

Janne Muikkula

802.11p WAVE-radiojärjestelmän käyttöönotto

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2014

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Huhtikuu 2014	Tekijä/tekijät Janne Muikkula
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi 802.11p WAVE-radiojärjestelmän käyttöönotto		
Työn ohjaaja FM Joni Jämsä		Sivumäärä 42 + 3
Työelämäohjaaja FM Joni Jämsä		
<p>Opinnäytetyöni aiheena oli älyliikennejärjestelmille kehitetyn radiojärjestelmän tutkiminen. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uuden WAVE-protokollapinon ja uusien viestimutojen tuomat mahdollisuudet. Selvitys oli ajankohtainen uuden yhteysprotokollan ollessa vielä testikäytössä eri projekteissa ja hankkeissa.</p> <p>Työ toteutettiin Componentality Oy:n Flexroad WAVE-radioilla. Flexroad valikoitui laitteistoksi sen edullisuuden vuoksi. Laitteiden testaus toteutettiin Internet protokolla versio neljän UDP-protokollan avulla.</p> <p>WAVE-radioilla saatiin muodostettua toimiva yhteys. Flexroad-radiot eivät tue kaikkia uusia älyliikenneprotokollia. Tuen puutteen vuoksi standardinmukaista älyliikennejärjestelmää ei voitu muodostaa.</p>		

Asiasanat
802.11p, DSRC, WAVE, Älyliikenne

ABSTRACT

Unit Ylivieska	Date April 2014	Author Janne Muikkula
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Introduction of 802.11p WAVE radio system		
Instructor M. Sc. Joni Jämsä		Pages 42 + 3
Supervisor M. Sc. Joni Jämsä		
<p>The subject of this thesis was to research THE telecommunication system specifically made for intelligent transportation systems. The objective of the thesis was to find out the opportunities provided by the new WAVE protocol stack and new messaging formats. The topic was timely since WAVE is being tested in many projects.</p> <p>This work was implemented with Flexroad WAVE radios made by Componentality Ltd. Flexroad was chosen for this project because of the affordable price. The Testing of the radios was done using the UDP protocol of the Internet Protocol version four.</p> <p>Connection between WAVE radios was successful. Flexroad radios did not support some of new standard protocols. Due to lack of support standards compliant intelligent transport system could not be established.</p>		

Key words 802.11p, DSRC, Intelligent transportation systems, WAVE

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Ad hoc-topologia	Ilman tukiasemaa toimiva laitteiden välinen WLAN.
Android	Googlen kehittämä pääasiassa kosketusnäyttölaitteille tarkoitettu käyttöjärjestelmä.
ADT	Android Developer Tools. Android ohjelmistokehityspaketti.
ARP	Address Resolution Protocol. IP-osoitetta vastaavan MAC-osoitteen selvitysprotokolla
ASTM	American Society for Testing and Materials. Yhdysvalloissa toimiva standardointijärjestö
Beacon	WLAN-laitteen lähettämä mainostusviesti.
BOOTP	Bootstrap Protocol. UDP-Verkkoprotokollaa hyödyntävä protokolla IP-osoitteiden ja käyttöjärjestelmän ytimen noutamiseen.
BSSID	Basic Service Set Identifier. Peruspalveluryhmän tunnus.
C2C-CC	Car to Car Communication Consortium. Autonvalmistajista koostuva konsortio.
CAN-väylä	Controller Area Network. Ajoneuvoissa käytettävä automaatiioväylä.
CAM	Cooperative Awareness Message. Älyliikenteeseen kehitetty protokolla.
CoA	Care-of Address. MIPv6-protokollan käyttämä vierasosoite.
CCH	Control Channel. WAVE-järjestelmän ohjauskanava.
CEN	European Committee for Standardization. Euroopan standardikomitea.
Celebrity	Componentality Oy:n valmistama Android-moduuli.
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. Euroopan posti- ja telehallintojen konferenssi
Channel coordination	Kanavien koordinaatiopalvelu.
Channel routing	Kanavien reititysmekanismi.
DCC	Distributed Congestion Control. Hajautettu ruuhkanhallinta
DENM	Decentralized Environmental Notification Message. Uusi viestitysprotokolla älyliikenteen käyttöön.

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. IP-osoitteita jakava protokolla.
Doppler-ilmiö	Aaltoliikkeen taajuuteen, vaihekulmaan ja aallonpituuteen lähentymisen tai loittonemisen aiheuttama muutos.
DS	Distribution service. Kiinteä tietoliikenteen jakeluverkko
DSRC	Dedicated Short Range Communications. Lyhyen ja keskipitkän kantaman tietoliikennepalvelu ajoneuvojen ja tieinfrastruktuurin käyttöön.
DAD	Duplicate Address Detection. IPv6 osoitteiden päällekkäisyyden tarkistusprotokolla.
eCall	Hätäpuhelukeskusjärjestelmä joka lähettää onnettomuustilanteessa hätäsignaalin automaattisesti hätäkeskukseen.
ECC	Electronic Communications Committee. Euroopan sähköisen viestinnän komitea.
EIRP	Equivalent isotropically radiated power. Isotrooppinen lähetysteho.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Euroopan alueelle tieto- ja viestintäteknikan standardeja tekevä järjestö
ESS	Extended Service Set. Usean tukiaseman peruspalveluryhmistä koostuva verkko.
Firmware	Laitteen sisäinen laiteohjelmisto joka huolehtii laitteen perustoiminnoista.
Flexroad	Componentality Oy:n valmistama WAVE-moduuli.
GI	Guard Interval. Kanavilla siirtymiseen käytetty suojaväli.
GeoNetworking	Ad hoc verkoissa toimiva sijaintitietoon perustuva reititysprotokolla.
GNU GPL	GNU General Public License. Vapaiden ohjelmistojen julkaisemiseen käytetty lisenssi.
GP	Guard Period. Suojaväli lähetysten välillä jonka aikana radiotietä ei käytetä.
GPS	Global Positioning System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
HA	Home Address. MIPv6-protokollan käyttämä kotiosoite
HA	Home Agent. MIPv6-protokollan vierasosoitteista kirjaa pitävä mekanismi
HTTP-palvelin	Hypertext Transfer-protokollaa käyttävä palvelin

I2V	Infrastruktuurista ajoneuvoon kohdistuva tietoliikenne
IBSS	Independent Basic Service Set. Itsenäinen peruspalveluryhmä
ICMP Redirect	Reititystaulun muokkaukseen kehottava protokolla.
ICMP Router discovery	Reititystaulun muodostamiseen käytetty protokolla
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Useiden alojen standardeja sekä tiedejulkaisuja tekevä järjestö
IEEE 802.11p	Älyliikenteessä käytettävä tietoliikenneprotokolla ks. WAVE
Infrastruktuuri-topologia	Tukiaseman kautta toimiva tietoliikenneverkko
IPv4	Internet Protocol version 4.
IPv6	Internet Protocol version 6.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardointijärjestö
ITS	Intelligent Transport Systems. Älykkäät liikennejärjestelmät
ITS-5G	Euroopan alueella käytetyt älykkäiden liikennejärjestelmien taajuuudet 5 GHz alueella
ITS-G5A	Euroopan alueella älykkään tieliikenteen turvallisuussovellusten käyttöön varattu taajuuskaista 5,875 GHz - 5,905 GHz
ITS-G5B	Euroopan alueella älykkään tieliikenteen käyttöön, muuhun kuin tieliikenteen turvallisuussovellusten käyttöön varattu taajuusalue 5,855 - 5,875 GHz
ITS-G5C	RLAN käyttöön soveltuva taajuusalue jota voidaan käyttää älyliikenteeseen taajuuksilla 5,470 GHz - 5,725 GHz
ITS-G5D	Älyliikennejärjestelmille tarkoitettu laajennusalue taajuuksilla 5,905 GHz - 5,925 GHz
ITS-keskus	Älykästä tieliikennettä hallinnoiva keskustietokone.
Kaistavahti	Tiementerkinnot tunnistava laite joka varoittaa jos ajoneuvo ajautuu tahattomasti pois kaistalta
LDM	Local Dynamic Map. Paikallinen muuttuva kartta johon älyliikennelaite kerää tietoa ympäristöstään
LLC	Logical link control. Siirtoyhteyskerroksella toimiva tiedonsiirtoprotokolla avustava mekanismi
LTE	Long Term Evolution. Neljännen sukupolven matkaviestintäteknologia
MAC-osoite	Media Access Control-osoite. Verkkolaitteen fyysinen osoite.

MIPv6	Mobile IPv6.
MTP	Media Transfer protocol. Microsoftin kehittämä protokolla mm. kannettavien mediasoitinten kanssa kommunikointiin
Mukautuva vakionopeudensäädin	Pitää ajoneuvon nopeuden vakiona tai etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon vakiona
ND	Neighbor Discovery. Useita IPv4 toimintoja yhdistävä naapurisolmujen havainnointi protokolla
OBU	On-Board Unit. Ajoneuvossa käytettävä radioyksikkö Vrt. RSU
OCB	Outside the Context of a BSS. Peruspalveluryhmän ulkopuolinen tila
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing. Ortogonaalinen taajuusjakoinen kanavointi
OpenWrt	Reititinlaitteille yksilöllisesti räätälöitävä Linux-pohjainen käyttöjärjestelmä
OPKG	Open PacKaGe Management. Linux laitteissa käytetty paketinhallintajärjestelmä
OSI-Malli	Open Systems Interconnect. Seitsemänportainen avointen järjestelmien yhteenliittämismalli.
PSID	Provider Service Identifier. WSMP:n käyttämä tunnistuskenttä
RHW	Road Hazard Warning. Liikennevaaran varoituspalvelu, johon määriteltä useita käyttötapauksia joista tienkäyttäjää varoitetaan
RLAN	Radio Local Area Network. Langaton lähiverkko taajuuksilla 5,470 GHz - 5,725 GHz
Roaming	Liikkuvan laitteen siirtyminen infrastruktuuri-topologiassa toiseen peruspalveluryhmään
RSU	Road Side Unit. Älyliikenteessä käytettävä tienvarsiradio Vrt. OBU
SCH	Service Channel. WAVE-järjestelmän palvelukanava tiedonsiirtoa varten.
Skripti	Komentosarja jonka avulla automatisoidaan tehtävä tai tehtäviä
SLAAC	Stateless Address Autoconfiguration. Tilaton osoitteen autokonfiguraatio
SME	Station Management Entity. Hallintakerros
Solmu	IPv6-protokollan laite, muu kuin reititin
TFTP-Palvelin	Trivial File Transfer-protokollaa käyttävä tiedostonjako palvelin

Tri-state Gate	Kolmen tilan portti jota voidaan käyttää sisään- tai ulostulona ohjelmallisesti asetettuna.
V2X	Ajoneuvosta ajoneuvoon tai tieinfrastruktuuriin käytettävä tietoliikenneyhteys
Vihreä aalto	Liikennevaloissa ajettaessa ei tarvitse pysähtyä odottamaan punaisten valojen vaihtumista
Vierasverkko	Foreign Network. Verkko johon liikkuva päätelaite siirtyy kotiverkostaan
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments. Älyliikenteen taajuusalueilla käytettävä tiedonsiirtoteknologia
WBSS	WAVE Basic Service Set. WAVE-verkoissa infrastruktuuri tiloissa käytettävä peruspalveluryhmä
WIBSS	WAVE Independent Basic Service Set. WAVE-verkoissa ad hoc-tilassa käytettävä peruspalveluryhmä
WBSSID	Wildcard Basic Service Set Identifier. WAVE-verkoissa OCB-tilassa toimittaessa käytettävä langattoman lähiverkon tunnus, jossa kaikki bitit ykkösiä
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko
WSA	WAVE Service Advertisement. Langattoman lähiverkon operatiiviset tiedot sisältävä mainostusviesti
WSM	WAVE Short Message. WSMP-protokollan avulla lähetetty viesti
WSMP	WAVE Short Message Protocol. WAVE-verkkojen vuoksi kehitetty uusi viestiprotokolla
Yleiskustannus	Overhead. Ylimääräistä kuormaa tietoliikennepaketin kehysessä, sisältää esimerkiksi tietoa vastaanottavalle protokollalle.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1	JOHDANTO	1
2	ÄLYLIIKENNE	2
	2.1 Historia	2
	2.2 Uusien järjestelmien tarpeet ja kehitys	3
	2.3 Tulevaisuuden käyttö	4
3	WAVE	6
	3.1 Standardit	8
	3.2 WAVE-tekniikan käyttö	11
	3.3 Verkkomuodot	12
	3.3.1 Ad hoc-topologia	12
	3.3.2 Infrastrukturi topologia	13
	3.6 Tietoturva WAVE-verkoissa	14
	3.7 Ruuhkanhallinta	14
	3.8 Taajuudet ja modulaatio	15
4	PROTOKOLLAT JA PAKETTIMUODOT	19
	4.1 WSMP, WAVE Short Message Protocol	19
	4.2 GeoNetworking	20
	4.3 DENM, Decentralized Environmental Notification Message	20
	4.4 CAM, Cooperative Awareness Messages	23
5	LAITTEET	25
	5.1 Celebrity	25
	5.2 Flexroad	27
6	OPENWRT	30
7	LAITTEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO JA ASETUKSET	31
8	TESTIAJO JA TIENVARSI-RADION LÄHETYKSEN SEURANTA	33
9	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1.	OSI-mallin mukainen standardijaottelu	10
KUVIO 2.	LDM tiedonkeruun lähteet	24

KUVIO 3. Flexroad tienvarsiyksikkö ja ajoneuvoyksikkö	28
KUVIO 4. Sarjaportin parametrit liityttäessä HyperTerminal ohjelmalla Flexroadiin	29
KUVIO 5. Testiajon aikainen laitteiston kytkentä	34
KUVIO 6. Testiajopaikat kartalla: Centria pääsisäänkäynti ja Centrian Ouluntien puoleinen sivu	35
KUVIO 7. Kuvaus testipaikasta kaksi (kuviossa α = Antennin vertikaalinen puolen tehon kaistanleveys, l = etäisyys antennista tielle, h = antennin korkeus tienpinnasta)	36
KUVIO 8. Kolmannen testiajon kantaman tulokset metreinä aika-akselilla, jos viestiä ei vastaanotettu matka näyttää nollaa.	36

TAULUKOT

TAULUKKO 1. IEEE 802.11a ja 802.11p parametrien vertailu	7
TAULUKKO 2. Aktiiviset älyliikennettä koskevat IEEE-standardit	11
TAULUKKO 3. Euroopan alueella käytettävät ITS-kanavien lähetysominaisuudet	17
TAULUKKO 4. IEEE 802.11 standardin asettamat modulaatiotekniikat ja niiden parametrit	18
TAULUKKO 5. DENM-viestien lähetyksen aloituksen ja lopetuksen edellytykset	21
TAULUKKO 6. CAM-viestien käyttötapaukset	23

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan älyliikenteen järjestelmien edellytyksiä, rajoituksia ja toteutustapoja. Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia älyliikenteeseen kehitettyä WAVE-radioverkkoa ja perehtyä sen standardeihin. Tutkimuksen pohjalta on tarkoitus sekä selkeyttää verkon käytön edellytykset että todentaa käytettävissä olevien tiedonsiirtoprotokollien käytön mahdollisuudet. Työssä tutkitaan älyliikenteen käyttöön myönnettyjen taajuusalueiden käyttömahdollisuudet sekä rajoitukset standardien ja poliittisten päätösten pohjalta. Työn toteutuksessa käytetään IPv4-protokollaa ja kerätään tietoja muiden soveltuvien protokollien käytöstä.

