

# **MOBILITPAIKKATIETOSOVELLUKSET**

Teemu Hakolahti

12.6.2003

Joensuun yliopisto  
Tietojenkäsittelytiede  
Progradu-tutkielma

## TIIVISTELMÄ

Paikkatietosovelluksissa käytetään kohteen sijainti -informaatiota sovelluksen perustana. Langattoman tiedonsiirron ja päätelaitteiden kehityksen myötä sovellukset ovat voitu toteuttaa mobiileissa ympäristöissä. Myös palvelujen tarjonta on monipuolistunut ja niiden hinta ja tehokkuus on parantunut huomattavasti. Sovellusympäristö asettaa vaatimuksia kehitettävillä järjestelmillä esimerkiksi paikkatiedon käsittelyn ja esitystavan osalta. Eri paikannusmenetelmät tuottavat vaihtelevan tasoista informaatiota paikan nustarkkuuden osalta ja menetelmien käyttökelpoisuus on ympäristöstä riippuvainen. Paikkatietosovelluksen tulee tarjota tietyt peruskyselyt, joiden pohjalta sovellukseen tarvittavat muut toiminnot voidaan toteuttaa. Tässä tutkielmassa tarkastellaan paikannusmenetelmiä satelliittipaikannuksen-, verkkopaikannuksen-, yhdistettyjen paikannusmenetelmien- ja sisätilapaikannuksen osalta. Samalla tuodaan esille paikkatietosovellusten järjestelmäarkkitehtuuri, jonka osalta käsitellään sovelluksen vaatimuksia, perusarkkitehtuuria, päivitysprotokollia ja tiedonsiirtoa. Tarkastelu perustuu alankirjallisuuteen. Esimerkkisovelluksena käydään läpi tutkimusprojektin yhteydessä kehitettyä Slider-sovellusta, tuodaan esille sovelluksessa tehtyjä ratkaisuja ja ehdotetaan esimerkkisovelluksen kehitystoimenpiteitä.

**Avainsanat:** satelliittipaikannus, verkkopaikannus, sisätilapaikannus, paikkatietosovellukset, järjestelmäarkkitehtuuri, päivitysprotokollat, mobiilitiedonsiirto, paikkatietokyselyt

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 PAIKANNUSMENETELMÄT</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1Satelliittipaikannus</b> .....	<b>5</b>
2.1.1Suhteellinen satelliittipaikannus .....	7
2.1.2Avustettusatelliittipaikannus.....	8
<b>2.2Verkkopaikannus</b> .....	<b>9</b>
2.2.1Solupaikannus .....	9
2.2.2Signaalinvoimakkuuteenperustuvamenetelmä..	11
2.2.3Signaalinsaapumissuuntaanperustuvamenetelmä	13
2.2.4Signaalinsaapumisaikaanperustuvamenetelmä.	14
<b>2.3Yhdistetytpaikannusmenetelmät</b> .....	<b>17</b>
2.3.1Tietokantakorrelaatio .....	17
2.3.2Sormenjälkipaikannus.....	19
<b>2.4Sisätilapaikannus</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5Yhteen vetoeripaikannusmenetelmistä</b> .....	<b>21</b>
<b>3 PAIKKATIETOSOVELLUKSET</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1Paikantaminenjaseuranta</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2Sijainninvälittäminen</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3Pull-palvelut</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4Push-palvelut</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5Lähi-informaatiopalvelut</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6Karttatietopalvelut</b> .....	<b>29</b>
<b>3.7Reittiopastuspalvelut</b> .....	<b>31</b>

<b>4 JÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1 Perusarkkitehtuuri</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2 Palvelualueet</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3 Paikkatiedontallentaminen</b> .....	<b>42</b>
<b>4.4 Paikkatietokyselytjätapahtumat</b> .....	<b>44</b>
<b>4.5 Päivitysprotokollat</b> .....	<b>47</b>
4.5.1 Kyselyprotokollat.....	48
4.5.2 Raportointiprotokollat.....	49
4.5.3 Yhdistetytprotokollat .....	51
4.5.4 Protokollienkäyttäytyminen yhteydenkatkes sa.....	51
<b>4.6 Mobilitiedonsiirto</b> .....	<b>54</b>
<b>4.6.1 WLAN</b> .....	<b>54</b>
<b>4.6.2 GSM-verkot</b> .....	<b>57</b>
<b>5 PAIKKATIETOSOVELLUKSEN ESIMERKKITAPAUS: SLIDER</b> .....	<b>59</b>
<b>5.1 Sijainnin muodostaminen ja navigointi</b> .....	<b>60</b>
<b>5.2 Paikkatiedon esitystavat</b> .....	<b>63</b>
<b>5.3 Sovelluksen tarjoamat palvelut, kyselytjätapahtumat</b> .....	<b>67</b>
5.3.1 Valvontatila.....	68
5.3.2 Karttatietopalvelut .....	73
5.3.3 Paikkatietokyselytjätapahtumat .....	76
<b>5.4 Järjestelmäratkaisut</b> .....	<b>78</b>
<b>6 YHTEENVETO</b> .....	<b>81</b>
<b>VIITTEET</b> .....	<b>83</b>

# 1 JOHDANTO

Langattomien päätelaitteiden ja tietoverkkojen kasvu on ollut suurta viimeisen viiden vuoden aikana. Satelliittipaikannuksen tarkkuuden paraneminen ja teleoperaattoreiden matkapuhelinverkon uudistamistoimenpiteet ovat tuoneet mahdollisuuden tehokkaiden paikannusmenetelmien kehittämiseksi. Nopea tiedonsiirto käyttäjän ja tietoliikenneverkon välillä on pystytty toteuttamaan langattomasti, mikä on tarjonnut käyttäjilleen vapaan liikkuvuuden. Nämä kehityksen askeleet ovat tarjonneet vankan pohjan mobiilien paikkatietosovellusten kehittämiseksi. Paikkatietosovellusten uskotaankin olevan seuraava markkinoilla läpimurtoon pystyväsovellusala [20,33,36].

Teoksessa [40] *paikkatieto* on määritelty seuraavasti: paikkatieto on paikannettu kohdetta tai ilmiötä kuvaava sijaintitiedon ja ominaisuustiedon looginen kokonaisuus. Paikkatiedot ovat tavallisesti digitaalimuotoisia kartta- ja rekisteritietoja [36]. *Sijaintitieto* on tieto, joka ilmaisee kohteen sijainnin ennalta määrittelyn koordinaattijärjestelmän mukaisesti [36]. Eri koordinaattijärjestelmiä on tarkasteltu esimerkiksi teoksessa [7]. *Ominaisuustieto* taas määrittää, "kukataimikäjämilläinen" kohde [40]. Ominaisuustiedot voivat sisältää esimerkiksi kohteen nopeuden ja suunnan. Käytettävä sovellus määrää tarvittavat kohteen ominaisuustiedot. *Sijainti* saadaan muodostettua erilaisten paikannusmenetelmien avulla, jotka määrittävät käyttäjän sijainnin perustuen paikannuksen satelliitteihin, antennihin ja radiomenetelmiin.

Paikkatiedon esitystavat voidaan jakaa monimutkaisuuden perusteella esimerkiksi *kulkupisteisiin, reitteihin ja alueisiin*. Kulkupisteet (Waypoints) ovat yksinkertaisin esitystapa paikkatiedolle. Kulkupisteet ovat tietorakenteita, joihin voidaan liittää informaatiota. Niiden sisältönä ovat yleensä koordinaattipari kulkupisteen sijainnista ja kulkupisteen tunniste. Reitit (Tracks) ovat lista koordinaattipareista, jotka muodostavat kulkureitit. Koordinaattiparit ovat tallennettu järjestyksessä siten, että reitistä voidaan nähdä kohteen lähtöpiste ja kulkureitti nykyiseen sijaintiin. Lisäksi ajan ja kuljetun matkan perusteella voidaan laskea esimerkiksi keskinopeus. Alueet (Areas) määritellään koordinaattien avulla ja niihin voidaan kohdistaa toimenpiteitä ja niitä voidaan muokata. Toimenpiteinä ovat esimerkiksi alueen määrittäminen ja tiedon

valitsemiseen, esimerkiksi valita tietyt kohteet seurantaan. Muokkaustoimenpiteitä voivat olla alueen koon muuttaminen tai alueen sijainnin muuttaminen. Esimerkkinä on tilanne, jossa valitaan alue ja valvotaan sitä. Jos alueella tapahtuu liikettä, toisin sanoen jonkun käyttäjän koordinaatitsijoittuvatalueensisälle, havaitsee sovellustämän.

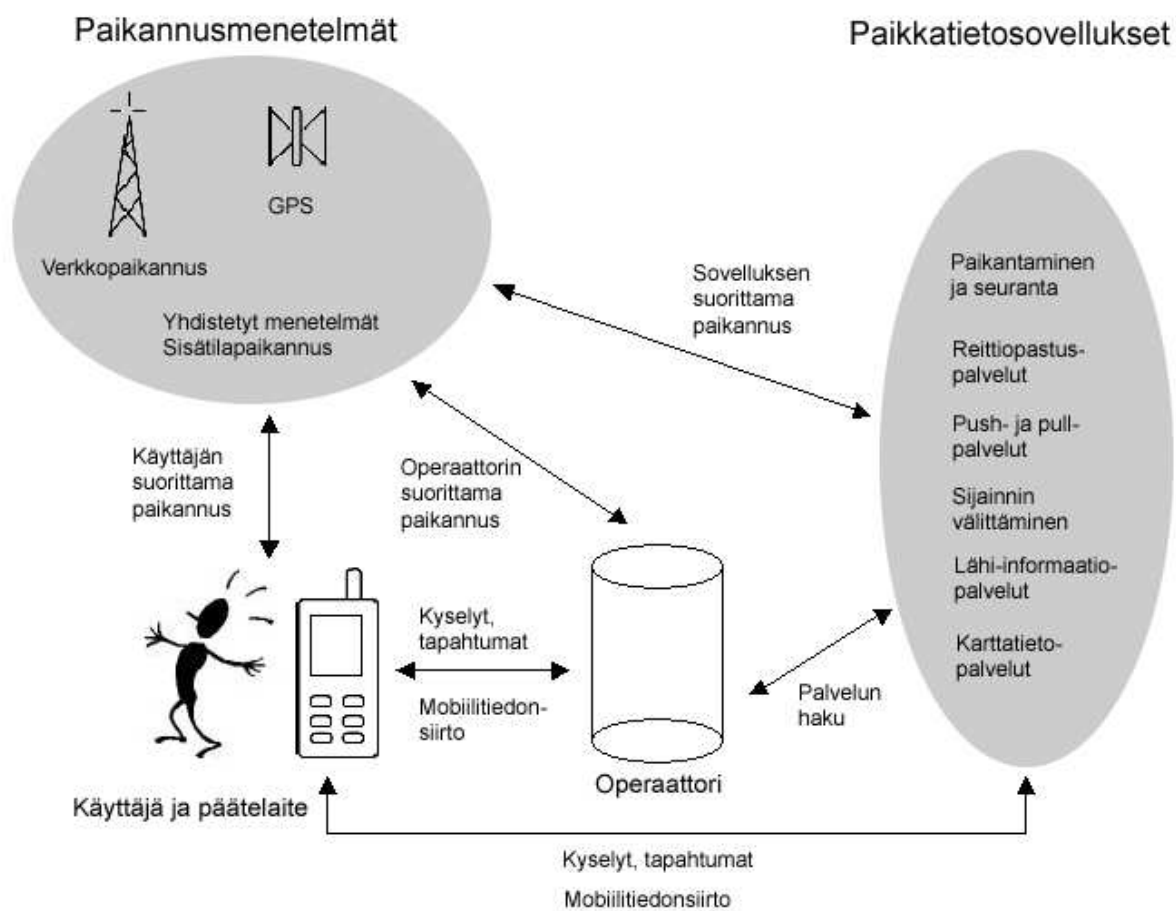
Paikkatieto voi olla luonteeltaan joko staattista tai dynaamista. *Staattista paikkatietoa* esiintyy esimerkiksi paikkatietorekistereissä, joihin tallennetaan kohteen sijainti jollakin ajan hetkellä. Paikkatietorekisteriin voidaan liittää lisäksi tarkempaa informaatiota kohteesta, esimerkiksi huoltoaseman yhteystiedot ja aukioloajat. *Dynaamisessa paikkatiedossa* voidaan esittää kohteen sijainnin lisäksi liikkumiseen liittyvät ominaisuudet kuten nopeus, suunta, kohteen lähtöpiste ja määränpään. Usein kuitenkin riittää pelkkä sijainnin esittäminen. Esimerkkinä dynaamisesta paikkatiedostavoisiollakohteenseuranta. Paikkatiedonluonteeseen vaikuttaamyöspäivitystapa. Ilmiselvään, että dynaamista paikkatietoajoudutaan päivitämään useamminkuin staattista.

Rainio [36] määrittelee *navigoinnin* tarkoittavan käyttäjän sijainnin, etäisyyden ja suunnan määrittämistä ja liikkumista haluttuun kohteeseen. Toinen navigoinnin määritelmä on käyttäjän valintoihin perustuva ja tiettyyn määränpään löytämistä tukeva toiminta [40]. *Henkilökohtainen navigointi* on yhden henkilön omiin päätöksiin perustuvaanavigointia, joka on sovellettavissa erilaisiin liikkumismuotoihin [40]. Esimerkiksi käyttäjä ajaa autolla lentokentällä reittiopastuksen avulla, josta päätelaite opastaa hänet oikeaan lähtöselvityspisteeseen ja portille. Saavuttuaan määränpään käyttäjä hakee päätelaitteella lähellä olevien hotellien tiedot ja saa opastuksen valitsemaansa hotelliin esimerkiksi osoitettuna reittinä kartalta tai linja-autoaikatauluin ajapysäkkiensijaintina.

*Mobiili multimedia* tarkoittaa langattomasti liikuteltavia ja hyödynnetäviä, monimuotoisia (teksti, grafiikka ja ääni) informaatiopalveluja ja sovelluksia [36]. *Mobiilit paikkatietosovellukset* ovat sovelluksia, joissa kohteen paikannus ja tarjolla olevien palveluiden käyttö tapahtuu mobiilin multimedialaitteenvälityksellä.

Kuvassa 1.1 on mobiilin paikkatietojärjestelmän yleiskuva. Kuvassa käyttäjällä on jokin ongelma, johon hän tarvitsee ratkaisun päätelaitteen avulla. Ongelman ratkaisun ensimmäinen

vaiheonkäyttäjän nykyisen sijainnin määrittäminen, mikä voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla: käyttäjän toimesta, operaattorin toimesta tai itse paikkatietosovellus voi suorittaa paikantamisen. Myös operaattori voi käyttää paikkatietosovelluksen suorittamaa paikannusta eikä suorittaa paikannusta itse. Tämän jälkeen käyttäjä osoittaa kyselyn paikkatietosovellukselle välillisesti operaattorin kautta tai suoraan itse sovellukselle. Paikkatietosovellus tarjoaa ratkaisun käyttäjän ongelmaan ja välittää vastauksen takaisin käyttäjän päätelaitteeseen. Tiedonsiirto osapuolten välillä tapahtuu ainakin osin langattomasti.



Kuva 1.1: Mobiilin paikkatietojärjestelmän kokonais kuva.

Tässä tutkielmassa perehdyn, millaisia mahdollisuuksia nykytekniikka tarjoaa paikkatietosovellusten kehittämiseen. Olen jakanut tarkastelun kolmeksi eri osa-alueeksi: paikannusmenetelmien, paikkatietosovellusten ja järjestelmäarkkitehtuurin tarkasteluksi. Luvussa

kaksi käyn läpi erilaisia paikannusmenetelmiä paikannustekniikan, paikannustarkkuuden ja menetelmän käyttökelpoisuuden osalta. Lisäksi paikannusmenetelmiä vertaillaan ja ehdotetaan eri menetelmille sopivia käyttökohteita. Luvussa kolme käsitellään paikkatietosovellusten palveluarkkitehtuuria, toisin sanoen kerron millaisia palveluja sovellusalueella tarjotaan. Luvun paikkatietosovellustentarkastelupohjautuuteoksessa [36] esitettyyn jakoon.

Neljännessä luvussa perehdytään järjestelmäarkkitehtuuriin. Ensimmäisenä käsitellään paikkatietosovellukselle asetettavia yleisiä vaatimuksia. Vaatimusten jälkeen tarkastellaan teoksissa [24,26,27,38] ehdotettua yleispätevää paikkatietosovelluksen hajautusarkkitehtuuria Internet-pohjaiseen teknologiaan. Hajautusarkkitehtuuri on suunniteltu toimivan maailmanlaajuisesti ja sen tarkoituksena on suurten käyttäjämäärien tavoittaminen [26]. Paikkatietosovelluksen luonteesta johtuen kohteiden informaation päivitystarve on suuri. Tuhansien mobiilien kohteiden informaation yhtämittainen päivittäminen ei ole kuitenkaan mahdollista toteuttaa, koska päivitysviestien suuri lukumäärä ruuhkauttaisi palvelimen. Tähän ongelmaan ratkaisuna ovat päivitysprotokollat. Luvussa esitellään päivitysprotokollien ominaisuudet ja tutkitaan niiden käyttäytymistä yhteyden katketessa. Samalla esitellään protokollille sopivat käyttökohteet. Neljännän luvun viimeisenä kohtana käsitellään mobiilitiedonsiirtoa. Tiedonsiirtokäyttäjän palveluntarjoajan välillä voidaan tehdä langattoman paikallisverkon-, matkaviestinverkon- tai satelliittiverkon välityksellä. Tiedonsiirtoverkoista käsitellään tarkemmin paikallisverkon ja matkaviestinverkon tuomien mahdollisuuksia.

Luvussa viisi käyn läpi esimerkkitietosovelluksena Joensuu yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen *Dynamap*-tutkimusprojektin yhteydessä kehitettyä ohjelmistoa *Slider* v.0.22. Projektin tarkoituksena on tuottaa menetelmiä dynaamiseen kartanhallintaan mobiiliympäristössä [18]. Tuotesille kuinka edellisissä luvuissa esitetyt menetelmät on käytetty ja ongelmia on ratkaistu *Slider*-ohjelmassa. Samalla arvioin esimerkitietosovelluksen toimivuutta tehtyjen ratkaisujen osalta, tuotesille ongelmia ja ehdotan ohjelman kehitysohjeita.



## 2 PAIKANNUSMENETELMÄT

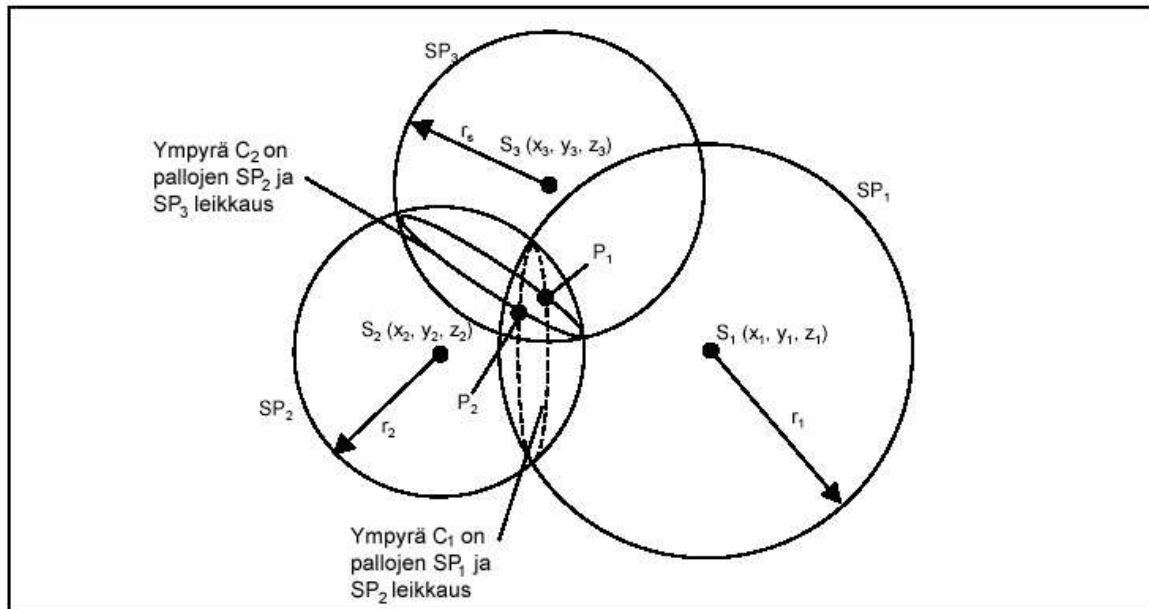
Kohteen paikkatiedon muodostamiseksi on kehitetty monia eri menetelmiä. Ne perustuvat lähinnäantureihin, maanpäällisiin radiomenetelmiin tai satelliittipaikannusmenetelmiin. Yleisesti *paikannuksella* tarkoitetaan sijainnin määrittämistä tunnetun koordinaatistojärjestelmän mukaisesti, mutta paikantaminen voi rajoittua myös sijainnin määrittelyyn paikallisesti valitun reitintaitunnettujen kohteiden suhteen [36].

Käytettävää menetelmää valittaessa tulee kiinnittää huomiota mittauksen tarkkuuteen, vastauksen nopeuteen ja menetelmän hintaan [28]. Menetelmän valintaan vaikuttaa sen toimiminen esimerkiksi sisä- ja ulkotiloissa, tai kaupunkialueella ja syrjäseudulla. Nykyisillä kuluttajalaitteilla on päästy muutaman kymmenen metrin tarkkuuteen ja lähitulevaisuudessa tavoitellaan parin metrin tarkkuutta. Teoksen [36] mukaan kulutuslaitteiden tarkkuuden rajoituksina ovat kuitenkin muun muassa laitteiden ja infrastruktuurin kustannukset, paikannuslaitteen koko ja virrankulutus. Tähän mennessä mikään paikannusmenetelmä ei ole osoittautunut ylivoimaiseksi.

### 2.1 SATELLIITTIPAIKANNUS

Tällä hetkellä käytössä on kaksi toimivaa satelliittipaikannusmenetelmää: Yhdysvaltain armeijan kehittämä *Global Positioning System* (GPS) [6,35] ja venäläisten *Global Navigation Satellite System* (GLONASS) [5]. Myös Euroopan Unioni on alkanut kehittää omaa järjestelmää nimeltä Galileo [10]. Järjestelmän on suunniteltu olevan toimintakunnossa vuoteen 2008 mennessä. *Satelliittipaikannuksessa* satelliitit lähettävät signaalia, jonka vastaanottimet havainnoivat. Signaalin kulkunopeus on valonnopeus (n. 300 000 km/s). Kun satelliittien sijainti on tarkasti tiedossa, voidaan satelliittien ja vastaanottimen välinen etäisyys laskea. Satelliittipaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa kiinteiden maan-asemien avulla tai toimittamalla paikannukseen avuksilähtötietoja.

Sijaintiedonmäärittämiseksi satelliittipaikannukseen tarvitaan vähintään 3 satelliittia. Kuvan 2.1 mukaisesti vastaanottimen sijaintisaadaan lasketuksi kolmiomittauksen perusteella.



Kuva 2.1: 3-uloitteinen kaaviokuva sijainnin laskemiseksi satelliittipaikannusmenetelmällä [20].

Kuvassa 2.1  $S_1, S_2, S_3$  kuvaavat satelliittien sijaintia ja säde  $r_1$  on etäisyys satelliitista  $S_1$  vastaanottimeen. Vastaanottimen paikannettujen sijaintien alueelta  $SP_1$  säteellä  $r_1$ . Kun vastaanottimen etäisyys mitataan satelliittiin  $S_2$ , voidaan vastaanottimen sijainti rajata johonkin ympyrän  $C_1$  alueelle, jossa alueet  $SP_1$  ja  $SP_2$  leikkaavat. Kolmannen satelliitin vastaanottimen etäisyyden laskennan jälkeen mahdolliset vastaanottimen sijaintipaikat ovat supistuneet kahteen pisteeseen  $P_1$  ja  $P_2$ . Nämä pisteet  $P_1$  ja  $P_2$  sijaitsevat ympyröiden  $C_1$  ja  $C_2$  leikkauspisteissä [20]. Vastaanottimen todellisen sijainnin varmistamiseksi voidaan tehdä neljäskin mittaus. Tällöin selvitetään, kummassa pisteessä  $P_1$  vai  $P_2$  vastaanotin sijaitsee. Yleensä neljäsmittaus on turha, koska koordinaattien mukaantoinen pistesijainti selvyyllä maansisällä taikanaavarudessa.

Global Positioning System (GPS) on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä ja kontrolloima järjestelmä. Järjestelmä on kehitetty sotilaskäyttöön, mutta 1980-luvulla Yhdysvaltojen hallitus päätti antaa GPS-järjestelmän siviilien käyttöön maailmanlaajuisesti.

Siviilienmittaustarkkuutta kuitenkin rajoitettiin keinotekoisella virheellä (Selective Availability), jolloin GPS:n mittauksen tarkkuus oli noin 100 metriä. Tämä keinotekoinen virhe poistettiin 1.5.2000 jankyäänsiviilikäytössä GPS-järjestelmän tarkkuus on noin 10 metriä [17].

GPS-vastaanotin tarvitsee katkeamattoman yhteyden satelliitteihin. Tämän vuoksi järjestelmä toimii huonosti sisätiloissa ja kulkuneuvojen sisällä, koska toimiakseen vastaanotin pitää olla sijoitettu ikkunan läheisyyteen. Tällöinkin korkeat rakennukset tai tunnelit aiheuttavat paikannuksen katkeamisen [33]. Ongelmana on myös lähteen hitaus: yhteyden katketessa signaalin vastaanottamiensa satelliiteiltä tavoikestää useitamiinuuuteja.

GPS-yhteensopivien laitteiden kasvun määrä on ollut viime aikoina räjähdysmäistä. GPS-vastaanottimena voi toimia esimerkiksi perinteinen GPS-laite, sylimikro, kämmenmikro tai matkapuhelin. Yhä useampi matkapuhelinvalmistaja on saanut lupaavia tuloksia GPS-sirun liittämistä massamarkkinoille suunnattuihin matkapuhelimiin. Esimerkiksi Benefon [3] on julkaissut kokonaisen tuoteperheen, joiden avulla käyttäjä pystyy navigoimaan.

### 2.1.1 Suhteellinen satelliittipaikannus

*Suhteellisessa satelliittipaikannuksessa (Differential GPS, DGPS)* paikannustarkkuutta parannetaan kiinteiden maa-asemien avulla. Maa-asemat sijaitsevat tunnetulla pisteellä ja määrittävät oma sijaintiaan satelliittien antamien tietojen perusteella. Asemantunnetun sijainnin ja satelliittipaikannuksen välisistä eroista asemat muodostavat korjausparametreja [36]. Nämä parametrit välitetään vastaanottimille, jotka korjaavat sijaintiaan niiden perusteella. Korjausparametrit voidaan välittää reaaliajassa esimerkiksi radiolähteyksellä maa-asemilta, tietoliikennesatelliittien välityksellä tai matkapuhelinverkon avulla käyttäjän laitteeseen. Korjausparametrien vastaanotto edellyttää GPS-laitteelta erityistä radiovastaanotinta tai paikannuslaitteen kytkentää matkaviestimeen. Suhteellisen satelliittipaikannuksen tarkkuus on muutaman metrin luokkaa.

## 2.1.2 Avustettusatelliittipaikannus

Avustetussa satelliittipaikannuksessa (*Adjusted GPS*, *A-GPS*) paikannustarkkuutta ja luotettavuutta parannetaan toimittamalla vastaanottimelle arvioitua lähtötiedot. Jos vastaanotin ei tiedä arvioitua sijaintiaan, se joutuu käymään kaikki satelliitit läpi, myös sille näkymättömät. Vastaanottimen ja satelliittien liiketekevät paikanmuutokset vielä hitaamman, pahimmillaan aikaa voi kulua useita minutteja [44]. Kun vastaanotin saatarvittavat lähtötiedot, vähenee satelliittien läpikäyminen ja lähetystaajuuksien selaaminen merkittävästi. Teoksen [44] mukaan avustetun satelliittipaikannuksen avulla saavutetaan:

- vastaanottimen nopeampi toimintavalmius,
- vastaanottimen parempi paikannustarkkuus ja
- vastaanottimen pienempi virrankulutus verrattuna tavalliseen GPS-järjestelmään.

Satelliittien signaalien lähetysteho on heikko ja vastaanotin tarvitsee suoran näköyhteyden satelliittiin. Paksu kasvillisuus, korkeat rakennukset tai sisätilat estävät vastaanottimen ja satelliittien välisen kommunikaation. Signaalin saantivarmuus on varsin hyvin ennustettavissa, jos vastaanottimen sijainti tunnetaan ainakin karkeasti. Toimittamalla paikannuslaitteella lähtötiedot, satelliittien lähettämä signaali voidaan erityisin menetelmin suodattaa esiin kohinasta [36]. Suodattaminen vaatisi vastaanottimelta suurempaa alustakapasiteettia, joka kasvattaisi laitteen kokoa ja virrankulutusta. Tästä syystä avustavat lähtötiedot toimitetaan vastaanottimelle esimerkiksi tietoliikenneverkkoantureiden välityksellä.

Anturien avulla voidaan suunnistaa hetkellisesti ja laskea sijainti *merkintälaskun* avulla [36]. Tieto sijainnista voidaan laskea kuljetun suunnan ja matkan perusteella, vaikka yhteys satelliitteihin katkeaisi. Tämä on tarpeen esimerkiksi kuljettaessa tunneleissa. Tietoliikenneverkon, esimerkiksi matkapuhelinverkon välityksellä avustustiedot voidaan välittää vastaanottimelle. Tällöin vastaanotin tarvitsee prosessorin, joka käsittelee avustustietoja ja korjaa paikannusta verrattuna GPS-laitteentuottamiin sijaintitietoihin [45]. Tietoverkon avulla saadaan

lisätietoja, joita yhdistelemällä puutteellisiin satelliittihavaintoihin, sijainti voidaan määrittää luotettavammin.

Teoksen [36] mukaan avustetun satelliittipaikannuksen avulla pystytään määrittelemään sijainti parin kymmenen metrin tarkkuudella ahtaissa kaupunkitiloissa ja jopa tavanomaisissa, kevytrakenteisissa toimisto- ja asuinrakennuksissa.

