

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TEKNISTALOUELLINEN TIEDEKUNTA
TIETOTEKNIIKAN OSASTO

Diplomityö

Mikko Lehtinen

**SATELLIITTIPAIKANNUKSEEN PERUSTUVAN
REAALIAIKAISEN JÄLJITYSOHJELMISTON TOTEUTUS**

Työn tarkastajat: Prof. Jari Porras
DI Ari Happonen

Työn ohjaaja: Prof. Jari Porras

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknistaloudellinen tiedekunta
Tietotekniikan osasto

Mikko Lehtinen

Satelliittipaikannukseen perustuvan reaaliaikaisen jäljitysohjelmiston toteutus

Diplomityö

2010

74 sivua, 20 kuvaa, 8 taulukkoa

Työn tarkastajat: Professori Jari Porras, DI Ari Happonen

Hakusanat: GPS, satelliittipaikannus, jäljitys, paikannus, paikkatieto

Keywords: GPS, satellite navigation, tracking, positioning, geographic information

Satelliittipaikannuksen hyödyntäminen eri sovellusaloilla ja siviilikäytössä on kasvanut merkittävästi 2000-luvulla Yhdysvaltojen puolustusministeriön lopetettua GPS-järjestelmän tarkoituksenmukaisen häirinnän. Langattomien datayhteyksien yleistymisen ja nopeuksien kasvaminen on avannut paikkatiedon käyttämiseksi ja hyödyntämiseksi reaaliaikaisesti uusia mahdollisuuksia. Kustannusten kasvaessa on tehokkaasta liikennöinnistä tullut tänä päivänä erittäin tärkeä osa yritysten päivittäisiä toimintoja. Ajoneuvojen hallinta on yksi tapa, jolla pyritään tehostamaan logistisia toimintoja ja vähentämään siitä aiheutuvia kustannuksia. Seuraamalla reaaliaikaisesti ajoneuvojen liikennöintiä voidaan pyrkiä saavuttamaan säästöjä optimoimalla aikatauluja ja reittejä sekä uudelleenohjaamalla ajoneuvoja sijaintien mukaan vähentäen näin kuljettua matkaa ja aikaa.

Tässä diplomityössä tavoitteena on tutkia kuinka satelliittipaikannusta, paikkatietoa ja langattomia datayhteyksiä hyödyntämällä voidaan toteuttaa reaaliaikainen jäljitysohjelmisto. Työssä esitellään aluksi paikannustekniikat ja niiden toiminta. Lisäksi tutkitaan kuinka tiedonsiirto voidaan järjestelmässä toteuttaa sekä tarkastellaan järjestelmän kehityksessä huomioitavia tietoturvanäkökohtia. Tutkimuksen pohjalta suunniteltiin ja toteutettiin reaaliaikainen jäljitysohjelmisto kotipalveluyrityksen ajoneuvojen paikannustarpeisiin. Järjestelmän avulla voidaan valvoa ja jäljittää ajoneuvojen sijainteja kartalla reaaliaikaisesti sekä paikantaa tiettyä kohdetta lähimpänä olevat ajoneuvot. Tämä mahdollistaa hälytyksen sattuessa lähimpänä olevan työntekijän lähettämisen asiakaskohteeseen mahdollisimman nopeasti. Järjestelmän avulla käyttäjät voivat lisäksi seurata ajamiaan matkoja ja pitää automaattista ajopäiväkirjaa. Lopuksi työssä arvioidaan toteutetun järjestelmän toimintaa testauksessa saatujen mittaustulosten perusteella.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology Management
Department of Information Technology

Mikko Lehtinen

Implementing satellite navigation-based real time tracking system

Thesis for the Degree of Master of Science in Technology

2010

74 pages, 20 figures, 8 tables

Examiners: Professor Jari Porras, M.Sc. Ari Happonen

Keywords: GPS, satellite navigation, tracking, positioning, geographic information

Taking advantage of satellite navigation has increased significantly in different applications and in civilian use after United States Department of Defence shut down the selective availability feature of GPS. After the mobile networks have become more common and faster the new possibilities have opened to use geographic information in real time. When costs are rising the effective transportation is playing an important role of companies' everyday activities. Vehicle management is one way to try to make logistic actions more effective and to try to decrease the costs of transportation. By following the movement of vehicles in a real time it is possible to try to achieve savings in time and distance by optimizing schedules and routes and redirecting vehicles based on their location.

The goal of this work is to study how it is possible by using satellite navigation, geographic information and mobile networks to implement a real time tracking system. The work focuses at first on navigation systems and the functions and principles of satellite navigation. In addition the aspects of data transfer and data security are considered in designation of system. Based on the research the real time tracking system was designed and implemented for the needs of a home help service company. With the help of the implemented system the locations of the vehicles can be tracked in real time on the map. The system makes also possible to track nearest vehicles of some specific target. This allows system users to send nearest worker to customer's location if an alarm is caused. In addition the system users can follow their tracks and keep automatic logbook of their driving. Lastly the system's behavior is analyzed in this work based on the measured results in the testing phase.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	1
LYHENNELUETTELO	3
1 JOHDANTO	6
1.1 Tavoitteet ja rajaukset	6
1.2 Työn rakenne	7
2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄT	8
2.1 Paikkatieto	8
2.2 GPS-järjestelmän rakenne ja signaalit	9
2.3 Satelliittipaikannuksen toimintaperiaate	11
2.4 Ensimmäinen paikkatieto ja avustettu GPS	12
2.5 Paikannuksen tarkkuus ja virhelähteet	14
2.6 GPS:n laajennukset	16
2.7 GPS-järjestelmän tulevaisuus	17
2.8 Muut satelliittipaikannusjärjestelmät	18
2.9 Reaaliaikainen paikannus	19
2.9.1 Reaaliaikapaikannus paikallisella alueella	20
2.9.2 Reaaliaikapaikannus laajalla alueella	22
3 TOIMINNALLISET VAATIMUKSET JA JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	24
3.1 Käyttötapaus	24
3.2 Järjestelmän keskeiset vaatimukset	25
3.3 Järjestelmän rakenne ja arkkitehtuuri	26
3.3.1 Paikkatiedon välitys	27
3.3.2 Kuljetuskerroksen protokolla	29
3.3.3 Sovelluskerroksen protokolla	31
3.4 Tietokanta	34
3.5 Käyttäjien oikeudet	35

3.6	Tietoturva	35
3.6.1	Verkkoliikennöinnin turvallisuus	36
3.6.2	Tietokannan turvallisuus	36
3.6.3	Web-sovellusten turvallisuus	38
4	JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	41
4.1	Toteutuksessa käytetyt tekniikat	41
4.1.1	Java	41
4.1.2	JavaScript	42
4.1.3	HTML	42
4.1.4	CSS	43
4.1.5	XML	43
4.1.6	SQL	43
4.2	Palvelinsovellus	44
4.3	Asiakassovellus	46
4.3.1	Paikkatiedon lukeminen GPS-vastaanottimelta	47
4.3.2	Käyttöliittymä	48
4.4	Valvontasovellus	52
5	TESTAUS JA TULOKSET	54
5.1	Testauksessa käytetty laitteisto	54
5.2	Tietoliikenteen toimivuus	55
5.3	Sovellusten suorituskyky	57
5.4	Käytettävyys ja järjestelmän jatkokehitys	61
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	64
	LÄHTEET	66

LYHENNELUETTELO

2G	Second Generation
3G	Third Generation
A-GPS	Assisted Global Positioning System
AOA	Angle of Arrival
API	Application Programming Interface
AVL	Automated Vehicle Locating
CDMA	Code Division Multiple Access
CSS	Cascading Style Sheets
DGPS	Differential Global Positioning System
DOM	Document Object Model
DOP	Dilution of Precision
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, Global Navigation Satellite System
GPGGA	Global positioning system fixed data
GPGSA	GPS dilution of precision and active satellites
GPGSV	GPS Satellites in View
GPRMC	Recommended minimum specific GPS/TRANSIT data
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
HTTPS	Hyper Text Transfer Protocol Secure
ICS	Imperial College of Science
IP	Internet Protocol
LTO	Long Term Orbit

MD5	Message-Digest algorithm 5
MCS	Master Control Station
Navstar	Navigation System using Timing and Ranging
NMEA	The National Marine Electronics Association
PDOP	Positional Dilution of Precision
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
POI	a Point of Interest
PPS	Precise Positioning Service
PRN	Pseudo Random Noise
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
RTLS	Real Time Locating System
SA	Selective Availability
SIM	A Subscriber Identity Module
SPS	Standard Positioning Service
SQL	Structured Query Language
SSL	Secure Socket Layer
TCP	Transmission Control Protocol
TDOP	Time Dilution of Precision
TOA	Time of Arrival
TTFF	Time To First Fix
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
UWB	Ultra Wide Band
VDOP	Vertical Dilution of Precision
W3C	World Wide Web Consortium
WAAS	Wide Area Augmentation System
WBAN	Wireless Body Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWW	World Wide Web

XML Extensible Markup Language
XSS Cross Site Scripting
YOURS Yet another OpenStreetMap Route Service

1 JOHDANTO

Satelliittipaikannuksen sovellukset ovat lisääntyneet voimakkaasti 1990-luvulta lähtien. Aluksi satelliittipaikannusta käytettiin lähinnä sotilaskäytössä mutta 2000-luvun alusta lähtien yhä kasvavissa määrin myös siviilikäytössä. Tunnetuin satelliittipaikannusjärjestelmä varmastikin maailmanlaajuisesti on amerikkalaisten kehittämä GPS-järjestelmä (Global Positioning System). Yhä useammin elektronisten laitteiden osana onkin tänä päivänä GPS-paikannin. Monilla meistä kulkee mukana päivittäin satelliittipaikannin integroituna matkapuhelimessa, jonka avulla voimme hyödyntää paikkatietoa, kuten etsiä sijaintimme kartalla tai sijainnin perusteella jonkin tietyn lähimmän palvelun.

Käyttäjämäärien kasvaessa 2000-luvulla, on GPS-vastaanottimien ja paikkatiedon hyödyntämisestä tullut sovelluskehittäjien kannalta yksi tärkeä mielenkiinnon kohde. Mobiiliverkot ja datayhteydet ovat mahdollistaneet paikkatiedon hyödyntämisen yhä monipuolisemmilla sovellusaloilla. Langattomien datayhteyksien yleistyttyä, voidaan paikkatietoa hyödyntää reaaliaikaisesti, mikä on usein tärkeää kriittisissä sovelluksissa, joissa on tarvetta hyödyntää sijaintitietoa nopeasti. Tässä diplomityössä onkin tarkoitus hyödyntää reaaliaikaista paikkatietoa ja toteuttaa järjestelmä, jossa GPS-järjestelmän, mobiiliverkkojen ja datayhteyksien avulla voidaan jäljittää ajoneuvoja reaaliaikaisesti.

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on tutkia kuinka satelliittipaikannusta, paikkatietoa ja langattomia datayhteyksiä hyödyntämällä voidaan toteuttaa reaaliaikainen jäljitysohjelmisto. Tämän pohjalta päätavoitteena on suunnitella ja toteuttaa järjestelmä, jonka avulla voidaan jäljittää kohde ja seurata sitä reaaliaikaisesti kartalla. Lisäksi toteutettavan järjestelmän avulla tulee voida hakea kiinteää kohdetta, kuten rakennusta, lähinnä olevia seurattavia kohteita, esimerkiksi ajoneuvoja, ja näyttää näiden etäisyys kiinteään kohteeseen. Järjestelmän avulla tulee voida myös pitää kirjaa seurattavien kohteiden kulkemista reiteistä sekä matkoista. Järjestelmä toteutetaan kotipalvelu yrityksen tarpeisiin ja sen avulla pyritään helpottamaan ja tehostamaan liikkuvien ajoneuvojen ja työntekijöiden seuranta ja nopeuttamaan työntekijöiden saamista asiakaskohteeseen hälytyksen sattuessa. Järjestelmä

toteutetaan rakenteeltaan kuitenkin sellaiseksi, että se on käytettävissä muuallakin, missä tarvitaan vastaavia ominaisuuksia. Työn toteutus rajataan koskemaan yleisesti saatavilla olevia kuluttajaluokan laitteita niin GPS-vastaanottimien kuin muun laitteiston osalta, joilla järjestelmä toteutetaan ja kaikki testaukset sekä mittaukset suoritetaan. Työn tavoitteina on lisäksi selvittää toteutettavan järjestelmän toiminnan taustalla olevan GPS-järjestelmän rakenne ja satelliittipaikannuksen toimintaperiaate sekä paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat virhelähteet. Tavoitteena on myös selvittää kuinka tiedonsiirto voidaan toteuttaa turvallisesti järjestelmän eri osien välillä niin, että ulkopuoliset eivät pääsisi tietoihin käsiksi. Järjestelmän tietoturvan kannalta pohditaan tietokantaan sekä web-sovelluksiin vaikuttavia ja toteutuksessa huomioitavia tekijöitä.

1.2 Työn rakenne

Diplomityön rakenne jakautuu niin, että ensin teoriaosassa tutustutaan kappaleessa kaksi paikannustekniikoihin ja selvennetään tarkemmin GPS-järjestelmän rakenne ja satelliittipaikannuksen teoreettinen toiminta. Kuinka sijainnin määrittäminen tapahtuu ja miten järjestelmä toimii. Lisäksi kappaleessa kaksi selvennetään paikannuksen virhelähteet ja GPS:n tarkkuuden parantamiseen liittyvät käsitteet ja tekniikat kuten DGPS (Differential Global Positioning System), WAAS (Wide Area Augmentation System) ja EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) sekä esitellään GPS-järjestelmän modernisointisuunnitelmat ja muut satelliittipaikannusjärjestelmät. Lopuksi kappaleessa kaksi käsitellään reaaliaikaista paikannusta niin laajalla alueella kuin paikallisella tietyllä rajatulla alueella. Kappale kolme käsittelee järjestelmän suunnittelua, jossa esitellään vaatimukset toteutettavan järjestelmän rakenteelle ja arkkitehtuurille sekä pohditaan tietoturvanäkökohtia. Kappaleessa neljä esitellään toteutuksessa käytetyt tekniikat sekä esitellään järjestelmään toteutetut eri sovellukset. Kappaleessa viisi käydään läpi testaus ja analysoidaan testauksessa saatujen tulosten perusteella järjestelmän toimivuutta. Lopuksi kappaleessa kuusi esitellään johtopäätökset työn ja testauksen pohjalta.

2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄT

Nykyisen satelliittipaikannuksen historian voidaan katsoa alkavan vuodesta 1973, jolloin Yhdysvaltain puolustusministeriö teki päätöksen ilmavoimien uuden paikannusjärjestelmän tilaamisesta. Uusi järjestelmä sai nimekseen Navigation System using Timing and Ranging (Navstar) Global Positioning System (GPS). Ensimmäinen järjestelmän satelliitti laukaistiin jo vuonna 1978 mutta järjestelmä oli vuoteen 1984 saakka pelkästään Yhdysvaltojen puolustusministeriön käytössä. Huhtikuussa 1995 GPS:n julistettiin olevan operatiivisesti täysin valmis, jolloin järjestelmä koostui 24 satelliitista. Suurin yksittäinen mullistus satelliittipaikannuksessa tavallisten kuluttajien kannalta tapahtui kuitenkin 1.5.2000, jolloin Yhdysvaltain puolustusministeriö sulki siviilikäyttöön suunnatun paikannussignaalin tarkoituksenmukaisen häirinnän SA:n (Selective Availability). Tämän jälkeen siviilikäyttöön tarkoitettujen paikantimien (ei avustettujen / lisäinformaatiota saavien) virhe putosi satojen metrien sijasta 5-10 metrin luokaan [MIE06][ADR02]. SA:n lopettaminen mahdollisti GPS-järjestelmän laajamittaisen leviämisen ja tarkan paikkatiedon hyödyntämisen sekä mm. nykyaikaisten autonavigaattoreiden kehittämisen.

2.1 Paikkatieto

Paikkatiedolla (Geographic Information) tarkoitetaan tietoa, johon liittyy maantieteellinen sijainti. Se on tietoa kohteista, joiden paikka Maan suhteen tunnetaan [GEO05]. Kuvattava tieto eli niin sanottu ominaisuustieto voi olla lähes mitä tahansa, kuten ilman lämpötila, liikennemerkki tai korkeus merenpinnasta. Paikkatietoa siitä tulee kuitenkin vasta, kun sille annetaan sijaintitieto. Sijaintitieto voi viitata yhteen pisteeseen, jota voidaan ilmaista koordinaattitietona. Monien meistä usein käyttämää paikkatietoa ovat digitaaliset kartta- ja rekisteriaineistot, jotka kuvaavat luontoa sekä rakennettua ympäristöä. Tiedot maastosta, ympäristöstä ja sen tilasta, luonnonvaroista ja maankäytöstä ovat paikkatietoa. Paikkatieto voi kuvata myös jotakin ilmiötä tai toimintaa, jonka sijainti tunnetaan.

Ominaisuustietojen ja sijaintitietojen yhdistämisen tuloksena syntyy siis paikkatietoa, joka muodostaa paikkatietoaineiston. Paikkatietoaineiston voi muodostaa esimerkiksi taulukko, johon on talletettu tietyn maantieteellisen alueen kaikkien rakennusten sijaintitiedot ja ominaisuustietona jokaisen rakennuksen pinta-ala. Paikkatietoaineiston käsittely tapahtuu

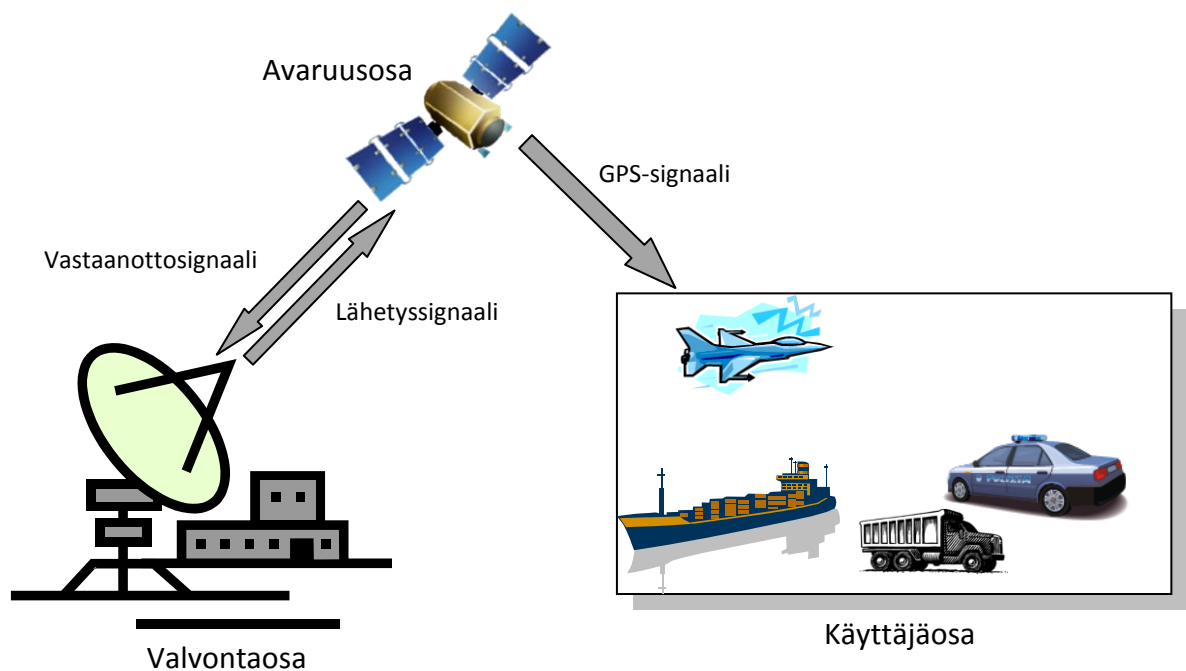
nykyisin tietokonepohjaisissa järjestelmissä, joita kutsutaan paikkatietojärjestelmiksi (Geographic Information System, GIS). Paikkatietojärjestelmissä paikkatiedot talletetaan tietokantoihin, joita tietokoneilla voidaan tarkastella esimerkiksi visuaalisena karttaesityksenä. Vaikka GIS suoranaisesti viittaa paikkatietoa käsittelevään tietojärjestelmään, pitää se kuitenkin sisällään tarvittavan tekniikan ohella kaiken, mitä paikkatiedon hyödyntämiseen tarvitaan, kuten aineistot, työkalut sekä käyttäjän.

Paikkatietoa käytetään hyväksi monilla aloilla, kuten suunnittelussa ja tutkimuksessa. Tavalliselle kuluttajalle paikkatieto on tuttua monista Internetin karttapalveluista ja esimerkiksi autonavigaattoreista. Navigaattoreissa auton sijainti paikannetaan satelliittipaikantimen määrittämien koordinaattien avulla. Nämä koordinaatit ovat paikkatietoon liitettävää sijaintitietoa. Navigaattorin kuvaruudulla näkyvä tieverkko puolestaan esittää navigaattoriin ladattua paikkatietoaineistoa. Tieverkon lisäksi navigaattoriin voidaan ladata esimerkiksi autopesuloiden, tankkausasemien, hotellien jne. sijaintia ilmaisevat koordinaatit, joista useimmiten käytetään lyhennettä POI (a Point of Interest). Ominaisuustietoina näihin voitaisiin puolestaan liittää palveluiden aukioloajat ja hintatiedot ja esimerkiksi hotellien tapauksessa reaaliaikainen tieto huoneiden saatavuudesta.

2.2 GPS-järjestelmän rakenne ja signaalit

GPS-järjestelmä koostuu kolmesta pääosasta (kuva 1): avaruusosa (space segment), valvontaosa (control segment), ja käyttäjäosa (user segment). Avaruusosa koostuu satelliiteista, jotka lähettävät navigointiviestit käyttäjäosalle. Tällä hetkellä (toukokuu 2010) avaruusosaan kuuluu yhteensä 32 satelliittia, joista toiminnassa on 31 [USN10]. GPS-satelliitit kiertävät maapalloa kuudella ratatasolla eli kiertoradalla, joiden väli on 60 astetta ja kulma päiväntasaajaan nähden 55 astetta. Maapallon pinnalta etäisyys kiertoradoille on keskimäärin 20 183 kilometriä ja satelliitit kiertävät maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa. Tarkan kiertoajan ollessa 11 tuntia ja 58 minuuttia eli yksi tähtivuorokausi. Valvontaosa koostuu maailmanlaajuisesta verkosta, johon kuuluu keskusasema (Master Control Station, MCS), joka valvoo ja ohjaa järjestelmän toimintaa, sekä maa-asemista, jotka seuraavat ja valvovat tapahtumia taivaalla. Maa-asemat keräävät tietoa mm. satelliittien liikkeistä ja välittävät tiedot keskusasemalle prosessoitavaksi.

Prosessoinnin tuloksena saadaan laskettua ennustettu satelliitin navigointidata, joka sisältää mm. satelliitin kelloparametrit, almanakkatiedon ja satelliitin ratatiedot, joista voidaan laskea satelliitin tarkka sijainti. Tämä tuore navigointitieto lähetetään maa-asetille ja nämä maa-asetat puolestaan lähettävät tuoret tiedot satelliiteille, jotka päivittävät omat tietonsa. Tämän jatkuvan seurannan ja päivittämisen kautta GPS-järjestelmän paikannustarkkuutta saadaan ylläpidettyä ympärivuorokautisesti läpi vuoden. [ELR02]

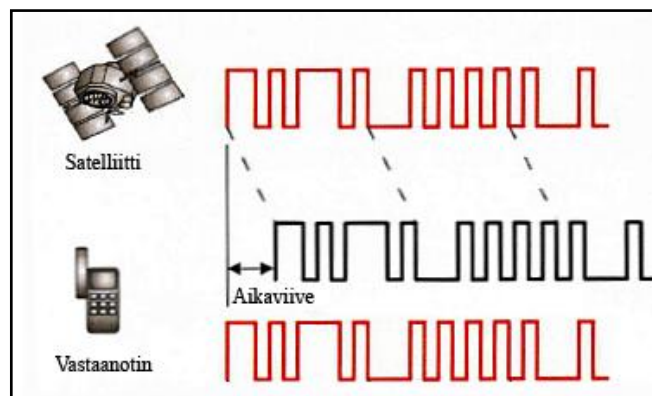


Kuva 1. GPS-järjestelmän osat.

GPS-järjestelmä tarjoaa määrityksensä mukaisesti kaksi eri palvelua: SPS-palvelun (Standard Positioning Service) ja PPS-palvelun (Precise Positioning Service). SPS-palvelu [GPS95] on tarkoitettu siviilikäyttöön ja se on kaikille avoin toimittain satelliiteista siviilisignaalia L1 kaikkien vapaaseen käyttöön. PPS-palvelun toimittama L2-signaali puolestaan on tarkoitettu vain sotilas- ja viranomaiskäyttöön. GPS-järjestelmässä käytetään CDMA-koodaustekniikkaa (Code Division Multiple Access) signaalien koodaamiseen, mikä tarkoittaa sitä, että kaikki satelliitit lähettävät samoilla taajuuksilla. Kukin satelliitti lähettää tietoa kahdella eri taajuudella: L1 (1575,42 MHz) ja L2 (1227,60 MHz), joista L2 on salauksen vuoksi käytettävissä vain PPS-palvelussa. Siviilipaikantimet siis hyödyntävät vain L1-signaalia. Molempia signaaleja hyödyntämällä voidaan PPS-palvelussa ionosfäärin aiheuttamat aikaviiveet korjata ja päästä näin tarkempaan sijainnin määrittämiseen.

