

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Petri Tutti

LYHYEN MATKAN RF-TEKNIIKAT, BLUETOOTH 2, ZIGBEE JA UWB

Tutkintotyö, joka jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi insinöörin
tutkintoa varten Tampereella 8. 5. 2006

Työn valvoja: Lehtori Ari Rantala

Tekijä:	Petri Tutti
Työn nimi:	Lyhyen matkan RF-tekniikat, Bluetooth 2, Zigbee ja UWB
Päivämäärä:	8. 5. 2006
Sivumäärä:	37 sivua ja 4 liitesivua
Hakusanat:	Bluetooth 2.0, Zigbee, ultra wide band
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja:	Lehtori Ari Rantala
<p>Langattoman tiedonsiirron suosio jatkaa kasvamistaan. Uusia käyttökohteita kehitetään jatkuvasti, joten myös uusia tekniikoita tiedonsiirtoon täytyy kehittää. Yksi suurimmista kehityksen kohteista on kotona ja toimistoissa tapahtuva tiedonsiirto, etenkin multimedia. Yhä useammin esimerkiksi kodeista löytyy laitteita jotka voivat hyödyntää RF-tekniikan suomia mahdollisuuksia langattomasti.</p> <p>Kaikissa uusissa tekniikoissa keskitytään muutamiin tärkeisiin asioihin. Ensimmäinen on tiedonsiirtonopeus, toinen tehonkulutus ja kolmas tietoturva. Kaikkiin näihin osaluokkiin on kiinnitetty huomiota jo nykyisissä järjestelmissä ja tulevaisuudessa kiinnitetään yhä enemmän.</p> <p>Bluetooth on yleisesti tunnettu etenkin matkapuhelimista. Tekniikka on kehittynyt ja Bluetoothin uusien versio yltää entistä suurempiin tiedonsiirtonopeuksiin. Tekniikka on kuitenkin varsin hidas muihin järjestelmiin verrattuna. Vankka suosio nykyisissä laitteissa kuitenkin takaa, että tekniikkaa käytetään vielä tulevaisuudessakin sovelluksissa, jotka eivät vaadi suuria tiedonsiirtonopeuksia.</p> <p>Zigbee on uusi RF-tekniikkaan perustuva kauko-ohjaukseen ja langattomaan tiedonkeräykseen suunniteltu tekniikka. Tekniikka on todella hidas toisiin järjestelmiin verrattuna, mutta huomattavasti nopeampi ja soveltuvampi kuin IR-tekniikka jonka se korvaa. Lisäksi järjestelmä on helposti laajennettavissa jopa tuhansia laitteita sisältäväksi.</p> <p>Ultra wide band on tällä hetkellä nopein langaton tiedonsiirtotekniikka. Useista tekniikkaan liittyvistä ongelmista huolimatta ultra wide band tulee markkinoille lähitulevaisuudessa. Tekniikka soveltuu erinomaisesti langattomaan multimedialliseen siirtoon, joten useat viihde-elektroniikan valmistajat ovat kiinnostuneita tekniikasta.</p> <p>Uusista tekniikoista ultra wide band on lupaavin yleismaailmalliseksi langattomaksi tiedonsiirtotekniikaksi. Zigbee soveltuu lähinnä sellaiseen käyttöön kuin se suunniteltiin. Bluetoothin tulevaisuus riippuu siitä kuinka sen tekniikkaa kehitetään tulevaisuudessa.</p>	

Author:	Petri Tutti
Name of the thesis:	Short range RF-techniques, Bluetooth 2, Zigbee and UWB
Date:	8. 5. 2006
Number of pages:	37 pages and 4 pages of appendices
Keywords:	Bluetooth 2.0, Zigbee, ultra wide band
Degree programme:	Computer systems engineering
Specialisation:	Telecommunication engineering

Supervisor:	Senior lecturer Ari Rantala
--------------------	-----------------------------

Wireless data transmission keeps growing its popularity. New applications are continuously developed and therefore new techniques have to be developed. One of the major areas of development is home and office usage, especially multimedia. More and more often can be found devices in homes using RF-technique.

A few things have become a major concern in wireless data transmission. One is the speed, other is the power consumption and the third is security. A lot of attention has been paid to all of these even in systems of these days and in the future more attention will be paid.

Bluetooth is mostly known from cellular phones. The technique has been developed and the new version of the Bluetooth is faster, although it is rather slow compared to other systems. It still has a solid popularity in devices today and that should guarantee it to be used in the future in applications that does not require lot of speed.

Zigbee is a new technique for remote controlling and monitoring. Compared to other systems it is extremely slow, but faster and more applicable than the IR-technique it is supposed to replace. Zigbee is also very expandable and may contain thousands of devices.

Ultra wide band is currently the fastest wireless data transmission technique. Despite of a few problems in the technique, it should come available in the near future. The technique is very suitable for wireless transfer of multimedia, so many manufacturer of entertainment electronics are interested in the technique.

From these new techniques, ultra wide band shows the most promise to become a world wide wireless transfer technique. Zigbee will be suitable only for the tasks it was designed for. Bluetooth's future will depend on how it will be developed further in the future.

ALKUSANAT

Scire tuum nihil est, nisi te scire hoc sciat alter

Petri Tutti

LYHENNELUETTELO	6
1.0 JOHDANTO	10
2.0 BLUETOOTH 2	11
2.1 Tekniikka yleisesti	11
2.2 Taajuusalue	13
2.3 Modulaatio	14
2.4 Siirtonopeus ja -matka	16
2.5 Käyttäjämäärä	17
2.6 Tietoturva	18
2.7 Rajoitukset ja ongelmat	19
2.8 Laitteiden hinnat	20
3.0 ZIGBEE	21
3.1 Tekniikka yleisesti	21
3.2 Taajuusalue	23
3.3 Modulaatio	23
3.4 Siirtonopeus ja -matka	24
3.5 Käyttäjämäärä	24
3.6 Tietoturva	25
3.7 Rajoitukset ja ongelmat	25
3.8 Laitteiden hinnat	26
4.0 UWB	27
4.1 Tekniikka yleisesti	27
4.2 Taajuusalue	30
4.3 Modulaatio	33
4.4 Siirtonopeus ja -matka	33
4.5 Käyttäjämäärä	35
4.6 Tietoturva	36
4.7 Rajoitukset ja ongelmat	36
4.8 Laitteiden hinnat	37
5.0 VERTAILUJA TOISIIN JÄRJESTELMIIN	38
6.0 LOPPUPÄÄTELMIÄ	40

LYHENNELUETTELO

$\pi/4$ -DQPSK	<i>4 rotated differential encoded quaternary phase shift keying</i> Digitaalinen differentiaalinen vaihevainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatiot (I ja Q) esiintyvät $\pi/4$ radiaanin (45 asteen) välein.
8DPSK	<i>differential encoded 8-ary phase shift keying</i> Digitaalinen differentiaalinen vaihevainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatiot esiintyvät 45 asteen välein.
AES	<i>advanced encryption standard</i> Standardi tiedon salakirjoitukseen.
AFH	<i>adaptive frequency hopping</i> Adaptiivinen taajuushyppely, taajuus hyppii tietyn sekvenssin mukaan taajuuspaikkoihin joita ei vielä käytetä.
AM_ADDR	<i>bluetooth device address</i> Bluetooth-laitteelle määritelty 48-bittinen laiteosoite.
BD_ADDR	<i>active member address</i> Verkossa aktiiviselle Bluetooth-laitteelle määritelty 3-bittinen laiteosoite.
BPM	<i>biphase pulse modulation</i> Pulssin vaihevainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatiota on kaksi 180 asteen välein.
BPSK	<i>binary phase shift keying</i> Binaarinen vaihevainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatiota on kaksi 180 asteen välein.

CDMA	<i>code division multiplexing acces</i> Koodeihin perustuva kanavan monikäyttömenetelmä.
CEPT	<i>european conference of postal and telecommunications administrations</i> Euroopan tietoliikenteen valvonnasta ja asetuksista vastaava virasto.
DSSS	<i>direct sequence spread spectrum</i> Hajaspektritekniikka jossa data levitetään valesatunnaisella koodilla.
DS-UWB	<i>direct sequence ultra wide band</i> Valesatunnaisella koodilla levitettyyn dataan perustuva ultra wide band.
EDR	<i>enhanced data rate</i> Bluetoothiin lisätty tekniikka nopeuksien kasvattamiseksi.
FCC	<i>federal communication comission</i> Yhdysvaltojen tietoliikenteen valvonnasta ja asetuksista vastaava virasto.
FFD	<i>full function device</i> Zigbee-verkossa toimiva koordinaattori joka kykenee toimimaan verkon koordinaattorina tai välittämään dataa muille koordinaattoreille.
FHSS	<i>frequency hopping spread spectrum</i> Hajaspektritekniikka jossa tapahtuu taajuushyppelyä.
GFSK	<i>gaussian frequency shift keying</i> Gaussin käyrää mukaileva taajuusavainnukseen perustuva modulaatio.

ISM	<i>industrial, scientific, medical</i> Taajuusalue joka on tarkoitettu teollisuuden, tutkimuksen ja lääketieteen voittoa tavoittelemattomaan käyttöön.
MB-UWB	<i>multiband ultra wide band</i> Useita kantoaaltoja hyödyntävä ultra wide band.
NMT	<i>nordic mobile telephone</i> Pohjoismaiden yhteistyönä kehittelemä matkapuhelinjärjestelmä.
O-QPSK	<i>orthogonal quadrature phase shift keying</i> Ortogonaalinen vaiheavainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatit esiintyvät 90 asteen välein.
PIN	<i>personal identification number</i> Henkilökohtainen luku jolla käyttäjä tunnistetaan.
PNC	<i>piconet coordinator</i> Laite joka toimii pikosolussa verkkoa hallinnoivana elimenä.
PSK	<i>phase shift keying</i> Vaiheavainnus, bittien tila ilmaistaan signaalin vaihetta muuttamalla.
QPSK	<i>quadrature phase shift keying</i> Vaiheavainnukseen perustuva modulaatio jonka konstellatit esiintyvät 90 asteen välein.
RF	<i>radio frequency</i> Tekniikka tai taajuus jota voidaan käyttää langattomassa tiedonsiirrossa.

RFD	<i>reduced function device</i> Zigbee-verkossa toimiva laite joka kykenee ainoastaan lähettämään dataa koordinaattorille.
SAFER	<i>secure and fast encryption routine</i> Algoritmi datan salakirjoitukseen.
SIG	<i>special interest group</i> Tekniikkaa kehittävä tai muutoin edistävä ryhmä.
UWB	<i>ultra wide band</i> Hyvin laajaa kaistaa käyttävä tiedonsiirtotekniikka.
WLAN	<i>wireless local area network</i> Suosittu langaton lähiverkkotekniikka.
XOR	<i>exclusive or</i> Digitaalinen portti tai looginen operaatio jolla bittejä voidaan laskea tietyllä säännöllä yhteen.

1.0 JOHDANTO

Teknologisen kehityksen myötä yhä useammalla ihmisellä on yhä useampia erilaisia elektronisia laitteita. Valmistajien aloittama kehityssuunta on ollut integroida mahdollisimman paljon laitteita tai niiden toimintoja toisiinsa tai yhdistää laitteet jollain medialla, jotta kuluttajat saisivat mahdollisimman toimivan ja monipuolisen laitteistokokonaisuuden. Viime vuosien aikana langattomat sovellukset ovat lisänneet suosiotaan huomasti ja tulevaisuudessa yhä useammat laitteet tulevat olemaan langattomasti yhteydessä toisiinsa.

Tämän työn tarkoitus on tutustua muutamaan lyhyen matkan RF-tekniikan toteutukseen, niiden mahdollisiin käyttökohteisiin ja pohtia niiden tulevaisuutta. Tällä hetkellä suosituin tekniikka on WLAN (*wireless local area network*). WLAN on nopea langaton verkko, jota käytetään pääasiassa tietokoneiden välisessä tiedonsiirrossa, mutta WLAN on tulossa myös matkapuhelimiin. Tässä työssä keskitytään kuitenkin uudempiin RF-tekniikalla toteutettuihin laiteyhteyksiin. Tällaisia tekniikoita ovat muun muassa Bluetooth 2.0, Zigbee ja UWB (*ultra wide band*). Vertailuja suoritetaan sekä WLAN- että WiMAX-järjestelmiin mahdollisimman kattavasti.

