

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö

Juska Lappalainen

WPAN - Wireless Personal Area Network

Tampere 2010

Tekijä	Juska Lappalainen
Työn nimi	WPAN - Wireless Personal Area Network
Päivämäärä	14.12.2010
Sivumäärä	30
Hakusanat	WPAN, Wireless personal area network, IEEE 802.15
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka

TIIVISTELMÄ

Nykyään lähes kaikki tieto pyritään siirtämään langattomasti. Langaton tiedonsiirto on kasvanut rajusti 90-luvun lopusta lähtien ja tulee vielä tulevaisuudessakin kasvamaan.

Kodin langaton tiedonsiirto on vielä kohtalaisen uusi asia, mutta tulevaisuudessa lähes kaikki kodin elektroniikkalaitteet ja anturit kommunikoivat keskenään langattomasti. Nykyään WLAN-verkko on jo monessa taloudessa. Se ei kuitenkaan sovellu hyvin kaikkeen tiedonsiirtoon, kuten jos halutaan toteuttaa kodin automaatiojärjestelmä langattomasti tai lyhyen matkan nopeaan tiedonsiirtoon. Näin ollen kodin langaton tiedonsiirto ja automaatio kannattaa toteuttaa WPAN-verkolla.

Työssä esitellään WPAN-verkko yleisesti ja tutkitaan verkon toimintaperiaate. Työssä tarkastellaan myös verkon eri käyttökohteita ja yleisimpiä tekniikoita, joilla WPAN-verkko voidaan toteuttaa. Näitä tekniikoita ovat mm. bluetooth, ZigBee ja UWB.

Author	Juska Lappalainen
Title	WPAN - Wireless Personal Area Network
Date	14.12.2010
Number of pages	30
Keywords	WPAN, Wireless personal area network, IEEE 802.15
Degree Programme	Computer Systems Engineering
Degree	Telecommunications Engineering

ABSTRACT

Today, almost all of the data transfer intended to implement a wirelessly. Wireless communication has increased dramatically since the late 1990's and will still continue to grow.

Home wireless communication is still a new thing, but in the future almost all home appliances and sensors will communicate with each other wirelessly. Today, the WLAN is a very common and can be found in almost every home. WLAN is not well suited for all data transfer, such as where we want to implement home automation systems wirelessly or short-distance high-speed data transfer. Therefore, wireless home automation and wireless high-speed data transfer should be done using a WPAN.

The thesis examines the WPAN in general and to explore the network of operation. The thesis describes different network applications and the most techniques for WPAN network can be implemented. These techniques include bluetooth, ZigBee and UWB.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun opinnäytetyönä. Työn aihe käsittelee lähes kokonaisuudessaan tiedonsiirtoa ja eri tiedonsiirtotekniikoita, joten aihe on koulutusohjelma huomioon ottaen hyvä. Tahdon kiittää kaikkia opettajia ja oppilastovereita, jotka ovat tukeneet minua läpi tämän prosessin.

Tampereella 15.11.2010

Juska Lappalainen

SISÄLLYSLUETTELO:

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT.....	4
LYHENNELUETTELO.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 WPAN-VERKKO.....	9
2.1 Topologiat.....	9
2.1.1 Suora yhteys.....	10
2.1.2 Pisteestä pisteeseen -yhteys.....	11
2.1.3 Tähtitopologia.....	11
2.1.4 Puutopologia.....	12
2.1.5 Mesh-verkko.....	13
3 BLUETOOTH.....	14
3.1 Tekniset ominaisuudet.....	14
3.2 Tietoturva.....	17
3.3 Käyttökohteet ja ongelmat.....	18
4 ZIGBEE.....	19
4.1 Tekniset ominaisuudet.....	19
4.2 Tietoturva.....	22
4.3 Käyttökohteet ja ongelmat.....	23
5 UWB.....	24
5.1 Tekniset ominaisuudet.....	25
5.2 Tietoturva.....	26
5.3 Käyttökohteet ja ongelmat.....	27
6 YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET.....	29

KÄYTETYT LYHENTEET

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikanalan järjestö
WPAN	Wireless Personal Area Network, langaton likiverkko
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
UWB	Ultra Wideband, tiedonsiirrottekniikka, joka lähettää dataa erittäin laajalla kaistalla
M.I.T	Massachusetts Institute of Technology, Massachusettsin teknillinen korkeakoulu
IrDA	Infrared Data Associationin määrittelemä standardi langattomaan tiedonsiirtoon käyttäen infrapunasäteilyä
PDA	Personal digital assistant, kämmentietokone
SIG	Bluetooth Interest Special Group, bluetoothin kehitystyöstä vastaava ryhmä
AFH	Adaptive frequency hopping, häiriöiden suodatusmenetelmä, jossa taajuus hyppii tietyn sekvenssin mukaan taajuuspaikkoihin joita ei vielä käytetä
GFSK	Gaussian frequency shift keying, modulaatiomenetelmä, jossa kanta-aallon taajuutta muutetaan bitin muuttuessa
FSK	Frequency shift keying, modulaatiomenetelmä, jossa kanta-aallon taajuutta muutetaan bitin muuttuessa
EDR	Enhanced Data Rate, tekniikka, jolla parannetaan tiedonsiirtonopeutta. Käyttää $\pi/4$ -DQPSK-modulaatiota
PSK	Phase Shift Keying, modulaatiomenetelmä, jossa kanta-aallon vaihetta muutetaan 180 astetta bitin muuttuessa
$\pi/4$ -DQPSK	PSK-modulaation ja FSK-modulaation kombinaatio, kanta-aallon vaihekulmaa muutetaan vähintään 45 astetta bittien muuttuessa
BPSK	Binary Phase Shift Keying, modulaatiomenetelmä, jossa kanta-aallon vaihetta muutetaan 180 astetta bitin muuttuessa

O-QPSK	Offset Quadrature Phase Shift Keying, modulaatiomenetelmä, jossa kantoaallon vaihetta muutetaan enintään 90 astetta bittien muuttuessa
FCC	Federal Communications Commission, Yhdysvaltain viestintävirasto
AES	Advanced Encryption Standard, symmetrinen salausstandardi, jossa lähettäjällä ja vastaanottajalla on sama salausavain
Ad-Hoc-verkko	Koostuu langattomista ja siirrettävistä päätelaitteista, jotka voivat keskustella keskenään ilman kiinteää verkkoarkkitehtuuria

1 JOHDANTO

WPAN-verkko eli Wireless Personal Area Network tarkoittaa lyhyesti suomennettuna langatonta likiverkkoa. WPAN-verkon kehitti alunperin Thomas Zimmerman M.I.T:n (*Massachusetts Institute of Technology*) medialaboratoriossa ja hänen tukena oli joukko muita tutkijoita. IEEE-standardointikeskus on standardoinut WPAN-verkon standardinumerolla 802.15.