2.3 Satelliittipaikannuksen toimintaperiaate

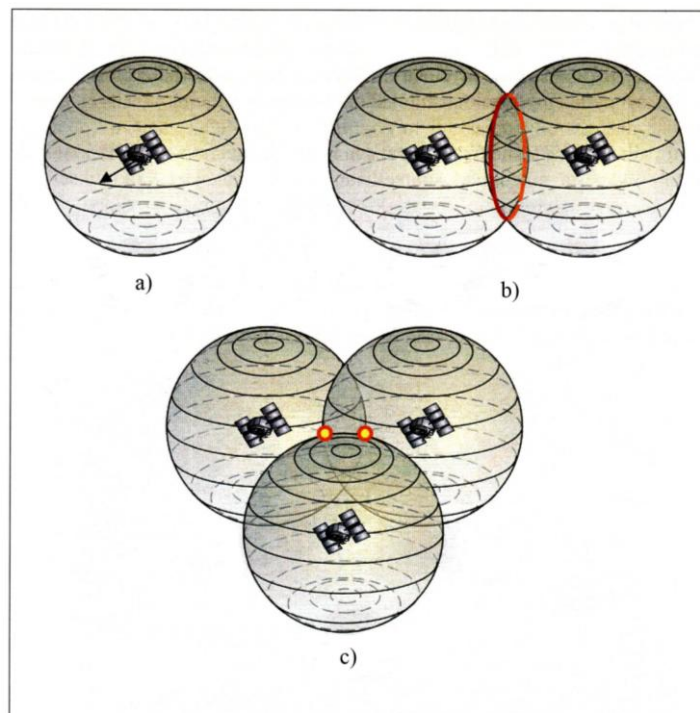
GPS:n, kuten muidenkin satelliittipaikannusjärjestelmien, toiminta perustuu satelliittien ja vastaanottimien välisen radiosignaalin kulkuajan mittaamiseen ja pseudo- eli näennäisetäisyyksien laskentaan. Näitä laskettuja etäisyyksiä kutsutaan näennäisetäisyyksiksi, koska laskettu radiosignaalin kulku-aika sisältää aina jonkin asteisen kellovirheen. Radiosignaalin kulku-aika, josta etäisyys lasketaan, saadaan mitattua PRN-koodin (Pseudo Random Noise) avulla. Sekä vastaanotin että satelliitti muodostavat kumpikin samaan aikaan täsmälleen samaa ns. valesatunnaista PRN-koodia. Kun verrataan satelliitilta vastaanotettua koodia ja vastaanottimen omaa koodia, voidaan niiden välillä laskea aikaero kuvan 2 mukaisesti. Tämä ero on yhtä suuri kuin signaalin kulku-aika satelliitista vastaanottimeen ja kun tämä aikaero kerrotaan valonnopeudella tyhjiössä, saadaan paikantimen ja satelliitin välinen etäisyys.



Kuva 2. Aikaeron mittaus. [AIR07]

Satelliitit voidaan nähdä avaruudessa kiintopisteinä, joiden sijainti tunnetaan tarkasti. Jokaisen satelliitin oma tarkka fyysinen sijainti avaruudessa on laskettavissa kyseisen satelliitin lähettämän navigointiviestin osana olevista efemeridi- eli ratatiedoista. Vastaanotin laskee itse oman sijaintinsa näiden vastaanotettujen rataparametrien sekä aikamittausten perusteella. Tarkempi kuvaus satelliitin paikan laskemisesta rataparametrien perusteella löytyy lähteestä [POU07, s.131-165]. Kun kolmen satelliitin paikka tunnetaan ja vastaanottimen välinen etäisyys näihin lasketaan, voidaan vastaanottimen sijainti määrittää kolmiomittaukseen eli trilateraatioon perustuen (kuva 3) [AIR07]. Yhdestä satelliitista laskettu etäisyys rajaa havaitsijan oman paikan jonnekin pallopinnalle, joka on lasketun etäisyyden päässä kyseisestä satelliitista (kuva 3a). Kun etäisyys tunnetaan toiseen

satelliittiin, voidaan havaitsijan paikka rajata kahden pallon avaruuteen muodostamalle leikkauspinnalle eli ympyrän kehälle (kuva 3b). Kun etäisyys tunnetaan vielä kolmanteen satelliittiin, saadaan kolmas pallopinta, joka leikkaa aiemmin muodostuneen ympyrän kehän kahdessa pisteessä (kuva 3c), joista toinen on paikantimen sijainti käytännössä. Toinen pisteistä voidaan hylätä, jos oletetaan laitteen sijaitsevan maan pinnalla, sillä toinen näistä pisteistä voi määrittellä vastaanottimen sijainnin korkeudelle, joka on satelliittejakin kauempana maan pinnasta tai vaihtoehtoisesti hyvin syväälle maan sisälle. Koska paikantimen oma kello on huomattavasti epätarkempi kuin satelliittien atomikellot, on se helposti väärässä ajassa, jolloin syntyy kellovirhe, jonka vuoksi vastaanotin ja satelliitti eivät muodosta kuvan 2 mukaisesti PRN-koodia samanaikaisesti. Sen vuoksi tarvitaan vielä neljäs satelliitti, jonka avulla paikannin pystyy ratkaisemaan oikean ajan ja kompensoimaan kellovirheen [AIR07]. Tarkempi matemaattinen kuvaus eräästä tavasta vastaanottimen sijainnin laskemiseksi löytyy mm. Yamaguchin julkaisusta [YAM06].



Kuva 3. Havaitsijan sijainnin määrittäminen GPS-järjestelmässä. [AIR07]

2.4 Ensimmäinen paikkatieto ja avustettu GPS

Ensimmäisellä paikkatiedolla tarkoitetaan GPS-laitteen antamia ensimmäisiä kelvollisia koordinaatteja sen käynnistämisen jälkeen. TTFF:llä (Time To First Fix) eli ensimmäisen

paikkatiedon saantinopeudella tarkoitetaan puolestaan aikaa, joka GPS -laitteella kuluu sen nykyisen sijainnin määrittämiseen laitteen käynnistämishetkestä mitaten. GPS-laitteen käytettävyyden kannalta paikkatiedon saantinopeudella on suuri merkitys, jotta ensimmäisiä koordinaatteja ja sijaintitietoa ei tarvitsisi odotella useita minuutteja. Ensimmäisen paikkatiedon saannin nopeuttamiseksi on kehitetty avustettu GPS. Avustetun GPS:n periaatteena on nopeuttaa TTFF:ää siirtämällä avustustietoa tietoverkon, esimerkiksi matkapuhelinverkon välityksellä suoraan GPS-laitteen muistiin. Avustustieto voi olla avustuspalvelimesta ja A-GPS (Assisted GPS) vastaanottimesta riippuen mm. almanakka-, efemeridi-, tai aikatietoa [KEM07]. Avustustieto voi olla myös ns. raakapositiontietoa, jolloin ensimmäinen sijainti saadaan esimerkiksi matkapuhelinverkon solutunnistuksen perusteella.

Paikkatiedon saannin nopeuttamiseksi avustetussa GPS:ssä ratatiedot voidaan ladata satelliitin tuottaman signaalin sijasta palveluntarjoajan A-GPS palvelimelta, jolla on tiedot valmiiksi vastaanotettuna satelliiteilta. Tällöin vastaanotin voi saada efemeriditiedot huomattavasti nopeammin käyttöönsä, kuin odottelemalla niitä satelliiteilta, jotka lähettävät tietoa ainoastaan 50 bps nopeudella. Mikäli aktiivista datayhteyttä ei ole saatavilla, on olemassa vaihtoehto, jossa GPS-vastaanottimeen ladataan ennalta lasketut ratatiedot. Tähän perustuvat Offline A-GPS ratkaisut hyödyntävät LTO-teknologiaa (Long Term Orbit), jolloin satelliittien ratatiedot on laskettu etukäteen useamman päivän, esimerkiksi kahden viikon, ajaksi ja ne ladataan palveluntarjoajalta tietoverkon välityksellä GPS-laitteeseen [LUN05]. Esilasketut tiedot tulevat sitä epätarkemmiksi mitä pidemmän ajan ne ovat päivittämättä. Esilasketujen tietojen etuna on, ettei laitteen tarvitse välttämättä olla jatkuvasti yhteydessä tietoverkkoon. Molemmissa A-GPS tekniikoissa vastaanotin kuitenkin käynnistyksen jälkeen vastaanottaa satelliiteilta aivan normaalisti tarkan efemeriditiedon ja vastaanotettuaan siirtyy käyttämään sitä. Avustetusta GPS:stä on suurin hyöty kun ollaan vaikeissa ympäristöissä, esimerkiksi urbaanilla alueella, jolloin signaalien kuuluvuus satelliitteihin voi olla rajoitettu. Tällä tekniikalla voidaan päästä kyseisissä vaikeissakin olosuhteissa alle kymmenen sekunnin lämminkäynnistysaikoihin [LEH08] verrattuna tavalliseen noin 30 sekunnin aikaan. Tällä hetkellä A-GPS tekniikat ovat kuitenkin hyvin valmistajakohtaisia ja sidottuja pelkästään heidän omiin tuotteisiinsa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että järjestelmien yhteensopivuus ei ole millään tavalla taattua, jolloin avustustieto tulee ladata aina laitteen valmistajan omalta palvelimelta.

2.5 Paikannuksen tarkkuus ja virhelähteet

Tarkkuus on aina ollut yksi tärkeimmistä kysymyksistä satelliittipaikannuksessa ja sitä on GPS-järjestelmässä tutkittu useissa tutkimuksissa. Vuonna 2005 tehdyssä tutkimuksessa [WIN05] tutkittiin kuluttajaluokan laitteiden tarkkuutta suorittamalla mittauksia erilaisissa ympäristöissä. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että käyttäjät voivat odottaa sijainnin tarkkuutta noin viiden metrin sisällä todellisesta pisteestä avoimella taivaalla, 7 m nuoressa metsikössä ja 10 m suljetun tiheän latvuston alla. Tutkimus suoritettiin havupuiden hallitsemassa metsässä läntisessä Oregonissa. GPS:n tarkkuutta kaupunkiympäristössä tieliikennöinnin näkökulmasta on puolestaan tutkittu Lontoon ICS:n (Imperial College of Science) tekemässä tutkimuksessa [OCH02]. Tutkimuksen tuloksena todetaan, että suurin osa Lontoon keskustassa ajetun reitin pisteistä osuu 20 metrin sisälle tien todellisesta keskipisteestä. Yleisesti on tiedossa, että kaupunkiympäristö ja sen aiheuttamat heijastukset ovat GPS-laitteille haastavampi paikka kuin avoin maasto, mikä selittää tarkkuuseroa avoimessa maastossa tehtyihin tutkimuksiin.

Näiden tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että GPS-paikannusta käyttämällä kyetään avoimessa maastossa pääsemään yleisesti noin 5 metrin tarkkuuteen ja kaupunkimaisessa ympäristössä noin 10-20 metrin tarkkuuteen todellisesta sijainnista. Satelliittipaikannuksen tarkkuus voi kuitenkin vaihdella huomattavasti olosuhteista ja ympäristöstä riippuen. Maapallon ilmakehä on yksi tekijöistä, joka aiheuttaa virheitä satelliittipaikannuksen tarkkuuteen. Ilmakehä voi muuttaa radiosignaalien kulkemaa matkaa sekä todellisesti että näennäisesti. Tästä seuraa enemmän viivettä, joka vääristää GPS-laitteen laskemaa paikantimen ja satelliitin välistä etäisyyttä. Alempana ilmakehässä olevan troposfäärin vaikutus virheeseen on hyvin pieni verrattuna ylempänä olevan ionosfäärin aiheuttamaan virheeseen (taulukko 1).

Satelliitin itsensä aiheuttamia virheitä paikannukseen ovat sen kellovirhe sekä ratatietojen epätarkkuus. Satelliitin atomikelloon jäävät hyvin pienet virheet aiheuttavat keskimäärin noin metrin luokkaa olevan virheen paikannukseen [GPS01]. Satelliittien ratatietoihin puolestaan virhettä aiheuttavat gravitaatiovoimat, jonka vuoksi satelliittien radoissa pienet muutokset ovat mahdollisia. Satelliitin lisäksi itse GPS-vastaanotin voi aiheuttaa virheen paikannuksen tarkkuuteen. Tällöin puhutaan vastaanottimen kohinasta aiheutuvasta virheestä, joka johtuu laitteen elektroniikasta ja signaalinkäsittelyn epätarkkuuksista.

Lisäksi epätarkkuutta voi syntyä laitteen laskiessa pitkiä lukusarjoja ja tehdessä pyöristyksiä laskutoimitusten välillä. Näiden lisäksi monitie-eteneminen voi aiheuttaa paikantimen laskemaan sijaintiin useiden kymmenien metrien suuruisen virheen. Virheen suuruus riippuu kuitenkin täysin ympäristöstä. Monitie-etenemisen aiheuttaa satelliitin lähettämän signaalin heijastuminen jostakin vastaanottimen lähistöllä olevasta objektista, jonka vuoksi vastaanotin voi havaita suoraan satelliitista tulevan signaalin sijasta heijastuneen ja viivästyneen signaalin.

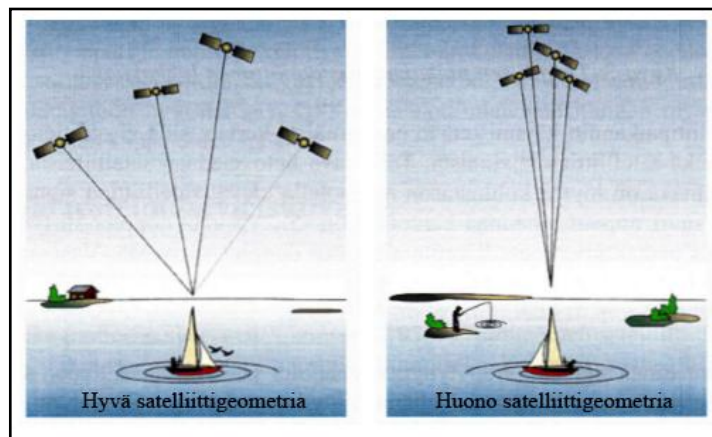
Taulukko 1. GPS-paikannukseen virhettä aiheuttavien tekijöiden keskimääräisiä suuruuksia. [GPS01]

Virhelähde	Keskimääräinen virhe (RMS)
Ionosfääri	7,00 m
Satelliitin kello	1,43 m
Vastaanottimen kohina	0,80 m
Satelliitin rata	0,57 m
Troposfääri	0,25 m

Edellä esitettyjen pseudoetäisyyksien mittaamiseen virhettä aiheuttavien tekijöiden lisäksi paikannustarkkuuteen vaikuttaa satelliittigeometria. Yksinkertaistettuna satelliittigeometria kuvaa satelliittien sijaintia toisiinsa nähden vastaanottimen näkökulmasta eli sitä kuinka hajallaan satelliitit ovat taivaalla vastaanottimen sijainnista katsottuna. Hyvällä satelliittigeometrialla tarkoitetaan tilannetta, jossa vastaanottimesta katsottuna satelliitit, joita käytetään sijainnin laskemiseen, ovat jakautuneet tasaisesti hajalleen eri puolille taivasta, kuten kuvassa 4 vasemmalla. Huono satelliittigeometria taas syntyy, kun satelliitit ovat joko pienellä alueella hyvin lähellä toisiaan tai muodostavat suoran linjan yhdessä vastaanottimen kanssa (kuva 4 oikealla). Tilanteen voi aiheuttaa esimerkiksi kaupunkialueella navigoitaessa korkeat rakennukset. Mitä suurempi on satelliittien sisään jäävä tilavuus, sitä parempi satelliittigeometria ja sitä parempaan paikannustarkkuuteen voidaan päästä. Satelliittigeometrian vaikutusta mittaustarkkuuteen kuvataan yleisesti DOP-luvuilla (Dilution of Precision). Mitä pienempi DOP-luku on, sitä parempi on satelliittigeometria ja sen pienempi on vaikutus mittaustarkkuuteen eli DOP luvun suuruus on kääntäen verrannollinen geometrian paremmuuteen. Yleisesti ottaen hyvänä DOP-arvona pidetään lukuarvoja, jotka ovat alle 5 ja huonoina arvoja jotka ovat yli 8. DOP-lukujen tarkempi matemaattinen määrittely ja laskentakaavat on esitelty lähteessä [ZHO06].

Eri käyttötarkoituksiin on määritelty erilaisia DOP-lukuja:

- GDOP (Geometric Dilution Of Precision): kokonaistarkkuus, 3D-koordinaatit ja aika
- PDOP (Positional Dilution Of Precision): sijainnin tarkkuus, 3D-koordinaatit
- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision): horisontaalinen tarkkuus, 2D-koordinaatit (pituus- ja leveyskoordinaatit)
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision): vertikaalinen tarkkuus, korkeus
- TDOP (Time Dilution Of Precision): ajan tarkkuus



Kuva 4. Satelliittigeometria. [AIR07]

2.6 GPS:n laajennukset

Satunnaisten virheiden, kuten ilmakehän, vaikutuksen poistamiseksi GPS-järjestelmän rinnalle on kehitetty menetelmiä, joilla paikannusta ja paikkatiedon tarkkuutta voidaan parantaa. DGPS on yksi tällainen GPS-järjestelmän laajennus, jossa käytetään hyväksi kiinteitä tukiasemia. DGPS:n toiminta perustuu kahden GPS-vastaanottimen käyttöön, joista toisen vastaanottimen (tukiaseman) sijainti tunnetaan tarkasti. Koska tukiaseman sijainti tiedetään tarkasti, pystyy se laskennallisesti päättämään satelliittien ratatietojen ja oman sijaintinsa perusteella etäisyydet havaittuihin satelliitteihin. Kun se samalla myös mittaa etäisyydet normaalin paikantimen tavoin, saadaan mitatun ja lasketun etäisyyden erotuksena selville etäisyyksiä häiritsevien virheiden suuruus eli differentiaalikorjaus. Differentiaalikorjaukset välitetään GPS-vastaanottimille radiotien välityksellä. Korjaustiedon avulla vastaanotin voi korjata omia pseudoetäisyyksmittauksia sekä määrittää sijaintinsa tarkemmin perustuen todellisiin etäisyyksiin.

WAAS ja EGNOS tarjoavat samankaltaista korjaustietoa perustuen referenssiasiemiin kuin edellä esitelty DGPS-järjestelmäkin. Erotuksena WAAS:lla ja EGNOS:lla DGPS-järjestelmään on se, että korjaustieto välitetään GPS vastaanottimille satelliittien kautta maassa olevien lähettimien sijasta. Satelliittien välityksellä tarjottava korjaussignaali mahdollistaa suuremman peittävyuden kuin maateitse tapahtuva siirto radiotien välityksellä. WAAS-järjestelmän kahden satelliitin tarjoaman korjaustiedon käyttö on ollut mahdollista vuodesta 2001 lähtien Pohjois-Amerikassa (kuva 5), jonka yllä järjestelmän molemmat satelliitit sijaitsevat. EGNOS-järjestelmään puolestaan kuuluu kolme satelliittia, joiden signaalit ovat vastaanotettavissa Euroopan alueella. Kaksi satelliiteista lähettää tällä hetkellä hyödynnettävissä olevaa signaalia ja yksi satelliiteista on vain teollisuuden testikäytössä. EGNOS järjestelmä siirtyi lokakuun 2009 alussa operatiiviseen vaiheeseen, jolloin sen avoin palvelu tuli kaikkien käytettäväksi. GPS-korjaustiedon lisäksi EGNOS-järjestelmässä lähetettävä tieto tulee olemaan yhteensopivaa Eurooppalaisen Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän kanssa. Satelliittiavusteisen korjaustiedon myötä on mahdollista päästä hyvin suureen tarkkuuteen kuten vuonna 2005 tehty tutkimus osoittaa [WIT05]. Kyseisessä tutkimuksessa WAAS:n avulla mediaanipoikkeama oli vain 0,37 metriä tunnetulta reitiltä, kun taas poikkeama WAAS päältä pois kytkettynä oli 4,8 m.



Kuva 5. WAAS- ja EGNOS- järjestelmien peittoalue. [ESA03]

2.7 GPS-järjestelmän tulevaisuus

GPS-järjestelmää pyritään kehittämään ja parantamaan jatkuvasti, jotta myös siviilikäyttäjille voitaisiin tarjota entistä parempaa paikannustarkkuutta. Modernisoinnin

ensimmäisessä vaiheessa tarjotaan uusi L2C-signaali (1227.6 MHz), jonka tarkoituksena on mahdollistaa myös siviilikäytössä ionosfäärin aiheuttaman aikaviiveen korjaus. Ensimmäinen tätä signaalia tukeva satelliitti lähetettiin syyskuussa 2005 ja tällä hetkellä (4.5.2010) kyseisiä satelliitteja on taivaalla kahdeksan. L2C-signaali on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2011 aikana, jonka jälkeen sen hyödyntäminen on mahdollista. Seuraavassa vaiheessa siviilipaikannukseen tullaan tarjoamaan L5-signaali (1176,45 MHz), joka tulee olemaan yhteensopiva Galileo- ja GLONASS-järjestelmien (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, Global Navigation Satellite System) kanssa. L5-signaalia tullaan lähettämään korkeammalla teholla ja laajemmalla taajuuskaistalla kuin nykyisiä GPS-signaaleja. Ensimmäisen L5-signaalia tukevan satelliitin laukaisu on ajoitettu tapahtuvaksi vuoden 2010 aikana ja signaalin käyttöönotto on tarkoitus tapahtua vuoden 2015 aikana. Kolmannen sukupolven satelliittien myötä tullaan tarjoamaan vielä kolmas uusi siviilipaikannukseen tarkoitettu signaali, L1C (1575,25 MHz), joka tulee olemaan yhteensopiva nykyisen L1-signaalin kanssa. Tätä signaalia tullaan myös lähettämään suuremmalla teholla ja tarkoituksena on tämän lisäksi parantaa yhteensopivuutta Galileo-järjestelmän kanssa [USA06]. Ensimmäinen Block III-satelliitti on tarkoitus laukaista vuonna 2014 ja järjestelmässä odotetaan olevan 24 toimivaa kolmannen sukupolven satelliittia vuonna 2021.

2.8 Muut satelliittipaikannusjärjestelmät

GPS-järjestelmän lisäksi on kehitetty muitakin toimintaperiaatteeltaan samanlaisia satelliitteihin perustuvia paikannusjärjestelmiä. Näistä GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, Global Navigation Satellite System) on Neuvostoliiton kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on tällä hetkellä Venäjän käytössä. GLONASS järjestelmä tarjoaa GPS-järjestelmän tavoin kaksi erityyppistä navigointisignaalia: maailman laajuiseen siviilikäyttöön tarkoitetun signaalin (standard accuracy signal) sekä sotilaskäyttöön tarkoitetun signaalin (high accuracy signal). [GLO08] GLONASS saavutti täydellisen toiminnallisen tilan tammikuussa 1996 jolloin paikannukseen oli käytettävissä 24 satelliittia. Venäjän taloudelliseen tilanteeseen liittyvien ongelmien vuoksi järjestelmässä oli vain 7 toiminnassa olevaa satelliittia tammikuussa 2001. Tämän jälkeen Venäjän hallitus teki uuden kansallisen ohjelman vuosille 2002-2011 GLONASS-järjestelmän palauttamiseksi toimintakuntoon. Tällä hetkellä (toukokuu 2010)

järjestelmään kuuluu 23 satelliittia, joista toiminnassa on 21 [GLO10]. Täysi toiminnallinen kyky 24 satelliitilla on tarkoitus saavuttaa vuoden 2010 loppuun mennessä [INS10].

