

UWB-technologie

Technolution B.V.
Zuidelijk Halfrond 1
P.O. Box 2013
2800 BD Gouda
The Netherlands

Auteur,
Technolution B.V.

R. Siegerist

Tel. +31(0)182 59 40 00
Fax +31(0)182 53 97 36
www.technolution.nl

© **Technolution B.V.**

Nothing of this report may be multiplied and/or published by print, photocopy, microfilm, electronic or otherwise, without previous consent of Technolution B.V.

INHOUD

1.	INLEIDING	1
2.	HET FREQUENTIESPECTRUM.....	3
3.	BETROUWBAARHEID DRAADLOZE COMMUNICATIE	6
4.	DE MODULATIETECHNIEKEN	8
	APPENDIX A. REFERENTIES	15

1. INLEIDING

De niet aflatende roep om meer bandbreedte, zowel over glasfibers, koperen draden als door de lucht, is de drijvende kracht achter vele nieuwe ontwikkelingen op het gebied van datacommunicatie. Veel van de bestaande datacommunicatienetwerkdefinities krijgen uitbreidingen, waardoor de capaciteit wordt vergroot. Tevens ontstaan nieuwe implementaties van datacommunicatie, gericht op het sterk vergroten van bandbreedte. Een belangrijke eigenschap, vooral van draadloze netwerken, is hoe zij omgaan met het voorkomen van onderlinge verstoring. Voor het verhogen van de bandbreedte en het voorkomen van onderlinge verstoringen worden over het hele scala van communicatienetwerken dezelfde oplossingen toegepast. Om robuustheid te vergroten en om meer informatie in een signaal te stoppen wordt modulatie toegepast. Het aantal parameters waarin gemoduleerd kan worden is beperkt, namelijk:

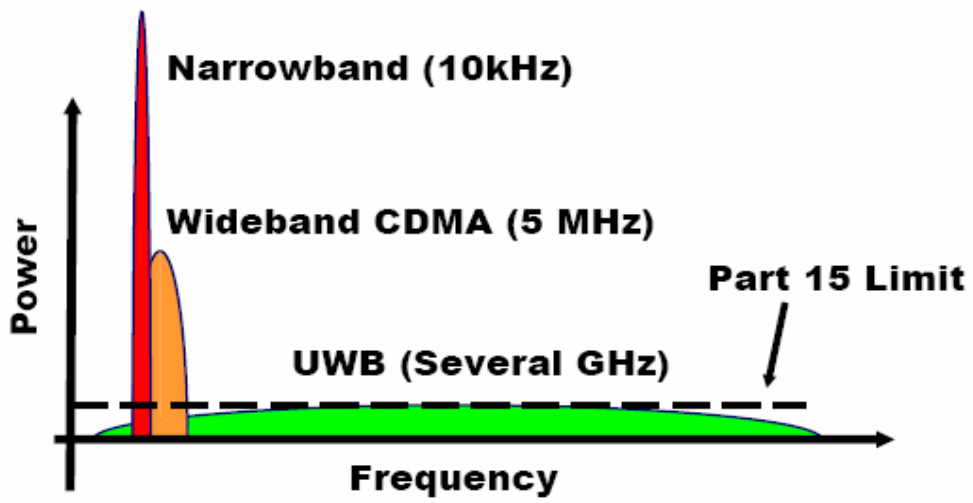
- Amplitude;
- Frequentie;
- Fase.

Om nu hogere bandbreedtes te halen worden deze modulatietechnieken gecombineerd. De onderlinge verstoring wordt vooral voorkomen met multiplexing. De technieken die hier toegepast zijn:

- Time division multiplexing;
- Frequency hopping;
- Combinaties van time division multiplexing en frequency hopping.

In dit artikel zal hier dieper op worden ingegaan.