WPAN-verkko voidaan toteuttaa monella eri tekniikalla, jotka ovat esimerkiksi bluetooth, ZigBee ja UWB. Verkon voi tehdä myös vähemmän käytetyillä tekniikoilla, kuten Z-wave ja IrDA. Verkko voi siis sisältää yhtä tai usempaa edellä mainittua tekniikkaa. Verkko soveltuu todella moneen eri tarkoitukseen, sen mukaan millä tekniikalla se on toteutettu.

2 WPAN-VERKKO

WPAN-verkko on perusrakenteeltaan yksinkertainen. Jos esimerkiksi kytketään bluetooth- handsfree matkapuhelimeen langattomasti, saadaan aikaan yksinkertainen WPAN-verkko, jossa matkapuhelin toimii masterina ja handsfree renkinä. WPAN-verkolla voidaan toteuttaa myös paljon vaativampia langattomia verkkoja, esimerkiksi kodin, toimiston ja jossain määrin tehdasalueen automaation tiedonsiirto voidaan toteuttaa kyseisellä verkolla.

WPAN-verkko voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla ja yksi verkko voi sisältää useaa eri tekniikkaa. WPAN-verkossa päästään parhaimmillaan jopa 500 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen käyttäen UWB-yhteyttä.

2.1 Topologiat

WPAN-verkko voidaan toteuttaa usealla eri topologioilla. Näitä topologeja ovat suora yhteys, pisteestä pisteeseen -yhteys, tähtitopologia, puutopologia ja niin sanottu mesh- verkko.

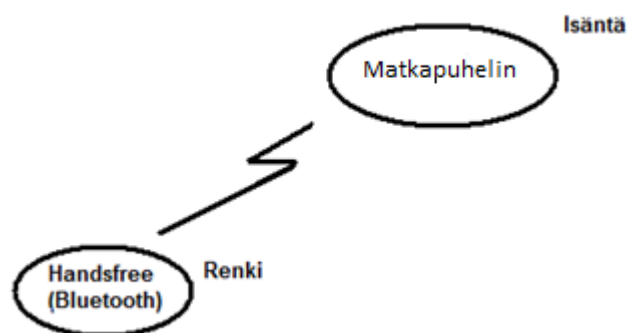
Suorassa yhteydessä ja pisteestä pisteeseen -yhteydessä yhdistettävät laitteet saavat kumpikin oman tehtävän: toisesta tulee master ja toisesta slave.

Monimutkaisemmat WPAN-verkot, eli verkot joissa on monta laitetta ja verkko on mahdollisesti myös toteutettu monella eri tekniikalla, vaativat toimiakseen ns. koordinaattorin linkiksi verkkojen välillä ja varastoimaan tietoja verkosta sekä verkon rakenteesta. Yksi verkko sisältää vain yhden pääkoordinaattorin, joka on hyvin verrattavissa reitittimeen ja toimiikin reitittimen tavoin. Verkossa voi olla kahdenlaisia laitteita, osa on toimivallaltaan rajoittamattomia ja osa rajoitettuja. Täyden toimintavallan

laite toimii reitittimenä eli normaalina koordinaattorina, yhteyslinkkinä laitteiden välillä. Osittaisen toimintavallan laite voi kommunikoida ainoastaan koordinaattorin kanssa, eli lähettää ja vastaanottaa dataa ainoastaan koordinaattorille tai koordinaattorilta. Monimutkaisemmat verkot on toteutettu tähtitopologialla, puutopologialla tai mesh-verkolla, joita voidaan yhdistää yhdeksi suureksi verkoksi, mutta näin tehtäessä verkon viive voi kasvaa häiritsevän suureksi.

2.1.1 Suora yhteys

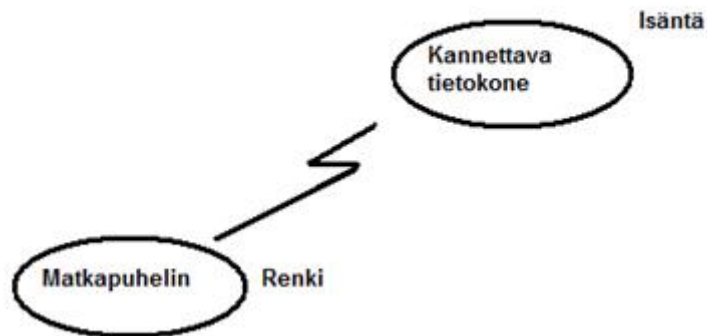
Suora yhteys on verkkotopologioista kaikkein yksinkertaisin. Siinä on kaksi laitetta yhdistetty verkoksi. Jotta voidaan muodostaa suora yhteys, täytyy ennen yhteyden muodostamista tietää, mitkä kaksi laitetta halutaan yhdistää. Esimerkiksi matkapuhelimen ja kuulokehandsfreen välinen yhteys kuvastaa hyvin suoraa yhteyttä.



Kuva 1. Suora yhteys.

2.1.2 Pisteestä pisteeseen -yhteys

Pisteestä pisteeseen -yhteys on myös hyvin yksinkertainen verkko. Pisteestä pisteeseen -yhteydessä kaksi laitetta on kytketty toisiinsa, mutta erona suoraan yhteyteen on se, että nyt laitteet voivat olla mitä tahansa satunnaisia laitteita. Tämä yhteystyyppi on hyvin paljon käytetty. Jos esim. yhdistetään matkapuhelin ja kannettava tietokone bluetooth-yhteydellä, muodostetaan kyseinen yhteys.



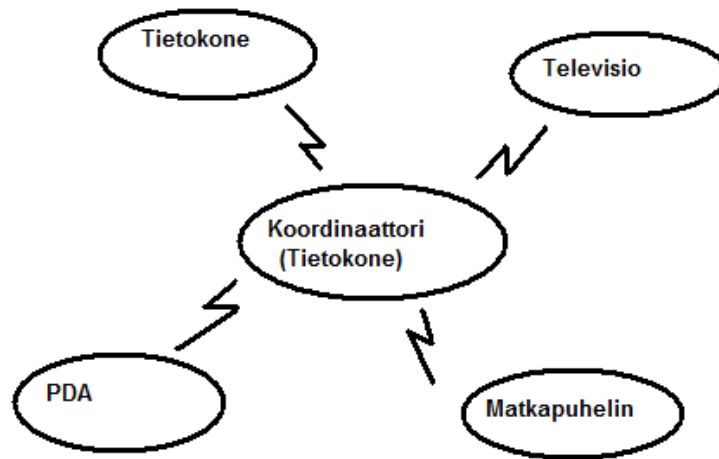
Kuva 2. Pisteestä pisteeseen -yhteys.

