



Advanced Wireless LAN

TUTWLAN is a new Wireless Local Area Network (WLAN) that has been developed at Tampere University of Technology (TUT) in the Institute of Digital and Computer Systems. The design requirement has been to develop a system capable for different multimedia components, while still maintaining simplicity that enables a wide range of applications, including simple remote control systems.

TUTWLAN research consists of a number of areas around local area networking, covering wireless network architectures, application concepts, MAC-protocols, and terminal architectures. In the TUTWLAN research, a new MAC protocol (TUTMAC), prototype platform hardware, Windows NT drivers and applications for TUTWLAN management have been developed. The TUTMAC protocol for the prototype has been implemented in SDL. The goal of using SDL has been to achieve a seamless design flow from initial functional requirements into the realisation of a physical device.

The project is led by Marko Hännikäinen (marko.hannikainen@tut.fi) and Timo Hämäläinen (timo.d.hamalainen@tut.fi) at Tampere University of Technology.

Aikakriittiset ja pakkaustekniikoista huolimatta edelleen suurta siirtokaistaa vaativat multimediasovellukset asettavat langattomalle verkolle aivan eri luokan haasteet verrattuna perinteiseen verkkoon. Videon toimittaminen päätelaitteeseen jatkuvasti muuttuvan yhteyden yli vaatii uutta toiminnallisuutta ja suorituskykyä ver-

Kun standardin WLANin ominaisuudet loppuvat TUTWLAN takaa laadun ja vauhdin



IEEE:n WLAN-standardi on vaihkaa kypsynyt tuotteiksi ja tietokoneverkkona se on vallannut alaa sekä kotona että toimistoissa. WiFi-yhteenliittymän myötä laitteista on tullut käytännössäkin yhteensopivia, joten verkon voi rakentaa edullisesti ja nopeasti. IEEE:n 802.11b-standardin ominaisuudet eivät kuitenkaan usein riitä muutoin WLAN-tekniikalle sopiviin langattomiin palveluihin. TUTWLAN on TTKK:lla toteutettu lähiverkko, jonka suunnittelu aloitettiin vuonna 1997 IEEE:n standardin valmistumisvaiheessa. TUTWLAN-järjestelmässä otettiin turvallisuus, palvelun laatu ja tehokkuus keskeisiksi ominaisuuksiksi alusta asti.

kon protokollilta ja päätelaitteilta. Toisaalta esimerkiksi teollisuusautomaatiosovelluksissa voi verkon luotettavuus olla siirtokapasiteettia ja viivettä merkittävämpi vaatimus. Sovellusten palvelunlaatuvaatimusten (Quality of Service, QoS) tukeminen onkin ollut tärkein vaatimus TUTWLAN-kehitystyössä.

TUTWLAN-tutkimus aloitettiin TEKESin ja yritysten rahoittamassa tutkimushankkeessa vuonna 1997 määrittelemällä järjestelmälle yleiset vaatimukset niin verkon palveluiden, hallittavuuden, kuin laitteistonkin suhteen. Erityisesti tutkittiin valmistumisvaiheessa ollutta

IEEE:n 802.11-standardia sekä valmistajakohtaisia WLAN-tekniikoita.

Ensimmäinen TUTWLAN-prototyypiverkko valmistui vuonna 2000. Tutkimustyö jatkuu edelleen sisältäen niin verkkoarkkitehtuurien suunnittelua ja sovelluskonseptien kehitystä, kuin myös käytännön linkkitason protokollien kehitystyötä ja laitteistoalustojen toteuttamista.

Verkkoarkkitehtuuri

TUTWLAN-verkon topologia koostuu tukiasemasta, joka hallitsee joukkoa liikkuvia päätelaitteita. Päätelaitteiden määrä tukiaseman muodostamassa so-

lussa riippuu verkon asetuksista, jotka mitoitetaan sovellusten ja ympäristön mukaan. Päätelaitteiden tulee ennen liikennöinnin aloittamista rekisteröityä tukiasemalle, joka liittyy uuden aseman osaksi solua ja TUTWLAN-verkkoa. Rekisteröitymisen yhteydessä suoritetaan päätelaitteen tunnistus eli autentikointi, sovitaan käytettävistä salausavaimista ja -algoritmeista, sekä synkronoidaan päätelaite mukaan solun kanavajakoon.