Bluetooth esiteltiin vuonna 1999. Se otettiin melko nopeasti käyttöön erityisesti matkapuhelimissa. Parhaimmillaan sen nopeus on yksi megabitti sekunnissa ja kantama 100 metriä. Työssä käsiteltävä Bluetoothin toinen versio esiteltiin vuonna 2004. Paljoa ei kuitenkaan ole edellisestä versiosta muuttunut. Sen nopeus on kasvanut kolmeen megabittiin sekunnissa kantaman ollessa edelleen 100 metriä. /1/

Zigbee esiteltiin vuonna 2004. Se on suunniteltu lähinnä laitteiston kontrollointiin ja tiedon keräämiseen. Parhaimmillaan sen nopeus on 250 kilobittiä sekunnissa ja kantama 500 metriä. /2/

UWB esiteltiin myös vuonna 2001. Tekniikka on erittäin laajakaistainen ja erittäin nopea. Se soveltuu hyvin muun muassa videokuvan langattomaan siirtämiseen. Nopeus ylittää peräti yli 1 gigabittiin sekunnissa ja kantama 10 metriin. /3/

2.0 BLUETOOTH 2

Bluetooth yleistyi etenkin matkapuhelimissa melko nopeasti. Nykyään melkein jokainen matkapuhelin sisältää Bluetoothin ja kannettavissa tietokoneissakin Bluetooth löytyy integroituna yhä useammin. Muita käyttökohteita ovat muun muassa langattomat kuulokkeet ja hands free -laitteet. Tekniikan helppokäyttöisyys ja tietoturvallisuus ovat olleet olennaisia osia tekniikan laajassa käyttöönotossa.

2.1 Tekniikka yleisesti

Alun perin tekniikka kehitettiin äänen ja datan samanaikaiseen siirtämiseen lyhyillä matkoilla. Kritiikkiä tekniikka sai esimerkiksi siitä, että WLAN toimi samalla taajuudella ja samoilla aikaväleillä jolloin järjestelmät häiritsivät toisiaan.

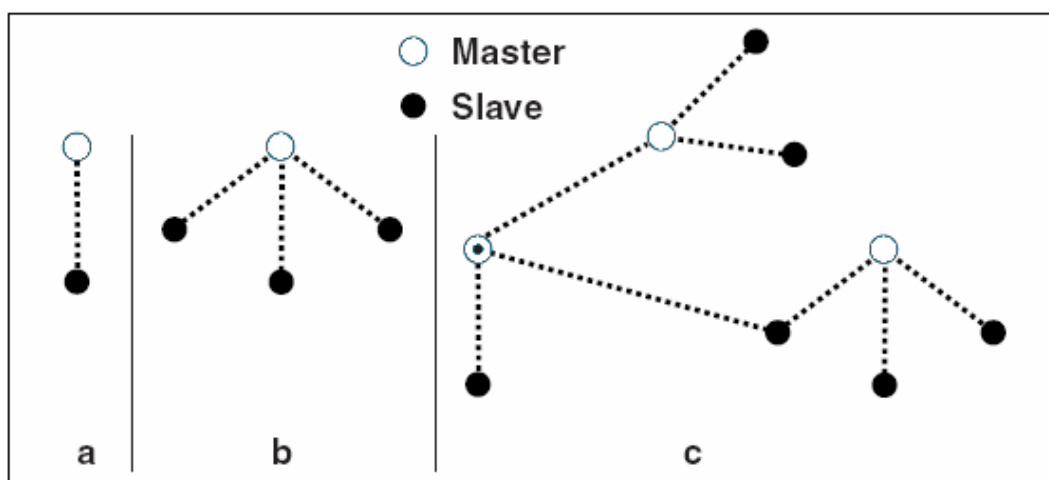
Tekniikan kehittämistä on jatkettu koko ajan. Yhteensopivuusongelma WLAN:n kanssa ja monia muita ongelmia on ratkaistu ja tekniikkaa on muutoinkin paranneltu. Työssä käsitellään kuitenkin lähinnä tekniikan versiossa 2 toteutettuja uudistuksia. Kehittelystä vastaavat SIG (*special interest group*)-ryhmät pitivät tarpeellisena muun muassa nopeuden lisäämistä. Spesifikaatioissa esiintyvä versiohistoria esitellään liitteessä 1. /4/

Bluetooth käyttää yleisesti käytössä olevaa taajuusaluetta, jossa on hyvin vähän rajoituksia. Tekniikka on toteutettu käyttämällä menetelmää nimeltään FHSS (*frequency hopping spread spectrum*). Menetelmässä käytetään hajaspektritekniikkaa ja taajuushyppelyä. Hajaspektritekniikka tarkoittaa sitä, että signaali on levitetty suhteellisesti laajalle taajuuskaistalle, ja taajuushyppely sitä, että kanavan kantoaalto vaihtaa taajuutta vastaanottimen ja lähtetimen tunteman sekvenssin mukaisesti. Menetelmän hyötyinä on muun muassa hyvä vastustuskyky kohinaa ja häiriöitä vastaan, sitä on vaikea salakuunnella ja se sallii useiden laitteiden käyttää samaa taajuutta.

Bluetooth pystyy siirtämään dataa kolmella eri tavalla. Joko asynkronisesti, synkronisesti tai isokronisesti. Asynkronisessa siirrosta vastaanottajan ja lähettäjän kellojen ei täydy olla samoja. Synkronisessa siirrosta taas kellojen täytyy käydä

samaa aikaa. Isokronisessa siirrossa esiintyy molempia siirtomuotoja. Yhdessä kanavassa voidaan siirtää joko asynkronisesti dataa (normaali datansiirto), samanaikaisesti kolme synkronista äänikanavaa (stereo hands free –laitteen käyttö) tai isokronisesti dataa ja ääntä (videon lähettäminen). Datan siirtotapa valitaan sovelluksen ja valitun profiilin mukaan.

Bluetooth lähettää käynnistyessään muun muassa seuraavia tietoja muille laitteille: laitteen nimen, laitteen teholuokan, palvelut, joihin laite pystyy ja laitteen teknisiä tietoja kuten, valmistajan tunnuksen, ominaisuuksia ja tiedon minkä spesifikaatioversion mukainen laite on. Mikä tahansa lähetetty data saattaa toimia yhteyden muodostajana. Jos jokin toinen laite sopivalla etäisyydellä on asetettu kuuntelemaan kaikkea liikennettä alueella, laitteet vaihtavat tietojään ja laitteiden asetuksien ja/tai käyttäjän toimien mukaan yhteys voidaan muodostaa. Ensimmäisenä tietojään lähettänyt laite asettuu master-laitteeksi, ellei sellaista ole jo alueella, muut asettuvat slave-laitteiksi. Master-laitteita voi olla vain yksi, kun taas slave-laitteita voi olla seitsemän. Master-laitteen yhteyden katketessa tai sen poistuttua slave-laitteiden läheisyydestä yhteys katkeaa ja uusi yhteys uudella masterilla on luotava. Verkon topologia on esitetty myös kuvassa 1.



Kuva 1. Bluetooth-verkon topologia

Jokaisella Bluetooth-laitteella on oma uniikki, 48-bittinen osoite BD_ADDR (*bluetooth device address*). Tästä osoitteesta laitteet voidaan erotella toisistaan. Lisäksi laitteet voivat saada 3-bittisen AM_ADDR-osoitteen (*active member address*), jos ne ovat aktiivisia osia verkossa. Lisäksi Bluetooth-laitteet saavat tietyltä master-laitteelta 72-bittisen pääsykoodin, access code. Koodi lähetetään jokaisen lähetetyn paketin yhteydessä, jotta paketti päättyy oikeaan verkkoon. Jos alueella olevalle toiselle master-laitteelle tulee paketti, jonka pääsykoodi ei täsmää, se tietää, ettei paketti kuulu sille ja se ei reagoi pakettiin.

Bluetooth-laitteet voidaan myös asettaa erilaisiin toimintatiloihin. Tällaisia tiloja ovat sniff, hold ja park. Sniff-tilassa slave-laite vähentää verkon tarkkailua ja käy ohjelmoidusti harvemmin synkronoimassa itsensä ja kuuntelemassa, lähetetäänkö sille dataa, mikä näin ollen vähentää tehontarvetta. Sniff-tila on eniten tehoa vievä virransäästötila. Hold-tilassa laite ei osallistu mitenkään verkon toimintaan, vaan se vain odottaa master-laitteelta tulevaa käskyä poistua hold-tilasta. Laite kuitenkin joutuu kuuntelemaan, koska käsky tulee ja näin ollen laite käyttää tehoa siihen. Hold-tila on toiseksi eniten tehoa vievä virransäästötila. Park-tilassa slave-laite ei osallistu datan siirtoon, mutta käy todella harvoin synkronoimassa itsensä master-laitteen kanssa ja kuuntelemassa, onko se lähettänyt kaikille laitteille lähetettäviä broadcast lähetyksiä. Park-tila vie vähiten tehoa virransäästötiloista.

Yksi Bluetoothin monikäyttöisyyden kulmakiviä ovat profiilit. Profiilit ovat määritelmiä, joiden mukaisesti laitteessa ajettavien sovellusten tai laitteen tulisi toimia. Profiilit mahdollistavat nopean sovellusten vaihtamisen ja eri valmistajien sovellusten yhteensopivuuden. Lista profiileista ja niiden toiminnasta on esitetty liitteessä 2. /4/

2.2 Taajuusalue

Bluetooth-tekniikka on rakennettu toimimaan 2,4 – 2,485 gigahertsin taajuudella. Alun perin taajuus oli yksi taajuuksista, joka kansainvälisillä sopimuksilla oli osoitettu teollisuuden, tieteen ja lääketieteen voittoa tavoittelemattomaan käyttöön. Se oli nimetty ISM-taajuudeksi (*industrial, scientific and medical*) ja sille ei ollut

asetettu muita rajoituksia kuin lähetysteho. Näin ollen myös yksityiset ja yritykset saivat näitä taajuusalueita käyttää. Tämän rajoittamattomuuden takia Bluetoothin lisäksi WLAN toimii samoilla taajuuksilla, jolloin tekniikat eivät aluksi toimineet hyvin keskenään.

Vaikka Bluetooth käyttää hajaspektritekniikkaa, se käyttää myös AFH-tekniikkaa (*adaptive frequency hopping*) vähentääkseen muiden samalla taajuudella toimivien RF-laitteiden aiheuttamia häiriöitä. AFH havaitsee taajuudet, joilla toimii jo muita staattisia laitteita ja valitsee oman taajuutensa sen mukaan. Laite voi valita 79:stä taajuudesta yhden megahertsin välein sen, jossa sen tulisi toimia.

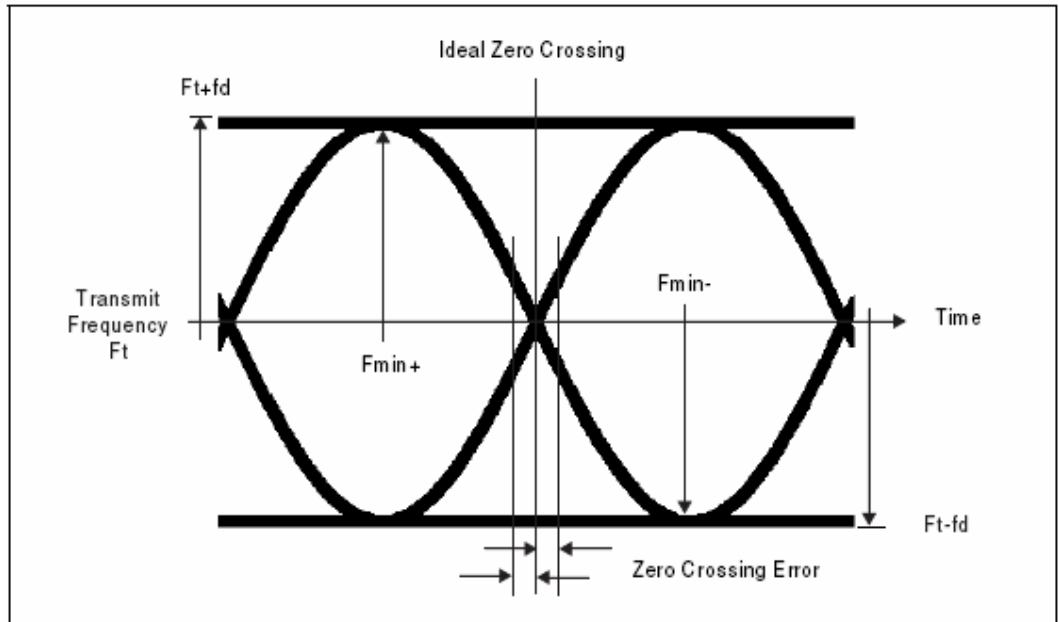
Yksi Bluetooth-yhteys käyttää taajuuskaistaa 1 megahertsin verran. Lisäksi yhteys on jaettu aikaväleihin. Data siirtyy paketteina, jotka on sijoitettu näihin aikaväleihin. Tarvittaessa yhdelle paketille voidaan myöntää useita aikavälejä, kuitenkin maksimissaan viisi. Yhteys on tyyppiä full-duplex, jolloin yhteyden käyttämässä kaistassa data voi liikkua molempiin suuntiin samanaikaisesti. Yhteyden osapuolista toinen toimii niin sanottuna master-laitteena, jonka mukaan kaikki muut laitteet eli slave-laitteet synkronoivat itsensä. Tällä tavoin synkronoidut laitteet muodostavat pikosolun. Pikosolussa voi muodostua fyysisiä linkkejä vain master- ja slave-laitteiden välillä. Kahden slave-laitteen välillä ei näin ollen ole suoraa yhteyttä, vaan kaikki liikenne kulkee master-laitteen kautta.

