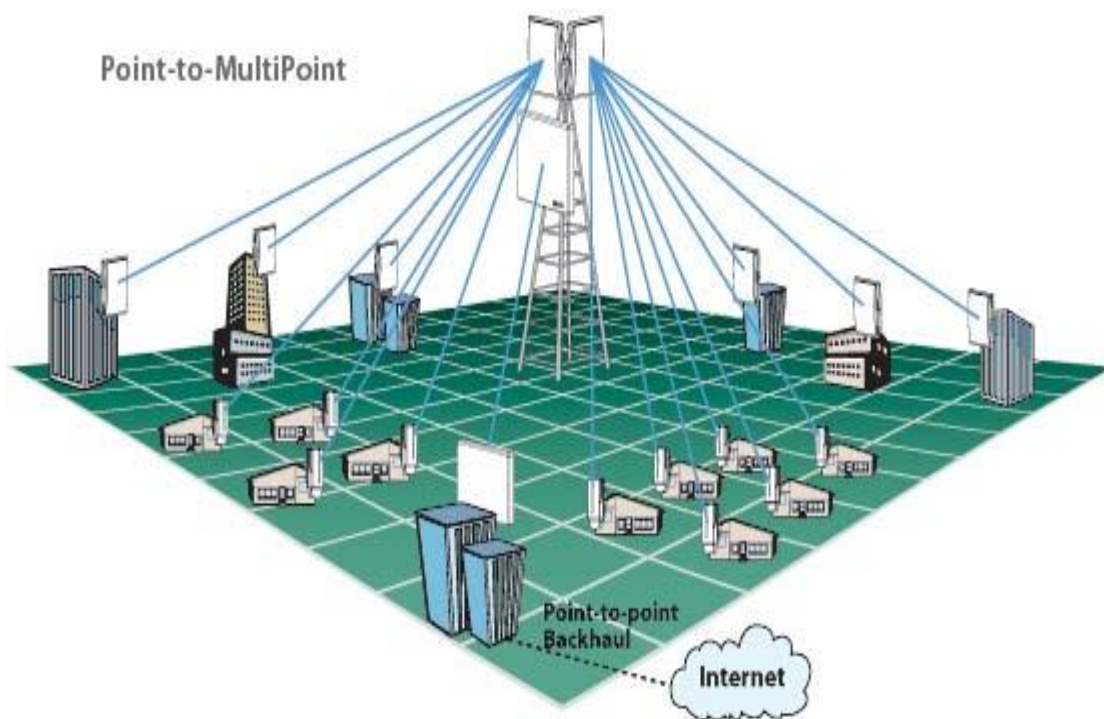
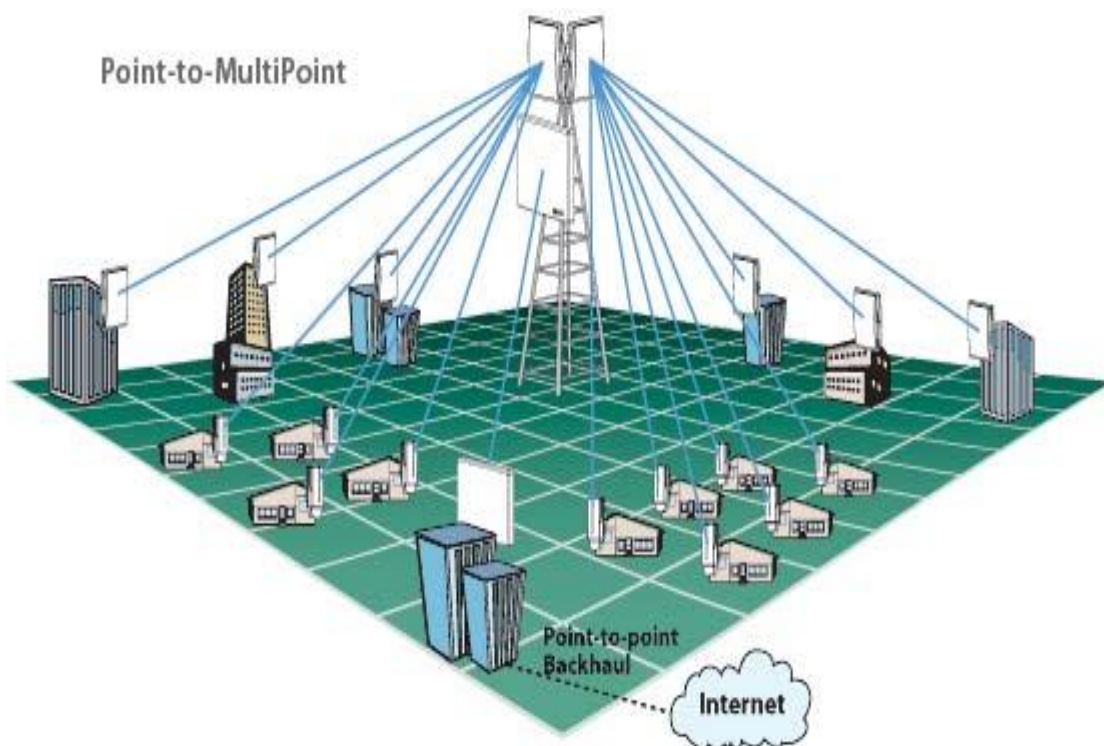


Onderzoek naar wireless breedband solutions voor Telesur



**Afstudeerverslag ter verkrijging van de graad van
Bachelor of Applied Technology (BTech.)
in de studierichting Elektrotechniek**

Onderzoek naar wireless breedband solutions voor Telesur



Student + studentenreg.nr: Ashokkoemar Kalpoe 11093
Docent-begeleider: D.Ramlakhan MSc
Bedrijf: Telesur
Bedrijfsbegeleiders: R.Baboeram BSc
O.Rattan (RF-specialist)

Paramaribo, 7 februari 2014

Samenvatting

In dit verslag is het onderzoek beschreven naar wat de alternatieven zijn voor Telesur om zijn klanten van breedbandinternet te voorzien in gebieden waar er geen bekabeling is. Er is een aantal oplossingen, maar in dit tijdperk wordt er in de telecomwereld gesproken van 4G. Dit is de vierde generatie en tevens ook de nieuwste technologie op het gebied van breedband. Op grond hiervan wordt er een hybride oplossing van WiMax en LTE aanbevolen.

Een groot probleem dat ontstaan is binnen de klantenkring van Telesur is dat er een grote behoefte bestaat aan breedbandinternet, waarbij een aantal van deze klanten in gebieden wonen waar er geen kabelinfrastructuur van Telesur is. De vraag nu is hoe deze groep van klanten toch voorzien kunnen worden van breedbandinternet. Om dit probleem op te lossen is er besloten om een gebied te kiezen waar er geen kabelinfrastructuur van Telesur is en waar er grote behoefte bestaat voor de mensen aan breedbandinternet.

Dit is het Hanna's Lustgebied dat een verkavelingsproject is van de overheid en waar er ook een woningbouwproject komt voor minder draagkrachtigen. Als er alleen gekeken wordt naar het woningbouwproject dan komen er ongeveer 700 woningen in dat project. De buurt is dichtbevolkt en is ook een studentenrijke buurt. Hierdoor is er een grote behoefte aan breedbandinternet.

Doordat er geen kabelinfrastructuur is in dit gebied zal er een oplossing gezocht worden in de richting van een "wireless breedband solution". Gezien de nieuwe technologie wordt aan Telesur geadviseerd om LTE en WiMax te implementeren om zijn klanten van breedbandinternet te voorzien in dit gebied.

Er is onderzoek verricht in hoeverre het mogelijk en haalbaar is om deze nieuwe technologieën te implementeren in dit gebied. Er zijn een aantal redenen waarom er voor dit gebied gekozen is. Er is al een stukje terrein voor Telesur gereserveerd om zijn activiteiten te ontplooiën. Er is ook energievoorziening aanwezig. Dit zijn twee factoren waardoor Telesur een groot deel van de kosten kan besparen. Verder is er een groot marktaandeel voor Telesur aanwezig doordat de buurt zo dichtbevolkt is.

Om deze nieuwe technologieën te kunnen implementeren in dit gebied is er eerst onderzocht of er spectrum beschikbaar is omdat wireless netwerksystemen onmogelijk opgezet kunnen worden zonder dat spectrum beschikbaar is. Het spectrum zal schoon moeten zijn zonder enige storing en interference. Dit is d.m.v. berekeningen en metingen onderzocht.