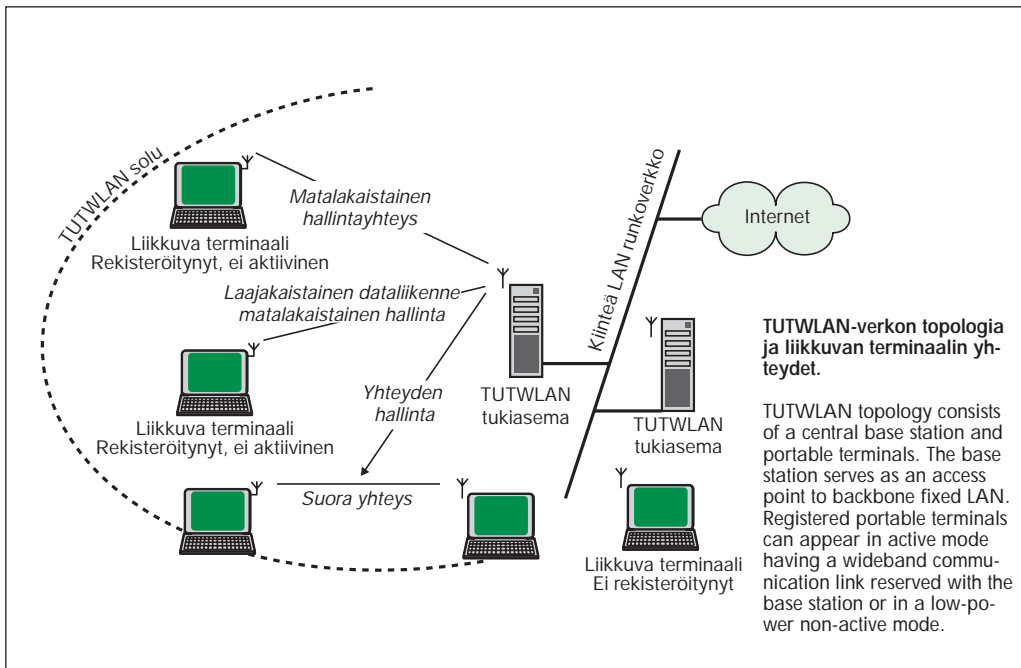
Rekisteröitynyt asema vaihtaa ajoittain tukiaseman kanssa verkonhallintaviestejä, mutta ei vielä siirrä varsinaista sovellustason informaatiota. Siirtymällä tähän tilaan asema voi liikennöintien välillä myös säästää tehoa. Aktiivisen tiedonsiirron aloittaminen tapahtuu varaamalla siirtokaistaa tukiasemalta. Normaalitylanteessa kaikki liikenne kytketään eteenpäin tukiaseman kautta joko kiinteään verkkoon, tai edelleen toiselle TUTWLAN-päätelaitteelle. Tehokkuussyistä saman solun päätelaitteet voivat tukiaseman hallinnan alaisina liikennöidä suoraan keskenäänkin.

TUTWLAN-verkon joustavuus takaa hyvinkin eri tyyppisten asemien liittämisen verkkoon, PC-tietokoneista aina yk-

TUTMAC-protokollan toteutus SDL-kielellä

TUTMAC-protokollan suunnittelussa ja toteutuksessa on käytetty SDL-kieltä. SDL on puhelinjärjestelmien protokollamäärittelyyn jo 70-luvulla kehitetty määrittelykieli, jota on jatkuvasti kehitetty ITU-T-standardointiorganisaation toimesta. Myös kieltä tukevat työkalut ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina.

SDL on formaali, modulaarinen ja oliopohjainen korkean tason kieli, joka sisältää helposti omaksuttavan graafisen notaaation. Kieli soveltuu parhaiten erilaisten hajautettujen kontrollijärjestelmien suunnitteluun, helpottaen järjestelmän jakamista pienempiin moduuleihin ja monimutkaisen toiminnallisuuden hahmottamista. SDL-kieltä käytetään laajasti protokollastandardien yhteydessä, jolloin



TUTWLAN-verkon topologia ja liikkuvan terminaalin yhteydet.

TUTWLAN topology consists of a central base station and portable terminals. The base station serves as an access point to backbone fixed LAN. Registered portable terminals can appear in active mode having a wideband communication link reserved with the base station or in a low-power non-active mode.

sinkertaisiin mittausantureihin asti.