2.3 Modulaatio

Bluetoothin RF-signaalin modulointiin on käytetty taajuusavainnusta, GFSK (*gaussian frequency shift keying*). GFSK valittiin, jotta laitteet pysyisivät mahdollisimman yksinkertaisina.

GFSK:ssa loogiset tilat erotetaan toisistaan muuttamalla moduloivan signaalin taajuutta. Binaarinen tila 0 esitetään negatiivisella taajuuden muutoksella (taajuus pienenee referenssiin nähden) ja tila 1 positiivisella taajuuden muutoksella (taajuus kasvaa referenssiin nähden). Lisäksi signaalin amplitudin tulee olla Gaussin käyrän

muotoisen alueen sisällä. Kuva 2 määrittelee tarkemmin käytetyn GFSK:n parametrien merkityksen.



Kuva 2. GFSK:n parametrien määritelmä

Modulaatiolle on myös määrätty seuraavia arvoja: symbolin kesto ± 20 ppm, modulaatioindeksi $m = 0,28 - 0,35$ ja liuskajyrkkyys $BT = 0,5$.

Bluetooth 2.0 -spesifikaatioon lisättiin myös EDR (*enhanced data rate*). Merkittävää EDR:ssä on se, että datapaketti on moduloitu eri tavalla. Osa lähetetystä datasta liikkuu aiempien versioiden tavoin normaalisti GFSK-moduloituna, kun taas osa lähetetään vaihevainnettuna, PSK (*phase shift keying*).

Nopeammissa yhteyksissä käytetään modulaatioita nimeltään $\pi/4$ -DQPSK (*$\pi/4$ rotated differential encoded quaternary phase shift keying*) ja 8DPSK (*differential encoded 8-ary phase shift keying*).

2.4 Siirtonopeus ja -matka

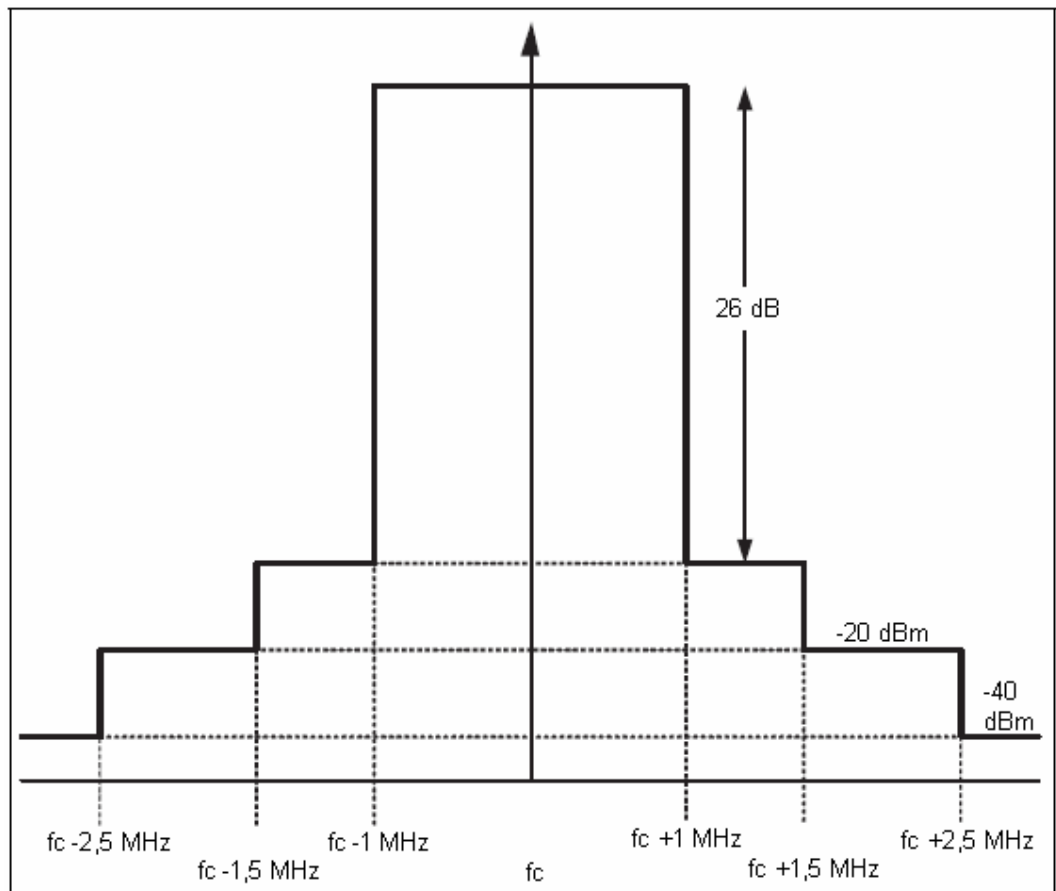
Bluetoothin spesifikaatiossa 1.2 on määritelty modulaation symbolinopeudeksi yksi megasymboli sekunnissa. Koska modulaatiomenetelmä on GFSK, symbolinopeus vastaa myös bittinopeutta. Näin ollen Bluetoothin perusnopeus on teoreettisesti yksi megabitti sekunnissa. Käytännössä on kuitenkin seuraavia rajoitteita: käytössä maksimissaan viisi aikaväliä vievä paketti, pääsykoodin, paketin otsikoiden ja virheentarkistustiedon lähetys ja odottelu jotta seuraava paketti voidaan lähettää. Näiden seikkojen vuoksi todelliseksi siirtonopeudeksi jää noin 723 kilobittiä sekunnissa. EDR:n avulla nopeutta voidaan lisätä teoreettisesti 3 megabittiin sekunnissa, mutta samojen rajoitusten takia käytännössä jäädyään hieman yli 2,5 megabitin sekuntinopeuteen.

Siirtomatkaan taas vaikuttaa eniten laitteen käyttämä teho. Spesifikaatio on määritellyt kolme eri teholuokkaa Bluetooth-laitteille. Luokkien tehotasot on esitelty taulukossa 1. /1/

Taulukko 1. Bluetooth:n teholuokat

Luokka	Maksimiteho	Nimellinen teho	Minimiteho	Kantomatka
1	100 mW (20 dBm)	-	1 mW (0 dBm)	100 m
2	2,5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)	10 m
3	1 mW (0 dBm)	-	-	1 m

Tehotasojen lisäksi on määritelty niin sanottu spektrimaski. Spektrimaski määrittelee tarkemmin tehot, jotka tietyllä kanavataajuudella saavat olla. Spektrimaski on esitetty tarkemmin kuvassa 3. /4/



Kuva 3. Yhden Bluetooth-kanavan spektrimaski

2.5 Käyttäjämäärä

Bluetoothissa yksi kanava on jaettu kahdeksaan aikaväliin. Jokaiselle aikavälille voidaan määrätä master-laitteen toimesta yksi yhteys toisesta laitteesta tai useita aikavälejä voidaan käyttää yhden yhteyden datansiirtoon. Näin ollen teknisesti asiaa tarkastellen vain yksi Bluetooth-laite voi siirtää dataa kerrallaan. Yhden aikavälin keston ollessa kuitenkin vain $625 \mu\text{s}$ käytännössä näyttää siltä, että kaikkien aikavälien ollessa käytössä jopa kahdeksan laitetta (joista yksi master) voi käyttää samaa taajuutta kerrallaan. Lisäksi asynkroniset slave-laitteet voivat mennä niin sanottuun park modeen, jolloin ne vain odottavat master-laitteen yhteydenottoa, jos niille on tulossa dataa. Tällä tavoin laitteita voi olla yhden master-laitteen alaisuudessa jopa 255 kappaletta, mikä on laiteosoitteiden maksimimäärä.

Muut tavat lisätä laitteita verkkoon on lisätä master-laitteita. Jokaisen lisätyn master-laitteen myötä syntyy uusi pikosolu, joita voi kuitenkin olla päällekkäin useita, kunhan ne eivät käytä samoja taajuuksia. Kun kaikkia taajuuskanavia varten on oma master-laitteensa, nousee mahdollinen käyttäjämäärä jopa 632 kappaleeseen mukaan luettuna master-laitteet tai asynkronisessa tiedonsiirrossa ja park modessa yli 20 000 kappaletta. Pikosolun koko voi olla ehkä vain yhden metrin, mutta jopa satojen laitteiden lisääminen niin pienelle alueelle on epätodennäköistä. Yleisin koko solussa on 10 metriä ja sellaisella alueella voi jo ollakin useita satoja laitteita jotka voivat hyödyntää langatonta datansiirtoa.

2.6 Tietoturva

Nykyisissä järjestelmissä tietoturvan merkitys on lisääntynyt huomasti. Varsinkin langattomissa verkoissa tietoturvaan panostetaan hyvinkin paljon aiemmista kokemuksista opittuna, esimerkkinä mainittakoon NMT-järjestelmän suojaamattomuuden hyväksikäyttö.

Aiemmin tässä työssä on mainittu jokaisella Bluetooth-laitteella oleva uniikki 48-bittinen osoite. Osoitetta pyritään siirtämään mahdollisimman vähän radiorajapinnalla tietoturvan takia. Useimmiten radiorajapinnalla lähetetään vain käyttäjän laitteelle määrittelemä nimi, mutta koska useat valmistajat määrittelevät tietyille laitemallille saman oletusnimen, voi tietyllä alueella olla useita samannimisiä laitteita. Usean samannimisen laitteen ollessa samalla alueella tai joidenkin sovellusten sitä vaatiessa osoitetta voidaan siirtää radiorajapinnalla.

Lisäksi Bluetooth-laitteiden osoitteet mahdollistavat niin sanotun parinmuodostuksen, jossa laitteet luokitellaan luotettaviksi toisiinsa nähden. Niin haluttaessa yhteydelle voidaan antaa salasana, PIN (*personal identification number*), joka tallennetaan ja kysytään joka kerta tai ei kysytä koskaan, kun samat laitteet ottavat uudestaan yhteyttä. Parinmuodostus myös mahdollistaa lähetetyn tiedon salauksen. Tämä on tärkeä seikka tietoturvan kannalta.

Bluetooth käyttää 128-bittistä SAFER+-algoritmia (*secure and fast encryption routine*) käyttäjän varmennukseen ja salausavaimien luontiin. Itse datan salaamiseen käytetään E0-salausta. E0 luo valesatunnaisen, yleensä 128-bittisen salausavaimen, joka lisätään lähetettävään dataan loogisella XOR-operaatiolla. Salauksen käyttö on mahdollista vain parin muodostaneiden laitteiden välillä. Lisäksi salaus ei ole aina automaattista, vaan käyttäjän toimia voidaan vaatia ennen salauksen käyttöönottoa.

Useita turvallisuusuhkia tekniikasta on kuitenkin löydetty. Vuonna 2003 löytyi tietoturva-aukko, joka mahdollisti henkilökohtaisten tietojen selville saamisen Bluetooth-laitteista. Vika johtui kuitenkin vain huonosti rakennetuista laitteista eikä itse tekniikasta. Vuonna 2004 löytyneen aukon avulla pystyi murtamaan äänikanavan suojauksen seuraamalla lähetystä ja päättelemällä siitä PIN-numeron eli koodin, jolla käyttäjä hyväksyi istunnon. Lisäksi samana vuonna löytyi ensimmäinen virus, joka pyrki leviämään Bluetoothin kautta. Lisäksi tehtiin koe jossa Bluetoothin signaalia kaapattiin jopa liki kahden kilometrin päästä. Vuonna 2005 tehtiin toimiva sovellus, jolla vuonna 2004 löydettyä aukkoa hyödynnettiin, eli PIN numero selvitettiin passiivisesti ja pystyttiin kuuntelemaan Bluetoothien välistä audioyhteyttä. /5/

2.7 Rajoitukset ja ongelmat

Kuten aiemmin on mainittu, yksi masterina toimiva Bluetooth-laite pystyy toimimaan vain yhdellä taajuudella kerrallaan ja sillä voi olla vain seitsemän slave-laitetta. Tämä on yksi suurimmista tekniikan rajoituksista. Ongelma voidaan kiertää muodostamalla useita pikosoluja, mutta tällöin kustannukset nousevat ja siirrettäessä dataa solusta toiseen viiveet kasvavat. Keskimääräisellä kymmenen metrin säteen omaavalla pikosolulla kahdeksan laitetta on melko vähäinen määrä, mutta kotiloissa pienempiä siirtonopeuksia vaativat sovellukset voivat hyödyntää loistavasti kyseistä tekniikkaa. Tekniikka on kuitenkin osoittanut hyödyllisyytensä tiloissa jossa laitteita on paljon, mutta solussa niitä ei ole montaa kerrallaan ja silloinkin yleensä lyhyen aikaa, esimerkiksi suurissa messuissa ja näyttelyissä.