2.1.3 Tähtitopologia

Monen laitteen WPAN-verkko toteutettuna tähtitopologialla sisältää yhden koordinaattorin ja tietyn määrän verkossa olevia laitteita, jotka kommunikoivat keskenään koordinaattorin kautta, eli kaikki verkon liikenne kulkee koordinaattorin kautta. Verkon laitteilla voi olla täysi toimintavalta verkossa tai vastaavasti osittainen toimintavalta verkossa.

Verkko on kohtalaisen yksinkertainen toteuttaa tähtitopologialla, mutta haittapuolena voidaan mainita se, että jos jokin yhteyslinkeistä menetetään, menetetään myös yhteys kyseiseen laitteeseen. Toisena haittapuolena

voidaan mainita se, että kaiken liikenteen täytyy kulkea koordinaattorin kautta, mikä ei aina olisi nopein reitti yksittäisten laitteiden välillä.

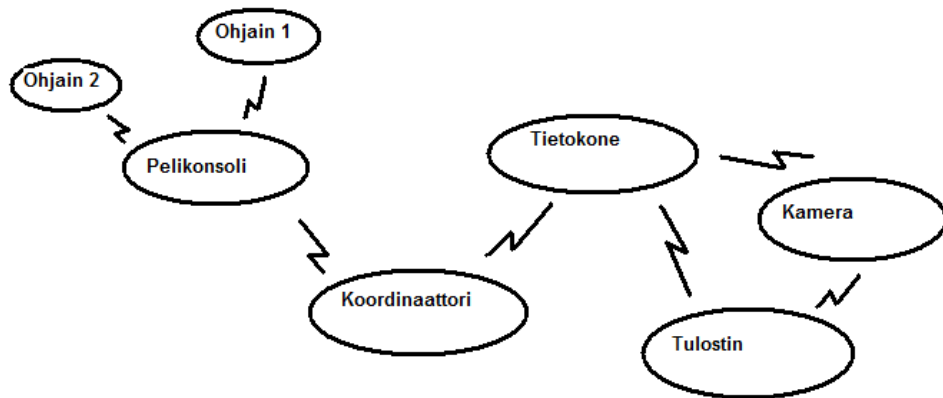


Kuva 3. Tähtitopologia.

2.1.4 Puutopologia

Puutopologialla voidaan rakentaa monimutkaisempia verkkoja kuin tähtitopologialla. Puutopologia on usein tähtitopologiaa varmempi verkkotopologia, koska jos yksi yhteyslinkki menetetään, voidaan tämä melko varmasti korvata siirtämällä tieto jotakin toista reittiä.

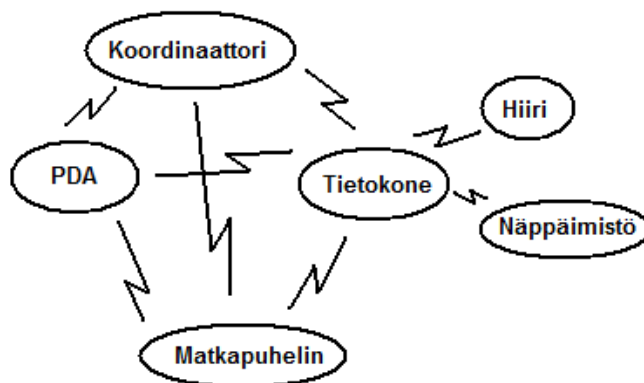
Myös puutopologia sisältää yhden koordinaattorin, mutta nyt kaikki liikenne ei välttämättä mene koordinaattorin kautta, vaan laitteet, jotka ovat kytkettyinä suoraan toisiinsa, voivat kommunikoida, ilman että tieto kulkisi koordinaattorin läpi. Laitteilla voi olla täysi toimintavalta verkossa tai vastaavasti rajoitettu toimintavalta verkossa. Puutopologialla verkosta voidaan rakentaa hyvinkin suuri ja kauas ulottuva, mutta mitä pidemmälle langaton verkko ulottuu, sitä suuremmaksi kasvavat viiveet. Puutopologia soveltuu hyvin esimerkiksi siihen, jos halutaan yhdistää kodin viihde-elektronikkalaitteet yhteiseen WPAN-verkkoon.



Kuva 4. Puutopologia

2.1.5 Mesh-verkko

Mesh-verkko eroaa puutopologiasta siten, että mesh-verkossa kaikki laitteet, joilla on täysi toimintavalta verkossa, on kytkettynä toisiinsa. Myös mesh-verkossa on yksi koordinaattori, ja verkon laitteilla voi olla täysi toimintavalta verkossa tai vastaavasti rajoitettu toimintavalta verkossa. Verkon vahvuus on nopea tiedonsiirto laitteelta toiselle. Koska jokainen laite on kytkettynä toisiinsa, ei tiedonsiirrossa tarvita välikäsiä, joten tieto kulkee nopeammin lähettävältä laitteelta vastaanottavalle laitteelle. Yksi mesh-verkon vahvuuksista on sekin että, jos yksi yhteyslinkki menetetään, voidaan yhteys saada toista kautta.



Kuva 5. Mesh-verkko

3 BLUETOOTH

Nykyään bluetooth on todella yleinen langaton tiedonsiirtotekniikka, joka on lähes jokaisessa nykyajan matkapuhelimessa, PDA-laitteessa ja hyvin useassa kannettavassa tietokoneessa.

Bluetooth-sirun valmistushinta pyrittiin saamaan mahdollisimman alhaiseksi, koska bluetoothista haluttiin saada mahdollisimman yleinen langaton tiedonsiirtotekniikka. Tässä onnistuttiin ja nykyään bluetooth on paljon käytetty tekniikka kannettavissa viihde-elektroniikkalaitteissa. Käytettävyydeltään tekniikka on helppo ja vähän virtaa kuluttava, mikä lienee vaikuttanut myös sen menestymiseen.