Doordat er een aantal frequentiegebruikers (tv- en radiozenders) in dat gebied voorkomen kan het spectrum vervuild zijn en kunnen er storingen en interference optreden. Er is onderzocht hoe groot deze zijn en hoe ze weggewerkt kunnen worden.

Een ander belangrijk onderwerp voor onderzoek is de aanvoer van de nodige capaciteit in dat gebied. Er is onderzocht hoeveel capaciteit er nodig is voor dat gebied en op welke manier die aangevoerd kan worden. Er zijn verschillende manieren om dit te doen. Het onderzoek heeft uitgezonden dat een wireless backhaul de beste methode is.

Er is ook een onderzoek gedaan naar de user equipments die te verkrijgen zijn op de markt om toegang te krijgen tot het LTE- netwerk. Het heeft geen zin om een netwerk op te zetten waarbij er geen devices voor de users te verkrijgen zijn. Er is dus onderzocht welke devices er zijn voor de users.

Uit al deze onderzoeken is gebleken dat het technisch en economisch haalbaar is om een LTE- pilotproject te beginnen in het Hanna's Lustgebied. Technisch bekeken zijn al de factoren aanwezig die nodig zijn om een LTE- pilotproject te beginnen in dit gebied. Economisch bekeken zal de investering binnen korte termijn terugverdiend kunnen worden. Ook zijn er bepaalde factoren aanwezig waardoor er economisch heel wat kosten bespaard kunnen worden bij de investering van het LTE- pilotproject in het Hanna's Lustgebied door Telesur.

Summary

In this report, the research described in the alternatives for Telesur to provide broadband solutions for Customers in areas where there is no wiring. There are a number of solutions, but in this era there is talk of 4G. In the telecom world this is the fourth generation as well as the latest technology in the field of broadband. On this basis, a hybrid solution of WiMax and LTE is recommended.

A major problem that has arisen within the clientele of Telesur is that there is a great need to broadband, when some of these customers live in areas where there is no cable infrastructure of Telesur. Now the question is how this group of customers may still be provided of broadband. To solve this problem it was decided to choose an area where there is no cable infrastructure from Telesur and where there is great need for people to broadband.

This is the Hanna's Lust area that a development project is by the government, and where there is a housing scheme for them who earn less money. If only looking at the housing scheme then there are about 700 houses in that project. The neighborhood is densely populated and is also a student rich neighborhood. Therefore there is a great need to broadband.

Because there is no cable infrastructure in this area a solution will be sought in the direction of a "wireless broadband solution". Given the new technology is advised to Telesur to deploy LTE and WiMax to provide in this area for customers who need broadband.

The study investigated whether it is possible and feasible to implement in this area, these new technologies. There are a number of reasons why we have chosen for this area. There is already a piece of land set aside for Telesur to develop its activities. There is also provided energy. These are two factors which may be cut a large part of the cost for Telesur. There is a large market for Telesur present because the area is so densely populated.

To implement these new technologies in this field is first examined whether spectrum is available for these wireless network systems because wireless network systems are impossible without spectrum. The spectrum will be without any failure and interference clean. This will have to be using calculations and measurements investigated.

Because some frequency users (TV and radio stations) occur in that area the spectrum may be polluted and failure could occur and interference. It will examine how big they are and how they can be eliminated.

Another important study is the supply of the necessary capacity in that area. It will be investigated how much capacity is needed for that area and how that can be supplied. There are several ways to do this. The investigation showed that a wireless backhaul is the best method.

There is also an investigation into the user equipments which are available on the market to gain access to the LTE network. It makes no sense to set up a network where no devices for users are to obtain. Therefore it will be investigated what devices there are for the users.

From all these studies it is shown that it is technically and economically feasible to an LTE pilot project beginning in Hanna's Lust area. Technically, all the factors are present that are needed to a LTE pilot project to start in this region. Economic viewed the investment will be recouped within a short period. Also, there are certain factors which present a lot of economic costs can be savings in the investment of the LTE pilot project in Hanna's Lust area by Telesur.

Voorwoord

Dit verslag is geschreven ter afronding van mijn studie op het PTC. Hiermee ben ik aan het einde gekomen van mijn vijfjarige studie. Ik heb een onderzoek gedaan naar de behoefte aan wireless breedbandinternet bij de klanten van Telesur.

Dit rapport kan gebruikt worden om een inzicht te verkrijgen voor de implementatie van WiMax en LTE. Het geeft ook enige informatie over de kosten om deze technologieën te implementeren.

Een woord van dank gaat uit naar een ieder die op welke manier dan ook een bijdrage heeft geleverd om dit verslag tot stand te brengen. In het bijzonder zou ik mijn tweede bedrijfsbegeleider, dhr. Omprakash Rattan (RF-specialist) willen bedanken voor zijn bijdrage en de kennisoverdracht die ik van hem heb mogen ontvangen over dit onderwerp tijdens mijn afstudeerperiode. Dhr. O.Rattan is mijn tweede bedrijfsbegeleider die door het TOC verantwoordelijk was gesteld om mij te begeleiden gezien zijn expertise over dit onderwerp. Ook bedank ik mijn bedrijfsbegeleider, dhr. R.Baboeram en mijn schoolbegeleider, dhr. D.Ramlakhan, die elk ook hun bijdrage hebben geleverd ter afronding van het verslag. Ook zou ik mijn afdelingschef, dhr. G.Shakison, en mijn afdelingshoofd, dhr. O.Small, willen bedanken die mij de gelegenheid hebben geboden om mijn afstudeeropdracht af te ronden. Niet te vergeten mijn collega's op de afdeling die een deel van mijn taak hebben opgevangen gedurende mijn afstudeerproject.

Paramaribo, 7 februari 2014

Ashokkoemar Kalpoe

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

Lijst van afkortingen

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

1 Inleiding.....	14
2 RF- Network Design.....	15
2.1 The five C's	15
2.1.1 Coverage.....	16
2.1.2 Carrier to Interference and Noise Ratio ($C / (N + I)$).....	18
2.1.3 Complexity.....	18
2.1.4 Cost.....	18
2.1.5 Capacity.....	19
2.2 Modulatietechnieken	19
2.2.1 QAM - modulatie techniek.....	19
2.2.2 OFDM -modulatie techniek.....	20
2.3 Multiple access radiotechnieken	23
2.3.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA).....	24
2.3.2 Time Division Multiple Access (TDMA)	24
2.3.3 Code Division Multiple Access (CDMA)	24
2.4 Duplex- technieken.....	24
2.4.1 Time Division Duplex (TDD).....	25
2.4.2 Frequency Division Duplex (FDD).....	25
2.5 Theorie antennes.....	25
2.5.1 Smart antennes	26
2.5.2 Switched beam.....	26
2.5.3 Adaptive Array	27
2.6 Radio Access performance	27
2.7 Backhaul	30

3 Spectrumgebruik.....	32
3.1 Frequentiemanagement.....	32
3.1.1 <i>Het bestemmen van frequenties</i>	33
3.1.2 <i>Het frequentiespectrum in Suriname</i>	34
4 Case studie	36
4.1 Beschikbaar frequentiespectrum	38
4.2 Beschikbaar Customer Premises Equipment (CPE)	47
5 Conclusies en aanbevelingen	52
Literatuurlijst	53
Bijlage I: Specificaties van een 4G LTE USB- modem.....	54
Bijlage II: Specificaties van LTE outdoor user equipment.....	56
Bijlage III: Specificaties van LTE PCI Express Mini Cards	58
Bijlage IV: Terrein op Hanna's Lust ter beschikking van Telesur	60

Lijst van afkortingen

2G – Tweede generatie mobiel netwerk
3G – Derde generatie mobiel netwerk
4G – Vierde generatie mobiel netwerk
ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line
Avg – Average
BPSK – Binary Phase-Shift Keying
BTS – Base Transceiver Station
Bw – Bandwidth
CDMA – Code Division Multiple Access
CPE – Customer Premises Equipment
DAB – Digital Audio Broadcasting
dB – decibel
dBm – decibel per milliwatt
dBw – decibel per watt
DL – Downlink
DMT – Discrete Multi-Tone
DVB – Digital Video Broadcasting
EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FCC – Federal Communications Commission
FDD - Frequency Division Multiplexing
FDMA – Frequency Division Multiple Access
FFT – Fast Fourier Transform
FM – Frequency Modulation
FSPL – Free Space Loss
FTTH – Fiber To The Home
Gbit/s – Giga bit per second
GHz – Giga Hertz
GPRS – General Packet Radio Service
GPS – Global Positioning System
GSM – Global System for Mobile Communications
HDF – Hoog Doorlaat Filter
HSDPA – High-Speed Downlink Packet Access
ITU – International Telecommunication Union
ITU-R – International Telecommunication Union for Radio communications
KB – kilobyte
Kb/s – kilobyte per second
Km – kilometer
Kw – kilowatt
LOS – Line Of Sight
LTE – Long Term Evolution
Mbps – megabyte per second
MHz – megahertz
MIMO – Multiple Input Multiple Output
MISO – Multiple Input Single Output