Galileo on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on kehitetty alusta alkaen ei-sotilaalliseen käyttöön ja se on suunniteltu yhteistoiminnalliseksi GPS-järjestelmän kanssa. Täydessä toiminnassa olevassa järjestelmässä tulee olemaan kolmella radalla yhteensä 30 satelliittia, jotka ovat 56-asteen kulmassa päiväntasaajaan nähden, mikä takaa paremman peittoasteen pohjoisille leveysasteille kuin GPS-järjestelmä. [ALK05] Alun perin järjestelmän piti olla täydessä toiminnassa vuoden 2008 aikana [VEJ07] mutta hanke on viivästynyt useaan otteeseen ja ensimmäisten neljän operatiivisen satelliitin laukaisu on tarkoitus aloittaa vuoden 2010 lopussa. Loppujen 26-satelliitin, joiden avulla saavutetaan täysi toiminnallinen tila, laukaisu on tarkoitus aloittaa heinäkuussa 2012 [INS10a]. Galileo satelliitit tulevat lähettämään yhteensä kymmentä eri signaalia kolmella eri taajuusalueella [VEJ07]. Näistä signaaleista kaksi tulee olemaan yhteensopivia GPS-järjestelmän L1- ja L5-signaalien kanssa. Näiden kymmenen eri signaalin avulla Galileo-järjestelmässä on tarkoituksena tarjota viisi erilaista palvelua, joista avoin palvelu tulee olemaan kaikkialla signaalien kuuluvuusalueella vapaasti hyödynnettävissä. [ZAI06] [ESA07]

Compass-järjestelmä (tunnetaan myös nimellä Beidou-2) on kiinalainen projekti, jonka tarkoituksena on kehittää itsenäinen paikannusjärjestelmä. Compass on myös GPS:a sekä Galileoa vastaava satelliittipaikannusjärjestelmä. Compass:n on tarkoitus koostua 35 toiminnallisesta satelliitista, joiden on tarkoitus mahdollistaa tarjottavien palvelujen kattavuus ympäri maapallon. Kuten GPS-järjestelmässäkin, on Compass:ssa tarkoitus tarjota kahta eri tason palvelua: avoin ja rajoitettu. Avoin palvelu on tarkoitettu kaikkien käyttöön ilmaiseksi ja rajoitettu palvelu on tarkoitettu käytettäväksi sotilaallisiin tarkoituksiin. Compass-projektissa on tähän mennessä laukaistu kolme satelliittia ja koko järjestelmän on tarkoitus olla valmiina ja toiminnassa vuoteen 2020 mennessä.

2.9 Reaaliaikainen paikannus

Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä RTLS (Real Time Locating System) tarkoittaa kansainvälisen määrittelyn [ISO06] mukaan järjestelmää, joka tarjoaa tiedon omaisuuden

sijainnista jatkuvasti ja tasaisin väliajoin. Samaisen määrittämisen mukaan RTLS on yhdistelmä langattomia laitteita ja reaali-aikaohjelmistoja, joita käytetään jatkuvasti määrittämään ja tarjoamaan omaisuuden ja resurssien sijainti. Yleisemmällä tasolla RTLS voidaan kuitenkin nykyisin määrittää tarkoitettua järjestelmää, jonka avulla voidaan havaita kohteen, joka voi olla mitä tahansa autoista tai esineistä ihmisiin, nykyinen sijainti reaali-aikaisesti. Tyypillisesti RTLS koostuu langattomista solmuista (kohteista joita paikannetaan), joita kutsutaan tageiksi ja jotka lähettävät signaalin langattomasti eteenpäin. RTLS-tekniikkaa käytetään useissa sovelluksissa, joista esimerkkejä ovat (ajoneuvo)laivaston jäljitys/seuranta (fleet tracking), varaston ja omaisuuden jäljitys (asset tracking) ja henkilöiden jäljitys. Nykyiset RTLS-järjestelmät perustuvat langattomiin teknologioihin kuten WLAN (Wireless Local Area Network), Bluetooth, UWB (Ultra Wide Band), RFID (Radio Frequency IDentification) ja GPS.

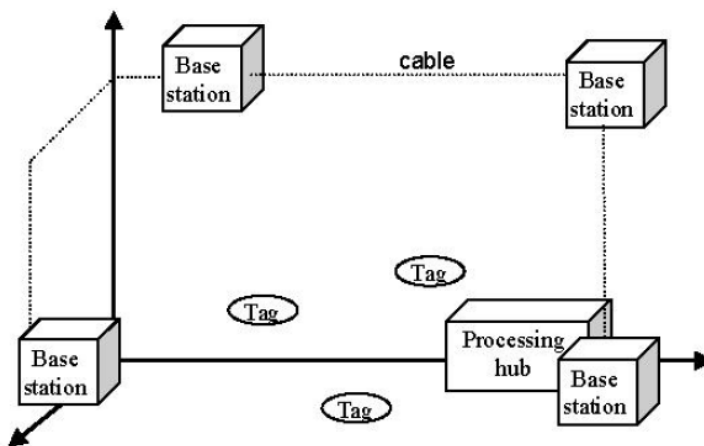
2.9.1 Reaaliaikapaikannus paikallisella alueella

Paikallisella, tietyllä rajatulla alueella, esimerkiksi yrityksen sisätiloissa tapahtuvaan reaaliaikapaikannukseen, voidaan käyttää erilaisia langattomia tekniikoita. RFID on yksi tällaisista tekniikoista, joka nimensä mukaisesti on radiotaajuuteen perustuva etätunnistusmenetelmä. Sitä käytetään yleisesti kohteiden tunnistamiseen mm. viivakoodien sijasta sekä tiedon keräämiseen, esimerkiksi välittämään lämpötilatietoa kohteesta, johon tagi on kiinnitetty. RFID:tä voidaan myös pelkän kohteiden identifioinnin lisäksi käyttää niiden sijainnin paikantamiseen. RFID:n avulla paikannuksessa tarkkuuden osalta voidaan päästä noin 2-3 metrin luokkaan [KOU07]. Aktiivisen RFID-tagin toimintaetäisyys on maksimissaan noin 100 metrin luokkaa.

UWB-tekniikka määritellään langattomaksi tekniikaksi, jossa signaalin kaistanleveyden suhde signaalin keskitaajuuteen on suurempi kuin 20 % tai kaistanleveys on vähintään 500MHz [DOM03]. UWB-tekniikka mahdollistaa erittäin nopeat langattomat datayhteydet niin sanotuilla WPAN- (Wireless Personal Area Network) sekä WBAN-alueilla (Wireless Body Area Network). Tämän lisäksi UWB-tekniikka sopii myös erittäin tarkkaan paikannukseen ja sen avulla onkin mahdollista päästä jopa millimetrien tarkkuuteen [DEP10]. UWB-tekniikan kantavuus kuitenkin rajoittuu maksimissaan noin kymmeneen metriin.

Langattomia WLAN-lähiverkkoja voidaan käyttää myös reaaliaikaiseen paikannukseen. Tämän etuna on kyseisen tekniikan laajalle levinnyt käyttö ja jo olemassa olevat verkot. WLAN-laitteiden käyttämisen paikantamiseen mahdollistaa jokaisen sovittimen sisältämä toiminto, jonka avulla signaalin vahvuus voidaan mitata. RSS:ään (Received Signal Strength) perustuvan mittauksen tarkkuutta kuitenkin rajoittaa esimerkiksi monitie-etenemisen ja signaalin kohinan aiheuttamat virheet. WLAN-paikannuksen avulla voidaan päästä alle kolmen metrin tarkkuuteen, mikäli jäljitettävä kohde ei ole liikkeessä [HAK06]. Virhe voi kuitenkin kasvaa kohteen liikkeessa kymmeneen metriin tai suuremmaksi [HAK06].

Paikantaminen näillä edellä esiteltyjen langattomien radioverkkojen avulla perustuu kuvan 6 esittämiin peruskomponentteihin. Paikantamiseen tarvitaan kiinteitä referenssipisteitä, joiden sijainti tunnetaan. Tarvittavien referenssipisteiden lukumäärä riippuu käytettävästä tekniikasta. Tällaisia pisteitä ovat usein langattoman verkon tukiasemat (base station). Paikannettava kohde puolestaan sisältää tagin, jossa on radiolähetin, joka paikannetaan radiosignaalien perusteella. Paikantaminen ja sijainnin tarkka laskeminen tietyllä rajatulla alueella perustuvat pääasiassa kolmeen metodiin, joita ovat RSS, AOA (Angle of Arrival) ja TOA (Time of Arrival) [GUY09]. RSS perustuu saapuvan signaalin vahvuuden, AOA saapumiskulman ja TOA saapumisajan mittaamiseen. Näistä RSS ja TOA vaativat kolmen referenssipisteen, kuten tukiaseman, sijainnin tuntemisen. AOA-tekniikka puolestaan tarvitsee vain kaksi referenssipistettä. TOA on näistä tarkin metodi ja sen avulla voidaan sisätiloissa välttää monitie-etenemisen aiheuttamat virheet [GUY09].



Kuva 6. Langattoman paikannusjärjestelmän peruskomponentit. [TUC05]

2.9.2 Reaaliaikapaikannus laajalla alueella

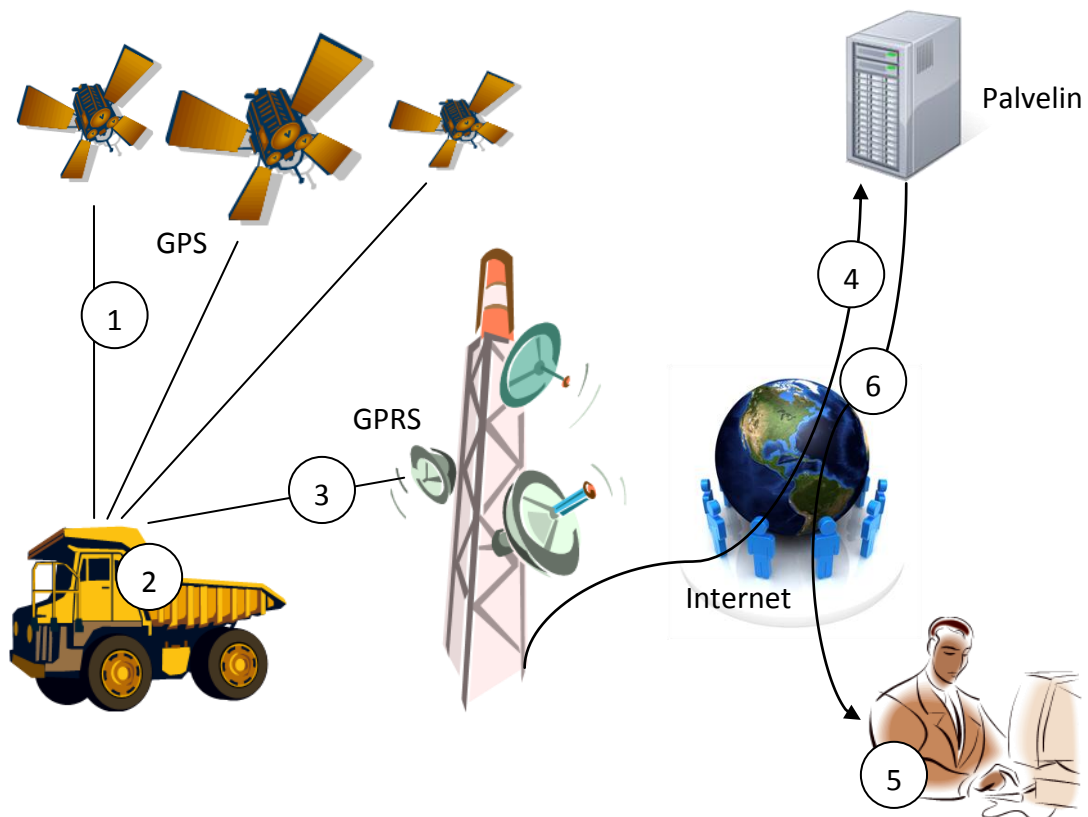
Reaaliaikaiseen paikantamiseen laajalla alueella käytetään apuna GPS-järjestelmää, jonka etuna on maailmanlaajuinen kattavuus ja jonka avulla voidaan muodostaa oma versio RTLS-tekniikasta. GPS-vastaanotin ei suoranaisesti itse voi muodostaa osaa RTLS:ssa, sillä GPS-vastaanottimen sijaintia ei voida ulkopuolisilla laitteilla lukea langattomasti eikä se itse lähetä tietoa. GPS-vastaanotin siis tarvitsee aina, jonkin tekniikan ja laitteen avukseen, joka muodostaa langattoman siirtotien ja jonka avulla vastaanottimesta luettava sijainti voidaan lähettää eteenpäin. Kun GPS-vastaanotin on yhdistetty langattoman siirtotien tarjoavaan laitteeseen, voidaan näiden yhdessä katsoa muodostavan RTLS-järjestelmään kuuluvan ja jäljitettävissä olevan tagin.

Useimmiten, kun GPS:n avulla jäljitetään reaaliaikaisesti ajoneuvoja, käytetään termiä AVL (Automated Vehicle Locating) tai puhutaan (ajoneuvo)laivaston hallinnasta (fleet management), joka on yksi AVL:n tyypillinen käyttötapaus. AVL:llä voidaan myös tarkoittaa järjestelmää, jossa on kiinteitä pisteitä, esimerkiksi havaintoportteja, joiden läpi ajettaessa ajoneuvo tunnistetaan jonkin tunnisteiden perusteella ja sen sijainti välitetään eteenpäin havaintoporttien toimesta. Laivaston hallinnalla tarkoitetaan yrityksen ajoneuvolaivaston hallintaa järjestelmän avulla, johon sisältyy satelliittipaikannus sekä tiedon välitys sovellukselle, joka kerää, käsittelee ja tallettaa tiedon. Ajoneuvojen hallinta voi sisältää toimintoja kuten ajoneuvojen ylläpito, telematika (jäljitys, diagnostiikka), kuljettajien hallinta, polttoaineen kulutuksen seuranta ja turvallisuuden hallinta. Laivaston hallinta on toiminto, jonka avulla yritykset, joiden toiminta perustuu ajoneuvokuljetuksiin, voivat yrittää kasvattaa kuljetusten tehokkuutta, tuottavuutta tai vähentää liikennöintikuluja.

Ajoneuvojen hallinnassa peruskomponentti, josta kaikki lähtee liikkeelle, on ajoneuvojen jäljitykseen käytettävä laite. Tavallisesti tämä peruskomponentti on GPS:ään perustuva paikannin, mutta joissakin tapauksissa se voi olla esimerkiksi matkapuhelimen solupaikannukseen perustuva järjestelmä. Kun GPS-järjestelmän avulla on havaittu ajoneuvon nopeus, suunta ja sijainti, välitetään tämä tieto ajoneuvohallintaohjelmiston käsiteltäväksi. Tavallisesti tiedot välitetään matkapuhelinverkon välityksellä, mikä on luonnollinen valinta GSM-verkon (Global System for Mobile Communication) hyvin suuren maailmanlaajuisen kattavuuden osalta. Kun siirrettävän tiedon määrä ei ole suuri,

voidaan GPRS-tekniikan (General Packet Radio Service) tarjoaman nopeuden, joka käytännön tasolla on noin 5kt/s [CHA05] [STU02] [SVO07], katsoa olevan riittävä. GPS-paikannukseen ja GPRS-verkon käyttöön perustuvan reaaliaikaisen jäljityksen toimintaperiaate, johon myös tässä työssä toteutettava järjestelmä perustuu, on esitetty tarkemmin kuvassa 7:

1. Maata kiertävät GPS-satelliitit lähettävät radiosignaaleja.
2. Jäljitettävä kohde sisältää GPS-vastaanottimen, joilla satelliittien lähettämät radiosignaalit voidaan havaita, joiden perusteella kohteen sijainti, nopeus ja suunta saadaan laskettua.
3. Jäljitettävä kohde välittää sijaintitiedot langattoman verkon, esimerkiksi GPRS- tai 3G-verkon (Third Generation), välityksellä.
4. Sijaintitiedot välitetään palvelimelle käsiteltäväksi.
5. Asiakas/käyttäjä yhdistää Internet-verkon välityksellä palvelimelle.
6. Palvelin lähettää sijaintitiedot käyttäjälle esimerkiksi HTML-sivun (Hypertext Markup Language) muodossa, joka esittää jäljitettävän kohteen sijainnin kartalla.



Kuva 7. Reaaliaikaisen GPS-jäljityksen toimintaperiaate.

3 TOIMINNALLISET VAATIMUKSET JA JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Ennen varsinaista suunnittelua määriteltiin järjestelmän keskeiset toiminnalliset vaatimukset tulevan käyttökohteen tarpeiden perusteella. Näiden vaatimusten perusteella järjestelmää lähdettiin suunnittelemaan. Koska järjestelmän toiminta perustuu suurelta osin julkisen tietoverkon, Internetin, käyttöön, perehdytään tässä luvussa myös tietoturvaan liittyviin kysymyksiin ennen varsinaista toteutusta. Tällä pyrittiin ottamaan huomioon, että järjestelmän tiedot eivät vuotaisi ulkopuolisten saataville tai muokattavaksi.

3.1 Käyttötapaus

Jäljitysohjelmiston suunnittelun pohjalla oleva käyttötapaus liittyy kotipalveluyrityksen tarpeisiin paikantaa työntekijöiden sijainti reaaliaikaisesti työpäivän aikana. Kotipalveluyritys, jonka tarpeisiin järjestelmä kehitetään, tarjoaa kotipalveluja vanhuksille ja huonokuntoisille. Kotipalveluyrityksessä on aina ympäri vuorokauden vähintään yksi henkilö valvomossa/toimistolla päivystämässä siltä varalta, että tulee hälytys. Hälytyksen aiheuttaa asiakas, joka on painanut hälytysrannekkeensa nappia, mikä avaa puhelinyhteyden kotipalveluyrityksen valvomoon päivystäjälle. Valvomossa nähdään puhelinnumeron perusteella, mistä kohteesta hälytys tulee. Tämän jälkeen päivystäjä hälyttää jonkun työvuorossa olevista työntekijöistä hälytyksen tehneen luokse, mikäli siihen on tarvetta.

Hälytyksen sattuessa ongelmana kotipalveluyrityksessä on se, että valvomossa ei tiedetä missä tarkalleen ottaen kukin työntekijä on menossa omaa asiakaskierrosta. Valvomossa olijan täytyy näin ollen soittamalla käydä läpi mahdollisesti useitakin vuorossa olevia työntekijöitä lähettääkseen joku, mahdollisimman lähellä oleva vapaa työntekijä, hälytyksentekijän luokse. Tämän perusteella päivystys-/valvomovuorossa olisi kätevää, jotta näkisi reaaliaikaisesti missä kohden yrityksen kukin ajoneuvo ja työntekijä ovat liikenteessä ja tietäisi kenellä on kiireellisissä tapauksissa nopein reitti paikalle perustuen teitä pitkin kuljettuihin etäisyyksiin.

3.2 Järjestelmän keskeiset vaatimukset

Käyttötapausten pohjalta järjestelmälle asetettiin keskeiset toiminnalliset vaatimukset. Järjestelmän tuli toimia yleisesti saatavilla olevilla kuluttajaluokan laitteilla ja komponenteilla. Kehitettävästä järjestelmästä tulee olemaan kolme eri pääosaa: asiakasohjelma, joka tulee liikkuvaan kohteeseen työntekijöiden käyttöön, valvontaohjelma päivystykseen sekä palvelinohjelma tietojen välittämiseen ja tallentamiseen. Asiakasohjelman (client) tulisi toimia Windows käyttöjärjestelmällä ja laitteistona, jolle ohjelma toteutetaan, olisi ns. minikannettava. Tämä järjestely sen vuoksi, että suunnittelun lähtökohtana oleva yritys aikoo ottaa asiakastieto-ohjelmistonsa käyttöön tietokoneille, jotka asennetaan yrityksen ajoneuvoihin. Näin työntekijöillä eli hoitohenkilökunnalla on aina mobiiliyhteyden avulla ajantasaiset asiakastiedot saatavilla (mm. hoitotiedot, lääkitys, kunkin vuoron asiakaskäynnit ja mitä käynneillä on tarkoitus tehdä). Lisäksi asiakaskäyntejä ei tarvitse käydä erikseen kirjaamassa toimistolla, vaan ne voidaan tehdä paikan päällä. Alla on lueteltuna kullekin sovellukselle asetetut toiminnalliset vähimmäisvaatimukset:

Asiakasohjelma

- Toimii Windows XP ja Windows 7 –käyttöjärjestelmillä
- Käyttöliittymän oltava toimiva 1024x600 resoluutiolla
- Lähettää automaattisesti paikkatiedot palvelimelle
- Keskustelumahdollisuus (chat) muiden järjestelmään kirjautuneiden työntekijöiden sekä valvomon kanssa.
- Karttaikkunassa nähtävillä oma sekä muiden ajoneuvojen sijainti reaaliaikaisesti
- Karttaikkunassa nähtävillä yrityksen toimitilat sekä asiakaskohteet
- Mahdollisuus lisätä omia yksityisiä kohteita sekä kaikille näkyviä, kuten asiakaskohteita, kartalle
- Karttaikkunassa myös näkyvillä päiväys, kello, nopeus, ajettu matka sekä matkan kesto
- Mahdollisuus hakea palvelimelta omat ajettut matkat (ajopäiväkirja)
- Mahdollisuus muokata omien ajettujen matkojen tietoja, kuten ajon tarkoitusta
- Mahdollisuus muokata omia järjestelmään talletettuja yhteystietoja
- Tietojen turvallinen välitys palvelimen kanssa

Valvontaohjelma

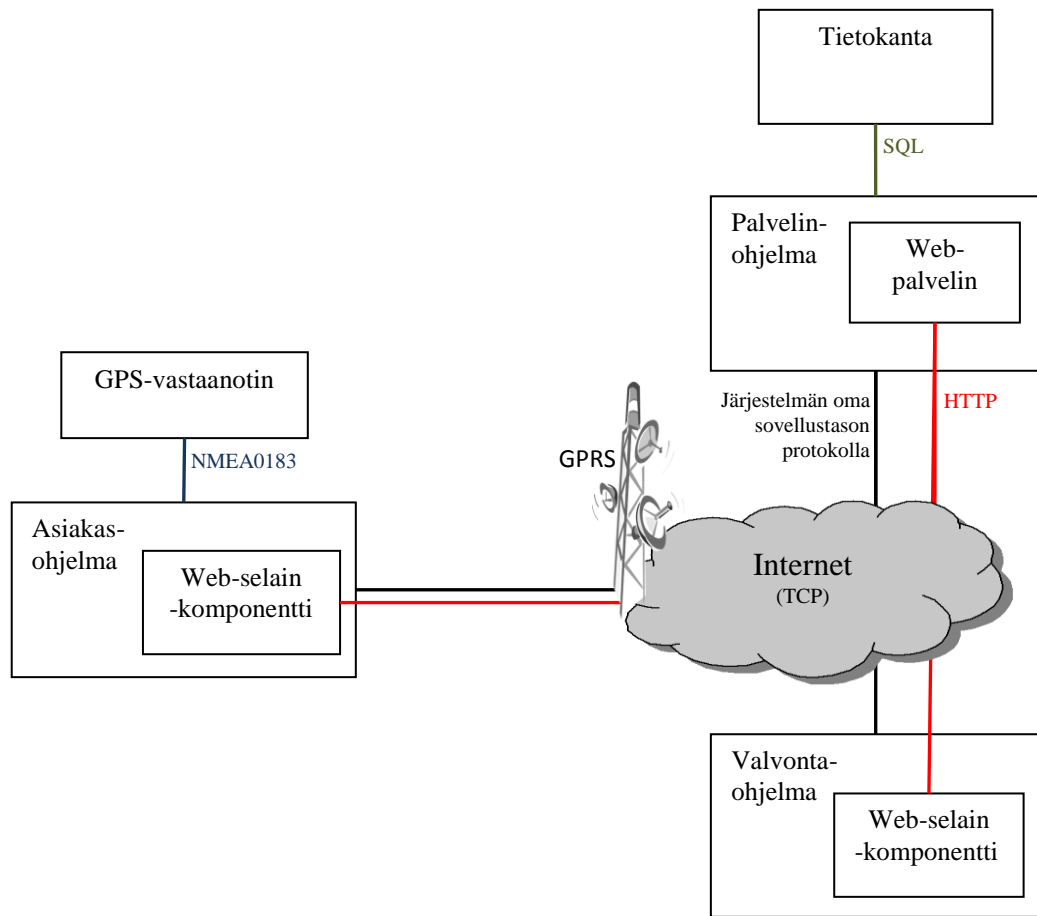
- Näyttää kartalla kaikkien ajoneuvojen sijainti
- Käyttöliittymän oltava toimiva 1280x960 ja sitä suuremmilla resoluutioilla
- Mahdollisuus hakea valittua kohdetta lähinnä olevat ajoneuvot/työntekijät ja näyttää kunkin matka kohteeseen
- Mahdollisuus lähettää viestejä työntekijöille (keskustelu eli chat -toiminto)
- Järjestelmänvalvoja käyttäjätasolla mahdollisuus hakea kaikkien ajettujen matkat ja reitit (ajopäiväkirja)
- Järjestelmänvalvoja käyttäjätasolla käyttäjien ja ajoneuvojen lisäys
- Tietojen turvallinen välitys palvelimen kanssa

Palvelin

- Kapasiteettia vähintään 20:lle yhtäaikaistulle liikkuvalle ajoneuvolle
- Tallettaa tiedot tietokantaan (mm. ajoneuvot, käyttäjät, ajettujen reitit)
- Välittää viestit valvomo- ja asiakasohjelmille
- Käyttäjien kirjautuminen ja uloskirjautuminen. Pääsy järjestelmään vain tunnistautuneille käyttäjille.
- Käyttäjätasot (käyttäjä/ järjestelmänvalvoja), joiden avulla pääsy vain käyttäjätason sallimiin tietoihin
- Tietojen turvallinen välitys asiakasohjelman sekä valvontaohjelman kanssa

3.3 Järjestelmän rakenne ja arkkitehtuuri

Järjestelmän rakenteen suunnittelun perusteena toimivat edellä asetetut vaatimukset sekä kuvan 7 mukainen reaaliaikaisen paikannuksen toimintamalli. Järjestelmän rakenteen perustana toimii keskitetty asiakas-palvelin-malli (kuva 8), jossa järjestelmän palvelin toimii keskitettynä pisteinä, joka yhdistää kaikki palvelun käyttäjät. Palvelimen tehtävänä on välittää liikenne asiakasohjelmien sekä valvontasovelluksen kesken sekä tallettaa tiedot tietokantaan. Web-palvelin toteutetaan palvelinohjelman sisälle ja sitä käytetään ainoastaan asiakasohjelmalle esitettävän karttasivun muodostamiseen ja lähettämiseen.



