joko antamaan muistutuksen ajoneuvon saapuessa määritetylle alueelle, tai mahdollisesti antamaan hälytyksen ajoneuvon poistuessa luvatta alueelta. Vastaavanlaisia järjestelmiä voitaisiin käyttää myös vankien tarkkailuun. Valvontapalveluissa saatetaan myös käyttää matkapuhelinpaikannusta, mutta esimerkiksi lasten tarkkailussa käytetään erillisiä paikantimia. Alueiden tarkkailua varten on mahdollista rakentaa erillisiä paikannusinfrastruktuureita.

Seurantasovelluksia ja –palveluita voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää myös viihdekäytössä. Niiden avulla esimerkiksi suunnistuskilpailuista saataisiin yleisöystävällisempiä. Katsojat voisivat seurata kilpailijoiden etenemistä videotaululla tai televisiossa näkyvältä kartalta, jolle piirtyisi kilpailijoiden kulkema reitti ja sijainti lähes reaaliaikaisesti. Samanlaisia ideoita voisi hyödyntää myös seurapeleissä.

Syitä seurantasovellusten ja -palveluiden käyttämiseen on useita. Niiden avulla työntekijöiden ja ajoneuvojen työreitit pyritään optimoimaan niin, että kuljetukset ja asiakaskäynnit hoituvat mahdollisimman nopeasti. Kustannustehokkuuden lisäksi tuotteiden käyttöä perustellaan turvallisuusnäkökulmilla – yksin liikkuville työntekijöille seuranta tuo lisää turvallisuutta, ja samoin varmasti ajattelevat myös pienten lasten vanhemmat. Kaluston omistajat kuten autovuokraamot taas voivat varmistaa omaisuutensa tallessa pysymisen.

Kaupallisesta valtavirrasta poikkeavaa seurantasovellusten tutkimusta on tehty erilaisten sisätiloissa toimivien järjestelmien yhteydessä. Nämä järjestelmät käyttävät paikantamiseen sensoreihin perustuvia erillistekniikoita. Lamming ja Flynn (1994) ovat kehittäneet sovellusta, jonka ajatuksena on toimia ihmisen oman *muistin tukena*. Sovellus seuraa käyttäjän liikkumista ja toimintaa tallentaen koko ajan tietoa esimerkiksi siitä missä käyttäjä on liikkunut, keitä hän on tavannut, mitä ohjelmia ja

tiedostoja hän on käyttänyt, mitä sähköposteja hän on lähettänyt ja vastaanottanut sekä keiden kanssa hän on puhunut puhelimessa. Beadle, Maguire ja Smith (1998) ovat esitelleet toimintaperiaatteeltaan hyvin samanlaisen sovelluksen. Heidän automaattinen *päiväkirja-agentti* seuraa käyttäjän liikkumista ja tallentaa tietoa siitä, missä käyttäjä on mihinkin aikaan ollut. Sovellus voi myös paikantaa muita ihmisiä. Näin saadaan talteen tieto siitä, keitä käyttäjä on päivän aikana tavannut. Lisäksi sovellus voi vielä seurata esimerkiksi soitettuja puheluita, käytettyjä laitteita ja käsiteltyjä tiedostoja (Beadle ym. 1998). Borovoy ym. (1996) puolestaan esittävät tekemänsä tutkimuksen tulevaisuuden laajennuksena sovellusta, joka seuraisi käyttäjien sosiaalista kanssakäymistä eri ihmisten kanssa ja tallentaisi siitä tilastollista tietoa. Eri verkko- ja paikannustekniikoiden yhteistoiminnan avulla nämä esitellyt sovellukset voitaisiin laajentaa toimimaan myös ulkotiloissa, jolloin saataisiin kattavaa tietoa koko päivän tapahtumista.

5.5 Lähisovellukset

Informaation hyödyntäminen ja laitteiden hallinta vaativat joskus fyysistä läsnäoloa tietyssä paikassa. Etäisyys toimiikin eräänlaisena informaation suodattimena (Redström ym. 1999, 1-2) – mitä kauempaa kohdetta tarkastelee sitä vähemmän yksityiskohtia erottaa. Vaikka ihmisen aistit ovatkin taitavia poimimaan signaaleita ympäristöstä, emme mekään pysty osallistumaan keskusteluun jota emme kuule tai kommentoimaan uutta asiaa mitä emme näe. Läsnäoloa on käsitelty erityisesti lähitietoisuuden (proximity awareness) tutkimuksissa, joissa rakennettuihin sovelluksiin tutustutaan seuraavaksi hieman tarkemmin. Ne eroavat muista paikkatietoisista sovelluksista siinä, että niiden toiminta perustuu lähes yksinomaan suhteellisen sijainnin hyödyntämiseen. Ainoastaan kohteiden keskinäisellä etäisyydellä on merkitystä, joten sovelluksien käyttö onnistuu niin sisällä kuin ulkonakin.

Schilitin ym. (1994) mukaan lähisovelluksilla voidaan *hallita eri laitteita*. Sovelluksien avulla voimme käyttää jossain tietyssä huoneessa olevaa tulostinta, näyttöpäätteitä ja videolaitteita. Hodes ja Katz (1998) esittelevät arkkitehtuurin, jonka avulla ympäristön

tarjoamat palvelut voidaan löytää ja joita sitten käytetään yhteisten rajapintojen avulla. Ympäristöstä tulee siis eräällä tapaa älykäs, kun sitä voidaan hallita ja se reagoi siellä oleviin ihmisiin. Näissä *reagoivissa ympäristöissä* (Spreitzer & Theimer 1993, 271) ja *älykkäissä huoneissa* (Beadle ym. 1998, 9-12) lämmitys, ilmastointi ja valaistus vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon henkilöitä on paraikaa läsnä. Lisäksi lähisovelluksen avulla huoneen ovet voidaan aukaista kulkuoikeudet omaavan käyttäjän tullessa riittävän lähelle (Beadle ym. 1998, 9,11).

Tarkemmat paikannusteknologiat tekevät mahdolliseksi yhä monipuolisemmat sovellukset. Niiden avulla pystytään siirtämään auki olevan tietojenkäsittelylaitteen *näkymä toiseen laitteeseen* käyttäjän liikkuessa (Ward ym. 1997). Tällöin tosin paikkatiedon lisäksi pitää tietää käyttäjän katselusuunta ja asento. Toinen uusi sovellus on taas henkilön liikkumista *seuraava videointijärjestelmä*, joka vaihtaa kameraa sen mukaan mistä henkilö näkyy parhaiten. Yksi toteutuskelpoinen idea on Beadlen ym. (1998) esittelemät *"älykkäät" kuntoilulaitteet.* Niihin voidaan ladata henkilökohtaisen kuntoiluohjelman mukaiset asetukset painoineen ja tekniikkaopasteineen silloin, kun henkilö on tarpeeksi lähellä laitetta.

Lähisovellusten ei aina tarvitse kuitenkaan liittyä ainoastaan laitteiden hallintaan. Äskeistä kuntoilusovellusta voitaisiin laajentaa edellisessä kohdassa käsitellyn seurantasovelluksen avulla, jolloin laite muistuttaisi edellisellä kerralla suoritetuista toistomääristä tai saavutetuista huippupainoista. Myös tilastotietoja voitaisiin kerätä myöhempää analysointia varten. (Beadle ym. 1998, 14) Erittäin hyödyllisiä sovelluksia ovat paikkaan tai henkilöihin assosioituvat *muistuttajat* (Schilit ym. 1994, 88) ja *tehtävälistat* (to-do lists) (Bergqvist ym. 1999a; ks. Bergqvist, Dalhberg, Kristoffersen & Ljungberg 1999b). Kun mikrotukihenkilö seuraavan kerran menee atk-luokkaan, langaton tietojenkäsittelylaite muistuttaa häntä asentamaan verkkokortin tiettyyn koneeseen. Projektipäällikön tavatessa seuraavan kerran pääinsinöörin laite kehottaa mainitsemaan uusista asiakasvaatimuksista, tai muistuttamaan kokoonpanohallin linjastotyöntekijöitä merkkaamaan talvilomapäivät yhteiseen kalenteriin.

Lähisovellusten kanssa ei tarvitse käyttää verkkoperustaista - tai GPS-paikannusta. Verkkotekniikoista läheisyyden tunnistamiseen soveltuu hyvin Bluetoothin kaltaiset henkilökohtaisen alueen paikannustekniikat.

5.6 Laskutuspalvelut

Sijaintiin perustuvan laskutuksen avulla operaattori voi veloittaa käyttäjältä erisuuruisia yhteysmaksuja eri alueilla. Käyttäjälle voidaan esimerkiksi tarjota halvempia hintoja niillä alueilla, joilla hän useimmiten käyttää yhteyksiä. *Erihintaisia laskutusalueita* voivat olla esimerkiksi käyttäjän kodin ympäristö, työmatkan reitti tai työpaikka. Alueet voivat vaihdella kooltaan ja muodoltaan ja perustua joko tietyn solun peittoalueeseen tai olla solujen rajoista täysin riippumattomia erillisiä alueita. Yksittäisen henkilön lisäksi laskutusalueet voidaan määritellä koskemaan tiettyä ryhmää. Esimerkiksi yrityksen työntekijöille voidaan asettaa yhdeksi laskutusalueeksi yrityksen toimitilat. Käyttäjän on kuitenkin aina oltava tietoinen siitä, mitä hänen käyttämänsä palvelut maksavat, joten laskutusalueen ja hintojen muuttumisesta käyttäjän liikkuessa on jollain tavoin ilmoitettava hänelle. (3GPP 2000a). Ainakin SignalSoft tarjoaa operaattoreille sovellusta kuvaillun kaltaisen palvelun toteuttamiseen. Alkuvaiheessa toiminta perustuu solupaikannukseen, ja tarkempia menetelmiä luvataan tukea heti niiden tullessa tarjolle (LIITE 3).

Verkon tarjoamien palveluiden alueellisen laskuttamisen lisäksi myös jonkin kolmannen osapuolen tuottamien maksupalveluiden hinnat voivat perustua paikkatietoon. Tällainen palvelu voisi olla esimerkiksi auton pysäköintimaksun maksaminen suoraan mukana olevalla langattomalla tietojenkäsittelylaitteella. Pysäköintimaksu määräytyy usein tiettyjen alueiden mukaan riippuen siitä, kuinka kaukana kaupungin keskustasta pysäköintialue on. Paikantamisen avulla voitaisiin selvittää millä alueella maksun suorittaja on, ja maksu määräytyisi alueen ja pysäköidyn ajan mukaan. Toinen palveluesimerkki voisi olla maksaminen joukkoliikenteessä, jossa käyttäjä paikannettaisiin matkan alkaessa ja päättyessä, ja maksettavan matkalipun hinta

määräytyisi automaattisesti kuljetun matkan perusteella. Kolmas liikenteeseen liittyvä palvelu saattaisi olla tietullien automaattinen maksaminen.

Soveltuvien laskutusmallien löytäminen aiheuttaa varmasti paljon keskustelua tulevaisuudessa. Liian monimutkaiset laskujen määräytymisperusteet tai epäluottamus paikannuksen tarkkuuteen saattavat muuten karkottaa paljon potentiaalisia palveluiden käyttäjiä.

5.7 Sisäiset sovellukset

Verkon tuki- ja ylläpitotoiminnoista vastaavat operaattorit voivat kehittää omaa toimintaansa paikkatietoa hyödyntämällä. Kuten kohdassa 4.1 on todettu, matkapuhelinverkko tietää minkä solun alueella verkkoon kytkeytyneet laitteet ovat. Tiedon avulla tulevat puhelut pystytään reitittämään oikeaan paikkaan. Tarkempaa paikkatietoa voidaan käyttää esimerkiksi *älykkäämpien vaihtoneuvotteluiden toteuttamiseen, tehokkaampaan kanavien jakamiseen, palvelun laadun parantamiseen ja verkon suunnittelun avustukseen* (3GPP 2000a, 34).

Vaihtoneuvotteluista voidaan tehdä toimivampia, kun ne voivat perustua muihinkin tekijöihin kuin pelkästään signaalien voimakkuuksiin. Tarkemmalla sijainnilla pystytään paremmin määrittämään parhaiten palveleva tukiasema, ja laitteen liikkuessa voidaan seurata esimerkiksi liikesuuntaa ja nopeutta. Näiden tietojen avulla palvelevan tukiaseman vaihdot saadaan älykkäämmiksi.

Käyttäjien sijainnin ja erityisesti liikkumisen seuraaminen mahdollistaa monimutkaisten algoritmien kehittämisen kanavien jakamiseen. Sijainnin perusteella tiedetään käyttäjämäärät ja kanavien tarve tietyllä alueella, ja liikkumista seuraamalla voidaan jopa tehdä arvioita siitä, mikä tilanne on tietyn ajan kuluttua.

Palvelun laadun parantamiseksi operaattorit voivat käyttää paikkatietoa hyväkseen tunnistamalla alueita, joilla palvelun laatu on selvästi heikompaa. Paikantamalla

esimerkiksi alueet, joissa käyttäjien yhteydet verkkoon katkeavat, voidaan selvittää ongelmalliset alueet ja mahdolliset ongelmien syyt.

Paikkatieto voi hyödyttää operaattoreita myös verkon suunnittelussa. Seuraamalla puheluiden alueellista jakautumista ja käyttäjien liikkumista voidaan verkon suunnittelua varten tilastoida verkon kuormitusta tietynlaisilla alueilla ja mallintaa käyttäjien liikkumista.

Edellä esitellyt verkon sisäisesti hyödyntämät paikkatietoiset sovellukset vaativat lisää tutkimusta. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota käyttäjän yksityisyyttä ja tietoturvaa koskeviin ongelmiin.