Lisäksi ongelmaksi muodostuu edellisessä kappaleessa käsitelty tietoturva. Löydettyjen aukkojen kaltaisia tietoturvariskejä ei saisi esiintyä. Esimerkiksi puhelimen ja hands free -laitteen välistä liikennettä ei saisi ulkopuolinen kuunnella missään tapauksessa. Ongelman ratkaisemiseksi on ehdotettu PIN-numeron salausta ja yleisesti entistä vahvempien salauksien käyttöä, mutta vielä ei ole asiaan spesifikaatioiden puolesta puututtu. Käyttäjä voi vaikuttaa omaan tietoturvaansa vaihtamalla salasanoja usein ja mahdollisuuksien mukaan salakirjoittamalla data joka lähetetään.

2.8 Laitteiden hinnat

Yksi Bluetooth-tekniikan suurimmista kilpailueduista on sen hinta. Pikosolussa esiintyy vain yhden kaltaista laitetta sekä vastaanottajalla että lähettäjällä, eikä erityisiä tukiasemia tai toistimia tarvita. Lisäksi laitteiden koko on hyvin pieni ja lisäksi ne kuluttavat hyvin vähän tehoa.

Yksi Bluetoothin suunnittelussa asetettu tavoite oli saada piirien tuotantokustannukset alhaiseksi. Tavoitteeksi asetettiin viiden dollarin hinta piiriä kohden. Tavoitteeseen ei ole päästy markkinahintaisilla laitteilla, mutta piirien valmistuksessa käytettävien menetelmien kehittyessä ja laitteiden markkinoiden kasvaessa päästään yhä lähemmäs tavoitetta.

Esimerkiksi PC-laitteistoon liitettävä Bluetooth-laite, ”Dongle”, maksaa noin kaksikymmentä euroa, itse piiri on noin kymmenen euron hintainen.

3.0 ZIGBEE

Zigbee on hyvin uusi tekniikka, jota ei vielä löydy markkinoilla olevista laitteista. Useiden laitevalmistajien yhteistyön tuloksena syntynyt Zigbee on tekniikka, joka on tarkoitettu hitaaseen, mutta halpaan tiedonsiirtoon. Lähinnä se on suunniteltu kauko-ohjaimien ja etäältä tapahtuvan tiedonkeruun RF-rajapinnaksi.

3.1 Tekniikka yleisesti

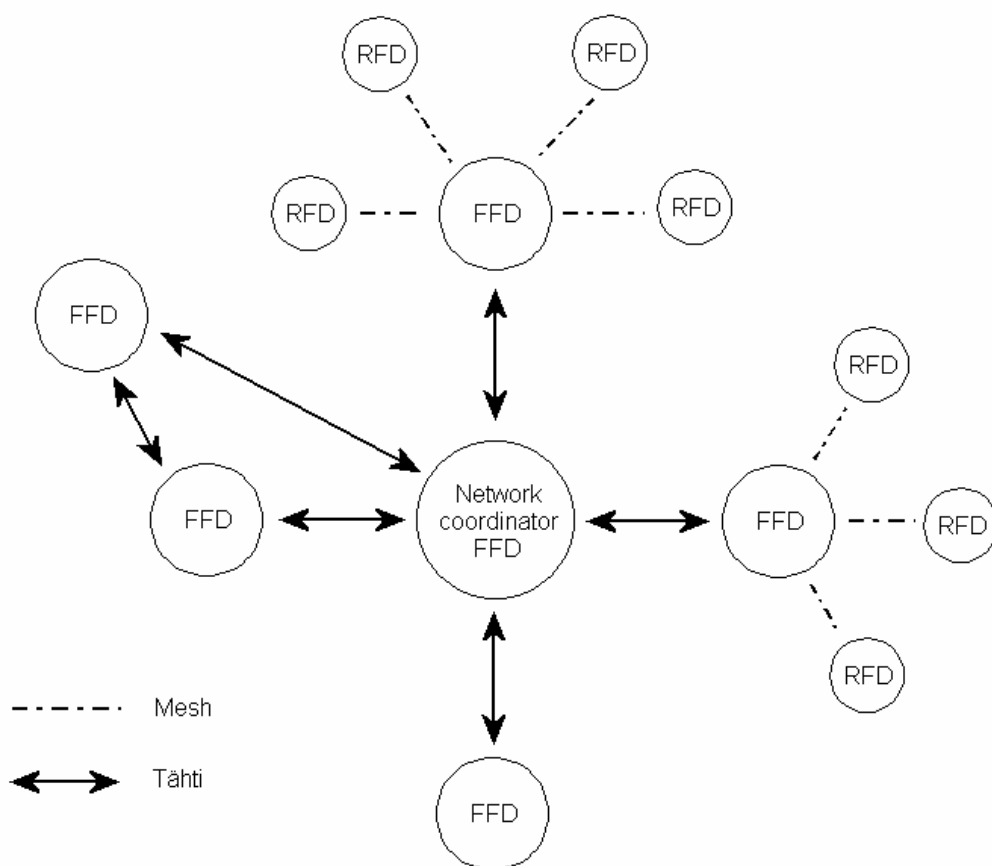
Etuina vanhaan infrapunalla tapahtuvaan kauko-ohjaukseen verrattuna Zigbee toteutetaan RF-tekniikalla, jolloin näköesteet kauko-ohjaimen ja ohjattavan laitteen välillä eivät häiritse. Lisäksi Zigbee on suunniteltu toimimaan useamman laitteen kanssa, kun infrapuna yleensä toteutettiin toimimaan vain yhden laitteen kanssa.

Toinen erittäin käyttökelpoinen käyttökohde Zigbeelle on automaatio, niin teollisuudessa kuin kotonakin. Zigbeellä voidaan yhdistää useita sensoreita tai muita tietoa kerääviä laitteita ja lähettää tiedot langattomasti johonkin valvomoon tai säätölaitteille. Tämä mahdollistaa muun muassa tilojen muuttamisen ilman hankalia ja kalliita johdotuksien uusimisia.

Yksi tekniikan hyödyistä on, että se on erittäin hyvin laajennettavissa. Uuden laitteen tuominen alueelle ja liittäminen on äärimmäisen yksinkertaista. Lisäksi ohjauksia voidaan muuttaa varsin helposti, näin ollen yhdellä napin painalluksella voidaan saada aikaan mitä erilaisimpia toimintoja säädettävien laitteiden ominaisuuksien mukaan.

Tekniikan spesifikointi on vielä kesken. Useita asioita ei vielä ole päätetty lopullisesti, mutta kehitystä jatketaan edelleen ja laitteita voidaan odottaa markkinoille vasta muutaman vuoden kuluttua. Lisäksi vapaasti saatavilla oleva spesifikaatio ei käsittele itse laitteistoa vaan pelkkää yleistä toimintaa ja ohjelmistoa. Raudan osalta spesifikaatiot ovat jaossa ainoastaan kehittämiseen osallistuville yrityksille. Spesifikaatio on tätä työtä tehtäessä vasta versiossa 1.0 ja työ käsittelee pääosin siinä esiintyviä seikkoja. /2/

Laitteita on itse asiassa kolme eri tyyppiä. Verkon koordinaattori (*network coordinator node*) on laite, joita on vain ja ainoastaan yksi verkkoa kohden. Se toimii linkkinä verkkojen välillä sekä varastoi tietoja verkon rakenteesta ja siinä olevista laitteista. Täyden toiminnan laite FFD (*full function device*), taas on laite, joka toimii normaalina koordinaattorina eli reitittimenä ja välittää dataa laitteiden välillä. FFD pystyy myös toimimaan verkon koordinaattorina. Kolmas laitetyyppi on rajoitetun toiminnan laite RFD (*reduced function device*), joka pystyy lähettämään ja vastaanottamaan dataa ainoastaan koordinaattorille. Maksimoidakseen käyttöaikansa eli minimoidakseen tehonkulutuksensa RFD pystyy menemään virransäästötilaan jolloin se herää vain lähettääkseen dataa. Verkon topologia on esitetty myös kuvassa 4.



Kuva 4. Zigbee-verkon topologia

Kolmen erilaisen laitetyyppin lisäksi laitteet voivat lähettää kolmea erityyppistä dataa. Jaksollinen data (*periodic*) on dataa, joka lähetetään silloin tällöin

määritellyn jakson mukaan ja lopun aikaa laite on virransäästötilassa. Keskeyttävä (intermittent) data on dataa, joka lähetetään vasta, kun määritelty keskeytys tulee eli tapahtuma tapahtuu tai jokin arvo saavuttaa jonkin rajan. Muun ajan laite on jälleen virransäästötilassa. Toistuva (repetitive) data on dataa, jolle on annettu yksi aikaväli tai useampi, jotta laite voi sen aikana lähettää sitä ja varmistetaan, että vastaanotin myös kuulee sen. Laite toimii jatkuvasti eli se ei mene virransäästötilaan.

3.2 Taajuusalue

Zigbee käyttää kolmea erilaista taajuutta ja tämän takia laitteessa on kaksi fyysistä radiorajapintaa. Taajuudet sijaitsevat ISM-taajuusalueella, 2,4 gigahertsissä, 915 ja 868 megahertsissä. Tekniikka käyttää myös hajaspektritekniikkaa, DSSS (*direct sequence spread spectrum*). Taajuuskaistaa Zigbee käyttää 2 megahertsia kanavaa kohden.

Zigbeeen käyttämät taajuusalueet ja kanavointi ovat hieman epäjohdonmukaista. 868 – 870 megahertsin alueella sijaitsee kanava 0. 902 – 928 megahertsin alueella toimivat kanavat 1-10. Lopuksi 2,4 – 2,4835 gigahertsin alueella toimivat kanavat 11- 26.

3.3 Modulaatio

Zigbeeen käyttämien taajuusalueiden lisäksi myös modulaatiossa on vaihtelua. Alemmat taajuudet käyttävät binaarista vaiheavainnusta BPSK (*binary phase shift keying*). BPSK:ssa kantoaallon vaihe kertoo, onko signaalin tila yksi vai nolla.

Ylempi taajuus käyttää ortogonaalista nelivaiheista vaiheavainnusta O-QPSK (*orthogonal quadrature phase shift keying*). O-QPSK:ssa kantoaalto voi olla neljässä eri vaiheessa ja jokainen vaihe voidaan tulkita eri tilaksi eli kahdeksi bitiksi.

3.4 Siirtonopeus ja -matka

Zigbeeen siirtonopeus on hyvin riippuvainen sekä taajuudesta että modulaatiosta. Taulukossa 2 on esitetty Zigbeeen siirtonopeudet. /2/

Taulukko 2. Zigbeeen siirtonopeudet

Taajuusalue	Levitysparametrit		Dataparametrit		
	Chip rate	Modulaatio	Bittinopeus	Symbolinopeus	Modulaatio
868-870 MHz	300 kchip/s	BPSK	20 kbit/s	20 baud	BPSK
902-928 MHz	600 kchip/s	BPSK	40 kbit/s	40 baud	BPSK
2,4-2,4835 GHz	2 Mchip/s	O-QPSK	250 kbit/s	62.5 baud	16-ary orthogonal

Siirtomatka taas on riippuvainen käytetystä tehosta. Järjestelmä on tosin suunniteltu äärimmäisen tehorajoitteiseksi. Yksi suunnittelun tavoitteista olikin päästä mahdollisimman vähäiseen tehonkulutukseen ja tämä tavoite saavutettiin, sillä yksittäinen Zigbee-laite voi toimia jopa kaksi vuotta yhdellä alkaliparistolla. Normaali lähetysteho kuitenkin on noin kahdenkymmenen milliwatin luokkaa jolla tyypillinen siirtomatka on viisikymmentä metriä. Ympäristön ja muiden tekijöiden mukaan matka voi olla kymmenestä metristä jopa muutamaan sataan metriin.

3.5 Käyttäjämäärä

Tehonkulutuksen ohella yksi tärkeimmistä suunnitteluun vaikuttaneista tekijöistä oli käyttäjämäärä. Zigbee-laitteet saavat verkon koordinaattorilta 64-bittisen osoitteen. Tästä kuusitoista bittiä on määritelty verkon osoitteeksi, näin ollen eri verkkoja voidaan luoda jopa 65536 kappaletta. Loput bitit määrittelevät laitteen osoitteen kyseisessä verkossa, eli verkossa voi olla yli 281 biljoonaa laitetta. Näin ollen laitteita voi järjestelmässä kaiken kaikkiaan olla $2^{64} = 18,45$ triljoonaa. Jos verkossa on vähän laitteita, niille voidaan antaa vain 16-bittinen pikaosoite, jolloin lähetettävät kehykset lyhenevät hieman.

Näin suuri määrä laitteita yhden verkon tyypillisessä 50 metrin solussa on tätä nykyä äärimmäisen epätodennäköistä, mutta tulevaisuudessa esimerkiksi suuret

sairaalat voivat seurata ja ohjata jokaista rakennuksessa olevaa laitetta menettämättä laitteiden liikuteltavuutta ja pelastaa mahdollisesti ihmishenkiä.

3.6 Tietoturva

Zigbee on suunniteltu myös tietoturvalliseksi. Hajaspektritekniikan tuoman turvallisuuden lisäksi spesifikaatio määrittelee neljä erilaista palvelua turvallisuuden takaamiseksi.

Ensimmäinen palvelu on pääsyn hallinta. Yksinkertaisimmillaan selitettynä laitteet ylläpitävät luotettavaksi luokiteltujen laitteiden osoitteita, ja ainoastaan luotetuilta laitteilta tulevat lähetykset otetaan vastaan.