Bluetooth sai alkunsa vuonna 1994, kun Ericsson (*nykyinen Sony Ericsson*) alkoi tutkia tekniikkaa, jolla voitaisiin helposti korvata matkapuhelimen ja oheislaitteiden välinen kaapelointi. /1/

Bluetooth on nimetty 1000-luvulla hallinneen tanskalaisen kuninkaan Harald Blåtandin mukaan. Sana Blåtand tarkoittaa sinihammasta. Kun bluetooth-tekniikkaa alettiin kehittää, tekniikan koodinimi oli bluetooth ja myöhemmin se päätettiin antaa myös nimeksi itse tekniikalle. /2/

Vuonna 1998 perustettiin Bluetooth Interest Special Group (*SIG*), jota olivat perustamassa useat suuret tekniikan yritykset, kuten Nokia, IBM, Intel, Motorola ja Ericsson (*nykyinen Sony Ericsson*). /2/

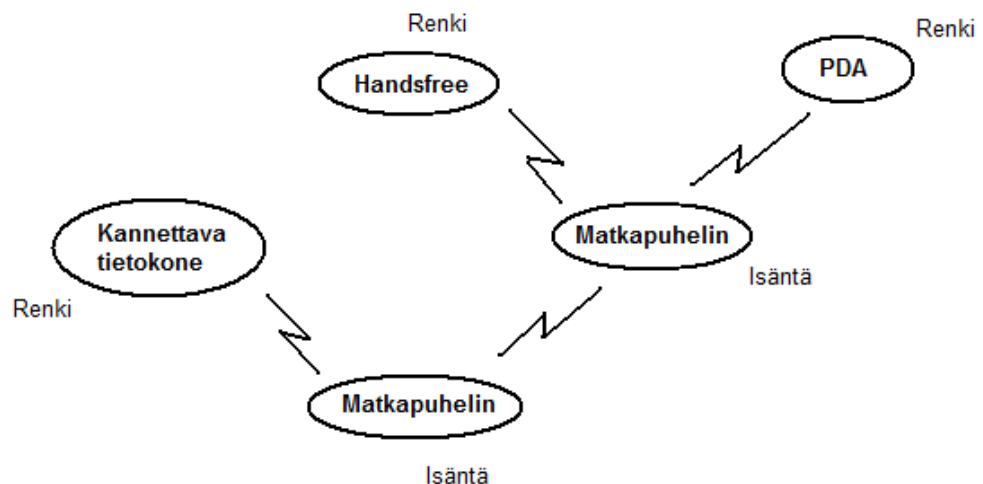
3.1 Tekniset ominaisuudet

Bluetooth toimii taajuusalueella 2,4 GHz – 2,485 GHz (*poikkeuksena Ranska, Japani ja Espanja*). Koska tällä taajuusalueella toimii myös useita muita tekniikoita (*mm. WLAN*), bluetooth käyttää AFH-tekniikkaa (*adaptive*

frequency hopping) suodattaakseen muiden samalla taajuusalueella toimivien tekniikoiden aiheuttamia häiriöitä.

Bluetooth-laitteet voidaan yhdistää toisiinsa kolmella eri verkkotopologialla. Näitä ovat suora yhteys, pisteestä pisteeseen -yhteys ja yhdestä pisteestä useaan pisteeseen -yhteys. Yhdestä pisteestä useaan pisteeseen -yhteyttä kutsutaan myös nimellä pikoverkko, ja se on hyvin verrattavissa puutopologiaan. Erona on kuitenkin se, että pikoverkossa laitteet jaetaan isänniksi ja rengeiksi, eli ei samalla tavalla kuin normaalisti

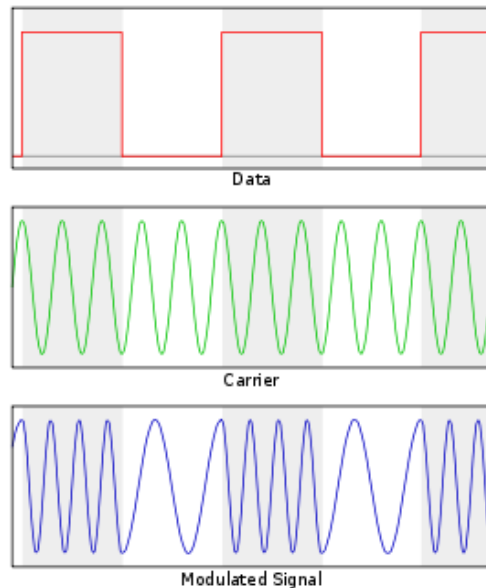
toteutettu WPAN-verkko puutopologialla. Pikoverkossa bluetoothilla voi olla yhtä isäntää kohden korkeintaan kahdeksan käyttäjää. Verkko on siis kooltaan rajallinen, mutta usein varsin riittävä esimerkiksi kotiverkoksi. Verkkoa voidaan toki laajentaa yhdistämällä useita pikoverkkoja yhdeksi verkoksi, mutta tämä lisää verkon viivettä huomattavasti. Kuvassa kuusi on kaksi pikoverkkoa yhdistetty yhdeksi suuremmaksi verkoksi.



Kuva 6. Yhdestä pisteestä useaan pisteeseen -yhteys.

Bluetooth-tekniikka käyttää GFSK-modulaatiota (*Gaussian frequency shift keying*). Siinä binäärinen 0 ja 1 asetetaan kanta-aaltoon poikkeuttamalla kanta-aallon perustaajuutta.

Taajuuden muutos on 500 kHz kumpaankin suuntaan ja taajuuden muutoksen virhe saa olla enintään ± 75 kHz. /1/



Kuva 7. Binäärinen FSK-modulaatio (*frequency shift keying*) /3/

Bluetoothin versio 1.2 ylittää n. 1 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen, mutta versio 2.1, joka sisältää EDR-ominaisuuden (*Enhanced Data Rate*), ylittää n. 3 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen. EDR-tekniikka käyttää modulaationa FSK-modulaation ja PSK- modulaation (*Phase Shift Keying*) kombinaatiota, eli $\pi/4$ -DQPSK-modulaatiota. PSK-modulaatiossa kanta-aallon vaihekulmaa muutetaan silloin, kun halutaan muuttaa bittiä. Vaihekulmaa muutetaan 180 astetta.

Bluetooth-lähtetimen lähetysteho vaihtelee sen mukaan, mihin luokkaan lähtetin kuuluu. Taulukossa 1 näkyvät bluetooth luokat, niiden lähetystehot ja kantama.

Taulukko 1. Bluetooth-lähettimien luokat. /1/

Luokka	Suurin sallittu lähetysteho (mW/dBm)	Kantama (suuntaa antava)
Luokka 1	100 mW / 20 dBm	100 m
Luokka 2	2,5 mW / 4 dBm	10 m
Luokka 3	1 mW / 0 dBm	1 m

Kannettavien tietokoneiden ja bluetooth-USB-adapterien lähettimet kuuluvat yleisimmin luokkaan 1. Luokan 1 lähettimet sisältävät virransäästöominaisuuden, joka säättää lähetystehoa tarvittaessa suuremmaksi tai pienemmäksi. Luokan 2 ja 3 lähettimiä käyttävät esim. matkapuhelimet ja PDA-laitteet.