5.8 Viranomaissovellukset ja -palvelut

Langattomien puhelimien käyttäjämäärien kasvaessa myös yhä useampi hätäpuhelu soitetaan niillä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa jo vuonna 1998 soitettiin keskimäärin lähes satatuhatta langatonta hätäpuhelua päivässä (FCC 1999, 2). Soitettaessa yleisiin hätänumeroihin langattomasta puhelimesta menetetään usein kallista aikaa, kun soittajan sijainti on pystyttävä selvittämään ennen kuin apua voidaan lähettää. Pelastushenkilökunnalle on merkittävästi hyötyä siitä, että soittajan sijainti saadaan välittömästi tietoon automaattisesti; hätätilanteessa kun soittaja ei välttämättä aina edes tiedä tarkkaa sijaintiaan tai ei pysty sitä kertomaan. Paikantamisella voidaan huomattavasti *nopeuttaa ja tehostaa avunsaantia*, ja kun oikeanlaista apua saadaan ripeästi paikalle, saatetaan usein jopa pelastaa ihmishenkiä. Varovaisenkin arvion mukaan pelkästään Yhdysvalloissa tapahtuvissa auto-onnettomuuksissa menetetään vuosittain noin 1200 ihmishenkeä sen vuoksi, että onnettomuuspaikasta ei saada ajoissa tietoa pelastushenkilökunnalle (mts.). Yhdysvalloissa FCC antoikin vuonna 1996 määräykset hätäpuheluiden paikantamisesta langattomissa verkoissa. Ensimmäisessä vaiheessa huhtikuusta 1998 alkaen paikantamisen on täytynyt olla mahdollista solun tarkkuudella (FCC 1996). Toisen vaiheen määräyksiä on viimeksi tarkistettu vuonna 1999 (FCC 1999). Määräysten mukaan *verkkoon perustuvia paikannusmenetelmiä*

käytettäessä 67% puheluista on pystyttävä paikantamaan 100 metrin tarkkuudella ja 95% 300 metrin tarkkuudella. Vastaavat rajat *laitteisiin perustuvilla paikannusmenetelmillä* ovat 50- ja 150 metriä. Näiden määräysten mukainen paikantaminen on oltava mahdollista lokakuusta 2001 alkaen (mts.; FCC 2001). Euroopassa langattomista verkoista soitettujen hätäpuheluiden paikantamisesta ei vielä ole yhtenäistä määräystä. Euroopan komissio on esittänyt direktiiviksi, että paikkatiedon välittäminen hätäpuheluista tulisi olla mahdollista tammikuusta 2003 alkaen (EUC 2000, 16).

Timesthree ja SignalSoft mainostavat omien *E911- ja W911-palveluidensa* täyttävän FCC:n mandaatin esittämät vaatimukset. Ne eivät vaadi muutoksia olemassa oleviin matkapuhelimiin (LIITE 3). Suomessa Soneran Pointer SOS tarjoaa samankaltaista palvelua, jonka avulla matkapuhelimen sijainti välittyy hälytyskeskukseen. Pidempiaikaisempia kokemuksia viranomaispalveluista on Mgine technologiesilla, jonka *E112-palvelu* on ollut käytössä Virossa kesän 2000 testikokeilun jälkeen. E112 perustuu (tarkennettuun) solupaikannukseen, jonka ansiosta sillä pystytään paikantamaan nykyiset matkapuhelinmallit. Cambridge Position Systemsin Lone Worker -sovellus on taas tarkoitettu esimerkiksi sairaanhoitajille, sosiaalitekijöille ja muille vaarallisempien alojen työtekijöille. Sovelluksen avulla hälytyssignaali voidaan lähettää hälytyskeskukseen napinpainalluksella paikantamiseen modifioidun GSM-modeemin avulla.

Hätäpuheluiden paikantamisen lisäksi sijaintitietoja voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi *seuraamalla liikkuvia poliisi- ja pelastuspartioita*, jolloin tieto hälytystehtävistä saadaan nopeasti lähimpänä olevalle partiolle. Radiolinja kokeili tällaista paikannusta Helsingissä uudenvuoden yönä 2000 – 2001. Kokeilussa Suomen Punaisen Ristin yksiköillä oli mukanaan paikannettavat GSM-puhelimet. SPR:n johtokeskus seurasi www-palvelimelle sijoitettujen karttojen kautta avustusyksiköittensä liikkeitä ja pystyi näin ohjaamaan lähimmän yksikön avun tarvitsijan luo (Radiolinja 2001).

Useiden maiden lainsäädännössä on viranomaisille määritelty myös erillinen *valvontaoikeus* (lawful intercept) epäiltyjen rikollisten toiminnan tarkkailemiseksi. Tarvittaessa käyttäjän sijainti voidaan selvittää ja asettaa seurantaan (3GPP 2000d, 13).

Paikkatietoa voitaisiin käyttää myös lähettämällä *yleistä turvallisuutta koskevia viranomaisten tiedotteita* tietyllä alueella oleville käyttäjille. Näin voitaisiin välittää esimerkiksi myrskyvaroituksia tai tietoa onnettomuuksien aiheuttamista vaaratilanteista. Tämän tyyppisten palveluiden mahdollista käyttöä ei ole juurikaan tutkittu. (3GPP 2000a)

5.9 Yhteenveto paikkatietoisista sovelluksista ja palveluista

Tässä luvussa esittelimme luokittelumme paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille. Jaoimme ne käyttäjäryhmien ja käyttötarkoituksen mukaisiin luokkiin ja tarvittaviin alaluokkiin, joihin sijoitimme esitetyt esimerkit (TAULUKKO 11). Viestintäsovellukset ja -palvelut tekevät mahdolliseksi tiedon toimittamisen oikea-aikaisesti oikeaan paikkaan haluttua viestintävälinettä käyttäen. Informaatiosovellukset ja –palvelut taas auttavat täsmällisemmän kontekstiin liittyvän tiedon etsimisessä, lisätietojen hankkimisessa ja oikean reitin löytämisessä haluttuun kohteeseen. Seurantasovelluksilla ja -palveluilla voidaan seurata liikkuvia kohteita tai tarkkailla tiettyjä alueita. Seuranta voi olla joko kohteen identiteetin tunnistavaa tai tilastollista. Seurannan reaaliaikaisuus voi vaihdella ja tarvittaessa seurantatietoa voidaan tallentaa. Lähisovellukset auttavat käyttäjää hallitsemaan paremmin ympäristöään ja sen laitteita sekä hyödyntämään paikkatietoa siellä toimiessaan. Kuluttajille suunnattujen yleisten sovellusten ja palveluiden lisäksi verkon ylläpitäjille tarjotaan sisäisiä sovelluksia, joiden avulla käyttäjälle näkyvää palvelun laatua voidaan välillisesti parantaa. Laskutuspalvelut taas antavat suuremman mahdollisuuden palveluiden sijaintiperustaiseen hinnoitteluun ja maksamiseen. Viranomaissovellukset ja -palvelut taas liittyvät yleiseen turvallisuuden parantamiseen.

Seuraavassa luvussa tarkastelemme luokitteluun perustuen verkkotekniikoiden kehityksen, liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteiden ja tarjolla olevien paikannustekniikoiden vaikutuksia paikkatietoisiin sovelluksiin.

TAULUKKO 11: Paikkatietoisten sovellusten ja palveluiden luokittelu ja yhteenveto esitetyistä esimerkeistä.

Yleiset sovellukset ja palvelut									**Verkon tuki- ja ylläpitosovellukset**		**Erityissovellukset ja palvelut**	
Viestintä	**Informaatio**			**Seuranta**		**Lähi**	**Laskutus**			**Sisäiset**	**Viranomaiset**	
	Navigaatio	*Etsiminen*	*Kohdeinf.*	*Tunnistava*	*Tarkkailevat*		*Muut*	*Operaattorit*			*Hätä*	*Jäljitys*
Puheluiden reititys (S) Täsmäviestintä (S) Liikenne-tiedotteet (U) Viestivälineen valinta (S) *Kohdennettu markkinointi-viestintä (S) *Sosiaalinen kanssa-käyminen ja järjestyminen (S)	Reittiopastus (M) Reitti-suunnittelu (U)	Kohteiden paikanta-minen (M) Palvelu-hakemistot (NA) Lähimmät palvelut(M) Ystävät (M)	Hinta-vertailut (NA) Demokra-fiatiedot (M) Markki-nointi (M)	Kuljetuskaluston hallinta (U) Työtekijöiden seuranta (M) Muistin tuki (S) Henkilö- ja (S) tapahtuma-päiväkirjat Urheilukilpailut ja seurapelit (U) Sosiaalinen käyttäytymis-tutkimus (S)	Vankien ja lasten seuranta (M/NA)	*Laitteiden hallinta (M) *Reagoivat ympäristöt (S) *Liikkuvat koneprofiilit ja videointi (S) *Profiloitu kuntoilu (S) *Muistuttajat ja tehtävä-listat (M)	Alue-kohtainen maksa-minen (U) Julkinen liikenne (U)	Laskutusten räätälöinti alueittain (M)		Älykkäämmät vaihto-neuvottelut (NA) Tehokkaampi kanavien jakaminen (NA) Palvelun laadun tasaaminen ja paranta-minen (NA) Verkon (NA) suunnittelu	Soittajan paikannus (M) Hätä- ja viranomais-partioiden seuranta (M) Hälytys-palvelu (M) Hätä-tiedotteet (M)	Valvonta (M)
	Ostosapulaiset (S) Opassovellukset (M) *Informaation suodatus (M)											

(S) sisätiloissa toimiva sovellus tai palvelu (M) sekä sisä- että ulkotiloissa toimiva sovellus tai palvelu
(U) ulkotiloissa toimiva sovellus tai palvelu (NA) toimintaympäristöllä ei merkitystä
* Suhteellinen sijainnin määrittäminen

6 VAIKUTUKSET SOVELLUKSILLE

Tämän tutkielman aikaisemmissa luvuissa esittelimme paikkatietoisten sovellusten toteuttamisen osatekijät: langattomat verkkotekniikat, liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteet ja paikantamisen mahdollistavat tekniikat. Luokittelimme myös paikkatietoiset sovellukset.

Tässä luvussa yhdistämme käsiteltyjä tekijöitä sekä osoitamme niiden välisiä riippuvuuksia ja vaikutuksia paikkatietoisiin sovelluksiin lähinnä teknologisesta näkökulmasta. Arvioimme esitettyyn sovellusluokitteluun perustuen verkkotekniikoiden, liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteiden, paikannustekniikoiden ja langattomien tietojenkäsittelylaitteiden merkitystä ja niiden asettamia rajoitteita sovelluksille.

Tutkielmassa käsiteltyihin asioihin perustuen pyrimme tässä luvussa vastaamaan asettamaamme päätutkimusongelmaan.

6.1 Verkkotekniikat paikkatietoisten sovellusten tukena

Verkkotekniikoiden kehitys seuraavien vuosien aikana on nopeaa. Tiedonsiirtonopeuksien kasvu, monipuolisemmat tiedonsiirtotavat, mahdollisuudet tekniikoiden yhteiskäyttöön, pyrkimys maailmanlaajuisesti yhtenäisempiin verkkoratkaisuihin ja sovellusten tekijöiden huomioiminen standardoinnissa lisäävät paikkatietoisten sovellusten toteutusmahdollisuuksia ja antavat enemmän mahdollisuuksia niiden käyttämiselle. Verkkotekniikoiden koko potentiaalin hyödyntäminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista.

Suurempi tiedonsiirtokapasiteetti tekee mahdolliseksi monipuolisempien sovellusten kehittämisen. Suuri osa matkapuhelinverkkoihin kehitetyistä sovelluksista joutuu tulemaan toimeen 9.6 kbit/s nopeudella samalla kun niitä käytetään kömpelöiden

tekstiliittymien kautta. Toisaalta lisääntyvä kapasiteetti saadaan hyvin nopeasti kulumaan enemmän grafiikkaa sisältäviin ja rakenteeltaan raskaampiin sovelluksiin. Kapasiteettia viisaasti hyödyntämällä pystytään kuitenkin kehittämään käytettävämpiä sovelluksia, ja tästä ominaisuudesta kuluttajien uskotaan olevan valmiita maksamaan. Lisääntyneen kapasiteetin rinnalla uudet matkapuhelimet värinäyttöineen ja www-selaimineen tuovat kehitykseen joustavuutta, eikä kaikkien ratkaisujen enää tarvitse olla kompromisseja.

Lisääntyvää tiedonsiirtonopeuttakin merkittävämpi seikka saattaa olla pakettikytkentäisten verkkojen tulo nykyisten piirikytkentäisten verkkojen rinnalle. Ainoastaan siirretyn datan määrään perustuva laskutus tekee mahdolliseksi jatkuvan yhteyden palveluihin ilman, että yhteysajan jokainen sekunti maksaisi ja että tiedonsiirtoyhteydet olisivat koko ajan varattuja. Tämän on arveltu lisäävän varsinkin WAP-sovellusten käyttöä, sillä nykyiset lähes yksinomaan yrityskäytössä olleet palvelut tulevat myös yksityisten kuluttajien ulottuville. Paikkatietoisista sovelluksista hyvin suuri osa on jo nyt suunnattu tavallisille kuluttajille, ei yrityksille. Toisaalta nähtäväksi jää, ovatko pakettikytkentäiset verkot ja uusiin puhelinmalleihin integroitavat www-selaimet kuolinisku WAP-palveluille – kiusaus kapasiteetin hieman heikompaan hyödyntämiseen on suuri, kun vaa'an toisella puolella painaa nykyisten www-sivustojen muokkaaminen pienellä vaivalla langattomiin tietokäsittelylaitteisiin soveltuviksi.