Toinen palvelu on datan salaus. Laitteet käyttävät symmetristä 128-bittistä AES-standardia (*advanced encryption standard*) datan salaukseen.

Kolmas palvelu on kehyksien koskemattomuuden tarkastus. Tämä palvelu suojaa dataa oikeita avaimia omaamattomien laitteiden tai käyttäjien muokkauksilta.

Neljäs palvelu on datan ”tuoreuden” tarkistus. Tarkistus estää lähinnä lähetyksien toistoa. Vastaanottaja tarkistaa lähetyksissä juoksevaa lukua, joka ilmoittaa lähetyksen tuoreuden ja vertaa sitä edelliseen, tunnettuun tulokseen ja hylkää lähetyksen, jos se ei vastaa odotettua.

3.7 Rajoitukset ja ongelmat

Yksi odotettavissa olevista ongelmista liittyy juuri Zigbeeen vahvuuksiin eli tehonkulutukseen. Laitteiden on tarkoitus toimia jopa kaksi vuotta yhdellä paristolla ja tämä asettaa tiukkoja vaatimuksia laitteistolle. Valmistajien täytyy noudattaa spesifikaation mukaista laitteiden rakennetta ja laitteet mitataan erittäin tarkasti ennen kuin niitä voidaan laskea markkinoille. Yksikin vika suunnittelussa tai laitteistossa voisi aiheuttaa sen, että laitteet kuluttavat enemmän tehoa kuin valmistaja on luvannut, jolloin esimerkiksi yritys, joka käyttää Zigbee-laitetta

kriittisessä sensorissa, voi kärsiä tappioita, kun laite ei toimikaan niin kauan kuin on luvattu.

Zigbeen suunnittelun ja arkkitehtuurin vuoksi sen suurimmat vahvuudet ja rajoitukset ovat juuri tehonkulutuksen myötä siirtomatka ja siirtonopeus. Tämän takia Zigbee soveltuu vain tiettyyn tarkoitukseen, johon se suunniteltiin.

3.8 Laitteiden hinnat

Zigbee-laitteet eivät ole vielä ehtineet markkinoille, joten niiden hinnat ovat vielä avoinna. Kuitenkin tekniikkaa suunniteltaessa yksi tavoitteista oli tehdä tekniikasta mahdollisimman halvan toteuttaa. Tekniikka onkin muun muassa Bluetoothia huomattavasti halvempi ja se kilpailee lähinnä infrapun kanssa, joka maksaa vain muutamia kymmeniä senttejä yksikköä kohden.

Myös Zigbeen suunnittelussa asetettiin tavoite saada piirien tuotantokustannukset alhaiseksi. Tavoitteeksi asetettiin yhden dollarin hinta piiriä kohden. Kuten Bluetoothilla, tavoitteeseen ei ole päästy markkinahintaisilla laitteilla. Tekniikka on kuitenkin hyvin uusi ja markkinat ovat vasta alustavat, tulevaisuudessa laitteiden hinnat tulevat saavuttamaan täydellisen kilpailukykyä.

Piiri on onnistuttu valmistamaan tavalla, jolla massatuotettuna sen hinta olisi alle tavoitteena olleen yhden dollarin. Tekniikan markkinoille tullessa on hyvin mahdollista, että hinta laskee entisestään, ja näin ollen tekniikka korvaa hyvin todennäköisesti ainakin infrapun melko nopeasti.

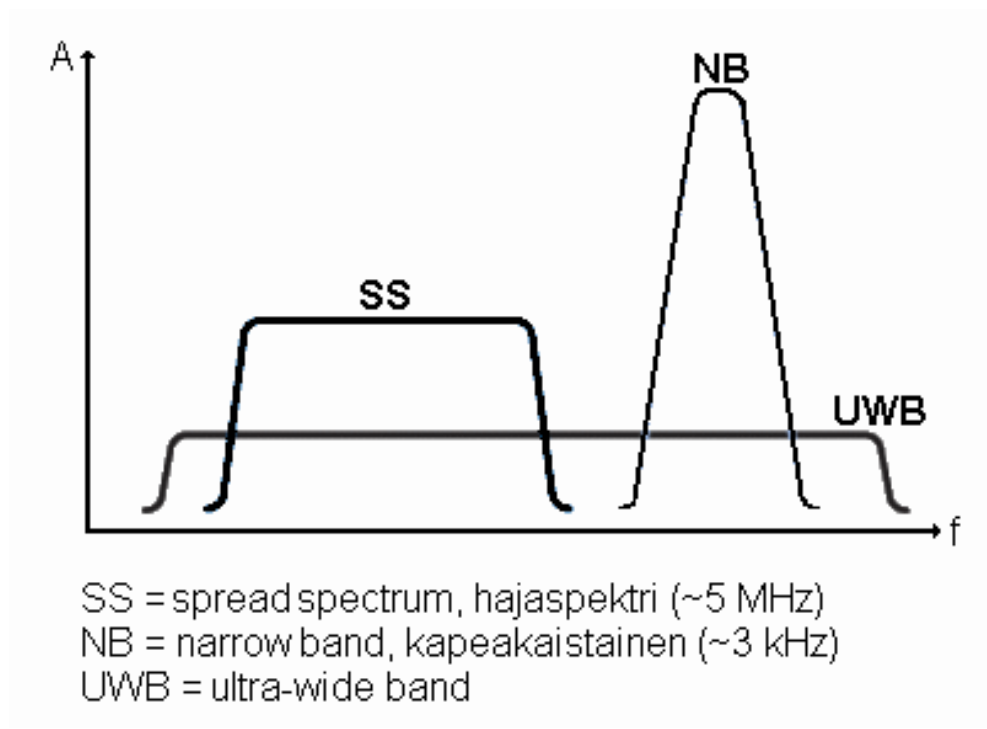
4.0 UWB

UWB (*ultra wide band*) on myös tekniikka, jota ei vielä löydy markkinoilla olevista laitteista. Tekniikka perustuu hyvin laajaan käytettävissä olevaan kaistaan. Tekniikalla on mahdollisuus saavuttaa hyvin suuret tiedonsiirtonopeudet vähäisellä tehonkulutuksella. Tekniikan käyttökohteet ovat varsin laajat niin koti-, teollisuus- kuin sotilaskäytössä.

4.1 Tekniikka yleisesti

Tekniikkaa on suunniteltu hyödynnettäväksi erityisesti viihdelaitteiden yhteydessä siirtämään dataa ohjelmalähteestä päätelaitteisiin, mutta tekniikka soveltuu hyvin myös perinteiseen datansiirtoon. Lisäksi tekniikka soveltuu lyhyen matkan tutkien valmistamiseen. Tutkia voidaan käyttää esimerkiksi ajoneuvoissa törmäyksen tunnistimina, lääketieteessä röntgenlaitteen tavoin ja maan alla tai seinien sisällä sijaitsevien esineiden paikallistamiseen.

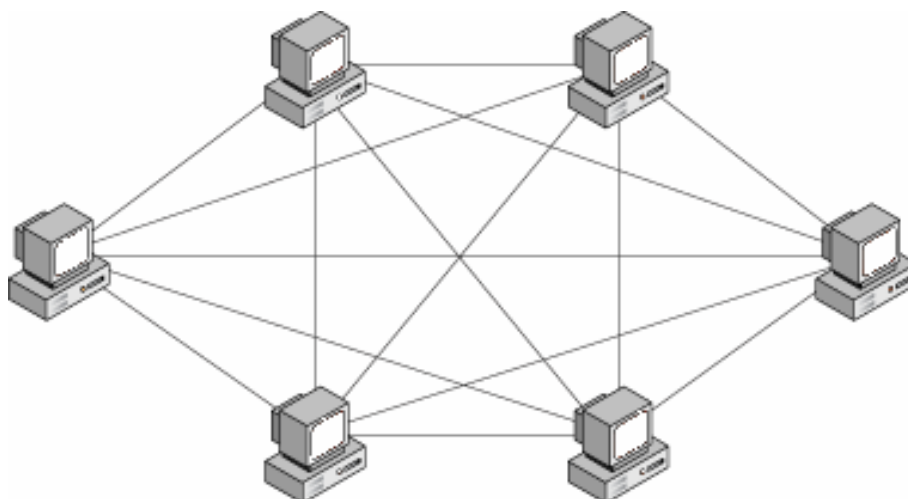
Perusteiltaan tekniikka on hyvin erilainen kuin perinteiset tekniikat, mutta silti varsin yksinkertainen. Tekniikassa ei käytetä perinteistä siniaaltoon perustuvaa kantaaltoa, vaan signaali koostuu useista alle nanosekunnin kestävästä matalaenergisistä pulsseista. Pulssimainen signaali luonnollisesti leviää hyvin suurelle taajuuskaistalle. Tällaisesta pulsseista koostuva signaali ei teoreettisesti häiritse muita taajuusalueella olevia laitteita, koska UWB-laite lähettää niin lyhyen ajan ja niin pienellä teholla, etteivät muut laitteet ehdi reagoimaan lähetykseen. Maailmalla suoritettujen testien mukaan ei tähän mennessä ole löytynyt järjestelmää, jota UWB häiritsisi merkittävästi. Lyhyet pulssit tarkoittavat myös sitä, että lähetys on vaikea havaita, jollei tunne taajuutta. Tämän johdosta tekniikkaa sopii myös sotilaskäyttöön. UWB:n, yleisen kapeakaistaisen lähetyksen ja hajaspektritekniikan ero nähdään kuvassa 5.



Kuva 5. Kaistanleveyksien vertailua

Tekniikka siis muistuttaa hyvin paljon hajasperktritekniikkaa, mutta lisäksi UWB:ssa käytetään kolmannen sukupolven matkapuhelimista tuttua koodijakokanavointia, CDMA (*code division multiplexing access*). Käyttäjät erotellaan eri koodeilla jolloin käyttäjät voivat samanaikaisesti käyttää samaa taajuutta häiritsemättä muita käyttäjiä. Koodit myös mahdollistavat signaalin levittämisen niin laajalle kaistalle, että signaali voi peittyä luonnossa esiintyvän kohinan alapuolelle. Koodit tarjoavat niin sanottua koodausvahvistusta, korreloidessaan oikean koodin kanssa kohinan alapuolella oleva signaali vahvistuu niin, että signaali voidaan havaita.

Yksi tärkeimmistä tekniikan eduista on kuitenkin se, että laitteet ovat hyvin yksinkertaisia valmistaa. Laitteet ovat lähes kokonaan digitaalisia ja tämä vähentää sekä suunnittelun tarvetta, että laskee laitteiden hintoja. Lisäksi tekniikka soveltuu hyvin käytettäväksi missä tahansa RF-spektrillä tai jopa langattomuuden sijasta langallisena. Lisäksi verkko on niin sanottu mesh-verkko, eli jokainen laite voi ottaa yhteyden toiseen laitteeseen tai välittää laitteelta toiselle menevän datan. Mesh-verkon topologia on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Mesh-verkon topologia

Tekniikka voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Näitä eri toteutustapoja kannattavat ryhmät ovat ajautuneet suuriin kiistoihin siitä, mitä tapaa tulisi edelleen kehittää ja standardoida, jotta saataisiin aikaan maailmanlaajuinen standardi. Tällä hetkellä suosituimmat toteutustavat ovat MB-UWB (*multiband ultra wide band*) ja DS-UWB (*direct sequence ultra wide band*). DS-UWB pohjautuu alkuperäiseen lyhyiden pulssien muodostukseen kun taas MB-UWB on uudempi ja monimutkaisempi. MB-UWB:n tukena on enemmän yrityksiä kuin DS-UWB:n tukena, mutta silti molemmilla on lähes yhtä paljon kannattajia. Tekniikat jatkavat kehitystään erillään ja tulevaisuudessa tullaan näkemään molempia laitteita markkinoilla, mutta todennäköisesti suurin osa niistä tulee olemaan MB-UWB:llä toteutettuja.