MAC-protokolla

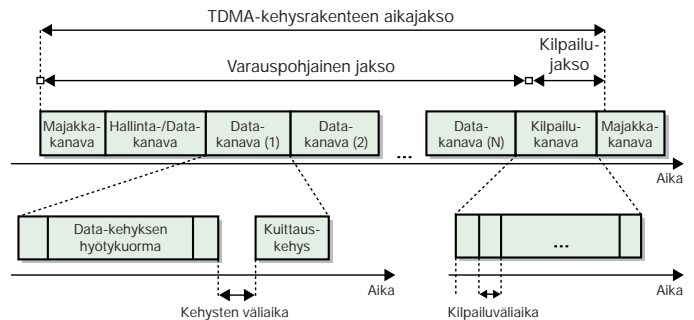
Varsinaisesta langattoman siirtoedmedian jakamisesta päätelaitteiden välillä vastaa käytettävä TUTMAC-protokolla. TUTMAC jakaa radiotien dynaamisesti varattaviin lyhyisiin TDMA-kanaviin. TDMA-kehysrakenne voidaan määrittellä verkon kuormituksen ja käyttäjien määrän mukaan. Päätelaite varaa tukiasemalta siirtoyhteyttä varten käyttöönsä yhden tai useamman aikajakson, joiden määrä pysyy vakiona tai vaihtelee tehdyn varauksen yhteysluokan parametrien perusteella. Tällä tavoin hallitaan sekä joustavuus että palvelun laatu.

Langattoman lähiverkon MAC-protokollan tulee perinteisen siirtotien jakamisen lisäksi hallita myös verkon muuttuva topologia ja päätelaitteiden liikuminen, sekä radiotiellä tapahtuvat vaihtelut, jota aiheuttaa esimerkiksi häiritsevän WLAN-aseman saapuminen solun alueelle. Myös virransäästön ja turvallisuuden hallinta vaatii oman toiminnallisuutensa. Siirtovirheitä suojautumiseksi protokolla toteuttaa uudelleenlähetykset ja suurten pakettien pilkkomisen pienempiin osiin.

Tiedonsiirto toteutetaan varatun yhteyden ylitse määriteltujen palveluluokkien perusteella. Palveluluokkamäärittely TUTMAC-protokollassa sisältää tiedonsiirron suojaamisen siirtovirheitä vastaan uudelleenlähetysten ja FEC-koodauksen avulla, sekä prioriteetit ja informaation vanhentumisajan mää-

rittelyn. Vanhentumisajan ylittävää pakettia protokollan jonoissa ei enää lähetetä.

Tiedonsiirrolle määritellään myös turvallisuusluokka. Määrittely sisältää päätelaitteen tunnistamisen rekisteröitymisen yhteydessä, sekä tiedonsiirron salaamisen joko solun kesken jaetulla avaimella tai muodostamalla suojattu yhteys kahden päätelaitteen välille. TUTMAC sisältää oman IWEPiksi ristityn tunnistus- ja salausalgoritmin, sekä tukee IDEA-, DES-, 3DES-, ja AES-salausalgoritmeja MAC-tasolla.