3.2 Tietoturva

Bluetooth-verkon tietoturva rakentuu kahdesta osasta: verkon tietoturvasta ja laitteen tietoturvasta. Verkon tietoturvaan vaikuttavat mm. lähetysteho, taajuushyppely, yhteydenmuodostus ja yhteydensalaus. Laitteen tietoturvaan vaikuttavat seuraavat tekijät: PIN-koodi, bluetooth-pinon eri tasoilta löytyvät virheet ja ongelmien ratkaisu väärällä tasolla.

Bluetooth-yhteyden salakuuntelu on lähes mahdotonta, koska käytettävä taajuus vaihtuu yhteyden aikana n. 1600 kertaa sekunnissa.

Lähetystehon minimointi parantaa tietoturvaa. Kun lähetysteho minimoidaan, signaalin kantavuus pienenee ja yhteys rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle.

Kun bluetooth-yhteyttä avataan, täytyy kummankin osapuolen tietää sama PIN-koodi. Kun PIN-koodit on annettu oikein, yhteys on muodostettu laitteiden välille.

Yhteys on myös mahdollista salata, jolloin molemmat laitteet salaavat lähetetyn tiedon kättelyssä sovitulla avaimella. Kun avain vaihdetaan pienin väliajoin, tulee yhteydestä kohtalaisen tietoturvallinen. Kaikki bluetooth-yhteydessä käytettävä salaus on symmetristä, mikä tarkoittaa sitä, että lähettäjä ja vastaanottaja käyttävät samaa avainta viestin salaukseen sekä purkamiseen.

3.3 Käyttökohteet ja ongelmat

Bluetooth on todella suosittu tekniikka kannettavissa elektroniikkalaitteissa ja se löytyykin lähes jokaisesta uudemmasta matkapuhelimesta, PDA-laitteesta, tietokoneesta, pelikonsolista ja useista muista viihdeelektroniikkalaitteista. Bluetooth soveltuu hyvin kohtalaisten pienten tiedostojen, kuten valokuvien, musiikkikappaleiden ja pienten videoleikkeiden langattomaan siirtoon laitteelta toiselle. Bluetooth on myös suosittu oheislaitteiden ja itse laitteiden välillä käytettävä yhteys, esim. matkapuhelimen ja handsfreen välinen yhteys, ja pelikonsolin ja peliohjaimen välinen yhteys.

Bluetoothin suurimmat ongelmat ovat sen kohtalaisen pieni tiedonsiirtonopeus ja kantama. Kantama kyllä saadaan suureksi, mutta jos näin tehdään, lähettimen tehonkulutus kasvaa kohtuuttoman suureksi. Bluetooth v. 2.1:llä päästään n. 3 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen, mikä ei riitä esimerkiksi hyvälaatuisen multimedian suoratoistoon. Kannettavissa laitteissa Bluetoothin kantama on n. 10 metriä, ja jos välissä on esteitä, on kantama vieläkin lyhyempi. Tämä, hidas tiedonsiirto ja verkon rajoitettu käyttäjämäärä vaikeuttavat Bluetooth-verkon rakentamista esim. suurempiin toimistoihin tai asuinkiinteistöihin.

4 ZIGBEE

ZigBee-tekniikka on kohtalaisen uusi tekniikka ja se ei ole ainakaan vielä saavuttanut kovin suurta markkina-asemaa tiedonsiirtotekniikka-alalla. ZigBeen tehonkulutus saadaan halutessa pysymään todella pienenä, joka edesauttaa tekniikkaa menestymään esim. antureiden langattomana tiedonsiirtotekniikkana. ZigBee on avoin standardi, joten se on kaikkien yritysten käytettävissä ja kehiteltävissä.

Vuonna 1998 alettiin kehittää ZigBeen tyylisiä verkkoja, kun monet verkkosuunnittelijat ja asentajat ymmärsivät, ettei WLAN ja Bluetooth sovellu hyvin joihinkin langattomiin sovelluksiin. Tarvetta oli mm. itsestään järjestäytyvälle Ad-Hoc digitaaliselle radioverkolle, eli verkolle, joka pystyy toimimaan ilman kiinteää verkkoarkkitehtuuria. /5/

IEEE standardoi ZigBeen standardinumerolla 802.15.4 vuonna 2003. Samana vuonna perustettiin ZigBee Alliance -ryhmä. Vuonna 2004 ryhmään oli liittynyt jo yli 100 yritystä yli 22:sta maasta. /5/

4.1 Tekniset ominaisuudet

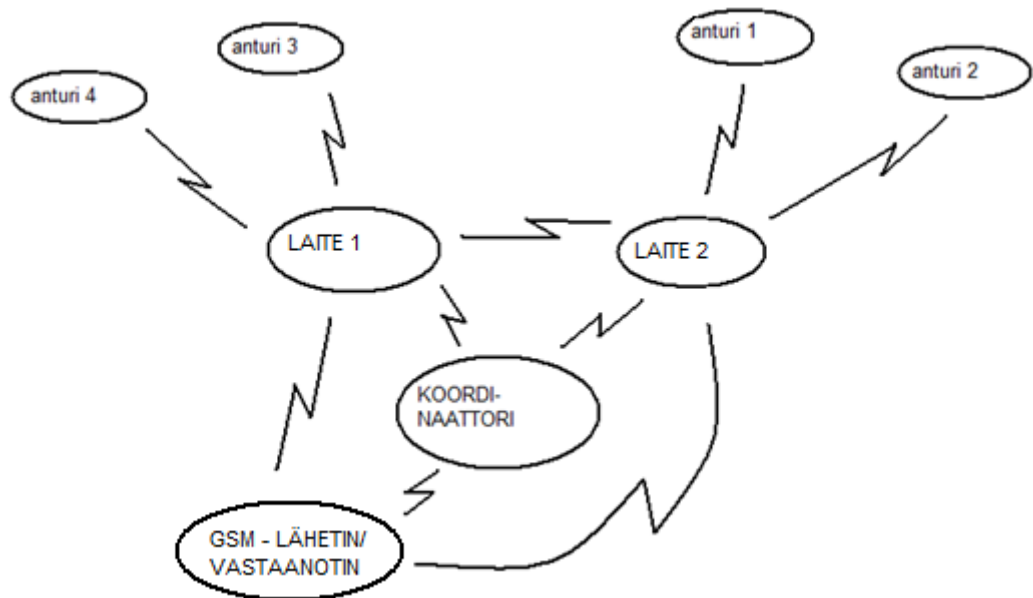
ZigBeellä on kolme eri taajuusaluetta, taajuusalueet ja kanavat on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2. Taajuusalueet ja kanavat. /4/