Kuva 8. Jäljitysohjelmiston rakenne.

3.3.1 Paikkatiedon välitys

Satelliittipaikannukseen käytettäväksi teknologiaksi on käytännössä mahdollista valita kuluttajalaitteita käytettäessä vain GPS-teknologia. Kuten luvussa 2.8 esitettiin, ovat muut satelliittipaikannusteknologiat vasta kehitysvaiheessa, eikä niiden täysimittainen hyödyntäminen ole kuluttajalaitteilla tällä hetkellä (toukokuu 2010) mahdollista. Tulevaisuudessa käyttäjillä voi olla mahdollisuus valita eri teknologioita paikannukseen tai näiden yhdistelmiä.

Paikkatiedon saamiseksi asiakasohjelman täytyy lukea GPS-vastaanottimen tuottamaa tietovirtaa. GPS-vastaanottimet kommunikoivat NMEA0183-standardin [NMEA0183] mukaisesti, joka on alun perin NMEA:n (The National Marine Electronics Association) kehittämä määrittely, joka kuvaa rajapinnan merenkulussa ja veneilyssä käytettävien elektronisten laitteiden välille. Tämä määrittely mahdollistaa kyseisiä laitteita lähettämään

tietoa muille merielektroniikan laitteille sekä tietokoneille. Laitteet kommunikoivat keskenään standardin mukaisesti ASCII-merkeistä koostuvina tekstimuotoisina lauseina. Jokainen näistä lauseista alkaa \$-merkillä ja loppuu telanpalautus- ja rivinvaihtomerkkiin (CR LF). Aikaisemmin laitevalmistajilla saattoi olla omia standardejaan, mutta tänä päivänä käytännössä kaikki GPS-vastaanottimet antavat ulos NMEA-standardin mukaista dataa. Riippuen laitteen asetuksista ja ominaisuuksista, voi laite antaa ulos tietyn määrän lausekokonaisuuksia sekunnissa. Tavallisimmin kuluttajaluokan laitteissa päivitysväli on kerran sekunnissa. Taulukossa 2 on eriteltyä yksi esimerkki NMEA0183-standardin mukaisesta lauseesta. Kyseinen lause on GPRMC-lause (Recommended minimum specific GPS/TRANSIT data), joka sisältää pienimmän suositellun määrän tietoa navigointiin. Kaikki NMEA-lauseet, jotka alkavat etuliitteellä GP, kuvaavat GPS-järjestelmän vastaanottimen lauseita.

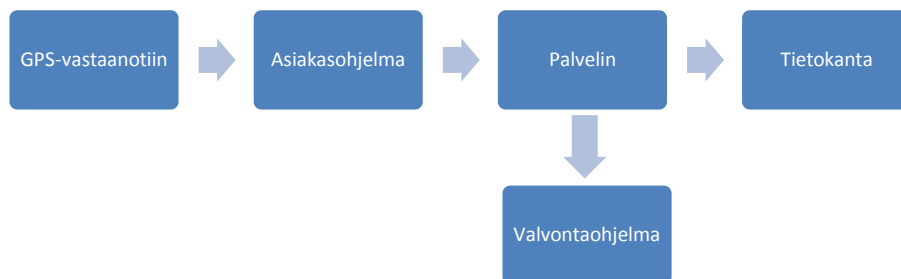
Taulukko 2. NMEA0183 –standardin mukainen GPS-järjestelmän RMC-lause eriteltyinä.

\$GPRMC,064834.400,A,6103.5166,N,02811.4994,E,0.09,175.02,160210,,,A*69			
Kenttä	Kentän nimi	Yksikkö	Selite
\$GPRMC	Data type		Lauseen tietotyyppi
064834.400	UTC time of fix	hhmmss.ss	
A	Data status		A=active (valid position) tai V=Void
6103.5166	Latitude of fix	astetta	Leveysaste: 61 astetta, 03.5166 minuuttia
N	N or S of longitude		Pohjoinen tai eteläinen leveys
02811.4994	Longitude of fix	astetta	Pituusaste: 28 astetta, 11.4994 minuuttia
E	E or W of longitude		Itäinen tai läntinen pituus
0.09	Speed over ground	solmua	
175.02	Course over Ground	astetta	
160210	UTC date of fix	ddmmyy	
	E or W of magnetic variation	astetta	
	Mode indicator		A=Autonomous, D=Differential, E=Estimated, N=Data not valid
A*69	Checksum		
<CR><LF>			Lauseen loppu

GPS-vastaanottimien laiteliitäntä on suunniteltu täyttämään NMEA-standardin vaatimukset. Liitäntänä laitteissa käytetään RS-232 -standardin mukaista tietoliikenneporttia, joka tunnetaan yleisemmin sarjaporttina tai COM-porttina. Koska kaikissa nykyisissä laitteissa ja tietokoneissa ei kyseistä porttia enää ole, käytetään virtuaalisia sarjaportteja sekä sovittimia, jolla sarjaporttiin kytkettävä laite voidaan liittää

USB-porttiin (Universal Serial Bus), langattomasti Bluetooth-tekniikan avulla tai kannettavissa tietokoneissa korttipaikka-adapterilla. Useimmiten erilliset GPS-vastaanottimet liitetään tänä päivänä kuitenkin langattoman Bluetooth -tekniikan avulla tietokoneeseen. Bluetooth sisältää sarjaportti profiilin (Serial Port Profile), joka määrittelee protokollat ja toiminnot sarjaporttiemulaatiota käyttäville Bluetooth-laitteille. Tämän avulla kyseistä profiilia käyttävä laite voidaan liittää virtuaaliseen sarjaporttiin ja lukea tietoa siitä aivan kuin tietoa luettaisiin tavallisesta sarjaportista.

Kuvassa 9 esitetään suunniteltua sijaintitiedon kulkua toteutettavassa järjestelmässä aina GPS-vastaanottimelta tietokantaan ja valvontaohjelmalle. Kun asiakasohjelma lukee GPS-vastaanottimen lähettämän datan ja käsittelee sen, lähettää se tiedot palvelimelle, joka tallettaa tiedot tietokantaan sekä välittää ne valvontaohjelmalle. Näin valvomossa tiedetään välittömästi mm. kunkin ajoneuvon koordinaatit ja viimeisimmän sijainnin havaintoaika. Varsinainen karttaesitys ajoneuvojen sijainneista ladataan järjestelmään toteutettavalta web-palvelimelta.



Kuva 9. Sijaintitiedon välitysketju.

3.3.2 Kuljetuskerroksen protokolla

Koska järjestelmän toiminta perustuu yhtenä tärkeänä osana asiakasohjelmien (mukaan lukien valvontaohjelma) ja palvelimen väliseen tiedonsiirtoon, on tähän tarkoitukseen valittava tiedonsiirtotekniikka. Koska asiakasohjelman on sijainnistaan huolimatta pystyttävä olemaan yhteydessä palvelimeen, on tiedonsiirtoverkon toimintavaatimuksena mahdollisimman laaja alue. GPRS-tekniikka kykenee vastaamaan tähän vaatimukseen,

sillä sen kuuluvuusalue¹ Suomessa on sama kuin GSM-verkossa. Paremman suorituskyvyn ja nopeuden tarjoaa 3G-verkko uudemman UMTS-tekniikan (Universal Mobile Telecommunications System) avulla. Tämä tekniikka ei kuitenkaan ole tuettu kaikissa mobiililaitteissa, eikä sen kuuluvuusalue ole lähellekään koko GSM-verkon laajuinen vaan se kuuluu lähinnä kaupunkialueilla. Koska järjestelmässä asiakaskohteita voi olla muuallakin kuin 3G-verkkojen alueella, mitoitetaan järjestelmän toimivuus GPRS-tekniikan tarjoamiin ominaisuuksiin nähden, joihin kuuluu noin 5kt/s nopeus käytännön tasolla. GPRS, tiedonsiirtotekniikkana, perustuu IP-protokollaan (Internet Protocol), jonka käyttöön koko Internet-verkko myös perustuu. IP on taulukossa 3 esitetyn TCP/IP-viitemallin (Transmission Control Protocol) verkkokerroksen protokolla, joka huolehtii IP-pakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisissä Internet-verkoissa. TCP/IP mallissa verkkokerroksen päällä toimii kuljetuskerros ja sen protokollat. Yleisesti käytettyjä protokollia kuljetuskerroksella ovat TCP ja UDP (User Datagram Protocol), joista TCP on hallitsevassa asemassa tiedonsiirrossa Internet-maailmassa [MIN09]. Näiden protokollien perusominaisuuksien eroavaisuuksia käsitellään seuraavaksi, jonka perusteella järjestelmässä käytetty protokolla valitaan.

Taulukko 3. TCP/IP-malli

TCP/IP-malli
Sovelluskerros (Application Layer)
Kuljetuskerros (Transport Layer)
Verkkokerros (Internet Layer)
Peruskerros (Link Layer)

Koska järjestelmää käytetään langattoman verkon välityksellä, jossa kuuluvuus voi paikoitellen olla heikko, mikä voi aiheuttaa virheitä tiedonsiirtoon, tulisi tiedonsiirtoon käytettävän protokollan olla mahdollisimman varmatoiminen. TCP on luotettavaan tiedonsiirtoon kehitetty protokolla, jonka avulla tietokoneet voivat lähettää tietoa tiedonsiirtoverkon välityksellä. TCP:n voidaan sanoa olevan de-facto standardi yhteyspainotteisessa ja luotettavassa tiedonsiirrossa [PET03]. TCP-protokolla myös huolehtii pakettien perillemenosta sekä siitä, että paketit saapuvat oikeassa järjestyksessä perille. Mikäli paketti katoaa matkalla vastaanottajalle, TCP-protokolla huomaa tämän ja yrittää uudelleenlähetystä. TCP-yhteyden avaaminen sisältää kolme vaihetta, jota kutsutaan

¹ esimerkiksi Elisan matkapuhelinverkon kuuluvuusalue: <http://www.elisa.fi/kuuluvuus/>

kolmisuuntaiseksi kättelyksi. Itse TCP-yhteys koostuu kokonaisuudessaan myös kolmesta vaiheesta: yhteyden muodostus, tiedon siirto ja yhteyden katkaisu.

UDP eroaa edellä esitellystä TCP:stä usealla tavalla. TCP:stä poiketen UDP on yhteydetön protokolla, jossa pakettien perillemenoä lähetyksestä vastaanottopäähän ei varmisteta. UDP:tä käytetään yleisesti reaaliaikaisen videon ja äänen välittämiseen, jossa yksittäisen paketin katoaminen tiedonsiirron aikana ei ole niin kriittistä [PET03]. Koska UDP on yhteydetön protokolla, ei siinä TCP:n tavoin muodosteta alkukättelyä, pakettien kuittausta eikä yhteydenlopetuskäytäntöä. Näin ollen tarvittava tiedonsiirtomäärä on pienempi kuin TCP-protokollaa käytettäessä. Myös paketin otsikkokenttä on UDP-paketissa pienempi kuin TCP-paketissa. UDP:n otsikkokenttä on 8-tavun ja TCP-paketin 20-24 tavun mittainen riippuen määrittelyistä optioista. UDP-protokollaa käytettäessä ei myöskään voida olla varmoja pakettien saapumisesta perille oikeassa järjestyksessä eli samassa järjestyksessä kuin ne on lähetetty.

Vaikka UDP-protokollaa käytettäessä siirrettävän tiedon määrä on pienempi, johtuen yhteydetttömyydestä sekä pienemmistä otsikoista, on langattomissa verkoissa TCP kuitenkin varmempi ratkaisu. TCP:n avulla mahdollistetaan järjestelmässä pakettien varmatoiminen perillepääsy. Tämän vuoksi se valitaan järjestelmän kuljetusprotokollaksi.

3.3.3 Sovelluskerroksen protokolla

Sovellusten väliseen tiedonsiirtoon on järjestelmään määriteltävä myös oma protokolla, jonka avulla erityyppiset viestit ovat erotettavissa toisistaan. Protokollaksi määritellään yksinkertainen tekstipohjainen protokolla. Kuten edellä todettiin, kuljetuskerroksen protokollaksi valittiin TCP, jonka päällä järjestelmän oma sovellustason protokolla tulee toimimaan. Määriteltävän protokollan avulla on kyettävä toteuttamaan järjestelmään tarvittavat toiminnot tiedonvälityksen kannalta.

Jäljitysohjelmistossa käytettävän protokollan perusrakenne on esitetty taulukossa 4. Erityyppisiä toimintoja varten ja niiden erottamiseksi toisistaan jokaisen paketin alussa on viestin tunniste. Viestin tunniste (Message ID) on kahdesta merkistä eli kahdesta tavusta koostuva tunniste. Toteutettavassa järjestelmässä tullaan käyttämään tunnisteena

pelkästään numeroita. Mikään ei kuitenkaan estäisi käyttämästä, merkkipohjaisen protokollan ollessa kyseessä, kirjaimia viestin tunnisteena. Mikäli kirjaimia käytetään, tulisi järjestelmässä määritellä sekä toteutettavan asiakasohjelman että palvelimen käyttämä merkistö yhdenmukaiseksi, jotta järjestelmien omat merkistöasetukset eivät aiheuttaisi sekaannuksia. Erityyppiset viestit ja niiden käyttötarkoitukset on kuvattu taulukossa 5.

Taulukko 4. Jäljitysohjelmiston sovellustason protokollan perusrakenne.

Message ID	Payload	”\n”
------------	---------	------

Viestin tyypin jälkeen tulee varsinainen hyötykuorma (payload) eli viestin sisältö, jonka pituutta ei ole määritelty. Hyötykuorman sisältö ja pituus riippuu viestin tyypistä. Kaikki viestit päättyvät taulukon 4 mukaisesti rivinvaihtomerkkiin, jota esitetään ”\n”-merkinnällä. Rivinvaihdon avulla tiedetään mihin viesti loppuu sekä erotetaan eri sovellustason paketit toisistaan. Hyötykuorman sisältö käyttää XML-tyyppistä (Extensible Markup Language) koodausta. Esimerkkinä taulukossa 6 on asiakasohjelman palvelimelle lähettämän POI-viestin sisältö (Message ID 69). Taulukon esimerkkiviestin pituus on 189 tavua (rivinvaihtomerkki mukaan luettuna). Jos ajatellaan toteutukseen valittua GPRS-yhteyttä ja sen noin 5kt/s käytännön nopeutta, menisi esimerkkiviestin välittämiseen 0.0378s (189/5000). Todellisuudessa aika olisi hieman pidempi, sillä mukaan pitäisi laskea myös kuljetuskerroksen (TCP) otsikon pituus. Lisäksi täytyy huomioida, että GPRS-järjestelmän tarjoama nopeus 5 kt/s saavutetaan vain jatkuvana datavirtana. Pelkästään yhtä pakettia lähetettäessä linkkikerroksella tapahtuvat toimenpiteet voisivat viivästyttää siirtoa merkittävästi.

Taulukossa 5 käytettyjen merkintöjen selitykset:

- A = asiakasohjelma (mukaan lukien valvontaohjelma)
- P = palvelinohjelma
- A → P = viesti asiakasohjelmalta palvelinohjelmalle
- P → A = viesti palvelinohjelmalta asiakasohjelmalle

Taulukko 5. Viestien tyypit.

Viestin tunnus	Suunta	Käyttötarkoitus
01	A→P, P→A	Ping kysely. Onko palvelin tai sovellus tavoitettavissa.
02	A→P, P→A	Ping kyselyn vastaus.
10	A→P, P→A	Chat viesti kaikkien nähtäville.
11	A→P, P→A	Yksityinen Chat viesti pelkästään tietylle vastaanottajalle
20	A→P	Yhdistä viesti. Sisältää käyttäjätunnuksen ja salasanan.
21	P→A	Käyttäjätunnus ja salasana ok.
22	P→A	Palvelin täynnä.
23	P→A	Käyttäjätunnus on jo kirjautunut sisään.
24	P→A	Informoi muita käyttäjiä uudesta kirjautuneesta käyttäjästä.
25	P→A	Informoi muita käyttäjiä uloskirjautuneesta käyttäjästä.
26	P→A	Väärä käyttäjätunnus tai salasana.
27	P→A	Käyttäjän omat tiedot.
28	A→P	Käyttäjä tallettaa omat muokatut tiedot.
29	P→A	Käyttäjän tietojen tallennus onnistui.
51	A→P	Asiakasohjelma lähettää reittipisteen eli sijaintinsa palvelimelle.
53	P→A	Käytetään ajoneuvojen tietojen välitykseen.
54	A→P	Käyttäjä pyytää ajoneuvoa, jolla lähtee liikkeelle.
55	P→A	Ajoneuvo vapaa.
56	P→A	Ajoneuvo varattu.
57	P→A	Ajoneuvon tietojen päivitys.
58	A→P	Ajoneuvon lisäyspyyntö.
59	P→A	Ajoneuvon lisäys hyväksytty.
60	A→P	Käyttäjä aloittaa uuden reitin.
61	P→A	Uuden reitin aloitus hyväksytty.
62	A→P	Viesti, jolla haetaan talletettuja matkoja/ajoja.
63	P→A	Reitin tiedot.
66	A→P	Käyttäjä päivittää matkan tietoja. Esim. ajon tarkoitus.
67	P→A	Matkan tietojen päivitys hyväksytty.
68	A→P	Pydetään talletetun kiinnostavan kohteen (POI) tietoja.
69	P→A	Kiinnostavan kohde (POI) ja sen tiedot.
70	A→P	Kiinnostavan kohteen tietojen päivitys esim. nimi tai osoite.
71	P→A	Kiinnostavan kohteen tietojen päivitys hyväksytty.
80	A→P	Käyttäjän lisäyspyyntö.
81	P→A	Käyttäjän lisäys hyväksytty.
99	P→A	Virheviesti (sisältää virheen tunnuksen)

Taulukko 6. POI-viestin esimerkkisisältö.

69	<poi owner="tero1" type="1" name="kiinnostava piste" addr="tie 3" date="2010-05-11" time="15:02:32" lat="62.00657" lon="28.550412" elevation="25.04" description="Asiakaskohde 47">1</poi>	\n
----	--	----

XML-tyyppinen koodaus valittiin sen vuoksi, että sisältöä pystyttäisiin käyttämään helposti mahdollisesti tulevissa järjestelmissä, sekä muuttamaan ja lisäämään sisältöä tarvittaessa helposti. Tämä myös mahdollistaa sen, ettei kaikkea tietoa tarvitse välttämättä lähettää joka kerta, vaan esimerkiksi pelkästään muuttuneet tiedot voidaan lähettää. Mikäli käytettäisiin jokaiselle lähetettävälle tiedolle omaa kenttää, näiden kenttien tulisi tällöin olla

vakiokokoiset, erotettu toisistaan jollakin tunnistemerkillä tai jokaista tietokenttää ennen tulisi olla kenttä joka kertoo tietokentän pituuden. XML-tyyppisen koodauksen haittapuolena vakiokokoiisiin tai pelkällä tunnistemerkillä erotettuihin kenttiin nähden on suurempi tiedonsiirron tarve, sillä viestissä joudutaan aina välittämään attribuutin nimi pelkkien arvojen lisäksi. Etuina puolestaan on, ettei kaikkia attribuutteja tarvitse välttämättä lähettää eikä niiden järjestyksellä ole väliä, kun attribuuttien nimistä tiedetään mitä tietoa kulloinkin viestin sisältö kantaa mukanaan.

Käytännössä protokolla tulisi toimeen ilman viestin tunnusta (numeroa), sillä viestit voitaisiin tunnistaa aloittavan XML-tagin perusteella. On kuitenkin yksinkertaisempaa käsitellä numeroita kuin tekstimuotoista tietoa. Lisäksi on tehokkaampaa, kun tiedetään, että viestin tyyppi muodostuu numeroista, sen sijaan, että jouduttaisiin tunnistamaan vaihtelevanpituinen tagi. Välitettävät viestit eivät itsessään sisällä tietoa niiden lähettäjistä. Koska TCP on yhteydellinen protokolla, on yhteys asiakasohjelman ja palvelimen välillä koko ajan avattuna. Palvelin tunnistaa käyttäjän kirjautumistietojen perusteella, jonka jälkeen tiedetään keneltä avoimen TCP-yhteyden yli tulevat viestit ovat peräisin.

3.4 Tietokanta

Tietojen tallettamista varten järjestelmään toteutetaan tietokanta ja sen käyttämiseen tarvittavat toiminnot. Tietokannan taulut voidaan pääpiirteittäin jakaa viiteen osaan: käyttäjätieto-, reittitieto-, reittipiste-, ajoneuvo- ja POI-tietotauluihin. Käyttäjätietotauluihin talletetaan tiedot järjestelmään rekisteröidyistä käyttäjistä, heidän käyttäjätunnukset ja salasanat sekä yhteystiedot. Ajoneuvotietotaulu sisältää yrityksen käytössä olevat ajoneuvot ja niiden tiedot. Reittitietoihin talletetaan yksittäisen matkan tiedot, kuten kuljettaja, alku ja loppuosoitteet, aloitus- ja lopetusaika sekä ajoneuvo jolla matka on tehty. Reittipistetaulu puolestaan sisältää yksittäisen reittipisteen tiedot, joita ovat reitin tunnus johon piste kuuluu, koordinaatit, ajoneuvon nopeus sekä aikaleima. POI-tauluun talletetaan tiedot yrityksen toimipisteistä sekä asiakaskohteista.

3.5 Käyttäjien oikeudet

Käyttäjien välistä tietoturvaa varten, määritellään kehitettävään järjestelmään kolme eri käyttäjätasoa: käyttäjä, valvoja ja järjestelmänvalvoja. Toteutettavassa järjestelmässä käyttäjätasoa kuvataan kokonaislukumuuttujalla. Tämä mahdollistaa tulevaisuudessa sellaisten uusien käyttäjätasojen lisäämisen, joita ei esimerkiksi suunnitteluvaiheessa ole osattu ottaa huomioon. Tällöin käyttäjätasojen kokonaismäärän rajoittavana tekijänä on ainoastaan käytettävän ohjelmointikielen kokonaislukumuuttujan maksimiarvon suuruus.

Käyttäjätasojen perusteella, voidaan käyttäjäryhmille määritellä eri roolit ja sallia kullekin vain tiettyjä toimintoja järjestelmässä. Peruskäyttäjätasolla pääsee kirjautumaan asiakasohjelmaan sekä valvontaohjelmaan. Uusien käyttäjien ja ajoneuvojen lisääminen sallitaan kuitenkin vain järjestelmänvalvojalle. Näin työntekijöillä ei ole mahdollisuutta itse lisätä järjestelmään turhia ajoneuvoja tai käyttäjiä. Valvojatase toteutetaan käyttäjän ja järjestelmänvalvojan väliin tulevaisuuden tarpeita varten, mikäli halutaan sallia esimerkiksi valvontasovelluksen käyttö vain kyseisen käyttäjätason omaaville henkilöille. Järjestelmänvalvojalla on myös oikeudet hallita käyttäjien käyttäjätasoja. Lisäksi järjestelmänvalvojalla on muiden tasojen lisäksi mahdollisuus tarkastella kaikkien työntekijöiden ajotietoja. Näin työnantajalla on mahdollisuus tarkastella kaikkien työntekijöiden ajoja sekä tehdä yhteenvetoja esimerkiksi ajetuista kilometreistä.

3.6 Tietoturva

Toteutettavan järjestelmän saatavuus ja tietojen välitys julkisen verkon, Internetin, välityksellä asettaa omat haasteensa ja huomioon otettavat seikat palvelun tietoturvan kannalta. Palvelimelle talletettavien tietojen tulee olla vain järjestelmää käyttävien henkilöiden saatavilla, johon ulkopuoliset henkilöt eivät pääse käsiksi, lukemaan, muuttamaan tai tuhoamaan tietoja. Tässä luvussa käsitellään tietoturvaseikkoja sovelluksen kehityksen kannalta eikä niinkään verkkoarkkitehtuurien tai esimerkiksi palvelinalustan turvallisuuden kannalta. Vaikka työssä ei keskitytä palvelinalustan ja/tai sovellusalustan turvallisuuteen, tulee näiden tietoturvasta kuitenkin aina huolehtia ja pyrkiä estämään ulkopuolisten tunkeutujien pääsyä järjestelmään mm. palomuurin avulla.

Koska järjestelmässä on tarkoitus välittää tietoa asiakasohjelmien ja palvelinohjelman välillä, on riski, että ulkopuoliset pääsevät tietoihin käsiksi ellei tiedon sisältöä ja muotoa kontrolloitaisi millään tavalla. Ilman tietojen tarkistuksia voisivat ilkeämieliset käyttäjät tai ulkopuoliset henkilöt hakea heille kuulumatonta tietoa tai muokata esimerkiksi järjestelmän tietokantaa. Huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella voidaan kuitenkin pyrkiä minimoimaan riskit ja mahdolliset tietovuodot.