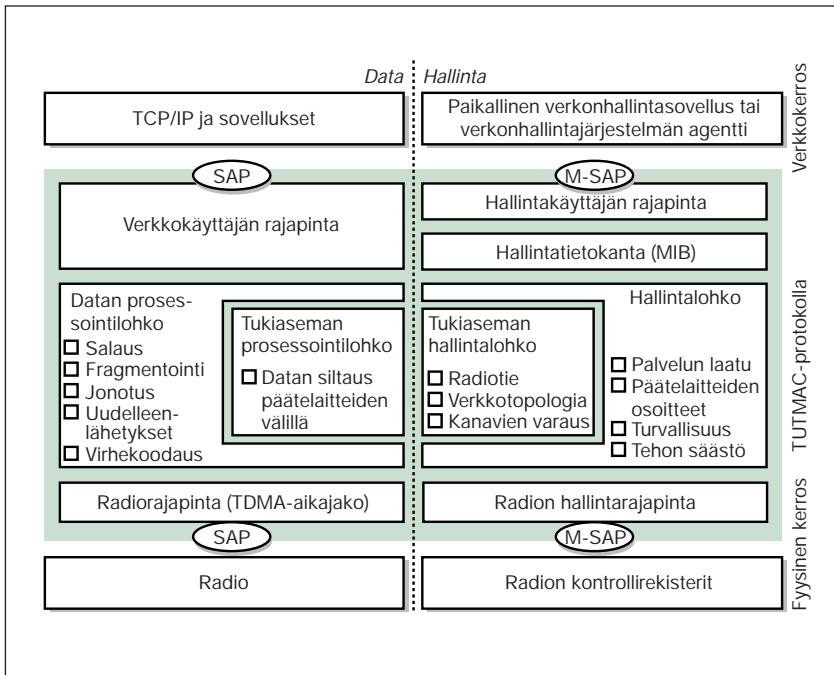


TUTMAC-protokollan TDMA-rakenne. Ilmatie jaetaan aikajaksoihin, joiden käytöstä päättää TUTWLAN-solun tukiasema. Liikennekanavien määrä ja niiden allokointi pystytään tar-

kasti sovitamaan käyttöympäristön ja sovellusten mukaan. Kanavan aikajakso voi sisältää myös vastaanottajan palveluluokasta riippuvan vastaanottajan kuitauksen, jonka jälkeen voidaan suorittaa nopea uudelleenlähetys. TDMA-jakson päätää kilpailukanava, jolla uudet päätelaitteet varaavat kanavia käyttöönsä. IEEE 802.11 mukainen ilmatien jakaminen perustuu kehysten väliin odotusaikoihin. Lähetävä asema odottaa sovitun kiinteän ajan sekä satunnaisen lisäajan törmäykseen estämiseksi ennen lähetysaloittamista. Tukiasemapohjaisessa 802.11-verkkoarkkitehtuurissa myös tukiasema joutuu odottamaan, mutta pystyy aloittamaan lähetys lyhyemmän odotusaikansa turvin. Tämän jälkeen asemalla on mahdollisuus pollata rekisteröityneitä WLAN-asemia tiedon siirtämiseksi. Odottaminen ja pollaus kuluttavat siirtokaistaa, eivätkä takaa esimerkiksi vakiota siirtonopeutta tietyille yhteydelle.

TDMA structure of the TUTMAC protocol. The TDMA cycle consists of a beacon channel and number of data channels. A data channel can also carry immediate acknowledgements, depending on the service class, and therefore rapid retransmissions can be made. The number of data slots depends on the application and operation environments. The cycle ends with a short contention channel that is used by terminals reserving new channels.

TUTWLAN tavoitteet ja vastaavat suunnitteluvaatimukset	
Tavoitteet	Suunnitteluvaatimukset langattomalle lähiverkolle
Multimedia	- Palvelun laadun tukeminen yhteyspohjaisesti - Reaaliaikainen tiedonsiirto - Verkon mitoittaminen sovellusten tarpeiden, käyttäjien määrän, ja toimintaympäristön mukaan
Turvallisuus	- Turvallisuuden ottaminen mukaan protokollien toimintaan - Mahdollisuus eri salausalgoritmien käyttöön ja vaihtamiseen - Koko lähiverkon alueelle ulottuva tiedonsiirtoyhteyden salausta
Yhteensopivuus	- Langattoman siirtotien erityisvaatimusten piilottaminen sovelluksilta - Toiminta TCP/IP protokollapinon kanssa - Yhteensopivuus olemassa olevaan kiinteään LAN verkkoon
Virran säästäminen	- Tehon säästäminen rakennetaan mukaan lähiverkon protokollaan - Laitteistotason virransäästötilat
Verkon helppo hallittavuus	- Tukiasema huolehtii liikkuvien asemien toiminnasta - Verkon ylläpitäjälle tarjotaan keskitetty hallinta koko verkolle
Kustannus- ja suunnittelutehokkuus	- Modulaarinen suunnittelu - Uudelleenkonfiguroitavuus, myös käytön aikana - Mahdollisuus hyödyntää valmiita algoritmeja ja komponentteja - Lisensoimaton radiotaajuus - Saumaton suunnittelu- ja toteutusvuo



TUTMAC-protokollan rakenne ja keskeinen toiminnallisuus. TUTMAC jakaantuu varsinaiseen liikenteen prosessointiin, protokollan hallintaan, sekä rajapintoihin ylemmille protokollakerroksille ja radiolle. Protokolla sisältää myös oman hallintatietokannan, eli MIB:n, jonka kautta konfiguroidaan protokollan ja radiokerroksen parametreja, sekä kerätään verkonhallintainformaatiota.