Opinnäytetyön tutkimuskohde tuli Joni Jämsän ehdotuksesta Centria Tutkimus & Kehitysyksikön tarpeisiin. Opinnäytetyössä käytetyt laitteet olivat Componentality Oy:n valmistamat Flexroad WAVE-radiot sekä Celebrity Android-moduulit.

Työssä on käytetty Componentality Oy:n valmistamia Flexroad WAVE-radioita ja Celebrity Android-moduuleita sekä tutkittu niiden käytön mahdollisuuksia älyliikenteen ratkaisuisissa.

2 ÄLYLIIKENNE

Älyliikenteen tarkoitus on tehdä liikkumisesta turvallisempaa ja sujuvampaa tieto- ja viestintätekniiikan avulla. Käsitteenä älyliikenne on laaja, ja sen toteutustapoja on paljon. Toteutuksia voidaan tehdä hyvin erilaisia riippuen käyttötarkoituksesta ja avustavista tekniikoista. Älyliikenteen sovelluksia voidaan toteuttaa tie-, rautatie-, vesi-, ja lentoliikenteen käyttöön. Keskeisimmät älyliikenteessä käytettävät tekniikat ovat langattomat tietoliikenneyhteydet ja paikannusjärjestelmät. Muita avustavia tekniikoita ovat kulkuneuvojen ja infrastruktuurin anturitiedot.

Älyliikenteen ratkaisujen avulla ihmisten on helpompi liikkua omalla autollaan tai joukkoliikenteen kulkuvälineillä. Hallitusohjelmaan on kirjattu älyliikenteen hyödyntäminen kansallisen älyliikenteen strategian pohjalta. Suomeen tavoitellaan maailman fiksuinta älyliikennejärjestelmää vuodeksi 2020.

Strategian tavoitteet vuoteen 2020 mennessä:

- väylienpidon ja liikennejärjestelmän tuottavuuden parantaminen kymmenen prosenttia yleistä kehitystä enemmän,
- tieliikenteen kuolonuhrien määrää saadaan pienennettyä 50 ihmishenkeä vuodessa,
- ruuhkautumisen aikaviivettä vähennetään 20 prosentilla,
- logistiikkakustannukset lähenevät kilpailijamaita
- joukko- ja kevyen liikenteen markkinaosuus kasvaa 20 prosenttia.

(Liikenne- ja viestintäministeriö 2013.)

2.1 Historia

Vuonna 1992 CEN (European Committee for Standardization) alkoi tutkia lyhyen ja keskipitkän kantaman tietoliikennejärjestelmiä (DSRC, Dedicated Short Range Communications) ajoneuvojen ja tieinfrastruktuurin väliseen käyttöön. Eurooppaan asetettiin käyttöön DSRC-järjestelmille taajuudet 5795 MHz - 5815 MHz. Yhdysvalloissa DSRC järjestelmien standardit ovat ASTM:n (American Society for Testing and Materials) tekemiä ja niiden käyttöön on varattu taajuudet 902 MHz - 928 MHz. (Kudoh 2004.)

Vanhoja DSRC-yhteyksiä on käytetty pääasiassa tietullijärjestelmissä, jolloin ajoneuvoon on jouduttu asentamaan erillinen laite pelkästään tietullien langattomaan käyttöön. Tullijärjestelmien toteutustapojen erilaisuus aiheutti useita ongelmia jopa maiden sisällä. Esimerkiksi kuljetuskaluston liikkuaessa useiden eri tietullijärjestelmien alueilla oli jokaiselle järjestelmälle hankittava oma laitteistonsa. Useiden järjestelmien käyttö ei ole kustannustehokasta ja saattoi aiheuttaa virheen myötä tahattomasti tietullin maksamatta jättämisen. Kuljettajan käyttäessä useita järjestelmiä se vie huomiota liikenteestä vaarantaen liikenneturvallisuutta. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/52/EY antoi asetukset vuoden 2006 jälkeen käyttöön otettavien sähköisten tiemaksujärjestelmien yhtenäistämistä. Direktiivin tavoite oli tuoda käyttäjien ulottuville laitteet jotka ovat yhteensopivia kaikkien uusien Euroopan yhteisöissä käyttöön otettavien järjestelmien kanssa. Direktiivissä mainitut hyväksytyt tekniikat ovat satelliittipaikannustekniikka, GSM-GPRS-standardia käyttävä matkaviestintäteknikka ja 5,8 GHz mikroaaltotekniikka. (Euroopan unionin virallinen lehti 2004.)

2.2 Uusien järjestelmien tarpeet ja kehitys

Monien suurkaupunkien ainoa keino liikenteen sujuvoittamiseksi on älyliikenteen hyödyntäminen, sillä kaupunki-infrastruktuuriin liikennereittien rakentaminen voi olla käytännössä jo lähes mahdotonta. Liikennemäärien takia olemassa olevilla liikennereiteillä nopeuksia ei voida nostaa. Samalla liikkuminen kaupunkialueilla on lisääntynyt, eikä julkisten liikennevälineiden käyttö ole kaikille mahdollista. Joukkoliikenteen houkuttelevuutta on pyritty vilkkaimmissa paikoissa nostamaan tietullien ja joukkoliikenteen etuisuusjärjestelmien avulla. Sujuvuuden parantaminen vähentää liikenteen päästöjä ja samalla vähentää ajankäyttöä liikenteessä. Vanhan DSRC-tekniikan ominaisuudet eivät olleet riittävät kattamaan uusien älyliikennejärjestelmien tarpeita, jonka vuoksi uutta järjestelmää alettiin kehittää vuonna 2004. Uudesta älyliikenteen radiojärjestelmästä pyrittiin saamaan mahdollisimman toimiva, monikäyttöinen ja teknologialtaan halpa. (Saarelainen 2012.)

Uuden teknologian avustamat järjestelmät ovat tulossa autoihin tulevina vuosina. Järjestelmien kehittämiseen on perustettu voittoa tavoittelematon järjestö C2C-CC (Car to Car Communication Consortium) jonka ovat perustaneet kuusi eurooppalaista

autovalmistajaa: Audi, BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Renault sekä Volkswagen. Järjestön tavoitteena on tehdä tieliikenteestä turvallisempaa ja tehokkaampaa yhteistoiminnallisten älykkäiden liikennejärjestelmien avulla. Tavoitteitaan järjestö ajaa laaja-alaisella kehitystyöllä ja järjestelmien standardien edistämällä. (Weyl 2008.)

Älyliikenteelle uudeksi tiedonsiirtokanavaksi valittiin IEEE 802.11-standardin mukainen IEEE 802.11p. Uusi teknologia mahdollistaa nopeamman yhteyden muodostamisen suuremmalla alueella sekä suuremmat tietoliikennenopeudet verrattuna vanhaan DSRC-teknikkaan. Suurta kehitystä on tapahtunut myös autojen omissa elektronisissa hallintajärjestelmissä. Näiden summana voidaan toteuttaa toinen toistaan innovatiivisempia älyliikenteen sovelluksia jotka tuovat turvallisuutta, ekologisuutta, viihtyvyyttä ja sujuvuutta liikenteeseen.

Älyliikenteen sovelluksille saadaan tarvittavia tietoja ajoneuvojen omien järjestelmien ja tienvarsilaitteiston tiedonkeruusta. Hyödynnettäviä tietoja voidaan kerätä esimerkiksi ajoneuvon CAN-väylästä. Tietoja voidaan kerätä ajoneuvosta esimerkiksi paikkatiedon, luistoneston ja jarrujärjestelmien tiedoista. Kerätyistä tiedoista voidaan antaa varoituksia lähialueiden käyttäjille tai kerätä tietoa ITS-keskukselle. ITS-keskukselle kerättyä tietoa voidaan soveltaa moniin eri sovelluksiin, kuten liikenteen ohjaukseen välttämään ruuhkautuneimpia kulkuväyliä. Lisäksi yhteistoiminnalliset älyliikennejärjestelmät voivat esimerkiksi antaa kuljettajalle tiedon optimi nopeudesta seuraavia liikennevaloja kohti ajettaessa. Sopivalla nopeudella ajettaessa päästään liikennevaloista sujuvasti vihreässä aallossa. (Saarelainen 2012.)

2.3 Tulevaisuuden käyttö

Testivaiheessa IPv4 on täysin sopiva pienimuotoiseen testikäyttöön, sillä yhteen yksityiseen lähiverkkoon saadaan mahtumaan tarpeeksi osoitteita kattamaan testikäytön tarpeet. Tulevaisuudessa IP-pohjaisissa sovelluksissa käytetään kuitenkin todennäköisesti julkisen osoiteavaruuden osoitteita, jotka ovat IPv4-version osalta jo käytännössä loppuneet Euroopasta. (Vänskä 2012.)

IPv4-osoitteiden loppuminen tarkoittaa siirtymistä käyttämään uudempia 128-bittisiä IPv6 osoitteita. IPv6-protokollan käyttöönotto tuo mukanaan valtavan suuren osoiteavaruuden

ja paljon IPV4-protokollasta paranneltuja ominaisuuksia. Tärkeitä ominaisuuksia älyliikenteen kannalta ovat muun muassa naapurisolmun selvitys protokolla (Neighbor Discovery, ND), tilaton osoitteen autokonfiguraatio (SLAAC, Stateless Address Autoconfiguration) ja Mobile IPv6 (MIPv6). ND-protokolla yhdistää IPV4:n useita ominaisuuksia sekä parantelee niitä. Neighbor discovery-protokolla yhdistää osoitteen selvitys- (ARP, Address Resolution Protocol), ICMP Router Discovery- sekä ICMP Redirect-protokollan toiminnot. IPv6 löytää automaattisesti naapurisolmut sekä lähimmän reitittimen, jonka ansiosta tiedon välittäminen eteenpäin ilman oletusyhdyskäytävän esimäärittelyä onnistuu. Tilaton osoitteen autokonfiguraatio voi asettaa IP-osoitetta tarvitsevalle laitteelle osoitteen. IPv6 käyttää Duplicate Address Detection algoritmia (DAD) tunnistamaan päällekkäiset IP-osoitteet. DAD-protokollan tunnistessa päällekkäiset IP-osoitteet pystyy IPv6-laite automaattisesti vaihtamaan osoitettaan päällekkäisyyden sattuessa riippumatta tavasta jolla osoite on hankittu. Liikkuvia päätelaitteita ajatellen kehitetty MIPv6 on protokolla, jonka avulla solmut voivat siirtyä verkosta toiseen yhteyden katkeamatta. MIPv6 säilyttää yhteyden käyttämällä hyväksi kotiosoitetta (Home Address, HA) ja kotiverkkoa (Home Network, HN) reitityksessä. Solmun siirtyessä vierasverkkoon (Foreign Network) se saa vierasosoitteen (Care-of Address, CoA). Vierasosoite tallentuu kotiagentille (Home Agent, HA), joka pitää kirjaa päätelaitteen kaikista vierasosoitteista. Päätelaitteen ollessa vierasverkossa kotiagentti reitittää sille osoitetut paketit oikeaan verkkoon IP-tunnelin kautta. (Saarnia 2014, 39-46.)

Osa verkoista on kuitenkin hyvin lyhytaikaisia eikä päätelaitteilla ole aikaa odottaa verkkoprotokollien toimintoja. WAVE Short Message Protocol (WSMP) on uusi protokolla, joka on tehty juuri niitä tilanteita varten. Protokollan etuna on sen nopeus ja keveys kun se lähetetään ilman IP-overhead kenttää. WSMP voi lähettää viestejä palvelu- ja ohjauskanavilla kaikenkertyyppisissä verkoissa, kun IP-viestejä voidaan lähettää vain palvelukanavilla peruspalveluryhmän muodostuksen jälkeen.

3 WAVE

WAVE eli Wireless Access in Vehicular Environments on kehitetty vastaamaan nykypäivän ja tulevaisuuden älyliikenteen tarpeita. WAVE kehitettiin, koska vanhan DSRC-teknologian ominaisuudet eivät olleet riittävät kattamaan uusien älyliikennetarkaisuiden tarpeita. WAVE-teknologialle ei ole varsinaista kilpailijaa, sillä se on asetettu ainoaksi sovellettavaksi tietoliikenneprotokollaksi älyliikennejärjestelmille varatuille taajuusalueille. WAVE-tekniikkaa käsittelee standardin IEEE 802.11 lisäksi IEEE 1609-standardiperhe sekä useat ETSI:n tekniset spesifikaatiot, tekniset raportit ja standardit.

Toinen useimmille aikakriittisille sovelluksille sopivia tietoliikenneprotokollia on neljännen sukupolven teknologia LTE (Long Term Evolution). LTE ei kuitenkaan sovellu täysin älyliikenteen käyttöön, sillä sen nopeus ja laatu vaihtelevat useiden tekijöiden vaikutuksesta. LTE tarvitsee aina kolmannen osapuolen tukiaseman toimiakseen, joten tukiasemien täytyisi peittää kaikki alueet soveltuakseen älyliikenteen käyttöön. Vaikka peittoalue olisi hyvä, käytön ongelmiksi voisi muodostua esimerkiksi pienet katvealueet tai tukiaseman rikkoontuminen. (Kosch, Schroth, Strassberger & Bechler 2012, 230-231)

WAVE-tekniikan toimintaan ei tarvita kuin kaksi WAVE-radiota ja tarpeeksi pieni välimatka, tämän vuoksi WAVE soveltuu liikennekäyttöön millä tahansa alueella. Tekniikka pohjautuu olemassa olevan langattoman lähiverkon (WLAN, Wireless Local Area Network) tekniikkaan, jota on muokattu paremmin soveltumaan tieliikennekäyttöön. Tiedonsiirtonopeus ei ole liikenneturvallisuutta käsittelevien viestien ongelma niiden pienen koon vuoksi, mutta viestien vastaanoton varmuus ja viive ovat liikenneturvallisuuden kannalta kriittisiä. (Abbasi 2008.)