3.6.1 Verkkoliikennöinnin turvallisuus

Koska tietoa asiakasohjelman ja palvelimen välillä kulkee julkisen verkon läpi, on aina mahdollista, että ulkopuolinen taho pääsee tiedonsiirron aikana tietoihin käsiksi. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta liikennöintiin liittyvästä uhasta on välimieshyökkäys (Man In The Middle Attack). Tällöin käyttäjän ja palvelimen välillä vaihdettavaan tietoon pyritään pääsemään käsiksi esimerkiksi palvelimen kopion, väärän tukiaseman ja reitityksen avulla tai nimipalvelimen tietoja väärentämällä.

Koska toteutettavan järjestelmän toiminta perustuu käyttäjien henkilökohtaiseen sijaintiin, on tämän tiedon salaukseen kiinnitettävä huomiota. Mikäli tieto lähetetään selkokielisenä tekstinä, on ulkopuolisen, esimerkiksi välimiehen, helppo lukea lähetetyt viestit. Toteutettavassa järjestelmässä tämä voidaan estää salaamalla asiakasohjelman ja palvelimen välinen tietoliikenne. Yleinen tapa salata verkkoyhteyksiä on SSL-protokollan (Secure Socket Layer) käyttäminen. Salauksen tarkoituksena on turvata käyttäjien yksilöllisyys. SSL-tekniikka on alun perin Netscape yhtiön kehittämä turvallisuusprotokolla, jonka avulla voidaan suojata tietoliikenne IP-verkkojen yli. Alun perin SSL-kehitettiin HTTP-yhteyksien (Hyper Text Transfer Protocol) eli WWW-sivujen (World Wide Web) suojaamiseen. SSL:a ei kuitenkaan rajoitettu vain HTTP-protokollaan, sillä se toimii kuljetuskerroksen päällä, joten sen avulla voidaan suojata sekä TCP- että UDP-yhteyksiä.

3.6.2 Tietokannan turvallisuus

Monet web-sivut pyytävät tänä päivänä käyttäjiä syöttämään jotakin tietoa, jonka jälkeen sivusto tekee SQL-haun (Structured Query Language) tietokantaan perustuen käyttäjän

syöttämään tietoon. Usein tämä käyttäjän syöttämä tieto on käyttäjän tunnistamiseen tarkoitettu käyttäjätunnus ja salasana. Kun tietokannoista tehdään hakuja käyttäjän syöteen perusteella, on riskinä SQL-injektioksi kutsuttu turvallisuusaukko. Tällainen riski voi ilmaantua, mikäli haku tietokantaan on huonosti kontrolloitu, eikä käyttäjän syötteitä tarkisteta. Kehittämällä sopivan syöteen, voi vihamielinen käyttäjä muuttaa SQL-kyselyn rakennetta ja suorittaa mielivaltaisia kyselyjä haavoittuvaan järjestelmään.

Ajatellaan esimerkiksi seuraavanlaista tilannetta, jossa käyttäjä syöttää, kirjautuakseen web-palveluun, käyttäjätunnuksen ja salasanan, jonka jälkeen klikkaamalla lähetä nappia muodostuu seuraavanlainen SQL-kysely tietokantaan:

```
SELECT * FROM user_table WHERE username = 'pertti' AND password = '9876';
```

Jos tämän jälkeen ajatellaan, että käyttäjä syöttääkin salasanan 9876 tilalle syöteen:

```
'OR 1=1 - -
```

Aiheutuu tästä tietokantaan SQL-kysely:

```
SELECT * FROM user_table WHERE user_id = 'pertti' AND password = " OR 1=1 - -";
```

Syöte *'OR 1=1 - -* aiheuttaa sen, että salasanakysely on tosi, jolloin hyökkääjän ei tarvitse tietää käyttäjän pertti oikeaa salasanaa. Tällöin kysely palauttaa kaikki käyttäjän pertti tiedot user_table-taulusta. Merkintä *" - -"*, joka edustaa kommenttia SQL-kyselykielessä, poistaa vaikutuksen järjestelmän lisäämältä viimeiseltä *'*-merkiltä. Tämän vuoksi kysely palauttaa ei-tyhjän joukon ilman virheitä. Mikäli tunnistusmekanismi olisi toteutettu edellä kuvatulla tavalla, olisi hyökkääjällä mahdollisuus kirjautua järjestelmään tuntemalla ainoastaan yksi olemassa oleva käyttäjätunnus. SQL-injektion ongelma voidaan ratkaista tarkastamalla kaikki SQL-lauseeseen lisättävät syötteet ennen niiden lähettämistä tietokantaan [KAS09].

SQL-injektio tapahtuu, kun syöte ei ole erillään SQL-kyselyn rakenteesta, jonka vuoksi hyökkääjä kykenee muuttamaan kyselyn logiikkaa lisäämällä puutteellisesti tarkistetun syöteen. Yksi yleisesti käytettävä ratkaisu SQL-injektion välttämiseksi ovat esivalmistellut lauseet (prepared statements). Esivalmistellut lauseet määrittelevät kyselyn rakenteen täsmällisesti. Määrittelemällä lauseelle rakenne sekä määrittelemällä syötteille

rajat, voidaan lausetta sanoa esivalmistelluksi. Ajatellaan tilannetta, jossa edellä esitelty kyselylause muutetaan muotoon:

```
SELECT * FROM user_table WHERE username = ? AND password = ?;
```

Tällöin edellä olevassa lauseessa, kysymysmerkit ovat rajoitettuja parametreja, joiden muuttujien arvot asetetaan erillisen asetusmetodin avulla. Tällöin muuttujille voidaan myös tehdä vahva tyyppin tarkistus, eli varmistaa esimerkiksi, että numerotieto todella on numerotietoa tai tehdä merkkijonossa olevista yksittäisistä lainausmerkeistä vaarattomia. Tarkastusten jälkeen jokainen yksittäinen muuttuja voidaan asettaa asetusmetodin avulla. Esimerkiksi merkkijono asetetaan Java-ohjelmointikielessä lauseessa olevan kysymysmerkin paikalle `setString(index, input)` –metodilla, jossa `index` on kysymysmerkin järjestysnumero ja `input` syöte. Mikäli syöte on virheellinen, palauttaa metodi virheilmoituksen eikä kyselyä lähetetä tietokantaan. Javassa esivalmistellut lauseet ovat turvallisuuden lisäksi käytössä myös tehokkuuden takia [KAS09]. Java toteutuksissa esivalmistellut lauseet käännetään kerran mutta niitä voidaan käyttää monta kertaa.

3.6.3 Web-sovellusten turvallisuus

Tänä päivänä yksi laajimmalle levinneistä turvallisuus haavoittuvuuksista web-sovelluksissa ovat XSS-aukot (Cross Site Scripting) [MAR08]. Lyhyesti sanottuna XSS-aukko tarkoittaa, että hyökkääjä voi jotakin kautta lisätä web-sivuille koodia, joka ei sinne kuulu. Tämä voi tapahtua esimerkiksi lomakkeen kautta, kun käyttäjän syöttämää tietoa ei tarkasteta tai suodateta millään tavalla. Koska tässä diplomityössä kehitettävässä järjestelmässä, käyttäjien tulee voida lisätä web-sivun avulla kartalle kohteita ja lisätä niihin tietoa lomakkeen avulla, tulee XSS-aukkojen mahdollisuus ottaa huomioon ja pyrkiä estämään ne.

XSS-haavoittuvuudet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, joita ovat DOM-pohjaiset (Document Object Model), ei-pysyvät ja pysyvät haavoittuvuudet [MAR08]. Ei-pysyvissä aukoissa haitallinen koodi ei itsessään ole talletettu varsinaista sivustoa ylläpitävälle palvelimelle mutta käyttäytyy kuin sen alkuperä olisi sivusto itsessään. Ei-pysyvillä aukoilla viitataan tilanteisiin, jolloin web-sovellus sokeasti, ilman mitään tarkistuksia, liittää HTTP-pyynnön osana olevaa tietoa kyseisen HTTP-pyynnön vastauksena

lähetettävään HTML-koodiin. Käyttäkseen hyväksi ei-pysyvää XSS-aukkoa, on hyökkääjän huijattava uhria lähettämään väärennetty tai muokattu HTTP-pyyntö. Tämä voi tapahtua lähettämällä uhrille vihamielinen vahingollisesti muotoiltu linkki esimerkiksi sähköpostilla tai pikaviestimellä.

Pysyvällä XSS-aukolla viitataan kaikkiin XSS-haavoittuvuuksiin, missä hyökkääjä on pysyvästi onnistunut lisäämään haitallista koodia haavoittuvaisen sovelluksen tallennusjärjestelmään kuten tietokantaan. Tämä mahdollistaa sen, että haitallinen koodi suoritetaan aina käyttäjän siirtyessä saastuneelle web-sivulle. Haitallinen koodi on voitu onnistua lisäämään tietokantaan esimerkiksi sivustolla olevalla lomakkeella, jonka syötteitä ei tarkasteta.

DOM-pohjaiset XSS-haavoittuvuudet ovat ei-pysyvien haavoittuvuuksien erikoistapaus, jotka voivat tapahtua esimerkiksi web-sivuston osoitteita muokkaamalla. Osoiterivillä olevaa osoitetta tai linkkiä muokkaamalla sopivasti voidaan tällaista aukkoa käyttää hyväksi. Tätä voidaan havainnollistaa esimerkiksi sivustolla, jonka hakukoneessa on XSS-aukko. Tällöin, kun käyttäjä tekee haun, välitetään haku sivuston osoitteen parametrina esimerkiksi *sivusto.fi/?haku=xss*. Kun käyttäjä lähettää haun web-palvelimelle, niin se lukee parametrin, tekee haun ja palauttaa tulossivun, joka sisältää hakusanalla löytyvät tulokset. Palautettu sivu voi myös sisältää kyseisen hakuparametrin sellaisenaan. Tässä esimerkissä hakutuloksena palautetulla sivulla voisi esimerkiksi lukea: Haulla ”xss” löytyi 138 tulosta. Ongelma syntyykin siitä, jos hakuparametri näytetään sivulla ilman minkäänlaista käsittelyä eli juuri sellaisenaan kuin se on hakukenttään kirjoitettu. Jos parametri näytetään tulossivulla sellaisenaan, voi hyökkääjä kirjoittaa hakusanan tilalle omaa HTML-koodia, esimerkiksi *sivusto.fi/?haku=<H2>xss</H2>*. Tässä tapauksessa sivulla näytettäisiin sana xss muotoiltuna kakkostason otsikoksi tulossivun hakusanaa ilmaisevassa kohdassa, mikä ei sinällään ole kovin vakavaa. Mutta jos hyökkääjä saakin lisättyä sivulle tämänkaltaisen aukon avulla esimerkiksi JavaScript koodia, voi hän saada sivuston haltuunsa ja mahdollisesti vakoilla käyttäjien tunnuksia ja salasanoja.

XSS-aukkojen estämiseksi tulisi käyttäjien lisäämät syötteet ennen tallettamista tietokantaan ja sivuilla näyttämistä varten suodattaa. Mikäli HTML-sivuilla näytettävästä käyttäjän syöttämästä tekstistä suodatetaan ennen tiedon lisäämistä tietyt vaaralliset merkit,

kuten <, ” ja ’ voidaan XSS-aukot estää [MAR08]. Kyseiset vaaralliset merkit voidaan myös HTML koodata, mikä tarkoittaa esimerkiksi lainausmerkin ” muuttamista muotoon ". Tällöin selain tulostaa merkin ruudulle oikein mutta sivun koodissa se näkyy " -muodossa.

XSS-hyökkäysten lisäksi web-sovelluksiin, jotka ovat istuntopohjaisia ja jossa käyttäjä joutuu autentikoimaan itsensä, liittyy muitakin riskejä tietoturvan kannalta. Kun käyttäjä kirjautuu onnistuneesti johonkin web-palveluun, luodaan hänelle tavallisesti istunto sekä istuntoavain, jota käytetään kontrolloimaan pääsyä palveluihin ja tunnistamaan kyseinen käyttäjä. Käyttäjälle muodostettuja istuntoja vastaan suoritettaviin hyökkäyksiin voidaan laskea kuuluvaksi olemassa olevan yhteyden sieppaamisen, avaimen ennustamisen ja avaimen arvaamisen. Mikäli istuntoavain onnistutaan saamaan joko sieppamalla, arvaamalla tai ennustamalla, voi siitä aiheutua suuri tietoturvariski. Tällöin hyökkääjällä voi olla mahdollisuus suorittaa kaikki varsinaisen istunnon haltijan käytössä olevat toiminnot. Yhteyden sieppaamista voidaan pyrkiä estämään salaamalla yhteys. Istuntoavaimen arvaamisen sekä ennustamisen estämiseksi tulee luoda riittävän satunnainen sekä tarpeeksi pitkä istuntoavain. Istunnon turvallisuutta voidaan parantaa myös sitomalla istuntoavain käyttäjän verkko-osoitteeseen, tuhoamalla istunto uloskirjaututtaessa tai tietyn ajan jälkeen sekä kehottamalla käyttäjää kirjautumaan aina ulos palvelun käytön lopetettuaan.

Istuntoavainta, kuten salasanaakaan, ei tulisi lähettää URL-osoitteen (Uniform Resource Locator) parametrina. Mikäli näin tehdään, ulkopuolinen taho voi esimerkiksi HTTP-pyyntöstä lukea salasanan tai istuntoavaimen. Tämä voidaan estää käyttämällä HTTPS-protokollaa (Hypertext Transfer Protocol Secure). Tällöin HTTP-viestistä selkokieleisenä välitetään vain palvelimen osoite ja portti, johon ollaan yhdistämässä. Tämä ei kuitenkaan estä sitä, ettei URL-osoite kokonaisuudessaan jäisi sivun tarjoavan palvelimen lokitiedostoihin ja olisi näin ollen ylläpitäjän tai lokitiedostojen joutuessa vääriin käsiin myös ulkopuolisen luettavissa.

4 JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Suunnitteluvaiheen jälkeen työssä siirryttiin järjestelmän tekniseen toteutukseen. Suurimman osan kehitystyöstä vei eri toiminnallisuuksien toteuttaminen. Järjestelmässä pyrittiin kiinnittämään mahdollisimman paljon huomiota varmaan toimintaan ja karsimaan virheitä jo kehitysvaiheessa. Toteutusvaiheen alussa valittiin käytettävät tekniikat, joiden avulla järjestelmä toteutettiin. Kaikki valitut tekniikat ja ohjelmistot ovat vapaasti levitettäviä lukuun ottamatta Windows-käyttöjärjestelmää.

4.1 Toteutuksessa käytetyt tekniikat

Toteutuksessa käytettäviä tekniikoita valittaessa pyrittiin noudattamaan yleisesti käytössä olevia standardeja ja tekniikoita. Toteutuksessa käytetty työympäristö perustuu yleisesti saatavilla oleviin ja vapaasti levitettäviin työkaluihin. Kehitysympäristönä toimi Eclipse, jonka avulla kaikki ohjelmointityö toteutettiin. Käyttöjärjestelmänä toteutettaville sovelluksille toimii Windows XP sekä Windows7. Käytettävät tekniikat valittiin kuitenkin niin, että ne mahdollistaisivat myös käyttöjärjestelmästä riippumattoman toiminnan.

4.1.1 Java

Java on Sun Microsystemsin kehittämä laaja teknologiaperhe ja ohjelmistoalusta, johon kuuluu laitteistoriippumaton oliopohjainen ohjelmointikieli. Java on käytössä useilla eri alustoilla matkapuhelimista tietokoneisiin. Toisin kuin tavanomaiset ohjelmointikielet, Java käännetään tavukoodiksi (bytecode), eikä perinteisten ohjelmointikielten tapaan suoraan natiiviksi konekieliseksi koodiksi. Koska Javan tavukoodi on alustariippumaton, voidaan se suorittaa missä tahansa Java-virtuaalikoneessa riippumatta tietokoneen tai järjestelmän arkkitehtuurista. Ainoa vaatimus on, että Javan virtuaalikone on käännetty kyseiseen ympäristöön. Alustariippumattomuus mahdollistaa järjestelmästä toiseen siirrettävissä olevien ohjelmien kehittämisen. Javan kehityksen lähtökohtana oli yksinkertaisuus sekä se, että ohjelmoijat voisivat oppia sen helposti ja nopeasti. Toinen päämäärä oli tehdä kielestä tutun näköistä ja aikaisempia ohjelmointikieliä muistuttavaa. Java sisältääkin monia C ja C++ kielistä tuttuja rakenteita. Yhtenä tärkeänä käyttöä helpottavana uudistuksena ohjelmoijan kannalta verrattuna C ja C++-kieliin oli osoittimien

(pointers) poistaminen [VAN97]. Java ohjelmointikieltä käyttämällä toteutettiin järjestelmän eri sovellusten varsinainen ohjelmointityö.

4.1.2 JavaScript

JavaScript ja Java ovat kaksi eri kieltä. JavaScript on Netscape-yhtiön ja Javan kehittäneen Sun Microsystemsin yhteistyön tulos. JavaScript on olioihin perustuva, asiakaspuolen komentosarja (yleisemmin ”skripti”). JavaScriptin oliot eivät kuitenkaan ole luokkiin perustuvia Javan tapaan vaan ne ovat pelkästään yleisiä olioita. Asiakaspuolen kielellä tarkoitetaan sitä, että JavaScript koodi suoritetaan asiakaspäässä, toisinsanoin web-selaimen toimesta, eikä sivun tarjoavalla palvelimella. JavaScriptiä käytetään web-sivujen tekemiseen sekä niiden interaktiivisuuden lisäämiseen. Edellä esitelty Java on täysiverinen ohjelmointikieli, jolla tuotettu ohjelmakoodi täytyy kääntää ajoalustalle sopivaksi ennen kuin se voidaan suorittaa. Tästä poiketen, JavaScript ei tarvitse varsinaista kääntäjää, vaan sillä tuotetut selkokiehiset komentosarjat tulkataan niin sanotusti lennossa ajettavaksi koodiksi. Lisäksi se on Javaa suvaitsevampi monilla alueilla, kuten kielen syntaksin suhteen. JavaScriptiä käytetään toteutettavassa järjestelmässä asiakas- ja valvontaohjelmissa interaktiivisten karttatoimintojen toteuttamiseen, joita ovat esimerkiksi kartan automaattinen kohdistus valittuun ajoneuvoon, tietoruutujen avaus- ja sulkeminen sekä kartalle lisättävän tiedon tarkistus ennen palvelimelle lähetystä.

4.1.3 HTML

HTML (Hypertext Markup Language) on standardi, jota käytetään web-sivujen laadintaan. Sen avulla kuvataan hyperlinkkejä sisältävää tekstiä eli hypertextiä. HTML-kielen avulla kuvataan myös tekstin rakennetta ja erotellaan eri osia. HTML:n avulla voidaan esimerkiksi erotella otsikot leipätekstistä. Rakenteiden kuvaus tapahtuu tekstin sekaan kirjoitettavien elementtien, joita myös tageiksi kutsutaan, ja niihin liitettävien määreiden avulla. Elementtien avulla ei siis kuvata informaatiota ja sen sisältöä vaan tekstin rakennetta ja esitystapaa. HTML-kielen alkuperäinen tarkoitus oli kuvata pelkästään esitettävän tekstin rakennetta mutta selainvalmistajat lisäsivät omia elementtejä kuvaamaan tekstin tyyliä. Nykyään kuitenkin HTML-kielen määrittelystä on poistettu monia tyyliä kuvaavia elementtejä. Tyylien kuvaukseen voidaan käyttää erillisiä tyyli tiedostoja. HTML-

koodin standardin määrittelee W3C (World Wide Web Consortium). Standardia noudattamalla voidaan edesauttaa tuotetun koodin yhteensopivuutta erilaisten selaimien välillä. HTML-kielen avulla järjestelmässä toteutetaan ajoneuvojen sijainteja esittävä karttasivu ja sen rakenne.

4.1.4 CSS

HTML-koodin avulla esitettävän tekstin ulkoasun, kuten fonttien, muokkaamiseen voidaan käyttää CSS-määrittelyn (Cascading Style Sheets) [CSS09] mukaisia tyyli tiedostoja. Tyyli tiedostojen avulla, HTML-elementeille voidaan kullekin määrittää sekä yleiset että elementtikohtaiset asetukset. Tyyli tiedostoja käyttämällä sivuston ulkoasusta saadaan hallittavampi ja helpommin muokattavissa oleva. Tällöin ulkoasua muokattaessa riittää tyyli tiedoston muokkaaminen eikä jokaista sivua tai näkymää tarvitse erikseen muokata. CSS:n avulla asetetaan toteutettavassa järjestelmässä karttaa esittävän HTML-sivun ulkoasu, kuten tietolaatikkojen fontit, painikkeiden väritykset ja taulukkoelementtien reunukset.

4.1.5 XML

XML (Extensible Markup Language) on merkintäkieli, jonka tavoitteena on ollut mahdollistaa itse asiasisällön kuvaus eikä sitä ole tarkoitettu sivujen ja esitystavan kuvaamiseen HTML:n tapaan. XML:n avulla tiedon merkitys on kuvattavissa itse tiedon sekaan ilman ennalta määrättyjä tunnisteita. XML-kieli on tekstimuotoista ja se muistuttaaakin HTML-kieltä. XML:ää käytetään usein tiedon välittämiseen järjestelmien välillä sekä formaattina tiedon tallentamiseen. Toteutettavassa järjestelmässä XML toimii formaattina tiedon välittämiseen järjestelmän eri sovellusten välillä.

4.1.6 SQL

SQL (Structured Query Language) on tietokantojen käsittelyyn suunniteltu kieli, joka on alun perin IBM:n kehittämä 1970-luvulla. SQL-kielen avulla voidaan tietokantoihin tallettaa, poistaa, hakea sekä muuttaa niissä olevaa tietoa. Useimmat olemassa olevista tietokannoista tukevat SQL-kieltä.

Toteutettavan järjestelmän relaatiotietokannan hallintajärjestelmäksi valittiin MySQL, joka on avoimeen lähdekoodiin perustuva ja ilmaiseksi saatavilla oleva tietokantaratkaisu. MySQL on alun perin vuonna 1995 suomalaisen Michael Wideniuksen ja ruotsalaisen David Axmarkin yhdessä luoma. Monista kaupallisista tietokantajärjestelmistä poiketen MySQL:n hallinnointi tapahtuu komentoriviltä. MySQL-tietokanta on hyvin suosittu web-palveluiden tietokantana ja sen päälle rakennettava ohjelmalogiikka toteutetaan web-sovelluksissa usein PHP- (PHP: Hypertext Preprocessor), Python- tai Perl-ohjelmointikielellä.

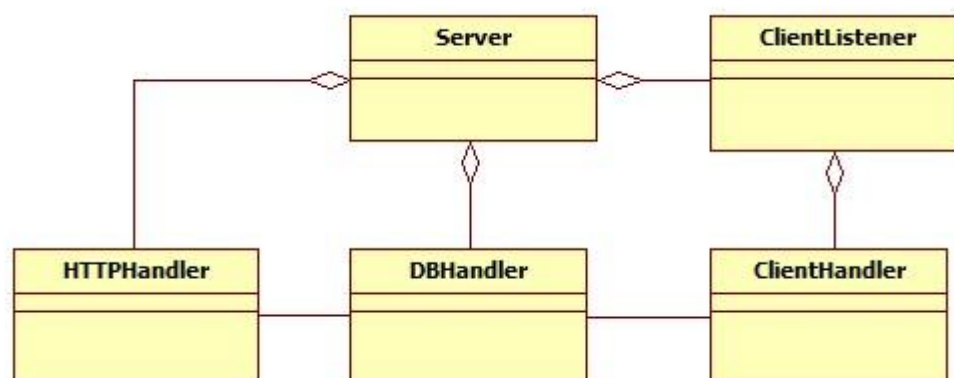
4.2 Palvelinsovellus

Palvelinsovelluksen toteutukseen käytettiin Java SE (Standard Edition) ohjelmointikieltä. Palvelinohjelmalle toteutettiin vain hyvin yksinkertainen käyttöliittymä, josta voidaan valita ennen käynnistystä palvelimen käyttämä TCP-portti, sekä asettaa tietokannan osoite. Lisäksi testausta ja virheiden etsinnän helpottamista varten toteutettiin ikkuna, jonka kautta pystyttiin tarkastelemaan lähteviä ja saapuvia viestejä.

Toteutettu palvelinsovellus vastaa asiakasohjelmien ja palvelimen välisten viestien vaihdosta sekä tietojen talletuksesta tietokantaan. Palvelinohjelman pääluokka on kuvan 10 mukaisesti Server-luokka, jonka avulla hoidetaan palvelimen käynnistys, yksinkertaisen käyttöliittymän muodostus sekä palvelimen sammutus. Yhteyspisteenä asiakasohjelmien ja palvelimen välillä toimii ClientListener-luokka, jonka vastuulla on avata TCP-portti ja kuunnella uusia yhteyksiä asiakasohjelmalta. Luokka luo myös jokaista asiakasovellusta kohden uuden ilmentymän ClientHandler-luokasta. ClientHandler-luokka ottaa hoitaakseen palvelimen ja asiakasohjelman välisen TCP-yhteyden ja vastaa tämän jälkeen näiden välisestä viestinvaihdosta järjestelmälle määritellyn protokollan mukaisesti. ClientHandler-luokka vastaa lisäksi käyttäjän tunnistuksesta ja se on yhteydessä DBHandler-luokaan, joka sisältää toiminnot tietokantayhteyttä ja -operaatioita varten.