Verkkotekniikoiden kehittyessä maailmanlaajuinen yhtenäisyys näyttää lisääntyvän, jonka seurauksena myös sovellusmarkkinat kasvavat. Uusien verkkotekniikoiden kehittämisessä on myös paremmin huomioitu sovellusten ja niiden kehittäjien tarpeet. Esimerkiksi UMTS-verkkoa suunniteltaessa ollaan pyritty luomaan standardiarkkitehtuureja edistämään uusien sovellusten ja palveluiden nopeammassa käyttöönotossa. Samalla esitetyt mahdollisuudet eri verkkotekniikoiden yhteensovittamisesta eivät tunnu enää niin teoreettisilta kuin aiemmin. Useat kilpailevat verkkotekniikat asettavat luonnollisesti paineita sekä mukautumiselle että yhteistoiminnalle, mutta toteutuessaan sovelluksista tulee entistä riippumattomampia käyttöympäristöstään. Tällä hetkellä paikkatietoiset sovellukset eroavat toisistaan

yleisimpien käyttöpaikkojen, soveltuvien verkkotekniikoiden ja käytettyjen tiedonsiirtotapojen osalta.

Sovellusten käyttö sisä- ja/tai ulkotiloissa poikkeaa toisistaan merkittävästi (ks. alakohta 3.1.3). Sisätiloissa voidaan käyttää kaikkia tässä tutkielmassa esiteltyjä verkkotekniikoita, kun taas ulkotiloissa valikoima on huomattavasti pienempi. Valittu verkkotekniikka vaikuttaa suoraan tarjolla olevaan kapasiteettiin ja siirtotapoihin. Tällä taas on välillisiä vaikutuksia tiedonsiirron oikea-aikaisuuden takaamiseen. Sovellusten vaatimia vasteaikoja täytyy kuitenkin tarkastella sovellusaluekohtaisesti – suuretkin heilahtelut alueiden kesken saattavat hyvinkin selittyä sovellusten erilaisella luonteella.

Suurin osa viestintäsovelluksista toimii sisätiloissa, niiden välittömässä läheisyydessä tai muutoin rajatulla toiminta-alueella. Sovellusten kapasiteettivaatimuksetkin ovat verrattain keveitä. Viestien lähettäminen on usein lyhytkestoista ja luonteeltaan yhteydetöntä. Siksi pakettikytkentäistä tiedonsiirtoa tukevat verkkotekniikat soveltuvat hyvin viestintäsovelluksille. Tällöin ei tarvita erillistä ja hidasta yhteydenmuodostusta, ja ilman sitä liikennöintikustannuksetkin pysyvät oletettavasti alhaisempina. Viestintätapahtuma saattaa kuitenkin sisältää myös aktiivisemman osan, esimerkiksi siirrettäessä reaaliaikaista dataa (ks. 3.1.1). Taattu palveluaika voidaan parhaiten saavuttaa piirikytkentäisillä tekniikoilla. Kaikkein parhaiten viestintäsovelluksille soveltuvatkin siis EDGE:n ja UMTS:n kaltaiset duaalisiirtomuotoja tukevat verkkotekniikat. Myös GPRS:än ja Bluetoothin käyttö näyttäisi mahdolliselta, varsinkin jos yhtäaikainen äänen- ja datansiirron tehokkuus saadaan varmistettua.

Informaatiosovellusten käyttöympäristöt vaihtelevat: niitä käytetään niin sisä- kuin ulkotiloissa, kaupungeissa kuin maaseudullakin. Sovellusten kapasiteettitarve ovat voimakkaasti asymmetristä - pääosin dataa vastaanotetaan, ja sitä lähetetään vain kyselyiden ja kuittausten aikana. Tiedon oikea-aikaisuuden takaaminen kustannustehokkaasti on suuri haaste verkkotekniikoille, sillä datan täytyisi saapua kaupunkinopeuksilla liikkuvan auton navigointisovellukselle muutamien sekuntien sisällä. Tiedonsiirtoaikaa jää todella vähän, sillä suurin osa ajasta kuluu kohteen paikannukseen. Tämä perusteella varmimmin käyttöön soveltuisivat piirikytkentäiset

verkkotekniikat. Jatkuvaa paikannusta vaativien navigointisovellusten käyttökustannukset nousisivat kuitenkin helposti liian korkeiksi. Käytännössä joudutaankin joko turvautumaan pakettikytkentäisen tiedonsiirtoon ja/tai minimoimaan siirrettävän tiedon määrä. Tähän perustuu suuri osa nykyisistä GPS-navigointisovelluksista, joissa siirretään vain muuttuneita koordinaattitietoja muiden tietojen (kuten tie- ja katukartat) ollessa paikallisesti talletettuina. Pakettikytkentäisten verkkojen suuremman tiedonsiirtokyvyn ansiosta jopa graafisten kartastojen siirtäminen on mahdollista, varsinkin jos palvelun laadusta voidaan varmistua. Sisätiloissa navigaatiosovelluksen tiedonsiirto voidaan toteuttaa esimerkiksi langattomien lähiverkkojen avulla, ja näistä erityisesti HiperLAN/2-verkko näyttäisi lupaavalta (ks. alakohta 2.2.2) erittäin suuren tiedonsiirtokyvyn, kohtuullisen kantaman ja kattavien palvelun laatuluokkien ansiosta.

Etsimis- ja lisätietosovellusten tiedonsiirron vasteajat eivät ole niin kriittisiä kuin navigointisovelluksilla, vaikka nopeus toki näkyy parempana käytettävyytenä. Siirretyn datan määrä riippuu haun laajuudesta, mutta tavallisesti se on navigointisovellusten tarpeisiin verrattuna suurempaa. Tiedonsiirto on kuitenkin luonteeltaan kertaluonteisempaa eikä samaa hakua tarvitse normaalisti toistaa. Pakettikytkentäisyydellä voidaan kompensoida suuremmat kapasiteettitarpeet, joita laajat haut tai multimediadata saattavat aiheuttaa. Toisekseen sovellusten ongelmana on ennen kaikkea vaihtelevat yhteysnopeudet eri palveluihin - siksi käyttäjän on edullisempaa maksaa vain siirretystä tiedosta, ei yhteyden auki pitämisestä haun aikana. Kaikkein suurimmalle koetukselle verkkotekniikat asettaa erilaiset opassovellukset, jotka sisältävät sekä navigointi-, etsimis- että lisätietopalveluita. Käyttäjää pitäisi pyrkiä opastamaan paikasta toiseen, tarjoten hänelle samalla reaaliaikaista multimediadataa ja antaa vielä mahdollisuus interaktioon järjestelmän kanssa. Tämä rajoittaa sovellusten toiminnan tarkkaan rajatulle alueelle, ja sovellukset vaativat verkkotekniikoiden yhteistoimintaa.

Seurantasovellusten käyttämät verkkotekniikat vaihtelevat sen mukaan, onko kysymyksessä kohteen tunnistavasta seurannasta vai alueen tarkkailusta. Kummassakin tapauksessa paikantaminen on kuitenkin toistuvaa, ja päivitystaajuus vaikuttaa siirretyn

datan määrään. Seurantasovelluksen päivitystarkkuuden tulee olla suunnilleen sama kuin paikannuksen virhemarginaali: tyypillisesti esimerkiksi kaupunkioloissa ajoneuvoja seurattaessa noin n. 5-10 sekuntia ja henkilöitä seurattaessa 30-60 sekuntia, jos paikannuksen virhemarginaali on noin korttelin (200m) verran. Vankien paikannuksen kaltaisissa tarkkailusovelluksissa paikantamisen tulee toistua useammin, esimerkiksi 1-10 sekunnin välein. Toisaalta tilastollisen tiedon keräämistä varten molemmille seurantasovellusluokille riittää harvempi päivitystaajuus. Tarkkailusovelluksille riittää tieto siitä, onko tarkkailtavalla alueella yhtään kohdetta. Kohteita seuraavat sovellukset joutuvat päivittämään koko ajan tietoja kohteen sijainnista, joten niiden kapasiteettitarve on suurempaa. Kohdetta seuraavat sovellukset toimivat pääosin ulkotiloissa (ajoneuvot), joskin toiminta sisätiloissa (henkilöt) on suotavaa muttei pakollista (tieto rakennuksesta riittää). Seurantasovellusten laajan toiminta-alueen takia tullaan käyttämään pakettipohjaisia matkapuhelinverkko-tekniikoita, kun taas tarkkailevassa seurannassa voidaan käyttää Bluetoothia tai lähiverkkotekniikoita.

Lähisovellusten avulla hallitaan erilaisia laitteita ja ollaan vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Vasteaikojen pitää olla lyhyitä, tavallisesti 0.5-10 sekuntia – ovien pitää aueta viipymättä, laitteiden reagoida välittömästi, käyttöprofiilien latautua nopeasti ja muistutusten ilmaantua rivakasti. Tähän ei onneksi vaadita kuin lyhyitä käskyjä ja ladattavat profiilitkin ovat todennäköisesti verrattain pienikokoisia. Muistutuspalvelut saattavat tilapäisesti vaatia suurempienkin tiedostojen hakua, mutta pääasiassa tieto on tekstuaalista. Erityisen soveltuva verkkotekniikka tähän käyttöön on Bluetooth, sillä sen kantama on juuri sopiva interaktioon lähiympäristön kanssa. Lisäksi joustava protokollatuki tekee mahdolliseksi palveluiden etsimisen ja käytön. Bluetoothia voidaan käyttää etäisyydet huomioiden myös ulkotiloissa, ja kapasiteetti riittää suurempaankin tilapäiseen käyttöön.

Puhelinlaskun alueellinen laskuttaminen vaatii vain paikkatiedon lisäämistä yhdeksi hinnoittelumuuttujaksi soiton ajankohdan ja -keston rinnalle. Käsittely kuormittaa oikeastaan vain sovelluspalvelimia, ei niinkään käytettäviä terminaaleja ja tiedonsiirtoyhteyksiä. Operaattorien ja muiden palveluntarjoajien tuomia

laskutuspalveluita ollaan kaavailtu vasta UMTS-verkkoon. Teknisesti ainakin kolmansien osapuolten laskutussovelluksia voitaisiin ottaa käyttöön erilaisten lippujen (esimerkiksi teatteri-, elokuva- ja konserttiliput) maksamisessa, jos laskutusalue voidaan rajata selvästi - käytännössä siis sisätiloissa. Tähän käyttöön soveltuisi parhaiten Bluetooth-piirillä varustetut matkapuhelimet, jolloin palvelun käyttö hoidettaisiin Bluetoothin kautta ja varsinainen maksuliikenne välitettäisiin matkapuhelimen kautta. Erilaiset paikoitukseen ja joukkoliikenteen käyttöön tulevat sovellukset ovat mahdollisia vasta myöhemmin. Tämä tosin johtuu riittämättömistä paikannustarkkuuksista, ei verkkotekniikoiden tuesta.

Sisäisiä sovelluksia käytetään lisäämään välillisesti liikkuvien käyttäjien käytössä olevaa kapasiteettia. Tiedonsiirtoverkon dynaaminen suorituskyvyn parantaminen vaatii jatkuvaa kuormituksen tarkkailua, toisin kuin tilastollisen tiedon kerääminen verkkojen suunnittelun avuksi. Tiedonsiirto ei edes välttämättä ole luonteeltaan langatonta, sillä sovelluksia käytetään verkon sisäisesti. UMTS on ensimmäinen verkkotekniikka, jossa sisäisiä sovelluksia on suunniteltu käytettävän toiminnan dynaamiseen muuttamiseen.

Viranomaissovellukset vaativat pääsääntöisesti erittäin pieniä vasteaikoja (1-10 sekuntia), sillä tiedon oikea-aikaisuus saattaa olla kriittistä operaation onnistumiselle. Kun kysymys on ihmishenkien pelastamisesta tai suurten omaisuusvahinkojen estämisestä, täytyy järjestelmän toimia saumattomasti sijaintiin, tilanteeseen tai ajankohtaan katsomatta. Hätätiedotteet ja partiosanomat ovat yleensä määrämuotoisia ja lyhyitä, koska niiden tulkinnan täytyy olla yksiselitteistä. Tilapäistä kuormitusta saattaa kuitenkin aiheutua esimerkiksi suurhälytysten yhteydessä. Viranomaissovellukset toimivat kuitenkin omissa verkoissaan tai niillä on suurempi prioriteetti yleisissä verkoissa, joten kuormituksen vaikutusten pitäisi olla hyvin vähäisiä.

Yhteenveto parhaiten tietyn sovellusalueen tukemiseen soveltuvista verkkotekniikoista ja siirtotavoista, pääasiallisesta käyttöpaikasta ja toiminnan kertaluonteisuudesta / toistettavuudesta löytyy taulukosta 12.

TAULUKKO 12. Paikkatietoisen sovellusten tiedonsiirtotarpeet ja niiden tukeminen

Sovellusalue	Toistuvuus	Käyttöpaikka	Soveltuvat verkkotekniikat	Siirtotapa
Viestintä	kyllä/ei	pääosin sisätilat	EDGE, UMTS	vaihtelee
Informaatio				
Navigaatio	kyllä	kaikkialla	GPRS, HIPERLAN2	vaihtelee
Etsiminen	ei	kaikkialla	GPRS, EDGE, UMTS, (GSM)	paketti
Kohdeinformaatio	ei	kaikkialla	GPRS, EDGE, UMTS, (GSM)	paketti
Seuranta				
Seuraava	kyllä	pääosin ulkotilat	GPRS, EDGE, UMTS	paketti
Tarkkaileva	kyllä	rajattu alue	Bluetooth, WLAN	vaihtelee
Lähi	kyllä	pääosin sisätilat	Bluetooth, (WLAN)	paketti
Laskutus				
Muut	ei	pääosin ulkotilat	Bluetooth + matkapuhelinverkko	vaihtelee
Operaattorit	ei	kaikkialla	UMTS	vaihtelee
Sisäiset	kyllä	verkon sisäinen	(UMTS)	-
Viranomais	kyllä	kaikkialla	erillisverkot, matkapuhelinverkot +priorisointi	vaihtelee

6.2 Toiminnan yhtenäisyyden merkitys

Yhtäjaksoisuuden merkitys korostuu viestintäsovelluksissa, sillä käyttäjä saattaa aktiivisen viestiyhteyden aikana liikkua paikasta toiseen. Yhteyden tulee toimia luotettavasti koko ajan. Käyttäjän liikkuessa esimerkiksi kokoushuoneesta työpaikan läpi autotalliin saattaa myös ulkoinen yhteistoiminta joutua koetukselle. Yhteistoiminnan avulla voidaan myös laajentaa 1990-luvun tehtyjä Olivettin ja Xerox PARC:in täsmäviestinnän pioneerihankkeita kattamaan myös ulkotilat.