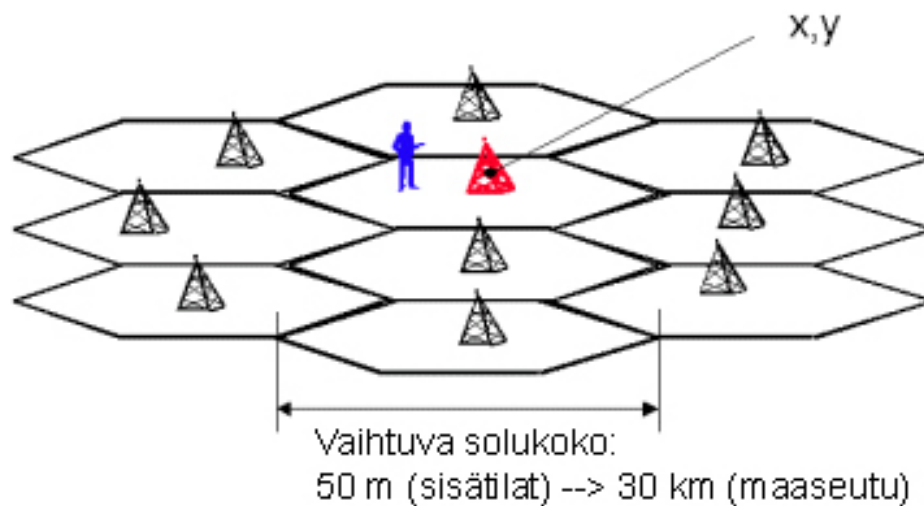
## 2.2 VERKKOPAIKANNUS

Verkkopaikannusmenetelmien kehitystä on vauhdittanut Yhdysvaltojen viranomaismääräykset. Määräyksen E-911 mukaan lokakuusta 2001 alkaen on pitänyt olla mahdollista paikantaa matkapuhelimen sijainti, josta on soitettu numeroon 911 Yhdysvalloissa [8].

Matkapuhelinverkoissa, esimerkiksi GSM- (Global System for Mobile communications) ja UMTS-verkoissa (Universal Mobile Telecommunications System) päätelaite on aina jonkin tukiaseman piirissä. Tieto tukiasemasta antaa karkean arvion matkaviestimen sijainnista [36]. Paikannusmenetelmät perustuvat matkapuhelinverkon signaalin voimakkuuden, kulkuajan ja saapumissuunnan mittaamiseen. Mittaus voidaan tehdä joko matkaviestimessä tai tukiasemalla, sovelluksesta riippuen. Verkkopaikannuksessa signaalin kulkusuunta on kaksisuuntainen: sekä päätelaitteesta tukiasemalle (*Uplink*) ja tukiasemalta päätelaitteeseen (*Downlink*).

### 2.2.1 Solupaikannus

Yksinkertaisin menetelmä paikantaa matkaviestin GSM-verkossa perustuu *solupaikannukseen* (*Cell Identity, CI*). Solupaikannuksessa tunnustetaan matkapuhelinverkon solu, jossa matkaviestin sijaitsee. Jos solun tukiaseman sijaintikoordinaatit tunnetaan, matkaviestimen sijainti voidaan määrittää solun koon tarkkuudella [36]. Kuvassa 2.2 on matkapuhelinverkon solujako, jossa solujen koot vaihtelevat 50 metristä (sisätilat) 30 kilometriin (maaseutu). Tukiaseman koordinaatit  $x$  ja  $y$  kuvaavat matkaviestimen sijaintia, vaikka todellisuudessa matkaviestin voi olla missä tahansa solun alueella.



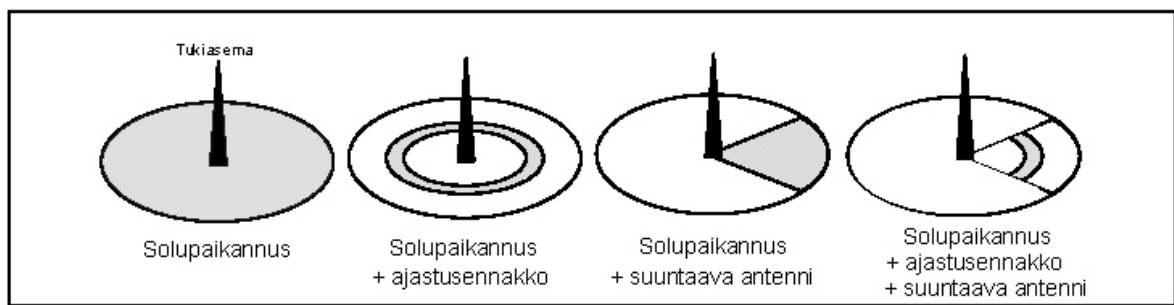
Kuva2.2:Matkaviestinverkon solujako[28].

Solupaikannuksen ongelmana onkin riippuvuus solun koon ja korkeuden suhteen paikannustarkkuudesta: mitä suurempi solu, sitä heikompi paikannustarkkuus. Maaseudulla paikannustarkkuus ei ole riittävä, mutta toisaalta maaseudulle riittävä paikannustarkkuus voi olla pienempi, joten käyttökohteita menetelmälle voi löytyä. Kaupunkialueella päästään jo huomattavasti parempiin tuloksiin, useille sovelluksille riittävään tarkkuuteen. Huomioitavaa kuitenkin on, että palvelus tukiasema ei välttämättä ole lähin tukiasema, johtuen tukiasemien lukumäärän lisääntymisestä. Etunasolupaikannuksessa kuitenkin on, että tieto palvelevasta tukiasemasta on saatavilla helposti matkaviestimiin ja muutokset nykyisiin järjestelmiin ovat minimaalisia[28].

Solupaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa ajastusennakon (*Timing Advance, TA*) avulla. Ajastusennakon parametri, jolla vältetään tukiasemalle lähetettyjen signaalien päällekkäisyys. Sekuvaa, kuinka paljon aikaisemmin puhelimen täytyy lähettää signaali, jotta se ajoittuu oikein tukiaseman TDMA:naikajaksoissa[20]. Ajastusennakon suhteellinen etäisyys. *TDMA (Timing Division Multiple Access)* on radiosignaalin digitaalisiin siirtoon tarkoitettu tekniikka esimerkiksi matkapuhelimen ja radiotukiaseman välillä.

TDMA:ssa taajuuskaista jaetaan useiksi kanaviksi, jotka pinotaan lyhyiksi aikajaksoiksi, joten yhtä kanavaa voidaan käyttää useaan puheluun signaalien sekoittumatta. TDMA:ta käytetään digitaalisessa GSM-matkaviestinstandardissa.

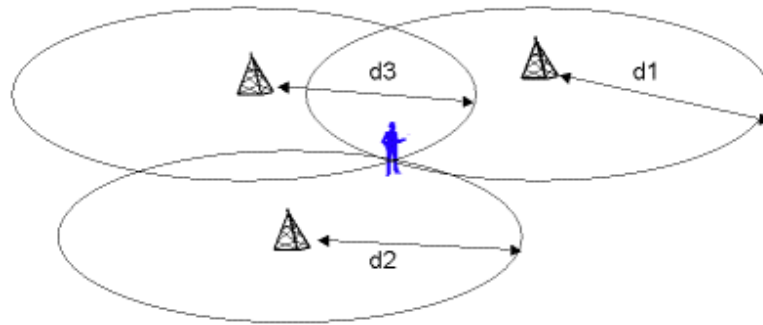
Ajastusennakon avulla päätelaitteen ja tukiaseman etäisyys voidaan määrittää noin 550 metrin tarkkuudella [19]. Jos tukiasemilla käytetään *suuntaavia antennejä (Cell Sector)*, paikannustarkkuutta voidaan pitää useiksi käyttötarkoituksiin riittävänä. Kuvassa 2.3 on esitetty, miten ajastusennakon ja suuntaavien antennien avulla solupaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa. Kuvassa on merkitty harmaalla alue, jolle käyttäjän sijainti voidaan rajata menetelmän perusteella. Parhaaseen tulokseen päästään yhdistämällä solupaikannus, ajastusennakko ja suuntaavat antennit.



Kuva 2.3: Solupaikannusmenetelmän tarkkuuden parantaminen ajastusennakon ja suuntaavien antennien avulla [20].

## 2.2.2 Signaalinvoimakkuuteen perustuvamenetelmä

Matkaviestimen sijainti mobiiliverkossa voidaan määrittää *signaalin voimakkuuden* perusteella. Perusolettamuksena voidaan pitää tukiaseman signaalintason olevan kääntäen verrannollinen matkaviestimen etäisyyteen [36]. Kun vähintään kolme tukiaseman sijainti tunnetaan, voidaan matkaviestinpaikanta kuvan 2.4 mukaisesti:



Kuva2.4:Paikantaminensignaalinvoimakkuudenperusteella[28].

$d_1$ ,  $d_2$  ja  $d_3$  kuvaavat matkaa, joka on laskettu signaalin heikentymisen perusteella. Kaksiulotteisen laskennan oletuksena on, että tukiasemilla ovat ympärisäteilevät antennit ja ympäristössä ei ole signaalia heikentäviä esteitä. Tällöin matkaviestimen sijainti on kolmen tukiasemanmuodostamienympyröidenleikkauspisteessä[28].

Käytännössä signaali ei kuitenkaan pääse etenemään esteittä ainakaan kaupunkialueella, vaan signaalin voimakkuus käyttäytyy monin verroin monimutkaisemmin. Laskennassa käytetään apuna työkaluja, joiden avulla ympäristön muotoja ja esteitä voidaan mallintaa [28]. Myöskään tukiasemien muodostamien signaaliympyröiden leikkauspisteitä ei ole ympyröitä esteistä johtuen. Lopullinen sijaintitietomäärittelyä ennustetaan jatkamalla tunteiden yhteensopivuuden perusteella.

*Moniheijastus*, jolla tarkoitetaan signaalin kulkemista monen heijastuksen kautta tukiasemalle, aiheuttaa kapeakaistaisen signaalin voimakkuuden vaihtelua jopa kymmenien desibelien verran vain aallonpituuden murto-osan matkalla [28]. Tästä johtuen signaalin voimakkuus tulisi mitata saapuneiden signaalien keskiarvon perusteella, eikä ensimmäisenä tulleen signaalin pohjalta. Kuitenkin signaalin voimakkuuden keskiarvo voidaan ainoastaan laskea, jos matkaviestimen liikettä, koska paikallaan olevan matkaviestimen moniheijastuksen aiheuttama virheonvakio.

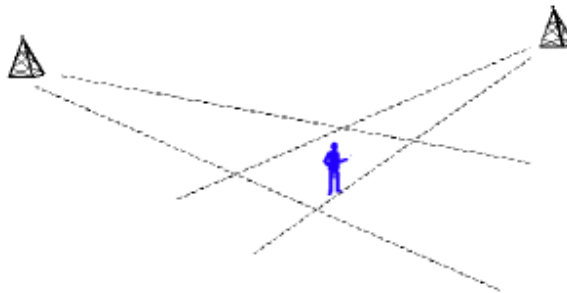
Signaalin voimakkuuden mittaamisen ongelma on myös ympäristön, fyysisten esteiden ja jopa säätötilan muuttumisen aiheuttamat virheet mittauksissa. Esimerkiksi käyttäjä voi itse



heikentää matkaviestimen signaalin voimakkuutta. Mittaustarkkuus signaalin voimakkuuteen perustuvalla menetelmällä on noin 150 metriä, joka on solupaikannuksen luokkaa kaupunkialueella, mutta maaseudulla huomattavasti solupaikannusta parempi. Mittaustarkkuutta voidaan kuitenkin parantaa käyttämällä mittaussarjoja ja mittaustulosten tasoitusta, esimerkiksi *Kalman suodatusta (Kalman Filtering)*. Tämän menetelmän avulla keskimääräinen mittaustarkkuuden virhesaadään vähennettyä 70 metriin luokkaan [16].

### 2.2.3 Signaalinsaapumissuuntaan perustuvamenetelmä

*Signaalin saapumissuunta (Angle Of Arrival, AOA)* –menetelmässä tukiasemapari havaitsee signaalin suunnan antennijoukon avulla (kuva 2.5). Kaksiulotteisen geometrian mukaisesti kahden eri tukiasemien välisten signaalien leikkauspiste antaa yksilöllisen sijainnin matkaviestimelle.



Kuva 2.5: Paikantaminen signaalinsaapumissuunnan perusteella [28].

Paikannustarkkuus rajoittuu tukiaseman antennijoukon *keilanleveyteen*, jolla tarkoitetaan yhden antennin ”vastuualuetta”. Tukiasemalla sen koko vastuualue on 360 astetta, joka on jaettu antennijoukon kesken. Esimerkiksi neljän antennijoukolle jako voitaisiin tehdä siten, että jokainen vastaa 90:n asteen alueesta: pohjoinen, itä, etelä ja länsi. Käytännössä antennijoukon tulee olla suurempi, jos pyritään parempaan paikannustarkkuuteen.

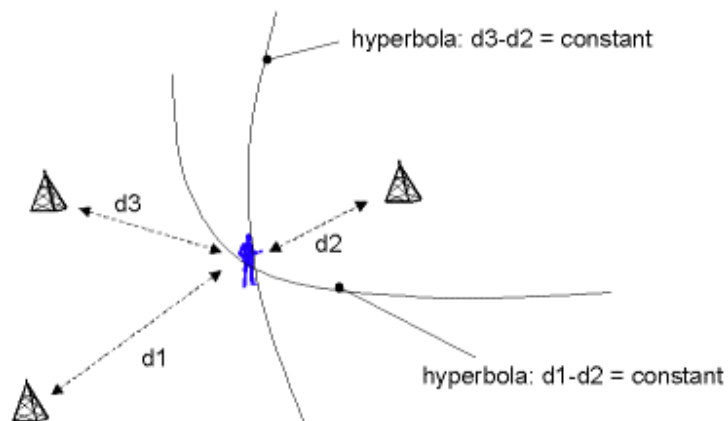
Jos moniheijastuksen vaikutukset jätetään huomioimatta ja paikannusalueella on mahdollisuus matkaviestimen ja tukiaseman väliseen näköyhteyteen, päästään signaalin saapumissuunta -menetelmällä kohtuullisiin tuloksiin. Esimerkiksi paikannustarkkuus yhden kilometrin etäisyydeltä molemmista tukiasemista antaa 200 metrin paikannusvirheen tällä menetelmällä [28].

Kuten teoksessa [28] mainitaan, menetelmässä on kuitenkin kaksi suurta haittapuolta. Ensimmäinen ongelma on, että nykyisiin tukiasemiin tulisi asentaa antennijoukot, joiden avulla signaalin saapumissuunta paikannetaan. Toisena ongelmana on, että matkaviestintarvitseesuoran näkyvyyden tukiasemiin. Jälkimmäisen ongelman vuoksi on selvää, että kyseinen menetelmä ei sovellu kaupunkialueella tapahtuvaan paikantamiseen, jossa suoran näköyhteyden säilyttäminen tukiasemiin on harvoin mahdollista.

Menetelmä on kuitenkin käyttökelpoinen maaseudulla, jolloin yhteys vain kahteen tukiasemaan riittää sijaintiedon muodostamiseksi. Myös menetelmän tuottamalla informaatiolla voidaan täydentää muiden paikannustekniikoiden tuloksia. Kolmannen sukupolven (3G) järjestelmien myötä tämä tekniikka voi tulla käyttökelpoiseksi ilman erillisiä tekniikanmuutoksia, koska rakennettava 3G-järjestelmä käyttää ”älykkäitä antennejä” (*Smart Antennas*) [28].

## 2.2.4 Signaalin saapumisaikaan perustuvamenetelmä

*Saapumisaikamenetelmissä (Time Of Arrival, TOA, Time Difference Of Arrival, TDOA)* paikantaminen tapahtuu tukiasemilla matkaviestimien lähettämien signaalien perusteella. Tukiasemat mittaavat signaalin viivettä, jonka perusteella voidaan laskea sijainti, kun vähintään kolme tukiasemaa pystyy vastaanottamaan signaalin [36]. Vaihtoehtoisesti matkaviestin voi suorittaa laskennan tukiasemien lähettämien signaalien perusteella. Tällöin kuitenkin tukiasemien tulee olla synkronoitu jatoisiinsa, jotta paikantaminen voidaan suorittaa riittävällä tarkkuudella.



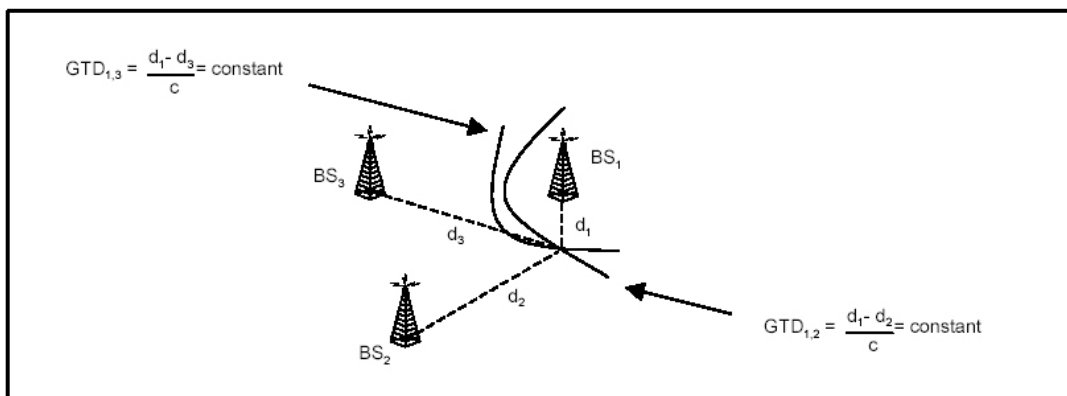
Kuva 2.6: Signaalinsaapumisaikaan perustuvapaikan määrittäminen neljän tukiaseman avulla [28].

Saapumisajan aikaero (TDOA) lasketaan kuvan 2.6 mukaisesti: jokainen aikaero mitaus tuottaa hyperbelinjakomellahyperbelillääonyksilöllinen leikkauspiste. Neljätukiasematarvitaan, jotta kolme erillistä TDOA –mittausta voidaan suorittaa. Käytännössä on osoitettu [28], että usein kahdella hyperbelillä on yksilöllinen leikkauspiste, jolloin yhteys kolmeen tukiasemaan on riittävä.

Menetelmässä paikannustarkkuus riippuu tukiasemien tiheydestä. Kaupunkialueella tiheässä tukiasemaverkossa paikannustarkkuus on 50 – 100 metrin luokkaa, mutta harvemmassa verkostossa paikannustarkkuus on noin kilometrin luokkaa. Menetelmän huononapuolenä on hitaus: paikannuksen vasteaika on 10 sekunnin luokkaa, koska tukiasemat joutuvat kommunikoimaan keskenään ja suorittamaan laskentaa paikantamiseksi. Myöskään matkapuhelinoperaattorit eivät ole halukkaita tekemään muutoksia, kuten tukiasemien synkronointia, nykyisiin verkkoihin.

*Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)* on menetelmä, joka perustuu tukiasemaparien lähettämien signaalien aikaerojen (*Observed Time Difference, OTD*) mittaamiseen matkaviestimessä. Koska tukiasemien lähettämät signaalit eivät ole synkronoitu keskenään, mittauksessa käytetään tunnetussa pisteessä sijaitsevaa mittausasemaa (*Location Measurement Units, LMU*). Mittausasemat mittaavat todellista ajanmuutosta (*Real Time Difference, RTD*).

Oletetaan, että tukiasema  $BS_1$  (vastaavasti  $BS_2$ ) lähettää signaalia ajanhetkellä  $t_{RX1}$  (vastaavasti  $t_{RX2}$ ), jolloin  $RTD$  on  $t_{TX2} - t_{TX1}$  ja  $OTD$  on  $t_{RX2} - t_{RX1}$ . Tällöin  $OTD$ - ja  $RTD$ -mittausten perusteellavoidaan laskea *geometrinenaikaero* (*Geometric Time Difference, GTD*) [20].  $GTD$  on suhteellinen etäisyysmatkaviestimen ja tukiaseman välillä (kuva 2.7).



Kuva 2.7: Enhanced Observed Time Difference - menetelmän perustuvapaikannus [20].

Itse asiassa  $GTD = RTD - OTD = (t_{RX1} - t_{TX1}) - (t_{RX2} - t_{TX2}) = (d_1 - d_2) / c$ , jossa  $c$  on radioaallon nopeus ja  $d_1 = c(t_{RX1} - t_{TX1})$ ,  $d_2 = c(t_{RX2} - t_{TX2})$  on matkaviestimen ja tukiaseman etäisyys [20]. Matkaviestimen sijainti on hyperbelien  $BS_1$  ja  $BS_2$  leikkauspisteessä. Jotta paikannustarkkuus joka tilanteessa säilyisi samana,  $OTD$  ja  $RTD$  mittaukset tulee suorittaa kolmen tukiaseman välillä.

E-OTD-menetelmästä on kaksi eri muunnosta [20]: matkaviestimen avustama E-OTD (*MS Assisted E-OTD*) ja matkaviestin pohjainen E-OTD (*MS Based E-OTD*). Matkaviestimen avustamassa E-OTD-menetelmässä matkaviestin tekee  $OTD$ -mittaukset ja lähettää ne verkkoon paikannuspalvelimelle, joka määrittää sijainnin. Matkaviestin pohjaisessa E-OTD-menetelmässä verkko lähettää avustavaa informaatiota, esimerkiksi  $RTD$ -arvoja ja tukiasemien sijaintikoordinaatteja matkaviestimeen. Itse laskenta suoritetaan matkaviestimessä, joka vaatisi runsaasti laskentatehoa ja muutoksia nykyisiin päätelaitteisiin. E-OTD-menetelmän paikannustarkkuus on 50–200 metrin luokkaa ja vastausaika noin 5 sekuntia.

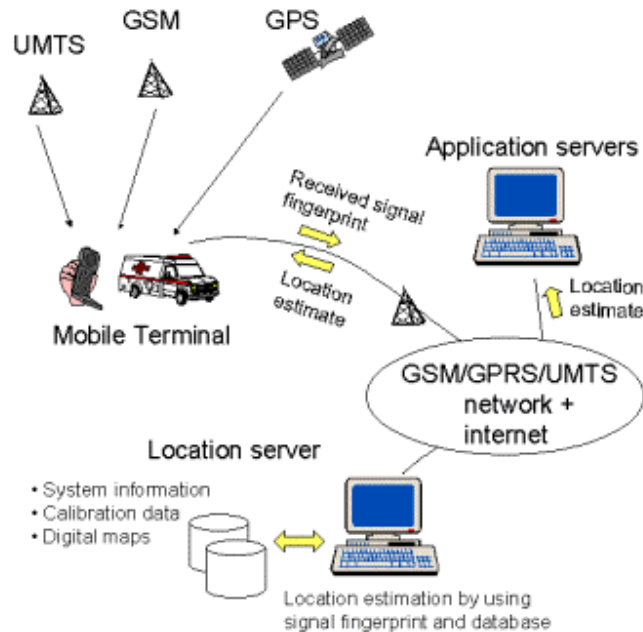
## 2.3 YHDISTETYTPAIKANNUSMENETELMÄT

Kaikissa paikannusmenetelmissä on omat rajoituksensa ja esimerkiksi suorituskyvyn tai paikannustarkkuuden osalta erilaisissa olosuhteissa. On houkutteleva ajatus yhdistää solupaikannus, signaalin voimakkuus, signaalin saapumissuunta ja –aikahavainnot, sekä satelliittipaikannuksen tuottama informaatio paikantamisen perustaksi. Näin päästään huomattavasti luotettavampaan ja toimintavarmempaan paikannusmenetelmään kuin millään yksittäisellä tekniikalla [36]. Tällainen paikannusmenetelmä voi käsitellä vaihtelevan määrän eri lähteistä koottua informaatiota kuten esimerkiksi uuden ja vanhan matkaviestimen tuottamaa informaatiota tai matkaviestimen, jossa on tai ei ole GPS-vastaanotinta. Uudet menetelmät käyttävät tietokantakorrelaatiota, signaalin yksilöllisiä ominaisuuksia ja monimutkaisia paikannusalgoritmeja hyväkseen paikantamisessa.

### 2.3.1 Tietokantakorrelaatio

*Tietokantakorrelaatio (Database Correlation Method, DCM)* perustuu vastaanotetun signaalitiedon ja tietokannan sisältämätiedon väliseen riippuvuuteen [20]. Kuvan 2.8 mukaisesti matkaviestin lähettää verkkopaikannuksen tai satelliittipaikannuksen perusteella saadun informaation *paikannuspalvelimelle (Location Server)*. Matkaviestin sisältää tiedonsiirtomenetelmän, esimerkiksi *tekstiviestimenetelmän (Short Message Service, SMS)*, jonka avulla informaatio siirretään *sovelluspalvelimelle (Application Server)*. Operatiivisessa järjestelmässä on syytä hyödyntää matkaviestimen verkkoon lähettämiä mittausraportteja, jolloin erillistä tiedonvälitysmekanismia ei tarvita. Sovelluspalvelin välittää matkaviestimen lähettämän signaalin ja minkä tahansa muun merkityksellisen informaation paikannuspalvelimelle kiinteää tietoliikenneverkkoapitkin. Paikannuspalvelimen paikannusalgoritmi tuottaa arvion päätelaitteen sijainnista vertaamalla keskenään vastaanotettua signaalitietoa ja aikaisemmin tietokantaan tallennettua informaatiota. Tietokantainformaatio sisältää esimerkiksi digitaalisia karttoja, järjestelmän tietoja (esimerkiksi tukiasemien sijaintikoordinaatit) sekä etukäteen mitattuja tai laskettuja kalibrointitietoja. Paikannuspalvelin palauttaa arvioidun sijainnin takaisin

sovelluspalvelimelle. Sovelluksesta riippuen, sijaintitiedot voidaan hyödyntää joko sovelluspalvelimella tai välittämällä ennakointiin.



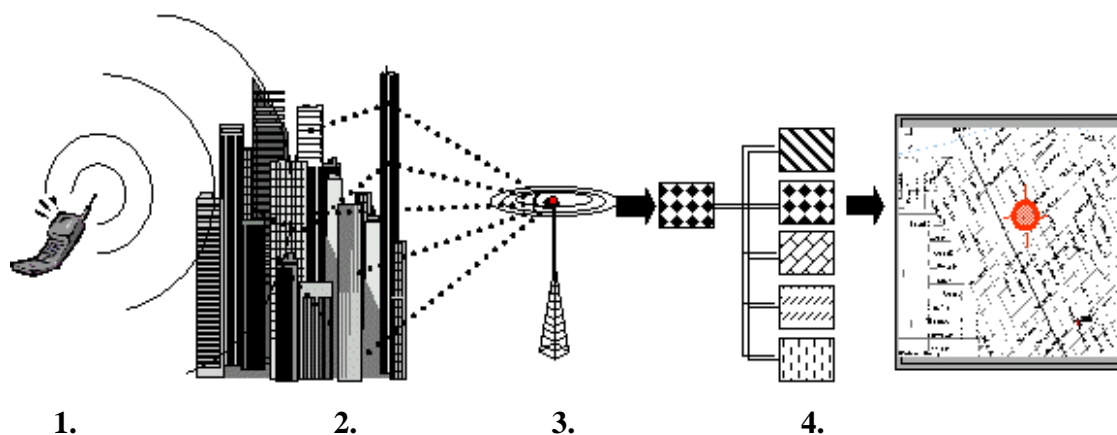
Kuva 2.8: Paikantamisen kokonaisprosessi tietokanta korrelaatiomenetelmän avulla [36].

GSM-järjestelmässä signaali voi sisältää informaatiota solun tunnistuksesta, signaalin voimakkuudesta, ajastusennakosta ja OTD:n arvoista. Jostodellisen ajanmuutoksen (RTD) tiedot ovat käytössä, ne voidaan hyödyntää myös paikannuksessa. Paikannus suoritetaan vertaamalla saatua signaalin tietoa ja tietokannassa tunnettua informaatiota. Tietojen vertailussa käytetään yksinkertaisia korrelaatioalgoritmeja tai kehittyneempiä mallinsovitusalgoritmeja [30] (*Pattern Matching Algorithms*).

Esitetty menetelmä vaatii, että riittävä määrä mitattuja tai ennustettuja signaaleja on muodostettu ja ylläpidetty tietokannassa. Alkuvaiheessa menetelmän tehokkuutta voidaan parantaa hankkimalla tietokantaan lähtötiedot vain kriittisimmiltä alueilta, esimerkiksi kaupungin keskustoista [20].

### 2.3.2 Sormenjälkipaikannus

*Sormenjälkipaikannus (Location Fingerprinting)* on U.S Wireless Corporation'in kehittämä tekniikka, jonka pyrkimyksenä on tarjota nopeaa, tarkkaa ja luotettavaa paikannusaineistoa verkko-operaattoreille ja palveluntarjoajille [42]. Paikannusmenetelmä pohjautuu *Location Pattern Matching* -tekniikkaan. Tekniikka perustuu tukiasemilla vastaanotetun signaalin yksilöllisten ominaisuuksien analysointiin RadioCamera<sup>TM</sup>-menetelmää käyttäen. Signaalien ominaisuuksien kuten radiotaajuuden ja moniheijastuksen perusteella määritetään jokaiselle signaalille yksilöllinen *sormenjälki*. Sormenjälkeä verrataan tietokannassa oleviin aikaisemmin paikannettuihin sormenjälkiin, joiden avulla sijainti määritetään.



Kuva 2.9: Sormenjälkipaikannuksen neljä vaihetta [42].

Kuvan 2.9 mukaisesti sormenjälkipaikannus voidaan jakaa neljään päävaiheeseen:

1. Matkaviestin lähettää radiosignaaleja tukiasemalle.
2. Radiosignaali kimpoilevat rakennusten ja esteiden kautta tukiasemalle (moniheijastus).
3. Tukiasemalla RadioCamera<sup>TM</sup>-järjestelmä analysoi vastaanotetut moniheijastuneet signaalit ja muodostaa niistä sormenjäljen.

4. Sormenjälkeä verrataan tietokannassa aikaisemmin paikannettuihin jälkiin ja paikannus suoritetaan.

RadioCamera<sup>TM</sup>-järjestelmä ei tarvitse suoraan näköyhteyttä matkan viestimen ja tukiaseman välillä jänäin ollen menetelmä soveltuu hyvin tiheään kaupunkiasutukseen. Sormenjälki menetelmä on myös yhteensopiva nykyisen verkkoinfrastruktuurin kanssa eikä matkaviestimiin tai tukiasemiin tarvita muutoksia. Menetelmän ongelmana kuitenkin on tarvittavan sormenjälkitietokannan puuttuminen, jotta sormenjälkiä voitaisiin yrittää tunnistaa. Menetelmä vaatisi alueiden järjestelmällistä kartoittamista ja tietokannan muodostamista. Aluksi sormenjälkitietokanta voitaisiin muodostaa esimerkiksi tiheästä kaupunkialueesta, jossa fyysisistä esteistä johtuen GPS-toimivuus on heikko.

## 2.4 SISÄTILAPAIKANNUS

Sisätila- ja lähialuepaikannukseen on kehitetty monia eri menetelmiä, lähinnä teollisuuden käyttöön [36]. Järjestelmät perustuvat *lyhyen matkan kommunikaation (Short-range Communication)*, käyttäen infrapunavaloa, radioaaltoja, *Bluetooth-menetelmää* tai *langatonta lähiverkkoa (WLAN)* hyväkseen. Toteutusratkaisut vaihtelevat riippuen käytetystä paikannustarkkuudesta. Perusideana on, että jokaisella paikannettavalla objektilla on yksilöllinen tunnistus. Tunnistuksen avulla voidaan paikantaa huoneesta tai tilasta ja tunnistuksen avulla se voidaan ilmaista oman sijaintinsa, esimerkiksi huoneen numeron [20]. Kehittyneemmissä järjestelmissä paikannustapahtumilla on esimerkiksi signaalin voimakkuutta.