Olennaista WAVE-järjestelmän kehityksessä oli, että se haluttiin kehittää jo olemassa olevien WLAN-teknologian pohjalta. Valmiiksi massatuotannossa olevien komponenttien käyttäminen uudessa teknologiassa halventaa tekniikan käyttöönottoa ja helpottaa valmistajien laitekehitystä. WAVE-tekniikassa on pyritty pidentämään verkon kantamaa ja parantamaan lähetettyjen viestien havaittavuutta. Lisäksi protokollamuunnoksilla on saatu nopeutettua radioiden yhteyden muodostamista tarjoamalla vaihtoehtoisia tiedonsiirtomenetelmiä. Uusien protokollien myötä WAVE-arkkitehtuurin

protokollapinossa on vaihtoehtoisina tiedonsiirtoprotokollina IPv6 ja WSMP. (Saarelainen 2012)

Vanhoista protokollista 802.11a protokollan 5 GHz taajuusalue on taajuudeltaan lähimpänä 802.11p-verkoissa käytettävää 5,9 GHz taajuusaluetta. WAVE-tekniikkaa vertailtaessa lähin vertailukohde on 802.11a, joten siihen tehtävä vertailu on olemassa olevista langattoman lähiverkon tekniikoista informatiivisin. Taulukkoon 1 on koottu tärkeimmät erot 802.11a ja 802.11p protokollien välillä. Molempien protokollien moduloinnissa käytetään OFDM-tekniikkaa (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) eli ortogonaalista taajuusjakoista kanavointia. 802.11a ja 802.11p protokollien välille on tehty pieniä eroja, joilla on saatu viestin sisällön tunnistettavuutta ja viestin vastaanotettavuutta parannettua. Latausnopeudet ovat tippuneet puoleen, mutta se ei ole liikenneturvallisuuden kannalta merkittävä asia. Symbolien kesto on kaksinkertaistunut ja se helpottaa viestien vastaanottoa. Parannuksia WAVE-tekniikkaan on tehty tuplaamalla suojaväli (Guard Period) 1.6 mikrosekuntiin. Suojavälin tuplaus vähentää monitie-etenemisen vaikutuksia ja pienentää näin ollen symbolien päällekkäisyyttä. Radioiden liikkuminen aiheuttaa Doppler-ilmiötä, jonka seurauksena taajuudessa tapahtuu muutosta. Vanhempien WLAN-protokollien käytössä radioiden liikkuminen on suhteellisen hidasta, jos sitä tapahtuu ollenkaan. Ajoneuvojen välisessä tietoliikenteessä radioiden nopeudet voivat olla hyvinkin suuria. Suuremmat nopeudet altistavat monitie-etenemisen kautta lähetyksen ja vastaanoton väliseen suurempaan aikaikkunaan jolloin sama viesti voidaan vastaanottaa eri etenemistieltä. Monitie-etenemisen vaikutuksia on saatu vähennettyä myös apukantoaaltojen uudelleenjärjestelyllä. (Röckl & Strang 2009.)

TAULUKKO 1. IEEE 802.11a ja 802.11p parametrien vertailu (Abbasi 2008, 16.)

Parametri	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Muutos
Tiedonsiirtonopeus (Mb/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	Puoliutunut
Modulointitekniikka	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	Ei muutosta
Koodin hyötysuhde	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4	Ei muutosta
Alikantoaaltojen määrä	52	52	Ei muutosta

(jatkuu)

TAULUKKO 1. (jatkuu)

Symbolien kesto	4 μ s	8 μ s	Tuplaantunut
Suojaväli (GI)	0.8 μ s	1.6 μ s	Tuplaantunut
Nopean Fouriermuunnoksen jakson aika	3.2 μ s	6.4 μ s	Tuplaantunut
Tahdistuskuvion kesto	16 μ s	32 μ s	Tuplaantunut
Alikantaaltojen välit	0,3125 MHz	0,15625 MHz	Puoliutunut

WAVE-tekniikan käyttö älykkään tieliikenteen sovelluksiin voi vaatia tietoa ajoneuvosta ja sen ympäristöstä. Ajoneuvon tietoja voidaan saada auton esimerkiksi ajoneuvon CAN-väylästä tai erillisistä rakennetuista järjestelmistä. Sovelluksissa käytettäviä tietoja ovat esimerkiksi paikkatiedot joita saadaan esimerkiksi GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän avulla sekä auton hallintalaitteiston tiedot, kuten kaasupolkimen tai jarrun käyttö. Älyliikennejärjestelmien on tarkoitus avustaa ajoneuvojen kuljettajia tai ilmoittaa lähestyvistä ongelmista käyttäjäliittymän avulla. Käyttäjäliittymä voi olla yksinkertaisimmillaan pelkkä merkkivalo tai indikaattori, mutta käytännössä tieto voidaan tuoda joko ajoneuvon näytölle tai käyttäjän älylaitteelle. Nykyään kehittyneissä autoissa on käytössä älykkäitä avustustimia ja varoittimia kuten esimerkiksi kaistavahti ja mukautuva vakionopeudensäädin. Tietoliikenteen mukaan tuominen älykkäisiin avustimiin tuo uusia mahdollisuuksia ennakoida liikenteen olosuhteita ja lähestyviä vaaratilanteita.

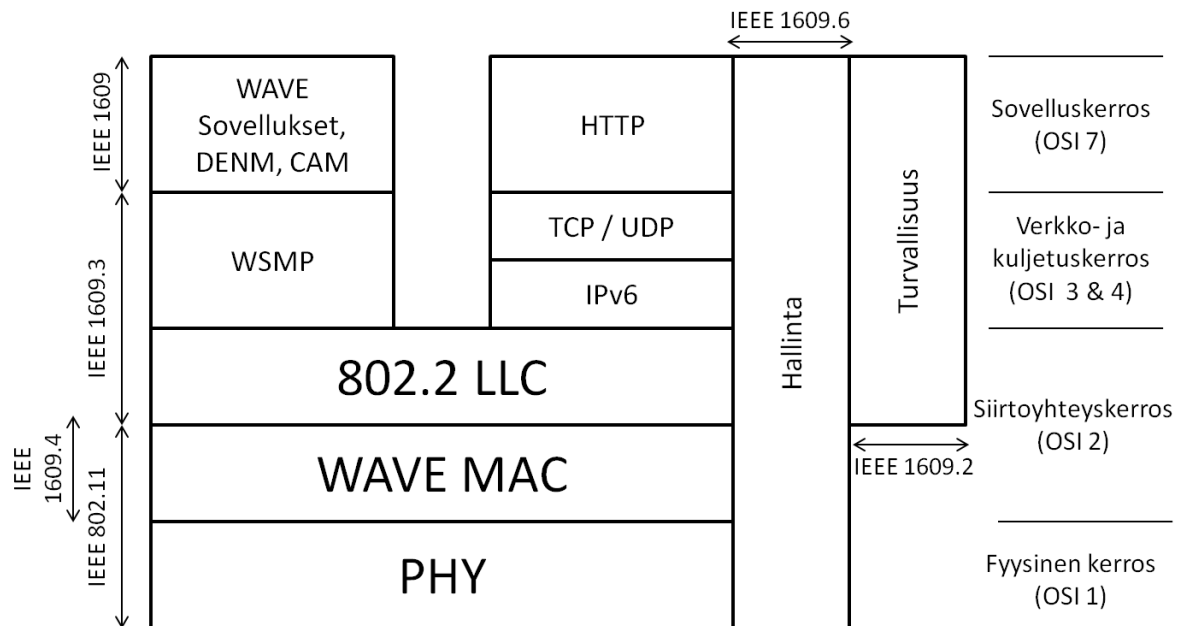
3.1 Standardit

Älyliikennettä on alettu kehittää ympäri maailman, mutta eri maiden ja maanosien standardit poikkeavat toisistaan. Eri maiden standardien kehittäjien lähtökohdat ja älyliikenteeseen soveltuvat vapaat taajuusalueet ovat johtaneet moniin eroavaisuuksiin kaikilla standardien osa-alueilla. Suurimpia kehittäjiä älyliikenteen saralla ovat Eurooppa, Yhdysvallat ja Japani.

Standardityötä Euroopan ja Pohjois-Amerikan alueen älyliikenteen kommunikaatio arkkitehtuuriin ovat tehneet useat järjestöt kuten IEEE, CEN, ASTM, ETSI ja ISO. Useiden järjestöjen tehdessä yhtäaikaista standardityötä ilman sopimuksia standardityön laajuuksista tai järjestöjen kehityksen alueista aiheutti päällekkäisyyksiä. Päällekkäisyyksien yhtenäistämistä on jo tehty, joten tässä opinnäytetyössä käydään läpi tärkeimmät älyliikenteen standardit. Lisäksi tutkimuksessa käsitellään aihetta koskevat tekniset spesifikaatiot ja älyliikenteen standardien historiaa.

Nykyisellään älyliikennettä halutaan hyödyntää ympäri maailman, mutta valmiita uudenaikaisia järjestelmiä on hyvin vähän. Uusina myytäviin autoihin WAVE-radioita ei vielä saa lisävarusteena, mutta useat valmistajat ovat kehittämässä älyliikennejärjestelmiä omiin mallistoihinsa. Tämänhetkiset WAVE-laitteet ovat lähinnä tutkimus- ja kehityskäytössä.

Uutta teknologiaa standardoimaan perustettiin työryhmä marraskuussa 2004. WAVE-tekniikkaa käsittelevä standardi määritettiin standardiksi IEEE 802.11p. Standardin luonnoksia kehitettiin vuoteen 2010 asti ja sen viimeisin, 11. luonnos hyväksyttiin huhtikuussa 2010 ilman kommentteja 99% puoltamisella. Muunnos julkaistiin 15 heinäkuuta 2010. Standardin nimeksi asetettiin Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. Marraskuussa 2012 muunnos liitettiin osaksi IEEE 802.11-standardia, jonka vuoksi IEEE 802.11p ei ole enää aktiivinen standardi. (IEEE 802.11 2012.)



KUVIO 1. OSI-mallin mukainen standardijaottelu (IEEE 1609.0 2013.)

Standardit voidaan jaotella OSI-mallin mukaan kerroksittain. Kahta alinta kerrosta eli siirtoyhteyskerrosta ja fyysisestä kerrosta käsittelee standardi IEEE 802.11, mutta tunnetaan paremmin 802.11p-protokollana. 802.11 käsittelee tietoverkon toiminnan OSI-mallin alimmissa kerroksissa, mutta sen rajoittuneisuuden vuoksi siirtokerrosta käsittelee myös IEEE 1609.4. (IEEE 1609.0 2013.) IEEE 1609.4-standardi määrittää mekanismit joiden avulla ylempien kerrosten, lähettämät datakehukset voidaan lähettää useille eri siirtokanaville ilman tietoa fyysisistä parametreista. Standardi 1609.4 määrittelee myös ajastimien käytön jonka avulla WAVE-radioiden kellot synkronoidaan. Synkronointi mahdollistaa sujuvan kommunikoinnin toimittaessa peruspalveluryhmän ulkopuolisessa tilassa (OCB, outside the context of a BSS) useilla kanavilla. WAVE-radion täytyy pystyä tekemään nopeita vaihtoja, jonka WAVE-järjestelmä vaatii kuunnellessaan ohjauskanavaa ja toimiessaan palvelukanavalla. Synkronoinnin epätarkkuus on otettu huomioon asettamalla varoajat (GI, Guard Interval) kanavilla siirtymisen ajaksi. Ilman synkronointia ja pakettien jonotusmenetelmiä voitaisiin paketteja lähettää radion toimiessa väärällä kanavalla.

Ylemmät kerrokset eivät saa tietoa kanavanvaihtoista, joten kanavien koordinointi (channel coordination) palvelu hallinnoi aikavälejä kanavien vaihtojen aikana. Ilman koordinoitua radio voisi lähettää datakehksiä väärille kanaville. Kanavien reititys (channel routing) mekanismi käsittelee sisään tulevan ja lähtevän liikenteen lähtemään

oikealle kanavalle ja asettaa sille parametreja, kuten lähetystehon ellei niitä ei ole määritelty etukäteen. Käytännössä 1609.4 toimii siis 802.11p standardiosan päällä hallinnoiden useiden kanavien käyttöä yhdellä radiolähettimellä (Chen, Jiang & Delgrossi 2009.).

TAULUKKO 2. Aktiiviset älyliikennettä koskevat IEEE-standardit

IEEE Standardi	Standardin nimi
802.11-2012	IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
1609.0-2013	IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Architecture
1609.2-2013	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages
1609.3-2010	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services
1609.4-2010	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation
1609.11-2010	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS)
1609.12-2012	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Identifier Allocations

3.2 WAVE-tekniikan käyttö

WAVE-radioiden käyttö eri projekteissa ja hankkeissa on kasvanut viime vuosien aikana. WAVE-teknologiaa on käytetty muun muassa WiSafeCar, FOTsis, Drive C2x ja CoMoSeF-hankkeissa. Hankkeissa on käytetty eri valmistajien laitteita ja järjestelmät ovat olleet toisistaan poikkeavia. Kaikkien hankkeiden päämäärä on ollut kehittää liikenneturvallisuutta tutkimalla, kehittämällä ja testaamalla älyliikenteen järjestelmiä.

WiSafeCar-hankkeessa kuljettajille annettiin analysoitua tietoa säästä, liikenteen tapahtumista ja välittömästä onnettomuusvaarasta. CoMoSef-hanke hyödyntää WiSaFeCar-hankkeen tuloksia. CoMoSef-hankkeen tarkoitus on puolittaa ajoneuvojärjestelmän hintataso, sekä tehdä kaikkiin ajoneuvoihin soveltuvia kaupallisesti kannattavia sovelluksia. Drive C2x-hankkeessa testataan ja kehitetään älykkäitä liikenneratkaisuja ja FOTsis-hankkeessa toteutetaan laajamittainen järjestelmien testaus käytännön liikenteessä. FOTsis-hankkeen testejä toteutetaan neljän eri valtion alueilla yhdeksässä eri testipaikassa. (Saarelainen 2012; Teknologian tutkimuskeskus 2012.)

WAVE-tekniikan tulo myytäviin ajoneuvoihin kestää vielä arviolta joitain vuosia. Vuonna 2012 haastattelussa Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) erikoistutkija Matti Kutila arvioi järjestelmien tulevan kalliimpiin autoihin vuosien 2017 ja 2020 välillä. (Vuokkola 2012.)

3.3 Verkkomuodot

WAVE-radioita voidaan käyttää joko ad hoc- tai infrastruktuuri-tilassa, jotka ovat tuttuja muista IEEE 802.11 standardiperheen verkoista. Ad hoc-tilassa mikä tahansa käyttäjäpari voi vaihtaa dataa keskenään, eikä järjestelmä ole näin ollen sidottu tukiasemiin. Infrastruktuuri tiloja on kaksi erilaista. Luokkaerottelu tehdään tukiasemien määrän perusteella. Käytössä on yhden tukiaseman topologia tai usean tukiaseman topologia. Ad hoc-verkot tulevat olemaan ainakin aluksi yleisempiä kuin infrastruktuuri-verkot, sillä kattavien verkkojen rakennus kaikille alueille olisi erittäin kallista.

3.3.1 Ad hoc-topologia

WAVE-järjestelmän ad hoc-topologiassa voidaan käyttää WAVE-verkolle kehitettyä WAVE itsenäistä peruspalveluryhmää (WIBSS, WAVE Independent Basic Service Set), joka pitkälti vastaa perinteisten 802.11 (a/b/g) verkon itsenäistä peruspalveluryhmää (IBSS, Independent Basic Service Set). Ad hoc-verkoissa laitteet liittyvät verkossa suoraan toisiinsa ilman tukiasemaa. Tukiasemattomassa verkossa laitteet voivat lähettää dataa

toisilleen, mutta ilman kiinteää infrastruktuuria laitteilla ei välttämättä ole yhteyttä internetiin.