Toteutetussa järjestelmässä käytetään edellä esitetyn kuvan 8 mukaisesti web-palvelinta, jonka avulla hoidetaan karttanäkymän sisältämän web-sivun lähetys asiakasohjelman selainkomponentille. Web-palvelin toteutettiin varsinaisen palvelinohjelman sisälle käyttämällä hyväksi Java SE:n tarjoamia kirjastoja, joiden avulla voidaan luoda ohjelmaan

sisällytetty, yksinkertainen ja kevyt web-palvelin. Nämä kirjastot tarjoavat riittävät toiminnallisuudet web-palvelimelle, kun toteutetussa järjestelmässä välitettävänä on vain yksi HTML-sivu. Kuvassa 10 esitetty HTTPHandler-luokka käsittelee palvelinsovellukselle tehdyt HTTP-pyynnöt sekä vastaa niihin. Luokka on yhteydessä myös DBHandler-luokkaan, joka vastaa tietokantatoiminnoista.



Kuva 10. Yksinkertaistettu korkean tason luokkakaavio palvelinohjelmasta.

Kun jäljitysohjelmiston toteutuksen periaatteena on, että käyttäjällä on käyttöoikeudet vain siihen tietoon, johon hänellä on oikeudet, autentikoidaan käyttäjät ClientHandler-luokan toimesta sisäänkirjautumisen yhteydessä. Tätä varten tietokantaan talletetaan käyttäjätunnus ja salasana jokaista käyttäjää varten, joiden avulla tunnistus tapahtuu. Salasanaa ei kuitenkaan talleteta tietokantaan selkokiekisenä vaan siitä talletetaan MD5-algoritmillä (Message-Digest algorithm 5) muodostettu 128-bittinen tiiviste. MD5-algoritmillä muodostettu tiiviste on yksisuuntainen, jonka vuoksi tiivisteestä ei käytännössä ole mahdollista selvittää alkuperäistä lähdettä, josta se on muodostettu. Lisäksi käyttäjän syöttämään salasanaan lisätään palvelinohjelmaan ennalta määritelty niin sanottu suola. Tämän tarkoituksena on estää yleiset salasanat, joiden tiivisteet ovat ennalta tiedossa. Alkuperäisestä salasanasta muodostetun tiivisteiden avulla voidaan välttää se, että väärin käsiin joutuessaan salasanat eivät ole selkokiekisenä luettavissa. Kun käyttäjä kirjautuu järjestelmään, lasketaan hänen syöttämästään salasanasta ja tähän lisäystä suolasta jälleen tiiviste, jota verrataan tietokantaan talletettua tiivistettä vasten. Mikäli tiivisteet vastaavat toisiaan, on käyttäjä tunnistettu.

Jotta asiakassovelluksen web-selaimen tekemät erilliset HTTP-pyynnöt palvelimelle voidaan sallia, täytyy asiakasohjelman selainkomponentin käyttäjä tunnistaa. Jotta

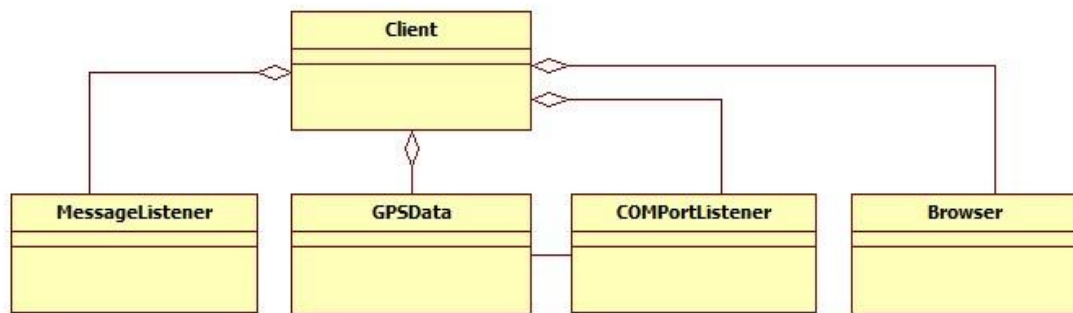
järjestelmän käyttäjän ei tarvitsisi kirjautua erikseen asiakasohjelmalla sekä asiakasohjelmaan sisällytetyllä selainkomponentilla, toteutettiin järjestelmään järjestely kertakirjautumista varten. Kun käyttäjä kirjautuu järjestelmään asiakasohjelmalla antamallaan käyttäjätunnuksella ja salasanalla, varmistetaan näiden oikeellisuus, jonka jälkeen asiakasohjelmalle lähetetään palvelimen muodostama kertakäyttöinen ja satunnaisesti muodostettu tunnus. Tämän tunnuksen avulla selainkomponentti kirjautuu järjestelmään. Kun asiakasohjelma ohjaa selainkomponentin tunnistautumissivulle, välitetään kertakäyttöinen tunnus ja käyttäjätunnus sivun osoitteen parametrina. HTTP-palvelin tarkistaa tietokannasta, onko pyynnön tehneestä IP-osoitteesta jo kirjaututtu asiakasohjelmalla sisään ja onko voimassa olevaa istuntoa olemassa. Mikäli osoitteesta on voimassaoleva istunto ja kertakäyttöinen tunnus sekä IP-osoite täsmäävät tietokannassa käyttäjätunnuksen kanssa, hyväksytään selaimen kirjautuminen. Tämän jälkeen välitetään asiakasohjelman selaimelle vastauksena HTTP-uudelleenohjaus sekä varsinainen istuntoavain keksinä. HTTP-uudelleenohjaus ohjaa selaimen varsinaisen karttanäkymän tarjoavalle sivulle. Tämän jälkeen selaimen lähettämät pyynnot tunnistetaan keksinä välitettävän istuntoavaimen perusteella. Kuitenkin jokaisen sivupyynnön yhteydessä, minkä asiakasohjelman selain tekee web-palvelimelle, tarkistetaan onko käyttäjä kirjautuneena varsinaisella asiakasohjelmalla edelleenkin sisään. Näin ollen selaimella ei tarvitse kirjautua erikseen ulos, jotta selaimen istunto ei olisi enää voimassa. Istunto lakkaa olemasta voimassa heti, kun käyttäjä kirjautuu asiakasohjelmalla ulos tai yhteys asiakasohjelman ja palvelimen välillä katkeaa ja palvelin huomaa tämän. Mikäli selaimen tekemiä pyyntöjä ei tunnistettaisi millään tavalla, voisi kuka tahansa ulkopuolinen, tietämällä karttasivun osoitteen, ladata sen ja nähdä kaikkien ajoneuvojen sijainnin.

4.3 Asiakassovellus

Asiakasohjelma toteutettiin palvelinohjelman tapaan Java SE-ohjelmointikieltä käyttäen. Asiakasohjelman perusluokkana toimii kuvan 11 mukaisesti Client-luokka, joka vastaa ohjelman käynnistymisestä, sammutuksesta ja käyttöliittymän luomisesta. Client-luokka koostuu mm. MessageListener-luokasta, jonka tehtävänä on luoda ja ylläpitää TCP-yhteyttä palvelinohjelmaan, sekä lähettää ja vastaanottaa viestejä. Browser-luokan tehtävänä on esittää HTML-sivuja. Selaimeksi ohjelmaan integroitiin JDICplus-kirjaston²

² <https://jdic.dev.java.net/documentation/incubator/JDICplus/index.html>

avulla Windows käyttöjärjestelmän sisältämä Internet Explorer-selain, sillä tämän hetkisen Javan version 6 luokkakirjastot itsessään eivät sisällä komponenttia, jonka avulla voitaisiin näyttää vähänkään monimuotoisempia HTML-sivuja tai sivuja, jotka sisältävät JavaScript toimintoja.



Kuva 11. Yksinkertaistettu korkean tason luokkakaavio asiakasohjelmasta.

4.3.1 Paikkatiedon lukeminen GPS-vastaanottimelta

Asiakasohjelman COMPortListener -luokan (kuva 11) tehtävänä on vastata sarjaporttiin liittyvistä toiminnoista kuten avaamisesta, sulkemisesta sekä datan lukemisesta. Tietoa portista luetaan lause kerrallaan, jonka jälkeen lause lähetetään käsiteltäväksi GPSData-luokkaan toteutetulle NMEA-parserille. Parseri käsittelee vain NMEA0183-standardin mukaiset GPGLA- (Global positioning system fixed data), GPRMC- (Recommended minimum specific GPS/TRANSIT data), GPGLV- (GPS Satellites in View) ja GPGLA-lauseet (GPS dilution of precision and active satellites). Näistä lauseista saadaan parsittua kaikki sovelluksessa tarvittava tieto. Mikäli GPS-vastaanotin lähettää muita lauseita, ne hylätään eikä niille tehdä mitään.

Päivitysväliksi paikkatietojen lähetykseen palvelimelle valittiin viisi sekuntia. Tällöin esimerkiksi 100 km/h tuntinopeudella ajoneuvo ehtii liikkua noin 139 metriä. Koska suurilla nopeuksilla maantiellä ajettaessa, ei tavallisesti ole jyrkkiä mutkia, ei tästä oletettavasti aiheudu merkittävää heittoa ajopäiväkirjan matkatietoihin. Jos ajatellaan taajama-alueella tavallista 40 km/h nopeusrajoitusta, liikkuu ajoneuvo tällä nopeudella viidessä sekunnissa noin 56 metriä. Mikäli tässä tapauksessa ajettu reitti mutkittelee paljon, voi se aiheuttaa palvelimen laskemaan ja ajopäiväkirjassa näytettyyn kokonaismatkaan

eroavaisuuden verrattuna todelliseen ajettuun matkaan, joka oletettavasti on laskettua suurempi. Valitun päivitysvälin aiheuttamiin eroavaisuuksiin matkamittauksessa verrattuna todelliseen matkaan otetaan tarkemmin kantaa testausta käsittelevässä luvussa.

4.3.2 Käyttöliittymä

Toteutetun asiakasohjelman aloitusikkuna näkyy kuvassa 12. Kyseinen ikkuna sisältää keskustelumahdollisuuden järjestelmään kirjautuneiden käyttäjien välillä. Lisäksi valitsemalla käyttäjälistasta jonkun käyttäjän, voi tälle lähettää yksityisviestin, joka ei muille näy.



Kuva 12. Asiakasohjelman pääikkuna.

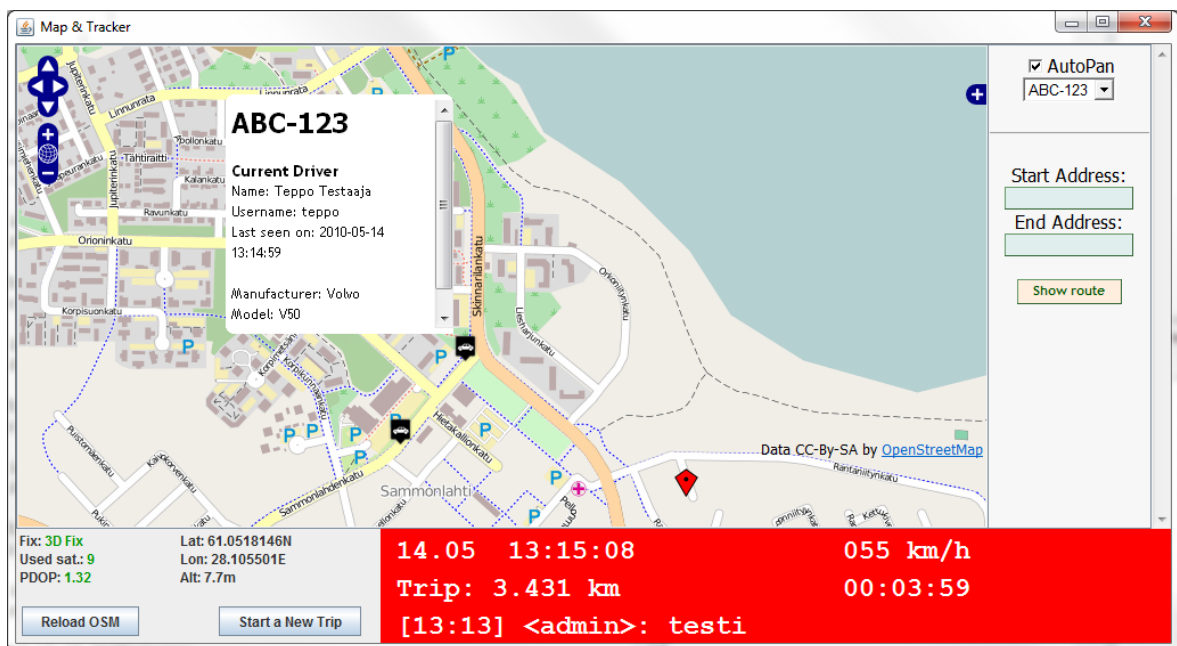
Karttapohjaksi järjestelmään valittiin Openstreetmap³ sekä karttojen esittämiseen OpenLayers⁴. Perusteena valinnalle oli ilmainen saatavuus sekä karttapohja, joka mahdollistaa ympäristön tarkemman kuvaamisen kuin esimerkiksi Google Maps. Openstreetmap perustuu käyttäjien itse tuottamaan kartta-aineiston sekä käyttäjien itse tekemiin karttapäivityksiin. Tämä mahdollistaa, jokaisen osallistumisen karttatiedon täydentämiseen. Tällä on myös haittapuolensa, sillä varsinkin pienten paikkakuntien kartta-

³ <http://www.openstreetmap.org>

⁴ <http://openlayers.org/>

aineistot voivat olla puutteellisia. Valinnan perusteena oli myös se, että Google Mapsin käyttöehdot kieltävät ilmaisen lisenssin käytön suljetuissa järjestelmissä. Mikäli Google Mapsia halutaan käyttää ei vapaasti saatavilla oleviin sovelluksiin, tulisi hankkia tähän tarkoitukseen sopiva maksullinen lisenssi.

Kartta ja jäljitysikkunaan toteutettiin kuvan 13 kaltainen näkymä. Kuvassa on klikattu ajoneuvoa, jonka seurauksena kartan päälle on avautunut kyseisen ajoneuvon tietoikkuna, josta näkee esimerkiksi sen hetkisen kuljettajan sekä ajan milloin viimeisin havainto kyseisestä ajoneuvosta on tehty. Lisäksi karttaikkunassa näkyvät päiväys, kellonaika, ajoneuvon sen hetkinen nopeus, kuljettu aika ja matka sekä viimeisin vastaanotettu keskusteluviesti. Karttaikkunassa näytettävä kuljettu matka lasketaan kaikkien GPS-vastaanottimelta saatujen koordinaattipisteiden perusteella. Karttaikkunassa näkyvän todellisen kuljetun matkan ja tietokantaan talletetun ja ajopäiväkirjassa esitetyn matkan pituuden eron suuruusluokkaan otetaan tarkemmin kantaa testiosiossa. Ikkunassa näytetään myös tiedot GPS-vastaanottimen laskentaan käyttämien satelliittien lukumäärästä sekä satelliittigeometriasta (PDOP-luku). Näiden avulla käyttäjä voi arvioida tilannetta laskentaan käytettyjen satelliittien kannalta, mikäli sijaintitieto näyttää olevan kartalla pahasti pielessä.



Kuva 13. Asiakasohjelman kartta- ja jäljitysikkuna.

Klikkaamalla karttaa jostakin kohden, missä ei ole ajoneuvoa tai jo lisättyä kiinnostavaa pistettä (POI), voi käyttäjä lisätä POI:n. Vaihtoehtoina POI:lle ovat yrityksen oma toimipiste, asiakaskohde tai käyttäjän oma yksityinen POI, joka ei näy muille käyttäjille. Kuvassa 13 näkyvä punainen merkki kartalla edustaa POI:ta, jota klikkaamalla avautuisi kyseisen kohteen tiedot sisältävä laatikko.

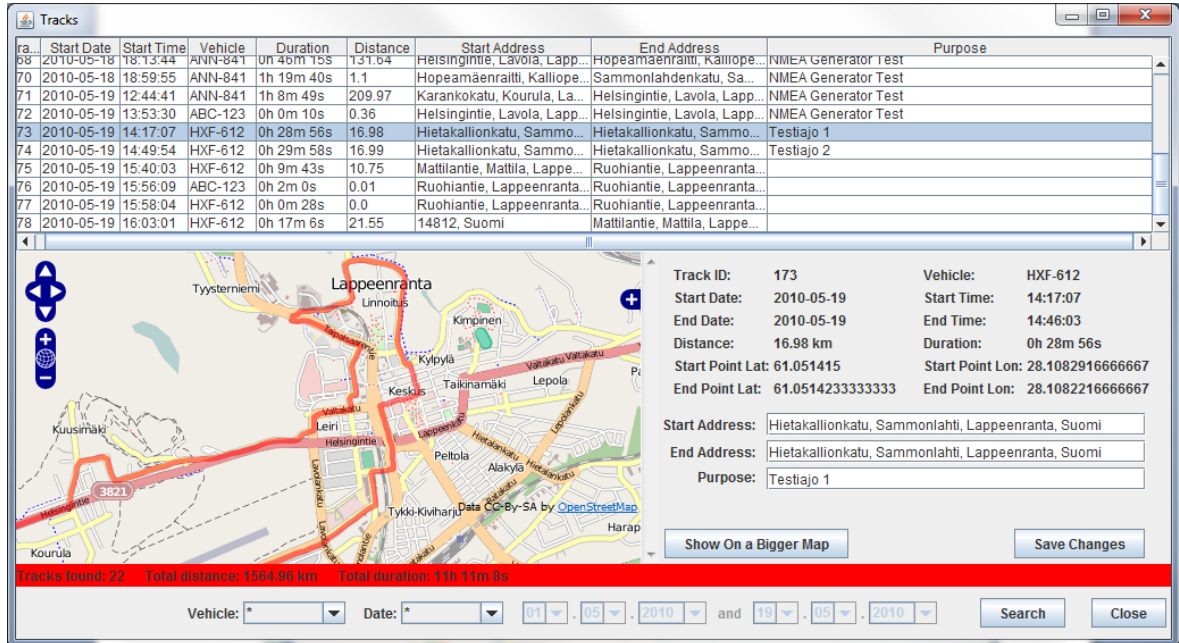
Ohjelmaan toteutettiin vaatimusmäärittelyjen mukaan mahdollisuus tarkastella omia ajettuja matkoja. Tähän tarkoitukseen toteutettiin kuvassa 14 näkyvän kaltainen ikkuna. Käyttäjä voi hakea palvelimelta omia matkojaan ajoneuvon, päiväyksen tai näiden yhdistelmien perusteella. Käyttäjä voi muokata hakutuloksista valitsemansa matkan alku- ja loppuosoitetta sekä matkan tarkoitusta. Alku- ja loppuosoitteet tallennetaan Nominatim-palvelun⁵ antamien tietojen perusteella automaattisesti. Koska tiedot voivat olla virheellisiä, on käyttäjällä mahdollisuus muokata niitä. Alkuosoite matkalle haetaan, kun käyttäjä aloittaa uuden matkan. Palvelin lisää automaattisesti loppuosoitteen, kun käyttäjä aloittaa uuden matkan tai kirjautuu ulos järjestelmästä tai yhteys palvelimeen jostakin muusta syystä katkeaa. Nominatim-perustuu geokoodaukseen ja käänteiseen geokoodaukseen. Geokoodauksessa muunnetaan osoite sitä vastaaviksi maantieteellisiksi koordinaateiksi ja käänteisessä geokoodauksessa koordinaatit niitä vastaavaksi osoitteeksi.

Käyttäjän tekemän haun tuloksista lasketaan ja näytetään kokonaispituus sekä -kesto ajetuille matkoille. Valittu reitti näytetään myös kartalla. Reittipisteitä palvelin liittää kartalla näytettävään reittiin maksimissaan 5000, jotta hitaallakin mobiiliyhteydellä olisi mahdollista tarkastella ajettuja matkoja ilman monen minuutin odotusta. Reittipisteet karsitaan tasaisin välein. Esimerkiksi reitistä, joka sisältää 10000 reittipistettä, pudotetaan joka toinen reittipiste pois. Tiedoissa ilmoitettavaan matkan kokonaispituuden laskemiseen palvelin käyttää kuitenkin kaikki reittipisteet, jotka kyseisestä reitistä on tietokantaan tallennettu. Reitin pituuden palvelin laskee ja tallettaa tietokantaa, kun käyttäjä aloittaa uuden matkan tai kirjautuu ulos järjestelmästä tai yhteys palvelimeen jostakin muusta syystä katkeaa.

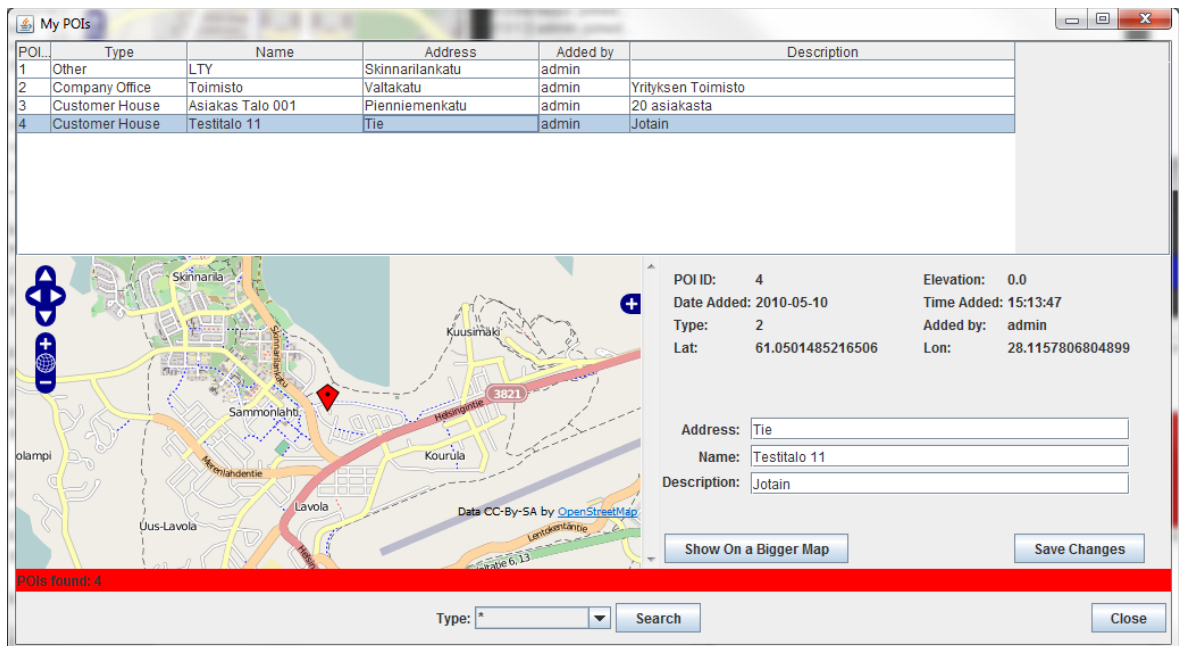
Käyttäjällä on myös mahdollisuus tarkastella erillisestä ikkunasta (kuva 15) kiinnostavia kohteita. Kohteita voi hakea niiden tyyppin mukaan ja käyttäjällä on mahdollisuus muokata

⁵ <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim>

lisäämiensä kohteiden tietoja. Tämän lisäksi asiakasohjelmaan toteutettiin toiminnot, joiden avulla käyttäjä voi muokata omia tietojään, vaihtaa salasanan sekä tarkastella GPS-vastaanottimen havaitsemien satelliittien tietoja.



Kuva 14. Ajopäiväkirja.