Sisätilapaikannuksen tarkkuus vaihtelee senttimetreistä (ultraäänipaikannus) aina kymmeneen metriin asti (Bluetooth). Sisätilapaikannustapahtumia yleensä erillisen tilakohtaisen koordinaatiston pohjalta, jonka sijaintitieto voidaan muuttaa globaaliin koordinaatistojärjestelmään kun tilan sijainti tunnetaan [36].



## 2.5 YHTEENVETOERIPAUKANNUSMENETELMISTÄ

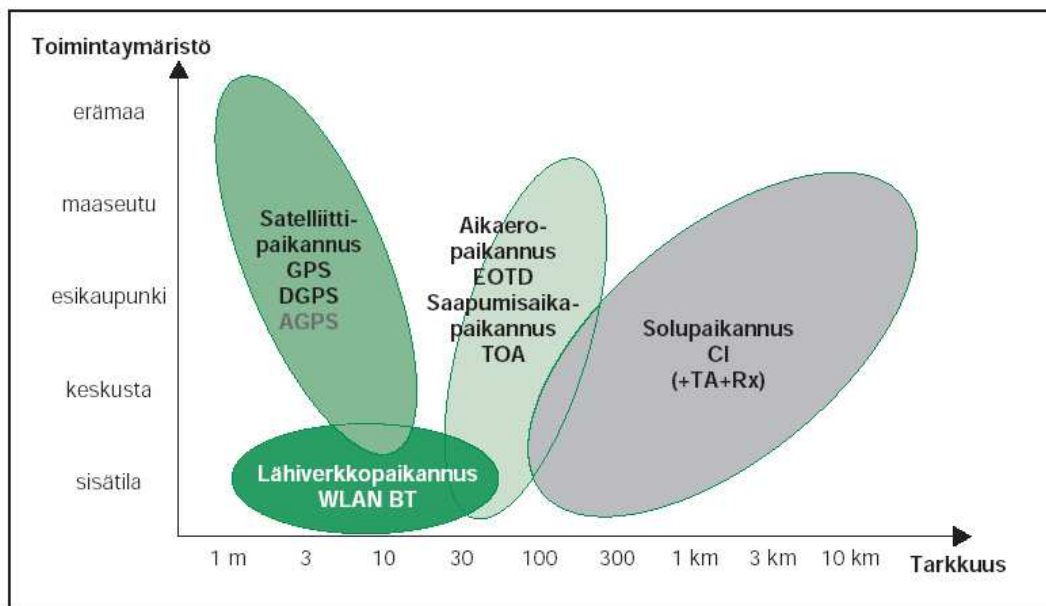
Eri paikannusmenetelmät edellyttävät erilaisia tarpeita, riippuen ympäristöstä, mittaustarkkuudesta ja tehokkuudesta. Tämän vuoksi jokin tietty paikannustekniikka soveltuu parhaiten tiettyyn toimintaympäristöön (taulukko 2.1).

Taulukko 2.1: Eri paikannusmenetelmien tarkkuus ja toimintaympäristö [20].

Paikannusmenetelmä	Tarkkuus	Toimintaympäristö (soveltuu parhaiten)
GPS	10m	Alueet, jossa GPS-signaalin kulku on vapaa (avoimet alueet ulkoilmassa).
Solupaikannus	50m–35km	Mobiiliverkon (GSM) peittoalue. Toimii parhaiten alueella, jossa tukiasemat ovat tiheässä (kaupunkialue). Toimii myös sisätiloissa, jos vastaanottimet asennettu.
Solupaikannus + ajastusennakko	100–200m	Sama toimintaympäristö kuin solupaikannuksessa. Ajastusennakon avulla toimivuus parempi maaseudulla kuin pelkässä solupaikannuksessa.
Signaalin saapumisaika (TOA, TDOA)	50–200m	Mobiiliverkon (GSM) peittoalue. Toimii parhaiten alueella, jossa tukiasemat ovat tiheässä (kaupunkialue). Toimii myös sisätiloissa, jos vastaanottimet asennettu.
Signaalin aikaero (E-OTD)	50–200m	Toimintaympäristö kuten signaalin saapumisaikaan perustuvassa menetelmässä.
Avustettu GPS	1–10m	Alueet, jossa GPS-signaalin kulku on vapaa (avoimet alueet ulkoilmassa).

Sisätila- paikannus	1cm–10m	Alueet, jossa sisätilapaikannusjärjestelmä on asennettu (rajoitettua alue).
------------------------	---------	---

Monia eri paikannusmenetelmiä voidaan yhdistää tuotettamaan samankokoista sijaintitietoa. Tämän etuna on se, että eri menetelmät vahvistavat toistensa heikkouksia auttaen tuottamaan laajemman toimintaympäristön ja paremman paikannustarkkuuden. Kuitenkin eri paikannusmenetelmien yhdistäminen tuottaa lisää työtä ja kustannuksia [20]. Kuvassa 2.10 on eri paikannusmenetelmien vertailu toimintaympäristöön ja tarkkuuteen nähden.



Kuva 2.10: Paikannusmenetelmien tarkkuuden vertailu eri toimintaympäristöissä [34].

Yksi merkittävä keskustelunaihe paikannukseen liittyy sen on ollut paikannettavan henkilön intimitetti. Yksityisyyden loukkaamisen ja paikantamistietojen väärinkäytön estämiseksi tulee kehittää menetelmiä, joihin tulee kiinnittää suurta huomiota. Yleinen käsitys on, että henkilön, jota paikannetaan, tulee olla tietoinen paikantamisesta [20]. Monissa tapauksissa henkilön tulee

olla mahdollista kontrolloida, kuka voi käyttää paikantamistietoja hyväkseen. Monet nykyiset paikantamismenetelmät sisältävät turvallisuutta lisääviä mekanismeja, mutta paljon on vielä tehtävää lainsäädännön-jateknistenratkaisujen alueella.

### 3 PAIKKATIETOSOVELLUKSET

Paikannukseen perustuvien sovellusten määrään lisä äntyneen huomattavasti viime aikoina. Syynä kehitykseen on ollut paikannusmenetelmien tarkkuuden paraneminen ja käytön hinnan aleneminen. Samalla sovellukset ovat tulleet tavallisten kuluttajien ulottuville nykyisten matkapuhelinten, kämmen tietokoneiden ja muiden langattomien päätelaitteiden yleistyessä.

Paikannukseen perustuvat palvelut ovat sovelluksia, jotka käyttävät hyväkseen käyttäjän sijainti-informaatiota. Käyttäjän sijainti määritellään päätelaitteen avulla ja palvelut tarjotaan päätelaitteen välityksellä. Teoksen [20] mukaan palvelut voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: *paikannukseen perustuvat palvelut (Location-Based Service, LBS)* ja *paikkatiedostariippuvaisiin palveluihin (Location-Dependent Service)*. Paikkatiedostariippuvat palvelut ovat palveluita, jotka ovat saatavilla vain tietyllä maantieteellisellä alueella. Taulukossa 3.1 on esimerkki siitä, millainen paikannustarkkuus on riittävä tietynlaisen palvelun käyttöön. Teos [36] jakaa tarjotut palvelut seitsemään eri pääkategoriaan: *paikantaminen ja seuranta*, *sijainnin välittäminen*, *Pull-palvelut*, *Push-palvelut*, *lähi-informaatiopalvelut*, *karttatietopalvelut* ja *reittiopastuspalvelut*.

Taulukko 3.1: Yhteenvetopalvelujen vaatimista paikannustarkkuuksista.

<b>Paikannustarkkuus</b>	<b>Palvelu</b>
Alueellinen	Säätiedotus, yleiset liikennetiedotukset ja alueellinen mainonta.
Rajoitettu alue (<20km)	Paikallisuutiset jaliikennetiedotukset.
<2km	Ajoneuvojen hallintajaseuranta.
1km	Tiepalvelu.
<200m	Kohteen paikantaminen hätäissä (esimerkiksi E-911).
10-50m	Navigointija opastus, jatkuvasijaintitiedontallennus.

### 3.1 PAIKANTAMINENJASEURANTA

Käyttäjän paikantaminen voi tapahtua kuvassa 2 esitettyjen menetelmien avulla. Teoksessa [23] tehdyn käyttöhalukkuustutkimuksen mukaan käyttäjät pitävät tärkeänä oman sijaintinsa tietämistä. Tarjoamalla tietoa käyttäjän sijainnista ja ympäristön suhteen käyttäjille pystytään tarjoamaan kokonaiskuva tilasta, missä hän on. Tämä tukee käyttäjän omaa päätöksentekoa ja ympäristön hahmottamista.

Mikäli käyttäjä voidaan paikantaa päätelaitteensa satelliittipaikannusmenetelmän avulla, erillistä yhteyttä tietoverkkoon tarvitaan. Jos käyttäjän paikantaminen tapahtuu esimerkiksi matkapuhelinverkon välityksellä, päätelaitteelta lähetetään palvelupyyntö tietoliikenneverkkoa pitkin paikannuspalvelimelle. Paikannuspalvelimella suoritettavaan paikannukseen tarvitaan matkapuhelinverkon teknisiä tietoja, joten palvelun tarjoajat (käytännössä teleoperaattorit) hallitsevat palvelukonseptia [36].

*Seurantasovelluksessa* kohde lähettää omaa sijaintitietoaan paikannuspalvelimelle tai palvelinseuraakohdetta. Kohteen paikannustapahtuujokot käynnistyvät automaattisesti edellyttäen kohteen kuittausta. Kohde välittää sijaintitietoaan palvelimelle tai palvelin kysyy sitä kohteelta tietyin määritellyin väliajoin, esimerkiksi kerran minuutissa, tunnissa tai vuorokaudessa. Kohteen seuranta voidaan myös perustaa kriteereihin. Kriteerit ovat esimerkiksi kohteen saapuminen tietylle alueelle tai kohde ylittää jonkin maantieteellisen rajan [23, 36]. Kuvassa 3.1 on seurantasovelluksen näyttökäyttö. Sovelluksessa seurataan paloautojen liikettä ja hälytyksen tullen lähin tai lähimmät paloautot osataan ohjata kohteeseen. Kohdetta klikatessa hiirellä saadaan kohteesta tarkempaa informaatiota.



Kuva3.1:Seurantasovelluksen näyttökaappaus, jossa seurataan kolme apaloautoa [18].

### 3.2 SIJAINNINVÄLITTÄMINEN

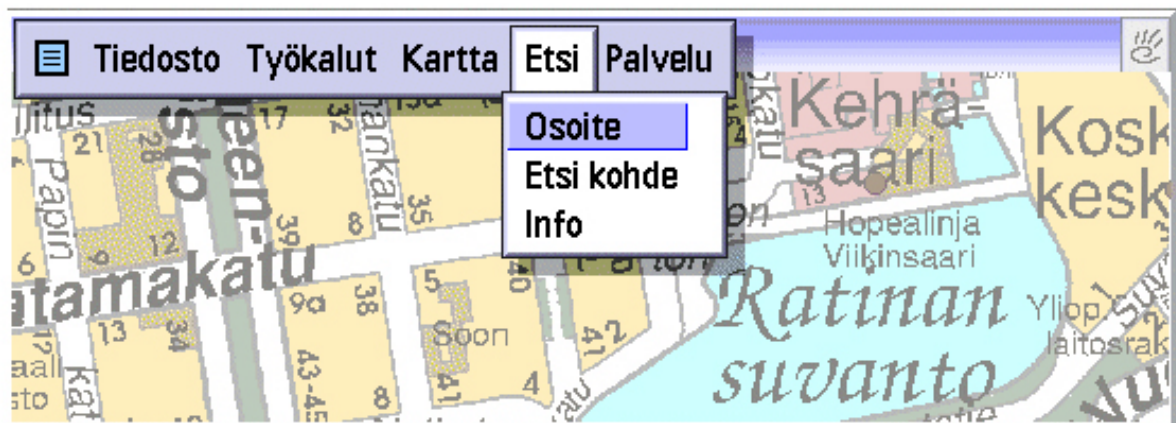
Mobiilipäätelaitteen kantajat voivat välittää tai ne voidaan ”pakottaa” välittämään (esimerkiksi vankien valvonnassa) omaa sijaintiaan muille käyttäjille. Paikannustieto välitetään palveluyrityksille tai viestien välityksellä paikannusjärjestelmään. Järjestelmästä kohteensijainti-informaatio on sovellusten käytettävissä, esimerkiksi hälytysajoneuvoille, taksiin tai muuhun sellaiseen sovellukseen, joka tukee palvelun perillisen toimittamista [36]. Jos päätelaite tukee satelliittipaikannusta, voi kohde lähettää oman sijaintinsa satelliitin kautta toiselle käyttäjälle. Toiseen satelliittipaikantimeen lähetetty palveluyrityksen edellyttää vastaanottajan kuittausta. Matkaviestinympäristössä viesti toiselle käyttäjälle pitää lähettää sovelluksen kautta, joka etsii halutun käyttäjän, jolle viesti välitetään.

Vastaavasti sijaintitieto voidaan välittää verkkopäätelaitteen tukemana. Esimerkiksi matkapuhelinverkossa tapahtuvan paikantamisen maantieteelliset koordinaatit muutetaan

paikannuspalvelimella katuosoitteeksi tai paikannimeksi. Palveluntarjoaja hinnoittelee tarjotun paikannuspalvelunjasuurittaalaskutuksennormaali puhelinlaskunyhdydessä[36].

### 3.3 PULL-PALVELUT

*Pull-palveluilla* tarkoitetaan palveluja, jotka käyttäjä ”vetää” puoleensa, esimerkiksi hakee lähimmän pankkiautomaatin tai hakee tiedon tien toisella puolella olevasta kiinnostavasta patsaasta. Käyttötilanteessapäätelaitteensovelluksestavalitaanpalvelutyypitavaihtoehtoisesti syötetään hakusana, esimerkiksi ”sairaala”. Sovelluksen tulee ottaa huomioon myös hakusanan synonyymit (terveyskeskus, terveysasema, lääkäri) hakua tehdessä. Hakuun tai itse käyttäjäprofiiliin voidaan sisällyttää *läheisyyskriteeri*, joka on etäisyys käyttäjän ja kohteen välillä, esimerkiksi metreinä, kilometreinä tai kävelyetäisyytenä minuuteissa [23, 36]. Kuvassa 3.2 on GISnet Oy:n *CityGuide*-ohjelma [12], jonka tarkoituksena on tarjota kaupunkikeskeiset palvelutjanähtävyydetkäsitäväkaupunkioipas. Ohjelmankäyttöalueonlaajennettavissakaikkiin kaupunkiin, joista on tuotettu digitaaliset karttasähköinen palveluhakemisto.



Kuva 3.2: CityGuide-ohjelman päävalikko [12].

Käyttäjän sijaintitiedon saamiseksi sovellukselle on kolme vaihtoehtoa [36]. Mikäli päätelaite tukee satelliittipaikannusta, niin käyttäjän sijainti välitetään palvelupyynnön mukana. Jos käyttäjän paikannus tapahtuu matkapuhelinverkon välityksellä, liitetään palvelupyyntöön myös

paikannuspyyntö. Kolmantena vaihtoehtona on käyttäjän itse lisäämä viite sijainnistaan, esimerkiksi katuosoite, postinumerotaipaikkanimi .

Palvelupyynnön ja käyttäjän sijainnin perusteella sovellus poimii ne tiedot, jotka täyttävät pyynnön kriteerit ja lähettää vastauksen käyttäjän päätelaitteeseen. Vastauksena voi olla esimerkiksi lista kaikista lähialueen sairaaloista tai ne näytetään kartalla suhteessa käyttäjän sijaintiin. Jos ”lähimmän sairaalan” -haku suoritetaan esimerkiksi sunnuntaina, palvelun tulee välittää tuloslistauksessaan ensin niiden sairaaloiden tai terveysasemien tiedot, jotka ovat juuri sunnuntainaavoinna.

Palvelusta peritään maksu ja laskutetaan käyttäjän normaalin puhelinlaskun yhteydessä. Vaihtoehtoisesti palvelu voi olla myös käyttäjälle ilmainen, jolloin sen kustantavat osapuolet, jotkamarkkinoivat palvelujaan.

### **3.4 PUSH-PALVELUT**

*Push-palveluilla* tarkoitetaan palveluja, jotka sovellus ”sysää” ja joutaa käyttäjä vastaanottaa päätelaitteeseensa. Käyttäjä voi tehdä sopimuksen push-palveluiden vastaanottamisesta, esimerkiksi mainosten, tarjousten, tiedotteiden ja uutisten vastaanottamisesta. Push-palvelu seuraa käyttäjän liikettä ja lähettää käyttäjän profiilin mukaisia viestejä, kun käyttäjän tai palvelun määrittämä läheisyyskriteeri toteutuu. Esimerkiksi käyttäjä on tilannut palvelun, joka lähettää pizzatarjouksiä päätelaitteeseen arkisin 1000 metrin säteellä käyttäjän sijainnista, jotka sijaitsevat yhden kilometrin säteellä käyttäjistä. Kun kriteerit täyttyvät, käyttäjä saa sähköisen tarjouskupongin pizzeriasta, joka on enintään kilometrin säteellä käyttäjistä. Käytännössä tämän tyyppisten palvelujen välittäminen on mahdollista vain verkkopaikannusmenetelmiä käytettäessä, koska tällöin käyttäjän ei tarvitse lähettää omaa sijaintitietoaan, vaan häntä seurataan automaattisesti. Tällaiset mainospalvelut ovat käyttäjälle ilmaisia, mutta uutiset ja tiedotteet ovat usein maksullisia [23,36].

Teoksessa [36] tuodaan esiin myös mielenkiintoinen palvelukonsepti, jossa mobiilipäätelaite toimii ”paikannetun herätyskellon” tapaan. Konseptissa käyttäjä voi määritellä etukäteen



paikkoja, joissa pitää muistaa ohikuljettaessa käydä aukioloaikojen puitteissa, esimerkiksi pesulassa tai kirjastossa. Kun läheisyys- ja aukioloaikakriteerit täyttyvät, päätelaite antaa käyttäjällemuistutuksen.

### 3.5 LÄHI-INFORMAATIOPALVELUT

*Lähi-informaatiopalveluja* tarjotaan langattomassa lähiverkossa paikallisesti esimerkiksi sisätilapaikannuksen muodossa. Käyttäjän päätelaitteen selainsovellus tarjoaa valikon, jonka kauttasovellukseensaadaan vahvasti paikallistainformaatiota. Informaatioon ilmaistaimaksu tiedon käytöstä maksetaan esimerkiksi rekisteröitymismaksuna tai pääsylippuna palveluntarjoajalle. Käyttäjän paikantamintapahtuu joko lähiverkon omien menetelmien kuten Bluetoothin tai infrapunajärjestelmän avulla, tai käyttäjä tukemana, esimerkiksi erilaisia osastotunnuksiasyöttäen tai valikostamääräen [36]. Lähiverkon palvelinseuraakohteen liikettä tilassajatoimittat tarpeellistainformaatiot sijainnin muuttuessa tai käyttäjän sitäkysyessä.

### 3.6 KARTTATIETOPALVELUT

Mobiilissä päätelaitteissa voidaan käyttää sovellusta, joka tarjoaa käyttäjälle *karttatietopalveluja*. Käyttöliittymässä karttaa voidaan vierittää ja sitä voidaan zoomata. *Zoomauksella* tarkoitetaan kartan mittakaavan vaihtamista suuremmaksi tai pienemmäksi. Myöskin karttakäyttöliittymän tietosisältöä ja ulkoasua voidaan muokata tarpeen vaatimista. Päätelaitteen karttasovelluksen kartta-aineiston tallentamiselle on kaksi tapaa [36]: kartta-aineisto voi olla tallennettuna joko päätelaitteella tai se haetaan karttapalvelimelta sovelluksen käyttöön. Ensimmäisen vaihtoehdon heikkoutena on nykyisten päätelaitteiden pieni tallennuskapasiteetti. Etuna on kuitenkin kartta-aineiston nopea saatavuus ja häiriöherkkyyden pienuus. Toisen vaihtoehdon ongelmana on päätelaitteen rajallinen tiedonsiirtokapasiteetti ja tiedonsiirtotapahtuman herkkyyden yhteyden katkeamiselle. Myös kartta-aineiston hakeminen palvelimelta vie sovellukselta aikaa. Etuna kartta-aineiston palvelimelta noutamisesta on kuitenkin palvelimen tarjoaman aineiston suuri määrä sovelluksen käyttöön. Järkevää olisi, että päätelaitteella pidettäisiin peruskartasto, jonka avulla käyttäjä selviää navigoinnista ja tarpeen vaatiessa aineistoa tarkennettaisiin palvelimelta haettavan aineiston avulla.

Kartta-aineiston hakeminen palvelimelta käyttäjän omalle päätelaitteelle tapahtuu seuraavasti [36]: käyttäjä osoittaa indeksikartastatai karttaluettelostahaluamansa aineiston, jasekopioidaan päätelaitteelle. Tiedonsiirto tapahtuu karttapalvelimen ja päätelaitteen välillä tai vaihtoehtoisesti Internetiin kytketyn tietokoneen ja päätelaitteen välillä. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa päätelaite osoittaa karttapyynnön tietokoneelle, joka hakee kartta-aineiston karttapalvelimelta Internetin välityksellä ja toimittaa saadun kartan päätelaitteen sovelluksen käyttöön. Kehittyneemmissä sovelluksissa kartta-aineisto haetaan käyttäjän sijainnin perusteella automaattisesti sitä mukaa, kun käyttäjä liikkuu kartta-alueella. Kartta-aineistopäätelaitteella päivitetään, kun käyttäjä siirtyy nykyisen kartta-alueen ulkopuolelle.

Kartta-aineistot ovat pääasiallisesti maksullisia. Kartta-aineiston laskutus tapahtuu normaalin puhelinelaskun yhteydessä. Jotkut kartastot ovat kuitenkin mainosrahoitteisia ja osin ilmaisia. Myös kunnat tarjoavat informaatiopalvelujaan ilmaiseksi matkailuelinkeinonsa edistämiseksi [36]. Taulukko 3.2 on koostettu kartta-aineistopalvelutarjoajista Suomessa.

Taulukko 3.2: Kartta-aineistopalvelutarjoajia Suomessa.

Nimi	Lisätiedot	WWW-osoite
Karttapaikka	Maanmittauslaitoksen tarjoama karttapalvelu.	<a href="http://www.kartta.nls.fi/karttapaikka/">http://www.kartta.nls.fi/karttapaikka/</a>
GenimapOy	Yritys tarjoaa digitaalisia kartta-aineistojajapaikkatietoratkaisuja.	<a href="http://www.genimap.fi/">http://www.genimap.fi/</a>
Geokartta	Geologian tutkimuslaitoksen karttapalvelu.	<a href="http://geokartta.gsf.fi/">http://geokartta.gsf.fi/</a>
Kartta.org	Mainosrahoitteinen portaali, josta linkkejä sekä maksullisiin, että maksuttomiin palveluihin.	<a href="http://www.kartta.org">http://www.kartta.org</a>

### 3.7 REITTIOPASTUSPALVELUT

*Reittiopastuspalveluja* käytetään silloin, kun halutaan löytää jokin tietty paikka. Palvelu ohjaa käyttäjän perille kohteeseen, kun sille määritetään määränpää esimerkiksi katuosoitteena tai osoitettuna kartasta. Kuitenkin teoksen [23] mukaan reittiopastuksen ainoa tarkoitus ei ole vain opastaa käyttäjää perille mahdollisimman tehokkaasti vaan opastuksen tulee sopia käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi poikkeaminen suunnitellulta reitiltä ei aina tarkoita eksymistä, vaan se voi olla suunniteltu kahvitauko. Lisäksi palveluun voidaan liittää lisäopastusta, kuten esimerkiksi yleisten kulkuneuvojen reiteistä ja aikatauluista, joita käyttäen käyttäjä pääsee perille. Kuvissa 3.3 ja 3.4 on Garminin [11] *Street Pilot III* -ohjelman reittiopastuksen karttanäytöt. Kuvassa 3.3 valitaan määränpää, joka on tässä tapauksessa ”St Louis Zoo”. Ohjelma laskee etäisyyden määränpäähän näyttää kartalta paikalliset ravintolat ja sairaalat.



Kuva 3.3: Reittiopastusohjelma, josta päämääräksi valitaan ”St Louis Zoo” [11].

Lähestyttäessä määränpää (kuva 3.4) ohjelmassa voidaan siirtyä *lähestymistilaan (Upcoming)*. Tällöin ohjelma ohjaa yksityiskohtaisesti risteystä kääntymisen ja laskee ajan, joka kuluu saavuttaessa seuraavan käännyksen. Ohjelmasuorittaja laskennan käyttäjän nopeuden, sijainnin ja risteysten etäisyyden perusteella.



Kuva3.4:Reittiopastusohjelmanyksityiskohtaiseta jo-ohjeetlähellämääränpäätä[11].

Reittipalvelujen opastustapa on riippuvainen käyttäjän taidoista sekä päätelaitteen fyysisistä ominaisuuksista, esimerkiksi pienessä näytössä ei pystytä näyttämään selkeää karttaa. Sopivat opastuksen apuvälineet tuleekin valita tehtäväkohtaisesti. Tutkimukset osoittavat [39], että joillakin opastustavoilla on positiivisiä vaikutuksia joihinkin tehtäviin, muttasaman opastustavan käyttö toisessa tehtävässä haittaa sen suorittamista. Sovelluksissa kannattaakin tarjota erilaisia opastusvaihtoehtoja. Käyttäjillä on erilaisia taitoja lukea ja havaita tarjottua opastuspalvelua. Näin ollen sovellus tai palvelu on monipuolisemmin ja suuremman kohderyhmän käytettävissä, jos se pystyy tarjoamaan käyttäjille kulloiseenkin tilanteeseen sopivan opastustavan.

Käyttäjän halutessa reittiopastuspalvelun viitattuaan kohteeseen, hän lähettää opastuspyynnön. Opastuspyyntö sisältää käyttäjän etukäteen määritellyjä kriteereitä, jotka tulevat esimerkiksi käyttäjän profiilista. Pyyntö lähetetään opastuspalvelimelle, joka tuottaa reittipalvelun informaation. Informaatiot tuotettaessa opastuspalvelinotta huomioon reaaliaikaiset muutokset ympäristössä, esimerkiksi tietyöt tai liikenne ruuhkat. Palvelin lähettää kulkuohjeet vastauksena päätelaitteeseen, jossa sovellus tulkitsee vastauksen. Koko matkan ajan päätelaite valvoo käyttäjän liikkeitä ja opastaa ohjein ja ilmoituksin, esimerkiksi tienristeyksissä kääntymään oikeaan suuntaan. Päätelaitteella informaatio voidaan esittää katu- tai etäisyysluettelona tai reittipiirroksena kartalla [36]. Kuvassa 3.5 on Street Pilot III-ohjelman reittiopastus esitettynä katu- ja etäisyysluettelona. Ohjelma näyttää nuolella käännekohtien suunnan ja kohteen tai

kadunnimen. Seuraavana ohjelma näyttää etäisyyden käännökseen ja ajan, jonka kuluttua käännöstulisisuorittaa.



↑	Turn right on Wallstrasse(SE)	0.3 <sup>m</sup>	00:35
↑	Enter roundabout	2.3 <sup>m</sup>	04:30
↑	Turn right towards Horn	2.5 <sup>m</sup>	04:43
↑	Arrive at 75 Bei Den Tennisplätzen	3.9 <sup>m</sup>	08:21

Kuva3.5:Reittiopastusesitetynäkatu-jaetaisyys suunnittelona[11].

Reittiopastusta voidaan tarjota myös sisätiloissa. Tällöin rakennuksen fyysiset piirteet ja niiden suunnittelu vaikuttavat opastusinformaation laatuun. Rakennuksen oman opastusjärjestelmän tarkkuus, esimerkiksi huoneen numero tai kerros, vaikuttavat opastukseen. Suunniteltaessa sovellustarakennukseen omaan opastusjärjestelmään ei pystytä yleensä vaikuttamaan, joten suunnittelussapitääharkita tarkoin käytettävä opastustapa. Esimerkiksi hyvän ja toimivan kartan laatiminen sisätilaopastuksen käyttöön on hyvin hankalaa. Sisätilaopastusta suunniteltaessa tuleekin tila ottaa huomioon, ettei opastusheikkoudet aiheuta kohteiden löytymistä; esimerkiksi liikkumisen ilmaiseminen kerrostenvälillä on hankalaa[39].

## 4 JÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI

Paikkatietosovelluksen pitää pystyä keräämään ja yhdistämään paikkatieto a useasta eri lähteestä. Eri sovellusten tulee tarjota yleinen käyttöliittymä, jonka kautta asiakassovellukset käsittelevät paikkatietoa. Paikkatietosovelluksille asetettujen vaatimukset kuten skaalautuvuus ja suuritiedon päivityksien määrä asettavat sovellusympäristön kehittämislle rajoituksensa. Järjestelmäarkkitehtuuria suunniteltaessa tarkoituksena on tehdä järjestelmästä mahdollisimman yleispätevä, jotta päätelaitteiden ja verkkotekniikan kehittyessä perusarkkitehtuuri olisi yhä käyttökelpoinen. Sovellusympäristölle on tyypillistä informaation suuri päivitystarve. Päivitysprotokollien avulla ratkaistaan informaation päivityksentuomat ongelmat. Sovelluksen ja käyttäjän välinen tiedonsiirto pitää myös ratkaista. Vaihtoehtoina ovat langattomiin, matkaviestin tai satelliittiverkkoihin perustuvat ratkaisut.

Asiakkaat paikkatietosovelluksissa ovat omasta sijainnistaan tietoisia olevia sovelluksia, joita käytetään esimerkiksi puhelimen tai kannettavan tietokoneen välityksellä. Asiakkaat käyttävät asiakassovelluksia käyttöliittymän välityksellä, joiden avulla he kysyvät ja välittävät tietoja paikannuspalvelimelle. Asiakaspäätteen usein varustettu esimerkiksi GPS-laitteella tai paikantaminen tapahtuu verkon avulla. Asiakaspäätteen sijainnin määrittämisen jälkeen, tavalla taitoisella, sijaintitiedot välitetään paikannuspalvelimelle.