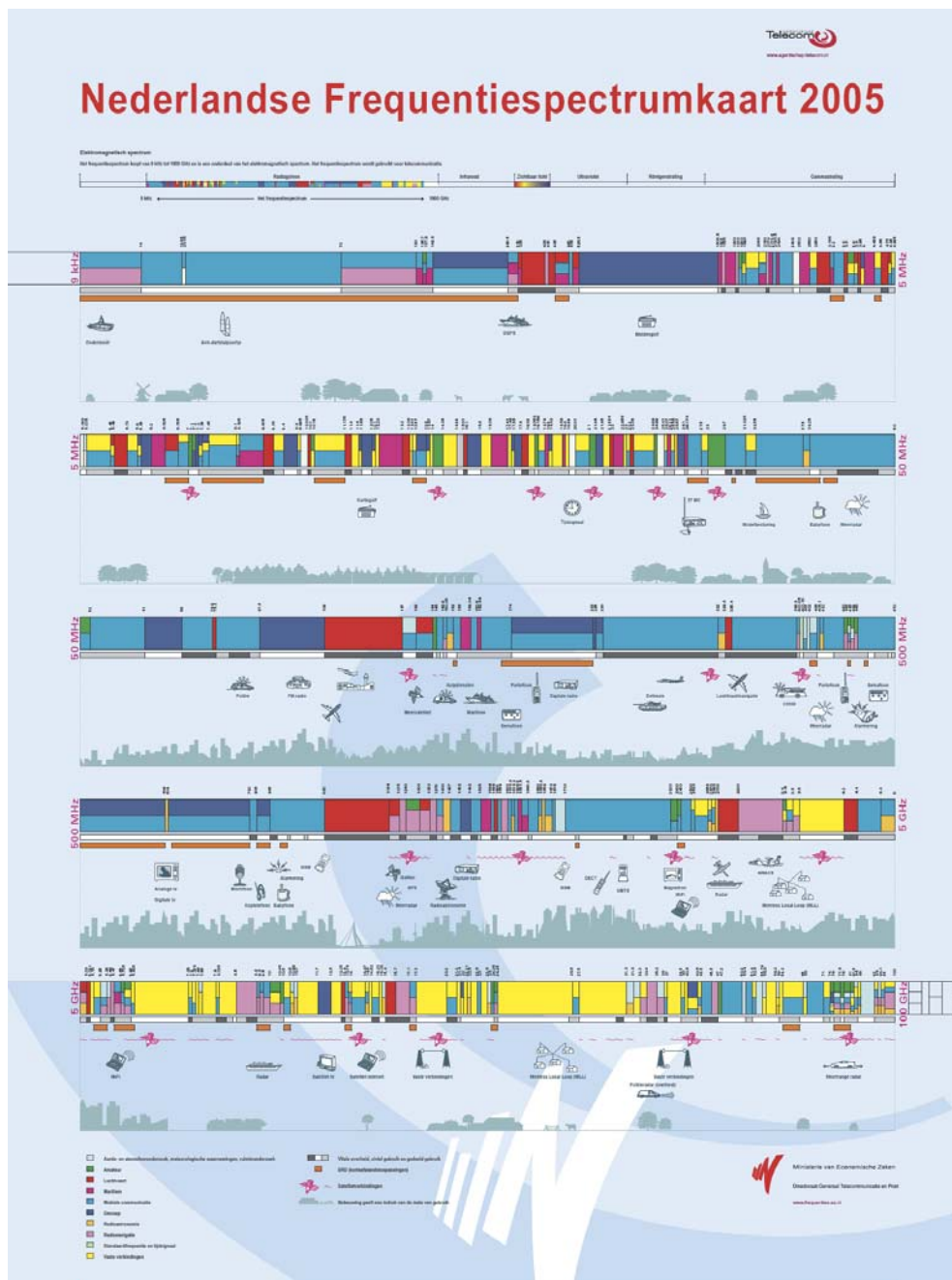
Een van de draadloze communicatietechnieken die nu in opkomst is, is Ultra Wide Band, verder afgekort tot UWB (IEEE 802.15.3). UWB omvat de communicatie, die een modulatiebandbreedte heeft van minimaal 20% van de draaggolffrequentie of een modulatiebandbreedte van minimaal 500 MHz. Denk hierbij aan draaggolffrequenties van 3 GHz en hoger (zie figuur 1). Deze communicatietechniek heeft de potentie om over afstanden tot 10 meter, meer dan 1 Gb/s te transporteren. Daarom leent deze technologie zich uitstekend om bijvoorbeeld grote hoeveelheden bedrading tussen computersystemen en in complexe machines te vervangen, vanwege de hoge bandbreedte en de grote immuniteit tegen externe verstoring.



Figuur 1. Spectrale verdeling van standaard modulatie technieken

2. HET FREQUENTIESPECTRUM

Om ervoor te waken dat er überhaupt nog door de ether gecommuniceerd kan worden, zijn er nationale en internationale regels opgesteld. Deze regels beschrijven wie, waar en met welke vermogens mag uitzenden. De overheid controleert de naleving van deze regels en is zelf actief met de verkoop van frequenties. Een goed voorbeeld is de veiling van de UMTS-frequenties. Het gecontroleerde spectrum loopt van 9 kHz tot 100 GHz (deze frequentie zit al knap dichtbij infrarood licht). In figuur 1 is de verdeling van de frequenties in Nederland gegeven. Deze kaart (Nederlandse Frequentiespectrumkaart) is beschikbaar op de site van het ministerie van EZ, <http://www.ez.nl/content.jsp?objectid=30462> .