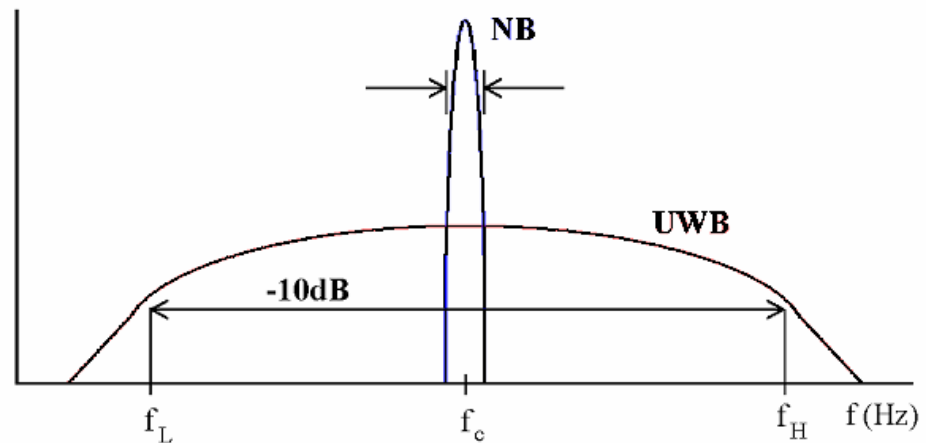
Molempien tekniikoiden kannattajat ovat kuitenkin käsittäneet mahdolliset ongelmat joita kahden eri tekniikan käytöstä olisi voinut aiheuttaa. Jotta tekniikat saataisiin ymmärtämään toisiaan, kehiteltiin niin sanottu CSM (*common signaling mode*). CSM:n olisi tarkoitus käyttää osa UWB:n kaistasta jossa eri tekniikan laitteet voisivat laitteiston tasolla ymmärtää toisiaan ja sopia erinäisiä asioita jotta tiedonsiirto laitteiden välillä onnistuisi. DS-UWB:llä on valmiudet ottaa tekniikka käyttöön, mutta MB-UWB:hen sen lisääminen olisi monimutkaista. Tekniikka ei ole saanut kovinkaan paljon suosioita ja todennäköisesti sitä ei sisällytetä ensimmäisiin laitteisiin, mutta tekniikan yleistyessä vähintään toisen toteutustavan on turvauduttava joko CSM:n käyttöön, tai kehitettävä vastaava tekniikka. /6/

4.2 Taajuusalue

Kuten aikaisemmin on mainittu, UWB-laitteen signaali koostuu pulsseista, joten se ei teoreettisesti aiheuta häiriötä muille samalla taajuusalueella oleville laitteille. Tämä mahdollistaa sen, että tekniikkaa voitaisiin käyttää missä tahansa RF-spektrillä. Tekniikalle ei kuitenkaan ole annettu viranomaisten toimesta omaa taajuusaluetta muualla maailmassa kuin Yhdysvalloissa. Muun muassa Euroopassa ja Japanissa on tehty esityksiä mahdollisesti UWB:lle myönnettävistä taajuuksista, mutta päätöksiä ei ole vielä tehty.

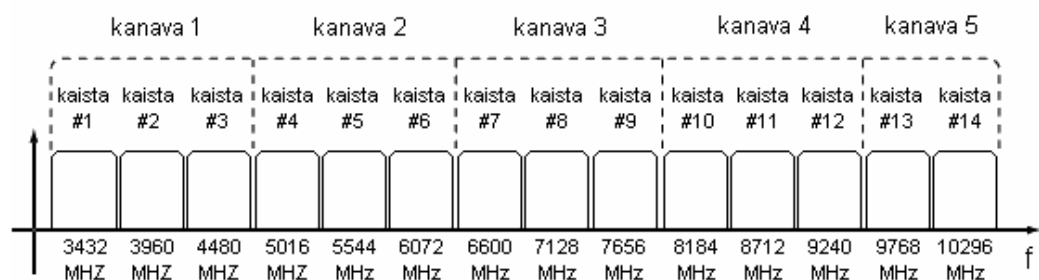
Helmikuussa 2002 Yhdysvaltalainen FCC (*federal communications commission*) myönsi UWB-laitteille taajuudet ja tehorajat joita se saa käyttää. Suurin osa liikenteestä tapahtuu 3,1-10,6 gigahertsin taajuuksilla. Lisäksi autoihin suunnitellut törmäystunnistimet saivat oman taajuusalueensa 22-29 gigahertsistä. Muunlaiset tutkat toimivat joko alle 960 megahertsin tai 1,99-10,6 gigahertsin alueilla. Lähes samoja taajuuksia on suunniteltu käytettävän myös muualla maailmassa. Koska UWB toimii taajuusalueilla joilla on jo muita kriittisiä järjestelmiä, kuten satelliittiradiot ja kolmannen sukupolven matkapuhelimet, FCC antoi hyvin tarkat rajat lähetettävälle teholle. /7/

UWB käsitetään yleisesti signaalina, jonka kaistanleveys on suurempi kuin 25% signaalin keskitaajuudesta tai yli 1,5 gigahertsiä. FCC kuitenkin vaatii UWB:ltä, että signaalin kaistanleveys on oltava suurempi kuin 500 megahertsiä –10 desibelin pisteistä mitattuna. Asiaa on selventämässä kuva 7.



Kuva 7. FCC:n määritelmä UWB:sta

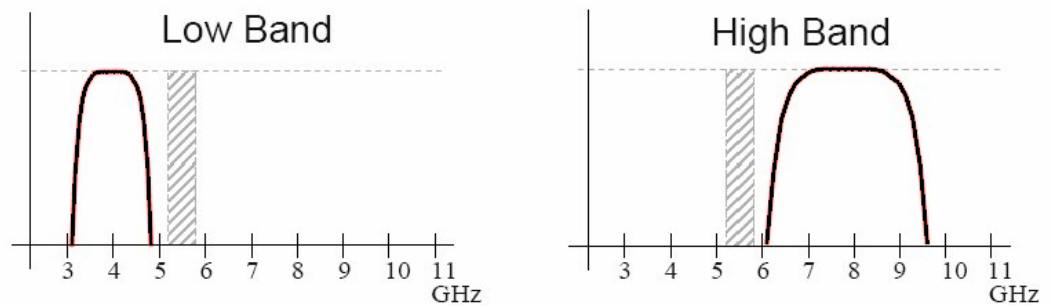
Lisäksi MB-UWB ja DS-UWB lähestyvät kanavanjakoa eri tavalla, jolloin myös niiden taajuusalueet poikkeavat hieman toisistaan. MB-UWB:ssa taajuusalue 3,1-10,6 gigahertsiä jaetaan ryhmiin eri käyttötarkoitusten mukaan. Jokainen ryhmä jaetaan vielä kolmeen kaistaan joiden leveys on 528 megahertsiä. Jokainen kaista koostuu 128:sta 4,125 megahertsiä leveästä OFDM alikantoaallostaa, joista 100 siirtää dataa ja 12 ovat niin sanottuja pilotteja. Loput alikantoaallot toimivat suojinna, jottei kanavassa siirtyvä data menisi päällekkäin viereisen kanavan kanssa. Taajuuksien jako ja ryhmittely on esitetty kuvassa 8. Dataa siirretään joko jatkuvasti yhdessä kaistassa tai se voi käyttää neljää erilaista taajuushyppelysekvenssiä.



kanava 1: ensimmäisen sukupolven laitteet (3,1 - 4,7 MHz)
 kanava 2: käyttö tulevaisuudessa (4,7 - 6,3 MHz)
 kanava 3: käyttö tulevaisuudessa (6,3 - 7,9 MHz)
 kanava 4: käyttö tulevaisuudessa (7,9 - 9,5 MHz)
 kanava 5: käyttö tulevaisuudessa (9,5 - 10,3 MHz)

Kuva 8. MB-UWB:n taajuuden jako

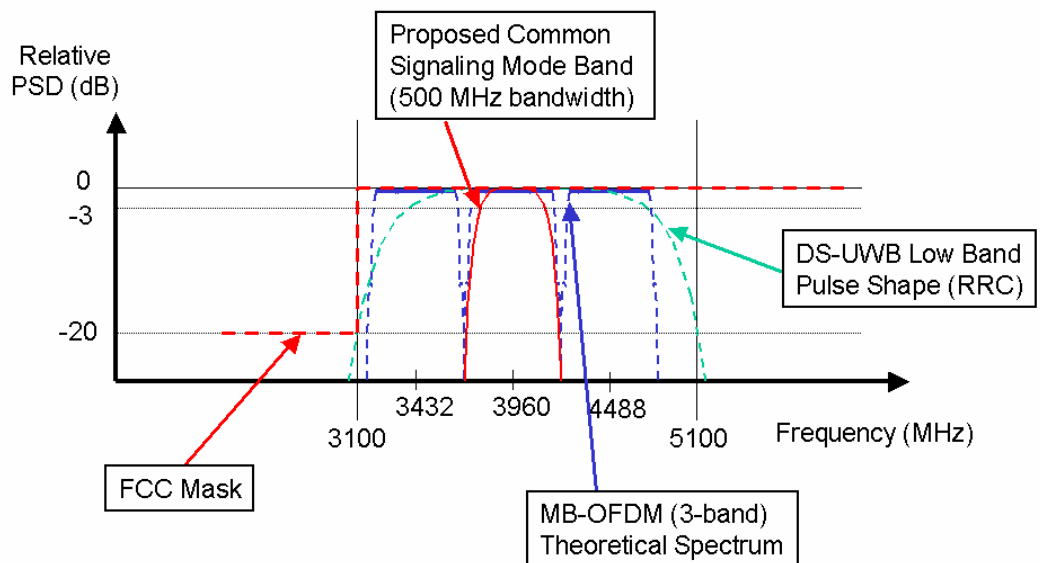
DS-UWB taas käyttää kahta erillistä taajuusaluetta. Niin sanottu alempi kaista (low band) sijaitsee 3,1-4,85 gigahertsin alueella ja niin sanottu ylempi kaista (high band) sijaitsee 6,2-9,7 gigahertsin alueella. Taajuuksien jako on esitetty kuvassa 9. Käytettävä kaista voi olla joko alempi, ylempi tai molemmat. Kaista valitaan siirtotarpeen mukaan.



Kuva 9. DS-UWB:n taajuuden jako

Molemmat tekniikat käyttävät koodijakoista kanavointia, näin ollen käytettävissä olevan koodin mukainen levityskerroin vaikuttaa myös lähetyksen viemään kaistaan. MB-UWB:llä levityskerroin voi olla 1, 2 tai 4. DS-UWB:llä taas 1-32.

Lisäksi kuvassa 10 on esitetty CSM:lle suunniteltu taajuusalue.



Kuva 10. Ehdotus CSM:n sijainnista taajuuskaistalla

4.3 Modulaatio

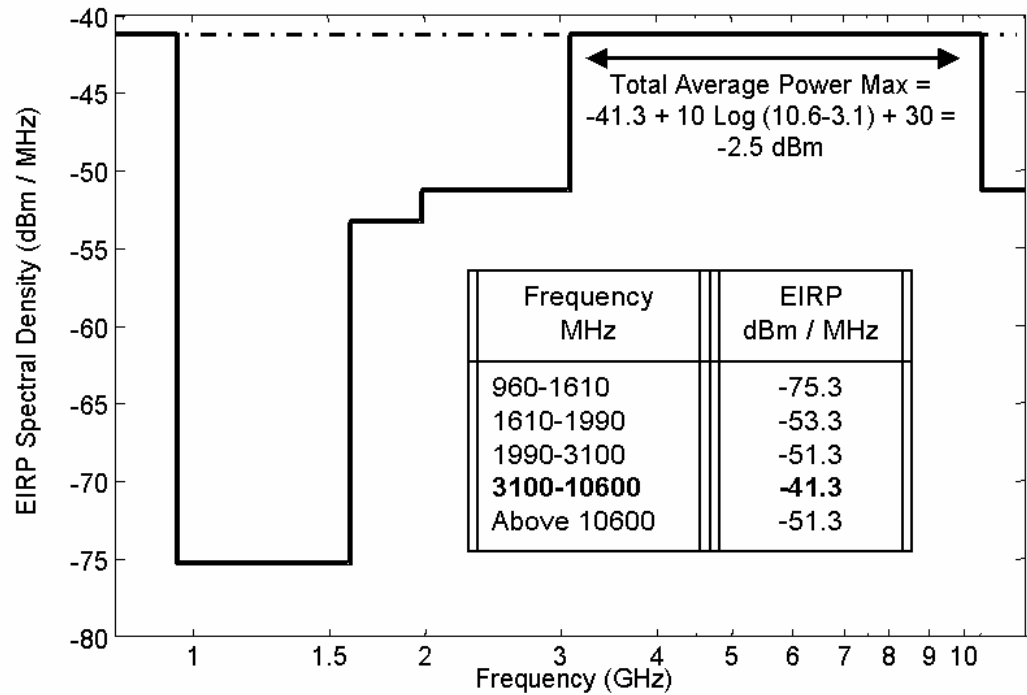
Koska FCC antoi UWB:lle tarkat rajat lähetettävästä tehosta, jouduttiin modulaatio valitsemaan sen mukaisesti. Kaksi mahdollista menetelmää olivat PSK (*phase shift keying*) ja PPM (*pulse position modulation*).

MB-UWB:n tapauksessa lähetettävälle datalle suoritetaan 128-bittinen käänteinen nopea Fourier-muunnos, jolloin muodostuu 128 OFDM kantaaltoa. Modulaation konstellaatiot rajoittuvat kuten QPSK:lla (*quadrature phase shift keying*) eli neljään. Ennen lähettämistä signaali vielä salataan ja levitetään koodeilla.

DS-UWB käyttää modulaationaan kaksivaiheista pulssimodulaatiota, BPM (*biphase pulse modulation*). Signaalin vaihe vaihtelee nollan asteen ja 180 asteen välillä riippuen onko lähetettävä datan looginen tila 0 vai 1. Ennen lähettämistä signaali vielä salataan ja levitetään koodeilla.