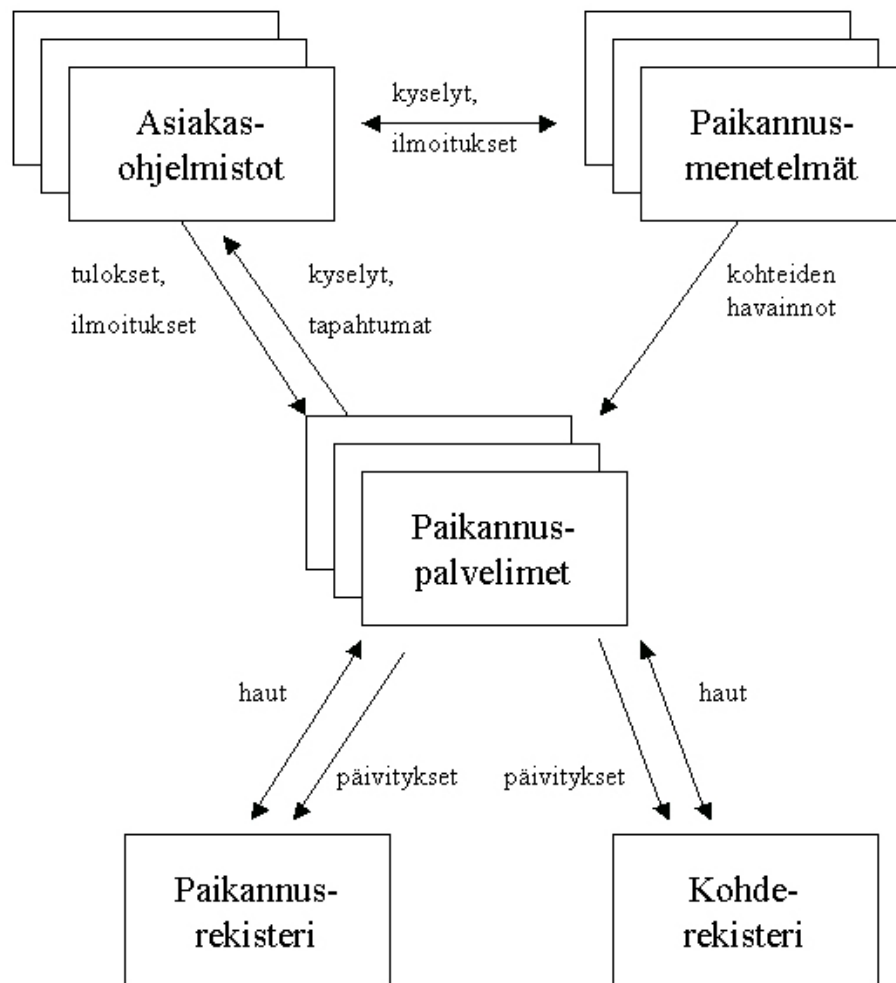
Paikkatietosovellusta suunniteltaessa on sovelluksesta tehtävä mahdollisimman yleispätevä, koska eri paikannus- ja tiedonsiirtotekniikoiden kirjo on valtava. Seuraavassa on yleisiä vaatimuksia, jotka sovelluksen tulee täyttää [24]:

- *Skaalautuvuus.* Riippuen sovellusalueesta sovelluksen pitää pystyä käsittelemään suuri määrä erilaisia paikannettavia kohteita. Tämän vuoksi sovelluksen osien, esimerkiksi paikannuspalvelinten määrärauhka-alueella, tulee olla helposti lisättävissä.

- *Paikannustarkkuus.* Erilaiset paikannusmenetelmät tuottavat eritasoisia paikannustarkkuutta. Sovelluksen tulee pystyä käsittelemään tätä paikannustarkkuuden kirjoja. Joillekin asiakkaille riittää epätarkempi sijaintitieto, mutta sovelluksen tulee ylläpitää mahdollisimman tarkka paikannustarkkuutta.
- *Joustavuus, mukautuvuus.* Joillakin alueilla paikannettavia kohteita on enemmän tai niiden paikannustarkkuus on suurempi. Tähän vaikuttavat esimerkiksi vuorokaudenaika, viikonpäivä tai vuodenaika. Näille alueille pitää pystyä lisäämään paikannuspalvelimia ja paikannusmenetelmien tehokkuutta tulee lisätä. Ihanteellisessa tapauksessa paikkatietosovelluksen pitäisi pystyä mukautumaan muutoksiin automaattisesti.
- *Turvallisuus ja yksityisyys.* Paikkatieto tuotettaessa kriittisiä kysymyksiä ovat asiakkaan turvallisuus ja yksityisyyden säilyttäminen. Sovelluksen tulee tarjota yksityiskohtainen käyttöoikeuksien hallinta, jonka avulla asiakas voi määrittää, kenellä on oikeus käyttää hänen sijaintitietojaan hyväkseen.
- *Vikasietoisuus.* Paikkatietosovelluksen tulee toimia, ainakin osin, vaikka jokin järjestelmän osaolisipäättätietoliikenneverkossa tapahtuisi katkos.

#### 4.1 PERUSARKKITEHTUURI

Teoksissa [24, 26, 27, 38] ehdotetaan yleispätevää paikkatietosovelluksen perusarkkitehtuuria Internet-pohjaiseen teknologiaan (kuva 4.1). Tämä perusarkkitehtuuri on suunniteltu toimivan maailmanlaajuisesti, jolloin suurten käyttäjämäärien tavoittaminen on mahdollista. Käyttäjämäärien kasvaessa kyselyiden ja tapahtumien lukumäärä lisääntyy. Jotta sovelluksen skaalautuvuus ja lyhyet vasteajat ovat saatu säilyettyä, on järjestelmä suunniteltu hajautetusti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sovellusten tarvitsema informaatio on hajautettu monelle eri paikannuspalvelimelle. Suunnittelussa on kiinnitetty huomiota myös turvallisuuteen, koska se merkitsee käyttäjille paljon.



Kuva4.1:Paikkatietosovelluksenperusarkkitehtuuri [27].

Ehdotettu perusarkkitehtuuri antaa mahdollisuuden paikantiedon kopiointiin järjestelmän paikannuspalvelimilla. Paikannuspalvelimilla kopioidaan paikantietoa käsitellään eri tarkkuudella. Esimerkiksi suuremman paikannustarkkuuden omaavat tiedot sijoitetaan lähemmäksi paikannettavaa kohdetta, jolloin kohteen tietojen päivittäminen on nopeampaa. Vähemmän täsmällisemmät tiedot sijoitetaan lähemmäksi sovelluksia, jolloin sovellusten toiminta on tehokkaampaa. Paikannuspalvelimet käsittelevät paikannusrekisterejä, jonne tallennetaan paikannuspalvelimen ja palvelualueen yhteyksiä, sekä kohderekisterejä, jonne tallennetaan kohteiden informaatio. Paikkatiedon tallentamiseksi tavalliset tietokantaratkaisut



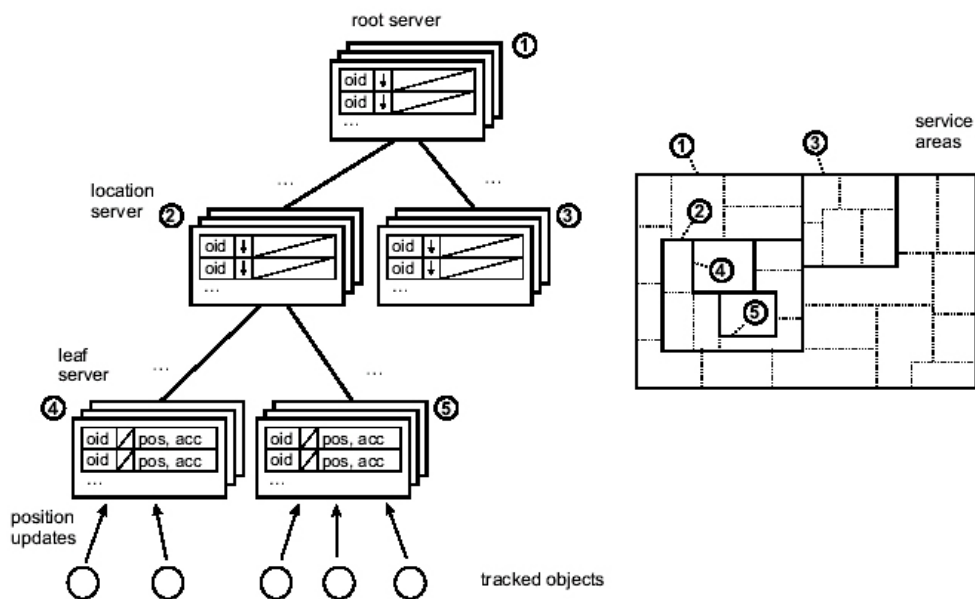
eivät ole riittäviä paikkatiedon tiheän päivittämisen tarpeen vuoksi. Tästä johtuen paikkatiedon tallentamiselle on kehitetty uusia ratkaisuja. Perussarkkitehtuurin käyttöliittymän tulee tarjota ainakin kaksi peruskyselyä: kohteen sijainti ja alueen kohteet. Näistä kahdesta kyselystä yhdistämällä saadaan johdettuamuutsovellukset arpeellisetkyselyt.

## 4.2 PALVELUALUEET

Paikkatietosovellus koostuu paikannuspalvelimista, jotka käsittelevät *paikannettavien kohteiden (Tracked Object)* informaatiota. Jokainen paikannuspalvelin on vastuussatietyin maantieteellisen alueen paikannettavista kohteista. Aluetta, josta paikannuspalvelin vastaa, kutsutaan nimellä *palvelualue (Service Area)*. Palvelin tallentaa kaikkien palvelualueellaan olevien kohteiden sijaintitiedot rekistereihinsä. Jos kohde siirtyy toiselle palvelualueelle tai kokonaan pois palvelualueelta, tiedot poistetaan automaattisesti rekisteristä [27].

Palvelualueet jaetaan hierarkkisiin tasoihin. Jokainen palvelualue voidaan jakaa pienempiin ja pienempiin palvelualueisiin. Palvelualueita, jotka ovat jonkun alueen *alialue (Sub Area)*, kutsutaan nimellä *lapsipalvelualue (Child Service Area)* ja alkuperäistä aluetta nimellä *isäpalvelualue (Parent Service Area)*. Koko palvelualueen kattavaa aluetta kutsutaan nimellä *juuripalvelualue (Root Service Area)*. Muodoltaan palvelualue voi olla mikä tahansa monikulmio, mutta seuraavien vaatimusten tultuettäytyä [26]:

- palvelualue, jolla on lapsipalvelualueita, on lapsipalvelualueiden sayhdisteja
- sisäalue ei välitä saalimittää toinentoisiaan.



Kuva4.2:Paikannuspalvelimienhajautusjakautum inenpalvelualueisiin[26].

Jokaisella palvelualueella on paikannuspalvelin, joka on vastuussa alueella olevien kohteiden paikantamisesta. Näin ollen palvelualuehierarkia muistuttaa suuresti palvelimien hierarkiaa. *Juuripalvelin (Root Server)* on ainoa palvelin hierarkiassa, jolla ei ole *isäpalvelinta (Parent Server)*. Ne palvelimet, joilla ei ole *lapsipalvelimia (Child Server)*, ovat nimeltään *lehtipalvelimia (Leaf Server)*, kaikki muut *ei-lehtipalvelimia (non-Leaf Server)*. Kuvassa 4.2 on esitetty esimerkki palvelimien hajautuksesta janiiden palvelualueista.

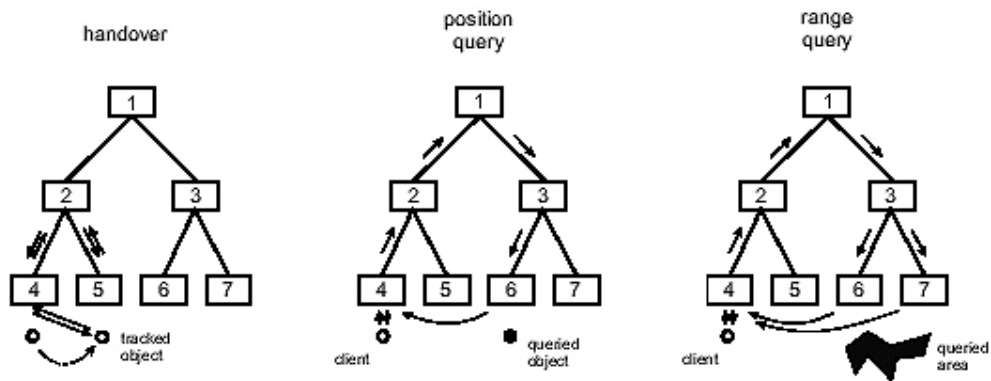
Lehtipalvelimet toimivat vain *lehtipalvelualueilla (Leaf Service Area)*. Koska sisaralueet, tässä tapauksessa lehtipalvelualueet, eivät saa limittää toinen toisiaan missään tilanteessa, on paikannettu kohde aina vain ja ainoastaan yhdellä lehtipalvelualueella. Tätä lehtipalvelualueutta kutsutaan nimellä *kohteen palveluagentti (Object's Agent)*. Jos paikannettu kohde siirtyy lehtipalvelualueelta toiselle, kohteen paikannus vastuu siirtyy sen alueen palveluagentille.

Ei-lehtipalvelimet ovat vastuussa palvelualueesta, joka on yhdistelapsipalvelualueiden kohteista. Ilmiselvästi lehdistä latvaan kuljettaessa palvelimien palvelualueiden koko ja lukumäärä kasvaa. Ei-lehtipalvelimet rekisteröivät kaikki paikannettavat kohteet palvelualueeltaan. Näistä kohteista

palvelin tallentaa *edelleenviittauksen (Forwarding Reference)* paikannusrekisteriin, joka määrittää vastuussaolevan lapsipalvelimen.

Ainoastaan lehtipalvelimet tallentavat kohteidensa havaintotiedot. Ei-lehtipalvelimet tallentavat ainoastaan viittauksen lapsipalvelimeen, joka on lähempänä kyseistä kohdetta. Näiden hierarkkisten viittausten ketjusta muodostuu *polku* juuripalvelimelta kohteen palveluagentille (lehtipalvelimelle), jossa paikannettavan kohteen tiedot ovat tallennettuna kohderekisteriin. Sijaintitiedon päivitykset lähetetään aina kohteen palveluagentille, joka päivittää kohderekisteriä. Kun kohde liikkuu uudelle palvelualueelle, seuranta vastuu luovutetaan seuraavalle palveluagentille. Paikannusrekisterin edelleenviittauksen ketju päivitetään vastaamaan kohteen uutta sijaintia palvelinhierarkiassa. Samalla kohde pitää saattaa tietoiseksi uudesta palveluagentistaan. Polun päivitysten lukumäärä palvelinhierarkiassa riippuu siitä, millä tasolla luovuttaminen suoritetaan. Luonnollisesti suurin päivitysten tarve polussa on lehtipalvelimilla, kun taas lähempänä juurta olevien palvelimien päivityksentarve on satunnaista.

Kuvassa 4.3 on esitetty kolmikerroksinen palvelinhierarkia, jota käytämme kuvaamaan, miten *luovutuspyyntö (Handover)*, *sijaintikysely (Position Query)* ja *aluekysely (Range Query)* tapahtuvat. Kyseisten toimintojen algoritmitasoinen kuvaus löytyy teoksesta [26]. Kuvassa palvelin numero 4 ( $S_4$ ) on havainnut, että paikannettu kohde on siirtynyt pois hänen palvelualueelta. Palvelin lähettää välittömästi luovutuspyynnön isäpalvelimelleen  $S_2$ . Isäpalvelin tarkastaa, että paikannettava kohde on yhä hänen palvelualueellaan (lapsialueellaan)  $S_5$ , joten luovutuspyyntöä ei tarvitse lähettää enää ylöspäin hierarkiassa. Isäpalvelin  $S_2$  lähettää pyynnön lapsipalvelimelleen  $S_5$ , jonka palvelualueella paikannettava kohde nyt on. Lopuksi isäpalvelin ilmoittaa luovutuspyynnön esittäneelle palvelimelle  $S_4$  luovutuksen onnistuneen, päivittää edelleenviittausten ketjun julkaisemaan paikannettavalle kohteelle senuuden palveluagentin.



Kuva4.3:Paikannuspalvelimienperustoiminnot[26].

Paikannettavan kohteen sijaintitieto saadaan seuraamalla edelleenviittaustenketjua, jolloin löydetään kohteen palveluagentti. Esimerkissämme asiakas tekee sijaintikyselyn palvelimelta  $S_4$  ja oletetaan, että paikannettavakohteen palvelimen  $S_6$  palvelualueella.  $S_4$  esittämä palvelupyynnö välitetään hierarkiassa ylöspäin vain niin pitkälle kuin tarve vaatii. Tässä tapauksessa joudutaan kipuamaan aina juuripalvelimelle  $S_1$  asti. Juuripalvelin lähettää palvelupyynnön edelleenviittaustenketjuapitkin palvelimelle  $S_6$ , jonka palvelualueella kohdesijaintee. Palvelin  $S_6$  välittää vastauksen asiakkaan palvelupyynnöön palvelimelle  $S_4$ . Kuten huomaamme, jos paikannettava kohde olisi ollut palvelimen  $S_5$  palvelualueella, ei palvelupyynnöä olisi tarvinnut lähettää hierarkiassa ylöspäin kuin palvelimelle  $S_2$  asti.

Aluekyselyn avulla voidaan hakea kaikki kohteet tietyltä alueelta. Esimerkissämme asiakkaan määrittämä alue kattaa palvelualueet  $S_6$  ja  $S_7$ . Asiakkaan aluekysely välitetään hierarkiassa ylöspäin, kunnes löydetään palvelin, jonka palvelualueet kattavat kokonaan asiakkaan määrittämän alueen. Tässä tapauksessa se on palvelin  $S_1$ , koska hierarkiassa palvelinten  $S_2$  ja  $S_3$  välillä ei ole suora yhteyttä. Palvelimelta  $S_1$  pyynnö välitetään hierarkiassa alaspäin palvelimille, jotka vastaavat määritetystä alueesta, aina palvelimille  $S_6$  ja  $S_7$  asti. Molemmat lehtipalvelimet selvittävät kohteet, jotka sijaitsevat määritetyllä alueella ja lähettävät vastauksensa palvelimelle  $S_4$ , joka on vastuussa lähetettyjen vastausten kokoamisesta ja toimittamisesta eteenpäin asiakkaalleen.

Palvelualueen jakamisella useamman palvelimen hallintaan on ehto, jolla saavutetaan järjestelmän skaalautuvuus ja vikasietoisuus. Hajauttamalla palvelimet parannetaan myös järjestelmän suorituskykyä, koska toiminnot suoritetaan mahdollisimman paikallisesti (*Locality*). Kuten huomaamme suurin osa luovutuspyynnöistä suoritetaan paikallisesti, koska paikannettavien kohteiden oletetaan liikkuvan vierailijalle palvelualueille. Samalla voidaan havaita, että suuri osakyselyistä kohdistuu lähimäärästä, koska asiakkaat ovat kiinnostuneita enemmän lähialueista. Esimerkiksi asiakas haluaa löytää kaikki kävelymatkan päässä olevat lähialueen ravintolat tai hakea kaikki ihmiset samasta rakennuksesta. Kyselyiden korkeaa paikallisuutta on tarkasteltu sovellusten osalta teoksessa [14], puheluiden osalta matkapuhelinverkossateoksessa [22] ja globaalien järjestelmien osalta teoksessa [38].

Järjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat hierarkian korkeus, kuormitus (esimerkiksi lapsipalvelinten lukumäärä) sekä palvelualueiden, etenkin lehtipalvelualueiden koko. Näiden parametrien optimaalisiin asetuksiin vaikuttavat paikannettavien kohteiden lukumäärä juuripalvelualueella, kohteiden jakautuminen kaikille palvelualueille (*"hot spots"* -alueet, joilla on eniten kohteita) ja kohteiden omat attribuutit (esimerkiksi nopeus ja suunta). Asetuksiin vaikuttavat myös millaisia kyselyitä asiakkaat tekevät ja kuinka usein. Kyselyiden laatu on tietysti riippuvainen tarjotusta palvelusta. Myös paikannuspalvelinten sijoittelu vaikuttaa järjestelmän suorituskykyyn. Väärästä sijoittelusta johtuen tiedonvälityksen hinta ja viive voivat nousta esteeksi järjestelmän toimivuudelle. Järkevä olisiikin, että lehtipalvelimet olisivat mahdollisimman lähellä omaa palvelualueuttaan.

Tähän mennessä olemme oletaneet, että jokaista palvelualueutta hoitaa yksi paikannuspalvelin. Kun vikasietoisuus ja suorituskyky vaatimukset otetaan huomioon, on järkevää harkita monen palvelimen käyttöä samalla palvelualueella. Etenkin juuripalvelualueella ja hierarkiassa korkealla olevien palvelinten kuormitus kasvaa suureksi. Kuten kohdassa 4.3 käsitellään, paikannettavien kohteiden tiedot tallennetaan tietokantaan. Jos sama palvelualueutta hallinnoidaan useamman palvelimen avulla, voidaan tietokanta kopioida tai kohteiden tiedot osioida eri palvelimille tallennettaviksi. Paikannettavan kohteen tiedot voidaan osioida esimerkiksi kohteen tunnisteen (*Id*) avulla, vastaavasti kuten GSM-verkossa käytetään kotirekisteriä (*Home Location Register*).

Koska kohteiden paikkatiedot päivittyvät hyvin tiheään, tietokannan kopiointi tuottaa suuren tiedonylimäärän. Kopiointiä käytettäessä pitää ottaa huomioon sinnettävähierarkiatasovalitahuolella.

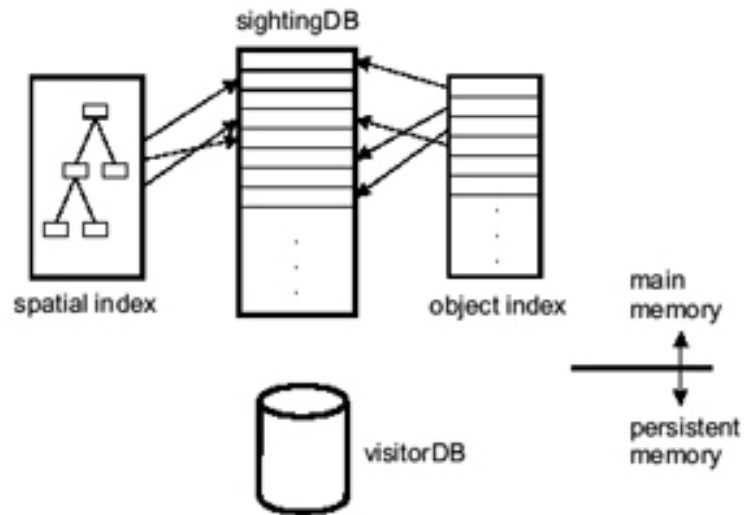
### 4.3 PAIKKATIEDONTALLEMENTAMINEN

Saavuttaakseen korkean paikkatiedontarkkuuden, sovelluksentuleepystyysuoriutumaantiheästä informaation päivitystarpeesta. Teoksen [26] mukaan nykyiset paikkatietokannat ovat tarkoitettu monimutkaisemmalle informaatiolla, eivätkä ole soveltuvia määrällisesti suuren, mutta yksinkertaisen tiedon tallentamiseen. Myös sovelluksen tietojen luonteenomainen päivityksen suuri tarve puolustaa erilaisen tallennusjärjestelmän käyttöä. Teos [26] ehdottaakin yhdistettyjen tallennuskomponenttien käyttöä, jossa sijaintitiedot pidetään muuttuvassa keskusmuistissa ja rekisteröintitiedot säilytetään perinteisessä tietokannassa.

Paikannuspalvelimien tulee säilyttää oma konfiguraationsa sekä kohteiden tiedot, jotka ovat heidän palvelualueellaan. Nopeuttaakseen tietokannan käsittelyä, palvelimet tallentavat *tilaa koskevan indeksin (Spatial Index)*, joka sisältää kohteiden sijaintitiedon. Indeksini ja hajautustaulun avulla esimerkiksi ”*lähinnaapuri*”-kysely saadaan suoritettua tehokkaasti. Jotta palvelimien ja palvelualueiden yhteydet säilyvät, tallentaa ne paikannuspalvelimen *paikannusrekisteriin (Location Register)* [27]. Rekisteriä käytetään esimerkiksi silloin, kun halutaan löytää kaikki kohteet tietyltä alueelta (*aluekysely*). Paikannusrekisteriä päivitetään, kun paikannuspalvelin tulee vastuuseen tietystä palvelualueesta tai palvelualueet muuttuvat. Paikannuspalvelimet eivät itse päivitä rekisteriä. Paikannusrekisteri hajautetaan hierarkkisesti samoin kuten maantieteelliset osoitteet ja reititykset (*Geographic Addressing and Routing*) [2].

Kuvassa 4.4 esitetään komponentit, jotka tarvitaan paikkatiedon tallentamiseen. Paikannettua kohdetta paikannuspalvelimen palvelualueella kutsutaan nimellä *vierailija (Visitor)*. Paikannuspalvelimet pitävät kirjaa vierailijoistaan *vierailijatietokannassa (Visitor Database)*, johon tallennetaan jokaisen vierailijan *vierailijarekisteri (Visitor Record)*. Vierailijarekisterin rakenne riippuu siitä, onko kyseessä oleva paikannuspalvelin lehtipalvelin vai ei. Molempien palvelimien rekistereissä ovat kohteen tunniste sekä edelleenviittaus palvelinten välillä. Lisäksi

lehtipalvelimelle tallennetaan viittaus havaintorekisteriin (*Sighting Record*), joka sijaitsee havaintotietokannassa (*Sighting Database*).



Kuva4.4:Tiedontallentamisenkomponentit[26].

Lehtipalvelin ylläpitää havaintotietokantaa, jossa ovat vierailijoiden havaintorekisterit. Havaintorekisteri sisältää kohteen sijainnin sekä paikannuspalvelimen keräämiä tietoja, kuten kohteen nopeus ja suunta. Rekisteri voidaan hajauttaa helposti eri rekisteripalvelimien välille, jolloin jokainen palvelin on vastuussa tietyistä joukosta kohteita (paikannuspalvelimia). Havaintorekisterit järjestetään hierarkkiseen puurakenteeseen, kuten Internetin nimipalvelu (*Domain Name System, DNS*) [31]. Hierarkkisen puurakenteen avulla on saatu turvattu tietty vikasietoisuudentaso.

Jokainen havaintorekisteri on varustettu vanhentumisaikajankohdalla, jota jatketaan, kun kohde päivittää sijaintinsa. Kun havaintorekisteri vanhennee, kohteen tiedot poistetaan havaintotietokannasta automaattisesti, ettei tietokantoihin jäisi roskaa. Esimerkiksi jos kohde lakkaa olemasta, se poistetaan paikannuspalvelimiltä.

Havaintorekisteri on tallennettu muuttuvaan keskusmuistiin. Teos [26] esittää tähän kaksisisyitä:

1. Kohteen sijaintitiedon päivitysten oletetaan tapahtuvan hyvin tiheään, jolloin tämän päivityksentulee ollamahdollisimman tehokas ja nopea.
2. Virhetilanteen varalle sijaintitiedon kopiointia ei tarvitse suorittaa ylemmillä hierarkiatasoilla, koska virheen sattuessa palautettu sijaintitieto olisi mitä ilmeisemmin vanhentunut. Sen sijaan kohteen sijaintitiedon päivitysviestin avulla saadaan palautettua kohteen informaatiomuuttuvaan keskusmuistiin.

Vierailijatietokantaa päivitetään vain, kun uusi kohte rekisteröidään, poistetaan rekisteristä tai luovutetaan toiselle paikannuspalvelimelle. Tämä tarkoittaa sitä, että edelleenviittausten ketju säilyy virhetilanteista. Virhetilanteen jälkeen rekisteröintitiedot mahdollistavat myös paikannuspalvelimen suorittavan kyselyn kohteen sijainnista, jolloin kohteen tiedot saadaan päivitettyä palvelimen rekistereihin.

#### 4.4 PAIKKATIETOKYSELYTJATAPAHTUMAT

Paikkatietosovelluksen tarjoamia palveluita päätelaitteelta käytetään *käyttöliittymän (Interface)* välityksellä. Monet nykyiset paikkatietosovellukset kuten autonavigointi ovat kiinnostuneita ainoastaan käyttäjän omasta sijainnista. Tällöin myös käyttäjän sijaintimuodostetaan paikallisella paikannusmenetelmällä. Kuitenkin monimutkaisempien sovellusten pitää pystyä paikantamaan montakohdetta yhtä aikaa.

Yleispätevän paikkatietosovelluksen käyttöliittymän tulee tukea kahta peruskyselyä: *kohteen sijainti-kysely (Location-of-object Query)* ja *alueenkohteet -kysely (Objects-at-location Query)*. Kohteen sijainti-kyselyn avulla haetaan tietyn kohteen sijaintitieto esimerkiksi koordinaatteina. Alueenkohteet-kysely palauttaa kaikki kohteet, jotka ovat tietyllä alueella sillä hetkellä. Muut monimutkaisemmat kyselyt voidaan muodostaa näiden kahden peruskyselyn pohjalta [27]. Koska paikkatietosovelluksen tulee mukautua ympäristön nopeisiin muutoksiin, käyttöliittymän tulee tarjota mahdollisuus kirjata jävastaanotta ympäristönmuutosinformaatiota.



Seuraavassa on lueteltu käyttöliittymän peruskyselyt ja tapahtumat [24]. Esimerkissä *hakukriteerin (ObjectSelector)* avulla rajataan haun tuottamaa tulosjoukkoa antamalla haetuille kohteille tiettyjä hakuehtoja tai attribuutteja. Jokaiselle kyselylle määritetään myös haluttu *paikannustarkkuus (Accuracy)*. Tuetut kyselyt ovat [24]:

- Kohteensijainti: *kohteentunniste+paikannustarkkuus → havainto*.
- Alueenkohteet: *alue+hakukriteeri+paikannustarkkuus → havaintolista*.
- Lähin kohde: *sijainti + hakukriteeri + paikannustarkkuus → kohteen tunniste + havainto*.

*Kohteen sijainti (Location-of-object)* -kysely palauttaa kohteen nykyisen sijainnin kohteen tunnisteeseen ja paikannustarkkuuden perusteella. Suoritetun kyselyn tulos palautetaan havaintorekisterin muodossa [24]. Esimerkiksi seuraantajärjestelmässä ajoneuvon sijainti voitaisiin hakea rekisterinumeron (tunniste) ja halutun paikannustarkkuuden perusteella. Vastauksena voisi olla kaupunginosan nimi ja kohteen osoitus kartalta. *Alueenkohteet (Objects-at-location)* -kysely palauttaa listan alueella olevista kohteista, jotka täyttävät hakukriteerit. Jos alueella ei ole yhtään hakuehtoa täyttävää kohdetta, kysely palauttaa tyhjän listan. Esimerkkinä kyselyn käytöstä voisi olla tilanne, jossa asiakas hakee kaikki hakukriteerit täyttävät henkilöt kaupungin keskustasta. Vastauksena asiakas saisi listan henkilöistä ja heidän sijaintinsa kartalta osoitettuna. *Lähin kohde (Nearest Object)* -kysely palauttaa asiakkaan omaa sijaintia lähinnä olevan kohteen, joka täyttää määritellyt hakukriteerit. Jos sopivaa kohdetta ei löydy, palauttaa kysely arvon *NULL*. Käytännön esimerkkinä voisi olla huoltoaseman etsiminen vieraassa kaupungissa. Kyselyn vastauksena olisi huoltoaseman tiedot ja yksityiskohtainen reittiopastus kohteeseen.