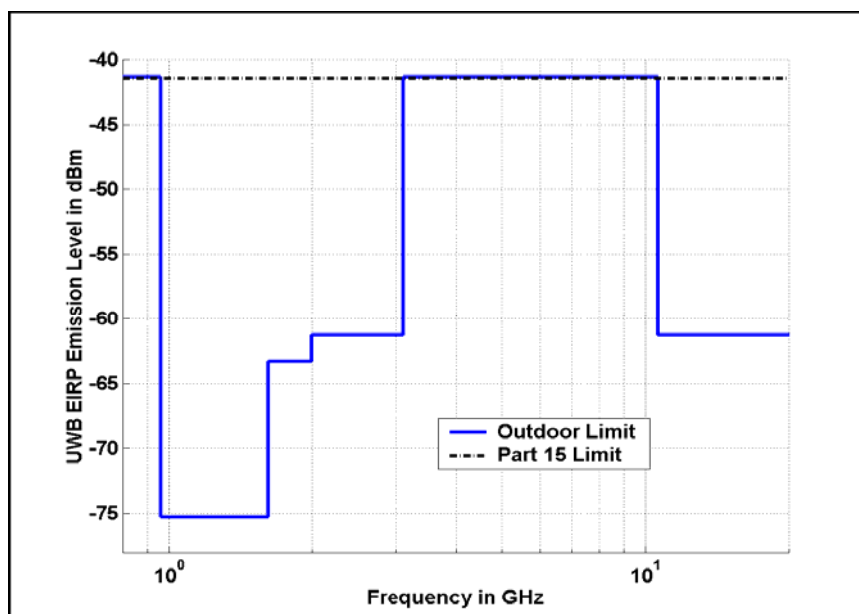
Figuur 2. Verdeling van het Nederlandse Frequentiespectrum

Voor het grootste deel van het spectrum is een licentie nodig om te mogen zenden. Er is echter een aantal vrije zones waar geen licentie nodig is. Dit zijn onder andere de ISM (Industrial, Scientific and Medical) banden. Vooral de 2.4 GHz band is druk bezet met mobiele telefonie (gsm) en diverse andere lokale netwerkdefinities.

ISM Frequency ranges		
Frequency range	Comment	Allowed power
6.765 .. 6.795 MHz	Medium Frequency ISM	
13.553 .. 13.567 MHz	Medium Frequency ISM	
26.957 .. 27.283 MHz	Medium Frequency ISM	
433.05 .. 434.79 MHz	UHF ISM	10 .. 100 mW
868.0 .. 870.0 MHz	UHF ISM	500 mW
902 .. 928 MHz	USA / Canada only	4 W
2.400 .. 2.483 GHz	SHF ISM	500 mW
5.725 .. 5.875 GHz	SHF ISM	500 mW

Tabel 1. Overzicht ISM-banden

Men is nu echter bezig om voor UWB een licentievrijstelling te krijgen voor het gebied tussen de 3.1 GHz en 6.1 GHz. Dit geldt alleen voor zeer lage zendvermogens. Daar komt nog eens bij, dat het zendvermogen verdeeld wordt over een heel breed spectrum, waardoor er per frequentiebandje met slechts heel weinig energie uitgezonden kan worden en er toch een betrouwbaar signaal overblijft. In de USA is deze licentievrijstelling al gegeven. Het opvallende is dat er hier onderscheid gemaakt wordt tussen “indoor” and “outdoor” gebruik. Binnen mag over het hele gebied met -41 dBm/MHz uitgezonden worden. Buiten echter mag vooral in het lagere gebied minder energie afgestraald worden in verband met eventuele interferentie met GPS (zie figuur 2).



Figuur 3. Toegestane emissieniveaus in de USA

In het nu gedefinieerde gebied van 3.1 .. 10.6 GHz geldt voor binnen en buiten hetzelfde.

3. BETROUWBAARHEID DRAADLOZE COMMUNICATIE

Wat vaak onderschat wordt tijdens het definiëren en gebruik van draadloze communicatie, zijn de verstoringen die hierbij op kunnen treden. Dit zijn niet alleen de verstoringen die ontstaan door andere zenders, maar ook de weg die de radiogolven af moeten leggen is vaak verre van ideaal. Het voortplanten (propagatie) van de golven laat zich het meest eenvoudig modelleren in de vrije ruimte. Voortplanting en verspreiding van de radiogolven is hier volkomen voorspelbaar. De kans dat men in een zodanig ideale situatie zal opereren is echter klein. Vervolgens laat de overdracht tussen zender en ontvanger zich in het open veld modelleren. Als gevolg van de reflecties via de aardbodem zullen zich voor de diverse frequenties interferentiepatronen optreden tussen de directe en gereflecteerde stralen.