4.4 Siirtonopeus ja –matka

Erilaisilla tekniikoilla toteutetut UWB-laitteet ovat loppujen lopuksi melko lähellä toisiaan siirtonopeudessa ja –matkassa. Molempien tehotasot on rajattu FCC:n toimesta todella matalalle, noin –40 desibelin tasolle. Matala tehotaso rajoittaa niin siirtomatkaa, kuin myös käytettävissä olevia modulaatiomenetelmiä ja täten siirtonopeuksia. Tosin matala lähetysteho myös mahdollistaa UWB:n todella laajan kaistan, joten sana rajoitus on hieman väärä asiayhteydessä. FCC:n antama spektrimaski on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. FCC:n antama spektrimaski UWB:lle

Merkittävin ero eri tekniikoiden välillä siirtonopeudessa on kaistan käyttö. MB-UWB käyttää vakiona pysyvää kaistaa, joka on leveydeltään 528 megahertsiä. DS-UWB voi käyttää alemmaa 1,75 gigahertsiä leveätä kaistaa, ylempää 3,5 gigahertsiä leveätä kaistaa tai molempia. Tästä johtuen DS-UWB:llä saavutetaan nykyisillä laitteilla suurempi siirtonopeus lyhyellä matkalla. Suuntaa antavia eroja tekniikoissa on esitelty taulukossa 3. /6/

Taulukko 3. Eri UWB-tekniikoiden siirtonopeus ja -matka

UWB tyyppi	Siirtomatka m	Kaistanleveys MHz	Nopeus Mbps
MB-UWB	10	528	200
MB-UWB	3	528	480
DS-UWB	13	1750 / 3500	220
DS-UWB	7	1750 / 3500	500
DS-UWB	2	1750 / 3500	1320

4.5 Käyttäjämäärä

UWB muistuttaa osin hyvin paljon Bluetoothia. Myös UWB muodostaa niin sanottuja pikosoluja, joissa yksi laite ottaa vastuun verkon koordinoinnista. Tämä koordinaattori on nimeltään PNC (*piconet coordinator*).

Kuten aiemmin on todettu, MB-UWB jakaa koko UWB:n kaistan pienempiin kaistoihin. Yhdessä kaistassa toimii yksi pikosolu, toisessa kaistassa toinen pikosolu ja niin edelleen. Näin ollen saadaan yhden pikosolun lähelle yhtä monta pikosolua kuin on vapaita kaistoja. Kun kaikki vapaat kaistat on käytetty, voidaan ensimmäisen kaistan taajuus käyttää uudelleen seuraavassa solussa, mutta solun täytyy olla tarpeeksi kaukana samaa kaistaa käyttävästä solusta, etteivät ne aiheuta häiriöitä toisilleen. Solujen koordinaattorit osaavat välittää tietoa toisilleen, kuten varattuja osoitealueita ja verkkoon liittyneiden laitteiden tietoja, jolloin peittoalueen laajentaminen on hyvin helppoa.

Aiemmin on myös todettu, että UWB käyttää koodijakokanavointia. Jokainen käyttäjä saa oman koodinsa jonka avulla data lähetetään. Koodi yksilöi käyttäjät verkossa, joten käyttäjiä voi olla lähes yhtä paljon kuin koodeja. Koodien määrään vaikuttaa oleellisempänä koodin pituus bitteinä. Lisäksi koodeilta vaaditaan muun muassa valesatunnaisuutta ja hyviä korrelaatio-ominaisuuksia, joka rajoittaa koodien määrää.

DS-UWB erottelee eri pikosolut toisistaan pienellä keskitaajuuden muutoksella sekä koodijaolla. Vaikka kanavien keskitaajuuden muuttuessa muuttuu myös kanavan kaistan paikka spektrillä, voi olla että jokin toinen kanava on edelleen ainakin osittain samalla kaistalla. Huonossa tapauksessa molempien kanavien käyttäjien koodit korreloivat osaan toisessa kanavassa liikkuvan datan kanssa aiheuttaen häiriöitä. Tämän takia vain osa mahdollisista koodeista annetaan solun laitteiden käyttöön jolloin häiriöitä ei pitäisi esiintyä.

Koodijakokanavoinnin takia UWB:n käyttäjämäärien yksiselitteinen ilmaiseminen on vaikeata. Mitä enemmän kaistalla on käyttäjiä, sitä vähemmän kaistaa käyttäjää kohden. Näin ollen yksi käyttäjä voi viedä koko kaistan jolloin muita käyttäjiä ei

kaistalle mahdu. Enimmillään käyttäjiä voi olla kaistalla niin paljon kuin löytyy koodeja, joita voidaan käyttäjille osoittaa. Todennäköisesti käyttäjämäärä solua kohden liikkuu kuitenkin muutamassa kymmenessä.

4.6 Tietoturva

Yksi UWB:n vahvuuksista on sen tietoturva. Ensinnäkin lähetykset ovat erittäin vaikeasti havaittavissa, jollei tiedetä taajuutta, koska signaali ei ylitä luonnossa esiintyvää kohinatasoa. Vaikka lähetykset löydettäisiinkin, ei niitä voida purkaa ilman asianmukaista ja yksilöllistä koodia. Kuten aiemmin on mainittu, UWB toimii myös tutkana. Tähän tekniikkaan perustuen UWB-laitteet pystyvät laskennallisesti havaitsemaan kuinka kaukana toinen UWB-laite sijaitsee. Laitteille voidaankin asettaa rajoitus jota kauempana oleville laitteille ei lähetetä tai laiteilta ei vastaanoteta lähetyksiä.

Vaikka UWB:n salakuuntelu olisi teknisesti mahdollista, vaatii moinen toiminta hyvin kalliita ja monimutkaisia laitteita, sekä kotikäytössä olevien UWB-laitteiden ollessa kyseessä, myös lyhyen välimatkan. UWB:n tietoturva on hyvin vankka ja juuri tämän takia tekniikan sotilaallinen kiinnostus ja käyttö on ollut suurta jo vuosia.

Lisäksi käyttäjä voi salakirjoittaa lähetettävän datan niin halutessaan ja joissain sovelluksissa asettaa yhteyksille salasanan.

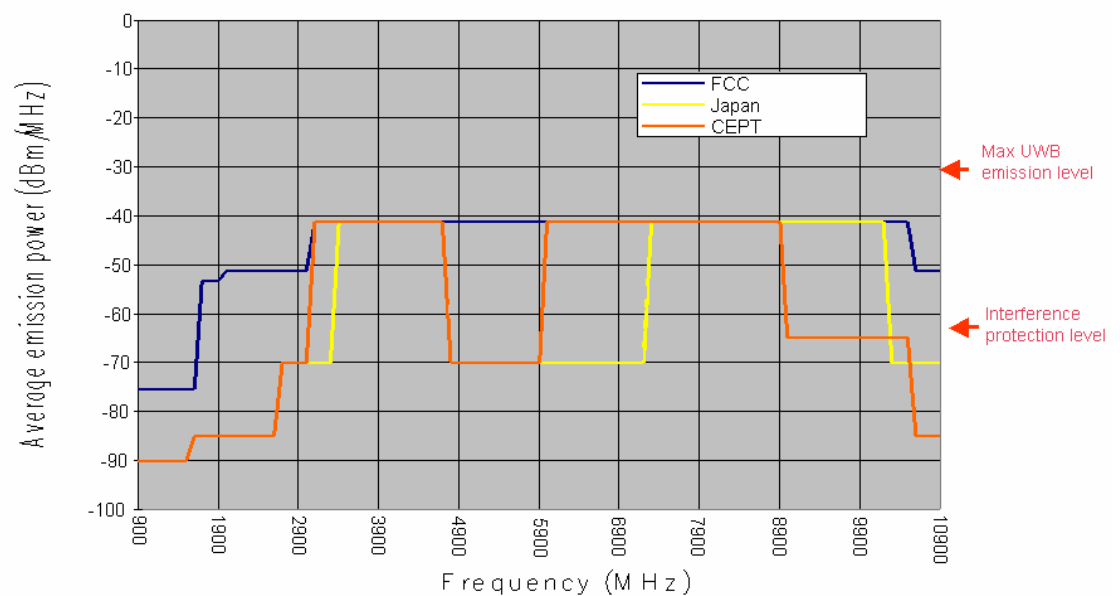
4.7 Rajoitukset ja ongelmat

Tällä hetkellä UWB:n suurimmat ongelmat ovat maailmanlaajuisen standardin luomisessa tai tekniikan kahden erilaisen toteutustavan yhteensopivuuden toteuttamisessa. Edellä mainitut ongelmat ovat jo viivästyttäneet tekniikan markkinoille tuloa jopa vuosilla.

Lisäksi yhtenäisen standardin puuttuessa vain Yhdysvallat ovat antaneet UWB:lle taajuusalueen, tehorajat ja luvan toimia. Lupa on väliaikainen, jotta voitaisiin testata UWB:n toimintaa ja mitata UWB:n aiheuttamia häiriöitä muille

järjestelmille. Juuri häiriöiden välttämiseksi FCC antoi tiukat tehorajat ja lähetettävä teho on suoraan verrannollinen laitteen kykenemään siirtomatkaan. Testit ovat kuitenkin sujuneet hyvin ja laiteita odotetaan saapuvan markkinoille laajemmin jo lähivuosina.

Oman rajoituksensa lisäksi myös eri maiden tietoliikenteestä vastaavat viranomaiset. Eri mailla on erilaisia järjestelmiä ja suuri osa olemassa olevista järjestelmistä käyttää jo samaa taajuusaluetta mihin UWB on suunniteltu. Kuvassa 12 esiintyy FCC:n antaman spektrimaskin lisäksi muun muassa Euroopan tietoliikenteestä vastaavan CEPT:n (*european conference of postal and telecommunications administrations*) ja Japanin viranomaisten antamat spektrimaskit.



Kuva 12. UWB:lle suunnitellut spektrimaskit

4.8 Laitteiden hinnat

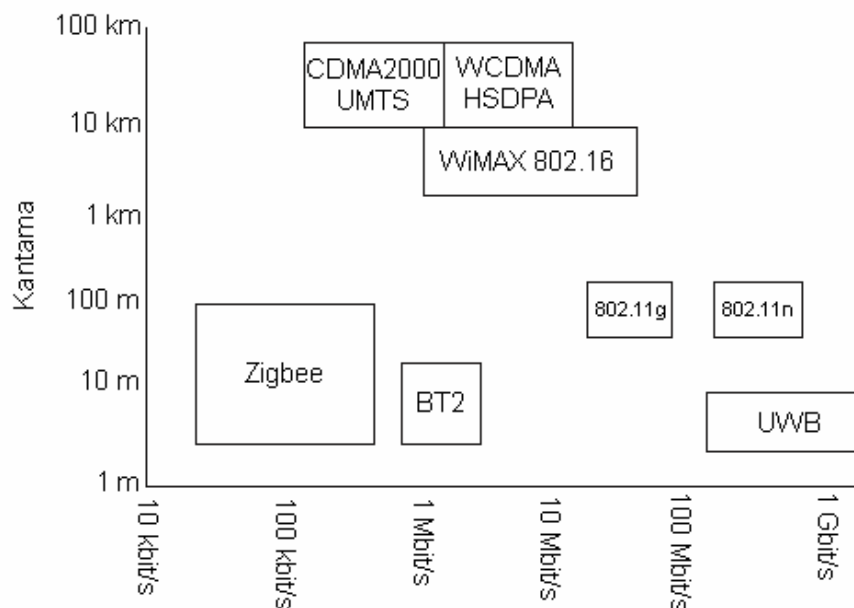
Kuten Zigbee, ei UWB-laitteitakaan ole vielä Euroopassa markkinoilla. Tekniikka kuitenkin vaatii vähemmän suunnittelua ja analogisia komponentteja ja näin ollen on halvempi toteuttaa. Luultavaa kuitenkin on, että laitteiden saapuessa markkinoille suurissa määrin hinta on lähes sama kuin Bluetoothin, eli noin 10 euroa piiriä kohden.

5.0 VERTAILUJA TOISIIN JÄRJESTELMIIN

Nykyisin eniten käytetty RF-tekniikalla toteutettu yksityisten henkilöidenkin käyttämä verkko on WLAN. Uusin WLAN:n versio 802.11g on nopeudeltaan 54 megabittiä sekunnissa ja kantama noin sata metriä. Suunnitteilla on uusi versio 802.11n, jonka nopeutta on lisätty hieman. WLAN käyttää hajasperkritekniikkaa ja ISM-alueella olevaa 2,4 gigahertsin taajuutta.

Tulevaisuudessa WLAN:n kilpailijaksi suunniteltu WiMAX versioillaan 802.16a ja 802.16e taas toimii hyvin korkeilla taajuuksilla, 10-66 gigahertsin alueella. 802.16a on tarkoitettu paikoillaan pysyvien päätteiden käyttöön ja se saavuttaa teoreettisesti nopeuden 134 megabittiä sekunnissa. 802.16e on taas tarkoitettu liikkuvien päätteiden käyttöön ja se saavuttaa teoreettisesti nopeuden 70 megabittiä sekunnissa. WiMAX voi saavuttaa useiden kymmenien kilometrien kantaman.