Kanava (t)	Taajuusalue
0	868 – 870 MHz
1 – 10	902 – 928 MHz
11 – 26	2,4 – 2,4835 GHz

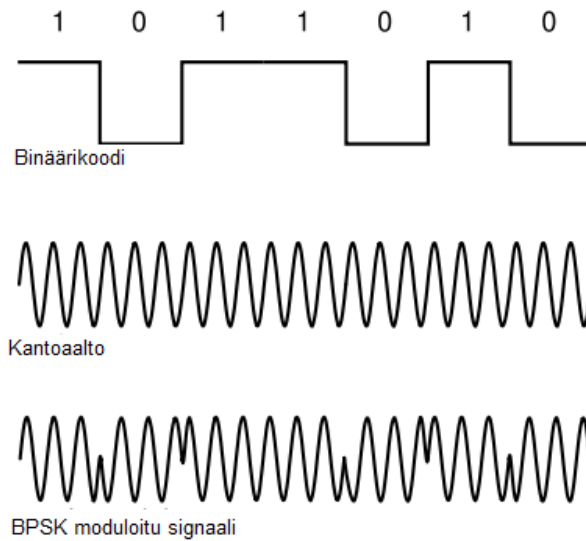
Kanava 0 toimii siis taajuusalueella 868 – 870 MHz, näin ollen ZigBee varaa 2 MHz:n kaistan yhdelle kanavalle. Kanavat 1 – 10 toimivat taajuusalueella 902 – 928 MHz ja kanavat 11 – 26 toimivat taajuusalueella 2,4 – 2,4835 GHz.

ZigBee-verkko voidaan toteuttaa kolmella eri verkkotopologialla ja näitä ovat tähtitopologia, puutopologia ja mesh-verkko. Kuvassa 8 on esitetty ZigBee-verkko toteutettuna mesh- verkkorakenteella.



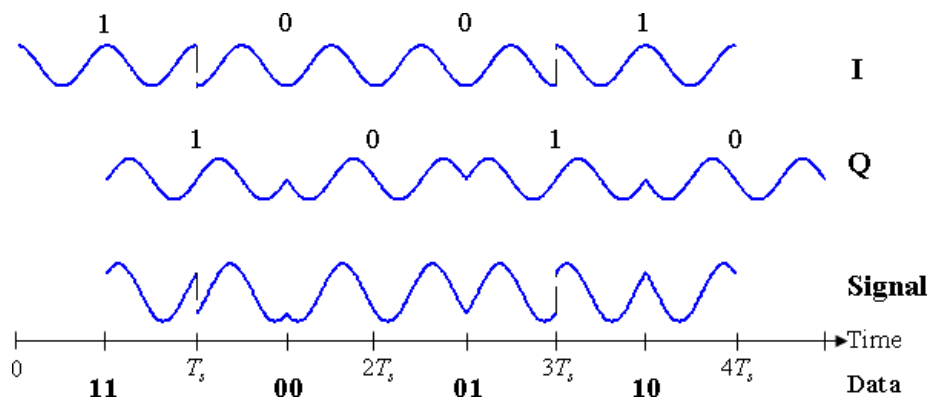
Kuva 8. ZigBee-verkko toteutettuna mesh-verkkorakenteella.

ZigBeen alemmat taajuudet, eli taajuudet 868 – 870 MHz ja 902 – 928 MHz käyttävät BPSK-modulaatiota (*Binary Phase Shift Keying*). BPSK-modulaatiossa kantoaallon vaiheen muutos kertoo bitin muuttuneen.



Kuva 9. BPSK-modulaatiomenetelmä. /6/

Ylemmillä taajuuksilla, eli taajuusalueella 2,4 – 2,4835 GHz käytetään O-QPSK – modulaatiota (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*). O-QPSK-modulaatiossa kantoaallolla voi olla neljä eri vaiheen tilaa. Näin ollen mahdollisia bittejä on kaksi, joista kummallakin voi olla kaksi tilaa. Mahdolliset bitit ovat siis 00, 01, 10 ja 11.



Kuva 10. O-QPSK-modulaatio. /6/

ZigBee:n tiedonsiirtonopeus riippuu siitä, millä taajudella dataa lähetetään. Mitä pienempi on lähetystaajuus, sitä pienempi on tiedonsiirtonopeus. Taulukossa 3 on esitetty tiedonsiirtonopeudet, käytetty taajuusalue ja kanavien määrä.

Taulukko 3. ZigBee-tekniikan taajuusalue, kanavien määrä ja tiedonsiirtonopeus. /4/

Taajuusalue	Kanavien määrä	Tiedonsiirtonopeus
868 – 870 MHz	1	20 kbit/s
902 – 928 MHz	10	40 kbit/s
2,4 – 2,4835 GHz	16	250 kbit/s

Vaikka tekniikan kantama on hyvä, saadaan lähettimen ja vastaanottimen tarvitsema teho pysymään pienenä. Normaalilla ZigBee-tekniikalla kantama on 10 – 75 m ja ZigBee Pro-tekniikalla jopa yli 1500 m. /5/

4.2 Tietoturva

Kun ZigBee-standardia alettiin kehitellä, oli yksi tärkeimmistä kriteereistä hyvä tietoturva.

Jokainen kerros, joka luo kehyksen, on vastuussa sen tietoturvasta. Näin ollen kaikkien kerrosten ei tarvitse turvata samaa kehystä, mikä helpottaa kokonaistietoturvan kehittämistä. Kun verkossa lähetetään dataa, lähettäjän ja vastaanottajan välillä kulkee ainoastaan yksi salausavain. Tämä mahdollistaa sen, että data voi kulkea monen laitteen kautta niin, ettei datan salausta tarvitse purkaa ja salata taas uudelleen.

Laitteiden väliseen kommunikointiin ZigBee käyttää SKKE-salausta (Symmetric-Key Key Exchange). Tämä salaus perustuu AES-standardiin (Advanced Encryption Standard).

AES-standardi on symmetrinen salaus ja se on muita vaihtoehtoja turvallisempi, nopeampi ja sen asentaminen laitteistoon on halvempaa.

[9, s. 1-5]

4.3 Käyttökohteet ja ongelmat

ZigBee-tekniikka on vielä kehityksensä alkuvaiheilla, mutta langattoman automaation yleistyttyä tulee myös ZigBee yleistymään. Tekniikka sopii hyvin kotien, toimistojen ja jossain määrin tehdasalueiden ja sairaaloiden automaation langattomaksi tiedonsiirtotekniikaksi. Lähetin ja vastaanotin saadaan toimimaan hyvin pienellä teholla, joten langattomien antureiden paristot kestävät useita vuosia, eikä tämä ole esteenä langattomuudelle. Tekniikan tiedonsiirtonopeus riittää varsin hyvin mittaustietojen lähetykseen ja vastaanottamiseen. Taajuudesta riippuen saadaan kantamakin oikein hyväksi ja varsin riittäväksi.