Het is echter waarschijnlijker, dat men zich in een ruimte bevindt met een vloer, wanden en diverse statische en zelfs bewegende objecten. Het effect hiervan is dat er sterke verschillen kunnen ontstaan in de ontvangen veldsterkte op verschillende plekken, als gevolg van onderlinge versterking en verzwakking van de radiogolven. Bij radiogolven, die langs een voorwerp gaan waarvan de dikte minder is dan de golflengte, kan afbuiging (of diffractie) ontstaan. Dit maakt het mogelijk dat een zender en ontvanger die elkaar niet kunnen zien, toch nog een signaal kunnen ontvangen.

Oppervlakken waarvan de structuur grover is dan de golflengte, zullen een verstrooiend effect hebben. Tenslotte zal bij diverse frequenties demping optreden in wanden en/of in vochtige lucht. Al deze effecten leiden over het algemeen tot verslechtering van het signaal. Een middel om deze demping te omschrijven is de Path Gain (trajectversterking). Er zijn experimenten gedaan met een UHF-verbinding om tot de volgende vuistregels te komen. In de vrije ruimte geldt tussen zender en ontvanger een vermogensoverdracht van:

$$\frac{P_{receiver}}{P_{transmitter}} = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

Waarbij G_t en G_r de antenne gain is van de zend- en ontvangantennes en λ de gebruikte golflengte. De Path Gain (PG) is de overdracht van de zender naar de ontvanger met een antenneversterking van 1.

$$PG = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

Als we dit normaliseren naar een relatieve afstand d / d_0 waarbij d_0 een korte referentie-afstand is, bijvoorbeeld 10 meter en k de PG is bij deze 10 meter, dan kunnen wij ongeveer aanhouden:

$$PG = k \left(\frac{d_0}{d} \right)^n$$

De Path Gain kan nu benaderd worden met:

Omgevingscondities	Path Gain exponent "n"
Vrije ruimte	2
Open veld	4
Stadsgebied	2,7 .. 4
Dicht bebouwd stadsgebied	5 .. 6
Binnen – met zichtlijn tussen zender en ontvanger	1,6 .. 1,8
Binnen – zonder zichtlijn	4 .. 6

Tabel 2. Exponent voor het inschatten van de Path Gain

Tenslotte bevindt zich over de hele frequentieband een hoeveelheid achtergrondruis, waardoor een limiet aan de detectie van kleine signalen gesteld wordt. Bij hogere frequenties neemt de omgevingsruis echter snel af. Tussen de 3 GHz en de 10 GHz zal de omgevingsruis kleiner zijn dan de eigen ruis van de ontvanger.

Voor UWB kunnen wij hier een aantal conclusies uit trekken. Namelijk:

- Bij korte golflengtes neemt de energie snel af in relatie tot de afstand;
- De achtergrondruis is bij deze golflengtes heel klein;
- De bandbreedte per band is enorm groot, daarom zullen smalbandige verstoringen en interferentieverschijnselen de performance nauwelijks aantasten.

4. DE MODULATIETECHNIKEN

Het grootste voordeel van UWB is dat het zelfs met een gemoduleerd signaal met een kleinere amplitude dan de ruis, ofwel een Signal to Noise ratio van < 1 , nog steeds een behoorlijke datacapaciteit kan hebben. De theoretische grens is al in 1948 door Claude Elwood Shannon en Norbert Wiener bepaald met de formule:

$$C = BW \times \log_2(1 + S/N)$$

C: Capaciteit in bits per seconde
 BW: Bandbreedte in Herz
 S/N: Signal to Noise Ratio (lineair, niet in dB)

Dat wil zeggen dat (ongeacht het type modulatie) zelfs bij condities waar meer noise is dan signaal, informatie overgedragen kan worden.

De modulatie zelf is een ander verhaal. Bij de IEEE 802.15.3 standaardisatiecommissie lopen op dit moment twee voorstellen voor de modulatie van UWB-signalen. Dit zijn:

- DS-CDMA (Direct Sequence – Code Division Multiplexing);
- MB-OFDM (Multi Band – Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Hierbij zijn vooral Motorola / Freescale de drijvende kracht achter DS-CDMA en Intel en Microsoft achter MB-OFDM (WiMedia Alliance).

4.1 Direct Sequence – Code Division Multiplexing

Hoewel dit geen Multi Band definitie is, kent deze oplossing wel twee banden. Er wordt dus ook geen gebruik gemaakt van Band Hopping. Het delen van de ether over verschillende gebruikers gebeurt met TDM (Time Division Multiplexing). De lage band is van 3,1 .. 4,9 GHz en de hoge band van 6,2 .. 9,7 GHz. Dit geeft zelfs de theoretische mogelijkheid tot een nog grotere bandbreedte dan met de MB-OFDM modulatie.