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PCI - Peripheral Component Interconnect
PSTN – Public Switched Telephone Network
QAM – Quadrature Amplitude Modulation
QPSK – Quadrature Phase-Shift Keying
R.O.I. – Return on Investment
RF – Radio Frequency
Rx – Rx is the telegraph and radio abbreviation for "receive"
SIMO – Single Input Multiple Output
SISO – Single Input Single Output
TAS – Telecommunicatie Autoriteit Suriname
TDD – Time Division Multiplexing
TDMA – Time Division Multiple Access
Telesur – Telecommunicatiebedrijf Suriname
TOC – Telecommunicatie Opleidings- en Onderzoekscentrum
Tx – telegraph and radio abbreviation for "transmit"
U.S – United States
U.S.A – United States of America
UHF – Ultra High Frequency
UL - Uplink
UMTS – Universal Mobile Telecommunications System
USB – Universal Serial Bus
VN – Verenigde Naties
Wi-Fi - Wireless Fidelity
WiMax – Worldwide Interoperability for Microwave Access
WISE – Wireless Information Services
WRC – World Radio Conference

Lijst van figuren

Figuur 1: De verschillende bestrijkingengebieden	16
Figuur 2: De verschillende bestrijkingengebieden met bijbehorende cellsite	17
Figuur 3: Spectrumgebruik bij OFDM versus andere analoge modulatietechnieken	21
Figuur 4: Multipath fading environment	22
Figuur 5: QAM-16 - 4bit multilevel codering.....	23
Figuur 6: Multiple access radio technieken.....	24
Figuur 7: Switch beam antenne	26
Figuur 8: Adaptive array antenne	27
Figuur 9: De ITU- onderverdeling in drie regio's	34
Figuur 10: Kaart van het Hanna's Lustproject	37
Figuur 11: Kaart van het Hanna's Lustproject	38
Figuur 12: U.S. FCC 700MHz band for commercial services	39
Figuur 13: Uplink- indeling beginsituatie	42
Figuur 14: Uplink- indeling uitbreiding	42
Figuur 15: Grafiek HDF voor het blokkeren van frequenties beneden kanaal 53	44
Figuur 16: Stralingspatronen van de BTS- antenne met een grote en een kleine hoek.....	46
Figuur 17: 4G LTE USB modems.....	48
Figuur 18: Laptops met ingebouwd 4G Gobi modem.....	49
Figuur 19: Tablets met ingebouwd Gobi modem.....	49
Figuur 20: Cell phones met ingebouwde 4G LTE Gobi chip	49
Figuur 21: LTE outdoor user equipment.....	50
Figuur 22: LTE PCI Express Mini Card	50
Figuur 23: LTE Wi-Fi Hotspot.....	51

Lijst van tabellen

Tabel 1: Berekening free space loss bij verschillende frequenties.....	28
Tabel 2: Berekening signaalsterkte van de tv- zenders in het Hanna's Lustproject	43
Tabel 3: Rx performance BTS receiver.....	44
Tabel 4: Bepaling van de pico-, micro- en de macrocel voor een worse t case scenario.....	45
Tabel 5: Bepaling van de pico-, micro- en de macrocel voor een practical scenario.....	46

1 Inleiding

Gemak dient de mens. Elk mens op de wereld is op zoek naar steeds meer gemak. Vooral als het erom gaat zijn of haar werkzaamheden op een gemakkelijker en efficiënter manier uit te voeren. Zeer belangrijk is ook om dit any time te kunnen doen en op elke locatie. Ook op telecommunicatiegebied is dit niet uitgesloten. Mobiel werken voorziet in deze behoefte van de mens om op elk moment online te zijn.

In dit verslag is beschreven in hoeverre Telesur in deze behoefte kan voorzien. Er is een casestudie gemaakt van de haalbaarheid van wireless breedbandinternet solutions in een verkavelingsgebied waar er nog geen kabelinfrastructuur is.

De opdracht was om te onderzoeken op welke manier in de behoefte naar breedbandinternet voorzien kan worden van de groep van mensen in zo'n gebied .

Gezien de technische en economische haalbaarheid is er gekozen voor het Hanna's Lustproject waar de overheid bezig is met een woningbouwproject. Hieruit vloeit dan ook de probleemstelling voort: **Welke mogelijkheden zijn er om mensen van breedbandinternet te voorzien door Telesur in het Hanna's Lustgebied waar er geen bekabeling is?**

De doelstelling is om alternatieven aan te dragen om mensen toch van breedbandinternet te voorzien door Telesur in gebieden waar er geen bekabeling is.

Doordat de leef-, werk- en woonomgeving van de mens verschillend is wil de mens eerder mobiel zijn dan aan een stopcontact gebonden zijn. De toekomst zal dus meer gericht zijn op mobiele communicatie en in dit verslag is het onderzoek naar de mogelijkheden voor mobiele communicatie onderzocht.

De opbouw van de kern van het verslag ziet er als volgt uit: In hoofdstuk 2 zijn aan de hand van literatuurstudie de verschillende aspecten besproken die belangrijk zijn voor het wireless RF-netwerk. In hoofdstuk 3 is het frequentiespectrum besproken. Hoofdstuk 4 is de casestudie.

De belangrijkste bron is het boek *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*.

2 RF- Network Design

In dit hoofdstuk worden de factoren aangehaald en verduidelijkt waarmee er rekening gehouden dient te worden bij het ontwerpen van een RF- netwerk. Deze factoren gelden niet alleen voor het 3.9G/4G RF- netwerk maar ook voor de eerdere generaties (2G t/m 3.9G) RF- netwerk. Als er rekening wordt gehouden met deze factoren bereikt de telecom provider ook een hoog rendement met het netwerk. In paragraaf 2.1 worden de vijf C's aangegeven die zeer belangrijk zijn voor de juiste balans van elk RF- netwerk. In paragraaf 2.2 worden de modulatietechnieken beschreven die bij een RF- netwerk gebruikt worden. Paragraaf 2.3 geeft de verschillende multi access radio technieken aan. In paragraaf 2.4 worden de duplex technieken beschreven. De antenetheorie wordt in paragraaf 2.5 beschreven. In paragraaf 2.6 worden de factoren aangehaald waarvan de radio acces performance afhankelijk is en in paragraaf 2.7 wordt de backhaul van een RF netwerk beschreven.

De belangrijkste informatiebron van dit hoofdstuk zijn de boeken *Wimax forum rf -network engineer certification boot camp* en *Telecommunicatie*.

2.1 The five C's

Het is zeer belangrijk dat bij elk RF- netwerk er rekening wordt gehouden met de vijf C's, ook wel "The five C's" genoemd. Die zijn:

- Coverage
- Carrier to Interference and Noise Ratio ($C / (N + I)$)
- Complexity
- Cost
- Capacity

The five C's zorgen voor de juiste balans van elk RF- netwerk design. Hierdoor kan de telecom provider dan ook de hoogste output halen uit zo een RF- netwerk indien er gezorgd wordt voor de juiste balans van de vijf C's. De vijf C's worden respectievelijk verder beschreven in de subparagrafen 2.1.1 (coverage), 2.1.2 (Carrier to Interference and Noise Ratio [$C/N+1$]), 2.1.3 (complexity), 2.1.4 (cost) en 2.1.5 (capacity).