Architecture and the main functionality of the TUTMAC protocol. TUTMAC is divided into data processing and management planes. The protocol architecture contains interface modules for higher protocol layers and for the radio subsystem. In addition a Management Information Base, MIB, has been included for the configuration of the protocol and the radio subsystem, and for collection of management information.

jokin toiminnan osa tai koko protokolla on kuvattu perinteisen määrittelyn lisäksi myös SDL-kielillä.

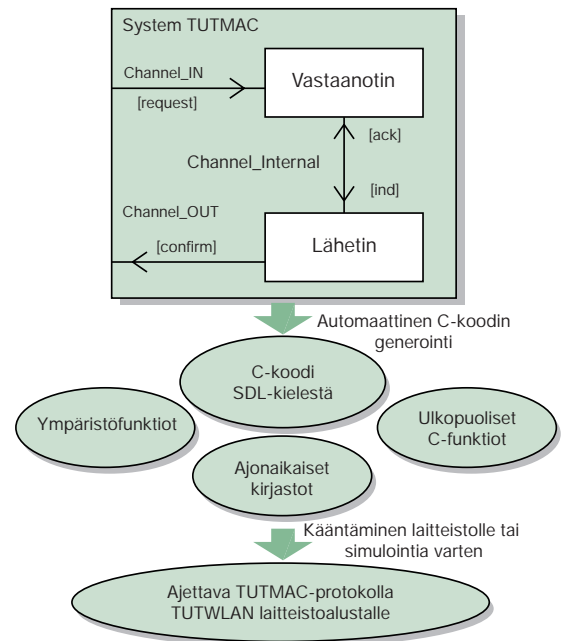
Motivaatio SDL-kielen käyttöön TUTMAC-protokollan yhteydessä on ollut saumaton kehitysvuoto aina vaatimusmäärittelystä käytännön toteutukseen. Protokollan kehitys on aloitettu arkkitehtuurin kuvauksella SDL-kielillä, ja varsinaista toiminnallisuutta on täydennetty suunnittelun edetessä. Lisäksi SDL-kuvaukseen voidaan liittää jo valmiita C-kielillä toteutettuja komponentteja ja näin hyödyntää esimerkiksi valmiita algoritmitoteutusta osana kehitettävää järjestelmää. TUTMAC-protokollan toteutuksessa salausalgoritmeja on osin toteutettu erillisinä C-kielisinä komponentteina.

SDL-toteutus käännetään C-kieliseksi ohjelman lähdekoodiksi ja edelleen ajettavaksi ohjelmaksi joko simulointia varten työasemaympäristöön tai varsinaiseksi ohjelmakoodiksi laitteistoalustalle. Simulointien avulla mahdolliset loogiset toimintavirheet pystytään löytämään jo varhaisessa vaiheessa kehitysvuotoa. Kehitysvuoto lopuvaiheessa lopullista ohjelmakoodia voidaan ajaa reaaliai-

kasimulaationa. Reaaliaikasimulointien kautta voidaan arvioida muun muassa protokollan suorituskykyä kuormitettuna, laskentatehovaatimuksia ja muistintarvetta.

SDL-kielillä toteutettu TUTMAC-protokolla on täysin alustariippumaton. Niinpä protokollan viemiseksi lopulliseen ympäristönsä tarvitaan erillinen sovituskeros, jota kutsutaan ympäristöfunktioiksi. Nämä funktiot soveltavat SDL-toteutuksen ja sen ympäristön vaihtamat SDL-signaalit esimerkiksi kirjoitus- ja lukuoperaatioiksi alustan prosessoriporotteihin. SDL voi toimia myös erillisen käyttöjärjestelmän päällä, ja ympäristöfunktioit voivat näin hyödyntää käyttöjärjestelmän tarjoamia valmiita palveluita.