Er wordt gewerkt met zogenaamde waveletts. Dit zijn hele korte bursts (bijvoorbeeld van 1 ns) waarin maar enkele periodes van de samenstellende frequenties gegenereerd worden. De band wordt verdeeld in een groot aantal frequenties. De combinatie van een frequentie en een tijdstip wordt een "chip" genoemd (nogal verwarrend). Met deze chips worden symbolen samengesteld die karakteristiek zijn voor een bepaald teken of byte. Hierdoor blijven er ook posities ongebruikt. In principe zijn de rekenkundige bewerkingen om DS-CDMA te implementeren simpeler dan bij MB-OFDM. De analoge delen moeten echter sneller zijn, om de nanoseconde grote waveletts te kunnen vangen. Dit kan natuurlijk wel, maar het is een duurdere oplossing. In principe wil men altijd zo snel mogelijk naar het digitale domein. Symbol rates ten opzichte van de data rates staan in de volgende tabel.

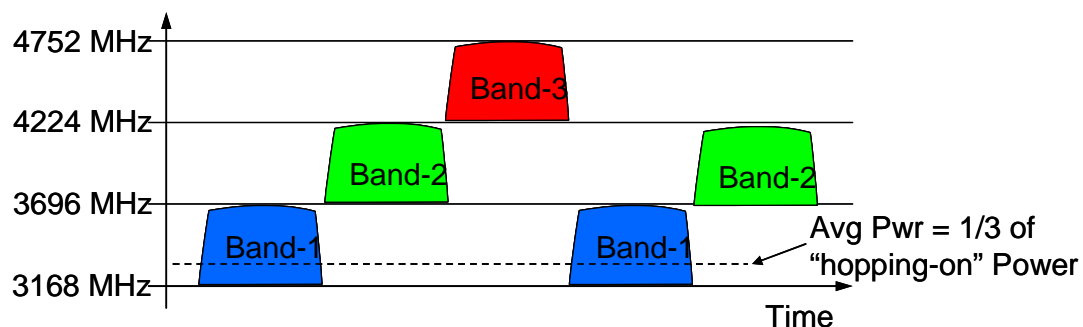
Data Rates Supported by DS-UWB

Data Rate	FEC Rate	Code Length	Symbol Rate
28 Mbps	$\frac{1}{2}$	24	55 MHz
55 Mbps	$\frac{1}{2}$	12	110 MHz
110 Mbps	$\frac{1}{2}$	6	220 MHz
220 Mbps	$\frac{1}{2}$	3	440 MHz
330 Mbps	$\frac{1}{2}$	2	660 MHz
500 Mbps	$\frac{3}{4}$	2	660 MHz
660 Mbps	1	2	660 MHz
1000 Mbps	$\frac{3}{4}$	1	1320 MHz

Tabel 3. UWB-rates met DS-CDMA

4.2 Multi Band – Orthogonal Frequency Division Multiplexing (IEEE 802.15.3a)

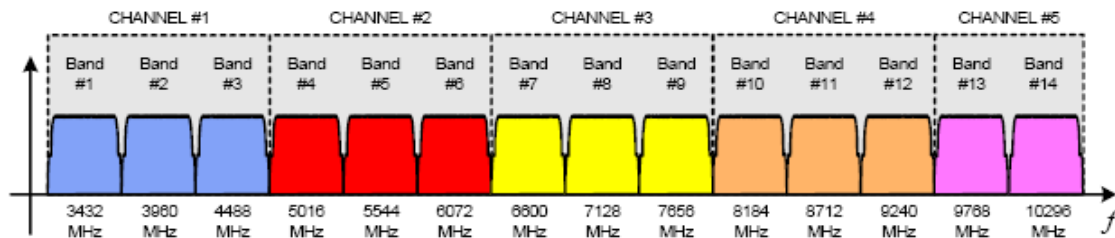
De term multiband refereert aan het 14 tal 528 MHz brede banden, waarin het door de FCC (The Federal Communications Commission of the USA) toegestane frequentiegebied opgedeeld is. Alle huidige implementaties maken gebruik van de onderste drie banden. Door tussen deze banden te 'hoppen' kan het gemiddelde zendvermogen nog verlaagd worden (om onder alle condities onder de FCC toegestane limiet te blijven).



Figuur 4. Band hopping voorbeeld

De banden voor de OFDM-oplossing zijn als volgt over het beschikbare spectrum verdeeld.