Informaatiosovelluksia tullaan käyttämään kaikkialla. Monenlaiset olosuhteet tekevät yhteistoiminnasta välttämätöntä ja vaativat sovelluksilta hyvää mukautumiskykyä. Navigointisovelluksille yhtäjaksoisuus on erittäin tärkeää, sillä karttojen päivitys on jatkuvaa. Toisaalta etsintä- ja lisätietopalveluille yhtäjaksoisuus ei ole yhtä merkityksellistä, sillä kyselyt ovat luonteeltaan yksittäisiä, ja vaaditut vasteajat ovat hieman väljemmät.

Seurantasovelluksissa usein vain seurattava kohde liikkuu, ei varsinainen sovelluksen käyttäjä. Mukautumista tarvitaan siis vähemmän. Yhtäjaksoisuus parantaa sovelluksen käytettävyyttä, esimerkiksi kun seurataan arvaamattomasti liikehtiviä lapsia, tarkkailun alla olevia vankeja tai metsässä liikkuvia urheilijoita. Juuri kohteiden arvaamaton liikkuminen tekee seurannasta haasteellisempaa kuin tietyn alueen tarkkaileminen, sillä tarvittaessa tarkkailua varten voidaan suunnitella ja rakentaa riittävä infrastruktuuri. Samasta syystä myös yhteistoiminta on tärkeää kohteiden seurannassa. Suuren liikkuvuuden takia tullaan käyttämään ennen kaikkea laajan kattavuuden omaavia matkapuhelintekniikoita.

Laitteiden ja ympäristön hallinta, profiilien siirto ja erilaiset muistuttajat toimivat pienten etäisyyksien sisällä, mikä vähentää liikkuvan tietojenkäsittelyn muutoksia merkittävästi. Sen takia myöskään yhteistoimintaa ei tarvita, sillä kaikki toimet voidaan hoitaa yhtä verkkotekniikkaa käyttäen. Tämä tekniikkaa saattaa hyvinkin olla Bluetooth toisaalta pienten kustannusten, toisaalta sopivan toimintasäteen takia. Lähisovellukset eivät ole myöskään luonteeltaan yhtäjaksoisuutta vaativia, vaan pikemminkin tapahtumapohjaisia sovelluksia.

Paikkaan sidottu laskutus ei vaadi yhtäjaksoisuutta kuin lyhyen maksutapahtuman ajaksi. Mukautumisellekaan ei ole tarvetta. Mahdollisuudet siihen olisivatkin yksinkertaisten laskutussovellusten kanssa rajatut. Yhteistoimintavaatimukset taas vaihtelevat sovellusten välillä. Yksittäisessä paikassa kuten elokuvasalissa tapahtuvaa laskutusta varten yhteistoimintaa ei tarvita, sillä palvelun tarjoaja tarjonnee sovellusta varten riittävän infrastruktuurin. Laskutustapahtuma voi kuitenkin olla monimutkaisempikin. Asiakkaan ja linja-auton laskutusjärjestelmän välinen viestintä

tapahtuu varmasti eri tekniikalla kuin linja-auton ja liikennöintikeskuksen välinen tiedonvaihto – tällaisessa tapauksessa yhteistoiminnan merkitys on suurempi.

Sisäisten sovellusten tarkasteleminen liikkuvuuteen liittyvien parametrien avulla ei ole relevanttia. Ne pikemminkin luovat puitteet muiden sovellusalueiden toiminnalle optimoimalla verkkoinfrastruktuurien toimintaa. Niiden toiminta vaikuttaa siihen, että verkkotekniikat pystyvät tarjoamaan yhtäjaksoisia palveluita kattavammin ja tasaisemmalla kuormalla. Tämän taas pitäisi vähentää sovellusten mukautumistarpeita. Sisäisten sovellusten täytyy ottaa huomioon useiden verkkotekniikoiden toiminta, mutta tässä tutkielmassa ei tarkastella yhteistoimintaa tässä merkityksessä.

Viranomaissovelluksille tärkeintä on toiminnan yhtäjaksoisuus tarvittaessa. Tämän saavuttaakseen sovellusten on kyettävä yhteistoimintaan ja tarvittaessa mukauttamaan toimintaa ympäristön muutoksien takia. Yhteistoiminta yleisten verkkotekniikoiden kanssa on kuitenkin rajoitetumpaa, koska sovellukset toimivat pääosin omassa verkossaan.

6.3 Tietoturvan ja tietosuojan huomioon ottaminen

Tietosuojan kannalta paikkatietoisista sovelluksista tekee muihin sovelluksiin verrattuna erikoisia se, että niissä välitetään ja käytetään henkilöiden sijaintia. Sijainti on osa henkilön yksityisyyttä, eikä se saa paljastua luvattomille tahoille sovelluksia käytettäessä. Paikkatietoisten sovellusten vaatimukset tietoturvalle ja tietosuojalle ovat hyvin vaihtelevia. Sijaintitiedon osalta täytyisi lähtökohtana kuitenkin olla käyttäjän oikeus oman sijaintinsa ja liikkumisensa yksityisyyteen. Käyttäjällä täytyy siis viime kädessä aina olla valta päättää siitä kuka saa tietää hänen sijaintinsa. Poikkeuksena voidaan ainoastaan pitää viranomaisten oikeuksia paikantamiseen. Sijainnin yksityisyyden säilyttäminen sovellusta käytettäessä vaatii käyttäjän sijainnin salassa pitämisen luvattomilta tahoilta, vaikka muu välitettävä tieto ei olisikaan mitenkään salaista.

Sijaintitietoja käsiteltäessä täytyy myös olla selkeästi määritelty osapuolten vallat ja vastuut tietojen käytöstä, tallettamisesta ja asianmukaisesta suojaamisesta. Jos esimerkiksi henkilön sijaintitiedot tallennetaan pitkältä ajalta, saadaan rekisteriin paljon tietoa henkilön liikkumisesta. Tällaisen rekisterin luvaton kerääminen tai rekisterin tietojen luvaton luovuttaminen loukkaisi henkilön yksityisyyttä. Sovellusten käytöstä on helppo kerätä muutakin tietoa kuten esimerkiksi kuka on käyttänyt mitäkin sovellusta tai palvelua, milloin ja mihin tarkoitukseen.

Suomessa ei ainakaan toistaiseksi ole voimassa erikseen sijaintitietoja ja paikannustoimintaa koskevia lakeja, vaan sijaintitietojen yksityisyyden osalta sovelletaan henkilötietolakia sekä lakia yksityisyyden suojasta televiestinnässä ja teletoiminnan tietoturvasta (Rainio, 2001). Kaikki paikkatietoiset sovellukset eivät kuitenkaan tule olemaan yleisiä telepalveluita eivätkä näin kuulu yleisen teletoiminnan piiriin. Tämän vuoksi tarvittaisiin myös erityistä lainsäädäntöä.

Paikkatietoisia viestintäsovelluksia voi olla hyvin erityyppisiä, ja siten ne suhtautuvat myös vaihtelevasti tietoturvaan ja tietosuojaan. Ihmiset ovat kuitenkin tottuneet pitämään keskinäistä viestintäänsä oletusarvoisesti luottamuksellisena siten, että sivulliset eivät voi esimerkiksi kuunnella puheluita tai lukea sähköposteja. Tämä tulisi huomioida myös uusia viestintäsovelluksia kehitettäessä. Riittävästä salauksesta on siis huolehdittava ja oikea autentikointi on tärkeää viestien kohdentamisessa oikealle henkilölle. Suurin osa viestintäsovelluksista tulee todennäköisesti toimimaan yleisten matkapuhelinverkkojen ja internetin välityksellä, jolloin sijainnin yksityisyyden säilymiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Viestintäsovelluksia voidaan kuitenkin käyttää myös erillisissä verkoissa kuten vaikkapa jonkin yrityksen sisäisessä verkossa. Tällöin tietosuojan riskit ovat huomattavasti pienempiä. Kaikissa viestintäsovelluksissa tietosuoja ei ole oleellinen tekijä, koska joidenkin sovellusten ei tarvitse tunnistaa vastaanottajaa tai edes tietää kuinka monelle vastaanottajalle viesti välittyy. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi alueperustaista yleislähetystä käyttävät sovellukset. Tietosuojakysymykset aiheuttavat eniten ongelmia sellaisille viestintäsovelluksille, joissa varsinaisen käyttäjän sijainnin lisäksi tarvitaan myös muiden henkilöiden sijaintitietoja. Jos käyttäjä haluaa vaikkapa lähettää viestin kaikille tietyllä alueella

oleville ystävilleen, sovellus tarvitsee tiedon siitä, että mahdolliset vastaanottajat ovat sallineet paikantamisen ja sijaintitietonsa käytön tähän tarkoitukseen.

Informaatiosovelluksissa välitetään yleensä tietoja, jotka ovat julkisia ja yleisesti saatavilla olevia. Niinpä tietoturva välitettävän tiedon osalta ei ole tärkeää. Tietosuojan toteuttamiseksi puolestaan riittää usein se, että estetään tietojen kyselijän tai vastaanottajan henkilöllisyyden paljastuminen. Henkilön yksityisyyttä loukkaisi jo se, jos informaatiosovellukset voisivat tallentaa tietoa siitä, mitä informaatiota tietty henkilö on kysellyt ja missä hän on silloin ollut. Tällainen tieto olisi tietysti erittäin arvokasta esimerkiksi suoramarkkinoinnissa. Tietosuojan kannalta ongelmallisia informaatiosovelluksia ovat ne, joiden käyttöön liittyy useampia henkilöitä. Sovellukset joiden avulla kyselläänn tietoa vaikkapa tietyn henkilöryhmän jäsenten sijainneista täytyy huomioida määritellyt oikeudet kunkin henkilön sijaintitietojen luovuttamisesta. Jos kysyjälle kerrotaan henkilön estäneen paikantamisen, saatetaan jo silloin paljastaa tietoja joita hänen ei tarvitsisi tietää.

Monet mahdollisista seurantasovelluksista vaativat erittäin tarkkaa tietosuojaa. Mikäli sovellus on seuraamiaan kohteita tunnistava, sijaintitietojen paljastumista ulkopuolisille tahoille ilman käyttäjän lupaa ei saa päästä tapahtumaan. Erityisen kriittisiä ovat sovellukset, jotka tallentavat tietyn henkilön seurantatietoja. Näissä sovelluksissa on ehdottomasti varmistettava, että tallennettuja tietoja voi nähdä ainoastaan kyseisen henkilön luvalla tai vain hän itse. Oleellinen kysymys on myös seurattavan oikeudet. Onko seurattavalla henkilöllä esimerkiksi milloin tahansa oikeus estää paikantaminen, vaikka hän olisikin sopimuksella sallinut sijaintinsa seuraamisen. Useimmissa tilastollista tietoa keräävissä seurantasovelluksissa puolestaan tietosuoja ei todennäköisesti ole kovin tärkeä tekijä, koska niissä sijaintitietoja ei tarvitse liittää tunnistettavaan henkilöön. Niissäkin on kuitenkin estettävä sovelluksen toiminnan häiritseminen ja tietojen vääristäminen.

Lähisovellukset käyttävät yleensä hyvin lyhyen kantaman verkkoja. Tämän vuoksi liikenteen salakuunteleminen on melko vaikeaa. Joissain lähisovelluksissa voidaan kuitenkin siirtää tai tallentaa tietosuojan piiriin kuuluvia henkilökohtaisia tietoja, jotka

halutaan salata. Monet lähisovelluksista liittyvät ympäristössä olevien laitteiden hallintaan ja laitteiden reagoimiseen lähellä oleviin ihmisiin. Näissä sovelluksissa siirretään usein esimerkiksi käyttäjien henkilökohtaisia asetuksia eri laitteiden välillä. Tietoturvan kannalta lähisovelluksissa onkin olennaista käyttäjien luotettava autentikointi.

Paikkatietoisissa laskutussovelluksissa tietoturvan ja tietosuojan merkitys on luonnollisesti samanlainen kuin missä tahansa muussakin elektronisessa kaupankäynnissä. Transaktioon osallistuvat osapuolet on kyettävä luotettavasti tunnistamaan ja kaikki välitettävä tieto täytyy pysyä ainoastaan osallistujien välisenä. Paikkatiedon osalta on huolehdittava sijaintitiedon oikeellisuudesta. Erityisesti laskutussovellusten kannalta on tärkeää varmistaa, että kukaan ei voi päästä vääristelemään sijaintitietoja ja siten vaikuttamaan veloitettaviin hintoihin.

Sisäisissä sovelluksissa välitettävät tiedot luultavasti harvoin kiinnostavat ulkopuolisia tahoja. Tietysti toinen operaattori saattaisi olla kiinnostunut kilpailijan verkon tiedoista. Sisäisissä sovelluksissa olisi kuitenkin tärkeintä miettiä käyttäjän yksityisyyden ongelmia. Kuinka paljon operaattori voi seurata asiakkaitaan ja tallentaa tietoa heidän liikkumisestaan vedoten esimerkiksi siihen, että tietojen avulla parannetaan verkon asiakkaalle tarjoamaa palvelun laatua? Matkapuhelinverkonhan on toimiakseen tiedettävä sisäisesti jollain tasolla käyttäjien sijainti, mutta kaikki tämän normaalin toiminnan ylittävä paikantaminen ja sen salliminen pitäisi jo olla jokaisen käyttäjän itse päätettävissä.