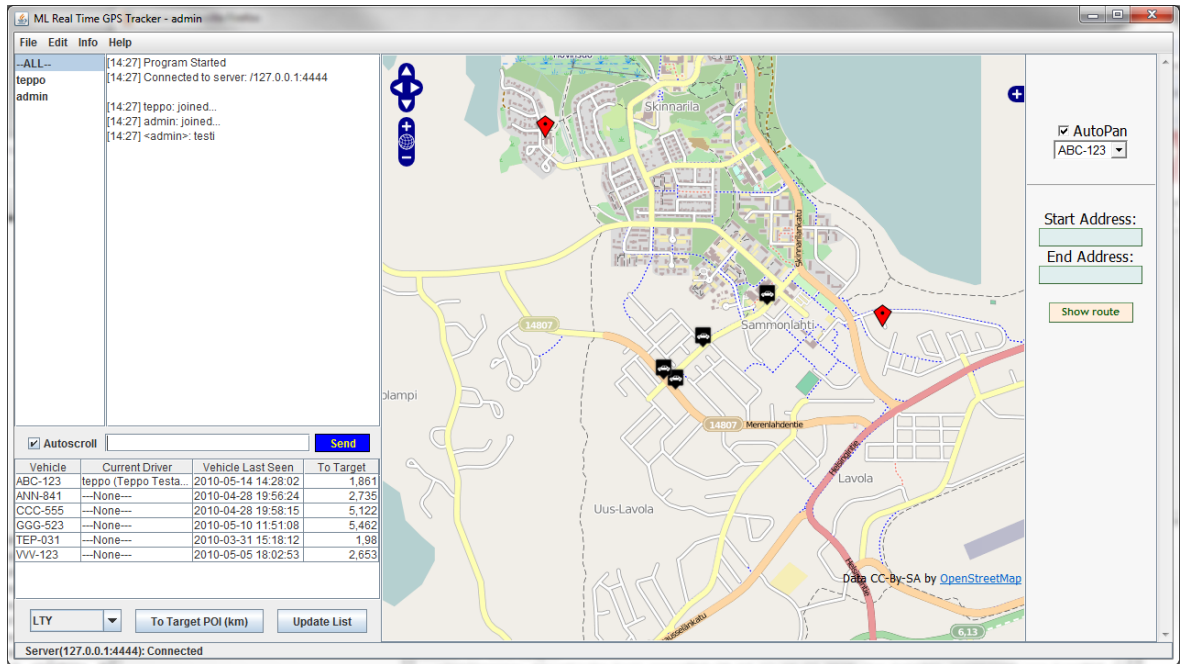
Kuva 15. Kartalle lisätyt kiinnostavat pisteet.

4.4 Valvontasovellus

Toiminnallisuudeltaan ja rakenteeltaan valvontaohjelma on samankaltainen kuin asiakasohjelmakin. Osittain siitä on karsittu asiakasovelluksen toimintoja ja joitakin uusia toimintoja on puolestaan lisätty, mitä ei ole mahdollista suorittaa asiakasohjelmalla. Selkein karsittu toiminto, on paikkatietojen luku GPS-laitteelta sekä sijaintitietojen välitys palvelimelle. Nämä toiminnot ovat tällä hetkellä tarpeettomia, koska sovellus on asennettuna valvomoon, jonka sijainti on kiinteä. Mikäli tulevaisuudessa on tarvetta, on nämä toiminnot mahdollista lisätä myös valvontasovellukseen. Valvontasovelluksen korkean tason luokkakuvaus on samanlainen kuin asiakasovelluksenkin (kuva 11) ilman GPSData ja COMPortHandler luokkia.

Toimintoja, jotka toteutettiin valvontasovellukseen ja joita ei voi tehdä asiakasohjelmalla ovat uusien ajoneuvojen lisäys sekä uusien käyttäjien lisäys. Näiden toimintojen suorittamiseksi käyttäjällä tulee olla järjestelmänvalvojan oikeudet. Lisäksi järjestelmänvalvoja voi hakea valvontaohjelmalla kaikkien käyttäjien, ei siis pelkästään omia, ajettuja matkoja. Valvontasovellukseen toteutettu pääikkunan käyttöliittymä on esitettyä kuvassa 16. Valvontaohjelmasta löytyvät niin keskustelutoiminto kuin varsinainen päätoiminto eli selainkomponentti, jonka avulla näytetään karttasivu, mikä mahdollistaa käyttäjien seuraamisen kartalla. Pääikkunasta löytyy myös toiminto, jonka avulla voidaan valita jokin kohde (POI) ja laskea kunkin ajoneuvon etäisyys teitä pitkin kuljettuna valittuun kohteeseen. Etäisyyden laskenta perustuu YOURS-palvelun⁶ (Yet another OpenStreetMap Route Service) tarjoaman reititys API:n (Application Programming Interface) käyttöön.

⁶ <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/YOURS>



Kuva 16. Valvontasovelluksen pääikkunan käyttöliittymä.

5 TESTAUS JA TULOKSET

Tässä kappaleessa esitellään toteutetun järjestelmän testaus sekä testauksessa käytetty laitteisto ja saadut tulokset. Järjestelmän perustoimintojen testausta ja siinä löytyneiden virheiden korjaamista suoritettiin koko kehitysprosessin ajan. Varsinainen suorituskykytestaus suoritettiin kaikkien sovellusten ollessa valmiina. palvelimen suorituskykyä ja kapasiteettia arvioitiin testauslaitteiston suorittimen kuorman avulla. Sovellusten käytettävyyttä arvioitiin subjektiivisesti testaajien omiin arvioihin perustuen.

5.1 Testauksessa käytetty laitteisto

Testauksessa käytettiin laitteistoa, joka voidaan luokitella kuuluvaksi kuluttajaluokkaan ja joka on yleisesti saatavilla olevaa. Käytetty laitteisto kunkin sovelluksen osalta on esitelty taulukossa 7. Testauksessa käytetyn GPS-vastaanottimen ominaisuuksiin kuuluu tuki sekä WAAS- että EGNOS-satelliittien tarjoaman tiedon vastaanottamiseksi. Vaikka EGNOS-satelliittien signaalien pitäisi kattaa Suomen alue, ei satelliittien signaaleja kuitenkaan saatu vastaanotettua. Mahdollisena selityksenä tälle voi olla testien ajankohdasta johtunut tilanne, jossa molemmat EGNOS-satelliitit ovat olleet niin matalalla horisontissa, että ympäristön muodostamat esteet ovat haitanneet signaalien vastaanottamista. Näkyviä satelliitteja kehitetyssä asiakasohjelmassa voi tarkkailla satelliittitiedot ikkunan kautta. EGNOS-satelliitit voi tunnistaa numeroista 33, 37 ja 39.

Taulukko 7. Testauksessa käytetty laitteisto.

Sovellus	Palvelin	Asiakas	Valvonta
Suoritin	Intel Core 2 Quad 6600	Intel Atom N450	AMD Phenom II X2 550
Suorittimen kellotaajuus	2,6 GHz	1,66 GHz	3,1 GHz
Suorittimen ydinten lkm.	4	1	2
Keskusmuisti	4GB	1GB	4GB
Käyttöjärjestelmä	Windows 7 Pro	Windows 7 Starter	Windows 7 Pro
GPS-vastaanotin	-	QStartz BT-Q1000 (piirisarja MTK), päivitystaajuus 5Hz	-

5.2 Tietoliikenteen toimivuus

Tietoliikenteen toimivuutta mobiiliverkossa arvioitiin laskemalla lähetettyjen ja perille saapuvien pakettien suhdetta. Asiakasohjelmaan toteutettiin tilasto-ominaisuus testejä varten, joka laski sovellustason protokollan pakettien määrän, joita yritettiin lähettää. Koska kuljetusprotokollana toimii TCP, tulisi lähetettyjen ja perille saapuneiden pakettien lukemien olla yhteneviä. Perille saapuneiden pakettien määrä tarkastettiin tietokannasta.

Lisäksi mitattiin siirrettävän tietoliikenteen määrää, jota arvioidaan GPRS-verkon tarjoamaan yleiseen suorituskykyyn nähden. Testit suoritettiin 2G-verkon (Second Generation) lisäksi nopeammassa UMTS-verkossa kaupunkialueella. 2G-verkon testissä, sallittiin modeemin asetuksista vain 2G-verkon käyttö. Kuitenkaan EDGE-tekniikkaa (Enhanced Data rates for Global Evolution) ei käytössä ollut modeemi mahdollistanut kytkeä pois päältä, mikä olisi mahdollistanut pelkän GPRS-tekniikan käytön. EDGE-standardi perustuu GPRS-tekniikkaan. Se tunnetaan myös markkinointitermillä 2.5G, koska se on parannettu toisen sukupolven tekniikka (2G), mutta se ei ole vielä varsinaista kolmannen sukupolven tekniikkaa (3G).

3G-verkkoa käytettäessä liittymän tarjoamana maksimi yhteysnopeutena oli 384kbps. Molempia tekniikoita käytettäessä ajettiin sama noin puolen tunnin kestoinen ja 17 kilometrin mittainen reitti kaupunkiympäristössä (taulukko 8, testiajot 1 ja 2). Lisäksi ajettiin noin 21 kilometrin reitti (testiajo 3) käsittäen syrjäistä tieosuutta maaseudulla sekä valtatiellä nopeusrajoitusten ollessa 60...100 km/h. Testitapauksissa 1 ja 2 käytettiin asiakasohjelman kartalla samaa zoomaustasoa. Testitapauksessa 3 zoomaustaso oli muutaman pykälän kauempana, jolla kartoitettiin myös sen merkitystä tiedonsiirtoon. Kaikissa testitapauksissa asetettiin automaattinen kohdistus omaan ajoneuvoon, jolloin kartta keskittyi omaan ajoneuvoon. Lisäksi testien välillä tyhjennettiin selaimen välimuisti, jotta karttaruutuja ei varmasti olisi valmiina muistissa. Lisäksi asiakasovellus käynnistettiin myös uudelleen testien välillä.

Taulukko 8. Testiajojen tulokset.

	Testiajo 1	Testiajo 2	Testiajo 3
Verkko	2G	3G	2G
Lähetetyt paikkatietopaketit	373	387	220
Vastaanotetut paikkatietopaketit	373	387	220
Siirretty tietomäärä (kt) tuleva/lähtevä	4649/780	4506/829	1802/545
Tiedonsiirron keskinopeus (kt/s) tuleva/lähtevä	2,60/0,436	2,47/0,454	1,38/0,168
Laskettu reitin pituus (km), kaikki pisteet GPS (5Hz)	17,13	17,14	21,46
Laskettu reitin pituus (km), tietokanta (0.2Hz)	16,98	16,99	21,42
Reitin pituuden virhe tietokantaan tallennettuna	-0,88%	-0,88%	-0,18%

Testiajojen tuloksista (taulukko 8) voidaan havaita, että kaikki palvelimelle lähetetyt paikkatietopaketit saapuivat myös perille, mikä oli TCP-protokollan toimintaperiaatteen mukaisesti odotettavissa. Varsinaisissa testitapauksissa ei yhteys palvelimeen katkennut yhtään kertaa, esimerkiksi GSM-verkon heikon kuuluvuuden takia, jolloin paikkatietopaketteja olisi jäänyt välittämättä. Testiajoista 1 ja 2 voidaan havaita tiedonsiirron määrän ja keskinopeuden olleen yhteneviä. Vastaanotetun tiedonsiirron keskinopeus jäi myös noin puoleen GPRS-verkon normaalista kapasiteetista, joten siirrettävän tiedon määrää voidaan pitää riittävän alhaisena myös alueille, jossa on mahdollista käyttää vain GPRS-tekniikkaa. Kuten testiajosta kolme voidaan havaita, putoaa siirrettävän tiedon keskinopeus vielä alhaisemmaksi, kun kartan zoomaustasoa siirretään kauemmaksi. Tällöin ei uusia karttaruutuja tarvitse ladata niin usein, joten siirrettävän tiedon määrä on alhaisempi.

Kuten aikaisemmin kappaleessa 4.3 ennakoitiin, niin reitin pituuteen aiheutuu pieni virhe, kun laskentaan käytettyjen pisteiden määrää vähennetään. GPS-vastaanottimelta saatujen kaikkien pisteiden perusteella (havaintoväli 5 pistettä/s) ja tietokantaan tallennettujen pisteiden perusteella (havaintoväli 0,2 pistettä/s) laskettujen matkojen erotus ei havaintojen mukaan osoittautunut kovinkaan merkittäväksi. Kaupunkialueella virheen suuruus jäi alle prosentin luokkaan ja vähemmän mutkaisella maantiereitillä vielä tätäkin pienemmäksi, kuten oli ennakoitavissa. Tämän perusteella alhaisemmissa nopeuksissa ja mutkittelevassa

ajossa, kuten kaupunkiympäristössä, ei merkittävän suurta ”oikomista” tapahdu reittipisteiden välillä, kun havaintoväli on viisi sekuntia. Suuremman virheen matkanmittaukseen voi aiheuttaa hetkelliset virheet paikantimen laskemissa koordinaateissa. Tämän seurauksena sijainti voi vaihtaa paikkaansa hetkellisesti jopa useita tuhansia kilometrejä. Hetkelliset virheet sijainnin laskemisessa voivat aiheutua esimerkiksi kaupunkiympäristössä, kun paikantimen laskentaan käyttämien satelliittien signaalit heijastuvat usean pinnan kautta. Tämän vuoksi järjestelmään tulisi toteuttaa suodatustoiminto, joka hylkää paikantimen antamat selkeästi virheelliset koordinaatit, esimerkiksi kun sijainti edelliseen pisteeseen verrattuna muuttuu sekunnin sisällä tietyn raja-arvon ylittävän määrän.

Tiedonsiirron keskinopeuden ja reitinpituuden virheen perusteella viiden sekunnin väliä voidaan pitää sopivana valintana lähettää reittipisteitä palvelimelle sijaintipäivityksiä ja ajopäiväkirjanpitoa varten. Havaituissa tuloksissa tiedonsiirron kokonaismäärä ei myöskään ole niin merkitsevä kuin tiedonsiirron keskinopeus, sillä mobiililiittymät käytännössä perustuvat tämän työn tekohetkellä kiinteään kuukausihintaan ilman tiedonsiirron kokonaismäärän rajaa.

5.3 Sovellusten suorituskyky

Sovellusten suorituskykyä arvioitiin niiden aiheuttaman suorittimen kuormituksen osalta. Suorittimen kuormitusta arvioitiin kokonaisuudessaan kaikkien järjestelmässä samanaikaisesti käynnissä olevien sovellusten tuottamana kuormituksena suhteessa järjestelmän suorittimen kaikkien suoritinydinten maksimikuormaan. Arvioitavan sovelluksen lisäksi käynnissä olivat käyttöjärjestelmän omat pakolliset taustaprosessit sekä järjestelmään asennettu palomuuuri- ja virustorjuntasovellukset, joille tulee olla myös toimintaedellytyksen järjestelmässä.

Palvelimen suorituskyvyn testaamiseksi asiakasohjelmaa muutettiin niin, että se lähettää kaikki GPS-vastaanottimelta saadut paikkatiedot välittömästi palvelimelle. Näin mahdollistettiin se, että paikkatietoja voitiin lähettää useammin kuin alun perin säädetyn viiden sekunnin välein. Kuormitustesteissä käytettiin ilmaista NMEA-generator⁷ ohjelmaa,

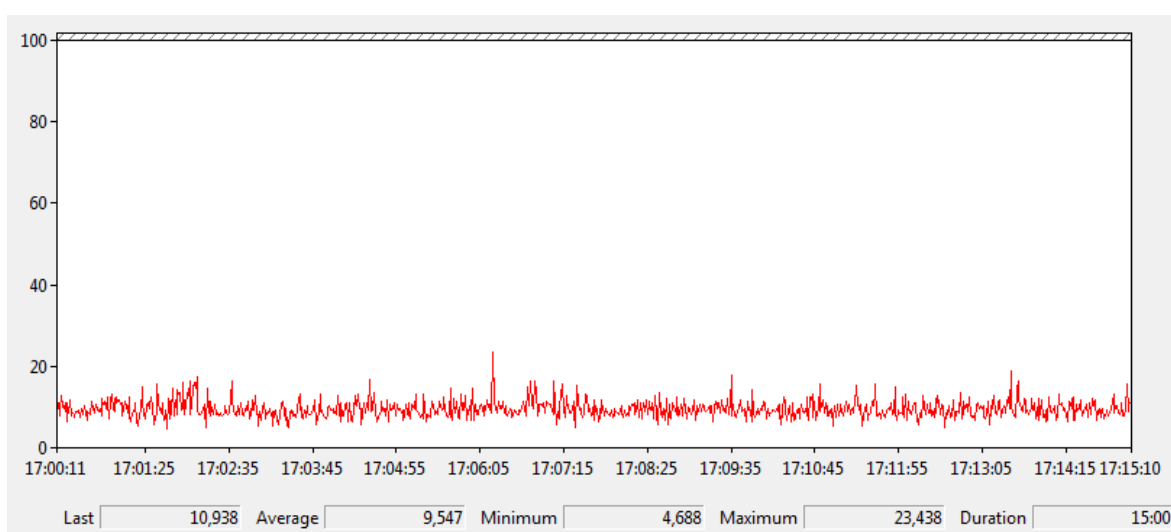
⁷ <http://homepage2.nifty.com/k8/gps/file/nmeagen.htm>

jonka avulla voidaan sarjaporttiin tuottaa NMEA0183-standardin muotoista dataa. Kyseisellä ohjelmalla päivitystaajuudeksi voidaan asettaa maksimissaan 20Hz, tavanomaisista kuluttajaluokan GPS-vastaanottimien tarjoamista 1Hz tai 5Hz taajuuksista poiketen. Testeihin valittiin päivitysväliksi 5Hz. Näin käytännössä yhdellä asiakasohjelmalla voitiin lähettää 25-kertainen määrä sijaintitietopaketteja verrattuna yhden asiakasohjelman tavalliseen 5 sekunnin päivitysväliin. Lisäksi jäljitysikkunassa kartalla näytettävien ajoneuvojen sijaintien päivitysväli muutettiin viiden sekunnin sijasta 0,2 sekuntiin, jolloin karttapäivityksiä syntyi myös vastaavasti 25-kertainen määrä normaaliin verrattuna. Testejä varten käytettiin neljää asiakasohjelmaa, jotka yhdessä tuottivat 100-kertaisen määrän viestejä palvelimelle yhteen normaaliin käynnissä olevaan asiakasohjelmaan verrattuna. Tällöin kyseiset neljä sovellusta tuottivat palvelimelle yhteensä 20 sijaintipäivitystä sekä 20 ajoneuvojen karttasijaintipäivityspyyntöä sekunnissa. Palvelinjärjestelmän prosessorikuorma mitattiin kerran sekunnissa 15 minuuttia kestäneen testijakson aikana. Mittaukseen käytettiin Windows7 käyttöjärjestelmään sisältyvää Performance Monitor –ohjelmaa. MySQL-tietokantapalvelin sijaitsi palvelinohjelman kanssa fyysisesti samalla palvelinlaitteistolla.

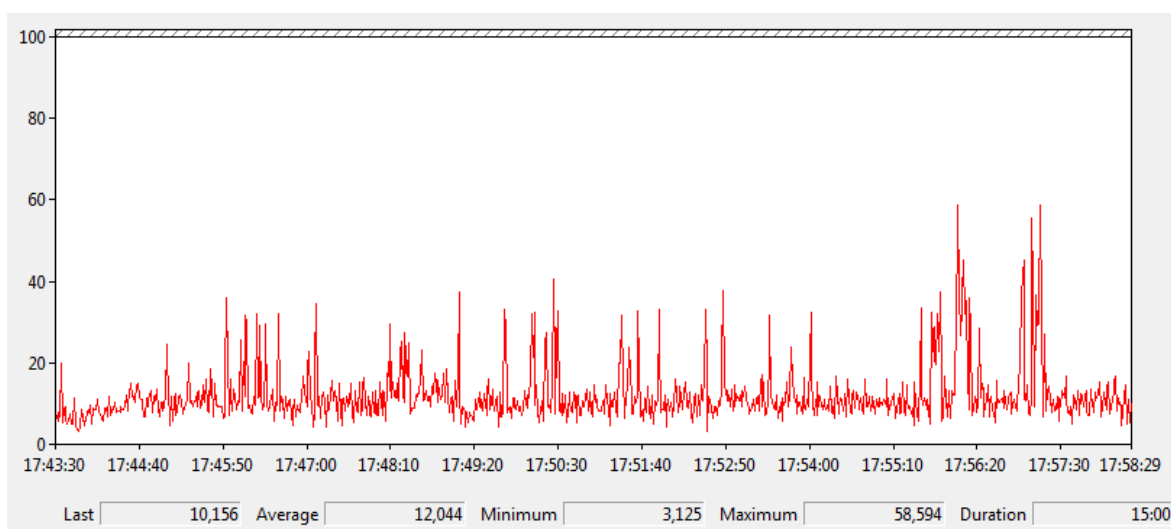
Kuvassa 17 nähdään ensimmäisen kuormitustestin mittaustuloksista piirretty kuvaaja. Keskimääräinen prosessorikuorma mitatuista arvoista jäi noin 9,5 prosenttiin maksimikuormasta, jonka perusteella voidaan sanoa, että palvelinsovellus selviää testissä käytetyllä laitteistolla erittäin hyvin 100 asiakasohjelman normaalisti tuottamasta määrästä sijaintitietoviestejä ja karttapäivityspyyntöjä. Testin lopuksi tarkistettiin vielä tietokannasta oliko palvelimelle välittynyt ja tietokantaan talletettu oletettu määrä eli 28000 pistettä ($20\text{pistettä/s} * 15 * 60\text{s}$). Tarkistuksen tuloksena 15 minuutin testijakson aikana tietokantaan oli talletettu 28006 pistettä, mikä vastaa täysin oletettua määrää, kun ei huomioida sekunnin kymmenysosia mukaan.

Toisessa palvelimelle suoritettussa rasiustestissä järjestelyt olivat muuten samat mutta asiakasohjelmilla suoritettiin pelkkien sijaintitietojen ja ajoneuvojen karttasijaintien päivityspyyntöjen lisäksi satunnaisesti muitakin ohjelmasta löytyviä toimintoja, jolloin tilanne vastaa paremmin ohjelmien todellista käyttöä. Tulokset palvelimen suorittimen kuormituksen osalta näkyvät kuvassa 18, josta voidaan edelliseen kuvaajaan verrattuna huomata selkeitä piikkejä. Näitä piikkejä pyrittiin aiheuttamaan hakemalla useammalla

asiakasohjelmalla yhtä aikaa tietoa palvelimelta, kuten esimerkiksi ajettuja matkoja. Kuvista 17 ja 18 voidaan päätellä, että palvelinohjelma suoriutuu testissä käytetyllä kokoonpanolla hyvin järjestelmälle asetetuista vaatimuksista, joka oli tarve 20:n ajoneuvon yhtäaikaisesta jäljittämisestä. Palvelimen kapasiteettia on mahdollista kasvattaa tulevaisuudessa tarpeen mukaan vielä nykyisestäänkin, sillä tietokanta- ja web-palvelimet olisi mahdollista erottaa fyysisesti erilliselle palvelimelle. Mikään ei myöskään estäisi ostamasta laskentatehoa ulkopuoliselta toimittajalta, esimerkiksi virtuaalipalvelimilta, jolloin laskentatehon kasvatus helpottuisi entisestään.

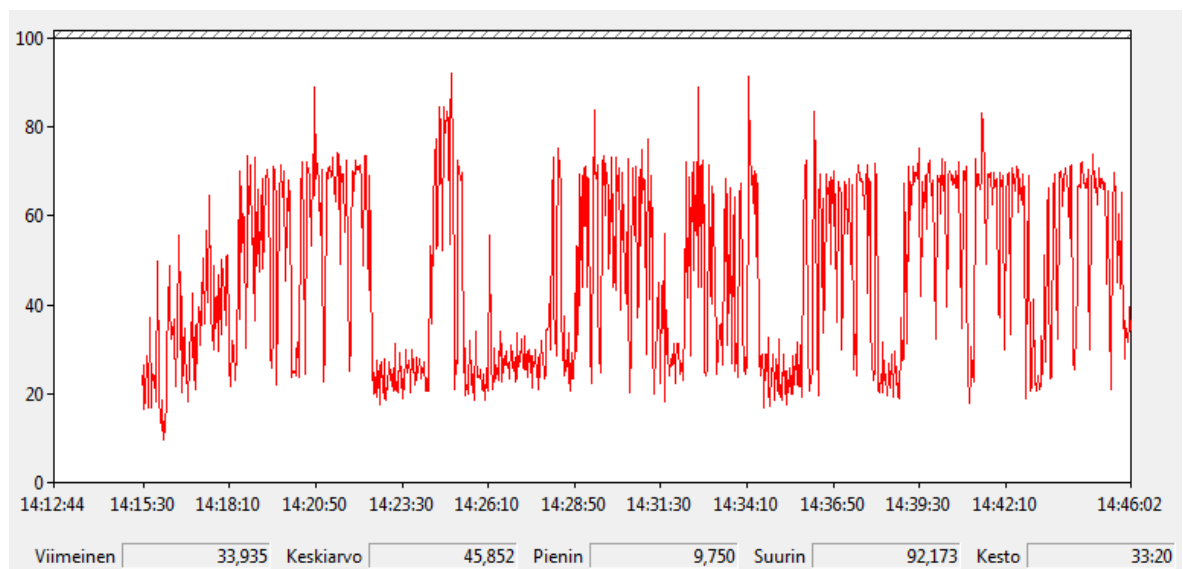


Kuva 17. Palvelimen suorittimen kuormituksen osuus maksimikuormasta testissä yksi.