MultiBand OFDM Band Plan



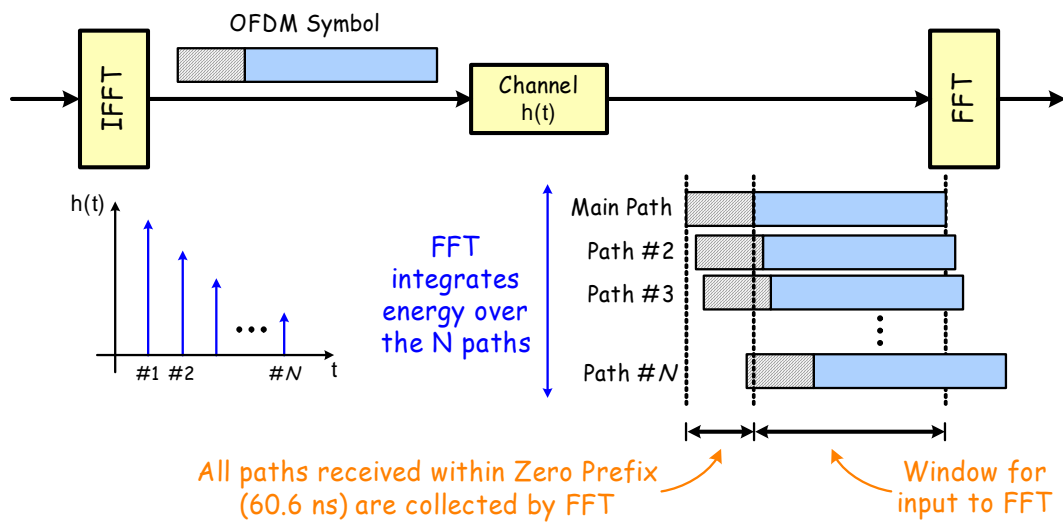
Figuur 5. Verdeling van het beschikbare spectrum

De frequency division multiplexing geeft aan, dat de 528 MHz band opgedeeld is in een groot aantal kleine bandjes (dit kunnen er duizenden zijn afhankelijk van de beschikbare bandbreedte). In al deze bandjes kan informatie gestopt worden.

Met Orthogonaal wordt aangegeven dat de kleine bandjes elkaar een stukje overlappen, waardoor het aantal bandjes in de beschikbare bandbreedte groter kan zijn dan bij niet overlappende bandjes. De detectie van al deze frequenties gebeurt natuurlijk niet met allemaal verschillende ontvangers. Het ontvangen signaal wordt in het digitale domein met behulp van FFT (Fast Fourier Transformaties) uit het analoge signaal gedestilleerd. Omgekeerd wordt voor het zenden IFFT gebruikt.

In de huidige technologie voorgestelde invulling van de WiMedia Alliance, worden 128 bandjes gebruikt (van 4,125 MHz) die met een 128 point FFT uitgefilterd worden. Per bandje wordt het signaal dan ook nog eens fase gemoduleerd in vier toestanden (QPSK). Dit samen vormt één symbool.

Bij deze vorm van modulatie wordt bijna de hele symbooltijd (312,5 ns) gebruikt. De eerste 60 ns dienen als een soort inslingertijd en tussen de symbolen zit nog een 9,5 ns interval. De rest van de tijd kan echter voor de FFT gebruikt worden. Hierdoor is deze modulatie heel vriendelijk voor verschillen in looptijd van signalen tussen zender en ontvanger, veroorzaakt door de verschillende weglengtes van gereflecteerde signalen. Dit worden "Multi-path" verschijnselen genoemd.



Dit leidt tot de volgende mogelijkheden met een enkele QPSK-modulatie.

Info. Data Rate	55 Mbps*	80 Mbps**	110 Mbps*	160 Mbps**	200 Mbps*	320 Mbps**	480 Mbps**
Modulation / Constellation	OFDM / QPSK	OFDM / QPSK	OFDM/ QPSK	OFDM / QPSK	OFDM / QPSK	OFDM / QPSK	OFDM / QPSK
FFT Size	128	128	128	128	128	128	128
Coding Rate (K = 7)	R = 11/32	R = 1/2	R = 11/32	R = 1/2	R = 5/8	R = 1/2	R = 3/4
Frequency-domain Spreading	Yes	Yes	No	No	No	No	No
Time-domain Spreading	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Data Tones	100	100	100	100	100	100	100
Zero-padded Prefix	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns
Guard Interval	9.5 ns	9.5 ns	9.5 ns	9.5 ns	9.5 ns	9.5 ns	9.5 ns
Symbol Length	312.5 ns	312.5 ns	312.5 ns	312.5 ns	312.5 ns	312.5 ns	312.5 ns
Channel Bit Rate	640 Mbps	640 Mbps	640 Mbps	640 Mbps	640 Mbps	640 Mbps	640 Mbps
Multi-path Tolerance	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns	60.6 ns
Coded Bits / OFDM Symbol	100	100	200	200	200	200	200