*Tapahtuman (Event)* avulla pystytään määrittelemään tilanne, jonka esiintyessä ryhdytään ennalta määriteltyihin toimenpiteisiin. Esimerkiksi vankien valvontajärjestelmässä vangin poistuessa kaupungin alueelta annetaan hälytys. Tapahtumat jaetaan kahteen *vaiheeseen (Phase)* [24]. Ensimmäisessä vaiheessa asiakas lähettää viestin palvelimelle, jossa kuvataan jokin tietty tapahtuma. Kuvatusta tapahtumasta muodostetaan *tapahtumantunniste (EventId)*. Toisenvaiheen suorittaa palvelimella oleva sovellus kun tapahtuman tunnisteeseen ehdot täyttävä tapahtuma

esiintyy. Tällöin palvelin lähettää vastauksen asiakkaalle joko yhden kerran tai aina kun tapahtuma esiintyy. Teoksen [24] määrittelemiät tapahtumia ovat:

- Astua sisään: I vaihe: *alue + hakukriteerit + paikannustarkkuus* → *tapahtumantunniste*. II vaihe: *tapahtumantunniste + kohteentunniste*.
- Poistuu: I vaihe: *alue + kohdevalitsin + paikannustarkkuus* → *tapahtumantunniste*. II vaihe: *tapahtumantunniste + kohteentunniste*.
- Tapaaminen: I vaihe: *kohteen tunniste + hakukriteerit + paikannustarkkuus* → *tapahtumantunniste*. II vaihe: *tapahtumantunniste + havainto*.
- Ryhmätapaaminen: I vaihe: *maski + hakukriteerit + paikannustarkkuus* → *tapahtumantunniste*. II vaihe: *tapahtumantunniste + havaintolista*.

*Astua sisään (Enters)* – tapahtumassa asiakas ilmoittaa palvelimelle tietyn alueen, kohteen attribuutit ja paikannustarkkuuden. Näistä muodostetaan tapahtumantunniste. Toisessa vaiheessa palvelin ilmoittaa asiakkaalle, kun asiakkaan määrittelemät ehdot täyttävä kohde tulee tietylle alueelle. Esimerkkinä voisi olla puutavara-ajoneuvojen kuormauksen hallintajärjestelmä, jossa tyhjän auton saapuminen kuormausalueelle antaisi ilmoituksen kuormaajalle. *Poistuu (Leaves)* – tapahtumassa asiakas ilmoittaa palvelimelle tietyt tapahtuman ehdot, joista muodostetaan tapahtumantunniste. Palvelin ilmoittaa asiakkaalle, kun ehdot täyttävä kohde poistuu asiakkaan määrittelemältä alueelta.

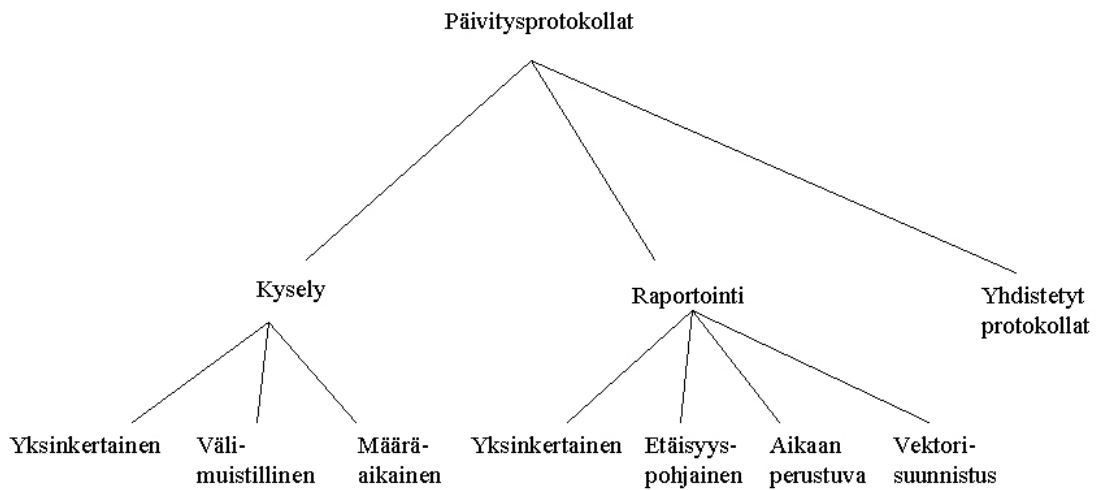
*Tapaaminen (Meeting)* – tapahtumassa asiakas lähettää palvelimelle tapahtumapyynnön, jossa määritellään kohteen tunniste, hakukriteerit ja paikannustarkkuus (alue). Palvelin ilmoittaa asiakkaalle, kun ehdot täyttävä kohde tulee tietylle alueelle. Esimerkiksi käyttäjän liikkua kaupungilla hän saisi ilmoituksen ystävästään, joka olisi samalla alueella. *Ryhmätapaaminen (Group Meeting)* – tapahtumassa asiakas määrittää tietyn alueen tai etäisyyden (maski) sekä kohteiden hakukriteerit. Jos joukko asiakkaan attribuutit täyttäviä kohteita tapaa joko tietyn alueen tai etäisyyden sisällä, ilmoittaa palvelin tapahtumasta asiakkaalle. Palvelimen lähettämässä vastauksessa ilmoitetaan aluejalista kohteista. Esimerkkinä voisi olla, että käyttäjä haluaa ilmoituksen ystäväistä, jotka ovat saapuneet samaiseen jääkiekko-otteluun hänen kanssaan.

## 4.5 PÄIVITYSPROTOKOLLAT

Paikkatietosovelluksen luonteesta johtuen kohteiden informaation päivitystarve on suuri. Tuhansien mobiilien kohteiden informaation yhtämittainen päivittäminen ei ole kuitenkaan mahdollista toteuttaa, koska päivitysviestien suuri lukumäärä ruuhkauttaisi palvelimen. Päivitysprotokollat tuovat ratkaisun tähän ongelmaan. Protokollien avulla informaatiota käsitellään tehokkaasti mahdollisimman pienellä päivityksen määrällä. Eri protokollien väliseen suorituskäytöseen kiinnittää huomiota valittava protokolla.

Päivitysprotokollat käsittelevät kohteen sijaintitiedon *toissijaista (Secondary)* kopiota. Tavoitteena on saada haluttu paikannustarkkuus toissijaisessa kopiassa. *Ensisijainen (Primary)* sijaintitieto muodostetaan kohteessa itsessään paikannusmenetelmän avulla tai se haetaan paikannuspalvelimelta. Komponenttia, joka käsittelee ensisijaista kopiota, kutsutaan nimellä *lähde (Source)*. Toissijaista kopiota säilytetään erityisellä paikannuspalvelimella. Sovellukset suorittavat esimerkiksi sijaintitiedon kyselysuorituksen paikannuspalvelimelle.

Päivitysprotokollat voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: kysely-, raportointi- ja yhdistetyt protokollat [27]. Jokaisella luokalla on sille tyypilliset piirteet ja luokka on sovelias tiettyihin vaatimuksiin tai ympäristöön. Jotkut raportointiprotokollat ovat samanlaisia kuin protokollat, joita käytetään *PCS (Personal Communication Service)* -verkoissa ja niitä on käsitelty esimerkiksi teoksessa [2]. Päivitysprotokollien tarkempi jaottelu on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva4.5:Päivitysprotokollienjaottelu[27].

#### 4.5.1 Kyselyprotokollat

Protokollaa kutsutaan nimellä *kyselyprotokolla*, jos palvelin päättää milloin sijaintitieto noudetaan lähteestä [27]. Tässä tapauksessa lähde voi olla hyvin yksinkertainen, koska sen ei tarvitse tallentaa ylimääräistä informaatiota kuten esimerkiksi tilaansa. Yksinkertaisuus on suuri etu etenkin pienille mobiilipäätteille, kuten matkapuhelimille. Yksinkertainen ja välimuistillinen protokolla välittävät sijaintitiedon vain sovelluksen vaatimuksesta (*On-demand*). Jos sijaintitietoa kysellään harvoin, nämä protokollat ovat tehokkaampia kuin raportointiprotokollat (katso luku 4.5.2), koska turhat tiedonsiirtämiset vältetään.

*Yksinkertaisessa protokollassa* palvelinkysyysijaintitiedon lähde talletetaan jokakertaerikseen. Tällöin toissijaista kopiota ei tarvitse tallentaa. Menetelmä takaa parhaan mahdollisen paikannustarkkuuden, mutta aiheuttaa toisaalta suurien viestien lukumäärän, jos lähteen sijainti kysytään tiheään [27]. Palvelimen vastausaika on verrattain suuri, koska palvelimen pitää ottaa yhteys lähteeseen joka kerta. Tätä protokollaa joudutaan käyttämään turvallisuusnäkökohtien nojalla esimerkiksi, jos lähde ei anna tallentaa omassa sijaintitietoaan paikannuspalvelimelle. Tässä tapauksessa päätelaitteella suoritetaan käyttöoikeuksien tarkastus joka kerta, kun kysely

suoritetaan. Esimerkki päätelaitteella suoritettava sta käyttöoikeuksien hallinnasta löytyy teoksesta[37].

*Välimuistillinen protokolla* on yksinkertaisen protokollan optimointi. Protokollassa palvelin tallentaa välimuistiinsa kopion viimeksi välitetystä sijaintitiedosta. Kun sovellus kysyy kohteen sijaintia, arvioi protokolla palvelimella olevan sijaintitiedon kopion tarkkuuden. Jos tarkkuus on kyselyn suorittaneelle sovellukselle riittävä, välitetään sijaintitieto sellaisenaan. Muuten palvelimen pitää lähettää kysely lähteeseen aivan kuten yksinkertaisessa protokollassa. Pessimistinen välimuistillinen protokolla käyttää etäisyyttä, jonka kohde on voinut liikkua maksiminopeudella päätöksenteon pohjana. Jos kohteen maksiminopeus on paljon suurempi kuin keskinopeus, välimuistiin tallennettu kopiota käsitellään vanhentuneeksi useamminkin on tarpeellista. Optimistinen välimuistillinen protokolla käyttää kohteen keskinopeutta maksiminopeuden sijaan päätöksenteon pohjana. Kuitenkin tätäkin protokollaa käytettäessä kohteen sijaintitieto voi pahimmassa tapauksessa poiketa halutusta paikannustarkkuudesta. Palvelimen vastausaika vaihtelee riippuen siitä, voiko palvelin käyttää kopiota välimuistista vai joutuuko palvelin suorittamaan kyselyn lähteeseen[ 27].

*Määräaikaisessa- tai jaksollisessa protokollassa* palvelin suorittaa sijaintitiedon kyselyn lähteeseen tietyllä aikaintervallilla  $T$  [27]. Protokollan tehokkuus ja tarkkuus riippuvat siitä, miten usein kysely lähteeseen suoritetaan. Protokolla on käänteinen versio aikaperusteista raportointiprotokollasta, jota käsitellään seuraavassa luvussa.

#### 4.5.2 Raportointiprotokollat

*Raportointiprotokollissa* aloitteentekevä osapuoli on lähde eikä palvelin. Lähdemuista viimeksi välitetyn informaation ja näin ollen tietää palvelimelle tallennetun sijaintitietonsa. Sijaintitiedon päivitysviesti lähetetään palvelimelle, kun lähteen sijainti muuttuu yli tietyn *aika-* tai *etäisyyskynnyksen*. Palvelin päättelee sijaintitiedon epätarkkuuden juuri kynnyksen perusteella. Modifioimattomassa raportointiprotokollassa palvelin välittää aina palvelimelta olevan sijaintitiedon kopionsuoraan sovellukselle. Tällöin sijaintitiedon tarkkuus määräytyy kynnyksen

perusteella, vaikka sovellus haluaisikin tarkempaa sijainti-informaatiota. Etuna on palvelimen lyhyt vasteaika, koska palvelimen ei tarvitse ottaa yhteyttä lähteeseen. Raportointiprotokolla on yleensä tehokkaampi ja tarkempi kuin kyselyprotokolla, jos sijaintitietoa joudutaan kyselymään usein [27].

*Yksinkertaisessa raportointiprotokollassa* lähde lähettää sijainnin päivitysviestin palvelimelle aina, kun se huomaa sijaintinsa muuttuneen. Tässä tapauksessa viestien lukumäärä on riippuvainen lähteen paikannusmenetelmän tarkkuudesta ja lukumäärä voi nousta hyvinkin korkeaksi [27]. Riippuen lähteen paikannusmenetelmästä, yksinkertainen raportointiprotokolla kuuluu joko aikaanperustuvaan-taiteäisyyspohjaiseen protokollaan.

*Aikaan perustuvassa protokollassa* lähde lähettää päivitysviestiä määräajoin, kun jokin aikaintervalli  $T$  on kulunut edellisen viestin lähettämisestä [27]. Viestien lähetysaikaaväli on kiinteä, joka ei ota huomioon lähteen käyttäytymistä. Jos lähde liikkuu hitaasti tai ei liikkuo ollenkaan, päivitysviestien sisällössä ei ole juuri eroa ja niitä lähetetään turhaan. Jos taas lähde liikkuu nopeasti, päivitysviestien lähetysnopeus ei pysty takaamaan tarpeeksi suurta paikannustarkkuutta.

*Etäisyyspohjaisessa protokollassa* lähde lähettää sijaintinsa päivitysviestin palvelimelle, kun tietty maantieteellinen etäisyys lähteen ja viimeksi raportoidun sijainnin välillä täyttyy [27]. Maantieteellinen etäisyys on ennalta määritelty etäisyyskynnys  $D$ . Protokolla lähettää enemmän viestejä kohteen liikkua nopeasti ja vähemmän viestejä kohteen liikkua hitaammin tai ollessa paikallaan. Protokolla onkin käyttökelpoinen tapauksissa, joissa lähde liikkuu sattumanvaraisesti. On myös mahdollista yhdistää etäisyyspohjaisen- ja aikaan perustuvan protokollan ominaisuudet, jolloin protokollatoiminta ympäristöä saadaan laajempi.

*Vektorisuunnistusprotokolla (Dead-reckoning Protocol)* on optimointi etäisyyspohjaisesta protokollasta. Protokollassa palvelin arvioi lähteen nykyisen sijainnin perustuen arvioon edellisestä sijainnista, nopeuteen ja liikesuuntaan tai ennakkoinformaation lähteen reitistä [25]. Myös lähteen arvio omaa sijaintiaan ja lähettää palvelimelle päivitysviestin, jos lähteen todellinen sijainti poikkeaa yli määrätyn kynnyksen. Vektorisuunnistusprotokolla toimii erittäin hyvin, jos

kohte liikkuu vakionopeudella annettuun suuntaan tai jos kohteen reitti tunnetaan ennalta. Jälkimmäisen tapauksen ollessa kyseessä teoksen [43] mukaan, viestien lukumäärä voidaan tiputtaa 85% vähemmäksi verrattuna raportoiviin protokollisiin. Vektorisuunnistusprotokollien versioita on vertailtu esimerkiksi siteoksessa [25].

#### 4.5.3 Yhdistetyt protokollat

Puhtaat kyselyprotokollat eivät ota huomioon paikannettavan kohteen ominaisuuksia. Raportointiprotokollat eivät taas mukaudu erilaisten sovellusten paikannustarkkuuden muutoksiin. Tämän vuoksi *yhdistetyssä protokollassa* yhdistävät etäisyyspohjainen raportointiprotokolla ja välimuistillinen kyselyprotokolla [27]. Kuten etäisyyspohjaisessa menetelmässä, päivittää lähdesijaintiaan palvelimelle tietyn maantieteellisen etäisyyskynnyksen mukaisesti. Jos palvelimella oleva sijaintitiedon kopio ei ole jollekin sovellukselle tarpeeksi tarkka, suorittaapa palvelin lähteeseen kyselysijaintitiedostakyselyprotokollan mukaisesti.

Palvelimen ja lähteen viestien lukumäärän minimoimiseksi pitää päättää, missä tapauksissa päivitetään palvelimen sijaintitiedon kopiota. Päätettävä on myös, millä etäisyyskynnysellä lähde päivittää sijaintiaan palvelimelle. Päätöksiin vaikuttavat lähteen ominaisuudet sekä sovellusten vaatima paikannustarkkuus. Jos lähde vaalivoi ominaisuuksiaan ja palvelin viestien välitystä, ne voivat mukauttaa protokollaa tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi etäisyyskynnystä voidaan lisätä/vähentää tai palvelimen sijaintitiedon kopion päivittäminen voidaan aloittaa/lopettaa dynaamisesti. Yhdistetyn protokollan ollessa kyseessä, palvelimen vasteaika riippuu siitä voidaanko palvelimella oleva sijaintitiedon kopio välittää suoraan sovelluksella vai joudutaanko tietokysymään lähteestä [27].

#### 4.5.4 Protokollien käyttäytyminen yhteydenkatketessa

Ongelma, joka esiintyy hyvin usein mobiileissa päätelaitteissa ja langattomissa verkoissa, on yhteyden väliaikainen katkeaminen. Protokolla, joka on tarkoitettu välittämään sijaintinformaatiota langattoman yhteyden välityksellä päätelaitteelta palvelimelle, tulee pysyä

selviytymään tällaisista tilanteista. Seuraavassa käsitellään protokollien perusominaisuuksia ja niiden käytöstä yhteyden katketessa [27]. Ominaisuuksia ovat kuinka kauan ajallisesti protokollalla menee yhteyden katkeamisen havaitsemiseen ja lähettääkö protokolla väärää sijaintitieto yhteydenkatkeamisesta johtuena aikana. Jos palvelimen pitää havaita yhteyden katkeaminen se voi palauttaa virheviestin tai viimeksi tallennetun sijaintitiedon sovellukselle. Tarpeen vaatiessa protokoliin tehdään muutoksia, jotta ne selviytyisivät paremmin yhteyden katkeamisesta.

Kyselyprotokollassa yhteyden katkeaminen havaitaan, kun sovellus suorittaa palvelimelle kyselyn ja palvelin suorittaa kyselyn lähteeseen. Välimuistillisessa protokollassa katkeaminen havaitaan silloin, kun palvelimella oleva sijaintitiedon kopio on vanhentunut. Tämän vuoksi palvelin ei palauta missään tapauksessa sovellukselle epätarkempaa sijainti-informaatiota kuin tavallisesti yhteydenkatkeamisen johdosta.

Aikaanperustuvassa raportointiprotokollassa yhteyden katkeaminen havaitaan, kun palvelimelle ei saavu aikaintervallin täytyessä uutta päivitysviestiä. Myöskin tässä tapauksessa palvelin yhteyden katkeaminen havaitaan välittömästi ja epäilee sijaintitietoa ei välitetä sovelluksille [27].

Etäisyyspohjaisen protokollan perusversiossa palvelin ei pysty havaitsemaan yhteyden katkeamista. Sen sijaan se olettaa, että kohde pysyy paikallaan tai se ei ole liikkunut etäisyyskynnyksen ulkopuolelle. Tällöin palvelin palauttaa sovellukselle sijaintitiedon siinä luulossa, että se on ajantasalla oleva. Yhteyden katkeamisen havaitsemiseksi etäisyyspohjainen protokolla pitää yhdistää aikaan perustuvan protokollan kanssa siten, että lähteen tulee lähettää sijaintinsa päivitysviesti ainakin jokaisella aikaintervallilla  $T_{max}$  [27]. Sopiva arvo  $T_{max}$ -aikaintervallille on kompromissi päivitysviestien lukumäärän ja suurimman sijaintitiedon epätarkkuudenvälillä.

Vektorisuunnistusprotokollassa on sama ongelma yhteyden katkeamisen havaitsemiseksi kuin etäisyyspohjaisessa protokollassa, samoin ratkaisunsa voidaan käyttää aikaan perustuvaa protokollaa. Teoksessa [43] ehdotetaan toista ratkaisua yhteyden katkeamisen havaitsemiseksi:



etäisyyskynnystä  $D$  pienennetään jatkuvasti, kunnes lähde on pakotettu lähettämään sijaintinsa päivitysviestin tai etäisyyskynnys on tullut niin pieneksi, että yhteyden katkeamisen voidaan olettaa tapahtuneen.

Yhdistetyt protokollat reagoivat yhteyden katkeamiseen riippuen siitä, miten tarkka kopio sijaintitiedosta tallennetaan palvelimelle. Yhteyden katkeaminen havaitaan silloin, kun palvelimentäytyysuorittakyselylähteeseen. Protokollanmuunnoksesta riippuen, protokollat voivat myös käyttää kuten etäisyyspohjainen protokolla ja palauttaa epätarkkaa sijaintitietoa. Tällöin tulee ottaa käyttöön aikaintervalli  $T_{max}$  päivitysviestinvälisen ajan tarkkailemiseksi.

Taulukossa 4.1 on koottu päivitysprotokollien ominaisuuksia [27]. Taulukko osoittaa vaikuttaako protokollan viestien lähetystiheyden lähteen ominaisuuksien vai voiko sovellus vaikuttaa viestien lähetystiheyteen. Se myös ilmaisee, pystyykö protokolla takaamaan tietyn tiedon tarkkuuden ylärajan ja voiko sovellus vaikuttaa paikannustarkkuuteen. Viimeisessä sarakkeessa on esitetty selviämisen yhteyden katkeamisesta.

Taulukko 4.1: Yhteenvedetty päivitysprotokollien ominaisuuksista [27].

	<b>Viestien tiheys lähteen määriteltävissä.</b>	<b>Viestien tiheys sovelluksen määriteltävissä.</b>	<b>Yläraja tiedon tarkkuuden epävarmuudelle.</b>	<b>Sovellus mahdollisuus vaikuttaa paikannustarkkuuteen.</b>	<b>Selvitys yhteyden katkeamisesta.</b>
Kysely: -yksinkertainen -välimuistillinen -määräaikainen		× ×	(×) (×)	× ×	× × ×
Raportoivat: -yksinkertainen -aikaanperustuva -etäisyyspohjainen -vektorisuunnistus	× ×		(×) × ×		(×) ×
Yhdistetyt protokollat	×	×	×	×	(×)

## 4.6 MOBILITIEDONSIIRTO

Tiedonsiirto päätelaitteen ja palvelimen välillä voidaan suorittaa tällä hetkellä kolmella eri verkkotekniikalla [15]. *Langattomat paikallisverkot* (*Wireless Local Area Network, WLAN*) ovat organisaatioiden sisäisiä paikallisverkkoja täydentäviä tiedonsiirtoverkkoja. *Matkaviestin-* eli *GSM-verkot* ovat julkisia palveluverkkoja, jotka verkkojen kehityksen myötä uskotaan muodostavan pääasiallisen mobiilidata liikenteen siirtotien. Kolmantena vaihtoehtona ovat *satelliittiverkot*, jotka perustuvat joko geosynkronisella radalla (GEO) tai matalalla kiertoradalla (LEO) oleviin satelliittitukiasemiin [1,13].

Kehityksen alla on myös radiojärjestelmään perustuvia tiedonsiirtojärjestelmiä kuten *HALE* (*High Altitude, Long-endurance*), jossa noin 25 kilometrin korkeuteen ”ankkuroiduilla” ilmalaivoilla katetaan esimerkiksi suurkaupunkialue [32]. Ongelma radiojärjestelmissä kuitenkin on. Moniheijastus sekä erilaisten esteiden aiheuttamat taipumat radioaaltoissa on huomioitava tiedonsiirtojärjestelmää suunniteltaessa. Koska radiotaajuuksien määrä on rajoittunut, eräs mahdollisuus tehokkaaseen taajuusresurssien käyttöön on *soluverkkotekniikka* [15]. Soluverkkotekniikan ideana on jakaa maantieteelliset alueet solukoiksi. Jokaiselle solukolle jaetaan riittävä määrä radiotaajuuksia tiedonsiirto käyttöön. Samoja taajuuksia voidaan käyttää useammassa solukoissa, jotka sijaitsevat tarpeeksi kaukanatoisistaan.

### 4.6.1 WLAN

Langattomia paikallisverkkoja (WLAN) käytetään silloin, kun kaapeloinnin toteuttaminen on kallista ja hankalaa tai verkkorakenteen muutokset ovat toistuvia. Myös perinteisiä lähiverkkoja laajennetaan langattomilla ratkaisuilla. Yhteiskäyttöisessä verkossa tiedonsiirtoon käytettävät taajuudet *kanavoidaan* käyttäjien kesken, jotta useampi käyttäjä samalla alueella voi käyttää verkon palveluja samanaikaisesti. Langattomat lähiverkkoratkaisut perustuvat kolmeen erilaiseen toteutustekniikkaan, jotka ovat kapeakaistainen radiojärjestelmä, laajakaistainen radiojärjestelmä ja infrapunajärjestelmä [15].

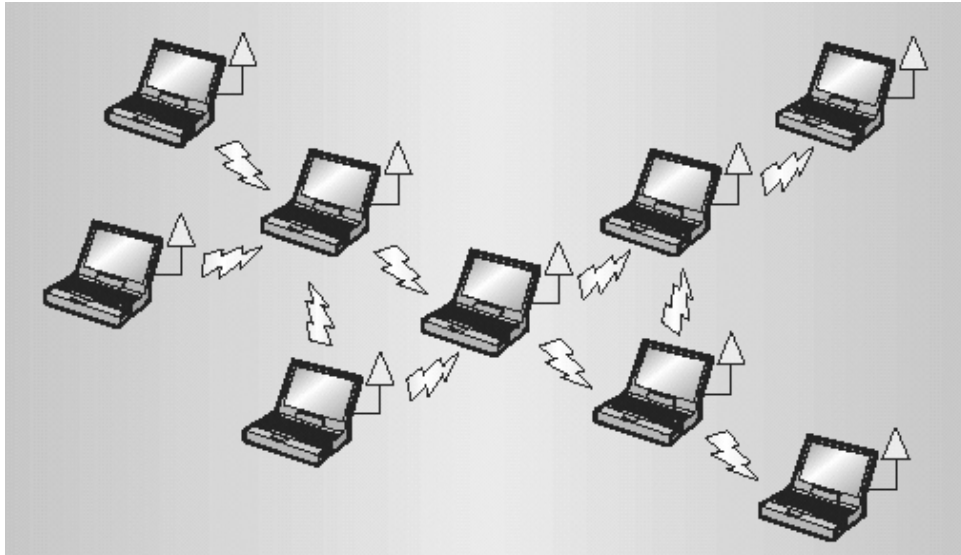
*Kapeakaistaisessa radiojärjestelmässä* lähettimille ja vastaanottimille on määrätty tietty taajuusalue, jolla ne toimivat. Kanavointi voidaan suorittaa joko taajuusjakokanavoinnin (Frequency Division Multiple Access, FDMA) tai aikajakokanavoinnin (Time Division Multiple Access, TDMA) periaatteen mukaisesti. Kapeakaistaisista radiojärjestelmätekniikkaa käytetään lähiverkoissa harvoin, koska moniheijastuksen aiheuttama häiriö ja ylikuuluminen ovat vaikeita hallita [15]. *Ylikuuluminen* tarkoittaa kanavien välistä keskinäishäiriötä, jonka seurauksena tarkasteltavalla kanavalla kuuluu epätoivottavia viivertäyksiä.

*Laajakaistainen radiojärjestelmä* toimii koodijakokanavoinnin (Code Division Multiple Access, CDMA) periaatteella. Koodijakokanavoinnissa kaikki lähetykset koodataan ja lähetetään samalla laajalla taajuuskaistalla. Lähetetty signaali koodataan tietyllä avaimella ja signaalin avataan vastaavalla avaimella vastaanottimessa. Jokaisella lähettimellä on yksilöllinen koodi, joka sisällytetään vastaanottimelle lähetettyyn sanomaan. Muille vastaanottimille signaalitilmenevät taustakohinaa. Käyttäjien signaalit erotetaan toisistaan joko *aikajaksoisen taajuusvaihtelun* (Frequently Hopping Spread Spectrum, FHSS) tai *suorasekvenssijärjestelmän* (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) periaatteen mukaisesti [15].

*Infrapunajärjestelmät* toimivat näkyvän valon alueen alapuolella olevilla korkeilla taajuuksilla. Infrapunatekniikan rajoitteena on järjestelmän lyhyt kantomatka ja infrapunäteiden kykenemättömyys läpäistä fyysisiä esteitä [15]. Tekniikka on käyttökelpoinen esimerkiksi toimistossa muutaman työaseman välisen langattoman yhteyden muodostamiseksi. Infrapunajärjestelmät ovat joko suorita tai heijastavia, joista jälkimmäinen ei tarvitse suoraan näköyhteyttä toimiakseen. Etuna tekniikassa on lyhyillä yhteyksillä saavutettava tiedonsiirtonopeus, joka voi olla jopa 50 Mbit/s. Ulkotiloissa infrapunatekniikan käyttö on hankalaa, koska auringon aiheuttamansäteily sotkee järjestelmän toimintaa.

WLAN-verkon rakenne voi muodostua lähinnä kahden eri perusmallin pohjalta. Ensimmäinen malli on yksinkertainen *ad-hoc-verkko*, jossa yksittäiset päätelaitteet muodostavat väliaikaisesti paikallisen tiedonsiirtoverkon. Kuvassa 4.6 on tyypillinen *ad-hoc-verkko*, joka koostuu satunnaisesti joukosta mobiilipäätelaitteita, jotka kommunikoivat keskenään. Ympäristössä ei ole tukiasemaa, joten kommunikaatio tapahtuu langattoman linkin välityksellä. Jokainen päätelaite

toimii reitittimenä ja lähetetty viesti joutuu kulkemaan useamman päätelaitteen kautta saavuttaakseen lopullisen vastaanottajan[41].



Kuva4.6: Yksittäisistä päätelaitteista muodostuva ad-hoc-verkko[41].

Infrastruktuuriperustaisten lähiverkkojen rakenne on puolestaan yhdenmukainen matkaviestinverkkojen kanssa. Lähiverkon tukiasemana (*Access Point*) toimii lähetin ja vastaanotin pari, joka on liitetty kiinteään paikalliseen verkkoon ja toimii liikenteen välittäjänä langattoman ja langallisen paikallisverkon välillä. Yksittäinen tukiasema tukee pientä käyttäjäryhmää ja tukiaseman kattavuusalue on maksimissaan noin sata metriä [15]. Käyttäjän siirtyessä paikasta toiseen päätelaitte vaihtaa (*Handover*) yhteyden siihen tukiasemaan, jonka signaali on voimakkain. Tukiaseman vaihto voi tapahtua yhteyden muodostamisen aikana tai yhteyden olleessa auki. Liikennöinti nopeudet verkossa ovat normaalisti 1-2 Mbit/s luokkaa, muttapa haimmillaan päästään yli 10 Mbit/s tiedon siirtonopeuksiin [15].