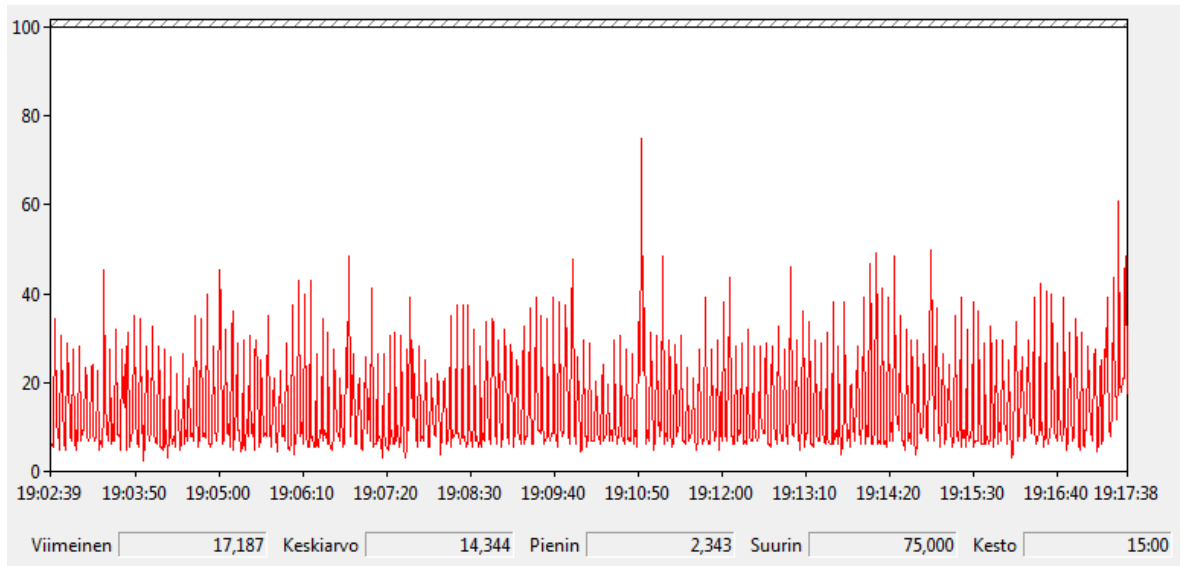


Kuva 18. Palvelimen suorittimen kuormituksen osuus maksimikuormasta testissä kaksi.

Asiakasohjelman soveltuvuutta ja suorituskykyä yleisesti heikompitehoisiksi tunnetuille laitteille arvioitiin edellä esitetyn taulukon 7 mukaisella niin sanotulla minikannettavalla. Arviointiin käytettiin asiakasohjelmaa normaalein asetuksin, jolloin sijaintitiedot lähetetään palvelimelle sekä päivitetään kartalla näytettävien ajoneuvojen sijainti viiden sekunnin välein. Paikkatiedon lähteenä käytettiin taulukon 7 mukaista Bluetooth GPS-vastaanotinta. Kuvassa 19 on näkyvissä edellisessä kappaleessa esitellyn testiajon 1 aikana mitattu suorittimen kuormituksen osuus maksimikuormituksesta. Mitattu kuormituksen keskiarvo oli noin 45 % ja suurin mitattu arvo 92 %, mikä vahvistaa sen, että asiakasohjelma ei aiheuta liiallista suorittimen kuormitusta, joka heikentäisi sovelluksen käytettävyyttä ja toimintaa. Kuviossa näkyy muutama tasaisempi kohta, jolloin suorittimen kuormitus oli keskimäärin alhaisempi. Nämä kohdat ovat tulkittavissa ajaksi, jolloin seisottiin odottamassa paikoillaan liikennevaloissa. Tällöin ei karttaa tarvinnut keskittää uuteen kohtaan vaan se pysyi paikoillaan ajoneuvon ollessa paikoillaan. Tästä voidaan päätellä, että kartan automaattinen liikuttaminen JavaScriptin avulla ja uusien karttaruutujen lataaminen on selkeästi suorittinta kuormittavaa. Tämä todettiin myöhemmin vielä asettamalla kartan keskitys pois päältä ja mittaamalla tällöin suorittimen kuormitusta (kuva 20). Tällöin suorittimen kuormitus jäi keskimäärin 14 prosenttiin.



Kuva 19. Suorittimen kuormitus asiakasohjelmalla testiajossa 1.



Kuva 20. Suorittimen kuormitus asiakasohjelmalla kun karttaa ei keskitetä automaattisesti.

Valvontasovelluksen testaukseen käytetyn laitteiston suorittimen kuormitus normaalein asetuksin (päivitykset viiden sekunnin välein) oli keskimäärin muutaman prosentin luokkaa. Tämän perusteella tuloksista ei käytännössä voida erottaa valvontasovelluksen tuottamaa kuormitusta käyttöjärjestelmän omien taustaprosessien sekä muiden käynnissä olevien (virustorjunta- ja palomuri-) ohjelmien tuottamasta kuormituksesta. Valvontasovelluksen voidaan todeta alhaisesta kuormituksesta johtuen soveltuvan käytetylle laitteistolle erittäin hyvin ja jättävän tilaa mahdollisten muiden sovellusten suorittamiselle samalla laitteistolla.

5.4 Käytettävyys ja järjestelmän jatkokehitys

Jatkokehitysvaiheessa ohjelmistosta on tarkoitus eliminoida testauksessa havaittuja virheitä sekä kehittää varsinkin asiakasohjelman käyttöliittymää käyttäjäystävällisempään suuntaan. Asiakasohjelman käytettävyydessä suurimpana ongelmana testien aikana pidettiin toteutusta, jossa eri toiminnallisuudet ovat erotettu toisistaan uusiin avautuviin ikkunoihin. Ikkunoiden välinen siirtyminen koettiin hankalaksi ajoneuvoympäristössä ja turhan aikaa vieväksi. Testaukseen osallistuneiden joukosta esitettiin, että käyttöliittymä muutettaisiin välilehtityyppiseksi, jossa eri välilehdiltä löytyisi eri toiminnot, kuten kartta, keskustelu, asetukset ja niin edelleen. Välilehdillä voisi myös olla pikanapit kuten F1, F2, F3..., jotka nopeuttaisivat varsinkin ajoneuvokäytössä siirtymistä välilehtien kesken. Tällöin ei tarvitsisi hiirtä käyttää kosketuslevyn avulla siirtymiseen vaan riittäisi yhden napin painaminen. Asiakasohjelmassa kaikkia toimintoja ei voi myöskään yhdistää samaan

ikkunaan valvontaohjelman kaltaisesti, sillä käytössä oleva näytön resoluutio asettaa omat rajoituksensa. Valvontaohjelman käyttöliittymä koettiin pääosin toimivaksi, sillä samassa ikkunassa on kaikki tarpeelliset ja eniten käytetyt toiminnot näkyvillä yhtä aikaa.

Osaltaan, käytettävyyteen lisäämiseksi, järjestelmässä voitaisiin käyttää vastaanotinta, joka tukee A-GPS toimintoa toisin kuin testauksessa käytetty vastaanotin. Testauksen aikana havaittuja tilanteita, jolloin sijaintitietoa jouduttiin odottamaan, oli lähinnä silloin jos GPS-vastaanotinta ei muistettu käynnistää samanaikaisesti tietokonelaitteiston kanssa. Käytettävyyttä tämän osalta voitaisiin parantaa käyttämällä laitteistoa, joka olisi varustettu sisäisellä GPS-vastaanottimella. Tällaisen kannettavan soveltuvuus autokäyttöön tulisi tutkia ja olisiko laitteisto sijoitettavissa niin, että tällöin GPS-signaalien vastaanotto luotettavasti olisi myös mahdollista. Lisäksi käytettävyyden parantamiseksi voitaisiin tutkia vaihtoehtoa, jossa Bluetooth GPS-vastaanotin integroitaisiin suoraan auton sähköjärjestelmään, jolloin GPS-vastaanotin voisi olla jatkuvasti päällä. Näin näyttöpäätte/tietokone voisi yhdistyä GPS-laitteeseen automaattisesti ja paikkatieto olisi jatkuvasti saatavilla pois lukien ympäristön, kuten tunneleiden ja parkkihallien, aiheuttamat ongelmat.

Tulevaisuudessa ohjelmistoon olisi tarkoitus kehittää matkapuhelimella toimiva asiakasohjelma, joka käyttäisi matkapuhelimen sisäistä GPS-vastaanotinta. Tämä mahdollistaisi myös henkilöiden jäljittämisen. Ohjelma voitaisiin asentaa esimerkiksi muistihäiriöistä kärsivien asiakkaiden matkapuhelimeen, jolloin heidät voitaisiin tarvittaessa jäljittää heidän liikkua ulkotiloissa. Matkapuhelinversion lisäksi järjestelmään olisi tarkoituksena lisätä tuki erilaisille GPS-jäljittimille (GPS tracker), kuten GPS-rannekkeille. Kyseiset jäljittimet sisältävät itsessään GPS-vastaanottimen lisäksi GSM-toiminnot ja tuen GPRS:n käytölle. Lisäämällä kyseisenlaiseen jäljittimeen SIM-kortti (A Subscriber Identity Module), voidaan sijaintitiedot välittää toimivan dataliittymän ja GPRS-verkon välityksellä. Yleensä näillä jäljittimillä tietojenvälitys tapahtuu HTML-protokollaa käyttäen. Tällaista jäljittintä voitaisiin käyttää ajoneuvossa, johon ei ole asennettu tietokonetta. Lisäksi jäljitinranneketta, joka sisältää myös hätäpainikkeen, voitaisiin käyttää muistihäiriöisillä asiakkailla heidän liikkeen seurantaan.

Yhtenä satunnaisena ongelmana testauksen aikana huomattiin YOURS-palvelun ajoittainen ruuhkaisuus. Voidaan olettaa, että ilmaiseksi tarjottavan palvelun kapasiteetti ei tämän perusteella ole riittävä palvelun nykyiseen käyttäjämäärään nähden. Jos ajatellaan toteutetun järjestelmän käyttökohdetta, tulisi etäisyystietojen olla aina saatavilla, jotta hälytyksen sattuessa saataisiin mahdollisimman nopeasti lähin ajoneuvo paikalle. Tämän vuoksi jatkossa järjestelmään olisi syytä toteuttaa varajärjestelmä siltä varalta, että reittiin perustuvia etäisyystietoja ei ole saatavilla. Varajärjestelmä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi pelkästään koordinaattitietoihin perustuen, jolloin laskettaisiin kahden pisteen välinen suora etäisyys. Toisena vaihtoehtona olisi luoda toiseen karttajärjestelmään esimerkiksi Google Maps:iin ja sen API:n tarjoamiin palveluihin perustuva reitinlaskenta. Mutta kuten aikaisemmin todettiin, ei Google Maps API:n ilmainen lisenssi salli käyttöä suljetussa ympäristössä. Google Mapsin sijasta valvontakeskukseen voitaisiin myös lisensoida jonkin muun valmistajan karttaohjelmisto, joka sisältää API:n etäisyyksien ja reittien laskemista varten. Paikannuksen tarkkuuden osalta testauksen aikana havaittu EGNOS-satelliittien signaalien kuulumattomuus tulisi myös selvittää tarkemmin. Johtuiko se testien ajankohdasta vai mahdollisesti jostakin muusta syystä kuten testauspaikan maantieteellisestä sijainnista. Mikäli EGNOS-satelliittien tarjoamaa korjaustietoa voitaisiin vastaanottaa, voitaisiin myös paikannuksen tarkkuuteen luottaa enemmän ja ajopäiväkirjan matkojen pituudet vastaisivat varmemmin todellisia kuljettuja matkoja.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä pyrittiin toteuttamaan reaaliaikainen jäljitysohjelmisto, jonka avulla voitaisiin paikantaa ajoneuvoja ja nähdä niiden sijainti kartalla reaaliaikaisesti. Järjestelmän käyttökohteena toimi kotipalveluyritys, jonka ajoneuvojen paikannustarpeisiin ohjelmisto kehitettiin. Järjestelmä kehitettiin niin, että sen avulla voidaan myös pitää automaattista ajopäiväkirjaa.

Työ jakautui järjestelmän taustalla olevien tekniikoiden esittelyyn sekä suunnittelu-, toteutus- ja testausvaiheeseen. Suunnitelman pohjalta toteutettiin kolme erillistä sovellusta: asiakasohjelma liikkuvaan ajoneuvoon, valvontaohjelma ajoneuvojen seurantaan ja palvelinohjelma eri viestien välittämiseen sekä tietojen tallentamiseen tietokantaan. Paikannustekniikaksi järjestelmään valittiin GPS ja tiedonsiirtotekniikaksi GPRS, jonka suorituskyvyn perusteella tiedonsiirto mitoitettiin. Tiedonsiirron varmuus pyrittiin varmistamaan valitsemalla kuljetuskerroksen protokollaksi TCP.

Testauksen tuloksien pohjalta voidaan sanoa, että asiakasohjelma on riittävän kevyt toimiakseen myös heikompitehoisissa järjestelmissä, kuten minikannettavilla, ilman, että laitteen prosessorikuorma olisi liian suuri. Testien pohjalta voidaan myös päätellä, että palvelinohjelma on testauksessa käytetyllä laitteistolla, riittävän suorituskykyinen, jotta sen toiminta on vakaata aluksi määritellyn 20 liikkuvan ajoneuvon yhtäaikaiseen jäljitykseen. Vaikka testien perusteella siirrettävän tiedon kokonaismäärä ei osoittautunut kovinkaan suureksi, tulee tähän jatkokehitysvaiheessa kiinnittää huomiota ja pyrkiä minimoimaan sitä. Mikäli oletetaan, että asiakasohjelmaa käytettäisiin yhdellä ajoneuvolla 12 tuntia päivässä, olisi 30 päivän vastaanotettu tiedonsiirtomäärä testien perusteella noin 1700-3300 Mt riippuen kartalla käytettävästä zoomaustasosta. Tällä hetkellä järjestelmässä siirrettävän tiedon kokonaismäärä ei niinkään ole ongelma mutta tulevaisuuden osalta ei voida luottaa siihen, että matkapuhelinoperaattorit tarjoaisivat dataliittymiä nykyisen kaltaisilla sopimuksilla, jossa tiedonsiirron kokonaismäärää ei ole rajoitettu.

Testien lopputuloksena voidaan todeta ohjelmiston eri osien olevan toimivia testatulla laitteistolla ja soveltuvan alun perin määritellyn tarkoitukseensa. Kuitenkin, jotta ohjelmisto voitaisiin ottaa käyttöön ja luottaa siihen myös kriittisissä tilanteissa, tulisi

testauksessa ilmenneet ongelmat reitteihin perustuvassa etäisyyden määrittämisessä ja sen toimintavarmuudessa ratkaista. Lisäksi järjestelmään tulisi hankkia ilmaisen OpenStreetMapin rinnalle myös toinen karttatietoja tarjoava palvelu, jotta karttatietojen saatavuus ei pohjautuisi yhteen järjestelmään. Mikäli järjestelmän käyttöä aiotaan tulevaisuudessa laajentaa maantieteellisesti sellaiselle alueelle, jota OpenStreetMap:n tarjoama kartta-aineisto ei kata, on toisen karttapalvelun hankinta järjestelmään tai kartta-aineiston tuottaminen itse välttämätöntä.

Jatkossa järjestelmää on tarkoitus kehittää varsinkin asiakasohjelman käyttöliittymän osalta ja mahdollisuuksien mukaan korvata se ammattimaisesti suunnitellulla, paremmat navigointiominaisuudet eri toimintojen välillä tarjoavalla vaihtoehdolla. Jatkokehityksessä panostetaan myös asiakasohjelman kehittämiseksi matkapuhelinympäristöön. Tulevaisuuden osalta voidaan olettaa, että toteutetun järjestelmän paikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa, mikäli GPS-järjestelmän modernisointisuunnitelmat ja uusien satelliittipaikannusjärjestelmien kehitys etenee suunnitelmien mukaisesti. Uusien paikannusjärjestelmien myötä voitaisiin järjestelmän varmatoimisuutta ja luotettavuutta parantaa käyttämällä useampaa kuin yhtä satelliittipaikannustekniikkaa. Lopuksi voidaan kuitenkin todeta työn pohjalta, että nykyisilläkin käytettävissä olevilla tekniikoilla, voidaan toteuttaa toimiva järjestelmä, joka soveltuu reaaliaikaiseen ajoneuvojen paikannukseen.

LÄHTEET

- [ADR02] Adrados C., Girard I., Gendner J.-P. and Janeau G.: Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal, *Comptes Rendus Biologies*, Volume 325, Issue 2, February 2002, Sivut: 165-170
- [AIR07] Airos Esa, *Satelliittipaikannusjärjestelmät, Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, Riihimäki 2007*, ISBN 978-951-25-1784-8
- [ALK05] Alkan R.M., Karaman H., Sahin M.: GPS, GALILEO and GLONASS satellite navigation systems & GPS modernization, 2005, *IEEE Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 9-11 June 2005, Sivut: 390 - 394
- [CHA05] Chakravorty R., Clark A., Pratt I.: Optimizing Web delivery over wireless links: design, implementation, and experiences, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Volume: 23 Issue: 2, 2005, Sivut: 402 - 416
- [CSS09] Cascading Style Sheets Level 2 Revision 1 (CSS 2.1) Specification, W3C Candidate Recommendation 2009, Päivitetty 8.9.2009, [verkkojulkaisu], [viitattu 12.5.2010], Saatavilla: [<http://www.w3.org/TR/CSS2/>]
- [DEP10] Depeng Yang, Fathy A.E., Husheng Li, Mahfouz M., Peterson G.D.: Millimeter accuracy UWB positioning system using sequential sub-sampler and time difference estimation algorithm, *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, 2010, Sivut: 539 - 542
- [DOM03] Domenico Porcino, Walter Hirt: Ultra-Wideband Radio Technology: Potential and Challenges Ahead, *IEEE Communications Magazine*, July 2003, Sivut: 66-74

- [ELR02] El-Rabbany A., Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House 2002, ISBN 1-58053-183-0, 176 sivua
- [ESA03] European Space Agency: Accurate navigation information available to more GPS receivers, Päivitetty 2.4.2003, [verkkojulkaisu], [viitattu 31.5.2010], Saatavilla: [http://www.esa.int/esaNA/SEMPMA9YFDD_egnos_0.html]
- [ESA07] European Space Agency: Galileo specifications, Päivitetty 16.08.2007, [verkkojulkaisu], [viitattu 4.5.2010], Saatavilla: [http://www.esa.int/esaNA/SEMTHVXEM4E_galileo_0.html]
- [GEO05] Geoinformatiikan sanasto, Sanastokeskus TSK ry, Helsinki 2005, ISBN 952-9794-18-5
- [GPS95] GPS SPS Signal Specification, 2nd Edition (June 2, 1995), Saatavilla: [<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/default.htm>]
- [GPS01] Global Positioning System, Standard Positioning Service Performance Standard, United States of America, Department of Defense Assistant Secretary of Defense for Command, Control, Communications and Intelligence, October 2001, Saatavilla: [<http://pnt.gov/public/docs/SPS-2001-final.pdf>]
- [GLO08] GLONASS Interface Control Document (edition 5.1), Moscow 2008, Saatavilla: [http://rniikp.ru/en/pages/about/publ/ICD_GLONASS_eng.pdf]
- [GLO10] GLONASS Constellation Status, Päivitetty 4.5.2010, [verkkojulkaisu], [viitattu 4.5.2010], Saatavilla: [<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:2137302760280781>]
- [GUY09] Gu Yanying, Lo Anthony, Niemegeers Ignas: A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 1, 2009, Sivut: 13-32

- [HAK06] Hakyong Kim: A Speed-Adaptive Location Estimator for Wireless LAN-based RTLS Systems, Asia-Pacific Conference on Communications, 2006, Sivut: 1 – 6
- [INS10] Inside GNSS: Russians Bring Latest Trio of GLONASS Satellites On Line, Päivitetty 28.3.2010, [verkkojulkaisu], [viitattu 4.5.2010], Saatavilla: [\[http://www.insidegnss.com/node/2013\]](http://www.insidegnss.com/node/2013)
- [INS10a] Inside GNSS: ESA, Industry Sign Galileo FOC Contracts, Päivitetty 28.1.2010, [verkkojulkaisu], [viitattu 4.5.2010], Saatavilla: [\[http://www.insidegnss.com/node/1892\]](http://www.insidegnss.com/node/1892)
- [ISO06] ISO/IEC 24730-1:2006 Information technology - Real-time locating systems (RTLS) Edition: 1, International Organization for Standardization, 2006
- [KAS09] Amirtahmasebi K., Jalalinia S.R., Khadem S.: A survey of SQL injection defense mechanisms, Conference for Internet Technology and Secured Transactions, 2009, Sivut: 1 - 8
- [KEM07] Kemppe Paul: Next generation satellite navigation systems, VTT 2007, Espoo, 61 p. + app. 2 p, ISBN 978-951-38-6961-8, Saatavilla: [\[http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2408.pdf\]](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2408.pdf)
- [KOU07] Koutsou A.D., Seco F., Jimenez A.R., Roa J.O., Ealo J.L., Prieto C., Guevara J.: Preliminary Localization Results With An RFID Based Indoor Guiding System, IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2007, Sivut: 1 - 6
- [LEH08] Lehtinen M., Happonen A., Ikonen J.: Accuracy and time to first fix using consumer-grade GPS-receivers, 16th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, 25-27 Sept. 2008, Sivut: 334 – 340

- [LUN05] Lundgren D., Van Diggelen F.: Assistance When There's No Assistance, Long-Term Orbit Technology for Cell Phones, PDAs, GPS World, Volume 16, Number 10, October 2005, Sivut: 32-36, Saatavilla: [\[http://www.nxtbook.com/fx/books/questex/gpsoctober05/\]](http://www.nxtbook.com/fx/books/questex/gpsoctober05/)
- [MAR08] Martin Johns, Björn Engelman, Joachim Posegga: XSSDS: Server-side Detection of Cross-site Scripting Attacks, Proceedings of the 2008 Annual Computer Security Applications Conference, 2008, Sivut: 335-344
- [MIE06] Miettinen, Samuli: GPS-käsikirja, Genimap 2006, ISBN 951-593-004-9, 192 sivua
- [MIN09] Min Zhang, Dusi M., John W., Changjia Chen: Analysis of UDP Traffic Usage on Internet Backbone Links, Ninth Annual International Symposium on Applications and the Internet, 2009, Sivut: 280 – 281
- [NME0138] National Marine Electronics Association: NMEA0183 Standard, [viitattu 22.4.2010], Saatavilla: [\[http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp\]](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp)
- [OCH02] Ochieng W. Y. and Sauer K.: Urban road transport navigation: performance of the global positioning system after selective availability, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 10, Issue 3, June 2002, Sivut: 171-187
- [PET03] Petrovic M., Aboelaze M.: Performance of TCP/UDP under ad hoc IEEE802.11, 10th International Conference on Telecommunications, 2003, Sivut: 700 - 708
- [POU07] Poutanen, Markku: Satelliittipaikannus, 2007, [verkkojulkaisu], [viitattu 17.4.2010], Saatavilla: [\[http://www.fgi.fi/~mp/tiedostot/gpskirja.pdf\]](http://www.fgi.fi/~mp/tiedostot/gpskirja.pdf)

- [STU02] Stuckmann P., Ehlers N., Wouters B.: GPRS Traffic Performance Measurements, IEEE 56th Vehicular Technology Conference vol.2, 2002, Sivut: 1289 – 1293
- [SVO07] Svoboda Philipp, Ricciato Fabio, Keim Werner, Rupp Markus: Measured WEB Performance in GPRS, EDGE, UMTS and HSDPA with and without Caching, IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007, Sivut: 1 - 6
- [TUC05] Tuchler M., Schwarz V., Huber, A.: Location accuracy of an UWB localization system in a multi-path environment, IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2005, Sivut: 414 - 419
- [USA06] U.S. Air Force: GPS Modernization Fact Sheet, Päivitetty 01/2006, [verkkojulkaisu], [viitattu 17.4.2010], Saatavilla: [\[http://pnt.gov/public/docs/2006/modernization.pdf\]](http://pnt.gov/public/docs/2006/modernization.pdf)
- [USN10] United States Naval Observatory: GPS Constellation Status, Päivitetty 4.5.2010, [verkkojulkaisu], [viitattu 4.5.2010], Saatavilla: [\[ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt\]](ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt)
- [VAN97] Van Hoff A.: The case for Java as a programming language, IEEE Internet Computing, Volume: 1, Issue: 1, 1997, Sivut: 51 - 56
- [VEJ07] Vejrazka F.: Galileo and the Other Satellite Navigation Systems, IEEE, Radioelektronika, 17th International Conference, 24-25 April 2007 Sivut: 1 - 4
- [WIN05] Wing M.G., Eklund A., Kellogg L.D.: Consumer-Grade Global Positioning System (GPS) Accuracy and Reliability, Journal of Forestry; Jun 2005, Sivut: 169-173

- [WIT05] Witte T.H., Wilson A.M.: Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground, *Journal of Biomechanics*, Volume 38, Issue 8, August 2005, Sivut: 1717-1722
- [YAM06] Yamaguchi S., Tanaka T.: GPS Standard Positioning using Kalman filter, *SICE-ICASE 2006, International Joint Conference*, Oct. 2006, Sivut: 1351 – 1354
- [ZAI06] Zaidi A.S., Suddle M.R.: Global Navigation Satellite Systems: A Survey, *IEEE International Conference on Advances in Space Technologies*, 2-3 Sept. 2006, Sivut: 84 - 87
- [ZHO06] Zhong E.J., Huang T.Z.: Geometric Dilution of Precision in Navigation Computation, 2006, *IEEE Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Dalian, 13-16 August 2006, Sivut: 4116 - 4119