Viranomaissovellukset ovat myös tietosuojan ja tietoturvan osalta aivan erityinen sovellusryhmä. Viranomaisten välittämät sijaintitiedot luonnollisesti kiinnostavat sellaisia tahoja, jotka pyrkivät hyötymään niistä kenties laittominkin keinoin. Esimerkiksi poliisipartioiden sijainnit varmasti kiinnostaisivat rikollisissa puuhissa liikkuvia. Ei voida myöskään pitää kovin suotavana, että hätäpuheluiden yhteydessä välitettävä sijaintitieto olisi kenenkään muun kuin viranomaisten saatavilla.

6.4 Paikannustekniikoiden merkitys

Käytettävän paikannustekniikan valintaan vaikuttaa ennen kaikkea sovelluksen toimintaympäristö. Sisätiloissa toimiminen estää käytännössä satelliittipaikannuksen käytön. Jos sovellus on lisäksi sellainen, joka ei käytä matkapuhelinverkkoa, vaihtoehdoksi jää jonkin erillistekniikan käyttäminen. Ulkotiloissa paikantamiseen voidaan lähes aina käyttää satelliittipaikannusta ja matkapuhelinverkossa toimivissa sovelluksissa käytettävissä ovat verkon tarjoamat paikannustekniikat. Toimintaympäristön lisäksi toinen sovelluksiin vaikuttava tekijä on kunkin tekniikan tarjoama paikannustarkkuus.

Sekä ulko- että sisätiloihin tarkoitetut laajemman toiminta-alueen paikkatietoiset viestintäsovellukset tulevat todennäköisesti toimimaan lähinnä matkapuhelinverkoissa ja siten käyttävät sijaintitietojen määrittämiseen verkon paikannustekniikoita. Tällaisissa sovelluksissa on huomioitava, että käyttöön ei välttämättä saada kovin tarkkaa sijaintitietoa ja tarkkuus saattaa vaihdella alueellisesti paljonkin. Pelkästään rajattuihin sisätiloihin tehdyt viestintäsovellukset ovat usein toiminnaltaan sellaisia, että ne tarvitsevat hyvinkin tarkkoja sijaintitietoja. Jos henkilön sijainti on tiedettävä huoneen tarkkuudella, paikantamisen virhe ei saa olla muutamaa metriä suurempi. Viestinnän kannalta olennaista on sekä oikea aika että oikea paikka. Siksi viestintäsovellukset vaativat myös, että sijaintitieto on lähes reaaliaikaista. Jo kymmenen sekunnin aikana henkilö on voinut siirtyä esimerkiksi huoneesta toiseen.

Informaatiosovellusten toimintaan tai käyttöön ei yleensä vaikuta se, käytetäänkö niitä sisä- vai ulkotiloissa. Alueella saavutettava paikannustarkkuus sen sijaan vaikuttaa siihen millaisia sovelluksia voidaan toteuttaa. Kohteiden etsimiseen ja lisätietojen hankkimiseen riittää usein muutaman sadan metrin tarkkuus, kun taas navigoinnissa tarkkuutta ei ole koskaan liikaa. Jos navigaatiosovellus tarjoaa paikannuksen epätarkkuuden vuoksi epäselvää tai jopa virheellistä tietoa, käyttäjä turhautuu helposti sovellukseen. Etsimis- ja lisätietopalveluille saattaa haja-asutusalueilla riittää kilometrienkin tarkkuus, kun taas kaupungissa haluttaisiin sijainti vähintään kaupunginosan tarkkuudella. Pienemmillä rajatuilla alueilla, kuten vaikkapa sisällä

ostoskeskuksessa puolestaan paikannuksen virhe saisi olla korkeintaan kymmeniä metrejä.

Seurantasovellusten idealistisena tavoitteena voisi pitää sitä, että seuranta onnistuisi kaikkialla minne seurattava kohde voi liikkua. Tällöin esimerkiksi ajoneuvojen seurannassa riittäisi ulkotiloissa seuraaminen, kun taas ihmisten tapauksessa seurannan pitäisi ulottua myös sisätiloihin. Paikantamismenetelmien yhteistoiminta on tärkeää seurantasovellusten kannalta, sillä kohde voi liikkua paikkaan, jossa jokin paikantamismenetelmä ei toimi. Tällöin seurannan yhtäjaksoisuuden takaamiseksi täytyy pystyä käyttämään vaihtoehtoista menetelmää. Useimmissa tapauksissa seurantasovelluksille riittää matkapuhelinverkon paikannustekniikoiden tarjoamat tarkkuudet. Jos sovelluksen täytyy toimia alueella jossa näiden tekniikoiden tarkkuus ei riitä, voidaan lisäksi käyttää satelliittipaikannusta. Seurantasovelluksissa paikantamista joudutaan luonnollisesti toistamaan koko ajan ja paikannustiheyden määrää se, kuinka reaaliaikaista seurannan halutaan kussakin sovelluksessa olevan.

Kuten lähisovellusluokan nimikin jo kertoo, paikannustarkkuudessa on lähes aina kysymys muutamista metreistä. Lähisovellukset liittyvät useimmiten laitteiden reagoimiseen lähistöllä oleviin henkilöihin tai laitteiden hallintaan. Lisäksi laitteet ovat yleensä sisätiloissa, joten tälle sovellusalueelle parhaiten soveltuvia paikannusmenetelmiä ovat erillistekniikat.

Laskutussovelluksistakin saadaan sitä monipuolisempia, mitä tarkempaa sijaintitietoa on käytettävissä. Laskutussovellusten kannalta paikkatiedon luotettavuus on tärkeä tekijä. Vaikka summat olisivatkin yksittäisissä laskutustapahtumissa melko pieniä, hintojen oikeellisuus ja oikeudenmukaisuus ovat silti käyttäjälle tärkeitä tekijöitä. Käyttäjän on pystyttävä luottamaan siihen, että häneltä varmasti veloitetaan oikea ja sopimusten mukainen hinta. Sovelluksissa on siis tarkkaan mietittävä kuinka tarkkoja sijaintitietoja sovelluksen toimintaan tarvitaan, ja millä paikannustekniikoilla ne ovat sovelluksen käyttöalueella saavutettavissa.

Verkon sisäisistä sovelluksista on ainakin toistaiseksi puhuttu ainoastaan matkapuhelinverkkojen yhteydessä. Sisäiset sovellukset eivät ole kovin kriittisiä paikantamisen suhteen. Niissä tarvitaan harvoin erityisen tarkkaa sijaintitietoa, ja varsinkin pienempien solukokojen alueilla riittää usein paikantaminen solun tarkkuudella. Sisäisten sovellusten käytössä ovat siis verkon omat paikannustekniikat.

Viranomaissovelluksille tulee aina tarjota niin tarkkaa paikkatietoa kuin mahdollista. Lisäksi paikantamisen on katettava sekä ulko- että sisätilat. Tiedon on myös ehdottomasti oltava luotettavaa, sillä usein kyseessä ovat jopa ihmishenget. Tiedon luotettavuutta voidaan parantaa esimerkiksi toistamalla paikantaminen useampaan kertaan ja käyttämällä useampia eri menetelmiä samaan aikaan. Monissa maissa on säädetty tai tullaan säätämään laki, joka määrää viranomaissovellusten paikannustarkkuudelle tietyt vaatimukset (ks. kohta 5.8).

6.5 Laitteiden asettamat rajoitteet

Käytettävät laitteet asettavat monia rajoitteita sovelluksille. Liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteiden yhteydessä totesimme langattomiin laitteisiin liittyvän useita rajoitteita aiheuttavia tekijöitä kuten prosessointiteho, tallennus- ja muistikapasiteetti, näyttöjen koko, virrankulutus ja käyttöliittymät (ks. kohta 3.5).

Viestintäsovellusten toteuttamiseen vaikuttavat eniten laitteiden pienet näytöt ja rajoittuneet käyttöliittymät. Virrankulutuksen huomioiminen on merkittävää erityisesti sellaisissa viestintäsovelluksissa, joissa siirretään paljon dataa tai joissa yhteyttä verkkoon tai laitteiden välillä on pidettävä päällä jatkuvasti pitkiäkin aikoja. Pieni prosessointiteho ja tallennuskapasiteetti eivät välttämättä aiheuta suuria ongelmia viestintäsovelluksille.

Informaatiosovelluksista eniten laitteilta vaativat navigaatiosovellukset, joten niihin laitteiden rajoitteetkin vaikuttavat eniten. Navigaatiosovelluksissa näytölle halutaan usein piirtää esimerkiksi reittikarttoja, joissa selkeys on tärkeä tekijä. Näytön koko ja

resoluutio rajoittavat merkittävästi käyttökelpoisten karttojen esittämistä. Myös rajallinen prosessointi- ja tallennuskapasiteetti vaikeuttavat navigaatiosovellusten toteuttamista ja käyttöä. Kohteiden etsimiseen ja lisätietojen hankintaan liittyvät informaatiosovellukset ovat toiminnaltaan usein yksinkertaisempia, joten laitteiden rajoitteet niihin vaikuttavat vähemmän. Rajoittuneet käyttöliittymät kuitenkin vaikeuttavat esimerkiksi hakutietojen syöttöä.

Monia seurantasovelluksia rajoittavat erityisen paljon laitteiden rajalliset resurssit. Jatkuva seuranta kuluttaa nopeasti virtaa, vaatii prosessointitehoa ja usein tallennuskapasiteettiakin tarvittaisiin paljon. Toisaalta suuri osa prosessoinnista voidaan siirtää langattomista tietojenkäsittelylaitteista kiinteisiin laitteisiin. Seurantatietoja olisi havainnollisinta esittää mahdollisimman visuaalisesti, mutta pienet näytöt helposti estävät tämän mahdollisuuden. Käyttöliittymien vaikutus vaihtelee sovelluskohtaisesti riippuen sovelluksen vaatimasta interaktiivisuudesta.

Lähisovellukset sopivat erityisen hyvin käytettäviksi pienillä ja resurssiköyhilläkin langattomilla laitteilla. Niissä ei tarvita monimutkaisia käyttöliittymiä, visuaalisuutta tai raskasta prosessointia. Lähisovellusten käyttö on usein kestoltaan melko lyhytaikaista, siirrettävät datamäärät varsin pieniä ja etäisyydet lyhyitä, joten virrankulutuskaan ei ole suuri ongelma. Tietenkin lähisovelluksetkin hyötyisivät esimerkiksi suuremmasta tallennuskapasiteetista.

Laskutussovelluksetkin tulevat toimeen rajallisten käyttöliittymien ja pienien näyttöjen kanssa. Muiden ominaisuuksien vaikutukset riippuvat paljon sovelluksen käyttötarkoituksesta, mutta useimmat laskutussovellukset tulevat lähisovellusten tavoin hyvin toimeen resurssien rajallisuuden kanssa.

Sisäiset sovellukset toimivat verkon sisällä eivätkä näy tavallisille käyttäjille. Ne käyttävät hyvin vähän langattomien laitteiden resursseja, joten laitteiden ominaisuudet eivät ole niiden kannalta merkittävä tekijä.

Viranomaissovelluksille on tärkeää, että niitä pystytään tarvittaessa käyttämään pitkäänkin ilman, että laitteen akkuja tarvitsee välillä ladata. Sovellusten on myös toimittava laitteissa nopeasti ja luotettavasti. Tämän vuoksi laitteiden rajoitteet ovat kriittisiä viranomaissovelluksille ja niitä käytetäänkin usein laitteilla, jotka on erikseen suunniteltu ammattikäyttöön. Niissä on yleensä kaikkia resursseja käytössä hieman enemmän, mutta myös laitteet ovat usein suurempia.

6.6 Yhteenveto vaikutuksista sovelluksille

Tässä luvussa arvioimme ja yhtenäistimme tutkielmassa aiemmin käsiteltyjä asioita. Luvun tarkoituksena oli myös vastata johdannossa esitettyyn päätutkimusongelmaan. Käsittelimme verkkotekniikoiden tarjoamaa tukea ja soveltuvuutta paikkatietoisten sovellusten tarpeisiin, yhteistoiminnan merkitystä, sen parantamisen vaikutuksia ja tarvetta eri sovelluksille. Lisäksi otimme kantaa tietosuojan ja –turvan vaikutuksiin ja sen riittävään takaamiseen sovelluksille sekä käsittelimme eri laitteiden aiheuttamia rajoitteita sovellusten kehittämiseen.

Verkkotekniikoiden kehittymisen myötä sovelluksista on mahdollista kehittää entistä monipuolisempia. Lisääntyneet resurssit tosin kuluvat nopeasti lisääntyneeseen tiedonsiirtoon ja monipuolisempiin käyttöliittymiin. Toisaalta uudet tiedonsiirto-menetelmät antavat joustavuutta sovellusten käyttöön ja hinnoitteluun. Tuki sisätilojen sovelluksille on hyvä, mutta vaatimukset lisääntyvät siirryttäessä ulos tai toimittaessa sekä sisällä että ulkona – tämä vaatii tekniikoiden yhdistämistä. Parhaimmillaan yhdistäminen näkyy parempana käytettävyytenä ja luotettavampana toimintana. Eniten siitä on hyötyä viestintä-, informaatio-, seuranta- ja viranomaissovelluksille.

Paikkatietoisten sovellusten tietosuoja- ja tietoturvavaatimukset vaihtelevat paljon. Useimmissa tapauksissa tietosuoja on riittävä, kun käyttäjän henkilöllisyys voidaan pitää salassa. Toisaalta esimerkiksi viranomais- ja laskutussovellusten vaatimukset ovat tätä suuremmat, ja lisäksi niiltä vaaditaan myös siirrettävään tietoon liittyvää tiukempi

tietoturva. Lopullinen päätös tietojen luovutuksesta tulee aina olla käyttäjällä, ja tämä yksilön henkilösuoja tulisi paremmin määrittää lainsäädäntöön.