## 4.6.2 GSM-verkot

GSM-verkko toimii jo nykyisellään paikkatietosovellusten tiedonsiirtotienä ja kehittyessään kolmannen (3G) ja neljännen (4G) sukupolven älyverkkoihin matkapuhelinverkon odotetaan kasvavan sovellusten pääasiallisesti tiedonsiirtokanavaksi. *Mobiiliasema (Mobile Station)* koostuu varsinaisesta päätelaitteesta sekä tilaajan tiedot sisältävästä *SIM (Subscriber Identity Module)* -älykortista, jotka ovat toisistaan erillisiä. SIM-kortti sisältää päätelaitteeseen kiinnitettyjen palveluiden numerot, palvelulistat, verkkolistat ja tietosuojaan liittyvää tietoa. Tietosujoaosaan kuuluvat salausavaimet ja algoritmit, joiden avulla liikennöinnin tietosuoja radiotiellä voidaan taata kohtuullisella luotettavuudella [15]. GSM:n radiotientoiminta perustuu aikajakokanavointiin, jossa samaa fyysistä taajuutta jaetaan aikajaksoissa eri päätelaitteiden kesken.

GSM-verkossa on mahdollista suorittaa tiedonsiirtoa. *BCIE (Bearer Capability Information Element)* valvoo kanavissa siirrettävää informaatiota ja se muuttaa jokaisen liikennekanavan mihinaikaantahansatiedonsiirtokanavaksi. Siirtonopeudet BCIE:n avulla ovat maksimissaan 9,6 kbit/s. GSM:n ongelmana pitkä kytkentäaika, tyypillisesti noin parin kymmenen sekunnin luokkaa [15]. Myöskin teleoperaattorit suosivat puheliikennettä tietoliikenteen kustannuksella. Etenkin tukiaseman vaihtotilanteessa tiedonsiirtokanava on herkempi yhteyden katkeamiselle kuin puhekanava.

GSM-verkon käyttämä tekstiviestipohjainen (*Short Message Service, SMS*) järjestelmä on liian hidas monille sovelluksille. Tekstiviestin pituus on rajoitettu jäsensallivaintietyn määrän tietoa siirrettäväksi osapuolelta toiselle. Järjestelmää voidaan käyttää yksinkertaisen tiedon siirtoon. Esimerkiksi matkapuhelin valmistaja Benefon [3] käyttää *MPTP (Mobile Phone Telematics Protocol)* -protokollaa. MPTP on SMS-pohjainen tiedonsiirtotapa, jonka avulla voidaan lähettää sijainti, seuranta ja reittitietojä tekstiviestinä palvelimen ja päätelaitteiden välillä.

Perinteisen GSM-tiedonsiirtotekniikan laajennus on *GPRS-tekniikka (General Packet Radio Service)*, joka mahdollistaa pakettikytkentäisen tiedonsiirron. Palvelun tarkoituksena on tarjota yhteystavallisiin tietoverkkopalveluihin, kuten TCP/IP:hen, kun taas GSM-verkko on tarkoitettu

nimenomaan puheensiirron yhteyksille. Käyttäjän kannalta GPRS:n etuna GSM-verkon tiedonsiirtoon on yksiselitteinen hinnoittelu. GSM-tiedonsiirtopuhelussa hinnoittelu tapahtuu ajanperusteella, esimerkiksi suuresti kuormitetussa verkossa tiedonsiirto on kalliimpaa, kun taas GPRS:n laskutusperuste on välitetty tietomäärä [4]. Teknisenä edistysenä perinteiseen GSM-tiedonsiirtoon nähden GPRS varaa resursseja ainoastaan lähettääkseen tai vastaanottaakseen tietoa. Teoriassa GPRS-tekniikan avulla voidaan saavuttaa 170 kbit/s tiedonsiirtonopeus, mutta kun virheenkorjaus otetaan huomioon, jää siirtonopeudeksi 115 kbit/s. Koska yhden tukiaseman kaista jaetaan kaikkien alueella olevien GPRS-käyttäjien kesken, on keskimääräinen tiedonsiirtonopeus 20–30 kbit/s vaiheilla [15].

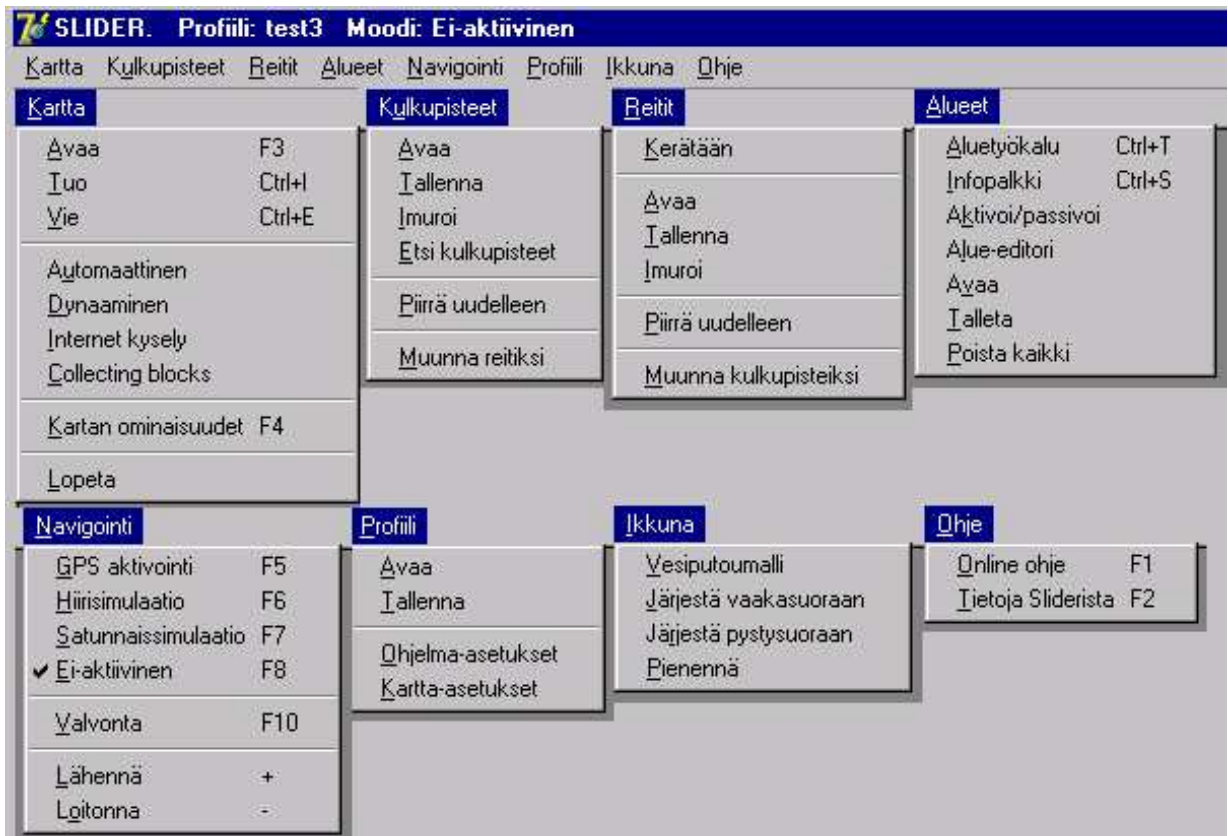
## 5 PAIKKATIETOSOVELLUKSEN ESIMERKKITAPAUSET: SLIDER

Paikkatietosovellus kehitettäessä tulee tehdä ratka isuja esimerkiksi käytettävän paikannusmenetelmän, paikkatiedon esitystavan ja tu ettujen kyselyiden osalta. Esittelen aikaisemmissaluvuissakäsiteltyjenseikkojen pohjalta Slider-paikkatietosovellusta. Olen jakanut esimerkkisovelluksen tarkastelun viiteen pääalueeseen: paikkatiedon muodostaminen, paikkatiedon esitystavat, valvontatila, sovelluksen tarjoamat palvelut, kyselytapahtumat sekä järjestelmäratkaisut. Arvioin sovellukseen toteutettujen ratkaisujen toimivuutta ja tuon esille ongelmakohtia. Ongelmakohtien yhteydessä tarkastele n mahdollisia kehitystoimenpiteitä ja ehdotan sovellukselle mahdollisia lisätoimintoja.

Esimerkkisovelluksena toimiva Slider-ohjelma on Joesuun yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen tutkimusprojektin yhteydessä kehitetty pa ikkatietosovelluksen prototyyppi. Dynamap-nimeä kantavan projektin tarkoituksena on tuottaa menetelmiä dynaamiseen kartanhallintaan mobiiliympäristössä [18]. Oma osuuteni projektissa on ollut ohjelmadokumentointi ja versioon 0.22 liittyvä sovelluskehitys. Dokumentointityönä olen tehnyt ohjelmaselostuksen ja ohjelman käyttöohjeen. Slider-ohjelman käyttötarkoitus on antaa menetelmiä henkilökohtaiseen navigointiin. Ohjelman avulla voidaan toteuttaa esimerkiksi riistan lentolaskentaa tai hotellien sijaintitiedot voidaan välittää käyttäjälle. Kyseisen versio ei ole valmis tai lopullinen sovellus vaan ohjelma toimii testialustana, jonka pohjalta on tarkoituksena tutkia ja kehittää paikkatietosovelluksia. Ohjelmassa saavutettavat tulokset voidaan käyttää hyväksi mahdollisessa kaupallisessa sovelluksessa.

Kuvassa 5.1 on ohjelman valikkorakenne. *Kartta*-valikkoon on koottu kaikki karttojen hallintaan liittyvät toimenpiteet kuten kartan avaaminen, uusien karttojen luominen, Internet-kysely ja automaattien ja dynaaminen tila (katso 5.4.2). Paikkatiedon esitystavat on ryhmitetty *kulkupisteet*-, *reitit*- ja *alueet*-valikoihin. Paikkatieto voidaan avata tiedostosta ja se voidaan tallentaa tiedostoon. Lisäksi kulkupisteet ja reitit voidaan siirtää GPS-laitteelta ohjelman käyttöön. Jokaisella esitystavalla on omia toimintoja ja esimerkiksi kulkupisteet voidaan muuttaa reitiksi ja reitit voidaan muuttaa kulkupisteiksi. *Navigointi*-valikko tarjoaa toiminnot

sijainninmäärittämiseksi, valvontatilan ja kartan zoomauksen. *Profiili*-valikon kautta muutetaan kartta- ja ohjelma-asetuksia, jotka voidaan avata tiedostosta tai tallentaa tiedostoon. *Ikkuna*-valikon avulla järjestetään karttaikkunoita ohjelmassa ja *ohje*-valikosta löytyy ohjelman käyttöohjesekä tiedot ohjelmantekijöistä javersiosta.



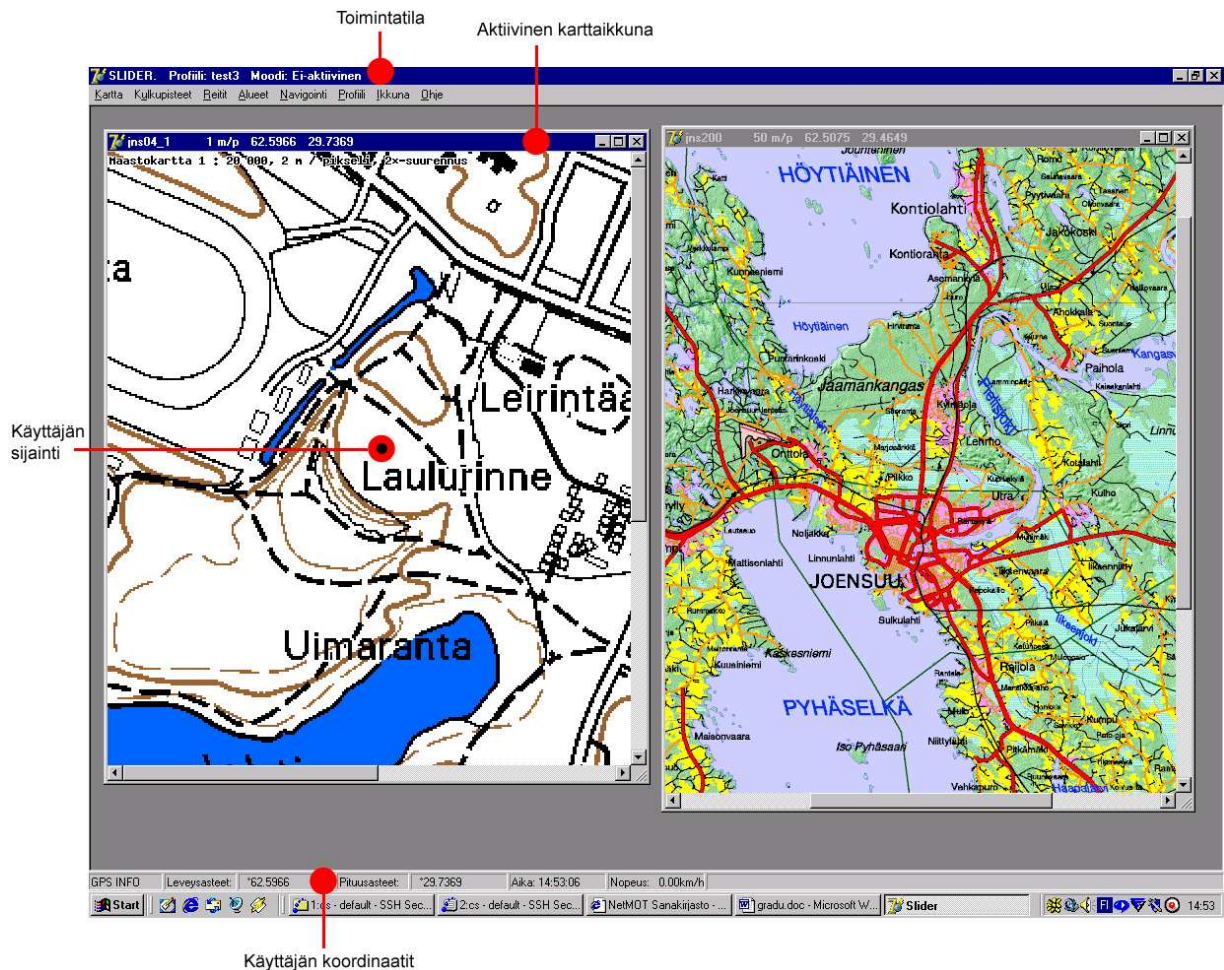
Kuva 5.1: Slider-ohjelman valikkorakenne ja valikoidens sisältämät toiminnot.

## 5.1 SIJAINNINMUODOSTAMINEN JA NAVIGOINTI

Slider-ohjelmassa *kartta* (Map) on olio, johon kuluu ubittikarttakuva, kartan sijaintikoordinaatit ja kartan mittakaava. Ohjelmassa käsiteltävät kartat esitetään *karttaikkunoina* (kuva 5.2). Jokaiseen karttaikkunaan liittyy omat tietorakenteet, joihin talletetaan karttaikkunan informaatio



(kulkupisteet, reitit, alueet). *Aktiivinen karttaikkuna* on ikkuna, johon käyttäjän suorittamat toimenpiteet kohdistuvat. Näkyvä tunnusmerkinä on karttaikkunan yläpalkin sininen väri.



Kuva 5.2: Ohjelman pääikkuna, jossa on navigoinnaksi aktiivinen karttaikkuna. Aktiivinen ikkuna on ”ins04\_1”.

Sliderissa navigoinnin avulla määritellään käytettävä *toimintatila*. Navigoinnilla tarkoitetaan kohteen sijaintia ja liikettä karttaikkunalla. Toimintatilan avulla tuotetaan *käyttäjän sijainti*. Käyttäjän sijaintimuodostetaan toimintatilan paikkatunnusmenetelmän avulla ja esitetään symbolilla karttaikkunassa sekä koordinaattiparin avulla. Ohjelmassa on neljä toimintatilaa: ei-aktiivinen, hiirisimulaatio, satunnaissimulaatio ja GPS-aktiivinen.

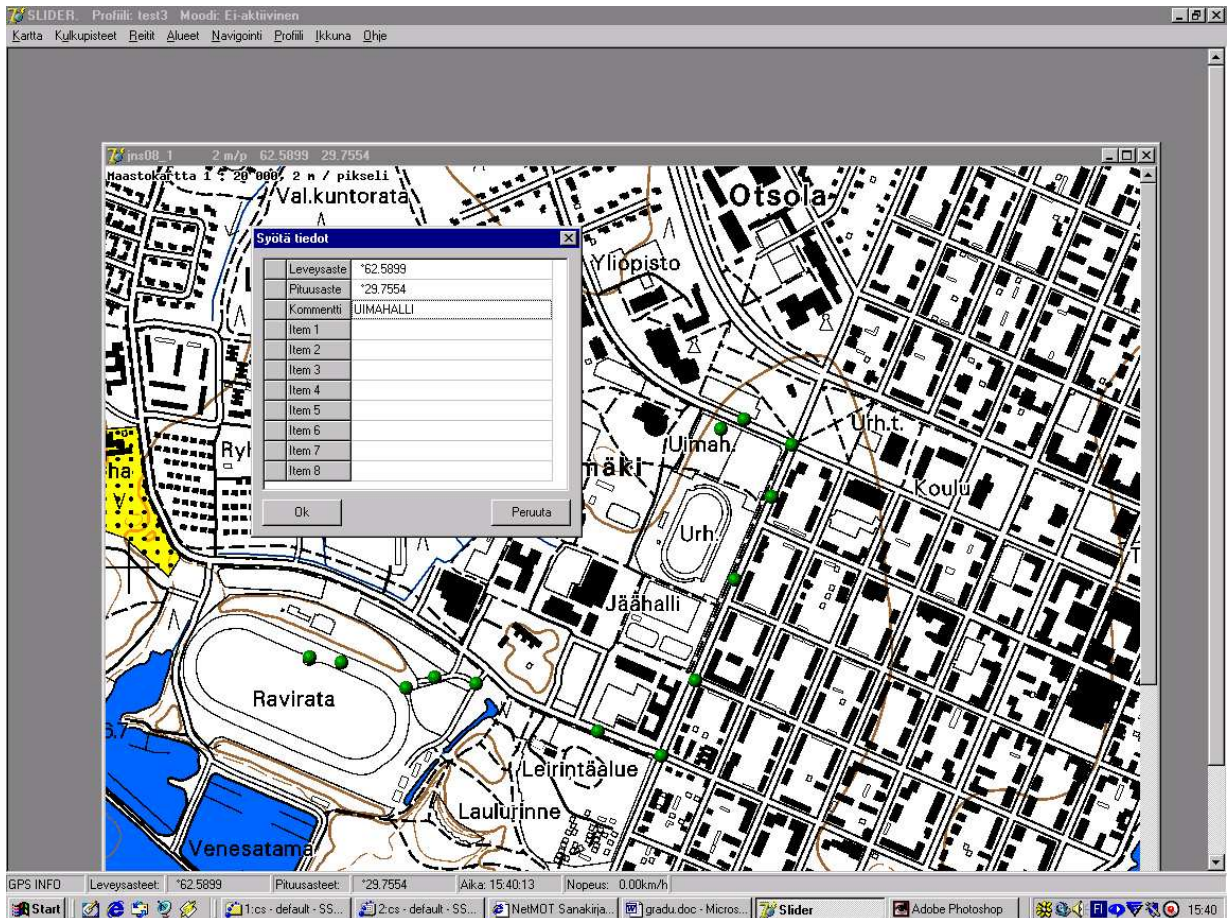
*Ei-aktiivinen (Inactive)* tila on ohjelman oletustila. Tällöin kartalla olevaa liikettä ja toimintaa ohjataan näppäimistöllä tai hiirellä. Tässä tilassa esimerkiksi käyttäjän sijainti muodostetaan painamalla hiirenvasentapainiketta karttaikkunassa. *Hiirisimulaation (Mouse Simulation)* avulla jäljitellään oikean kohteen liikettä kartalla. Kartalla oleva kohde seuraa hiiren osoitinta, toisin sanoen liikkuu osoittimen mukana, ja ohjelmaan saadaan reaaliaikaista navigointia. Käyttäjän sijainti muodostuu hiirisimulaation liikkeen mukaisesti. *Satunnaissimulaatio (Random Simulation)* jäljittelee automaattisesti liikettä kartalla. Kohdelle on määriteltävissä nopeus ja suunnan kohde saa satunnaislukugeneraattorilta. Suunnanvaihtelu on välillä 0 - 90 astetta. Käyttäjän nykyinen sijainti muodostuu satunnaissimulaation perusteella. *GPS-aktiivinen (GPS-Active)* -tilassa käyttäjän sijainti tulee GPS-laitteelta. Tällöin tarvittavat kohteen parametrit kuten nopeus ja suunta saadaan suoraan GPS-laitteelta. Tämä toimintatila ohjelmassa vastaasielämän käyttötarpeita toisin kuin edelliset tilat, jotka ovat tehty lähinnä sovelluksen kehitys-, testaus- ja esittelykäyttöön.

Ohjelmassa sijainnin muodostamiseksi on käytössä neljä eri tapaa, mikä on mielestäni aivan riittävä määrä. Erityisesti hiirisimulaatio ja satunnaissimulaatio ovat todella käyttökelpoisia välineitä, kun uusia toimintoja kehitetään ja testataan. Kehitystoimenpiteenä nykyisiin toimintatiloihin ehdottaisin satunnaissimulaation monipuolistamista. Tällä hetkellä satunnaissimulaatio määrää kohteen liikehdintä on määritelty staattisesti ohjelmakoodin sekaan. Kartan mittakaavasta johtuen kohteen staattinen liikehdintä kartalla voi olla epäluonnollista ja satunnaissimulaatiosta tulee käytökelvoton. Satunnaissimulaation attribuutteja kuten nopeus ja suunnanvaihteluväli voitaisiin muokata ohjelman valikon kautta. Ohjelman jatkokehitystoimenpiteenä sijainnin muodostamiseksi olisi hyvä toteuttaa verkkopaikannusmenetelmien hyödyntäminen. Tulevaisuudessa matkaviestinverkkojen kehityksen myötä ei ole lainkaan mahdotonta verkkopaikannusmenetelmien voivan tarjota satelliittipaikannukselle vaihtoehtoinen menetelmä. Verkkopaikannuksen toteuttaminen nykyiseen ohjelmaan olisi ylivoimainen haaste.

## 5.2 PAIKKATIEDONESITYSTAVAT

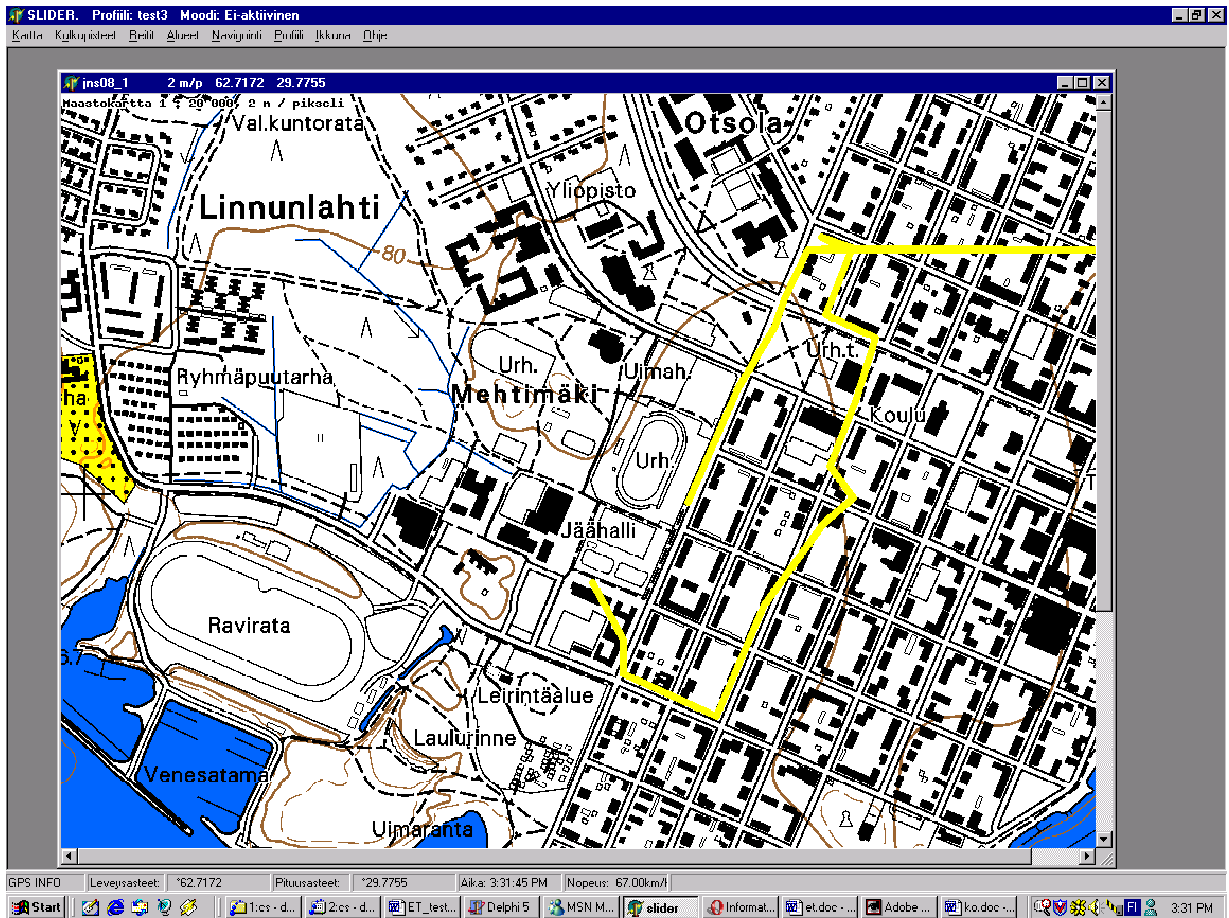
*Paikkatiedonesitystavat* on jaettu monimutkaisuuden perusteella kolmeen tasoon: *kulkupisteisiin (Waypoints)*, *reitteihin (Tracks)* ja *alueisiin (Areas)*. Yksinkertaisin esitystapa ovat kulkupisteet. Kulkupisteet ovat tietorakenteita, joihin voidaan liittää informaatiota. Jokaista karttaikkunaa vastaa oma kulkupisteiden tietorakenne. Kulkupisteiden sisältönä ovat kulkupisteen sijainti (koordinaattipari), kulkupisteen nimi (tunniste) sekä lukumäärä. Esimerkiksi riistan lentolaskennassa eläimen havaintopaikka asetetaan sijainniksi, eläimen rotu tunnisteeksi ja nähtyjen eläinten määrä lukumääräksi. Ohjelmassa kulkupisteet voidaan tallentaa tiedostoon ja avata tiedostosta. Kulkupisteitä voidaan lisätä ja poistaa manuaalisesti tai kerätä navigoinnin yhteydessä, jolloin uusi kulkupiste luodaan käyttäjän sijainnin perusteella. Kulkupisteet voidaan muuttaa etiksi ja reitit voidaan muuttaa kulkupisteiksi.

Kuvassa 5.3 on karttaikkuna, jossa on esitetty kohteen kulkema reitti kulkupisteiden avulla. Kohde on lähtenyt liikkeelle Joensuun raviradalta ja kulkenut Länsikatuapitkinainauimahallille asti. Kulkupisteen ”uimahalli” sisältöön avattu ohjelmannäytölle editoitavaksi.



Kuva 5.3: Karttaikkuna, jossa kohteen paikkatieto on esitetty kulkupisteinä. Kulkupisteiden "uimahalli" tiedot ovat avattuna näytölle editoitavaksi.

Toisena paikkatiedon esitystapana ohjelmassa ovat reitit. Reitit ovat koordinaattilistoja, jotka muodostavat kohteen kulkeman reitin ja mitään muuta informaatiota ei voida tallentaa. Reittien tietorakenne on karttaikkunakohtainen. Reitit voidaan muodostaa manuaalisesti tai ne voidaan piirtää navigoinnin yhteydessä käyttäjän kulkeman reitin mukaisesti. Kulkureittejä piirtäessä ohjelma käyttää koordinaattipareja tietyin välein reitin muodostukseen. Kyseinen piirtoväli on muutettavissa tarvekohtaisesti. Reitit voidaan tallentaa ja avata tiedostosta. Kuvassa 5.4 on esitetty kohteen kulkemareittikaupunginkeskustassa.

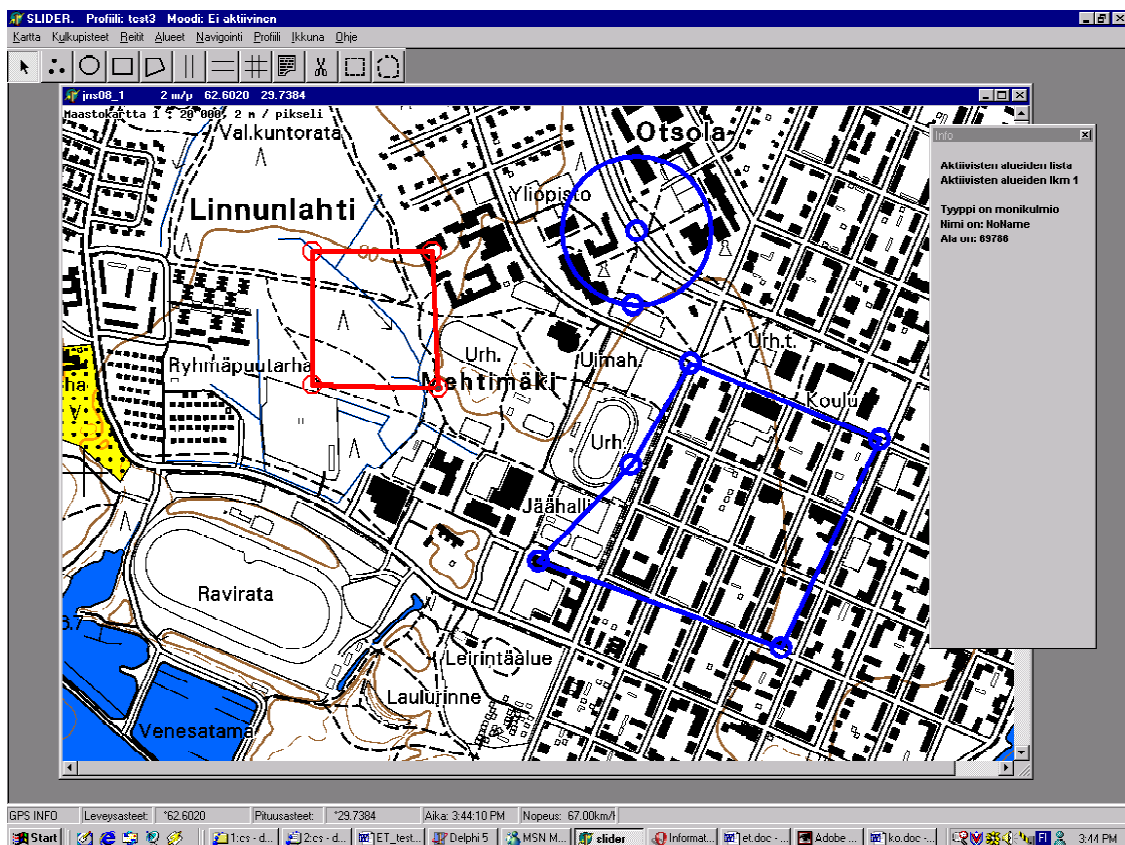


Kuva 5.4: Karttaikkuna, jossa on esitetty kohteen kulkemareitti kaupungin keskustassa.