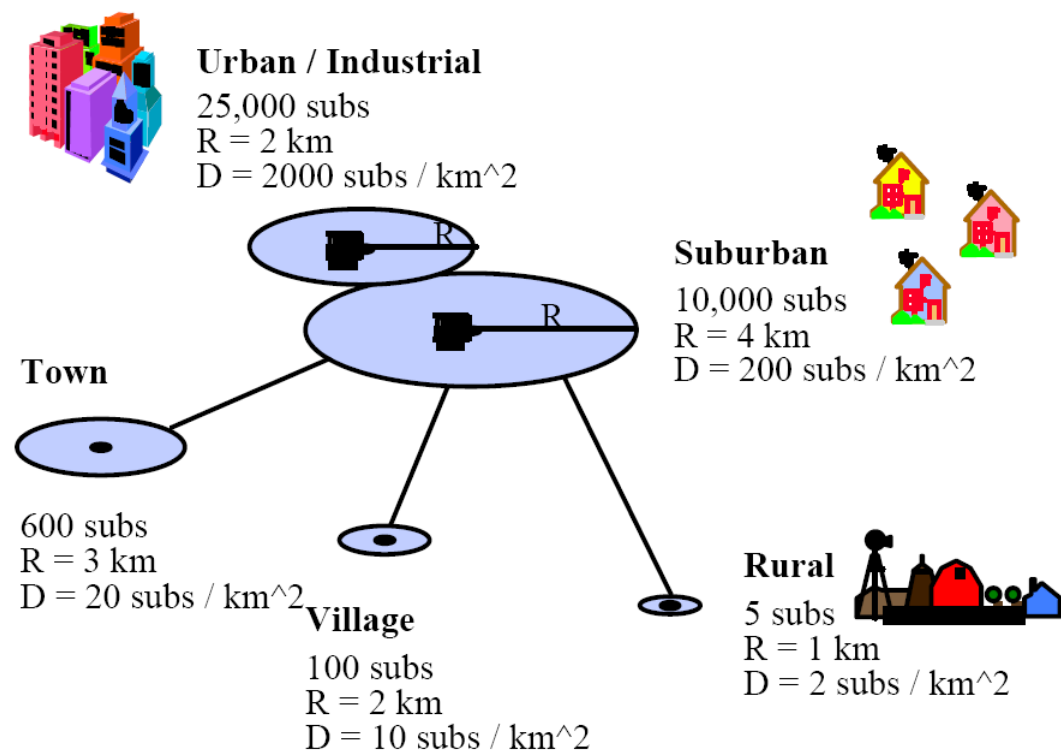
De belangrijkste informatiebron is het boek *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*.

2.1.1 Coverage

Coverage is één van de factoren van de vijf C's waarmee men rekening dient te houden bij het ontwerpen van een RF-netwerk. De telecom provider dient na te gaan welk gebied hij wil coveren (bestrijken) met zijn netwerk. Als er gekeken wordt naar het gebied dat de telecom provider wil bestrijken kan er een onderscheid gemaakt worden naar de volgende bestrijkingengebieden:

- Urban
- Suburban
- Town
- Village
- Rural

Figuur 1 geeft de verschillende bestrijkingengebieden aan met de daarbij behorende afstand vanuit de mast en het aantal gebruikers.



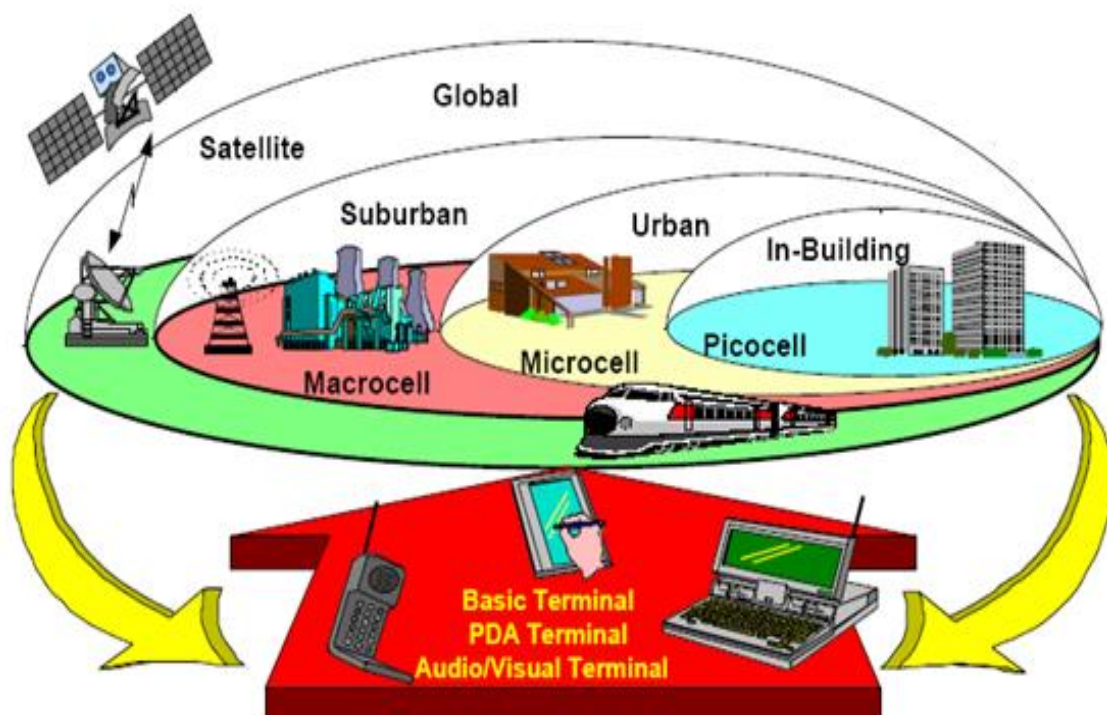
Figuur 1: De verschillende bestrijkingengebieden

Deze bestrijingsgebieden hebben te maken met de afstand waar de gebruiker zich bevindt van de mast uit. Aan de hand van de afstand worden er verschillende modulatietechnologieën ervaren door de gebruikers. Deze worden in paragraaf 2.2 nader besproken. Gezien de afstand kan de gebruiker zich bevinden in een:

- Pico cell
- Micro cell
- Macro cell

Als de gebruiker dicht bij de mast is bevindt die zich in de pico cell. Hier is de ontvangst van de signalen het sterkst. In figuur 2 wordt dit aangegeven met de kleur blauw. Bevindt de gebruiker zich op een grotere afstand dan bevindt die zich in de micro cell. Dit gebied wordt met geel aangeduid in figuur 2. De gebruiker bevindt zich in de macro cell als die zich op een nog grotere afstand van de mast bevindt. De gebruiker ervaart verschillende modulatietechnieken aan de hand van de sterkte van het ontvangstsignaal en afhankelijk van in welke cell de gebruiker zich bevindt. In de pico cell is de ontvangst het sterkst en ervaart de gebruiker 64QAM, in de micro cell wordt de ontvangst minder en ervaart de gebruiker 16QAM terwijl in de macro cell de ontvangst het minst is en er 8QAM (BPSK) wordt ervaren in dat gebied.

Figuur 2 geeft de verschillende bestrijingsgebieden aan en ook in welke cell de gebruiker zich bevindt.



Figuur 2: De verschillende bestrijingsgebieden met bijbehorende cellsite

2.1.2 Carrier to Interference and Noise Ratio ($C / (N + I)$)

The carrier to interference and noise ratio bij een RF- netwerk geeft de verhouding aan tussen het ontvangen signaal en de interferentie die men krijgt. Dit heeft te maken met de storingen die men krijgt op het signaal dat ontvangen moet worden. In het ideale geval wil men het signaal precies zo ontvangen zoals het uitgezonden wordt door de zender. Jammer genoeg is dat alleen theoretisch mogelijk. In de praktijk zal er altijd verlies optreden dat veroorzaakt wordt door verschillende obstakels die tussen de zender en de ontvanger voorkomen. De carrier to interference and noise ratio wordt aangegeven in decibel (dB). Dit is ook een zeer belangrijke factor waarmee er rekening gehouden dient te worden bij het ontwerpen van een RF- netwerk. Voor een ideaal RF- netwerk is de carrier to interference and noise ratio gelijk aan nul. Dit wordt in de praktijk nooit bereikt omdat er ook andere RF- netwerken zijn en ook andere apparatuur die op frequenties werken en die storingen (interferentie) kunnen veroorzaken. Niet te vergeten de obstakels zoals: hoge bomen, bergen, hoge gebouwen e.d. die het signaal kunnen storen. Er zijn formules waarmee deze verhouding bepaald kunnen worden en de maximale toelaatbare carrier to interference and noise ratio is gesteld op 30% voor een RF- netwerk.