Alati muuttuvassa ympäristössä WAVE-laitteet voivat olla toistensa kantoalueella hyvinkin vähän aikaa. Yhteyden muodostamisen nopeuttamiseksi aikakriittisissä sovelluksissa 802.11-standardiin on määritelty peruspalveluryhmän ulkopuolinen tila (OCB, Outside the Context of a BSS). OCB-tilassa laite ei ole osana peruspalveluryhmää, mutta voi vastaanottaa ja lähettää viestejä muiden WAVE-laitteiden kanssa. Peruspalveluryhmän ulkopuolinen tila nopeuttaa käytännön yhteyden muodostamista. Samalla peruspalveluryhmän ulkopuolista tilaa käyttämällä menetetään peruspalveluryhmän ominaisuudet todennus-, yhdistämis- ja tiedon luottamuksellisuuden tarkistamispalveluista. Toimittaessa ilman peruspalveluryhmää laitteet käyttävät kommunikointiin langatonta lähiverkkotunnusta jonka kaikki bitit ovat ykkösiä, josta käytetään nimitystä Wildcard Basic Service Set Identifier (WBSSID). Käyttämällä aina samaa lähiverkkotunnusta yhdistäminen toisiin WAVE-laitteisiin helpottuu ja nopeutuu. Peruspalveluryhmän ulkopuolisessa tilassa kaikki mahdollisesti tarvittavat todentamispalvelut täytyy tulla MAC-kerroksen ulkopuolisilta sovelluksilta tai Station Management Entity (SME) hallintayksiköltä, ks. kuvio 1. (IEEE 802.11 2012.)

3.3.2 Infrastruktuuri topologia

Infrastruktuuri tilassa dataa liikutellaan vain peruspalveluryhmän muodostajan (provider) sekä käyttäjien (user) välillä. Tällöin käytössä on WAVE-peruspalveluryhmä (WBSS, WAVE Basic Service Set) joka vastaa vanhempien 802.11 (a/b/g) protokollien peruspalveluryhmää (BSS, Basic Service Set). Usean tukiaseman infrastruktuuri tilassa palveluryhmästä käytetään nimitystä laajennettu palveluryhmä (ESS, Extended Service Set). ESS koostuu usean tukiaseman verkosta, joilla jokaisella on oma peruspalveluryhmä. Käyttäjälaitteet voivat liikkua tukiasemien välillä vapaasti, jolloin tukiasemien välinen kiinteä verkko (DS, Distribution service) hoitaa käyttäjien siirtymisen tukiasemien välillä (Roaming) käyttäen kiinteää verkkoa. (IEEE 802.11 2012.)

WBSS-palveluntarjoaja lähettää mainostussanomaa (WSA, WAVE Service Advertisement). WSA sisältää langattoman lähiverkon verkkotunnuksen (BSSID, Basic

Service Set Identifier) ja peruspalveluryhmän operatiiviset tiedot. WAVE-verkoissa BSSID on 48-bittinen tunniste, joka on palveluntarjoajan MAC-osoite. WSA:n sisältämiin operatiivisiin tietoihin lukeutuu käytettävä palvelukanava (SCH) sekä sillä käytetty tiedonsiirtonopeus ja kellonaika synkronointia varten. Käyttäjälaitte kuuntelee ohjauskanavalla (CCH) palveluntarjoajien lähettämiä mainostussanomiamia (Beacon) ja sen kuullessaan voivat liittyä WAVE peruspalveluryhmään. WAVE peruspalveluryhmän pystyy muodostamaan mikä tahansa WAVE-radio. Peruspalveluryhmän muodostaja on WBSS-palveluntarjoaja ja siihen liittyvät ovat käyttäjiä. Yksi laite ei kuitenkaan voi muodostaa peruspalveluryhmää ja samanaikaisesti liittyä käyttäjäksi toisen laitteen perustamaan peruspalveluryhmään. (Wang, Lin, Liu & Hong 2009.)

3.4 Tietoturva WAVE-verkoissa

Tietoturvaa WAVE-verkoissa käsittelee standardi IEEE 1609.2. Standardissa käydään läpi osa menetelmistä joiden avulla kulkuneuvojen välisiä tai infrastruktuurin ja kulkuneuvojen välisiä tietoliikenneyhteyksiä suojataan. Suojauksella estetään salakuuntelua, viestien väärennystä, muuntelua ja toistoa joita voidaan käyttää erilaisissa tietoturvahyökkäyksissä. Aikakriittisten sovellusten vuoksi prosessointi ja overhead on pidettävä mahdollisimman pienenä. Ajoneuvo on usein henkilökohtainen kulkuväline josta kerätty tieto on osin henkilökohtaista. Tämän vuoksi ajoneuvoissa käytettyjen tietoliikennevälineiden tiedot eivät saa joutua kolmansien osapuolien käyttöön siinä määrin, että niitä voitaisiin yhdistää tiettyihin ajoneuvoihin. (IEEE 1609.2 2013.)

Liikenteessä tietoturvan merkitys korostuu, sillä jo muutamalla tekaistulla paketilla voidaan aiheuttaa vaaratilanne. Liikenneturvallisuuden takia tietoturvaan täytyy kiinnittää erityisen tarkkaa huomiota. IEEE1609.2-standardissa käsitellään eri tilanteille sopivat luottamuksellisuuden, autentikoinnin, valtuutuksen ja yhtenäisyyden tarkistus- ja todennusmekanismit. ETSI teknisessä spesifikaatiossa 102 867 käsitellään 1609.2-standardissa määriteltyjen tietoturvamekanismien käyttöä eri palveluissa. Tekninen spesifikaatio kertoo onko mekanismi täysin toimiva, osittain toimiva vai toistaiseksi ei tuettu. (ETSI TS 102 867 2012.)

3.5 Ruuhkanhallinta

Tietoliikenneverkon ruuhkautuminen on suuri vaara älyliikennejärjestelmien tietoliikenneverkoissa. Erityisesti turvallisuussovellusten lähettämät paketit täytyy pystyä priorisoimaan lähetyslistan kärkeen tietoliikenneverkon ruuhkatilanteissa. Ilman ruuhkanhallintaa turvallisuuden sovellukset voivat kärsiä ja tämä voi johtaa pahimmillaan onnettomuuteen.

Älyliikenteen ruuhkanhallintaa hoitaa useilla OSI-mallin kerroksilla toimiva hajautettu ruuhkanhallinta, josta käytetään lyhennettä DCC (Distributed Congestion Control). DCC käyttää useita protokollakerroksia, jotta se pystyy jakamaan resursseja ja kanavalle pääsyä tasapuoliseksi kaikille saman alueen käyttäjille. DCC:n toiminnallisiksi vaatimuksiksi on asetettu säännöllisesti lähetettyjen viestien kuormitus alle raja-arvojen rajoittaminen, nopea mukautuminen muuttuvassa ympäristössä ja korkeamman prioriteetin omaavien pakettien lähettäminen ensin radiotielle. Priorisoinnin hallinta tehdään asettamalla paketit MAC-kerroksella eri jonoihin. Verkkokerros asettaa lähetettävät paketit jonoihin niiden prioriteettiluokan mukaan. Prioriteettiluokkien minimimääräksi on asetettu neljä eri luokkaa. Eri prioriteettiluokilla on omat jononsa, joiden purkaminen riippuu ruuhkanhallinnan tilasta. Jonon kasvaessa liikaa tiputetaan siihen tulevat paketit. Pakettien tiputtamiselta vältytään jos verkkokerros tutkii lähetysjonojen tilan etukäteen.

Hajautetun ruuhkanhallinnan arkkitehtuuri koostuu neljän eri kerroksen päällä toimivista komponentista. Komponenteilla hallitaan lähettimen tehoa, pakettien lähetystiheyttä ja radiolinkin tiedonsiirtonopeutta. Jokainen DCC:tä tukeva WAVE-laite tarkkailee radiotiellä kulkevien pakettien määrää ja signaalitasoja joiden perusteella se määrittää käytettävät lähetysparametrit. Ruuhkanhallinnan määrittely ja algoritmit Euroopan alueella käytettyjen ITS-G5A ja ITS-G5B kanavanippujen taajuuksilla on käsitelty ETSI teknisessä spesifikaatiossa 102 687. (ETSI TS 102 687 2011.)

3.6 Taajuudet ja modulaatio

Euroopan sähköisen viestinnän komitea (ECC, Electronic Communications Committee) teki marraskuussa 2008 suosituksen Euroopan posti- ja telehallintojen konferenssin (CEPT,

European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) pyynnöstä koskien älykkäille tieliikennesovelluksille kaavailtuja taajuusalueita. ECC:n suosituksen mukaan taajuudet 5875 MHz - 5925 MHz sopivat älykkäiden liikennejärjestelmien käyttöön, erityisesti taajuusalue 5875 MHz - 5905 MHz. (Electronic Communications Committee 2008.) Kyseisen suosituksen pohjalta Euroopan komissio asetti taajuudet 5875 MHz - 5905 MHz vuonna 2008 älyliikenteen käyttöön. ECC:n suosituksen mukaan taajuusalue 5905 MHz - 5925 MHz on mahdollista laajennusalueetta älyliikenteen järjestelmille. Laajennusalueen käytöstä tai käyttöönotosta ei ole kuitenkaan vielä päätetty, koska kyseinen taajuusalue saattaa kärsiä muiden palveluiden aiheuttamista häiriöistä. (Euroopan unionin virallinen lehti 2008.) Vastaavat taajuuksien varaukset on tehty ainakin Pohjois-Amerikassa sekä Japanissa. Keskenään järjestelmät eivät ole yhteensopivia, sillä muun muassa kanavien taajuudet ja lähetystehon rajoitukset eroavat toisistaan.

Kaistanleveydeltään 10 MHz ITS-kanavat IEEE on numeroinut Euroopan alueelle parittomin luvuin 172 - 180. Kanavat ja kanavaniput on nimetty myös ETSI-järjestön toimesta. Älyliikenteen turvallisuussovelluksiin on varattu kolme kanavaa taajuuksilla 5875 MHz - 5905 MHz. Turvallisuussovelluksien käyttöön varattu kanavanippu on nimetty ITS-G5A kanavanipuksi. Loput käyttöönotetut kanavat ovat kanavanipussa ITS-G5B taajuuksilla 5855 - 5875 MHz. ITS-G5B kanavanipun käyttö on sallittu kaikille turvallisuuteen viittaamattomille sovelluksille. Tulevaisuuden käyttöä varten on kaavailtu kanavanippu ITS-G5D taajuuksilla 5905 MHz - 5925 MHz. (ETSI EN 302 663 2013.)

ITS-G5A, ITS-G5B, ITS-G5D kanavanippujen taajuusalueilla voidaan muodostaa erilaisia verkkoja, kuten ad hoc- ja infrastruktuuri-verkot. ITS-G5C alueella yhteydenpito on rajattu vain liikkuvan laitteen ja kiinteän tukiaseman välille. ITS-G5C alueen käyttöä älyliikennejärjestelmissä rajaa samalla taajuusalueella käytetyt tutkat. Euroopan komission mukaan taajuusalueella voidaan käyttää RLAN (Radio Local Area Network) järjestelmiä vain jos järjestelmässä sovelletaan tehonrajoitus ja häiriönlieventämistekniikoita. Näitä toimintoja ei tueta toimittaessa peruspalveluryhmän ulkopuolisessa tilassa. (ETSI EN 302 663 2013.)

TAULUKKO 3. Euroopan alueella käytettävät ITS-kanavien lähetysominaisuudet (ETSI EN 302 663 2013.)

ETSI Kanava	Keski-taajuus [MHz]	IEEE Kanava	Kaistan-levyys [MHz]	Oletus tiedonsiirto-nopeus [Mb/s]	Säteilytehon yläraja [dBm EIRP]	Lähetteen spektrin tehotiheyden yläraja [dBm/MHz]
G5-CCH	5 900	180	10	6	33	23
G5-SCH2	5 890	178	10	12	23	13
G5-SCH1	5 880	176	10	6	33	23
G5-SCH3	5 870	174	10	6	23	13
G5-SCH4	5 860	172	10	6	0	-10
G5-SCH5	5 910	182	10	6	0	-10
G5-SCH6	5 920	184	10	6	0	-10
G5SC5	5 470 ...	94 ...	10 tai 20	Riippuu kaistan-levydestä	Isäntälaitte	17
	5 725	145			30	

WAVE-verkoissa käytettyjä taajuuksia moduloidaan OFDM-modulaatiolla. OFDM-modulaatio perustuu useiden, osittain päällekkäisten, toisiaan häiritsemättömien taajuuskanavien yhtäaikaiseen käyttöön. Alikantoaaltoja on käytössä aina viisikymmentäkaksi, mutta eri modulaatiomuodoilla lähetyksen data-nopeus on eri. Käytettävien modulaatiomuotojen parametrit on merkitty taulukkoon neljä. Jokaisesta taajuuskanavasta käytetään nimitystä alikantoaalto. Siirrettävä tieto jaetaan osiin ja siinä olevan symbolin mukaan lähetetään radiotielle vastaavaksi kompleksiluvuksi tulkattuna. Apukantoaaltojen matemaattiset ominaisuudet varmistavat, että vastaanottava laite voi erottaa ne toisistaan. (Vartiamäki 2012.)

TAULUKKO 4. IEEE 802.11 standardin asettamat modulaatiotekniikat ja niiden parametrit (IEEE 802.11 2012.)

Modulaatio	Koodin hyötysuhde (R)	Bittejä / Ali- kantoaalto	Bittejä / OFDM- symboli	Databittejä / OFDM- symboli	Data- nopeus (Mb/s)	Signaalin tason mini-mi
BPSK	1/2	1	48	24	3	-85
BPSK	3/4	1	48	36	4.5	-84
QPSK	1/2	2	96	48	6	-82
QPSK	3/4	2	96	72	9	-80
16-QAM	1/2	4	192	96	12	-77
16-QAM	3/4	4	192	144	18	-73
64-QAM	2/3	6	288	192	24	-69
64-QAM	3/4	6	288	216	27	-68

4 PROTOKOLLAT JA PAKETTIMUODOT

WAVE-laitteeksi voidaan luokitella laite joka voi vastaanottaa ja / tai lähettää vähintään yhtä neljästä tärkeimmistä WAVE-tekniikassa käytettyä kehystyyppiä, mutta luokitus ei kuitenkaan rajoita tukemasta muitakin protokollia. WAVE-tekniikan neljä keskeisintä IEEE 802.11:ssa määriteltyä kehystyyppiä ovat datakehys joka sisältää IP-paketin tai WAVE Short Message-paketin (WSM) sekä hallintakehys WSA:n. (IEEE 1609.4 2010.)

WAVE-tekniikka tukee tuttuja protokollia kuten IP, TCP ja UDP. Uutena protokollana on WSMP, joka ei tarvitse IP-osoitetietoja toimiakseen. WSMP:tä käytetään muun muassa lähettämään pieniä turvallisuus- ja liikennetietopaketteja. Uuden protokollan etuna on, että sovellus voi valita suoraan fyysisen kerroksen ominaisuuksia viestien välittämisestä. Näitä tietoja ovat lähetyskanavan numero ja lähetysteho. Pakettien ohjaaminen oikeille sovelluksille toimii jokaisella viestintäprotokollalla eri tavalla. Logical link control (LLC) tunnistaa protokollan ja toimittaa paketin oikealle protokollapinolle lähetettäväksi tai purettavaksi.