Reittejä ja kulkupisteitä käsiteltäessä käytettävän päätelaitteen ominaisuudet vaikuttavat tarkkuuteen. Käyttämämme GPS-laite kerää reittejä ja tallentaa sijainnin kahden sekunnin välein, mutta piirtää reittiä vain minuutin aikavälissä. Tästä johtuen kuvassa 5.4 esitetyt reitit näyttävät suorilta ja näyttää, että käyttäjä on kulkenut rakennusten läpi. Syynä tähän on laitteen muistin rajallinen määrä. Kulkupisteitä muunnetaan reiteiksi olemme havainneet, että vähäisenkin kulkupisteiden määrä antaa hyvän arvion kuljetusta reitistä kaupunkialueen ulkopuolella, jos kohteen oletetaan liikkuneen tietä pitkin. Kaupunkialueella sitä vastoin reitin arviointi on hankalaa, koska joudutaan kulkemaan useasta risteyksestä ja kadut kulkevat lähekkäin. Tällöin kulkupisteitä tulee tallentaa jokaisessa käänöksessä.



Alueet määritellään koordinaattien avulla, niille voidaan suorittaa toimenpiteitä janiitä voidaan muokata. Jokainen alue on määritelty omana tietorakenteena. Ohjelmassa *aluetyökalut* toimivat piirtotyökaluina ja tiedon valitsemiseen karttaikkunasta. Valintatyökaluna voidaan esimerkiksi valita tietyt käyttäjät seurantaan karttaikkunalta. Muokkaustoimenpiteitä ovat alueen koon muuttaminen manuaalisesti tai alueen sijainnin muuttaminen kartalla (*drag - and - drop*). Alueesta saadaan *alueinformaatiota (Area Information)* esimerkiksi alueen koosta muodosta ja sijainnista. Aluetyökalun avulla pystytään rajaamaan kartalta alue ja valvomaantätä aluetta. Jos alueella tapahtuu liikettä, toisin sanoen jonkun käyttäjän koordinaatit sijoittuvat alueen sisälle, havaitsee ohjelma tämän. Alueet voivat olla muodoltaan ympyröitä, pystyruutuja, vaakaruutuja, neliöitä ja monikulmiota. Kuvassa 5.5 on esitetty karttaikkuna, johon aluetyökalun avulla rajattu kolme aluetta. Aktiivinen alue on neliömuodoltaan.



Kuva 5.5: Karttaikkuna, jossa on kolme aluetta. Neljän aktiivinen alue ja sen tiedot näytetään oikealla olevassa infopalkissa.

Ohjelmassa toteutetut paikkatiedon esitystavat ovat mielestäni riittävät. Kulkupisteiden staattinen esitystapa riittää esimerkiksi hotellien esittäminen kartalla. Ongelmia kuitenkin on: esimerkiksi yksittäisten kulkupisteiden välillä käyttäjä on voinut liikkua miten vain, eikä tätä pystytä esittämään kartalla kulkupisteiden avulla. Samalla kulkupisteiden avulla ei voida ilmaista niiden kulkujärjestystä. Aina ei voida olla varmoja, missä järjestyksestä käyttäjä on kulkenut kulkupisteiden kautta kartalla. Reittien avulla käyttäjän liikettä pystytään esittämään täsmällisemmin. Ohjelmassa reittien käyttö vaatii huomista etenkin käytettäessä hiirisimulaatiota. Reittien piirtämisen ollessa päällä valikoiden toimintoihin ei pääse käsiksi muilla kuin näppäinkomennoilla, koska reittien piirto seuraa koko ajan hiiren osoitinta. Periaatteessa reitit toimivat, mutta niiden toiminta on epä johdonmukaista ja joissakin tilanteissa. Esimerkiksi kahden erillisen reitin piirtäminen kartalle on mahdotonta. Uuden reitin piirtämisen lähtöpiste on vanhan reitin loppupiste. Myöskään reittien muokkauksi on mahdollista eikä niitä voida poistaa muuten kuin sulkemalla karttaikkuna.

Staattinen esitystapa ei riitä esimerkiksi seuranta sovelluksen käyttöön, jossa kohteen kulkusuunta, nopeus ja nykyinen sijainti on tiedettävä nykyisellä ajan hetkellä. Alueiden avulla voidaan kohdetta seurata dynaamisesti, esimerkiksi kohteen saapumista jollekin alueelle. Tosin ohjelman aluetyökalujen toiminta vaatii vielä suunnittelemissa, kehittämistä ja toiminta muiden ohjelman osien kanssa saatava saumattomaksi. Aluetyökalu on ohjelman tärkeimpiä välineitä kyselyiden ja tapahtumien toteuttamiseksi sekä käytettävyyden parantamiseksi.

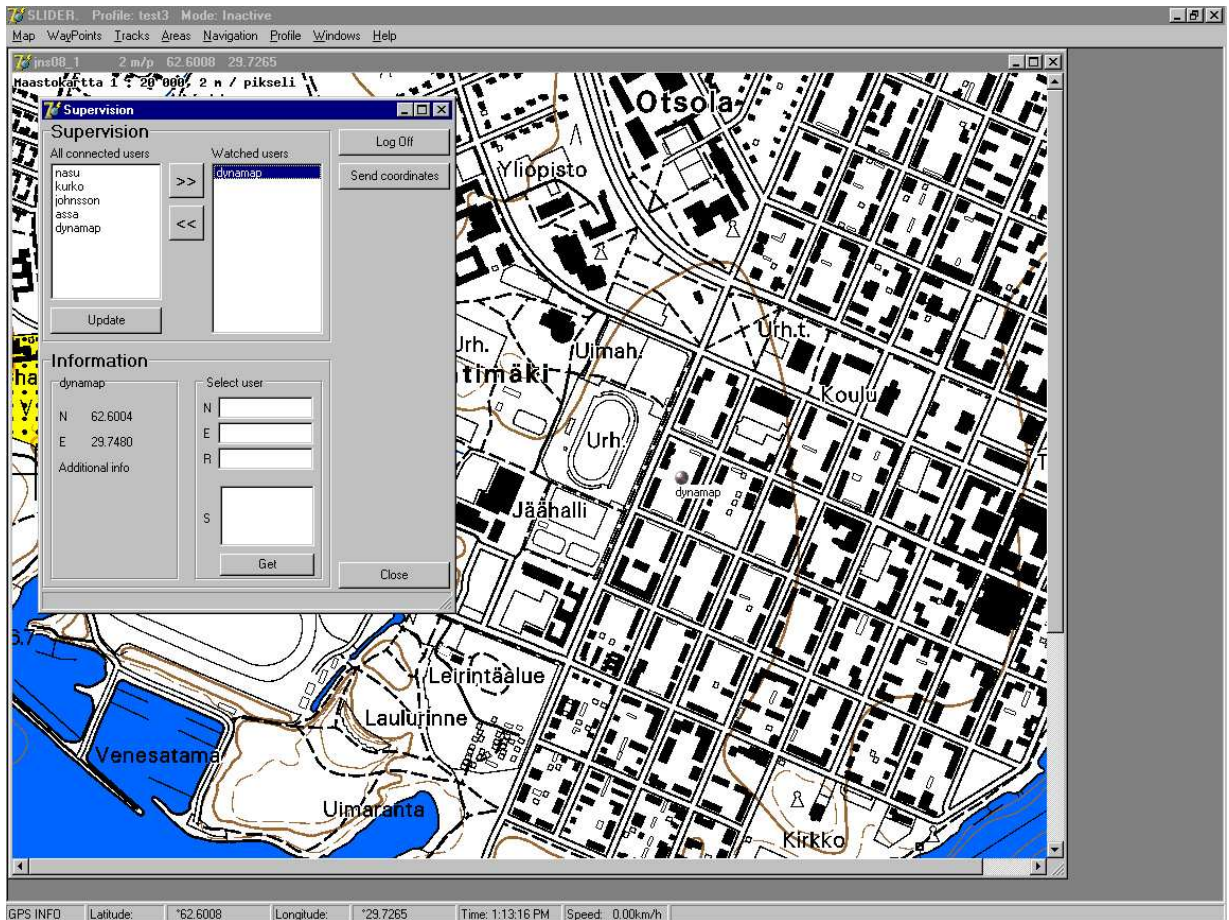
### **5.3 SOVELLUKSEN TARJOAMAT PALVELUT, KYSELYTAPAJA TAPAHTUMAT**

Paikkatietosovellus käyttötarkoituksesta ja käyttötarkoituksesta riippuen tarjoaa erilaisia palveluja. Käynläpiseuraavaksi esimerkisovelluksen tarjoamat palvelut luvussa 3 esitetyn jaon mukaisesti ja esittelen palvelujen toteutuksen ja sen, miten niitä voitaisiin vielä kehittää. Myöhemmissä kappaleissa esittelen paikkatietokyselyt ja tapahtumat ja käyn läpi niiden toteutusta esimerkisovelluksessa. Slider-sovellus tarjoaa käyttäjälle paikantamisen ja seurannan, sijainnin välittämisen, push-palvelut, pull-palvelut ja karttatietopalvelut.

### 5.3.1 Valvontatila

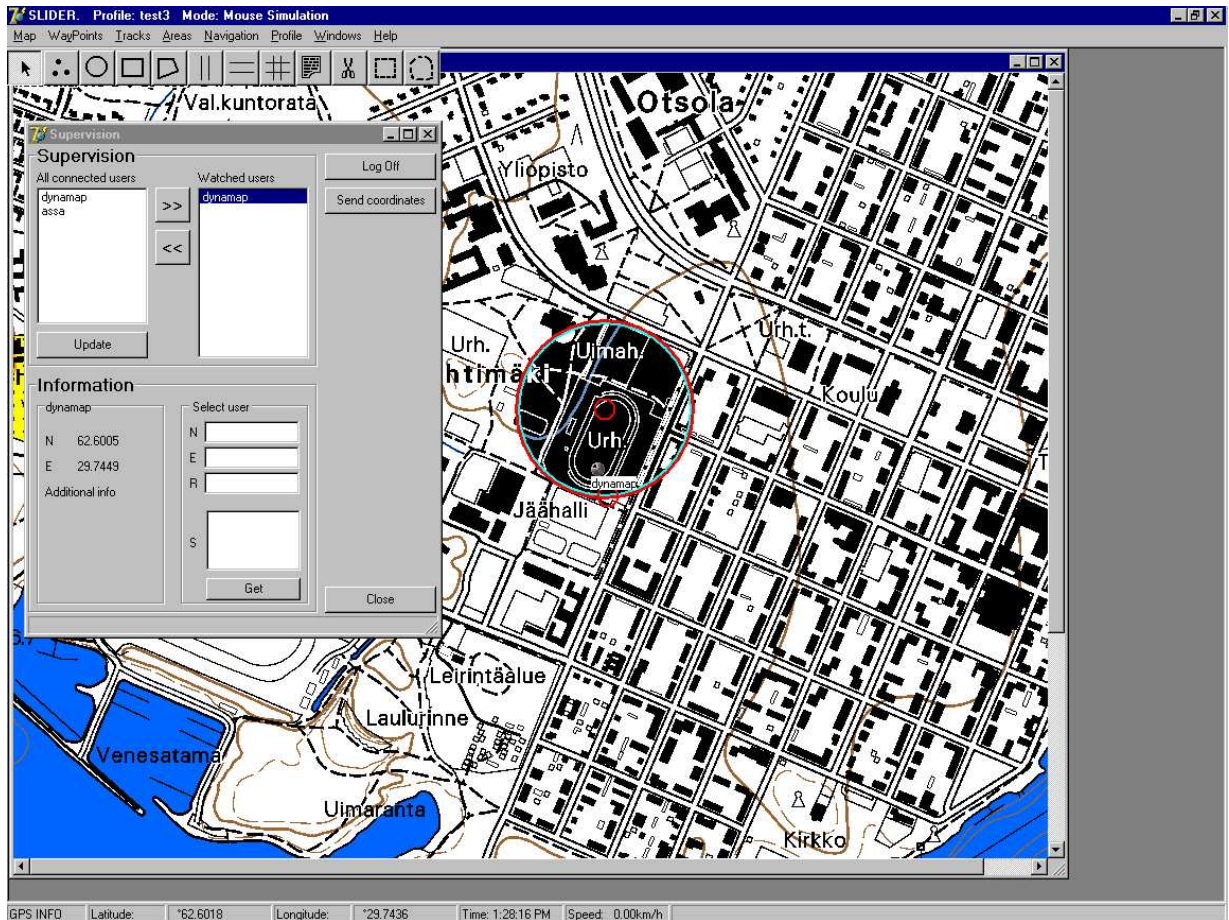
Ohjelmassa on *valvontatila (Supervision Mode)*, jonka tarkoituksena on tarjota paikantaminen ja seuranta sekä sijainnin välittäminen. Valvonnan avulla voidaan tarkkailla kohteita, jotka välittävät omat sijaintikoordinaattinsa paikannuspalvelimelle. Koordinaattien välitys tapahtuu langattoman tiedonsiirtotekniikan avulla esimerkiksi käyttäen GPRS-tekniikkaa. Valvontatilassa haetaan kaikki koordinaattejaan lähettävät käyttäjät paikannuspalvelimelta, joka on kytkettynä verkkoon. Esimerkkisovelluksessa on käytössä yksi paikannuspalvelin, joten valvottavien käyttäjien lukumäärä on rajoittunut. Käyttäjistä nähdään käyttäjänimi, heidän sijaintinsa ja mahdollinen lisäinformaatio. Kaikista käyttäjistä voidaan valita *aktiiviset käyttäjät*, joita halutaan tarkkailla. Aktiiviset käyttäjät näytetään kartalla symbolien ja nimen avulla. Kuvassa 5.6 on esitetty aktiivisen käyttäjän ”Dynamap” sijainti kartalla. Valvontatilan ikkunassa näkyy kaikki paikannuspalvelimelle kytkeytyneet käyttäjät (*All Connected Users*). Aktiiviseksi valitusta käyttäjästä ”Dynamap” (*Watched User*) näytetään sijaintikoordinaatit ja mahdollinen lisäinformaatio (*Additional Info*).





Kuva 5.6: Valvontatilassanäytetään valitut aktiiviset käyttäjät. Käyttäjä ”Dynamap” on urheilukentän itäpuolella.

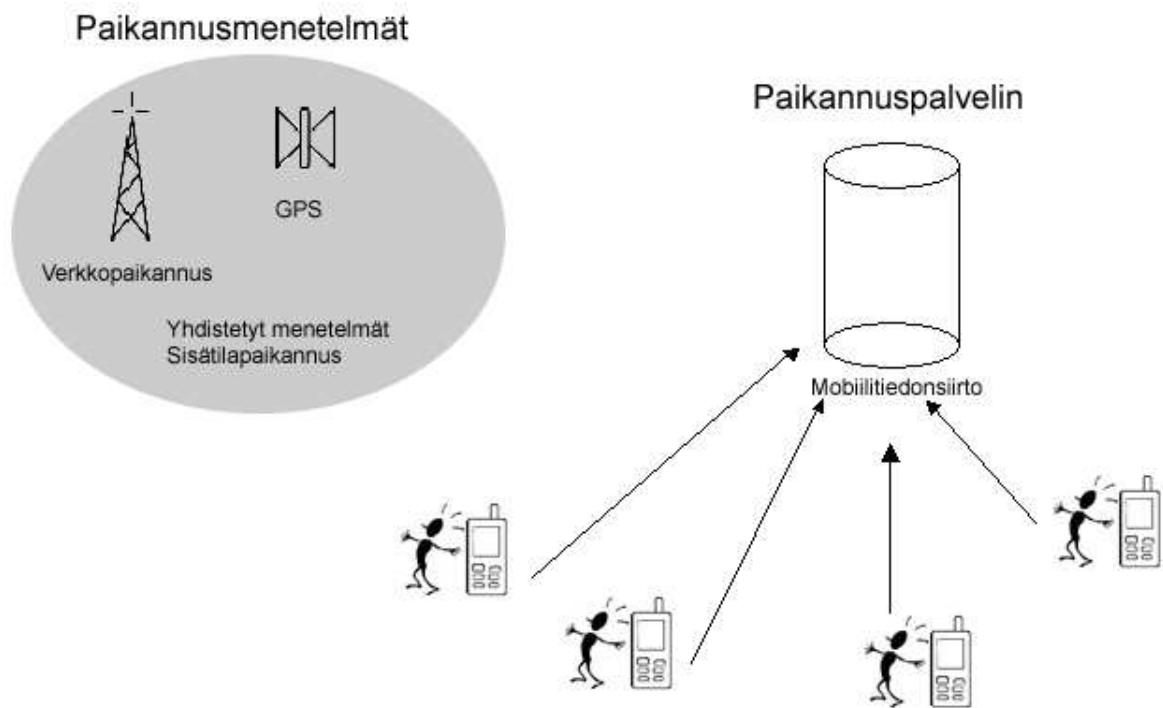
Valvontatilassa voidaan myös määrittellä alue, jolle alueen valinta suoritetaan aluetyökälyn avulla. Kun tämä. Ohjelmassa tämä ilmenee siten, että valittu alue korostuu. Tämän toiminnon avulla voitaisiin myös toteuttaa push-palvelut. Esimerkiksi saapuessaan urheilukentän alueelle (kuva 5.7) käyttäjävoisaadapäätelaitteeseensa informaatiota tulevasta urheilutapahtumasta.



Kuva 5.7: Käyttäjä ”Dynamap” saapuumäärityllle alueelle, jolloin hänelle voitaisiin lähettää push-palvelun periaatteen mukaisesti informaatiota.

Suurimpana ongelmana valvontatilan toteutuksessa on tiedonsiirto sovelluksen ja palvelimen välillä. Rajapinnan toiminta verkon ja sovelluksen välillä on hidasta ja hyvin herkkä virheille. Paikannuspalvelin ruuhkautuu ja tukkeutuu helposti ja valvontatilasta suoritettujen kyselyiden vasteajat ovat liian pitkiä. Yhden kohteen yhtämittainen sijainnin lähettäminen aiheuttaa palvelinlomaantumiseen, jos viestien lähetystiheys on liian suuri. Käyttökokemuksemme mukaan 10 sekunnin aikaintervallin minimi, jota pystytään käyttämään nykyisellä rajapinnantoteutuksella. Virhetilanteen sattuessa käyttäjät jäävät paikannuspalvelimen kohderekisteriin. Jos käyttäjän tiedot ovat jo valmiina kohderekisterissä ei kirjautuminen valvontatilaan ole mahdollista ennen kuin tiedot ovat poistettu kohderekisteristä manuaalisesti. Käytännössä poistaminen tapahtuu ylläpitotunnustenomaavan henkilön toimesta.

Kuvassa 5.8 kohteet lähettävät sijaintietojaan paikannuspalvelimelle. Kohteiden paikantaminen tapahtuu joko paikannusmenetelmää käyttäen, esimerkiksi GPS-laitteen avulla tai operaattorin tarjoamaan verkkopaikannusmenetelmän avulla. Jos kohteet haluavat informaatiota muista palvelimelle sijaintikoordinaattejaan välittävistä käyttäjistä, heidän tulee kohdistaa kyselynsä palvelimelle. Tällöin kysyjäntulee suorittaa esimerkiksi sovellustalvalvontatilassa päätelaitteestaan ja hänen on mahdollista tehdä ainoastaan kohteiden sijainti- ja aluekohteiden kyselyt, koska valvontatilan ja alueyökalujen integrointikeskeneräinen.

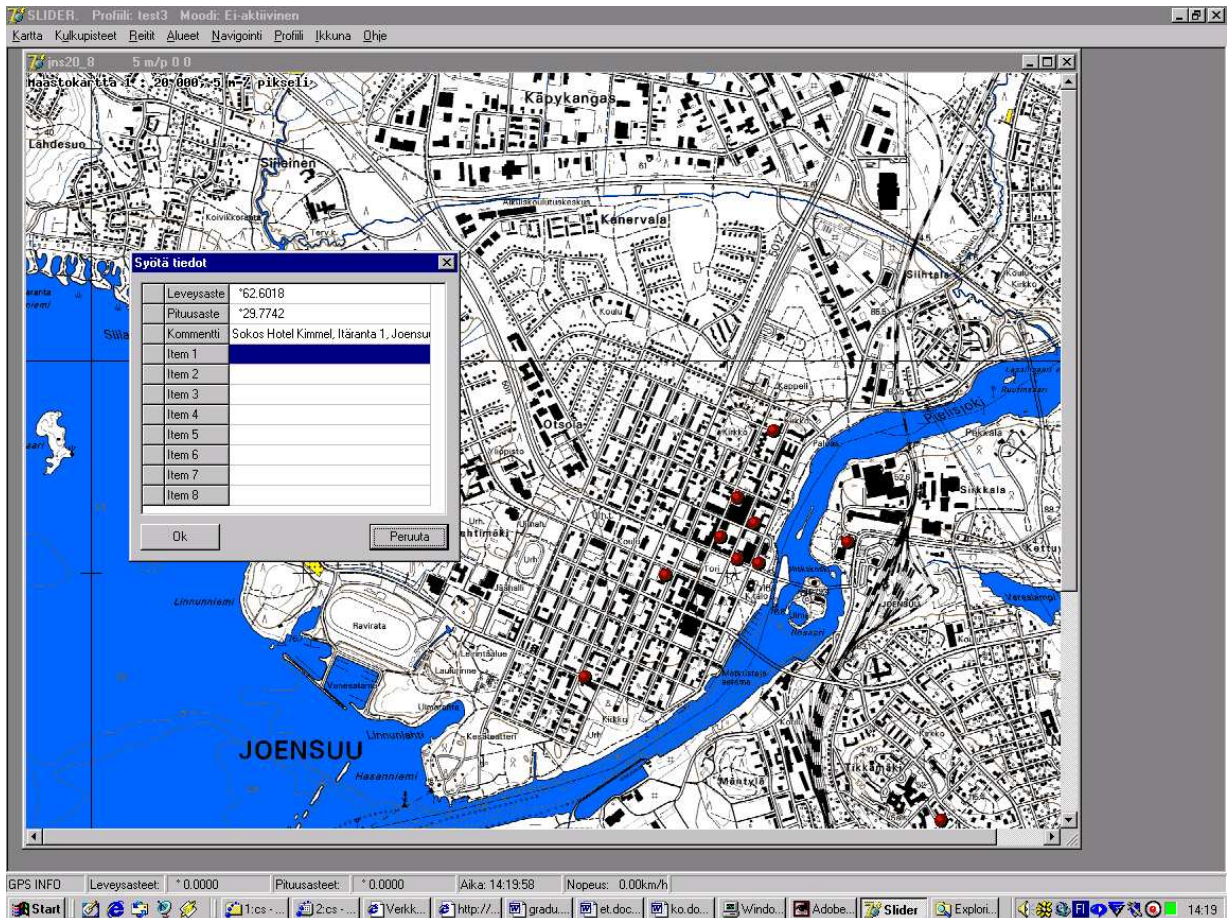


Kuva 5.8: Valvontatilan toimintaperiaate. Käyttäjät suorittavat paikannuksen käyttäen joko paikannusmenetelmää ja välittävät koordinaattinsa paikannuspalvelimelle.

Pull-palvelut ovat ohjelmassa on toteutettu siten, että kohteen tiedot tallennetaan kulkupisteinä tiedostoon. Esimerkiksi kuvassa 5.9 on esitetty Joensuun hotellit kartalla. Pielisjoen itärannalla olevasta hotellista on haettu tarkemmat tiedot klikkaamalla kohdetta. Kohteesta näytetään sijaintikoordinaatit ja sen yhteystiedot. Palvelun toteutus ei ole käyttäjäystävällinen, jonka seuraava esimerkki osoittaa. Käyttäjä haluaa hakea kaikki Joensuun hotellit. Ensimmäiseksi käyttäjän tulee avata oikea kartta, jolla hotellit näytetään. Muuten ohjelma näyttää hotellit koko Suomen kartalla, jos karttaa ei ole avoinna. Valinta perustuu siihen, että Suomen kartta vastaa parhaiten Suomen hotellit-tiedoston sisältöä. Kun käyttäjä haluaa hakea Joensuun hotellit pitää hänen osata avata ensin Joensuun karttajan hotellitiedosto. Käyttäjä ei voi vain ”sanoa”, että haluaa Joensuun hotellit ja ohjelma hakisi oikean artan ja hotellitiedoston.

Lisäksi pull-palvelut tulisi monipuolistaa, koska nykyisellään ne eivät tarjoa tarpeeksi toiminnallisuutta kaupalliseen käyttöön. Esimerkiksi hakusanan käyttö palvelujen hakua varten olisi tarpeellinen lisätoiminto. Myöskin toiminto, jossa käyttäjä osoittaa jonkin hänelle tuntemattoman kohteen kartalta ja saa informaatiota kohteesta, voitaisiin toteuttaa ohjelmaan. Suurin ongelma ajatellen tällaisten pull-palvelujen kehittämiseksi on tarvittavien kohdetietokantojen puuttuminen. Toisaalta tutkimusprojektissa ei ole mielekäästä käyttää aikaa tiedonkeruuseen vaan kaupalliset yritykset hoitavat tämän.





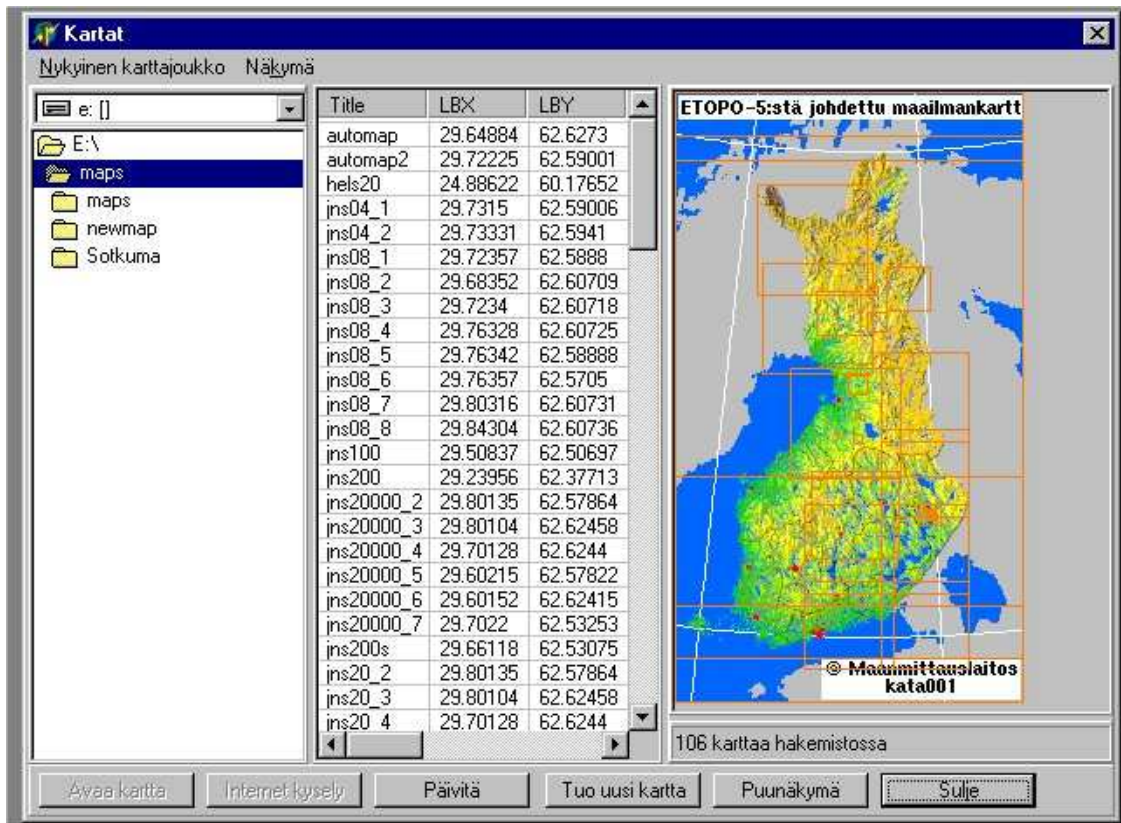
Kuva 5.9: Karttaikkuna, jossa on kuvattuna Joensuun hotellit. Kohteesta Kimmel on haettavissa informaatiota.

### 5.3.2 Karttatietopalvelut

Karttatietopalvelut esimerkkisovelluksessa on toteutettu kattavasti ja ne voidaan jakaa kolmeen luokkaan: normaalitila, *automaattinen tila (Automatic Mode)* ja *dynaaminen tila (Dynamic Mode)*. Automaattisen tilan tarkoituksena on saada Slider-ohjelma mahdollisimman helposti ja nopeasti käyttövalmiuteen. Käynnistettäessä ohjelma vastaanottaa käyttäjän nykyisen sijainnin GPS-laitteelta tai vaihtoehtoisesti hakee sijainnin oletuskoordinaatit tiedostosta. Tämän jälkeen ohjelma hakee automaattisesti kyseisten koordinaattien perusteella sopivan kartan ja on valmiina käyttäjän toimenpiteitä varten.