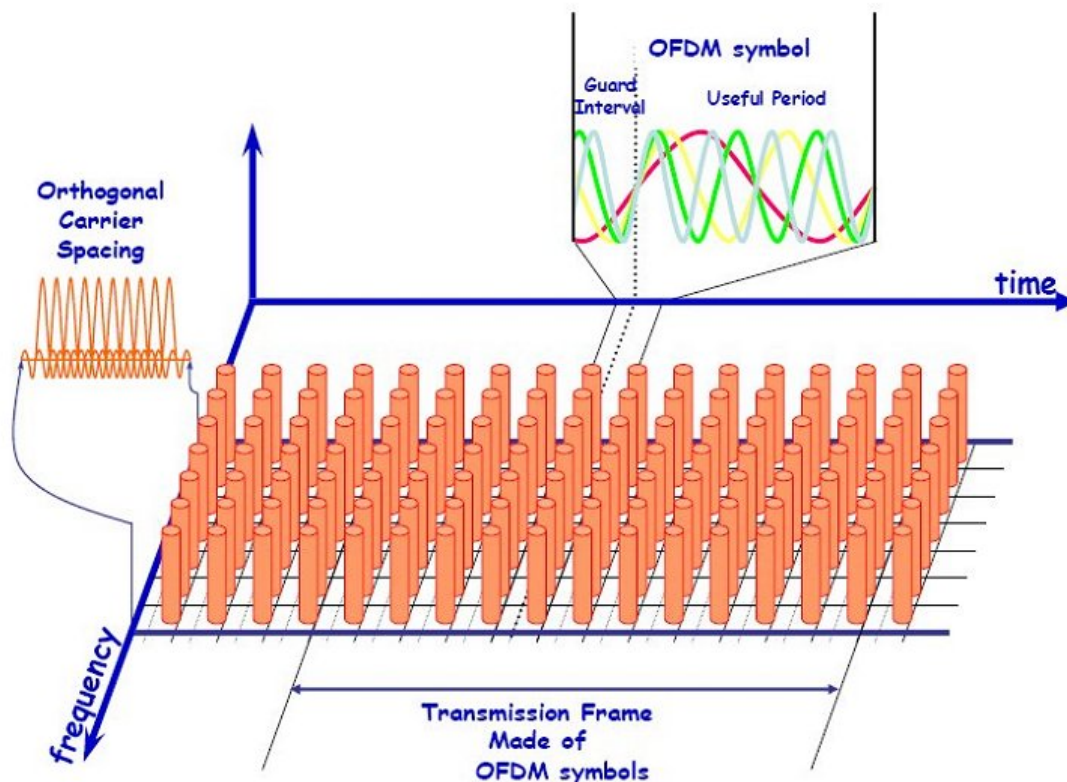
* Mandatory Information Data Rate, ** Optional Information Data Rate

Tabel 4. OFDM-implementation

Er worden slechts 100 van de 128 bandjes daadwerkelijk voor data gebruikt (datatones) en slechts 2 van de fasetoestanden, waardoor de Channel Bit Rate 640 Mbps is. Bij 480 Mbps is er dus slechts 1/4 van de bits beschikbaar voor errorcorrectie.

Om aan de FCC-norm te voldoen, mag de transmit power maximaal $-2,5$ dBm zijn. Om op een afstand van 10 meter met een vrije zichtlijn nog verstaanbaar te zijn, is voor 100 Mbps bij een zendfrequentie van 4 GHz ongeveer -10 dBm nodig, waardoor nog een ruime marge aanwezig is.

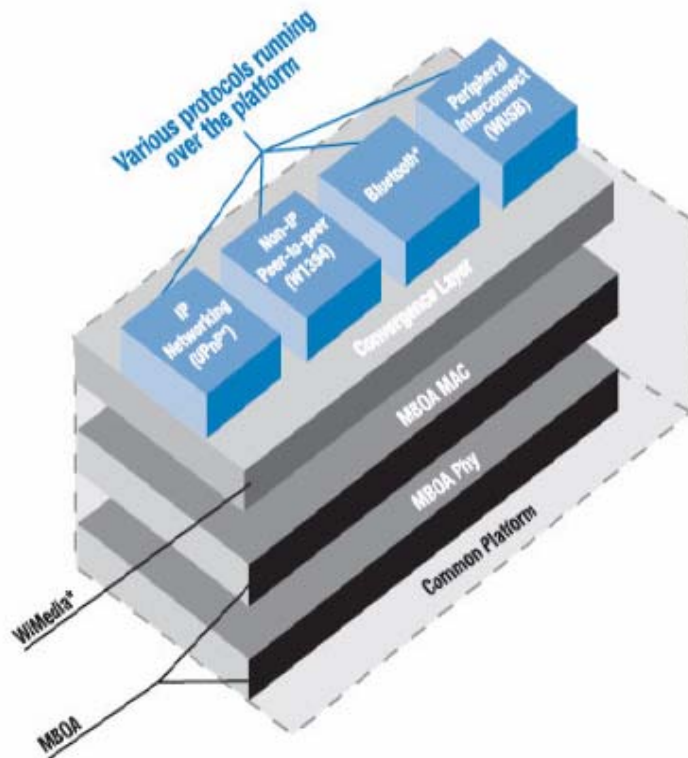
In de eerste uitvoeringen zal alleen QPSK toegepast worden en nog geen 16 en 64 QAM constellaties