Jos tekniikkaa halutaan käyttää multimedian siirrossa, tiedonsiirtonopeus on aivan liian hidas. Tekniikka ei sovellu suurten tiedostojen langattomaan siirtoon. Ongelmana on myös eri verkkotopologioista johtuva viive ja vaihtelu virrankulutuksessa. Virrankulutusta tuskin saadaan paljoa pienenemään, mutta akkutekniikan kehittyessä saadaan antureihin mahdutettua parempi kapasiteettisia akkuja.

5 UWB

UWB-tekniikka lähettää dataa laajalla kaistalla ja se ylittää todella suureen tiedonsiirtonopeuteen. Nykyiset langattomat yhteydet, kuten WLAN ja Bluetooth, eivät sovellu esim. hyvälaatuisen videokuvan reaaliaikaiseen lähetykseen, UWB-tekniikalla tämä onnistuu. Tekniikan uskotaan yleistyvän nopeasti ja se on erittäin varteenotettava vaihtoehto mietittäessä tulevaisuuden langattomia tiedonsiirtotekniikoita.

UWB:n historia ulottuu yhtä pitkälle kuin radiolähetystenkin historia: Marconin 1800-luvun lopulla kehittämä kipinäväliin perustuva langaton lennätin lähetti lyhyitä pulsseja, joiden spektri ulottui laajalle taajuusalueelle. Varsinainen UWB-tekniikan tutkimus alkoi vuonna 2002 kun Yhdysvaltain viestintävirasto FCC päätti, että 3,1 - 10,6 GHz:n taajuuskaista tulee UWB:n käyttöön. Vuoden 2003 alussa perustettiin työryhmä (*TG3a*) jonka tehtävänä oli standardoida tekniikka kuvantamis- ja multimediasovelluksia varten. Työryhmällä oli kaksi ehdotusta fyysisen kerroksen toiminnasta. /7/

Ensimmäinen ehdotus oli Texas Instrumentsin tekemä ja se perustui OFDM-tekniikkaan (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) sekä nopeaan taajuushyppelyyn 528 MHz:n taajuuskaistojen välillä (*MB – OFDM*). Tekniikka perustuu käytettävän taajuusalueen jakamiseen 528 MHz:n levyisiin kaistoihin ja hyppelyyn niiden välillä. /7/

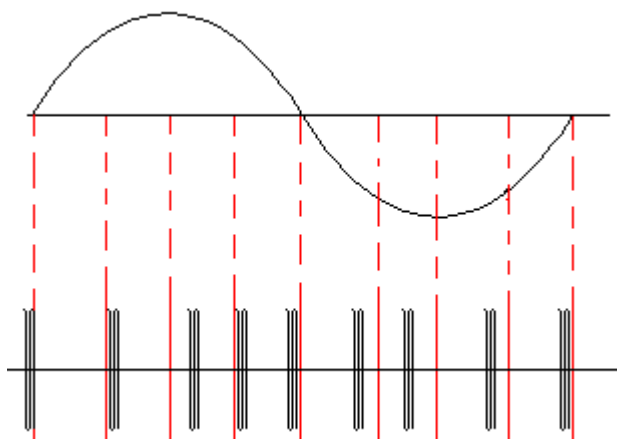
Toinen ehdotus oli Motorolan tekemä ja se perustui UWB:n alkuperäiseen ideaan lyhyiden impulssien lähettämiseen perustuvasta UWB-radiosta. Impulssiradio perustuu lyhyiden, paikka-, amplitudi- tai vaihemoduloitujen pulssien lähettämiseen. /7/

5.1 Tekniset ominaisuudet

UWB-tekniikka voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Toinen toteutustavoista on MB-UWB (*Multiband Ultra Wide Band*) ja toinen on DS-UWB (*Direct Sequence Ultra Wide Band*). UWB on suunniteltu toimimaan 3,1 – 10,6 GHz:n taajuusalueella. Yhdysvalloissa kyseinen taajuusalue on jo varattu UWB:n käyttöön, mutta Euroopan telehallinnot eivät halua luovuttaa alle 5 GHz:n taajuusaluetta UWB:n käyttöön, koska alle 5 GHz:n taajuusalue on ajateltu säästää tulevalle 4G-verkolle. Toisaalta Euroopassa UWB on suunniteltu toimivan taajuusalueella 4,2 – 4,8 GHz.

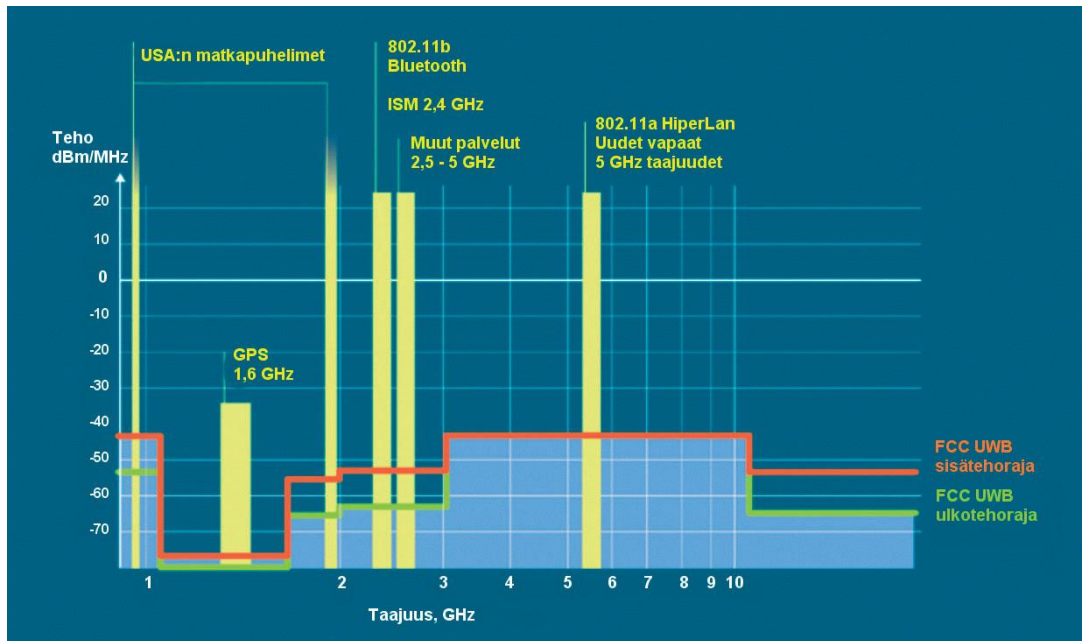
UWB-tekniikka toteutetaan mesh-verkkotopologialla, joka on käsitelty aiemmassa luvussa. Tekniikka kykenee jopa 500 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen lyhyellä kantamalla, eli kantaman ollessa 2 – 4 metriä. Pidemmällä kantamalla, eli kantaman ollessa 10 – 20 metriä, tiedonsiirtonopeus on enintään n. 110 Mbit/s.