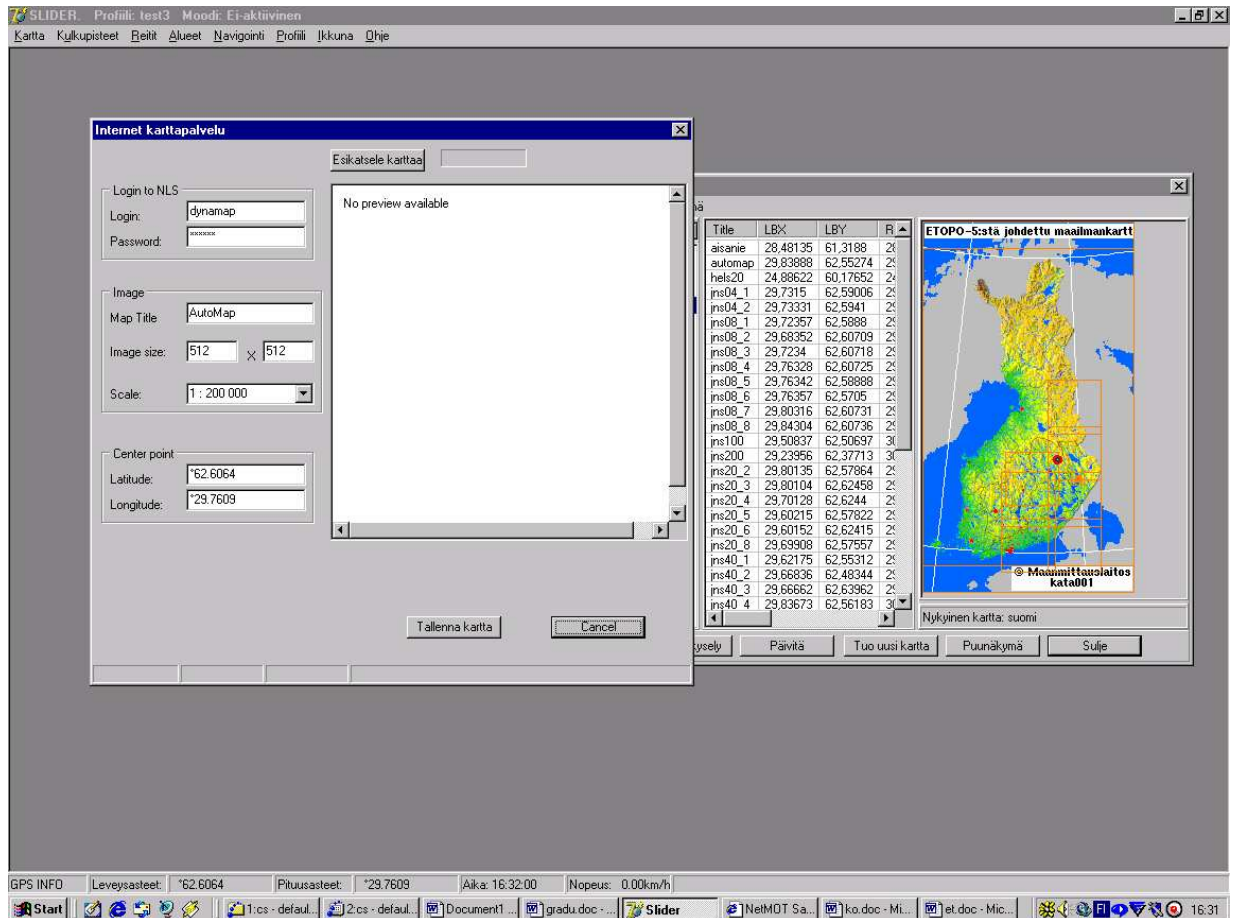
Ohjelma tukee kartta-aineiston kahta tallennustapaa : kartta-aineisto voi olla tallennettuna joko päätelaitteelle tai se haetaan karttapalvelimelta sovelluksen käyttöön. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa on toteutettu dynaamisen tilan avulla. Dynaamisessa tilassa kartta-aineisto haetaan käyttäjän sijainnin perusteella automaattisesti sitä mukaa, kun käyttäjä liikkuu kartta-alueella. Kartta-aineisto päätelaitteella päivitetään, kun käyttäjä siirtyy nykyisen kartta-alueen ulkopuolelle. Samalla sovellus vaihtaa kartan automaattisesti ohjelman näyttöön. Jos tarvittavaa kartta-aineistoa ei ole tallennettuna päätelaitteen muistissa, haetaan se karttapalvelimelta Internetin välityksellä sovelluksen käyttöön.

Normaalitilassa ohjelma tarjoaa työvälineet myös uuden kartta-aineiston tuottamiseksi sovelluksen käyttöön kuvatiedostojen pohjalta, jotka voivat olla muotoa BMP, GIF, PNG, PBM, PGM ja PPM. Karttatiedosto muodostuu kuvatiedostosta ja sijaintitiedostosta. Sijaintitiedoston sijaintikoordinaatit pitää määrittellä joko toisen kartan koordinaattien, GPS-laitteen avulla tai syöttämällä koordinaatit manuaalisesti. Toinen tapa on hyödyntää valmista kartta-aineistoa. Internet-kyselyn avulla käyttäjä voi hakea karttoja Maanmittauslaitoksen [29] kotisivuilta. Kuvassa 5.10 on ohjelman ”*kartat-lomake*”, jossa on esitetty karttahakemiston sisältö sekä painikkeet ”*tuouusikartta*” ja ”*Internet-kysely*”, joista päästään tuottamaan lisä kartta-aineistoa sovelluksen käyttöön.



Kuva 5.10: Kartat-lomake, jolla esitetään karttahaakemiston sisältö sekä painikkeet tuoden kartta-aineiston tuottamiseksi.

Kartat-lomake koostuu kolmesta ikkunasta. Vasemmanpuoleisimmasta ikkunasta voidaan valita karttahaakemisto, jonka karttoja käytetään. Keskellä oleva ikkuna näyttää hakemistossa olevat kartat ja karttojen tiedot. Oikeanpuoleisimmasta ikkunasta voidaan valita alue, jolta kartat näytetään. Klikkaamalla hiirtä halutulla kartan alueella, saadaan karttahaakemistoon klikatun alueen kartat näkyviin. Internet-kyselyssä (kuva 5.11) sovellukseen syötetään tiedot, joiden perusteella karttaa haetaan. Lomakkeelle määritellään keskipiste leveysasteen ja pituusasteen avulla, jotka määräävät miltä alueelta kartta haetaan. Lisäksi kyselyyn syötetään haluttu mittakaava. Haettua karttaa voidaan esikatsella ja se voidaan tallentaa tiedostoon halutun kokoisen määrätelmällä kartankokopiksielä.



Kuva5.11:Maanmittauslaitoksenkarttatietokantaan suoritettavanInternet-kyselynlomake.

### 5.3.3 Paikkatietokyselytapahtumat

Luvussa 4.4 esitetyt paikkatietokyselyt (kohteen sijainti, alueen kohteet, lähin kohde) ja tapahtumat on toteutettu ohjelmassa vain osin. Kohteen sijainti ja alueen kohteet –kyselyt toimivat valvontatilan kautta. *Kohteen sijainti* saadaan selvitettyä, jos kohde lähettää omia koordinaattejaan paikannuspalvelimelle. Valvontatilassa haetaan kaikki palvelimelle koordinaattejaan lähettävät kohteet ja niiden sijainti voidaan näyttää kartalla. *Alueen kohteet* –kysely on toteutettu ohjelmassa siten, että valvontatilassa määritetään ympyrän keskipisteen koordinaatit ja ympyrän säde. Kaikki ympyrän alueella sijaitsevat käyttäjät haetaan valvontatilaan havaintolistaan. Mielestäni tämä ei ole käyttäjäystävällinen tapa, koska ympyrän säteen



arvioiminen on vaikea tehtävä. Myöskään valittua aluetta ei näytetä kartalla, joten käyttäjän on vaikea hahmottaa valitsemansa alue. Esimerkkisovelluksessa kohteiden tunnisteena toimivat niidennimet. Haettaessa alueen kohteita kyselyneivoidaliittää mitään erillisiä hakukriteereitä. Hakukriteerien lisääminen suoritettaviin kyselyihin olisikin tarpeellinen kehitystoimenpide. Samalla kyselytapahtumat pitäisivät irrottaapoisvalvontatilastajatoeuttatietokantahakuina riippumatta ohjelman toimintatilasta. Aluetyökalun integrointi tietokantahakuihin ei ole vaikea tehtävä, mutta se pitää toteuttaa. *Lähin kohde* -kyselyä ei ole lainkaan toteutettu, mutta sen liittäminen ohjelmaan onnistuu helposti ja toteuttamiseen voi käyttää alueen kohteet-kyselyä hieman muokaten.

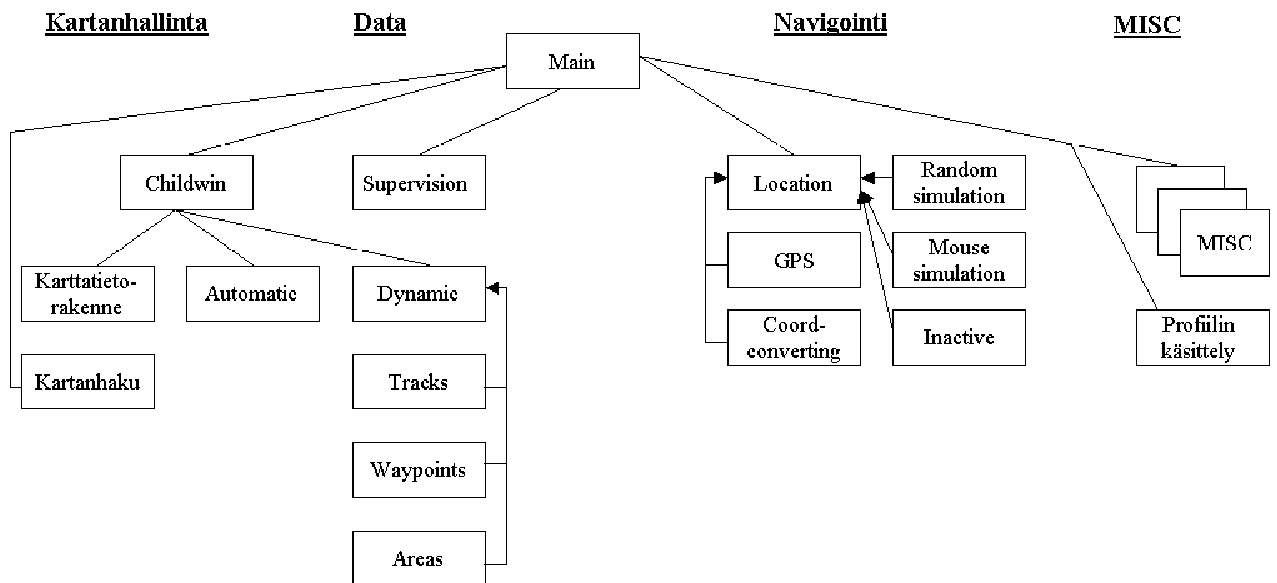
Luvussa 4.4 esitetyistä tapahtumista sovelluksessa on toteutettu *astua sisään* ja *poistuu*-tapahtumat. Tosin nämä tapahtumat vaativat vielä kehittämistä eikä niitä ole toteutettu samoin kuin luvussa 4.4 on kuvattu. Tapahtumien käyttäminen onnistuu vain kiinteän verkkoyhteyden kautta, jotta sovellussa yhteydenpaikannuspalvelimeen. Tapahtumia ei voi käyttää langattoman asiakaspäätelaitteen (esimerkiksi kämmentietokone) välityksellä, koska asiakaspäätteen ja palvelimen välistä tapahtumapyyntöjen mobiilitiedon siirtoa ei ole toteutettu. Nyt kun operaatiot ovat saatu toteutettua verkkoyhteyden välityksellä, pitää ne tarjota langattomien päätelaitteiden käyttöön. Samoin kohteiden hakukriteerin lisääminen sovellukseen parantaisi sovelluksen käytettävyyttä oikeassa käyttötilanteessa. Esimerkiksi hakukriteerin käytöstä voisi olla tilanne, jossa käyttäjämäärittelee hakukriteeriksi tietyn yhteisön, vaikkajalkapalloseuran A-juniorit. Kun yhteisön jäsentulee jalkapallokentälle, saakäyttäjät ilmoituksen.

*Astua sisään* -tapahtuma on toteutettu aluetyökalun avulla. Kun kohde liikkuu kartalle määritellylle alueelle (kuten kuvassa 5.7) havaitsee ohjelma tämän. Sovelluksessa vain ei ole toteutettu mitään jatkotoimenpiteitä kyseisen tapahtumansattuessa. Sovellukseen olisikin helppo liittää jokin toiminto tapahtuman käydessä toteen. Esimerkiksi ilmoitus kohteen saapumisesta alueella ja sen informaation näyttäminen näytöllä. Samoin kun kohde *poistuu* määritellyltä alueelta sovellus havaitsee tämän, mutta mitään jatkotoimenpiteitä ei ole määriteltynä. Ilmoitus kohteen poistumisesta alueelta tuntuisi luontevalta toimenpiteeltä. *Tapaaminen* ja *ryhmätapaaminen* on toteuttamatta ja niiden toteutus vaatisi hakukriteerin lisäämistä ja aluetyökalun kehittämistä. Aluetyökalun pitäisi nyt pystyä käsittelemään myös hakukriteereihin

määriteltyä informaatiota, jotta nämä tapahtumat saataisiin toteutettua. Toisaalta kuten olen jo todennut, aluetyökalun kehittäminen on esimerkkisovelluksen suurimpia haasteita ja sen toimintaan pitää panostaa jatkossa.

## 5.4 JÄRJESTELMÄRATKAISUT

Järjestelmäratkaisujen osalta käsittelen seuraavissa kappaleissa koko ohjelman rakennetta, valvontatilaa ja mobiilitiedonsiirtoa. Slider-ohjelma koostuu 55:stä eri moduulista. *Moduuli (Module)* koostuu attribuuteista ja operaatioista. Kaikki tietyyn asiaan kohdistuvat toimenpiteet pyritään tekemään yhdessä kyseiselle asialle varatussa moduulissa. Kuvassa 5.12 on esitetty ohjelman perusrakenne jaettuna loogisiin kokonaisuuksiin: *kartanhallinta*, *data*, *navigointi* ja *misc*. Kuvassa on myös esitetty tärkeimmät kokonaisuuteen liittyvät moduulit.



Kuva 5.12: Ohjelman loogiset kokonaisuudet ja tärkeimmät niihin liittyvät moduulit.

Slider käyttää hyväkseen projektissa kehitettyä karttatiedostojen tallennusformaattia *MISS (Map Image Storage System)* [9]. Tallennusformaatin avulla on pystytty toteuttamaan nopea kartan vieritys, zoomaus sekä karttatiedoston tiivis pakkaus. Etenkin käytettäessä pienen muisti- ja prosessorikapasiteetin omaavaa päätelaitetta kartta-aineiston käsittelyyn on kiinnitettävä huomiota. Sovellukseen on toteutettu *dynaaminen toimintatila (Dynamic Mode)*, joka on rakennettu käyttäen *asiakas-palvelin -arkkitehtuuria*, jolloin asiakaspäätteiltä (esimerkiksi kannettavamikro, kämmenmikro) vaadittavat resurssit voidaan pitää alhaisina. Palvelimelle (esimerkiksi tavallinen pöytätietokone) on tallennettukartat, jotka siirretään asiakkaan pyynnöstä päätelaitteelle kun asiakaspäätelaitteelta välitetään informaatiokäyttäjän nykyisestä sijainnista.

Ohjelma tukee päätelaitteen itsensä suorittamaa paikannusta siten, että GPS-laite kytketään tietokoneen sarjaporttiin. Toinen mahdollisuus on käyttää GPS-ominaisuudet omaava lisäkorttia, joka voidaan kytkeä esimerkiksi kämmenmikroon. Olemme havainneet, että GPS-lisäkortin käyttökuntoon saattaminen (kytkeytyminen satelliitteihin) on liian hidasta, koska pahimmillaan se kestää jopa kymmenen minuuttia ja parhaillaankin se kestää viitisen minuuttia. Vertailun vuoksi tavallinen GPS-laite on käyttökunnossa 1-2:sa minuutissa. GPS-laitteeseen kerätyt kulkupisteet ja reitit voidaan siirtää (*Download*) laitteesta sarjaportin kautta sovelluksen käyttöön.

Mobiilitiedonsiirto käyttäjän ja paikannuspalvelimen välillä on toteutettu teknologiasta riippumattomaksi. Paikannuspalvelin käyttää TCP/IP-protokollaa kommunikointiin päätelaitteen kanssa. *TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)* on standardoitu protokollapino Internetissä tapahtuvaan tiedonsiirtoon [21]. Esimerkiksi sovelluksen tiedonsiirrossa voidaan käyttää mitä tahansa tekniikkaa, joka tukee TCP/IP-protokollaa. Tällä hetkellä testiympäristössä käytämme mobiiliin tiedonsiirtoon lähiverkkoyhteyttä (LAN) ja GPRS-tekniikkaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että päätelaitteeseen (sylimikro, kämmenmikro) liitetään tiedonsiirtoyhteydet tarjoava lisäkortti. Lisäkortin välityksellä päätelaitteeseen saa yhteyden paikannuspalvelimeen. Ratkaisu on mielestäni hyvä, koska TCP/IP on standardoitu protokolla ja vaikka tiedonsiirtotekniikat kehittyvät, tukevat ne tätä edelleen.

Kohteen koordinaattien lähetys paikannuspalvelimelle on toteutettu kahdella eri tavalla. Yksinkertaisempi ratkaisu on sellainen, jossa käyttäjä lähettää sijaintikoordinaattinsa yksinkertaisen raportointiprotokollan (luku 4.5.2) mukaisesti aina silloin, kun katsoo enolevan tarpeellista. Ongelmana tässä on kuitenkin se, että kohde voi olla eri paikassa verrattuna hänen viimeksi lähettämiinsä sijaintikoordinaatteihin, jos hän ei muistavälittävää sijaintiaan. Toinen ongelmaliittyy tiedonsiirtoyhteyden katkeamiseen: jos kohteen sijaintikoordinaatit eivät päivitty, oletetaan kohteen pysyneen paikallaan. Sovelluksessa yhteyttä paikannuspalvelimeltä kohteeseen päineioletetty, joten yhteyden katkeamisen havaitseminen on hankalaa.

Toinen ratkaisu sovelluksessa on toteutettuna *aikaan perustuvan raportointiprotokollan* mukaisesti. Sovelluksessa on määriteltynä aikaintervalli  $T$ , jonka mukaisesti kohde lähettää omat sijaintikoordinaattinsa paikannuspalvelimelle. Aikaintervalli on muutettavissa tarpeen mukaan, mutta ainoastaan suoraan ohjelmakoodiin. Sovelluksen tuleekin toteuttaa aikaintervallin muuttaminen käyttöliittymän kautta. Käytännön kokeet ovat osoittaneet, että autolla liikuttaessa sopiva aikaintervalli on noin 10 sekuntia taajamassa ja noin 5 sekuntia taajaman ulkopuolella. Kävelevälle ihmiselle usein noin 30 sekunnin aikaintervalli on riittävä. Oikean aikaintervallin löytäminen kulloiseenkin käyttötilanteeseen on tärkeää, jotta turhalta tiedonsiirrolta vältytään. Samoin tarvittavapaikan tarkkuus vaikuttaa viestien välitystiheyteen: mitä suurempaa tarkkuutta vaaditaan, sitä enemmän päivitysviestejä joudutaan lähettämään. Tämän protokollan etuna on sen käyttäytyminen yhteyden katketessa, koska yhteyden katkeaminen havaitaan välittömästi kun aikaintervalli  $T$  täyttyy. Tällöin väärä tai vanhentunut paikannustieto ei välitetä eteenpäin.

## 6 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa olen tarkastellut mobiileita paikkatietosovelluksia. Tarkastelun olen jakanut kolmeen osa-alueeseen: paikannusmenetelmiin, paikka tietosovelluksiin ja järjestelmäarkkitehtuuriin. Tarkastelun perusteella olen käynyt läpi Slider-ohjelmaajatuonutilmi miten osa-alueet ovat toteutettu esimerkkisovelluksessa. Samalla olen arvioinut toteutettujen ratkaisujen onnistumistajatehnyt kehitysehdotuksia sovelluksen parantamiseksi.

Paikannusmenetelmät mahdollistavat käyttäjän nykyisen sijainnin muodostamisen. Kaikilla paikannusmenetelmillä on omat hyvät ja huonot puoleensa, mutta tällä hetkellä näyttää, että satelliittipaikannukseen perustuvat menetelmät tulevat yleistyään. Satelliittipaikannuksen etuna on sen toiminta-alueen laajuus ja paikannustarkkuus. Toisaalta satelliittipaikannusmenetelmän käyttö tiheällä kaupunkialueella ei aina onnistu. Tällöin matkaviestinverkkoihin perustuvat verkkopaikannusmenetelmät tarjoavat paremman paikannustarkkuuden ja toimintavarmuuden. On houkutteleva ajatus yhdistää verkkopaikannusmenetelmät sekä satelliittipaikannuksen tuottama informaatio paikantamisen perustaksi. Näin päästään huomattavasti luotettavampaan ja toimintavarmempaan paikannusmenetelmään kuin millään yksittäisellä tekniikalla.

Paikkatietosovellukset ovat sovelluksia, jotka käytävät hyväkseen käyttäjän sijaintinformaatiota. Käyttäjän sijainti määritellään päätelaitteen avulla käyttäen paikannusmenetelmää ja palvelut tarjotaan päätelaitteen välityksellä. Paikannukseen perustuvien palvelujen määrä on lisääntynyt huomattavasti viime aikoina. Syynä kehitykseen on ollut paikannusmenetelmien tarkkuuden paraneminen ja käytön hinnan aleneminen. Samalla sovellukset ovat tulleet tavallisten kuluttajien ulottuville nykyisten matkapuhelinten, kämmen-tietokoneiden ja muiden langattomien päätelaitteiden yleistyessä.

Järjestelmäarkkitehtuuria suunniteltaessa on sovelluksesta pyrittävä tekemään mahdollisimman yleispätevä, koska eri menetelmien kirjo on valtava. Paikannusmenetelmät tuottavat eri paikannustarkkuuden omaavaa informaatiota, päätelaitteet käsittelevät informaatiota eri tavoin ja käytettävissä on useita tiedonsiirtotekniikoita. Samalla sovellukselle on esitetty tiettyjä

vaatimuksia liittyen sen skaalautuvuuteen, paikannu tarkkuuteen, joustavuuteen ja mukautuvuuteen. Myösturvallisuuteen jayksityisyys teenonkiinnitettävähuomiota, koskaneovat käyttäjän näkökulmasta tärkeimpiä vaatimuksia. Tapo ja järjestelmän eri osa-alueiden toteuttamiseksi on monia ja niistä tuleekin pystyä valitsemaan kyseiseen sovellukseen sopivimmat ratkaisut. Sovelluksen tulee kuitenkin tarjota kaksi paikkatietokyselyä: kohteen sijainti-kysely ja alueenkohteet-kysely. Näiden kahden peruskyselyn pohjalta voidaan toteuttaa kaikkimuutosovellukselle tarpeelliset kyselyt ja tapahtumat.

Esimerkkisovellukseen on toteutettu monia aikaisemmissa luvuissa esitettyjä asioita. Erityisen hyvää sovelluksessa on dynaaminen toimintatila ja valvontatila, kunhan ne saadaan kehitettyä asianmukaiseen kuntoon. Suurin kehitystavaatiko hde on sovelluksessa paikkatiedon käsittely. Paikkatietokyselyihin tulisi toteuttaa hakukriteerin käyttö ja tapahtumat pitäisi tuoda langattomien päätelaitteiden käyttöön. Samalla kyselyiden toteutus pitäisi irrottaa valvontatilasta käsittelemään paikkatietokantoja. Myös aluetyökalun integrointi paikkatiedon valitsemiseksi pitäisi toteuttaa, jolloin ohjelman käytettävyyden paranisi huomattavasti. Sovelluksen tulisi mukautua kulloiseenkin käyttöympäristöön ja käyttötarpeeseen. Esimerkiksi satunnaissimulaation ja raportointiprotokollan asetusten muuttaminen pitäisi siirtää sovelluksen käyttöliittymään.

## VIITTEET

- [1] Ananasso, F., Priscoli F. (1998) Satellite Systems for Personal Communications Networks. *Wireless Networks*, (4),pp.155-165.
- [2] Bar-Noy, A., Kessler, I., Sidi, M. (1995) Mobile users: To update or not to update? *Wireless Networks*, 1(2)pp.175-185.
- [3] Benefon (2003) *Benefon kotisivu*. WWW-sivusto: <http://www.benefon.com> (2.4.2003).
- [4] Brasche, G., Walke, B. (1997) Concepts, Services and Protocols of the New GSM Phase 2+ General Packet Radio Service, *IEEE Communications Magazine*, pp.80-97.
- [5] Börjesson, J. (2000) *GLONASS information*. WWW-sivusto: <http://www.oso.chalmers.se/~geo/glonass.html> (22.01.2003).
- [6] Dana, P.H. (2000) *Global Positioning System Overview*. WWW-sivusto: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html> (12.03.2003).
- [7] Dutton, G. H. (1999) *A Hierarchical Coordinate System Geoprocessing and Cartography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [8] FCC (1999). *Third report & order*, FCC99-245, FCC, Washington DC, 6 October 1999.
- [9] Fränti, P., Ageenko, E., Kopylov, P., Gröhn S., Berger, F. (2001) *Compression of map images for real-time applications*. Technical report A-2001-1, Department of Computer Science, University of Joensuu, Finland.

- [10] Gallileo Project (2001) *Gallileo – Global Navigation Satellite System* . WWW-sivusto: <http://www.galileo-pgm.org/>(11.2.2003).
- [11]Garmin(2003) *StreetPilotIII* .WWW-sivusto: <http://www.garmin.com/mobile/>(13.5.2003).
- [12]GISnetSolutionsFinlandOY(2003) *CityGuide-ohjelma*.WWW-sivusto: <http://www.gisnetsf.com/cityguide.php> (12.5.2003).
- [13]Golding,L.(1998)SatellitecommunicationSystemMove to into the Twenty-first Century. *WirelessNetworks*, (4),pp.101-107.
- [14] Harter, A., Hopper, A. (1994) Distributed Location System for the Active Office, *IEEE Network*36(1),pp.62-70.
- [15] Heino, I., Kylänpää, M. (2000) *WWW-selailun tehostaminen mobiilikäytössä*. TutkimusraporttiTTE3-2000-6,VTTTietotekniikka.
- [16] Hellebrandt, M., Mathar, R., (1999) Location Tracking of Mobile in Cellular Radio Networks,*IEEETransactiononVehicularTechnology* ,vol.48(5),pp.1558-1562.
- [17] Interagency GPS Executive Board (2000) *President Ends Selective AvailabilityEffective MidnightonMay1,2000* .WWW-sivusto: <http://www.igeb.gov/sa/> (23.3.2003).
- [18]Joensuun yliopisto(2003) *Dynamap-projekti*.WWW-sivusto: <http://cs.joensuu.fi/pages/franti/dynamap/> (15.5.2003).
- [19]Khokrar,S.(2001) *WhichLocation-EstimationTechnologiesMeetMarket Needs?* Business Geographics,3/42001, WWW-sivusto: <http://www.geoplace.com/bg/2001/0401/0401tt.asp> (12.4.2003).



- [20] Korkea-aho, M. (2001) *Location Information in the Internet* .Licenciate's thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki.
- [21] Kumazaki, A., Noro, M., Han-Myung Chang Hachisu, Y. (2002) An Application Framework for TCP/IP Applications, *Computer Software and Applications Conference* . 26th Annual International Proceeding, pp.627-634.
- [22] Lam, D., Cui, Y., Cox, D. C., Widom, J. (1998) A Location Management Techniques to Support Lifelong Numbering in Personal Communications Services, *ACM Mobile Computing and Communications Review* ,2(1),pp.27-35.
- [23] Lankoski, P. (toim.), Kirvesmäki, L. (toim.) ( 2002) *Henkilökohtainen navigointi – periaatteita käyttöliittymien ja käyttökokemusten suunnitteluun*. Tampere University Press.
- [24] Leonhardi, A., Kubach, U . (1999) An Architecture for a Distributed Universal Location Service, *Proceedings of the European Wireless '99 Conference* , Munich, Germany, ITG Fachbericht, VDE Verlag, pp.351-355.
- [25] Leonhardi, A., Nicu, C., Rothermel, K. (2002) A Map-based Dead-reckoning Protocol for Updating Location Information, *Proceedings of International Parallel and Distributed Processing Symposium* ,pp.234-242.
- [26] Leonhardi, A., Rothermel, K. (2001) *Architecture of a Large-scale Location Service* . Technical Report 01/2001, Department of Computer Science, University of Stuttgart, Germany.
- [27] Leonhardi, A., Rothermel, K. (2000) *A Comparison of Protocols for Updating Location Information*. Technical Report 2000/05, Department of Computer Science, University of Stuttgart, Germany.
- [28] Lähteenmäki, J., Laitinen, H., Nordström, T. ( 2001) *Location Methods* . Valtion teknillinen tutkimuskeskus. <http://location.vtt.fi/source/technologies.html>(26.2.2003).

- [29]Maanmittauslaitos(2003) *Maanmittauslaitoksenkotisivu* .WWW-sivusto:  
<http://www.nls.fi> (22.3.2003).
- [30] Mangold S., Kyriakos S. (1999) Applying Pattern Recognition Techniques Based on Hidden Markov Models for Vehicular Position Location in Cellular Networks ,*Proceedings of the IEEE VTC conference 1999 fall* ,Amsterdam,pp.780-784.
- [31]Mockapetris,P.,Dunlap,K.(1998)Development of the Domain Name System. *Proceedings of the SIGCOMM'88 Symposium* ,pp.123-133.
- [32]Montgomery,J.(1997)The Orbiting Internet: Fiber in the Sky. *Byte* 8(12),pp.23-27.
- [33] Mountain, D., Raper J. (2001) *Positioning techniques for location-based services: characteristics and limitations of proposed solutions*. Geographic Information Science Group, City University, Northampton Square, London.
- [34]Navinova Oy(2003)Mobiilipaikannus WWW-sivusto:  
[http://www.tieke.fi/ajokortti.nsf/38e4483ea7238da4c225650f004a738d/566a9c8e22f82b1bc2256c460038903c/\\$FILE/Ajokortti020913.pdf](http://www.tieke.fi/ajokortti.nsf/38e4483ea7238da4c225650f004a738d/566a9c8e22f82b1bc2256c460038903c/$FILE/Ajokortti020913.pdf)(27.3.2003).
- [35] Parkinson, P. W., Spilker, J. J. Jr. (1996) *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol1, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington DC.
- [36]Rainio,A.(toim.)(2000), *Henkilökohtainen navigointi: markkinat, teknologia ja sovellukset* .  
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- [37] Spreitzer, M., Theimer, M. (1993) Providing Location Information In a Ubiquitous Computing Environment. *In Proceeding of the Fourteenth ACM Symposium on Operating System Principles* ,ACM Press,pp.270-283.

- [38] Steen, M. v., Hauck, F., Homburg, P., Tanenbaum A. (1998) Locating Objects in Wide-Area Systems, *IEEE Communications Magazine*, pp.2-7.
- [39] Streeter, L. A., Vitello, D., Wonsiewicz, S.A. (1985) How to tell people where to go: comparing navigational aids, *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, pp.549-562.
- [40] Tekniikan Sanastokeskus (2003) *Paikannussanasto*. WWW-sivusto: <http://www.tsk.fi/fi/info/paikannussanasto.pdf> (15.3.2003).
- [41] Tseng, Y. C., Wu, S.H., Liao, W. H., Chao C. M. (2001) Location Awareness in Ad Hoc Wireless Mobile Networks. *ACM Computer*, vol.34, issue6, pp.46-52.
- [42] USW (2001) U.S. Wireless WWW-sivusto: <http://www.uswcorp.com/USWCMainPages/our.htm> (15.4.2003).
- [43] Wolfson, O., Sistla, A. P., Chamberlain S., Ye sha Y. (1999) Updating and Querying Databases that Track Mobile Units. *Distributed Database Journal*, 7(3) pp.1-31.
- [44] Yilin Zhao (1997) *Vehicle Location and Navigation Systems*, Norwood, MA: Artech House.
- [45] Yilin Zhao (1999) Vehicle Navigation and Information Systems. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* (toim. John G. Webster), New York, John Wiley & Sons, Vol.223, pp106-118.