4.1 WSMP, WAVE Short Message Protocol

WSMP on kehitetty nopeaksi ja tehokkaaksi viestinvaihtoprotokollaksi ajoneuvojen ja tieinfrastruktuurin väliseen yhteydenpitoon. WSMP suunniteltiin sopimaan viestinvaihtoprotokollaksi sekä älyliikenteen turvallisuussovelluksille että muille sovelluksille. WSMP-protokollaa käyttävät sovellukset voivat hallita itse suoraan fyysisen kerroksen ominaisuuksia, kuten lähetyskanavaa ja lähettimen tehoa jokaiselle viestille erikseen. Pakettien lähetysominaisuuksien hallintaa käytetään hyväksi muun muassa tietoliikenteen ruuhkanhallinnassa. WSMP on tehty toimimaan IP-protokollien rinnalle, nopeuttamaan pienten viestien lähettämistä ilman IP-osoite tietoja. WSMP ei käytä MAC- tai IP-osoitteita tunnistamaan viestinlähdettä tai kohdetta. Sen sijaan WSMP toimittaa paketit oikealle sovellukselle käyttämällä muuttuvan pituista Provider Service Identifier-kenttää (PSID). PSID ilmoitetaan heksadesimaalina ja sen pituus vaihtelee yhdestä viiteen oktettiin, eli kahdeksan bitin jonoon. (IEEE 1609.3 2010.) PSID osoitteita hallinnoi IEEE

1609 työryhmä, joka päättää uusien osoitteiden allokoinnista. Käytössä olevat PSID-arvot on ilmoitettu standardissa IEEE 1609.12. (IEEE 1609.12 2012.)

4.2 GeoNetworking

GeoNetworking on C2C-CC:n luoma verkkokerroksen protokolla joka tarjoaa reititystä ad hoc-verkoissa. GeoNetworking käyttää nimensä mukaisesti hyödykseen laitteiden maantieteellistä sijaintia pakettien reitittämiseen. GeoNetworking tukee yksittäisten ITS-asemien välistä sekä maantieteellisen alueen pakettien reititystä. Protokolla kehitettiin tarjoamaan reititystä jota voidaan käyttää unicast- ja broadcast-pakettien välittämiseen dynaamisen ad hoc-verkon sisällä. Viestien välitys vaatii oman laitteen ja muiden laitteiden sijaintitiedon tuntemisen. Laitteiden sijaintitietoja säilytetään sijaintitietokannassa ja jokainen laite mainostaa omaa sijaintivektoriaan tasaisin väliajoin. Sijaintivektorin mainostus takaa reititysprotokollan toiminnan dynaamisessa verkossa. Aluksi GeoNetworking-protokolla kehitettiin ei IP-pohjaisiin verkkoihin, mutta Euroopan Unionin rahoituksen myötä GeoNetworking laajennettiin tukemaan myös IPv6-protokollaa. (Saarelainen 2012; ETSI TS 102 636-4-1 2011.)

4.3 DENM, Decentralized Environmental Notification Message

DENM-palvelu on viestinvälityspalvelu, joka toimittaa viestejä liikennevaaran varoituspalvelun (RHW, Road Hazard Warning) tapahtumien perusteella. RHW:n havaitessa vaaratilanteen tai muun RHW-tilanteen se lähettää DENM-palvelun avulla viestin muille lähistöllä oleville laitteille ja tukiasemille. Viestit lähetetään niiden luonteen vuoksi broadcast-viestinä. Broadcast-viesti välittyy kaikille saatavilla oleville laitteille. (ETSI TS 102 637-3 2010.)

DEN-viestin (Decentralized Environmental Notification Message, DENM) vastaanottaneet laitteet käsittelevät informaation ja päättävät sopivan varoituksen tai ilmoituksen käyttäjille joille tieto on tarpeellista. Kuljettaja voi käyttää tietoa hyväkseen ja mukauttaa ajamistaan tilanteen vaatimalla tavalla.

RHW on tapahtumapohjainen sovellus joka koostuu useista mahdollisista skenaarioista. Yleinen menettely RHW:n tapahtumassa noudattaa tiettyä kaavaa. RHW havaitessa tapahtuman joka vastaa siihen ohjelmoitua tilannetta, lähetetään broadcast viestinä DENM-viesti muille älyliikennelaitteille sen kantoalueella. ITS-laite lähettää DENM-viestiä määrätyn väliajoin ja viestin lähetystä jatketaan niin kauan, kuin tapahtuma esiintyy ja ITS-laite on tapahtumaan merkityllä alueella. Kun uusi ITS-laite saapuu RHW-alueelle, lähettää sekin broadcast viestejä tarpeen mukaan. Broadcast viestin lähetys lopetetaan joko skenaarion loppuessa, aikalaskurin loppuessa, tai kun ITS-keskus lähettää DENM-viestin joka kertoo tapahtuman loppuneen. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä erillisiä RHW sovelluksen tapahtumia oli kolmetoista, mutta niitä voidaan ETSI:n mukaan tarpeen tullen lisätä. (ETSI TS 102 637-1 2010.)

TAULUKKO 5. DENM-viestien lähetyksen aloituksen ja lopetuksen edellytykset (ETSI TS 102 637-3 2010.)

Käyttötapaus	Laukaisuperuste	Lopetusperuste
Elektroninen hätäjarrutusvalo	Kovasti jarruttava ajoneuvo	Automaattisesti aikalaskurin loputtua.
Väärään suuntaan ajamisen varoitus	Ajoneuvo tunnistaa kulkevansa väärään ajosuuntaan	Ajoneuvo joka kulki väärään ajosuuntaan on poistunut tieosuudelta
Pysähtynyt ajoneuvo - onnettomuus	eCall laukaisu	Onnettomuudessa osallisena ollut ajoneuvo on poistettu tieltä
Pysähtynyt ajoneuvo - ongelma ajoneuvossa	Tunnistettu hajonnut ajoneuvo tai pysähtynyt ajoneuvo jossa varoitus aktivoitu	Ajoneuvo on poistettu tai lähtenyt tieltä
Liikenneolosuhteesta varoitus	Liikennemuukauden tunnistaminen	Ruuhka poistunut
Merkinantorikkomuksen varoitus	Merkkiä rikkovan ajoneuvon tunnistus	Merkinantorikkomuksen tehnyt ajoneuvo oikaissut rikkomuksen

(jatkuu)

TAULUKKO 5. (jatkuu)

Tietyö varoitus	Kiinteä tai liikkuva ITS-laite lähettää viestin	Tietyö päättyy
Törmäysriskistä varoitus	Kiinteän ITS-aseman havaitsema kääntymisestä aiheutuva törmäysriski	Törmäysriskin päättyminen
	Kiinteän ITS-aseman havaitsema tien ylityksestä aiheutuva törmäysriski	Törmäysriskin päättyminen
	Kiinteän ITS-aseman havaitsema yhdistetty törmäysriski	Törmäysriskin päättyminen
Vaarallinen sijainti	Vaarallisen sijainnin tunnistaminen	Automaattisesti aikalaskurin loputtua.
Sademäärästä varoitus	Kovan sateen tai lumisateen tunnistaminen (tuulilasinpyyhkijöiden aktivointi)	Sateen tai lumisateen loppumisen tunnistus
Tien liukkaus	Liukkaan tienpinnan tunnistaminen (luistonesto tunnistaa ja aktivoi)	Liukasta tienpintaa ei havaita enää
Näkyvyys	Heikon näkyvyyden tunnistaminen (ajovalojen tai sumuvalon kytkennän tunnistus)	Heikon näkyvyyden tunnistuksen loppuminen
Tuuli	Kovien tuuliolosuhteiden tunnistaminen (ajonvakauden hallinta tunnistaa ja aktivoi)	Kovaa tuuliolosuhdetta ei tunnisteta enää

Liitteessä kolme käydään läpi kaikkien älyliikenteen viestityyppien mukaiset yhteistoiminnalliset älyliikennepalvelut.

4.4 CAM, Cooperative Awareness Messages

Cooperative Awareness Message on ITS-5G verkoissa käytettävä viestimuoto jonka generoimista hallinnoi CAM management. CAM-viestin sisällön avulla ITS-laite pysyy ajantasalla muista ITS-aseamista sen ympärillä. CAM-viesti sisältää tietoa läsnä olevista laitteista, niiden lokaatiosta, liikkeistä sekä muita ajoneuvojen antamia tietoja tai varoituksia. Viestimuodon määrittelyt on tehnyt C2C-CC. (ETSI TR 102 698 2009.) Kaikkien ITS-laitteiden jotka voivat liittyä ajoneuvosta ajoneuvoon tai ajoneuvosta infrastruktuuriin toimiviin radioverkkoihin (V2X) tulisi pystyä muodostamaan ja vastaanottamaan CAM viestejä sen informatiivisen arvon vuoksi.

Viestien lähetykseen on asetettu aikarajoitukset, jotta viestien sisältö välittyy sitä tarvitsevalle ryhmälle. Minimi CAM-viestien generointi väli on 1 s ja maksimi on 0,1 s. Viestien lähetyksen aikaväli riippuu käyttötapauksesta. Korkein sallittu latenssi CAM-viestien lähetyksessä radiotielle on 100 ms. (ETSI TS 102 637-2 2011.)

TAULUKKO 6. CAM-viestien käyttötapaukset (ETSI TS 102 637-2 2011.)

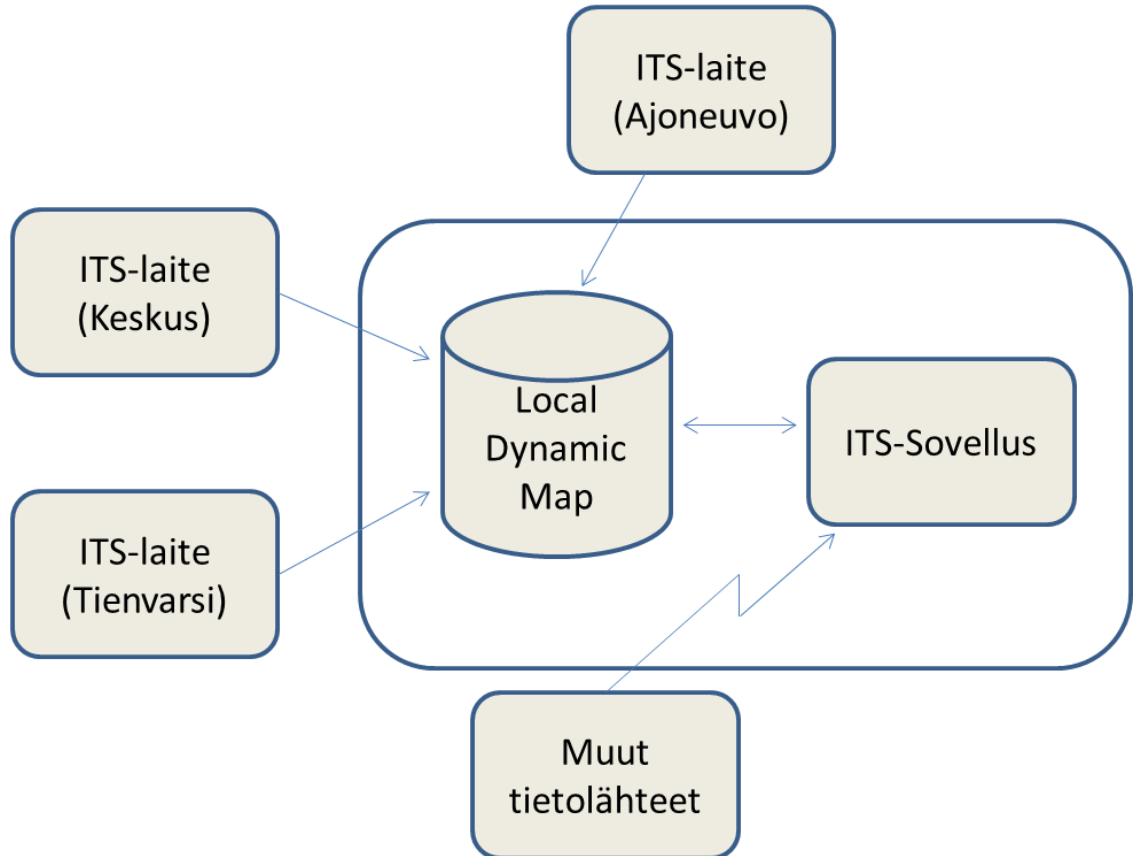
Käyttötapaus	Minimitaajuus [Hz]
Hälytysajoneuvon varoitus	10
Hitaan ajoneuvon varoitus	2
Risteysalueen törmäysvaroitus	10
Moottoripyörän lähestymisvaroitus	2
Törmäysvaaran varoitus	10
Nopeusrajoituksen ilmoitus	1 ... 10
Liikennevaloihin ajavan optimi nopeus ilmoitus	2

CAM- ja DENM-viestien avulla päivitetään paikallista dynaamista karttaa (Local Dynamic Map, LDM), jossa olevia tietoja voidaan käyttää sekä päivittää muissa ylemmän kerroksen ITS-sovelluksissa. LDM-karttaan kerätään oleellisia tietoja joista voi olla hyötyä ITS-sovelluksille. LDM-karttaan tietoa keräävät lähteet on listattu kuviossa 2.

Kerätyt tiedot on jaettu neljään eri tyyppiin niiden pysyvyyden mukaan:

- Pysyvä kiinteä tieto, kuten karttatiedot.

- Ohimenevä kiinteä tieto, kuten paikalliset nopeusrajoitukset.
- Dynaaminen tieto, kuten säätilat.
- Erittäin dynaaminen tieto, kuten CAM-viestit.



KUVIO 2. LDM tiedonkeruun lähteet (ETSI TR 102 863 2011.)

5 LAITTEET

Opinnäytetyössäni tutkin Componentality Oy:n valmistamia Celebrity Android-pohjaisia multimedialaitteita, sekä Flexroad WAVE-moduuleita. Käytössäni oli kahdentyyppisiä WAVE-moduuleita. WAVE-moduuleista kaksi on autoon asennettavia laitteita (on-board unit, OBU), sekä yksi tienvarsiradioksi tarkoitettu RSU (roadside unit).

Apulaitteina käytössäni oli Windows 7 käyttöjärjestelmällä varustettu tietokone sekä Android-tabletti ja Android-älypuhelin. Älypuhelimeen oli asennettu epävirallinen käyttöjärjestelmä laitteen lukittujen ominaisuuksien käyttöönottoa varten. Android-laitteiden yhdistäminen muihin laitteisiin hoidettiin wlan-tukiasemalla jonka käyttöä varten tarvittiin autoon vaihtosuuntaaja. Vaihtosuuntaajalla nostettiin auton 12 V järjestelmän jännite tukiaseman muuntajalle tarvittavaan 230 V vaihtojännitteeseen.

5.1 Celebrity

Celebrity on Googlen Android-käyttöjärjestelmää käyttävä multimedialaite. Se on kehitetty ajoneuvon sisäiseksi tieto- ja viihdelaitteeksi. Celebrity-moduulissa on kaksi USB-liitäntää lisälaitteita varten. Lisälaitteiksi voidaan asentaa esimerkiksi erilaisia osoitinlaitteita tai yhteyslaitteita kuten bluetooth lähetin. Yksi USB-portti on tarkoitettu Celebrity-moduulin yhdistämiseen muihin laitteisiin. Yhdistäminen tehdään USB uros - uros kaapelilla media transfer protokollaa (MTP) käyttäen. Videoliitäntöjä laitteessa on digitaalista kuvaa siirtävä HDMI sekä analoginen komposiittivideo RCA liitoksella. Äänikanavia laitteessa on 4 analogista RCA porttia, sekä mikrofoni-liitäntä ja lineaarinen audioulostulo.