Figuur 6. Principe van OFDM

MB-OFDM lijkt de beste keuze omdat de technische implementatie goedkoper is dan DS-CDMA en resistentie tegen multiband effecten en immuniteit tegen smalbandige stoorbronnen uitstekend is. In het verleden hebben echter definities als VHS bewezen dat de winnende standaard niet altijd de beste keuze hoeft te zijn, maar dat heel vaak allerlei andere belangen (vooral economische) een veel grotere drijfveer blijken dan de technische. Zo heeft het DS-CDMA kamp (lees Motorola / Freescale) geprobeerd de vrijgave van OFDM in de banden van 3 tot 10 GHz tegen te houden, wat niet gelukt is. Sinds maart van dit jaar heeft de FCC (The Federal Communications Commission of the USA) groen licht gegeven in de vorm van een weaver (soort gedoogbeleid). Nu de Nederlandse overheid nog.

Het is echter wel zeker dat in het komende decennium UWB een bijzonder belangrijke rol gaat spelen. Eigenlijk zijn alle mainstream protocollen bezig met hun implementatie over UWB, denk aan TCP/IP, FireWire en USB.

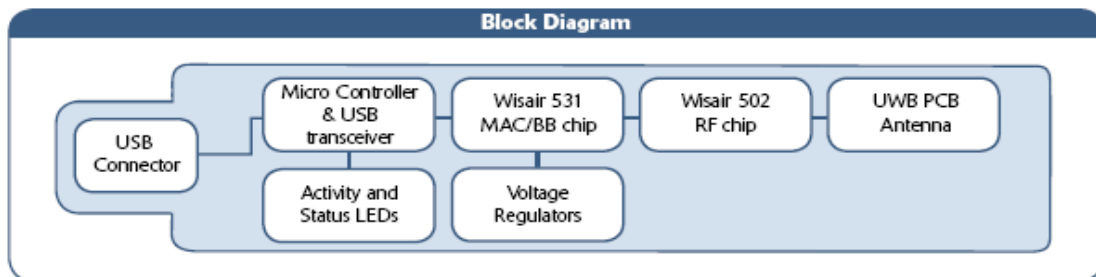


Figuur 7. Meerdere protocollen over UWB

Er zijn al UWB-chips zoals die van Wisair. Zij hebben deze onder andere verwerkt in een reference design in de vorm van een USB-stick.



Figuur 8. Wisair reference design



Figuur 9. Functioneel blokschema van het 'Wisair reference design'

Technical Specifications	
Model	480Mbps USB Host Dongle (P2P)
Radio	Complies with WiMedia\UMBOA PHY spec. Rev. 1.0
Frequency band	3.1 to 4.8GHz
Radio modulation type	Multiband OFDM
Operating channels	FFI and TFI
PHY data rate	Up to 480Mbps
Output power	80uW (-41.25uW/Hz maximum)
UWB antenna type	On board PCB differential antenna (FR4 type)
Chipset	Wisair 2nd generation UWB chipset: 531 MAC\BB chip 502 RF chip
Data interface	USB2.0 (USB Type A connector)
Current consumption	350 mA maximum @5VDC from USB port
Driver	Windows 2000/XP
Parameters configuration	Graphical User Interface
LED indications	Wireless link, USB association, power
Size	PCB size 23 by 69 mm (0.9" by 2.7")
Operating temp. range	0 - 50 degC

Tabel 5. Gerealiseerde eigenschappen

APPENDIX A. REFERENTIES

<http://www.icim.fnt.hvu.nl/docent/doesburg/6RTEM%20en%20CRTEM/verslagen/verslag%20WiFi.pdf>

<http://www.rfid-handbook.de/index.html>

<http://wimedia.org/en/index.asp>

http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2003/Jul03/03268r2P802-15_TG3a-Multi-band-CFP-Document.pdf

<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/05/15-05-0290-00-003a-ultra-wideband-peak-power-limits.ppt>

<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/05/15-05-0274-00-003a-ds-uwband-proposal-update.ppt>

<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/05/15-05-0273-00-003a-mb-ofdm-update-presentation-may-2005.ppt>

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Alan Bensky, Short –range Wireless Communication (ISBN 1-878707-51-1)