UWB on mahdollista toteuttaa kahdella eri modulaatiolla, joko PSK-modulaatiolla (*Phase Shift Keying*) tai PPM-modulaatiolla (*Pulse Position Modulation*). Kuvassa 10 näkyy kuinka haluttu singnaali moduloidaan pulsseiksi käyttäen PPM-modulaatiota.



Kuva 11. PPM-modulaatio. /8/

UWB-lähetyksen tehotiheyden ylärajaksi on asetettu FCC:n toimesta $-41,25$ dBm/MHz (kuva 12). Näin pieni tehotiheys rajoittaa tekniikan siirtonopeutta, käytettäviä modulaatiomenetelmiä ja kantamaa.



Kuva 12. UWB-lähetyksen tehotiheys ja taajuusalue Yhdysvalloissa. /7/

5.2 Tietoturva

UWB:n ehdoton vahvuus on sen tietoturva. Ulkopuolisen on vaikea havaita lähetystä, koska lähetysteho on pieni ja se on levitetty leveälle kaistalle. Jos lähetys löydetään, ei sitä voida purkaa ilman oikeaa yksilöllistä koodia. UWB-laitteet voivat myös havaita kuinka kaukana toinen UWB-laite on, ja tämän perusteella laitteille voidaan antaa käsky, ettei havaitulle laitteelle lähetetä tai siltä ei vastaanoteta dataa.

Jos käyttäjä haluaa, hän voi salata lähetettävän datan ja joissain sovelluksissa salata yhteyden salasanalla.

5.3 Käyttökohteet ja ongelmat

UWB-tekniikkaa voidaan hyödyntää usean eri alan käyttötarpeisiin, kuten sotilas-, auto- ja kiinteistöalalle. Autoteollisuudessa UWB:llä voidaan toteuttaa etäisyyden mittaus- ja kolarinestojärjestelmiä. UWB-tutka perustuu lyhyiden pulssien lähettämiseen, kun pulssi kimpoaa esteestä takaisin vastaanottimelle, lasketaan kulunut aika ja näin saadaan esineelle tarkka sijainti.

Lyhyellä kantamalla tiedonsiirtonopeus saadaan erittäin suureksi virran kulutuksen pysyessä pienenä, tämä edesauttaa UWB:tä yleistymään kannettavissa elektroniikkalaitteissa kuten tietokoneissa, puhelimissa ja mediatoistimissa.

Kantaman ollessa pidempi pysyy tiedonsiirtonopeus silti kohtalaisen suurena. Näin ollen tekniikka soveltuu hyvin kodin ja toimiston langattomaksi verkoksi.

Yhdysvalloissa UWB:lle on varattu todella suuri taajuuskaista, mutta Euroopassa asia on toisin. Yhteisen standardin puuttuminen hidastaa tekniikan kehitystä ja kaksi eri toteutustekniikkaa hankaloittavat laitteiden yhteensopivuutta.

6 YHTEENVETO

Edellä käsitellyjä tekniikoita tutkiessa huomaa, että joka tekniikalla on joko suuri kantama ja pieni tiedonsiirtonopeus, tai suuri tiedonsiirtonopeus ja pieni kantama. Verkkoa suunniteltaessa täytyy tarkkaan miettiä, mihin käyttötarkoitukseen verkko tulee. Tämän mukaan on valittava tekniikka, jolla verkko toteutetaan. Jos verkolla täytyy olla suuri tiedonsiirtonopeus, täytyy verkon kantamasta tinkiä.

Tulevaisuudessa WPAN-verkot tulevat yleistymään, varsinkin UWB ja ZigBee tulevat kasvattamaan markkina-asemaansa tietoliikennealalla. Bluetooth-tekniikka on jo nyt todella suosittu ja paljon käytössä oleva tekniikka.

Bluetooth-tekniikalla on monia etuja, kuten että standardointi on kunnossa ja bluetooth- laitteet ovat hyvin yhteensopivia keskenään. Vanhemman bluetooth-version laitteet ovat yhteensopivia uudempien versioiden laitteiden kanssa ja päin vastoin. Bluetooth on jo erittäin useassa viihde-elektroniikkalaitteessa, kuten matkapuhelimeissa, tietokoneissa, PDA-laitteissa ja pelikonsoleissa. Tekniikka on jo vallannut oman jalansijansa markkinoilla, eikä sitä tule mikään tekniikka vähään aikaan syrjäyttämään.

ZigBee on kohtalaisen uusi ja vielä varsin suunnitteluasteella oleva tekniikka, joka tulee varmasti yleistymään juurikin langattomissa automaatio-sovelluksissa. ZigBeen virrankulutus on todella pieni, joten se sopii hyvin langattomien antureiden tiedonsiirtotekniikaksi.

Tekniikan huono puoli on hidas tiedonsiirtonopeus, nopeus on kumminkin varsin riittävä käyttötarkoitukseen. UWB on tekniikoista tiedonsiirtonopeudeltaan kaikkein nopein ja soveltuu tekniikkana todella moneen eri sovellukseen. UWB-tekniikka tulee yleistymään sotilas-, auto-, kiinteistö- ja elektroniikkalaitealalla. UWB:n heikkoutena voidaan pitää sen kantamaa tiedonsiirrossa.

Lähdeluettelo

- 1 Bluetooth
<http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bluetooth>
- 2 Bluetooth historia
<http://www.bluetomorrow.com/about-bluetooth-technology/history-of-bluetooth/bluetooth-history.html>
- 3 FSK-modulaatio
http://www.1010.co.uk/org/df_pres.html
- 4 ZigBee tajuusalueet ja kanavat
http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162
- 5 ZigBee tekniset ominaisuudet
<http://www.absoluteastronomy.com/topics/ZigBee>
- 6 O-QPSK-modulaatio
http://en.wikipedia.org/wiki/File:OQPSK_timing_diagram.png
- 7 UWB historia
http://www.proessori.fi/es04/ARKISTO/PDF/UWB_TEKNIikka.PDF
- 8 PPM-modulaatio
http://www.hobbyprojects.com/general_theory/images/position.gif

9

ZigBee salaus

Blaser, Mitch. Industrial-strength security for ZigBee.
Embedded Computing Design – Special feature,
May/2005 s. 1-5