Celebrity moduulit on suunniteltu toimimaan autojen 12 V järjestelmissä. Moduuli voidaan asentaa ajoneuvossa piiloon esimerkiksi kojelaudan sisään. Käyttöliittymä näytetään erillisestä näytöstä jota voidaan käyttää kosketusnäyttönä, jos näyttö tukee kosketusnäyttöteknologiaa. Celebrityä voidaan käyttää myös USB tai Bluetooth hiirellä ja näppäimistöllä. Celebrity moduulissa on Cortex A8 suoritin ja 256 megatavua RAM-muistia. Flash muistia Celebrity moduuliin voidaan asettaa microSD muistikortin avulla. (Componentality 2013.)

Tutkimuskäyttöön sopivaksi laitteen tekee sen sisään- ja ulostulot sekä Android-käyttäjärjestelmä. Laitteessa on kahdeksan digitaalista sisään- tai ulostuloksi asetettavaa kolmen tilan porttia (Tri-state Gate) sekä kuusi digitaalista sisääntuloa antureille ja hälytyksille. Kolmen tilan portit voidaan asettaa sisääntuloksi jolloin ohjelmallisesti niitä voidaan hakea tietoa. Tieto on sisääntulon ollessa +12 V binäärisesti yksi, muissa tapauksissa nolla. Ulostulona käytettäessä kolmen tilan portti on ohjelman käskyn mukaan korkean impedanssin tilassa tai maadoittavassa tilassa. Portti on maadoittavassa tilassa kun sen tila on ohjelmallisesti yksi.

Kehityksessä voidaan käyttää erilaisia antureita, joita voidaan kytkeä Celebrity moduulin 24-pinnisen liittimeen halutun sisään- tai ulostulon mukaan. Celebrity-moduulin sisään- ja ulostulojen käyttöä käsitellään liitteessä 2. Celebrity moduulissa on 10-pinninen laajennusliitin esimerkiksi hätäpuhelinjärjestelmää tai erillistä modeemia varten. Modeemin liittäminen tulee kyseeseen, jos halutaan jatkuva yhteys internetiin. Hätäpuhelinjärjestelmä eCall on apuväline joka onnettomuuden sattuessa ottaa yhteyden lähimpään hätäkeskukseen ja antaa onnettomuuden tärkeimmät tiedot, kuten sijainnin. Suomalaisen tutkimuksen mukaan hätäpuhelinjärjestelmän avulla voitavan välttää liikennekuolemista 4-8%. (Virtanen 2005.)

Android sovellusten kehittämiseen tarvitaan ohjelmistokehityspaketti joka on kaikille ilmaiseksi ladattavissa. Kaikki sovellusten kehittämiseen tarvittavat työkalut sisältävä paketti on ADT (Android Developer Tools).

ADT paketti sisältää:

- Eclipse ohjelmiston.
- Android ohjelmistokehityspaketin.
- viimeisimmän Android-version.
- viimeisimmän Android järjestelmän näköistiedoston emulaattorille.

Sovelluskehitystä voidaan tehdä komentorivikehoteella tai graafisen käyttöliittymän kautta Eclipse ohjelmistolla. Android kehitystä voidaan tehdä useilla eri ohjelmointikielillä, mukaan lukien C, C++ ja Java. Android sisältää useita eri kirjastoja, joita Androidin järjestelmä ja ohjelmat käyttävät erilaisiin järjestelmän toimintoihin. Samoja kirjastoja voidaan hyödyntää ohjelmistokehityksessä ja niitä voidaan tarvittaessa lisätä.

5.2 Flexroad

Flexroad on Componentality Oy:n valmistama WAVE-laite. OBU on pienikokoinen ja helposti kytkettävissä kaikkiin ajoneuvoihin. Flexroadille sopiva käyttöjännite on 10 - 28 voltia. Laitetta voidaan käyttää suoraan ajoneuvoissa joissa on 12 tai 24 voltin järjestelmä. WAVE-radio rajapinnalle on Flexroadin tilausvaiheessa valittavissa normaali ympärisäteilevä, eli monopoli antenni 4 dBi tai 12 dBi vahvistuksella 5,9 GHz taajuusalueelle. Antennin voi vaihtaa eri tarkoitukseen sopivaksi, ainoan rajoitteen asettaa lähetystehon rajat jotka ovat merkitty taulukkoon 3. OBU yksikön antenni tulee olla aina ympärisäteilevä, jotta yhteydenpito kaikkiin ilmansuuntiin on mahdollista. Componentalityn Flexroad moduulit voidaan tilata 3G-yhteensopivana laitteena. 3G-yhteensopivassa mallissa on myös antenni Suomessa käytetyille 900 MHz ja 2100 MHz 3G-taajuuksille sekä paikka SIM-kortille. Radioliitäntöjen lisäksi Flexroadissa on 10 ja 100 Mb/s nopeuksilla toimiva RJ45 lähiverkkoliitäntä. (Belous 2012.)

Käytössäni olleet Flexroad laitteet eivät olleet 3G-malleja. WAVE-radio oli varustettu 12 dBi ympärisäteilevillä 5,9 GHz antennilla. Kyseisen antennin puolen tehon kaistanleveys on horisontaalisesti 360° ja vertikaalisesti 6°. Kapean vertikaalisen puolen tehon kaistanleveyden takia antennin lopullinen sijoitus tulee harkita tarkkaan. Kyseisellä antennilla saavutetaan Euroopan alueen WAVE-kanavien maksimi lähetysteho suurimman lähetystehon sallivilla kanavilla noin 126 mW lähetysteholla ks. kaavat 1 ja 2.

$$\text{KAAVA 1: } TX_{\max} = TX + G_{\text{ant}}$$

Jossa

$$TX_{\max} = \text{Kanavalla sallittu lähetysteho desibeleinä (TAULUKKO 3.)}$$

$$TX = \text{Käytetty lähetysteho desibeleinä}$$

$$G_{\text{ant}} = \text{Antennin vahvistuskerroin, joka on 12 dBi}$$

$$\text{Kaavasta 1 saadaan } TX = 33 \text{ dBm} - 12 \text{ dBi} = 23 \text{ dBm}$$

$$\text{KAAVA 2: } P = 1\text{mW} * 10^{(TX/10)}$$

Jossa

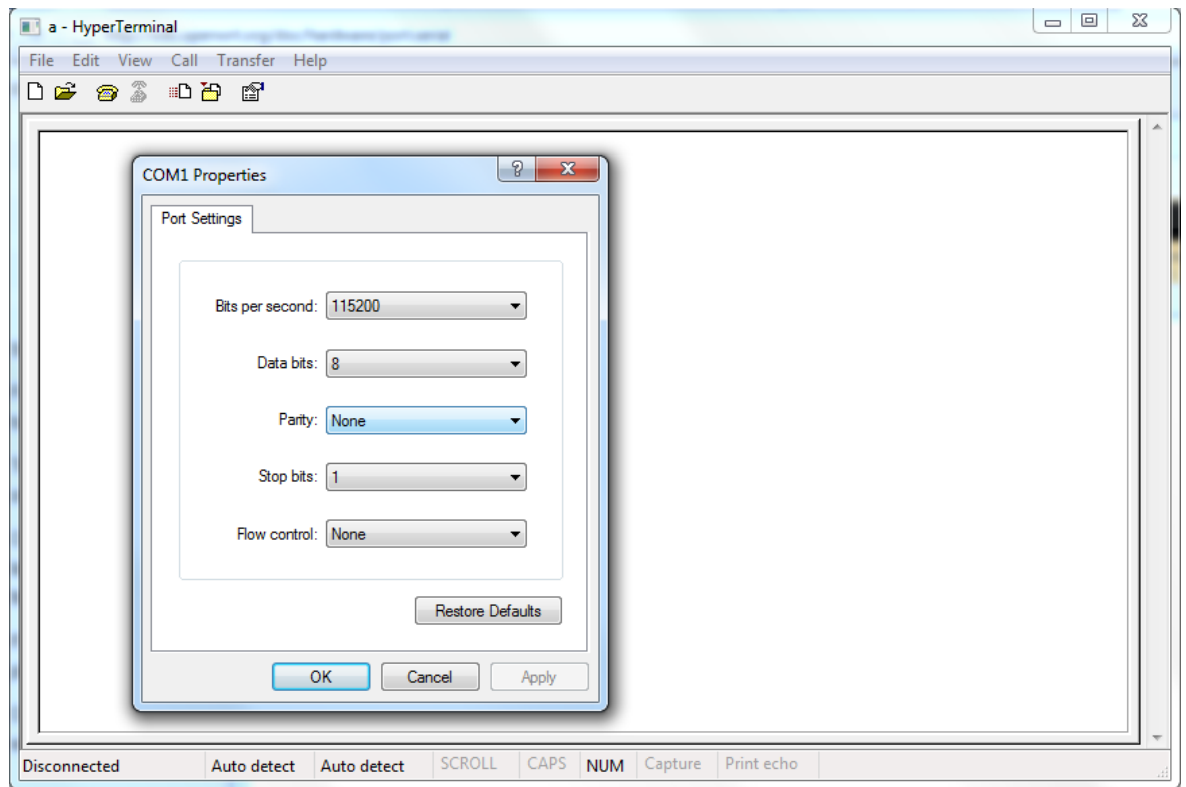
$$P = \text{Lähetysteho milliwatteina}$$

Kaavasta 2 saadaan $1\text{mW} * 10^{\frac{21}{10}} = 125,89\text{ mW}$



KUVIO 3. Flexroad tienvarsiyksikkö ja ajoneuvoyksikkö

Flexroad laitteiden konfiguraatiota varten niissä on RS-232 sarjaportti, jonka kautta yhteys voidaan muodostaa komentoriville. Yhteyden muodostamiseen käytetään terminaaliohjelmaa, kuten esimerkiksi HyperTerminal tai PuTTY. Yhteyden muodostamiseksi ohjelmaan täytyy määritellä parametrit joiden avulla yhteydenmuodostaminen onnistuu. Tarvittavat parametrit sarjaporttiin liittymiseen on merkitty kuvioon viisi.



KUVIO 5. Sarjaportin parametrit liiyyttäessä HyperTerminal ohjelmalla Flexroadiin

Konfiguraatio voidaan tehdä myös SSH-yhteyden (Secure Shell) yli, jos Flexroadille on määritelty IP-osoite ja pääkäyttäjän salasana. Flexroadin firmwaren päivittäminen tehdään lähiverkkoyhteyden yli käyttämällä HTTP- ja TFTP-palvelinta. Käyttöjärjestelmänä laitteessa on OpenWrt. OpenWrt on Linux-pohjainen laiteohjelmisto, joka on pitkälle muokattavissa käyttäjän mukaan.

Flexroad tukee kaikkia 802.11p mac ominaisuuksia. Siihen on esiohjelmoitu 10 MHz kaistanleveyden IEEE kanavat 172 – 180. Flexroad laitteita voidaan käyttää normaalissa peruspalveluryhmässä, mutta Flexroad tukee myös osittain OCB-tilaa. OCB-ominaisuuksia on tämän hetken firmwaressa wildcard BSSID käyttö, toimiva datan lähetys ja vastaanotto peruspalveluryhmän ulkopuolelle sekä ohjauskehysten todennus ja assosiaatiopalvelut on poistettu. OCB tilassa ei voida käyttää langattoman verkon salauksia missään muodossa, joten laite hylkää suojaus komennot jos niitä yritetään syöttää. Peruspalveluryhmän ulkopuolisen tilan ja peruspalveluryhmän välisen tilan vaihto on komentorivillä helppoa ja nopeaa. Flexroad ei vielä tue 1609-standardiperhettä, jonka vuoksi useat älyliikenteen keskeiset protokollat eivät toimi. (Abubakirov; Khait & Romanyukov 2013-2014.) Näihin ominaisuuksiin lukeutuu muun muassa yhteysprotokolla WSMP.

6 OPENWRT

Flexroadien käyttöjärjestelmänä toimii OpenWrt, joka on kehitetty alun perin Linksysin tuotteissa käytetyn ohjelmakoodin muunnoksena. OpenWrt ja sen muunnokset ovat kenen tahansa kopioitavissa, käytettävissä ja muokattavissa. Nämä vapaudet taakaa GNU GPL (GNU General Public Licence), eli vapaiden ohjelmistojen lisenssi. Lisensoidun lähdekoodin käytön ehtona on, että lähdekoodi on julkaistava samalla lisenssillä.

OpenWrt tai muihin Linux-pohjaisiin järjestelmiin perehtyneen on kohtuullisen helppo lisätä ja poistaa ominaisuuksia OpenWrt:n modulaarisesta rakenteesta johtuen. Firmwaresta pois jätettyjä ominaisuuksia, mutta laitteiston tukemia ominaisuuksia on mahdollista ottaa käyttöön muokkaamalla firmwarea itse. Rajoituksena lisäosien asennukselle on laitteen suorituskyky, muistin määrä ja laitteen kokoonpanon tuki kyseiselle lisäosalle. Paketteja voidaan asentaa laitteen muistiin oman tarpeen mukaan, jos laitteen fyysiset ominaisuudet sopivat.

Paketteja voidaan asentaa käyttämällä OPKG (Open PacKaGe Management) paketinhallintajärjestelmää. Paketteja voidaan kirjoittaa itse, tai muokata valmiista paketista itselle soveltuva paketti. Valmiita paketteja on tarjolla monipuolisesti esimerkiksi OpenWrt verkkosivuilla.

7 LAITTEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO JA ASETUKSET

Laitteiden kytkeminen toimintakuntoon tapahtui helposti kytkemällä laitteet toisiinsa soveltuvilla kaapeleilla. Laitteiden asetusten määrittäminen tehtiin sisätiloissa käyttämällä laitteille soveltuvaa laboratoriovirtalähdettä auton sähköjärjestelmän sijaan. Asetukset määriteltiin Windows tietokonetta käyttämällä. Laitteiden toimituksen yhteydessä ilmeni, että Flexroad-moduulien firmware oli vanha. Päivitetty laiteohjelmisto saatiin ladattua sähköpostein toimitetun ohjeistuksen mukaisesti.

Laiteohjelmiston päivitys epäonnistui useita kertoja päivitysohjeistuksen puutteen vuoksi. Firmwaren päivitys kuitenkin onnistui useiden yrityskertojen jälkeen poistamalla käytöstä Windowsin verkkoasetuksista verkon tunnistamista hidastavia ominaisuuksia. Päivityksen epäonnistuminen johtui yhteyden muodostuksen hitauden takia tapahtuneesta aikakatkaisusta. Ennen onnistunutta päivitystä yritin päivittämistä käynnistämällä laitteen setup-tilassa, jonka avulla firmwaren päivittäminen näytti selkeältä. Suoraan valitsemalla ”päivitä firmware” Flexroad antoi vaihtoehtoisiksi päivityksen lähiverkon yli tai sarjaportin kautta. Lähiverkon yli päivitystä tehdessä flexroad sai IP-osoitteen tietokoneelle asentamaltani DHCP-palvelimelta ja yritti päivittää firmwaren BOOTP-protokollan avulla. Sarjaportin yli päivitystä yritettäessä Flexroad vastaanotti päivityksen xmodem-protokollan avulla, muttei kuitenkaan hyväksynyt päivityspaketin muotoa.

Päivitys onnistui lopulta TFTP-palvelimelta ladattuna. Työtä varten tietokoneelle asennettiin palvelinohjelma, jossa oli tarvittavat TFTP-, HTTP- ja DHCP-palvelimet sisäänrakennettuna. Työssäni käytin Serva64 ohjelmaa.