Paikannustarkkuudet vaihtelevat metristä useisiin kilometreihin. Paikannusmenetelmien soveltuminen eri ympäristöihin vaihtelee niin toimintaedellytysten kuin paikannustarkkuuksien puolesta. Useiden paikkatietoisten sovellusten käyttöön riittää epätarkempikin paikkatieto, mutta sisätiloissa paikannuksen täytyy olla lähes aina täsmällisempää. Mitä tarkempaa paikkatieto kuitenkin on, sitä käytettävämpiä ja luotettavampia sovelluksista tulee. Osa navigaatiosovelluksista, lähisovellukset ja viranomaissovellukset hyötyvät kaikkein eniten tarkasta paikkatiedosta. Monessa tilanteessa kuitenkin paikannustarkkuutta tärkeämpi tekijä sovellukselle on tieto siitä, kuinka suuri on annetun sijaintitiedon virhemarginaali.

Käytettävien laitteiden aiheuttamat rajoitteet on otettava huomioon paikkatietoisissa sovelluksissa. Laitteiden rajalliset resurssit vaikuttavat erityisesti sovelluksiin, joissa tarvitaan raskaampaa prosessointia tai paljon tiedon visuaalista esittämistä.

Seuraavassa luvussa esitämme yhteenvedon tämän tutkielman tuloksista ja niiden merkittävyydestä sekä ehdotamme jatkotutkimusaiheita alan tutkijoille.

7 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa tarkastelimme liikkuvaa tietojenkäsittelyä ja yhtä sen sovellusalueista, paikkatietoisia sovelluksia. Päätutkimusongelmamme oli: *Miten verkkotekniikoiden kehitys, liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteet ja eri paikannustekniikat vaikuttavat paikkatietoisiin sovelluksiin?* Aluksi tarkastelimme lähitulevaisuudessa käytettävien langattomien verkkotekniikoiden ominaisuuksia ja kehityssuuntia. Tämän jälkeen toimme esille liikkuvan tietojenkäsittelyn erityispiirteitä, ja käsittelimme niiden vaikutuksia yhtenäisen laadukkaan palvelun takaamisessa. Langattomuuden ja liikkuvuuden käsittelyn jälkeen esittelimme paikannustekniikat kohteen sijainnin määrittämiseen. Kerrosmallin mukaisesti loimme luokittelun, johon tehtyjä ja tulevia paikkatietoisia sovelluksia ja palveluita sijoitettiin. Viimeisenä pyrimme vastaamaan päätutkimusongelmaan arvioimalla eri luvuissa käsiteltyjen asioiden yhteisvaikutuksia sovelluksille.

Käsittelymme alkoi nykyisistä ja tulevista langattomista verkkotekniikoista. Valitsimme tarkasteluun ne tekniikat, joiden kehitysnäkymät ja ominaisuudet olivat kaikkein lupaavimmat. Totesimme liikennöinnin muuttuvan vähitellen pakettipohjaiseksi kaistankäytön tehokkuuden, suurempien tiedonsiirtonopeuksien ja nopeamman yhteyden käyttöönoton takia. Arvioimme verkkotekniikoiden kuitenkin jäävän luvatuista tiedonsiirtonopeuksista melko paljon.

Tutkimuksemme tuki yleistä käsitystä siitä, että mikään verkkotekniikka ei yksinään pysty tarjoamaan joka tilanteessa parasta mahdollista palvelua. Sen takaamiseksi vaaditaan tekniikoiden yhteistoimintaa. Tämän asian ovat esittäneet aiemmin Stemm ja Katz (1998) omassa tutkimuksessaan rajoittuen kuitenkin ainoastaan verkkojen välisiin vaihtoneuvotteluihin ja nykyisiin verkkotekniikoihin. Pystyimme osoittamaan, että lähitulevaisuudessa edes UMTS-verkon tulo ei auta ratkaisemaan näitä ongelmia. Kasvaneet lisenssihinnat ja päätelaitteiden tarjonnan ongelmat hidastavat kolmannen sukupolven verkkojen ennakoitua käyttöönottoa ja levinneisyyttä. Esitimme myös näkemyksemme neljännen sukupolven verkoista.

Liikkuvaan tietojenkäsittelyyn liittyy useita erityispiirteitä. Palvelun laadun takaamisesta tulee entistä vaativampaa siirryttäessä pakettipohjaiseen liikennöintiin. Ongelmia tulee väistämättä olemaan reaaliaikaisen tiedon siirrossa, minkä takia piirikytkentäisiä tekniikoita tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessakin. Puutteellinen käyttäjän liikkuvuuden tuki, vaillinaiset palvelun laadun takaamismenettelyt ja vaihtelevat ympäristöt tekevät liikkuvasta tietojenkäsittelystä vastaisuudessakin erittäin vaativaa. Mukautumisen avulla yhteyden yhtäjaksoisuus voidaan säilyttää, tosin ominaisuuksista tinkimällä.

Myös liikkuvuuden erityispiirteet osoittavat, että tarvitsemme useamman verkkotekniikan yhteistoimintaa. Tämän toiminnan tekee mahdolliseksi Stemmin ja Katzin ehdotus peittoverkkorakenteiden luomisesta. Tarkastelussamme kuitenkin selviää, että verkkotekniikoiden välinen ulkoinen yhteistoiminta on vielä lapsenkengissä. Verkkotekniikat voidaan kuitenkin yhdistää IP-protokollan avulla. Ehdotamme myös Bluetoothin käyttämistä verkkotekniikoiden linkittäjänä. Lisäksi yhteistoiminnan myötä ratkaistavaksi tulevat kysymykset laatu- ja tietoturvaparametrien siirrosta eri verkkojen välillä. Suurin kysymys laajamittaisen yhteistoiminnan toteuttamiseksi tulee kuitenkin olemaan kaupallinen ja poliittinen – kuka saa käyttää kenenkin verkkoja ja mitä korvausta vastaan?

Paikantamistekniikoiden käsittely vahvisti entisestään käsitystämme yhteistoiminnan tarpeellisuudesta. Tekniikat poikkesivat toisistaan niin kattavuudeltaan kuin paikannustarkkuuksiltaan. Osoitimme erillistekniikoiden soveltuvan parhaiten paikantamiseen sisätiloissa. Toimme myös esiin mahdollisuuden käyttää Bluetoothia paikantamisteknologiana. Arvioimme, että ulkona paikantamisesta kilpailevat keskenään matkapuhelinverkot ja GPS-järjestelmä. GPS vie voiton paikantamistarkkuudessa, toisaalta matkapuhelinverkot loistavat monipuolisuudellaan.

Idealistinen tapa paikantamistekniikoiden yhteistoiminnan toteuttamiseksi olisi käyttää keskitettyä sijaintirekisteripalvelua. Tämä edellyttäisi kuitenkin paikkatiedon esitysmuodon maailmanlaajuista yhtenäisyyttä.

Paikkatietoisten sovellusten käsittelyä varten muodostimme oman luokittelun, johon sijoitimme aiempia tutkimusyhteisöjen ja yritysten sovelluksia ja palveluita sekä omia sovellusideoita. Luokittelun avulla pystyimme paremmin osoittamaan sovellus- ja palvelualueiden tyypilliset piirteet, käyttäjäryhmät ja käyttötarkoitukset. Pääosa niistä on suunnattu yleisesti kuluttajille, mutta joukossa on myös sisäisten - ja viranomaissovellusten kaltaisia erityisalueita. Pyrimme esimerkein osoittamaan, että paikkatietoisten sovellusten avulla tiedon kohdentaminen tiettyyn paikkaan ja aikaan helpottuu. Korostimme myös sovellusten ja palveluiden erittäin laajaa kirjoa, ja niiden mahdollisuuksia helpottaa meitä työssämme ja arkirutiineissamme. Havaitsimme eroavaisuuksia tutkimuslaitosten ja yritysten kehittämien ratkaisujen välillä. Yritysten sovellukset perustuvat pääosin matkapuhelinverkkojen kautta tarjottaviin palveluihin, kun taas tiedemaailman sovellukset käyttävät enemmän hyväkseen muita tekniikoita liikennöintiin ja paikantamiseen. Lähestymistavat täydentävät toisiaan. Siltikin vain murto-osaa sovellusideoista on mielestämme ajateltu saati sitten hyödynnetty - sovellusalueen markkinapotentiaali odottaa siis vielä ottajiaan.

Arvioimme liikkuvan tietojenkäsittelyn kehityksen ja erityispiirteiden sekä paikannustekniikoiden vaikutuksia paikkatietoisiin sovelluksiin vaaditun kapasiteetin, yhtäjaksoisuuden, yhteistoiminnan, tietoturvan ja –suojan sekä paikannustarkkuuksien ja laitteiden aiheuttamien rajoitteiden osalta. Osoitimme, että riittävän kapasiteetin ja oikea-aikaisuuden takaamisessa on ongelmia ennen kaikkea ulkona. Koska nopea liikkuminen laskee tiedonsiirtokykyä, erityisen hankalaa on tarjota riittävä palvelun laatu suurissa nopeuksissa paljon kapasiteettia tarvitseville sovelluksille. Yhtäjaksoisuutta voidaan taas parantaa yhteistoimintaa lisäämällä. Havaitsimme, että vaativimpia sovelluksia yhdistää tarve reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon liikuttaessa yhtäjaksoisesti niin sisä- kuin ulkotiloissakin. Näiden sovellusten sujuva käyttö vaatii peittoverkkojen käyttöä.

Paikkatietoisten sovellusten pitää pyrkiä peittämään yhteys sijainnin ja käyttäjän henkilöllisyyden välillä Lisääntyvä yhteistoiminta aiheuttaa kuitenkin vaikeuksia sekä tietosuojan että tietoturvan takaamiselle. Tietosuojan osalta korostamme operaattoreiden vastuuta ihmisten yksityisyyden takaamisessa. Lopullinen päätäntävalta kaikkeen

sovellusten luovuttamaan paikkatietoon täytyy säilyä käyttäjällä itsellään. Tarkastelimme myös sovellusten vaatimuksia paikantamistarkkuuksille. Totesimme useiden sovellusten tulevan toimeen varsin epätarkoilla paikkatiedolla, mutta tarkemmat sijaintitiedot vaikuttavat positiivisesti sovellusten luotettavuuteen ja käytettävyyteen. Viimeisenä käsittelimme langattomien laitteiden rajoitteiden merkitystä sovelluksille. Laitteiden rajalliset resurssit on otettava huomioon sovellusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Tarkoituksenamme oli liikkuvan tietojenkäsittelyn kerrosmallin avulla lähestyä ja käsitellä paikkatietoisten sovellusten kehittämisen edellytyksiä perusteellisesti. Esittelemämme luokittelu paikkatietoisille sovelluksille ja palveluille onkin laaja-alainen, vaikka siinä ei tavoitellakaan absoluuttista kattavuutta. Se on muodostettu aiempien tutkimusten tuloksia yhdistämällä, ja sitä tukevat tutkielman aiemmissa osioissa esitetyt johtopäätökset tulevaisuuden kehityksestä. Korostamme kuitenkin, että suuri osa esitellyistä teknologioista otetaan käyttöön vasta tulevaisuudessa. Varsinaisista tuloksista saadaan varmuus vasta tulevaisuudessa tehtävien empiiristen ja konstruktiivisten tutkimusten myötä – tämän tutkielman resurssien puitteissa se ei olisi ollut mahdollista.

Ehdotamme seuraavia jatkotutkimusaiheita:

1. Bluetooth paikannusteknologiana ja yhteistoiminnan mahdollistajana
2. Palvelun laatu- ja tietoturvaparametrien siirto eri verkkotekniikoiden välillä
3. Eri organisaatioiden ja yritysten halukkuus ulkoisen yhteistoiminnan toteuttamiseen liikkuvassa tietojenkäsittelyssä
4. Paikannustekniikoiden yhteistoiminnan toteuttaminen käytännössä
5. Yksittäisten paikkatietoisen sovellusalueiden vaatimusten tarkka kartoittaminen

Alan Kayta lainaten: ”Paras tapa ennustaa tulevaisuus on keksiä se itse.” Tie on nyt viitoitettu, ainoana tehtävänä on enää astua sille ja lähteä kulkemaan kohti huomista. Jossain kaukana siintää Weiserin (1991) hahmottelema tulevaisuus, jossa ”kehittyneimmät teknologiat muuttuvat näkymättömiksi”

LÄHTEET

3GPP 1999. 3G TR 23.922 V1.0.0. Architecture for an All IP network. Third Generation Partnership Project.

3GPP 2000a. 3G TS 22.071 V4.1.0. Location Services (LCS). Third Generation Partnership Project.

3GPP 2000b. 3G TS 22.101 V5.0.0. Service Principles. Third Generation Partnership Project.

3GPP 2000c. 3G TS 22.121 V3.3.0. The Virtual Home Environment. Third Generation Partnership Project.

3GPP 2000d. 3G TS 23.171 V3.1.0. Stage 2 Functional Description of Location Services in UMTS. Third Generation Partnership Project.

3GPP 2000e. 3G TS 25.305 V3.2.0. Stage 2 Functional Specification of Location Services in UTRAN. Third Generation Partnership Project.

3GPP 2001. 3G TS 03.71 V8.1.0. Stage 2 Functional description of Location Services (LCS). Third Generation Partnership Project.

Abowd, G. D. 1996. Ubiquitous Computing: Research Themes and Open Issues From An Applications Perspective. Technical report, GIT-GVU 96-24, Georgia University of Technology.

Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Hong, J., Kooper, R., Long, S., & Pinkerton, M. 1997. Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide. ACM Wireless Networks, Vol. 3, No. 5, 421-433.

Agrawal, P. & Famolari, D. 1999. Mobile Computing in Next Generation Wireless Networks [online]. Proceedings of the 3rd International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://sigchi.acm.org/pubs/articles/proceedings/comm/313239/p32-agrawal/p32-agrawal.pdf>

Alonso, R., Chang, Y., Iftode, L., & Mani, V. S. 1995. Managing Video Data in a Mobile Environment. SIGMOD Record, Vol. 24, No. 4, 28-33.

Asokan, N. 1994. Anonymity in a Mobile Computing Environment [online]. Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, USA [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: http://www.semper.org/sirene/people/asokan/research/mobile94-ieee.ps.gz>

Asthana, A., Cravatts, M., & Krzyzanowski, P. 1994. An Indoor Wireless System for Personalized Shopping Assistance [online]. Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, USA [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: ftp://ftp.cse.ucsc.edu/pub/wmc-94/asthana.ps>

Au-Systems 2000. Bluetooth White Paper. Version 1.1.

Bahl, P. 1998. Supporting Digital Video in a Managed Wireless Networks. IEEE Communications Magazine, Vol. 36, No. 6, 94-102.

Beadle, P. H. W., Maguire, G. Q., Jr., & Smith, M. T. 1998. Location Based Personal Mobile Computing and Communication [online]. Proceedings of the 9th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, Banff, Alberta, Canada, IEEE Press. [viitattu 25.1.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: http://www.it.kth.se/~maguire/LocationAware/ieee_lan_98/ >

Bennett, P. & Nakamura, K. 1997. The Global Positioning System FAQ [online]. Version 9.001. [viitattu]. Saatavilla txt-muodossa:
<URL: http://www.gpsy.com/gpsinfo/ >

Bergqvist, J., Dahlberg, P., Fagrell, H., & Redström, J. 1999a. Location Awareness and Local Mobility; Exploring Proximity Awareness. Proceedings of The Twenty Second Information Systems Research Seminar In Scandinavia (IRIS) Conference, Keuruu, Finland, University of Jyväskylä.

Bergqvist, J., Dahlberg, P., Kristoffersen, S., & Ljungberg, F. 1999b. Moving Out of the Meeting Room: Exploring support for mobile meetings. European Conference on Computer Supported Cooperative Work, Copenhagen, Denmark.

Bettstetter, C., Vögel, H.-J., & Eberspächer, J. 1999. GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols, and Air Interface [online]. IEEE Communication Surveys, Vol. 2, No. 3, 2-14 [viitattu 5.6.2000]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.comsoc.org/pubs/surveys/3q99issue/pdf/Bettstetter.pdf>

Bharghavan, V. 1994. A Protocol for Authentication, Data and Location Privacy, and Accounting in Mobile Communications. Proceedings of the ACM Conference on Computers and Communications Security, Fairfax, VA, USA.

Bharghavan, V. & Gupta, V. 1997. A Framework for Application Adaptation in Mobile Computing Environments. Proceedings of IEEE Computer Software and Applications Conference '97, Bethesda, MD, USA.

Bluetooth 1999a. Specification of the Bluetooth System, Core. Version 1.0B, Bluetooth Special Interest Group.

Bluetooth 1999b. Specification of the Bluetooth System, Profiles. Version 1.0B, Bluetooth Special Interest Group.

Bochmann, G.v. & Hafid, A. 1997. Some Principles for Quality of Service Management [online]. Distributed Systems Engineering, Vol. 4, No. 1, 16-27. [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: http://www.csd.uwo.ca/faculty/hakim/papers/DJS-96.ps>

Borovoy, R., McDonald, M., Martin, F. & Resnick, M. 1996. Things that blink: Computationally augmented name tags. IBM Systems Journal, Vol. 35, No. 3&4, 488-495.

Buckingham, S. 2000. Data on 3G. Mobile Lifestreams Limited, London, England.

Burkley, C. J. 1993. Coding And Modulation Techniques For RF LANs. Teoksessa López-Hernández, F. J. & Santamaria, A. (toim.) Wireless LAN Systems. Boston, Artech House, chapter 8, 197-223.

Chalmers, D. & Sloman, M. 1999. A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments, Vol. 2, No. 2, 2-10.

Constantinou, P. 1993. Properties of Wireless RF Channels. Teoksessa López-Hernández, F. J. & Santamaria, A. (toim.) Wireless LAN Systems. Boston, Artech House, chapter 6, 129-163.

Cooper, D. & Birman, K. 1995. Preserving Privacy in a Network of Mobile Computers. Proceedings of the 1995 IEEE Symposium on Security and Privacy, Oakland, CA, USA, 26-38.

Dana, P. H. 1999. Global Positioning System Overview [online]. The Geographer's Craft Project, Department of Geography, University of Colorado [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>

Davies, N., Mitchell, K., Cheverst, K., & Blair, G. 1998. Developing a Context Sensitive Tourist Guide. Teoksessa Johnson, C. (toim.) Proceedings of the First Workshop on Human Computer Interaction for Mobile Devices, University of Glasgow, Scotland, 64-68.

ETSI 1997. High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) - Stage 1, GSM specification 02.34. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998a. EN 300 652 V1.2.1. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PErformance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Functional specification. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998b. ETS 300 836-1. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PERformance Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Conformance testing specification; Part 1: Radio type approval and Radio Frequency (RF) conformance test specification. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998c. ETS 300 836-2. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PERformance Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Conformance testing specification; Part 2: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) proforma specification. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998d. ETS 300 836-3. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PERformance Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Conformance testing specification; Part 3: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS&TP) specification. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998e. ETS 300 836-4. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PERformance Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Conformance testing specification; Part 4: Abstract Test Suite (ATS) specification. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1998f. EN 300 909 V7.1.1. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Channel coding (GSM 05.03 version 7.1.1 Release 1998). European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 1999. TR 101 031 V2.2.1. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIgh PErformance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 2; Requirements and architectures for wireless broadband access. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 2000a. TR 101 683 V1.1.1. Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; System Overview. European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 2000b. ETSI EN 301 344 V6.6.1. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2 (GSM 03.60 version 6.6.1 Release 1997). European Telecommunications Standards Institute.

ETSI 2000c TS 101 723 V7.2.0. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Location Services (LCS); Service description; Stage 1 (GSM 02.71 version 7.2.0 Release 1998). European Telecommunications Standards Institute.

EUC 1999. COM 54: Galileo; Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services. Communications from the Commission, Brussels, Belgium, European Commission.

EUC 2000. COM 239: The results of the public consultation on the 1999 Communications Review and Orientations for the new Regulatory Framework. Communication from the Commission, Brussels, Belgium, European Commission.

FCC 1996. FCC 96-264: Revision of the Commission's Rules To Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems – Report and Order and Further Notice

of Proposed Rulemaking, Washington, D.C., MD, USA, Federal Communications Commission.

FCC 1999. FCC 99-245: Revision of the Commission's Rules To Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems – Third Report and Order, Washington, D.C., MD, USA, Federal Communications Commission.

FCC 2001. FCC Wireless 911 Requirements. WTB Policy, Washington, D.C., MD, USA, Federal Communications Commission.

Forman, G. & Zahorjan, J. 1994. The Challenges of Mobile Computing. IEEE Computer, Vol. 27, No. 4, 38-47.

Frodigh, M, Johansson, P., & Larsson, P. 2000. Wireless ad hoc networking–The art of networking without a network. Ericsson Review, Vol. 4, No.4, 248-263.

Fry, M., Seneviratne, A., Vogel, A., & Witana, V. 1997. QoS Management in a World Wide Web Environment Which Supports Continuous Media. Distributed Systems Engineering Journal - Special Issue on Quality of Service, Vol. 4, No. 1, 38-47.

Ghai, R. & Singh, S. 1994. A Protocol for Seamless Communication in Picocellular Networks [online]. Proceedings in IEEE ICC'94, 192-196, New Orleans, LA, USA [viitattu13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: ftp://ftp.ece.orst.edu:/pub/users/singh/papers/pico1.ps.gz >

Gupta, V. & Montenegro, G. 1998. Secure and mobile networking. Mobile Networks and Applications, Vol. 3, No. 4, 381-390.

Haartsen, J. 1998. Bluetooth—The universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. Ericsson Review, Vol. 2, No.3, 110-117.

Herzberg, A., Krawczyk, H., & Tsudik, G. 1994. On Travelling incognito. Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, USA, 205-211.

H2GF 1999. HiperLAN/2 – The Broadband Radio Transmission Technology Operating in the 5 GHz Frequency Band (toim. Martin Johnsson). Whitepaper, version 1.0, HiperLAN/2 Global Forum.

Hodes, T.D. & Katz, R. 1998. Composable Ad Hoc Location-based Services for Heterogeneous Mobile Clients. ACM Wireless Networks, Vol. 5, No. 5, 411-427.

Holmquist, L. E., Falk, J., & Wigström, J. 1999. Supporting Group Collaboration with Inter-Personal Awareness Devices. Journal of Personal Technologies, Special Issue on Handheld CSCW. Springer.

IEEE P802.11. 1997. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. IEEE Approved Draft Standard, P802.11 D6.1.

Kaasinen, E., Ahonen, A., Anttila, V., Luoma, J., & Penttinen, M. 2001. Key Usability and Ethical Issues in the NAVI programme, Deliverable 2. Version 1.1, KEN Consortium.

Karasti, O. 2000. Bluetoothin mahdollisuudet teollisuudessa [esitelmä]. Bluetooth-teknologiapäivä 7.6.2000. Tieturi, Helsinki.

Katz, R. 1995. Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems [online]. IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 1, No. 1, 6-17 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: http://daedalus.cs.berkeley.edu/publications/Personal.ps.gz>

Katz, R. 1996. Security and Privacy in Wireless Systems [esitelmä, online]. Special Topics: Wireless Communications and Mobile Computing –course 8.4.1996. University of Berkeley, CA, USA [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.cs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS294.S96/Security.pdf >

Kleinrock, L. 1996. Nomadicity: Anytime, Anywhere In A Disconnected World. Mobile Networks and Applications, Vol. 1, No. 4, 351-357.

Kleinrock, L. 1998. Nomadic Computing and Communications [online]. Kirjassa NII 2000 Steering Committee (toim.) The Unpredictable Certainty: Information Infrastructure Through 2000. National Academy Press, Washington D.C., MD, USA [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: http://bob.nap.edu/readingroom/books/whitepapers/ch-40.html>

Knoche, H. & de Meer, H 1997. Quantitative QoS-Mapping: A Unifying Approach [online]. Proceedings of 5th IFIP International Workshop on QoS, 347-358, NY, USA [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: http://rzdspc77.informatik.uni-hamburg.de/TKRN/world/papers/1997/transqos.A4.ps>

Koski, J. T. 1998. Infoähky ja muita kirjoituksia oppimisesta, organisaatioista ja tietoyhteiskunnasta. Jyväskylä, Gummerus.

Kunz, T. & Black, J. P. 1999. An Architecture for Adaptive Mobile Applications [online]. Wireless '99, Calgary, Canada. [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.shoshin.uwaterloo.ca/pub/papers/Ps/conf25.pdf>

Lamming, M. & Flynn, M. 1994. Forget-me-not: intimate computing in support of human memory. FRIEND21 Symposium on Next Generation Human Interfaces, Tokyo, Japan, 125-128.

Leonhardt, U. 1998. Supporting Location-Awareness in Open Distributed Systems [online]. Lontoon yliopisto, Englanti. Väitöskirja [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www-dse.doc.ic.ac.uk/~ul/pdf/thesis_w_bookmarks.pdf>

López-Hernández, F. J. & Santamaria, A. 1993. Wireless LANs: An Overview. Teoksessa López-Hernández, F. J. & Santamaria, A. (toim.) Wireless LAN Systems. Boston, Artech House, chapter 1, 1-19.

Lu, S., Lee, K.-W., & Bharghavan, V. 1997. Adaptive Service in Mobile Computing Environments [online]. Proceedings of 5th IFIP International Workshop on QoS [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: http://www.crhc.uiuc.edu/~slu/papers/iwqos97.ps>

Maass, H. 1998. Location-aware mobile applications based on directory services. Mobile Networks and Applications, Vol. 3, No. 1, 157-173.

Merrill Lynch & Co 1999. HSCSD, GPRS, EDGE. Teoksessa Mullins, S., Roberts, M., & Simons, D. Bridging the Data Gap [online]. Mobile Quarterly Report, Tele.com [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: http://www.teledotcom.com/strategis/mobile_quarterly/mobileQ.html>

Mettälä, R. (toim.) 1999. Bluetooth Protocol Architecture. Version 1.0.

Molva, R. Samfat, D., & Tsudik, G. 1994. Authentication of Mobile Users. IEEE Network, Vol. 8, No. 2, 26-34.

Muller, T. 1999. Bluetooth Security Architecture. Version 1.0.

Narikka, J. 2000. Data Transmission Performance of Future Wireless Applications in a Mixed Data and Voice Environment [online]. 7th International Workshop on Mobile

Multimedia Communications, Tokyo, Japan [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.cs.jyu.fi/~mmm/documents/narikka_1000.pdf>

Noble, B. D., Satyanarayanan, M., Narayanan, D., Tilton, J. E., Flinn, J., & Walker K. R. 1997. Agile Application-Aware Adaptation for Mobility. Proceedings of the Sixteenth ACM Symposium on Operating Systems Principles, St. Malo, France.

Nokia 2000. Enhanced Data Rates for Global Evolution EDGE Classic & EDGE Compact for ANSI-136 Networks. Whitepaper.

O'Keeffe, C. 2000. Future Bluetooth Evolution [esitelmä]. Bluetooth Seminar 31.10.-1.11.2000. Ericsson, Helsinki.