Laitteistoalusta
TUTWLAN-lähiverkko on toteutettu käytännössä prototyyppilaitteistona, joka sisältää tällä hetkellä neljä asemaa. Kukin päätelaite voi toimia joko liikuvana päätteenä tai tukiasemana, riippuen halutusta verkko-ympäristöstä. Verkon päätelaite koostuu erikseen toteutetusta TUTWLAN-verkkokortista, erillisestä radiokortista, sekä PC-tietokoneesta, joka kytk-



TUTMAC-protokollan toteuttaminen SDL-mallista. Aluksi SDL-kuvaksesta generoidaan automaattisesti C-lähdekoodi. Generoituun C-koodiin yhdistetään mahdolliset ulkopuoliset komponentit, sekä ympäristöfunktioit omalla lohkonaan. Lisäksi tarvitaan ajonaikaiset kirjastot jotka on saatavana SDL-työkaluista tai käyttöjärjestelmästä. C-komponentit käännetään lopuksi ajettavaksi protokollaksi.

Implementation of the TUTMAC protocol from the SDL model. First, C-source code is generated automatically from the SDL description. External C-functions can be used for reusing existing code or for optimising the implementation of an algorithms. Also, tailored environment functions adapt the platform independent system into its actual operational environment. Runtime library is provided by the SDL tool vendor or by the used operating system.

tään TUTWLAN-korttiin PCI-väylän kautta. PC-puolella on verkkoa varten toteutettu laiteajuri Windows NT -käyttöjärjestelmään, TUTWLAN-verkon hallintaohjelmisto, sekä tukiaseman ajuri TUTWLAN-solujen yhdistämiseksi toisiinsa Ethernet-verkon välityksellä. Myös erilaisia testi- ja mittaussovelluksia on toteutettu järjestelmää varten.

Tällä hetkellä radio-osana käytetään 2,4 gigahertsin radiotaajuudella toimivaa 11 Mbit/s radiokorttia, joka ei itsessään sisällä mitään MAC-protokollan toiminnallisuutta. Varsinainen TUTMAC-protokolla sijaitsee TUTWLAN-kortin DSP-prosessorissa, ja kaikkein tiukinta reaaliaikaisuutta vaativat toiminnot, kuten synkronoituminen TDMA-aikajaksoihin, osa salausalgoritmeista, sekä CRC-tarkistussummien laskenta, on toteutettu FPGA-piirillä. Lisäksi kortti sisältää runsaasti lisämuistia erilaisten SDL-kielillä toteutettujen protokollaversioiden ja sulautettujen sovellusten testaamiseksi käytännössä.

Kokemukset ja tulevat suuntaviivat

TUTWLAN-kehitystyössä on pureuduttu langattoman lähiverkon toteutusratkaisuihin kattavasti kaikilta osin RF-piirejä lukuun ottamatta. Suunnitteluvuon ansiosta alustalla voidaan toteuttaa TUTMAC-protokollan ohella myös 802.11b-standardin mukainen MAC, tai täysin uusi protokolla. Toisaalta vuo mahdollistaa myös muunlaisten radio-osien käytön, jolloin voidaan toteuttaa vaikkapa HIPERLAN tai Bluetooth-asema.

Nykyisiä 802.11b verkkoja ajatellen TUTWLAN-tutkimustyö tarjoaa mahdollisuutta räätälöidä esimerkiksi tukiaseman toiminnallisuutta ilman, että liikkuviin verkkokortteihin vaadittaisiin muutoksia. Yleisesti juuri protokollatoteutuksen optimoiminen soveltusten vaatimusten ja toimintaympäristön mukaan, kuitenkin säilyttäen yhteensopivuus verkko- tai sovellustasolla, on osoittautunut tehokkaaksi ja jopa välttämättömäksi WLAN-järjestelmien yleistessä. ●

Tekniikoiden ja standardien kirjo jatkuu

Tämän hetken langattomat lähiverkkotuotteet tukevat lähes poikkeuksetta IEEE:n 802.11 standardia. Alkuperäinen standardi vuodelta 1997 tukee 2 Mbit/s nopeuksia kahden erityyppisen radiotekniikan ja yhden infrapunalinkin yli.

Radiokerros toimii lisensioimattomalla 2,4 GHz ISM-kaistalla, ja vaatii joko suorasekvenssiin tai taajuushyppelytekniikkaan perustuvan hajaspektritekniikan.