DHCP-palvelin jakaa IP-osoitteet niitä pyytävälle verkkoon liittyville laitteille. TFTP- ja HTTP-palvelimet jakavat dataa ennalta määritellystä kansioista. Palvelimen asetukseen täytyy asettaa käytettävä verkkokortti, ja sen käyttämä IP-osoite. DHCP-palvelimen asetukseen määritellään jaettava IP-osoiteavaruus ja aliverkonpeite. Järjestelmän toimivuuden takia jaettava osoiteavaruus täytyy olla samasta verkosta, kuin käytetyn verkkokortin osoite. Tiedostopalvelimia varten täytyy asettaa polku, josta dataa voidaan ladata. Tietoturvan takia palvelimeen käyttämät porttien, kirjoitus- ja lukuoikeuksien käyttö täytyy harkita tarpeen mukaan. Tässä tapauksessa TFTP- ja HTTP-palvelimien juurihakemistoksi asetettiin uuden firmwaren sisältänyt kansio ja käyttäjälle täydet luku- ja kirjoitusoikeudet.

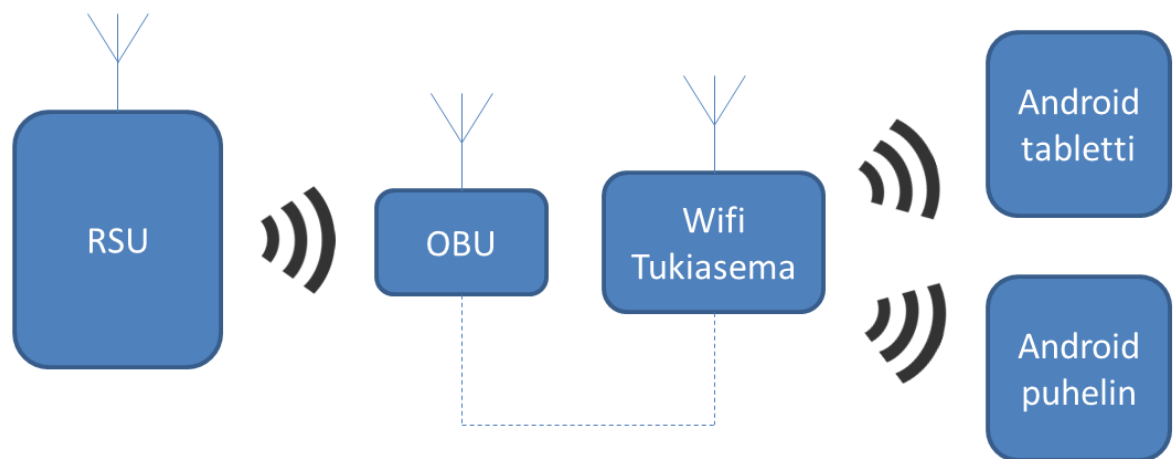
Firmwaren päivityksen jälkeen kaikille kolmelle Flexroadille asetettiin IP-osoitteet samaan aliverkkoon ja suoritettiin yhteystesti ping-paketteja käyttämällä. Onnistuneiden ping kokeilujen jälkeen alettiin suunnitella suurempaa testikokonaisuutta.

8 TESTIAJO JA TIENVARSIKADION LÄHETYKSEN SEURANTA

Laitteiden yhteystestiä varten RSU:lle tehtiin komentosarja eli skripti, joka lähettää UDP broadcast viestiä. Viestin sanomassa varoitetaan liukkaasta tienpinnasta. Vastaanottavalle laitteelle oli tehty ohjelma joka tarkkaili vastaanotettuja viestejä. Oikeanlaisen viestin vastaanotettuaan vastaanotinlaitteena käytetty tabletti näytti varoituksen tienpinnan liukkaudesta.

Skripti ei käynnisty automaattisesti RSU:n käynnistyessä vaan se voidaan kytkeä päälle erikseen. Skriptin päälle asettaminen voidaan tehdä esimerkiksi kirjautumalla SSH:lla RSU:hun ja antamalla komento skriptin käynnistymisestä. IP-osoitteet oli määritelty samaan lähiverkkoon jo valmiiksi, joten testi aloitettiin heti yhden ajoneuvoyksikön ja tienvarsiyksikön välillä. Käytettäessä IPV4-protokollaa ja UDP broadcast viestejä välittyvät viestit kaikille laitteille vain jos niiden broadcast osoite on sama.

Testiautossa OBU vastaanotti viestin tienvarsiyksiköltä ja lähetti sen edelleen lähiverkon yli WLAN-tukiasemalle. Tukiasemasta viesti lähetettiin Android-tabletille ja älypuhelimelle. Tabletille oli tehty ja asennettu ohjelma joka kuunteli UDP broadcast viestejä. Oikeanlaisen viestin vastaanotettuaan tabletti näytti varoituksen näytöllä. Älypuhelimella käytettiin, koska laite oli varustettuna pääkäyttäjän oikeuksilla. Pääkäyttäjän oikeuksien avulla käytettiin Shark for Root-sovellusta, jonka avulla kaapattiin kaikki puhelimeen tuleva liikenne WLAN-rajapinnasta. Kaapatuista viesteistä voitiin tutkia niiden eheyttä ja vastaanottoeheyttä.



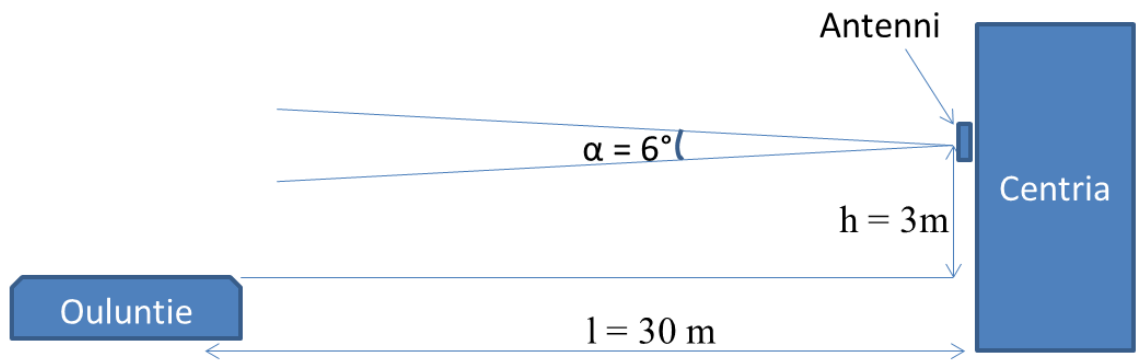
KUVIO 5. Testiajon aikainen laitteiston kytkentä

Päivitetyllä firmwarella laitteiden kantamaa ja toimivuutta testattiin yhden RSU:n ja OBU:n voimin. Ensimmäisen testiajon aikana lähetys oli kahden sekunnin välein ja testipaikkana toimi Centria ammattikorkeakoulun pääsisäänkäynti Ylivieskan Vierimaantiellä (KUVIO 6.). Kahden sekunnin lähetystiheys ilmeni riittämättömäksi, sillä tänä aikana testiajoneuvo ehti tulla RSU:n kantoalueelle ja poistua siitä. Toisella testiajolla muutettiin OBU:n lähetystiheys yhteen sekuntiin. Vastaanottavaan laitteeseen ohjelmakoodiin tehtiin lisäys, jonka avulla tallennettiin lokitiedostoon autoyksikön sijainti GPS-koordinaatteina. Toinen lisäys ohjelmakoodissa oli tieto siitä, että vastaanottiko OBU paketin. Sekunnin välein lähetetyistä viesteistä tulokset paranivat niiltä osin, että ajoneuvo ehti saada viestin joka kerta kapeallakin testiväylällä. Testiajon olosuhteet eivät kuitenkaan vastanneet täysin käytännön tilannetta, koska RSU oli rakennuksen sisällä ja rakennuksen seinät tekivät Flexroadin lähettämästä keilasta kapean.



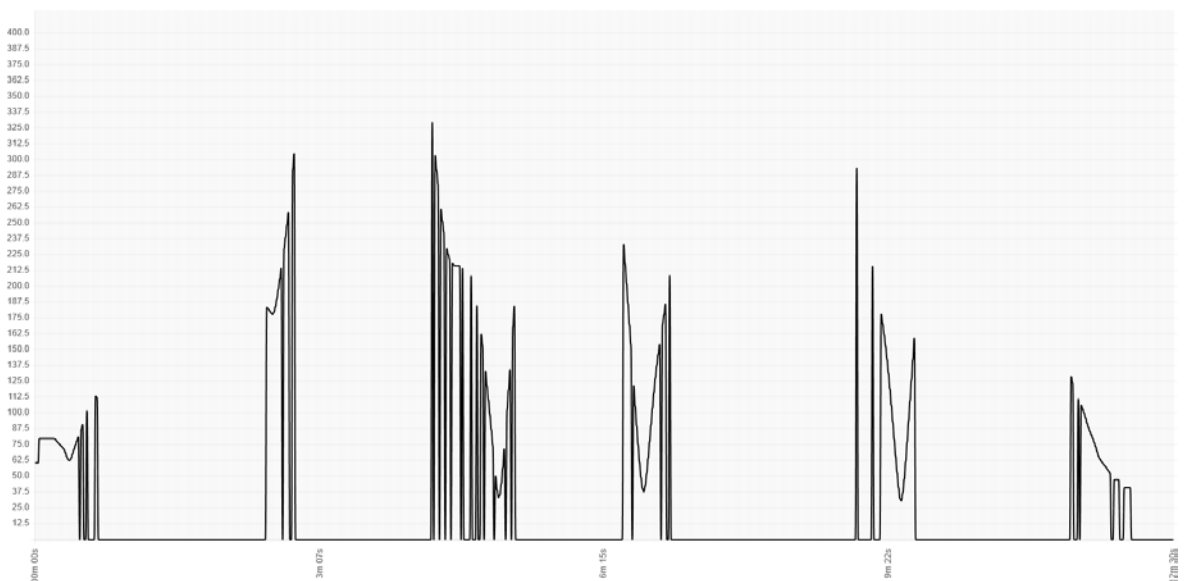
KUVIO 6. Testiajopaikat kartalla: Centria pääsisäänkäynti ja Centrian Ouluntien puoleinen sivu (Paikkatietoikkuna 2014).

Kolmatta testiajaja varten RSU:n paikka muutettiin Centrian länsipuolelle (KUVIO 6). Länsipuolella päästiin ajamaan testiajoneuvolla hieman suurempaa nopeutta isommalla tiealueella. Lisäksi tienvarsiyksikön paikka saatiin vastaamaan hieman lähemmin normaalia tilannetta. Kuitenkin antennin sijoitus jäi noin 30 metrin päähän tiestä ja edelleen RSU:n antennin keila oli vain n. 180° rakennuksen rakenteiden rajoittaessa sitä. Suurin yhteyttä häittävä asia oli kuitenkin todennäköisesti antennin ja tienpinnan välinen korkeusero, joka oli noin kolme metriä. Antennin suuntakuvio on horisontaalisesti ympärisäteilevä, mutta sen vertikaalinen puolen tehon kaistanleveys on vain 6°. Kuvio seitsemän esitetään toista testipaikkaa. Antennin paremmalla sijoittamisella tulokset olisivat todennäköisesti olleet kantamaa ajatellen paremmat. Paremmen testipaikan puutteessa testiajo suoritettiin kuitenkin Centrian tilojen puitteissa.



KUVIO 7. Kuvaus testipaikasta kaksi (kuviossa α = Antennin vertikaalinen puolen tehon kaistanleveys, l = etäisyys antennista tielle, h = antennin korkeus tienpinnasta)

Testin aikana suurin saavutettu kantama oli 329 m, mutta vapaan tilan kantaman mittauksia tehnyt lehtori Joni Jämsän mittausten perusteella vapaan tilan kantama on jopa yli kilometrin. Kuvio kahdeksan esittää aika-akselilla kolmannen testiäjon vastaanotetut paketit ja niiden aikaisen OBU:n ja RSU:n etäisyyden. Näiden tulosten perusteella voidaan olettaa antennin sijoituksella olevan suuri merkitys verkon toimivuuden kannalta.



KUVIO 8. Kolmannen testiäjon kantaman tulokset metreinä aika-akselilla, jos viestiä ei vastaanotettu matka näyttää nollaa.

Testien jälkeen harkittiin vielä lisätestejä laajentamalla komentosarjaa lähettämään erilaisia viestejä. Uuden testin informatiivinen arvo olisi kuitenkin jäänyt huomattavan vähäiseksi ilman reaaliaikaista tiedonhankintaa tai toisen protokollan käyttöä. Ilman uusien protokollien tukea laitteissa katsottiin testien olevan turhia. Käyttöön tulevat protokollat

olivat jo määritelty standardien osalta. Seuraava testi tulisi tehdä standardinmukaisella järjestelmällä tai edes lähemmin standardeja vastaavalla tavalla uudella protokollalla.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa yhteys WAVE-radioilla sekä tutkia tienvarsiyksiköllä lähetettävää viestiä. Aluksi tehtävä tuntui helpolta, mutta syventyessä uusien protokollien mahdollisuuksiin alkoi opinnäytetyön laajuus ja haastavuus kasvaa hurjasti. Ensimmäiset yhteydenmuodostukset tehtiin IPv4-verkkoa käyttämällä ja samalla protokollalla tienvarsiradiolta lähetettyä viestiä saatiin tulkittua. Uusien protokollien käyttö tyssäsi Flexroad-radioiden puutteisiin, sillä laitteiden nykyinen firmware ei tue useita uusimpia standardeja kuten standardiperhettä IEEE 1609. Uusien protokollien käyttö olisi ollut hyvä lisä opinnäytetyöhön, mutta se jäi toteuttamatta laitteiston vuoksi. Opinnäytetyön perimmäinen tavoite saavutettiin, sillä yhteys muodostettiin onnistuneesti ja perehtymällä älyliikenteen standardeihin sain mielestäni muodostettua opinnäytetyöhön hyvän tietopohjan älyliikenteen standardoiduista protokollista.

Opinnäytetyössä selvitysten laajuus eri standardikirjastojen ja teknisten spesifikaatioiden osalta oli todella suuri, jonka vuoksi työssä käytiin läpi älyliikenteen kannalta olennaisimpia asioita. Haasteita selvitykseen toi standardien vieraskielisyys, valtava määrä ja useat eri versiot. Eri versioiden vuoksi uusimpien teosten löytäminen oli usein haasteellista. Standardien päivityksien tiheydestä ennen laajamittaista teknologian käyttöönottoa kertoo taulukon 2 ja Tuomas Saarelaisen diplomityön (Saarelainen 2012.) taulukon 1 vertailu. Hieman yli kaksi vuotta sitten tehdyn diplomityön pohjana olleista standardeista neljä viidestä on muuttunut. Edelleen osa standardityöstä on edelleen kesken, kuten kuviossa 1 mainittu IEEE 1609.6.

Älyliikenne tulee olemaan osa liikennettä avustavana tekniikkana. Ajankohta ei ole enää kovinkaan kaukana, mutta älyliikenteen saavutukset tullaan näkemään paremmin vasta järjestelmän yleistyessä.