Alle ongewenste signalen worden als storing opgevat door de ontvanger. Bij een goede ontvangst ligt de carrier to interference and noise ratio beneden de 30%.

2.1.3 Complexity

Complexity heeft te maken met de complexiteit van het RF- netwerk. Bij het ontwerpen van een RF- netwerk zal men er rekening mee moeten houden dat het netwerk niet te complex wordt. Een te complex netwerk brengt een aantal nare gevolgen met zich mee voor de telecom provider. Hoe complexer een netwerk hoe meer kennis de telecom provider in huis moet hebben om het netwerk op te zetten en ook te onderhouden. Verder brengt dat ook nog meer kosten met zich mee, zowel voor het opzetten als het onderhouden. Complexity is dus ook een factor van de vijf C's waarmee er rekening gehouden zal moeten worden bij het ontwerpen van een RF- netwerk omdat deze factor de andere factoren van de vijf C's kan beïnvloeden.

2.1.4 Cost

Dit houdt het kostenaspect in voor het ontwerpen van een RF- netwerk. Bij het ontwerpen van een RF- netwerk moet men rekening houden met de investering die men pleegt. Men moet uiteindelijk de investering terug kunnen verdienen.

Het moet niet zo zijn dat de kosten die gemaakt worden om het RF- netwerk op te zetten niet terug verdiend kunnen worden. Hier zien we dan ook een duidelijke samenhang en balans van de

vijf C's onderling. Wanneer een RF- netwerk complexer (complexity) wordt zullen de kosten (cost) ook hoger worden. Om een beter bestrijkinggebied (coverage) te hebben kan het RF- netwerk complexer worden met alle gevolgen van dien.

2.1.5 Capacity

Dit is de capaciteit die geleverd kan worden door één sector. Dit is ook een factor van de vijf C's waarmee er rekening gehouden zal moeten worden bij het ontwerpen van een RF- netwerk. Het is afhankelijk van hoeveel gebruikers voorzien moeten worden binnen een sector en waar (in welk bestrijkinggebied en in welke cell) zij zich bevinden (op welk afstand van de mast uit). Afhankelijk van de capaciteit zal blijken welke gebieden (coverage) er gecoverd kunnen worden. Hoe meer capaciteit men nodig heeft des te groter het bestrijkinggebied (coverage) waardoor het RF- netwerk ook complexer (complexity) zal worden wat ook hogere kosten (cost) met zich mee zal brengen. Om een hoog rendement te halen bij het ontwerpen van een RF- netwerk zal men de juiste balans moeten vinden van de vijf C's.

2.2 Modulatietechnieken

Er worden verschillende modulatietechnieken gebruikt om het signaal goed te kunnen ontvangen bij elk RF- netwerk. Afhankelijk van waar (op welke afstand) de gebruiker zich bevindt wordt er een modulatietechniek toegepast. De modulatietechnieken die recentelijk toegepast worden voor een RF netwerk zijn:

- QAM
- OFDM

In subparagraaf 2.2.1 wordt de modulatietechniek QAM beschreven en in subparagraaf 2.2.2 de modulatietechniek OFDM.

De belangrijkste informatiebronnen zijn het internet ([http://en. Wiki-
pedia.org/wiki/Quadrature amplitude modulation](http://en.Wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation)) en het boek *Global growth through communications sharing*.

2.2.1 QAM- modulatietechniek

Kwadratuur-amplitudemodulatie (quadrature amplitude modulation, QAM) is een modulatie-techniek om digitale signalen op een analoge draaggolf te plaatsen en zo te transporteren.

Bij QAM wordt gebruikgemaakt van een combinatie van amplitude- en fasemodulatie. QAM is een vorm van Multi level codering waarbij meerdere bits tegelijkertijd getransporteerd kunnen worden.

De individuele bits worden in groepjes samengebracht, en deze bitgroep vormt een unieke combinatie van amplitude en fase, van een frequentie.

Er zijn verschillende vormen van QAM die zijn toepassing vindt bij een RF netwerk aan de hand van de afstand. Zo kan men een onderscheid maken tussen BPSK, QPSK, 8PSK, QAM-16 t/m QAM-256, dat loopt van een lager niveau naar een hoger niveau. Hoe hoger de niveaus hoe meer data er binnen een bandbreedte kunnen worden overgedragen. Hoe meer data, hoe gevoeliger voor storingen des te accurater de modem moet zijn.

Afhankelijk van waar de gebruiker zich bevindt van de mast uit wordt mede bepaald hoe goed de ontvangst is. Een gebruiker die zich in de pico cell bevindt heeft een ontvangst van 64-QAM terwijl een gebruiker die zich in de micro cell bevindt een ontvangst van 16-QAM heeft. In de macro cell heeft de gebruiker een ontvangst van 8PSK. Dezelfde hoeveelheid data die uitgezonden wordt door de zender in de mast levert een betere ontvangst in de pico cell, daarna in de micro cell en uiteindelijk is de ontvangst het minst in de macro cell. Ook per tijdseenheid kan men in de pico cell een aantal data van dezelfde capaciteit sneller downloaden, daarna volgt de micro cell en daarna de macro cell.

2.2.2 OFDM modulatietechniek

Een variant van QAM is Orthogonal Frequency Division Multiplexing, die vooral wordt gebruikt als het signaal onderhevig kan zijn aan veel storingen. Het signaal wordt bij OFDM parallel op meerdere frequenties verzonden.

Orthogonal Frequency Division Multiplex is een modulatieconcept dat wordt gebruikt voor vele draadloze en radiocommunicatiesystemen zoals: DAB, DVB, Wi-Fi en mobiele video. Deze modulatietechniek zal een heel belangrijke bijdrage leveren aan de telecomsector vanaf de derde generatie naar boven.

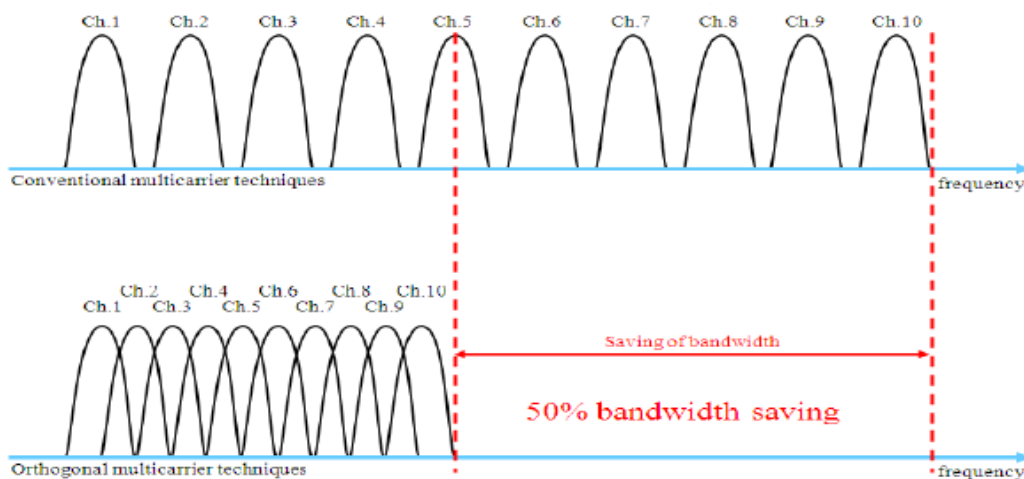
Dit omdat bij deze modulatietechniek gebruik wordt gemaakt van Multi carriers in plaats van single carriers zoals bij de andere modulatietechnieken. Dit biedt dan ook vele voordelen in vergelijking met de andere modulatietechnieken.

De voordelen die de OFDM- modulatietechniek biedt ten opzichte van de andere modulatietechnieken zijn:

- Efficiëntere benutting van het frequentiespectrum,
- Bestand tegen multipath signalering (multipath fading environment),
- Gemakkelijk en flexibel scalable bandbreedte.

Efficiëntere benutting van het frequentiespectrum

Bij OFDM wordt het spectrum efficiënter gebruikt. Bij deze modulatietechniek is het niet nodig om een guardband te laten. Omdat de signalen orthogonaal zijn kunnen ze gemakkelijk weer gedemoduleerd worden. Bij de andere modulatietechnieken moet er een guardband worden gelaten ter voorkoming dat de gebruikers elkaar storen (interference) waardoor er een deel van het spectrum verloren gaat. Bij OFDM wordt het gehele spectrum gebruikt. De signalen die op de draaggolven worden geplaatst overlappen elkaar en liggen vlak naast elkaar. Vanwege het feit dat ze orthogonaal zijn kunnen ze gemakkelijk weer gedemoduleerd worden (figuur 3).