Pace, S., Frost, G., Lachow, I., Frelinger, D., Fossum, D., Wassem, D. K., & Pinto, M. 1995. The Global Positioning System: Assessing National Policies [online]. RAND Research, MR-614 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: www.rand.org/publications/MR/MR614/ >

Pahtavan, K. 1988. Wireless Intraoffice Network. ACM Transactions on Office Information Systems, Vol. 6, No. 3, 277-302.

Perkins, C. (toim.) 1996. IP Mobility Support [online]. RFC 2002 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla txt-muodossa:
<URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>

Perkins, C. 1998. Mobile Networking in the Internet. Mobile Networks and Applications, Vol.3, No. 4, 319-334.

Pfeifer, T., Magedanz, T., & Hübener, S. 1998. Mobile Guide – Location-Aware Applications from the Lab to the Market. Teoksessa Plagemann, T. & Goebel, V.

(toim.) Proceedings of Interactive Distributed Multimedia Systems and Telecommunication Services'98, Oslo, Norway, Springer, 15-28.

Pfeifer, T. 1999. Automatic Conversion of Communication Media [online]. Berliinin teknillinen korkeakoulu, Saksa. Väitöskirja [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.gmd.de/publications/research/2000/001/Text.pdf >

Pitoura, E. & Bhargava, B. 1993. Dealing with Mobility: Issues and Research Challenges. Technical Report CSD 93-070, Computer Science Department, Purdue University, USA.

Radiolinja 2001. Verkkopaikannus nopeuttaa ensiavun saantia uudenvuoden yönä Helsingissä [lehdistötiedote, online, viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa:
<URL: http://www.radiolinja.fi/radiolinja/viestinta/tiedotteet/tiedote.asp?id=991 >

Rajagopalan, B. 1997. Mobility and Quality of Service (QoS) in the Internet [esitelmä]. 3rd International Workshop on Mobile Multimedia Communications 25.–27.8.1997. Princeton, NJ, USA.

Raunio, A. (toim.) 2000. Henkilökohtainen navigointi. Markkinat, teknologia ja sovellukset. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedote nro. 2037, Espoo.

Redström, J., Dahlberg, P., Ljungstrand, P., & Holmquist, L. E. 1999. Designing for Local Interaction [online]. Proceedings of Managing Interactions in Smart Environments '99, Springer [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.viktoria.informatik.gu.se/groups/play/publications/1999/local.pdf >

Rimpiläinen, M. 2001. Paikannus etsii palvelut puolestasi. Matkaviesti, No. 1, 9-12, Turku, Sonera Oyj.

Rosen, E., Viswanathan, A., & Callon, R. 2001. Multiprotocol Label Switching Architecture [online]. RFC 3031 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla txt-muodossa: <URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt >

Samfat, D. & Molva, R. 1994. A method providing identity privacy to mobile users during authentication. Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, USA, 196-199.

Samfat, D. Molva, R., & Asokan, N. 1995. Anonymity and Untraceability in Mobile Networks [online]. Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa: <URL: http://www.semper.org/sirene/people/asokan/research/winet.ps.gz >

Satyanarayanan, M. 1996. Fundamental Challenges in Mobile Computing. Proceedings of 15th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Philadelphia, PA, USA, 1-7.

SC 1999. Salutation Architecture Specification (Part-1) [online]. Version 2.0C, Salutations Consortium [viitattu 13.3.2001]. <URL: ftp://ftp.salutation.org/salute/Sa20e1a21.pdf >

Schilit, B. N., Adams, N., & Want, R. 1994. Context-Aware Computing Applications. Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, USA, IEEE, 85-90.

Schmidt, A., Beigl, M., & Gellersen, H.-W. 1999. There is more to Context than Location. Computers & Graphics Journal, Elsevier, Vol. 23, No. 6, 893-902.

Schmidt, R. & Coursey, C. 2000. Basic GSM and ANSI-136 Interoperability. SBC Technology Resources, Inc.

Secchi, R. & Sheedy, T. 2000. Western European Cellular Market Assessment–Forecast and Analysis, 1999-2004. Report HW03G, IDC.

SG 2000. European Wireless Location Services: Strategies & Outlook [online]. Report, version 2.0, The Strategis Group [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://strategis.commnow.com/masterpdf/EuroWLOC00.pdf >

Singh, S. 1996. Quality of Service Guarantees in Mobile Computing [online]. Journal of Computer Communications, Vol. 19, No. 2, 359-371 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla ps-muodossa:
<URL: ftp://ftp.ece.orst.edu:/pub/users/singh/papers/qos.ps.gz>

Spreitzer, M. & Theimer, M. 1993. Providing Location Information in a Ubiquitous Computing Environment. Proceedings of the 14th ACM symposium on Operating systems principles, Asheville, USA, 270-283.

Starner, T., Kirsch, D., & Assefa, S. 1997. The Locust Swarm: An Environmentally-Powered, Networkless Location and Messaging System. Proceedings of 1st International Symposium on Wearable Computers, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society.

Stemm, M. & Katz, R. 1998. Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks. Mobile Networks and Applications, Vol. 3, No. 4, 335-350.

Swedberg, G. 1999. Ericsson's mobile location solution. Ericsson Review, Vol. 3, No. 4.

Syverson, P., Goldschlag, D., & Reed, M. 1997. Protocols using Anonymous Connections: Mobile Applications. Teoksessa Christianson, B., Crispo, B., Lomas, M. & Roe, M. (toim.) Proceedings of the 5th International Workshop on Security Protocols, Pariisi, Ranska, Springer, 13-23.

Tolvanen, M. 2000. Development in Terminal Technology [esitelmä]. Mobile Communications Conference 2000 25.-28.4.2000, Helsinki.

UMTS Forum 1998. The Path towards UMTS – Technologies for the Information Society. Report, UMTS Forum.

UMTS Forum 2000a. Enabling UMTS & Third Generation Services and Applications. Report, UMTS Forum.

UMTS Forum 2000b. Shaping the Mobile Multimedia Future - An Extended Vision from the UMTS Forum. Report, UMTS Forum.

UWCC 1999. UWCC/ETSI Agreement Enhances TDMA Convergence Worldwide [lehdistötiedote, online]. Washington, D.C., MD, USA, Universal Wireless Communications Consortium [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla html-muodossa: <URL: http://www.uwcc.com/press_release_archive/121899.html >

Varshney, U. & Vetter, R. 2000. Emerging Mobile and Wireless Networks. Communications of the ACM, Vol. 43, No. 6, 73-81.

Veizades, J., Guttman, E., Perkins, C., & Kaplan, S. 1997. Service Location Protocol [online]. RFC 2165 [viitattu 27.1.2001]. Saatavilla txt-muodossa: <URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc2165.txt >

Waldo, J. 1999. Jini Architectural Overview [online]. Technical White Paper [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa: <http://www.sun.com/jini/whitepapers/architecture.pdf >

Want, R., Hopper, A., Falcao, V., & Gibbons, J. 1992. The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10 No. 1, 91-102.

Want, R., Schilit, B. N., Adams, N. I., Gold, R., Petersen, K., Goldbery, D., Ellis, J. R., & Weiser, M. 1995. The ParcTab Ubiquitous Computing Experiment. Teoksessa T.

Imielinski & H. F. Korth (toim.) Mobile Computing. Boston, Kluwer Academic Publishers, chapter 2, 45-101.

Ward, A., Jones, A., & Hopper, A. 1997. A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, 42-47.

Ward, A. 1998. Sensor-driven Computing [online]. Cambridgen yliopisto, Englanti. Väitöskirja [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla pdf-muodossa:
<URL: http://www.uk.research.att.com/bat/sdc.pdf >

Weiser, M. 1991. The Computer for the 21st Century. Scientific American, Vol. 265, No. 3, 94-104.

Weiser, M. 1993. Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. Communications of the ACM – Special Issue on Computer-Augmented Environments, Vol. 36, No. 7, 74-83.

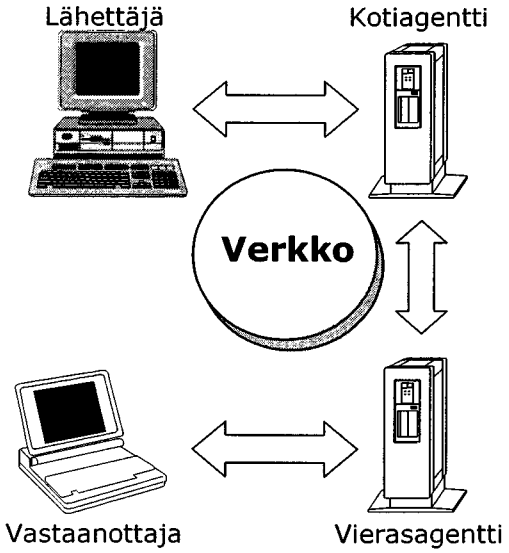
Wroclawski, J. 1997. Specification of the Controlled-Load Network Element Service [online]. RFC 2211 [viitattu 13.3.2001]. Saatavilla txt-muodossa:
<URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc2211.txt >

Zimmerman, K. & Cannon, R. 1994. Differential Carrier Phase GPS Techniques for Space Vehicle Rendezvous. Proceedings of Institute of Navigation GPS-94 Conference, Vol. 2, 1693-1700.

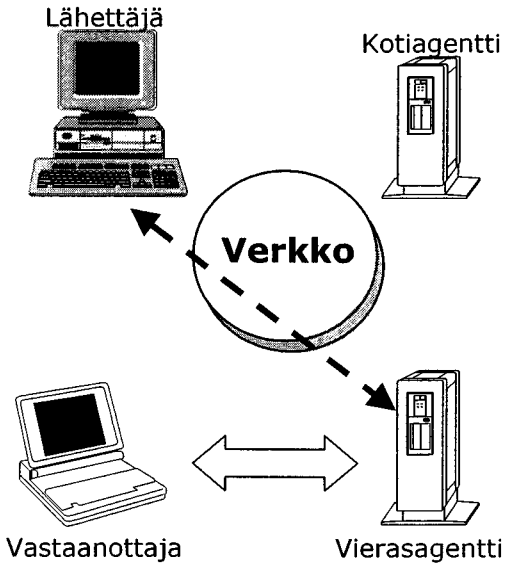
Zorzi, M. 1998. Mobile and Wireless Telecommunication Networks. Center for Wireless Communications, University of California, San Diego, USA.

Zyren, J. 1999. Reliability of IEEE 802.11 Hi Rate DSSS WLANs in a High Density Bluetooth Environment. Intersil Corporation - PRISM Products Bluetooth `99.

LIITE 1: IP-PROTOKOLLAN KEHITTYMINEN

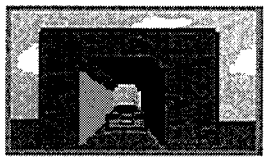


a) MoIP IPv4 viestit kulkevat aina triangelin muotoista reittiä.

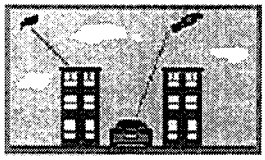


b) MoIP IPv6 viestit kulkevat suoraan lähettäjältä vastaanottajalle sen jälkeen, kun yhteys on ensimmäisen kerran muodostettu

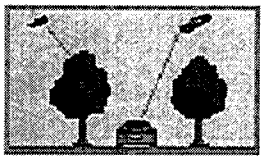
LIITE 2: SIGNAALIN HÄIPYMINEN



Tunnelit ja paikoitushallit

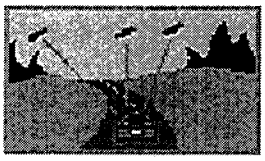


Korkeiden rakennusten väleissä

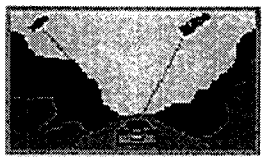


Metsät ja kujat

Voimakkaat myrskyt ja sateet



Mäkien aiheuttamat satelliittivääristymät



Laaksot ja kalliot

LIITE 3: LINKKEJÄ KAUPALLISIIN PAIKKATIETOISIIN SOVELLUKSIIN

Cambridge Positioning Systems

Coverge-palvelu

http://www.cursor-system.com/sitefiles/coverge/adintro.htm

CellPoint

Resource Manager

http://www.cellpt.com/resourcemanagementservices2.htm

Mgine Technologies

http://www.mginetechnologies.com

mobilePosition

friendPosition, housePosition

http://www.mobileposition.com/prod_appl.html

Mobilkom Austria

Mobilguide

http://www.a1.net/CDA/display_1/0,1027,NavGroup_0-ArtId_4249,00.html

Pocket-it

http://www.pocket-it.com/products/coreservices.htm

SignalSoft

Location sensitive billing

http://www.signalsoftcorp.com/newsroom/media/datasheets/Slick%20-%20lsb%20new%20final.pdf

W911

http://www.signalsoftcorp.com/newsroom/media/datasheets/Slick%20-%20w911%20new%20final.pdf

local.info

http://www.signalsoftcorp.com/products/local_info.html

@work

http://www.signalsoftcorp.com/products/bfound/bfound.html

Sonera

Pointer Friends

http://www.sonera.fi/english/solutions/positioning/applications/community.html

Pointer Nearest

http://www.sonera.fi/english/solutions/positioning/applications/nearest.html

Pointer Neighbourhood, Pointer Guide

http://www.sonera.fi/english/solutions/positioning/applications/life.html

Pointer Router

http://www.sonera.fi/english/solutions/positioning/applications/traffic.html

Pointer SOS

http://www.sonera.fi/english/solutions/positioning/applications/safety.html

TimesThree

E911-palvelu

http://www.timesthree.com/services/e911.html

Fleet-palvelu

http://www.timesthree.com/services/fleet.html

L411-hakemistosovellus

http://www.timesthree.com/services/l411.html

Liikenne-palvelu

http://www.timesthree.com/services/traffic.html

Webraska

http://www.webraska.co.uk/technology/wns.htm