Eri järjestelmien suuntaa antavat nopeudet matkan funktiona on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Eri järjestelmien nopeudet matkan funktiona

Lisäksi taulukko 4 kertoo hieman lisää eri järjestelmistä.

Taulukko 4. Eri järjestelmien vertailua

Järjestelmä	Maksimi- nopeus	Keski- määräinen kantama	Todennäköinen käyttökohde	Tilanne
Zigbee	250 kbit/s	50 m	Koti-, toimisto- ja teollisuuskäyttö kauko- ohjaus ja monitorointi	Tulossa markkinoille
Bluetooth 1.2	1 Mbit/s	10 m	Koti- ja toimistokäyttö mobiililaitteissa	Markkinoilla ja poistumassa käytöstä
Bluetooth 2.0	3 Mbit/s	10 m	Koti- ja toimistokäyttö mobiililaitteissa	Markkinoilla ja yleistymässä
WLAN 802.11g	54 Mbit/s	100 m	Koti- ja toimistokäytössä multimedia ja data	Yleisessä käytössä
WiMAX 802.16e	70 Mbit/s	10 km	Mobiilikäytössä multimedia ja data	Tulossa markkinoille
WiMAX 802.16a	134 Mbit/s	50 km	Koti- ja toimistokäytössä multimedia ja data	Tulossa markkinoille
UWB	1,3 Gbit/s	10 m	Koti- ja toimistokäytössä multimedia ja data	Tulossa markkinoille

Useat vertailtavista tekniikoista ovat vasta tulossa markkinoille, joten hinnoista voidaan esittää vain arvailuja. Lisäksi tekniikat sopivat huonosti suoraan vertailtaviksi niiden erilaisten käyttötarkoitusten takia.

6.0 LOPPUPÄÄTELMIÄ

Edellisessä kappaleessa suoritettiin vertailuja muutamien erilaisten järjestelmien välillä. Vertailusta voidaan havaita, että järjestelmät yleensä sopivat joko nopeaan lyhyen matkan tietoliikenteeseen, tai pitkän matkan hitaaseen tietoliikenteeseen. On myös olemassa kompromisseja matkan ja nopeuden välillä. Oman ryhmänsä muodostaa hitaat lyhyen matkan järjestelmät. Nämä järjestelmät ovat lähinnä parannettuja versioita vanhoista järjestelmistä, tai erityisesti jotain tiettyä käyttötarkoitusta varten suunniteltuja.

Bluetooth 2.0 on suhteellisesti hidaskin ja lyhyen matkan järjestelmä. Nopeus on parantunut huomattavasti edellisestä versiosta, mutta useimpiin muihin järjestelmiin verrattuna se on hidaskin. Bluetooth 2.0 on kuitenkin taaksepäin yhteensopiva edellisen version kanssa ja näin ollen omaa suuren, jo olemassa olevan laitekannan. Lisäksi tekniikka on varsin vähän tehoa vaativaa, edullista ja näin ollen tulee todennäköisesti säilyttämään asemansa sovelluksissa jotka eivät tarvitse suurta tiedonsiirtonopeutta tai –matkaa. Bluetoothia kehittävät ryhmittymät ovat myös suunnitelleet siirtyvänsä UWB:n kaltaiseen tekniikkaan, näin ollen Bluetooth saattaa olla markkinoilla vielä pitkään.

Zigbee on mielenkiintoinen, todella vanhan tekniikan korvaava järjestelmä. Järjestelmä on suunniteltu täysin toiselta kannalta kuin nykyisin suunnitellaan. Tärkein suunnittelukriteeri on ollut sopivuus tiettyyn tehtävään ja siinä on onnistuttu. Zigbee tulee korvaamaan nykyiset infrapunaan perustuvat kauko-ohjaimet ja yleistymään niin koti- kuin teollisuusautomaatioissa. Järjestelmä on esimerkki siitä kuinka tiettyyn tarkoitukseen suunnitellulla järjestelmällä saadaan loistavia tuloksia kyseisessä tarkoituksessa. Minkäänlaiseen muuhun tiedonsiirtoon Zigbee ei sovellu hyvin.

UWB on myös mielenkiintoinen täysin uudella tavalla toteutettu tekniikka. Erittäin nopea, mutta lyhyen matkan järjestelmä sopii hyvin esimerkiksi kotikäytössä siirtämään ohjelmalähteiden tuottaman signaalin langattomasti päätteille. Tekniikka tulee ongelmista huolimatta todennäköisesti yleistymään monissa viihdelaitteissa ja näin ollen päätyy suurimpaan osaan suomalaisista kodeista. Tekniikka saattaa

kehittyä tulevaisuudessa korvaamaan useita nykyisiä järjestelmiä, kunhan tekniikkaa saadaan markkinoille, testataan perusteellisesti ja todetaan valmiiksi käytettäväksi vieläkin isoimmalla kaistalla ja tehoilla.

Nykyisissä ja tulevaisuuden kodeissa, toimistoissa ja tehtaissa on valtavia määriä erilaisia laitteita. Elektroniikan käyttö jokapäiväisessä elämässämme on kasvanut jatkuvasti ja kasvu tuskin tulee pysähtymään useisiin vuosiin. Yhä useammin laitteet myös joko vaativat, tai voivat hyödyntää jonkinlaista verkkoyhteyttä.

Tietoturva on nostettu tärkeään asemaan koko teknologisessa kehityksessä. Oikeaan suuntaan on jo vuosia menty, mutta vaikka kuinka tietoturvaa parannetaan, aina on mahdollista, että löytyy haavoittuvuus tai keino jolla tietoturva voidaan vaarantaa. Normaalikäyttäjällä tuskin suurta vaaraa koituu langattomasta tekniikasta, mutta ongelmien ilmaantuessa niihin on puututtava.

Lisäksi nykyisten verkkojen kuormitus kasvaa kasvamistaan jolloin uusia ratkaisuja täytyy löytää. Tässä työssä käsitellyt tekniikat ovat sellaisia, jotka tarjoavat uusia innovatiivisia ratkaisuja ja hyvin todennäköisesti tulevat liittymään jollain tavalla jokapäiväiseen elämäämme lähitulevaisuudessa.

Maailma tulee olemaan langaton.

Rev	Date	Comments
v2.0 + EDR	Aug 01 2004	This version of the specification is intended to be a separate Bluetooth Specification. This specification was created by adding EDR and the errata for v1.2 ESR 1.
v1.2	Nov 05 2003	<p>New features added in v1.2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Architectural overview - Faster connection - Adaptive frequency hopping - Extended SCO links - Enhanced error detection and flow control - Enhanced synchronization capability - Enhanced flow specification <p>The Core System Package now comprises two volumes and the text has gone through a radical change both in terms of structure and nomenclature. The language is also more precise and is adapted to meet the IEEE standard. The following parts are moved from the Core System Package to other volumes or has been deprecated:</p> <p>RFCOMM [vol 7], Object Exchange (IrDA Interoperability) [vol 8], TCS [vol 9], Interoperability Requirements for Bluetooth as a WAP Bearer [vol 6], HCI USB Transport Layer [vol4], HCI RS232 Transport Layer [vol 4], HCI UART Transport Layer [vol 4], Bluetooth Compliance Requirements [vol 0], Optional Paging Schemes [deprecated]</p>
v1.1	Feb 22nd 2001	The specification was updated with Errata items previously published on the web site. The Bluetooth Assigned Numbers appendix was lifted out from the specification to allow continuous maintenance on the web site.
v1.0B	Dec. 1st 1999	<p>The specification was updated with Errata items previously published on the web site and was revised from a linguistic point of view.</p> <p>The following parts was added:</p> <p>Interoperability Requirements for Bluetooth as a WAP Bearer, Test Control Interface, Sample Data (appendix), Bluetooth Audio (appendix), Baseband Timers (appendix) and Optional Paging Scheme (appendix)</p>
v1.0a	July 26th 1999	<p>The first version of the Bluetooth Specification published on the public web site.</p> <p>Added part: Bluetooth Compliance Requirements.</p>
v1.0 draft	July 5th 1999	<p>The following parts was added:</p> <p>Service Discovery Protocol (SDP), Telephony Control Specification (TCS), Bluetooth Assigned Numbers (appendix) and Message Sequence Charts (appendix)</p>
v0.9	April 30th 1999	<p>The following parts was added:</p> <p>IrDA Interoperability, HCI RS232 Transport Layer, HCI UART Transport Layer and Test Mode</p>
v0.8	Jan 21st 1999	<p>The following parts was added:</p> <p>Radio Specification, L2CAP, RFCOMM, HCI & HCI USB Transport Layer</p>

Bluetooth-profiilit ja niiden toiminta

Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)

Käytetään stereoäänen siirtämiseksi lähteestä kohteeseen.

Audio / Video Control Transport Protocol (AVCTP)

Määrittelee kuinka audion ja videon kontrollointiin tarkoitettu datan siirto tapahtuu.

Audio / Video Remote Control Profile (AVRCP)

Standardin mukainen käyttöliittymä erilaisten ohjelmalähteiden kauko-ohjaukseen.

Basic Imaging Profile (BIP)

Käytetään kameroiden ja muiden kuvauslaitteiden kauko-ohjaukseen.

Basic Printing Profile (BPP)

Määrittelee, kuinka tiedostoja lähetetään tulostimelle tulostettavaksi.

BNEP

Käytetään yleisimpien protokollien siirtoon radiorajapinnalla.

Common ISDN Access Profile (CIP)

Määrittelee, kuinka ISDN signaali lähetetään radiorajapinnan avulla.

Cordless Telephony Profile (CTP)

Määrittelee, kuinka radiorajapintaa voidaan käyttää langattomana puhelimenä.

Dial-up Networking Profile (DUN)

Määrittelee, kuinka muodostetaan modeemiyhteys radiorajapinnan kautta.

Extended Service Discovery Profile (ESDP)

Määrittelee, kuinka universaali plug and play toimii radiorajapinnan kautta.

Fax Profile (FAX)

Määrittelee, kuinka radiorajapinnalla lähetetään faksi PC-laitteeseen.

File Transfer Profile (FTP)

Määrittelee, kuinka asiakas voi selata palvelimella olevia tiedostoja.

Generic Access Profile (GAP)

Pohjana kaikille muille profiileille ja määrittelee, kuinka yhteys muihin laitteisiin luodaan.

General Audio/Video Distribution Profile (GAVDP)

Pohjana audion ja videon siirtoon keskittyville profiileille.

Generic Object Exchange Profile (GOEP)

Käytetään tiedostojen lähettämiseen laitteelta toiselle.

Hands-Free Profile (HFP)

Määrittelee, kuinka hands free -laitetta käytetään radorajapinnan kautta.

Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP)

Määrittelee, kuinka ajuripohjainen tulostaminen tapahtuu.

Headset Profile (HSP)

Määrittelee, kuinka erilaisten kuulokemikrofonien ja kuulokkeiden tulisi toimia.

Human Interface Device Profile (HID)

Määrittelee protokollat, toiminnot ja ominaisuudet, joita syöttölaitteilla, kuten langattomilla näppäimistöillä ja hiirillä voi olla.

Intercom Profile (ICP)

Määrittelee, kuinka Bluetooth:lla varustetut puhelimet voivat muodostaa yhteyden toisiinsa ilman yleistä verkkoa.

Object Exchange (OBEX)

Kuljetusprotokolla, joka määrittelee dataobjektit ja protokollat joita laitteet voivat käyttää.

Object Push Profile (OPP)

Määrittelee roolit (lähettäjä ja vastaanottaja) pakotetussa tiedonsiirrossa.

Personal Area Networking Profile (PAN)

Määrittelee kuinka kaksi laitetta tai useampi laite voivat muodostaa verkkoyhteyden.

RFCOMM

Protokolla, joka emuloi sarjaporttia radiorajapinnan kautta.

Service Discovery Protocol (SDP)

Määrittelee toiminnan kuinka laite etsii toisen laitteen tarjoamat palvelut.

Service Discovery Application Profile (SDAP)

Määrittelee, kuinka ohjelmiston tulisi edellistä käyttää.

SIM Access Profile (SAP)

Mahdollistaa toissijaisten puhelimien käyttöä ensisijaisessa puhelimessa olevaa SIM-korttia radiorajapinnan kautta.

Serial Port Profile (SPP)

Määrittelee, kuinka muodostetaan virtuaalisia sarjaportteja ja kuinka niiden avulla voidaan muodostaa yhteys kahden laitteen välille.

Synchronization Profile (SYNC)

Käytetään synkronisoimaan laitteessa olevia kalentereita ja henkilötietoja muiden yhteensopivien laitteiden kanssa.

Telephony Control Specification (TCS-Binary or TCP)

Määrittelee, kuinka laitetta voidaan käyttää langattomana puhelimena ja milloin laite tällaisen yhteyden muodostaa, jos se tulee jonkin verkon alueelle.

Video Distribution Profile (VDP)

Käytetään videokuvan siirtämiseksi lähteestä kohteeseen.

WAP Over Bluetooth Profile (WAP)

Määrittelee, kuinka WAP toimii radiorajapinnan kautta.