Figuur 3: Spectrumgebruik bij OFDM versus andere analoge modulatietechnieken

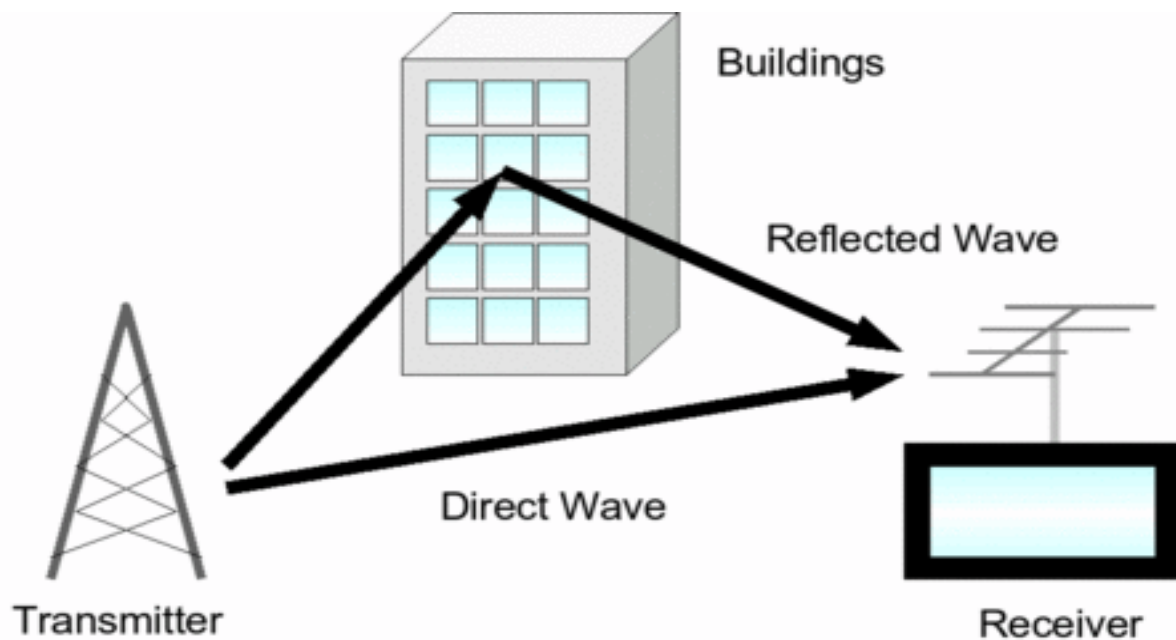
Bestand tegen multipath signalering (multipath fading environment)

Wanneer de signalen vanuit de mast uitgezonden worden bereiken ze niet altijd rechtstreeks de ontvanger, vooral als er obstakels tussen de mast en de ontvanger voorkomen. De signalen worden dan teruggekaatst om uiteindelijk bij de ontvanger te belanden. Hierdoor vindt er een propagatiedemping plaats waardoor het signaal zwakker wordt.

Als het signaal te zwak wordt is het bijna niet meer bruikbaar voor de ontvanger. Bij de OFDM - modulatietechniek is het echter zo dat het signaal ongeveer even sterk bij de ontvanger terecht komt, of het nou rechtstreeks is of teruggekaatst wordt door een obstakel (figuur 4).

Bij het transporteren van de data wordt een high-bit rate data stream verdeeld in verschillende parallelle low-bit rate data streams die door een aantal sub carriers worden getransporteerd. Wanneer data getransporteerd worden met een hoge snelheid is de kans voor storing en interferentie ook groot. Hoe kleiner de snelheid hoe minder de kans is voor storing en interferentie.

Doordat de data verdeeld wordt over een aantal sub carriers wordt de snelheid lager waardoor er minder kans is voor storingen. Bij de ontvanger worden al de data dan weer samengebracht en op hetzelfde tijdstip heeft de ontvanger dan een grotere hoeveelheid data ontvangen (in vergelijking met andere modulatietechnieken) in goede conditie, dus niet vervormd.



Figuur 4: Multipath fading environment

Gemakkelijke en flexibel scalable bandbreedte

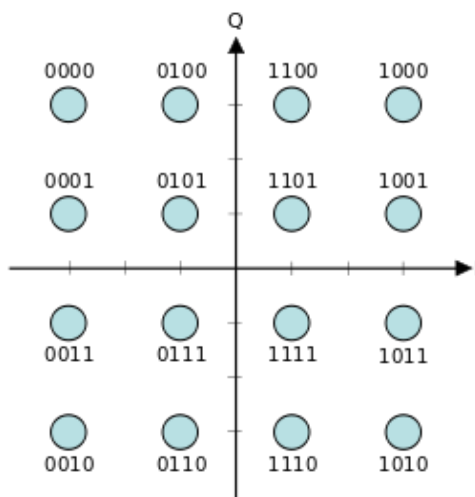
Bij OFDM is de bandbreedte scalable. Er kan voor gekozen worden om te beginnen met een lage bandbreedte, aangezien er in het begin niet zoveel gebruikers zullen zijn en ook rekening houdende met het beschikbare frequentiespectrum. Naarmate het aantal gebruikers toeneemt, kan de bandbreedte vergroot worden zonder extra investeringen te plegen, indien er spectrum beschikbaar is. Dit wordt mogelijk gemaakt door de flexibility van OFDM, doordat de bandbreedte een grote range (reikwijdte) heeft.

De werking van OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), ook bekend als Discrete Multitone Modulation (DMT), is een techniek om data te versturen door gebruik te maken van meerdere smalbandede gemoduleerde draaggolven met verschillende frequentie.

Bij gewone Frequency Division multiplexing wordt het signaal samengesteld uit meerdere kleinere subsignalen die gelijktijdig op verschillende frequenties verstuurd worden zoals vroeger bijvoorbeeld bij interlokale telefonie gebeurde.

Bij OFDM splitst men een bitstream met hoge bit-rate op in een zeer groot aantal parallelle bitstromen met lage bitrate, bij DVB-T bijvoorbeeld zijn er 8192 (8k) stromen met zeer lage bitrate. De subdraaggolven, die de symbolen met lage bitrate versturen, werken op zeer precies bepaalde frequenties. De ontvanger moet exact op deze frequenties synchroniseren. Meestal worden er in de parallelkanalen geen bits maar symbolen verzonden, die uit meerdere bits bestaan. Zo worden er bij QAM-64 6 bits per symbool verzonden, en bij QAM-16 4 bits per symbool (figuur 5). De ontvanger gebruikt FFT om de kanalen weer van elkaar te scheiden. Door een uitgekiende keuze van de frequenties en van de FFT timing, wordt onderlinge beïnvloeding van de symbolen (Inter Symbol Interference) in de parallelkanalen voorkomen. De techniek vraagt veel rekenkracht en kan door de dalende kosten van digitale processors de laatste jaren op grote schaal worden toegepast.



Figuur 5: QAM-16 - 4bit multilevel codering

2.3 Multiple access radiotechnieken

Bij wireless communicatie wordt er gebruikgemaakt van het frequentiespectrum. Zonder dit spectrum is het onmogelijk wireless te communiceren. Het is ook gebleken dat frequentiespectrum heel schaars is. Door het beperkte frequentiebereik is men op zoek gegaan naar methoden om meerdere gebruikers te laten communiceren in hetzelfde frequentiebereik. Multiple Access technieken zijn manieren om toegang te krijgen tot een enkel kanaal door meerdere gebruikers. Ze bieden meervoudige toegang tot het kanaal. Op basis van het type kanaal, kunnen we multiple access technieken onderverdelen in: FDMA, TDMA en CDMA. Deze access technieken worden respectievelijk verder beschreven in de subparagrafen 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.3.

De belangrijkste informatiebronnen zijn het internet

(<http://searchnetworking.techtargert.com/definition/TDMA>) en het boek *Introduction to LTE*.