Jatkokehitysaiheita tämän tutkimuksen pohjalta löytyy älyliikennesovellusten tekeminen reaaliaikaisen tiedonkeruun avulla. Lisäksi Flexroadin tuen parantuessa koskemaan suurempaa osaa standardeista voidaan luoda standardinmukainen älyliikennejärjestelmä jonka jälkeen älyliikennesovellusten luominen alkaa olla hyvinkin ajankohtaista.

LÄHTEET

Abbasi, M. 2008. Characterization of a 5GHz Modular Radio Frontend for WLAN Based on IEEE 802.11p. Diplomityö. Saatavissa: http://www.nt.tuwien.ac.at/fileadmin/users/apai/abbasi_master_thesis.pdf. Luettu 14.11.2013.

Abubakirov, I. Khait, K. Romanyukov, A. Componentality. Sähköpostikeskustelut 19.6.2013-21.4.2014.

Belous, A. 2012. FlexRoad ITS Box DSRC 5.9 Module with Mech Networking Support. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.componentality.com/res/01002.Compo.DSRC.2013.pdf>. Luettu 22.11.2013.

Chen, Q., Jiang, D. & Delgrossi, L. 2009. IEEE 1609.4 DSRC Multi-Channel Operations and Its Implications on Vehicle Safety Communications. Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5416394>. Luettu 3.12.2013.

Componentality. 2013. Celebrity™ Open Multimedia Gateway. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.componentality.com/res/01301.Celebrity.pdf>. Luettu 30.1.2014.

Electronic Communications Committee. 2008. ECC Decision of 14 March 2008 on the harmonised use of the 5875-5925 MHz frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS) (ECC/DEC/(08)01) (2008/671/EC). Saatavissa: <http://www.eroocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCDec0801.pdf>. Luettu 3.8.2013.

ETSI EN 302 663. 2013. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. Standardi pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.01_30/en_302663v010201v.pdf. Luettu 12.4.2014.

ETSI ES 302 663. 2012. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. Standardi pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf. Luettu 16.1.2013.

ETSI TR 102 698. 2009. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; C2C-CC Demonstrator 2008; Use Cases and Technical Specifications. Tekninen raportti pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102698/01.01.01_60/tr_102698v010101p.pdf. Luettu 12.10.2013.

ETSI TR 102 863. 2011. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM); Rationale for and guidance on standardization. Tekninen raportti pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102800_102899/102863/01.01.01_60/tr_102863v010101p.pdf. Luettu 8.4.2014.

ETSI TS 102 636-4-1. 2011. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for

point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360401/01.01.01_60/ts_1026360401v010101p.pdf. Luettu 7.4.2014.

ETSI TS 102 637-1. 2010. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263701/01.01.01_60/ts_10263701v010101p.pdf. Luettu 1.10.2013.

ETSI TS 102 637-2. 2011. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263702/01.02.01_60/ts_10263702v010201p.pdf. Luettu 19.11.2013.

ETSI TS 102 637-3. 2010. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263703/01.01.01_60/ts_10263703v010101p.pdf. Luettu 8.9.2013.

ETSI TS 102 687. 2011. Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102687/01.01.01_60/ts_102687v010101p.pdf. Luettu 15.10.2013.

ETSI TS 102 867. 2012. Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Stage 3 mapping for IEEE 1609.2. Tekninen spesifikaatio pdf-dokumenttina. Saatavissa: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/102867/01.01.01_60/ts_102867v010101p.pdf. Luettu 14.3.2014.

Euroopan unionin virallinen lehti. 2004. Oikaistaan Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/52/EY, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, sähköisten tiemaksujärjestelmien yhteentoimivuudesta yhteisössä. Verkkolehti. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:200:0050:0057:FI:PDF>. Luettu 24.9.2013.

Euroopan unionin virallinen lehti. 2008. KOMISSION PÄÄTÖS, tehty 5 päivänä elokuuta 2008, radiotaajuuksien 5 875–5 905 MHz yhdenmukaistetusta käytöstä älykkäiden liikennejärjestelmien turvallisuussovelluksissa. Verkkolehti. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008D0671:FI:HTML>. Luettu 17.7.2013.

IEEE 1609.0. IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture. 2013. IEEE Standards Association.

IEEE 1609.2. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages. 2013. IEEE Standards Association.

IEEE 1609.3. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services. 2010. IEEE Standards Association.

1609.4. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation. 2010. IEEE Standards Association.

IEEE 1609.12. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Identifier Allocations. 2012. IEEE Standards Association.

IEEE 802.11. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. 2012. IEEE Standards Association.

Kosch, T., Schroth, C., Strassberger, M. & Bechler, M. 2012. Automotive Internetworking. Hoboken: Wiley.

Kudoh, Y. 2004. 11th World Congress on ITS Nagoya. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.itsforum.gr.jp/Public/E4Meetings/P03/kudohSS16.pdf>. Luettu 15.1.2014.

Paikkatietoikkuna. 2014. Sähköinen karttapalvelu. Saatavissa: <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta;jsessionid=065A18F4FC20EDF630B4FE2CD9CE0384>. Luettu 22.4.2014.

Röckl, M. & Strang, T. 2009. Intelligent Transportation Systems Wireless Access for Vehicular Environments (WAVE). Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sti-innsbruck.at/sites/default/files/courses/fileadmin/documents/its-ss10/07-its-WAVE.pdf>. Luettu 20.10.2013.

Saarelainen, T. 2012. IEEE 802.11P -Teknologian mahdollisuudet älykkään tieliikenteen yhteistoiminnallisissa sovelluksissa. Diplomityö. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201303181087>. Luettu 15.4.2014.

Saarnia, K. 2014. IPv6-käyttöönotto palveluntarjoajan konesaliverkossa. Diplomityö. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12720/master_Saarnia_Kai_2014.pdf?sequence=1. Luettu 25.3.2014.

Vartiamäki, V. 2012. 3GPP LONG TERM EVOLUTION. Opinnäytetyö. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43296/Vartiamaki_Ville.pdf?sequence=1. Luettu 15.4.2014

Virtanen, N. 2005. Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutukset onnettomuustilanteessa. Helsinki: Aino

Teknologian tutkimuskeskus. 2012. VTT-Katsaus 2012. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/vtt/vtt_katsaus_2012.pdf. Luettu 25.3.2014.

Vuokkola, T. 2012. Älykäs auto keskustelee toisten kanssa - katso video. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.aamulehti.fi/Autot/1194717109242/artikkeli/alykas+auto+keskustelee+toisten+kanssa+-+katso+video.html>. Luettu 6.1.2014.

- Vänskä, O. 2012. Nyt se sitten kävi: ipv4-osoitteet loppuivat koko Euroopasta. Verkkodokumentti. Saatavissa:
http://www.tietoviikko.fi/kaikki_uutiset/nyt+se+sitten+kavi+ipv4osoitteet+loppuivat+koko+euroopasta/a839436. Luettu 10.11.2013.
- Wang, S., Lin, C., Liu, K. & Hong, W. 2009. On Multi-hop Forwarding over WBSS-based IEEE 802.11(p)/1609 Networks. Saatavissa:
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5450153>. Luettu 1.12.2013.
- Weyl, B. 2008. Secure Vehicular Communication: Results and Challenges Ahead. Saatavissa:
http://icapeople.epfl.ch/panos/SVCWCR/presentations/20080220_Presentation_SeVeComWorkshop_C2C-CC-Sec-WG_bw.pdf. Luettu 17.2.2014
- Älyä liikenteeseen ja viisautta liikkujille Toisen sukupolven alystrategia. 2013. Liikenne- ja viestintäministeriö. Pdf-dokumentti. Saatavissa:
http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=2497124&name=DLFE-20006.pdf&title=%C3%84ly%C3%A4%20liikenteeseen%20ja%20viisautta%20liikkujille%20Toisen%20sukupolven%20alystrategia. Luettu 15.4.2014.

Komentoja Flexroadille

OCB tila päälle tai pois päältä: iw dev wlan0 set dot11ocb disable / enable		
Näytä verkkoliitännöiden määrittelyt: ifconfig		
Näytä kaikki saatavilla olevat laitteet: batctl o		
Asenna opkg paketti: opkg install (paketin nimi)		
Hae lista asennusvalmiista paketeista laitteessa: opkg list		
Hae lista laitteeseen asennetuista paketeista. opkg list_installed		
Poista asennettu paketti: opkg remove (paketin nimi)		
Näytä laitteelle syötetyt komennot: history		
Aseta tai vaihda laitteen salasana: passwd		
Säädä lähettimen tehoa dBm asteikolla: HUOM! Yli 17 dBm teholla varmista, että antenni on kytketty! uci set wireless.radio0.txpower=(Tehoarvo dBm) uci commit Wifi	Tehoarvoja	
	dBm	mW
	16	40
	17	50
	19	79
	20	100
	21	126
	23	200
	24	250
	26	398
	27	500
	29	800
30	1000	

IP-osoitteen kiinteä määrittely:

```
ip osoite: ip addr add 192.168.1.21/24 dev eth0
```

```
uci set network.lan.proto=static
```

```
uci set network.lan.ipaddr=(IP-osoite)
```

```
uci set network.lan.netmask=(Aliverkon peite)
```

```
uci set network.lan.gateway=(Oletusyhdyskäytävä)
```

```
uci commit network
```

```
ifup lan
```

Celebrity sisään- ja ulostuloliitännöiden käyttö ohjelmissa

Celebrity sisääntuloliitännöiden ohjelmallinen käyttö Androidissa:

/gpio/input1

/gpio/input2

/gpio/input3

/gpio/input4

/gpio/input5

/gpio/input6

Jos liitännään tulee +12V jännite, luetaan ohjelmaan 1. Muissa tapauksissa ohjelmaan luetaan 0.

Celebrity sisään- ja ulostuloliitännöiden ohjelmallinen käyttö Androidissa:

/gpio/output1

/gpio/output2

/gpio/output3

/gpio/output4

/gpio/output5

/gpio/output6

/gpio/output7

/gpio/output8

Huom! Näitä output-liitännöitä voidaan käyttää sekä sisääntulona, että ulostulona. Liitännät ovat kolmen tilan portteja (Tri-state gate).

Jos ohjelma kirjoittaa pinnille 1, pinni maadoittaa sisääntulon. Muissa tapauksissa liitännän ollessa ulostulotilassa, pinni on korkean impedanssin tilassa.

Älyliikenteen yhteistoiminnallisten palveluiden vaatimukset

Palvelu	Viestintyyppi	Min. Lähetystiheys (Hz)	Max. Viive (ms)	Liikennöinti suunta alussa	Muuta
Liikenteen turvallisuuden vaikuttavat palvelut					
Hätäjarrutuksen varoitus	DENM	10	100	V2X	
Epänormaalia ajokäyttäytymisestä varoitus	DENM	1	100	V2X	
Varoitus lähestyvistä hälytysajoneuvosta	CAM	10	100	V2X	CAM-viestien autentikointi ja suojaus
Varoitus hitaasta ajoneuvosta	CAM	2	100	V2X	
Varoitus lähistöllä olevasta moottoripyörästä	CAM	2	100	V2X	
Varoitus muusta tienkäyttäjistä (esim. jalankulkija)	CAM	1	100	I2V	
Varoitus väärään suuntaan ajavasta ajoneuvosta	DENM	10	100	V2X	
Varoitus pysähtyneestä/rikkoutuneesta ajoneuvosta	DENM	10	100	V2X	
Varoitus liikennetapahtumasta (esim. ruuhka)	DENM	1	-	V2X	Viestien puskurointi
Varoitus merkinantorikkomuksesta (esim. punaista valoa päin ajava kulkuneuvo)	DENM	10	100	V2X	
Varoitus työmaa-alueesta	DENM	2	100	I2V	Viestien puskurointi
Ilmoitus ajoneuvon havaitsemasta vaarasta (esim. sade)	DENM	1–10	-	V2X	Viestien puskurointi
Varoitus ohittavasta ajoneuvosta	CAM	10	100	V2X	Ajoneuvojen tarkat sijaintitiedot
Varoitus kaistaa vaihtavasta ajoneuvosta	CAM	10	100	V2X	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 2 m
Varoitus kolarivaarasta	CAM	10	50	V2X	
Yhteistoiminnallinen lyhyiden/pitkien valojen kytkentä	CAM	2	100	V2X	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 20 m
Varoitus vasemmalle kääntyvästä ajoneuvosta	CAM	10	100	V2X	
Varoitus liikenteeseen liittyvästä liikenteestä	CAM	10	100	V2X	
Liikenteen liittymisen avustin	CAM	10	100	V2X	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 2 m
Varoitus vaarallisesta kohdasta	DENM	10	-	V2X	Viestien puskurointi

Varoitus risteysalueen törmäysvaarasta	CAM	10	100	V2X	
Varoitus peräänajon vaarasta	CAM	10	100	V2X	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 1 m
Tienvarsiyksikön törmäysvaaran tunnistus	DENM	10	100	I2V	
Liikenteen tehokkuuteen liittyvät palvelut					
Nopeusrajoituksen lähetys ajoneuvolle	CAM	1–10	-	I2V	
Optimaalisen ajonopeuden avustin	CAM	2	100	I2V	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 5 m
Liikennetiedotteiden ja reittisuositusten jako	P2P	1–10	500	I2V	
Reittiohjeiden jako	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internetiin
Risteysalueen liikenteen hallinta	CAM	1	500	I2V	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 5 m
Kaistan käyttötarkoituksen muuttaminen liikenteen mukaan	-	1	500	I2V, V2V	
Alueelle pääsy estetty	-	1–10	500	I2V	
Liikennemerkkien esitys autonesitysjärjestelmässä	-	1	500	I2V	
Elektronin tullimaksujen keräys	CAM	1	200	I2V, V2I	
Adaptiivinen vakionopeuden säädin	CAM	2	100	V2X	
Kolonna-ajo	CAM	2	100	V2X	Sijaintiedon tarkkuus vähintään 2 m
Muut palvelut					
Ilmoitus mielenkiintoisesta kohteesta (esim. nähtävyys)	CAM	1	500	I2V	Tiedonvaihto P2P-yhteydellä
Pääsynhallinta (esim. parkki-taloon)	CAM	1	500	I2V	Tiedonvaihto P2P-yhteydellä
Elektroninen maksujärjestelmä	CAM	1	500	I2V	Tiedonvaihto P2P-yhteydellä
Vuokra-autojen hallinta	CAM	1	500	I2V	Tiedonvaihto P2P-yhteydellä
Multimedian lataus	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internetiin
Karttojen lataus ja päivitys	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internetiin

Ekologisen ajamisen avustin	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Viestien välitys ajoneuvojen välillä	CAM	1	500	I2V, V2X	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Henkilökohtaisten tietojen lataus/synkronointi	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Hätäpalvelut	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Hälytys varastetusta ajoneuvosta	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Ajoneuvojen etädiagnostiikka ja korjaus	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Ajoneuvon yhteyksien hallinta	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Tiedon keruu ajoneuvojen elinkaarenhallintaa varten	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Vakuutuspalvelut ja muut maksamiseen liittyvät palvelut	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Kaluston hallinta	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Ajoneuvon ohjelmiston lataus/päivitys	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin
Lastauspaikan varaus	CAM	1	500	I2V	Tiedonvaihto P2P-yhteydellä
Ajoneuvojen ja tienvarsiyksiköiden sensoreiden kalibrointi	CAM	1	500	I2V	Tiedon vaihto IPv6:lla. Yhteys Internettiin