IEEE päivitti radiokerroksen määrittelyjä 1999, jolloin julkaistiin nykyisin suosituin standardi 802.11b tarjoten 11 Mbit/s siirtonopeuden, sekä 802.11a, joka on tarkoitettu 5 GHz taajuusalueelle ja tavoitteena jopa 54 Mbit/s siirtonopeudet. Lisäksi työryhmässä 802.11g kehitetään standardia 22 Mbit/s liikennöintinopeutta

tukevalle 2,4 GHz:n radiolle. Kaikki versiot käyttävät samaa MAC-kerrosta, jota ollaan kuitenkin päivittämässä palvelun laadun tukemiseksi (työryhmä 802.11e) sekä korkeamman turvallisuustason saavuttamiseksi (802.11i).

Bluetooth-konsortiossa on kehitetty 1 Mbit/s siirtonopeuksia tukeva langattoman henkilökohtaisen verkon (WPAN) sovellusalueelle sijoittuvaa tekniikkaa. Bluetooth on myös siirtymässä tuotetasolle, tekniikan yleistymistä odotetaan lähinnä ensi vuoden aikana.

Bluetooth Special Interest Group:n eli SIG:n työryhmissä ollaan Bluetooth-määrittelyn toista versiota viemässä kohti WLAN-alueetta. Siirtonopeudeksi kaavailaan 10 Mbit/s ja soveltuvuutta muun muassa multimedian vaatimuksiin.

Toinen tulevaisuudessa merkittävä IEEE:n työryhmä langattomien lähiverkkojen alueella on 802.15, joka määrittelee Bluetoothin mukaisia WPAN-tekniikoita. Itse asiassa 802.15 työryhmä 1 on ottanut Bluetooth spesifikaation suoraan pohjaksi omalle standardilleen. Sen lisäksi työryhmä 3 on Bluetooth SIG:n mukaisesti kehitämässä standardia kohti suurempia siirtonopeuksia. Tavoitteena on yli 20 Mbit/s nopeus, hyödyntäen edelleen 2,4 GHz taajuusalueita.

IEEE 802.15 työryhmässä 4 ollaan standardia kehittämässä kohti erittäin matalaa virrankulutusta ja halpaa hintaa vaativia järjestelmiä. Siirtonopeuden jäädessä alle 200 kbit/s sovellusalueina ovatkin koti- ja teollisuusautomaatio, sekä erilaiset vapaa-ajan tuotteet.

Oman sektorinsa tulevaisuuden langattomien lähiverkkojen kentässä muodostaa ETSIn kehittämä HIPERLAN, joka on osa ETSIn BRAN-standardeja. HIPERLAN toimii 5 GHz:n lisensioimattomalla kaistalla, ja ensimmäisiä tuotteita odotetaan markkinoille mahdollisesti ensi vuoden aikana.

HIPERLAN tyyppi 2 on potentiaalisin BRAN-tekniikka ensimmäisiin sovelluksiin. Se tukee yhteysnopeuksia 54 Mbit/s saakka ja on ottanut palvelun laadun tukemisen mukaan järjestelmään. Sopivia sovellusalueita ovatkin esimerkiksi kodin langattomat multimediajärjestelmät.

HIPERLAN 2:n radiokerros on tekniikaltaan IEEE 802.11a:n kaltainen, mikä lisää komponenttien saatavuutta ja alentaa hintoja tulevaisuudessa.

Sanasto

BS	Base Station
MAC	Medium Access Control
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
SDL	Specification and Description Language
TDMA	Time Division Multiple Access
MIB	Management Information Base
WPAN	Wireless Personal Area Network
BRAN	Broadband Radio Access Networks
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
SAP	Service Access Point
M-SAP	Management Service Access Point
DSP	Digital Signal Processor

Aiheesta enemmän

TUTWLAN-projekti

www.tkt.cs.tut.fi/research/tutwlan/

IEEE 802-standardointiryhmät

grouper.ieee.org/groups/802/

ETSI BRAN-standardointi

portal.etsi.org/bran/Summary.asp

Bluetooth

www.bluetooth.com/

SDL-kieli

www.sdl-forum.org

www.telelogic.com

Taustat

Kirjoittajat: DI Marko Hannikainen, Prof. Timo D. Hamalainen

Yhteyshenkilö:

marko.hannikainen@tut.fi,
timo.d.hamalainen@tut.fi

Tutkimushanke: AWT – Advanced Wireless Terminals (Kehittyneet langattomat päätelaitteet)

Yhteistyössä: Nokia Research Center, TTKK Digitaalinen ja tietokonetekniikka

Ohjelma: TLX