2.3.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)

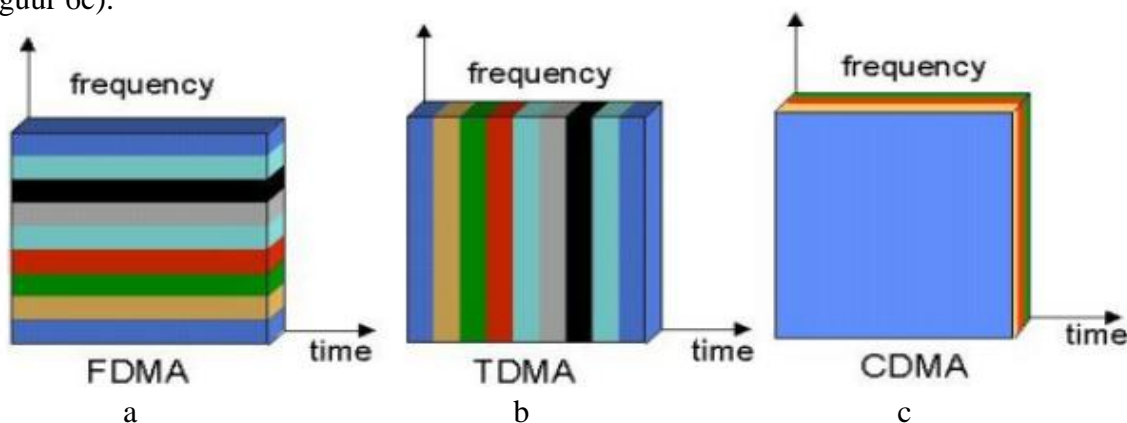
De frequentieband wordt verdeeld in kleine frequentiekanalen en verschillende kanalen worden toegewezen aan verschillende gebruikers, net als bij de FM-radio. Meerdere gebruikers kunnen uitzenden tegelijkertijd maar op verschillende frequentiekanalen. Elke gebruiker zit dan in een andere frequentieband (zie figuur 6a).

2.3.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

Iedere gebruiker mag uitsluitend uitzenden in gespecificeerde tijdslots met een gemeenschappelijke frequentieband. Meerdere gebruikers kunnen zenden op dezelfde frequentieband op verschillende tijdstippen. Hier wordt dus aan elk gebruiker een ander time-slot (tijdstip) toegewezen (zie figuur 6b).

2.3.3 Code Division Multiple Access (CDMA)

Gebruikers kunnen op hetzelfde moment communiceren met dezelfde frequentieband, maar gebruiken verschillende codes. Bij de decodering worden de gebruikers weer geïdentificeerd (zie figuur 6c).



Figuur 6: Multiple access radiotechnieken

2.4 Duplextechnieken

Er is sprake van een duplexcommunicatie wanneer beide partijen bij een communicatiesysteem in staat zijn tegelijk te communiceren. Er zijn dus twee kanalen die tegelijk in werking treden wanneer beide partijen tegelijk praten. Een voorbeeld hiervan is het PSTN- telefoonnetwerk.

Bij systemen waar er multiple acces technieken gebruikt worden is men genoodzaakt om ook duplextechnieken te gebruiken omdat meerdere gebruikers via hetzelfde kanaal communiceren.

Duplextechnieken kan men onderverdelen in: Time Division Duplex (TDD) dat in subparagraaf

2.4.1 verder wordt beschreven en Frequency Division Duplex (FDD) dat in subparagraaf 2.4.2 verder wordt beschreven.

De belangrijkste informatiebron is het boek *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*.

2.4.1 Time Division Duplex (TDD)

Time Division Duplex is een techniek die half duplex is. Het is dus niet mogelijk om te communiceren in beide richtingen tegelijk. TDD heeft wel het voordeel dat het gebruikmaakt van de volledige capaciteit. Hierdoor kunnen er wel sneller data gedownload worden. Ook het uploaden gaat veel sneller. Het nadeel is dat het up- en downloaden niet tegelijk kunnen geschieden omdat er maar van één kanaal gebruik wordt gemaakt voor de uplink (van CPE naar de base) en ook voor de downlink (van de base naar de CPE).

2.4.2 Frequency Division Duplex (FDD)

Frequency Division Duplex is een techniek die full duplex is. Hier wordt er van twee kanalen gebruikgemaakt op twee verschillende frequenties. Uploaden en downloaden kunnen dus tegelijk plaatsvinden. Alleen zal het uploaden en downloaden trager zijn vergeleken met TDD bij dezelfde bandbreedte omdat de capaciteit hier verdeeld wordt tussen de uplink en de downlink.

2.5 Theorie antennes

Bij wireless communicatie wordt er gebruikgemaakt van antennes die dienst doen als zenders. Deze antennes worden in de masten geplaatst. Hoe hoog de antenne in de mast geplaatst moet worden hangt af van het frequentiespectrum dat bepaalt hoe ver zo een antenne uitstraalt en dat gebied dat bestreken zal worden door deze antenne. Normaal worden er antennes gebruikt met een Single Input Single Output (SISO). De generatie 2.5G naar boven maakt gebruik van smart antennes waarbij er een onderscheid gemaakt kan worden in switched beam antennes en adaptive array antennes. Deze worden verder besproken in de subparagrafen 2.5.2 en 2.5.3. in subparagraaf 2.5.1 worden de verschillende smart antennes besproken.

De belangrijkste informatiebronnen zijn het internet

(<https://www.google.com/search?q=switched+beam&espv=210&es>) en het boek *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*.

2.5.1 Smart antennes

Een smart antenne is een digitale draadloze communicatieantennesysteem dat het voordeel heeft dat het zowel bij de transmissie als bij de ontvangst gebruikt kan worden voor meerdere radio-

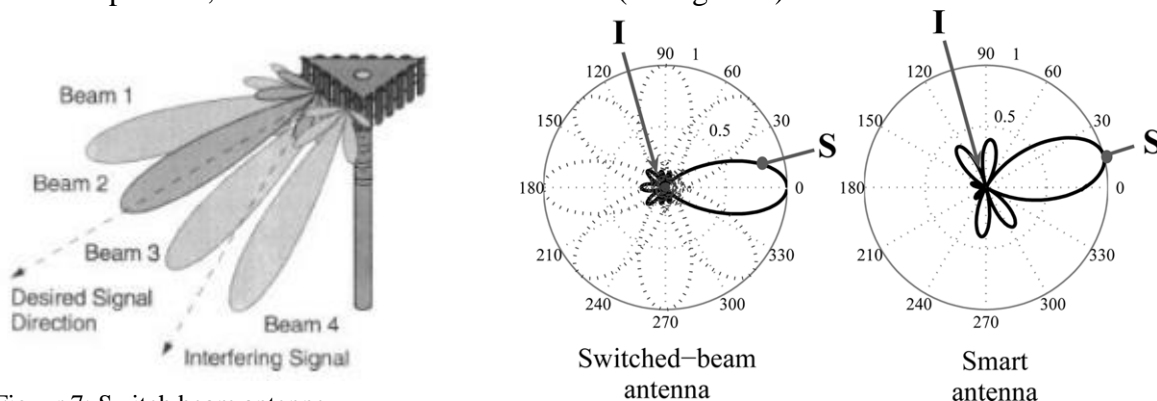
frequentie (RF) golven om de snelheid van de data te verhogen of om ruis en storingen te onderdrukken wat bij een normale antenne niet het geval is.

Bij wireless communicatie kunnen er obstakels zijn waardoor het signaal niet rechtstreeks van de zender naar de ontvanger gaat. Als er bomen, gebouwen of bergen tussen zender en ontvanger zijn kunnen ze ervoor zorgen dat het signaal vervormd en vertraagd aankomt doordat het signaal verschillende wegen gaat zoeken om de ontvanger toch te bereiken. Een smart antenne biedt de mogelijkheid om het signaal even snel en even goed te ontvangen ondanks deze obstakels doordat er multipath golfvoortplanting plaatsvindt. Dat betekent dat de golfvoortplanting verschillende wegen bewandelt, de obstakels ontwijkend, om de ontvanger ruisloos te bereiken.

Smart antennes kunnen in drie hoofdgroepen verdeeld worden: SIMO (Single Input Multiple Output), MIMO (Multiple Input Multiple Output), en MISO (Multiple Input Single Output). Bij de SIMO- technologie wordt er één antenne gebruikt bij de zender terwijl er twee of meerdere antennes bij de ontvanger worden gebruikt. Bij de MISO- technologie worden er twee of meerdere antennes gebruikt bij de zender en één antenne bij de ontvanger. Bij de MIMO- technologie worden aan beide kanten (zender en ontvanger) twee of meerdere antennes gebruikt. Onlangs heeft MIMO de meeste aandacht getrokken omdat die niet alleen in staat is om de nadelige effecten van de voortplanting van de radiogolven via verschillende wegen te elimineren maar deze soms zodanig weet om te zetten dat het voordeliger uitkomt voor een stabielere communicatie.

2.5.2 Switched beam

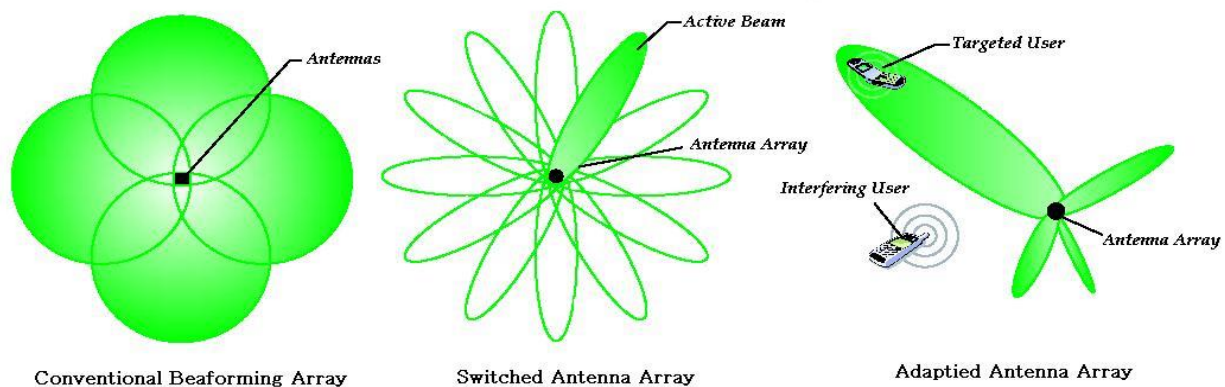
Smart antennes kunnen in twee main typen verdeeld worden: switched beam en adaptive array. Switched beam systemen hebben verschillende beschikbare vaste straalpatronen. Niet alle straalpatronen stralen op het zelfde tijdstip uit. Het hangt er van af in welke straalpatroon de gebruiker zich bevindt. Begeeft de gebruiker zich van het gebied waar de ene straalpatroon uitstraalt naar een ander gebied waar er een ander straalpatroon uitstraalt dan vindt er ook een switch plaats van het straalpatroon, vandaar de naam switch beam (zie figuur 7).



Figuur 7: Switch beam antenne

2.5.3 Adaptive Array

Adaptive array antennas kunnen gestuurd worden in elke gewenste richting waardoor tegelijkertijd stoorsignalen ontweken worden. Zender en ontvanger zijn zodanig op elkaar afgestemd dat ze elkaar zoeken. Bv. een satelliet en een schotel die op elkaar afgestemd zijn. Als de satelliet beweegt dan gaat de schotel ook bewegen om in een zodanige positie te komen dat hij de signalen van de satelliet nog steeds kan ontvangen. Op deze manier worden andere signalen (stoorsignalen) dan niet opgevangen door de schotel maar alleen de signalen van de satelliet (zie figuur 8).



Figuur 8: Adaptive array antenne

2.6 Radio Access performance

In deze paragraaf worden de factoren beschreven waarvan de radio access performance van een RF- netwerk afhankelijk is.

De belangrijkste informatiebron is het boek *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*.

Download en uploadsnelheden in een cellsite zijn sterk afhankelijk van:

- 1 Gekozen frequentie band (propogatedemping)
- 2 RF- Environment in (Urban, Suburban, Town, Village, Rural)
- 3 Drukke op het netwerk (Aantal gebruikers per sector)
- 4 Afstand tot de zendmast (Pico cell, Micro cell, Macro cell)
- 5 CPE (aantal antennes, zendvermogen)
- 6 Bandbreedte (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHZ)

Ad1 Gekozen frequentieband (propogatedemping)

Propogatedemping zijn de verliezen die optreden wanneer het signaal zijn weg bewandelt van de zender naar de ontvanger. De gekozen frequentieband speelt hierbij een zeer belangrijke rol. Er is een formule waarmee de propogatedemping berekend kan worden in een open ruimte.

Dit wordt ook wel de “free space loss” genoemd. Dit zijn de verliezen van het signaal in een open ruimte. In deze ruimte zijn er dus geen andere obstakels zoals hoge bomen, hoge gebouwen, bergen e.d. die zorgen voor nog meer verliezen. De formule die gebruikt wordt voor het berekenen van “free space loss” luidt als volgt:

$$\begin{aligned}
 \text{FSPL(dB)} &= 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi}{c} df \right)^2 \right) \\
 &= 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} df \right) \\
 &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \\
 &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) - 147.55
 \end{aligned}$$

Uiteindelijk blijkt uit de formule dat er twee factoren zijn die een belangrijke rol spelen bij het berekenen van de “free space loss”. Dit zijn de afstand (d staat voor distance) tussen zender en ontvanger en de gekozen frequentie. C is de snelheid van licht in vacuüm en is een vast getal (constante). In tabel 1 is de free space loss over een afstand van 500 meter berekend voor verschillende frequenties. Hieruit blijkt dat hoe hoger de gekozen frequentie hoe groter de free space loss. Daarom zal de frequentie zo laag mogelijk gekozen moeten worden om de free space loss te beperken. Het is logisch dat de down- en uploadsnelheden minder zullen zijn als de free space loss groter is.

Tabel 1: Berekening free space loss bij verschillende frequenties

F---MHz	Distance---m	Loss---dB
700	500	83.32
800	500	84.48
900	500	85.51
1800	500	91.53
2300	500	93.66
2400	500	94.03
2500	500	94.38
2600	500	94.72

Ad2 RF- environment (Urban, Suburban, Town, Village, Rural)

De RF- environment speelt ook een belangrijke rol bij de performance van de down- en uploadsnelheden. Dit houdt in de omgeving waarin het RF- signaal zich bevindt.

Naast de free space loss speelt de propagatiedemping ook een belangrijke rol bij de ontvangst van het RF- signaal. Obstakels voor het RF- signaal zoals hoge gebouwen, hoge bomen, bergen

e.d. zorgen voor propagatiedemping. De omgeving (urban, suburban, town, village, rural) bepaalt nu hoe groot de propagatiedemping is naast de free space loss. Door de free space loss en de propagatiedemping zal de kwaliteit van de ontvangst van het RF- signaal niet zo geweldig zijn waardoor de down- en uploadsnelheden ook trager zullen zijn.

Ad3 Belasting op het netwerk (Aantal gebruikers per sector)

De drukte op het netwerk bepaalt ook de down- en uploadsnelheden. Dit houdt in hoeveel gebruikers (users) er zijn in die sector. Hoe meer gebruikers er zijn in een sector hoe trager het netwerk zal zijn. Dit komt doordat de bandbreedte die beschikbaar is per sector verdeeld wordt over het aantal gebruikers dat op dat moment bezig is te down- of te uploaden. Het aantal gebruikers per sector bepaalt dus ook de down- en uploadsnelheden in een cellsite.

Ad4 Afstand tot de zendmast (Pico cell, Micro cell, Macro cell)

Het is ook heel belangrijk op welke afstand de gebruiker zich bevindt van de zendmast om de down- en uploadsnelheden te ervaren in een cellsite. Een gebruiker die zich dichterbij (pico cell) de zendmast bevindt ervaart andere down- en uploadsnelheden dan een gebruiker die zich op een grotere afstand (micro of macro cell) bevindt. Hoe dichterbij de zendmast de gebruiker zich bevindt hoe beter en sterker de signaalontvangst, dus hoe groter de down- en uploadsnelheden. In de pico cell is de sterkte van het ontvangen RF- signaal 64-QAM, in de micro cell 16-QAM en in de macro cell BPSK.

Ad5 Customer Premises Equipment (aantal antennes, zendvermogen)

De customer premises equipment (CPE) is ook een factor die een belangrijke rol speelt bij het ervaren van de down- en uploadsnelheid in een cellsite door de gebruiker. Twee gebruikers kunnen zich op precies dezelfde plaats bevinden maar verschillende down- en uploadsnelheden ervaren doordat ze over verschillende CPE's beschikken. De kwaliteit van hun CPE zal nu bepalen welke snelheden ze zullen ervaren.

Ad6 Bandbreedte (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz)

Ook de bandbreedte bepaalt mede de down- en uploadsnelheden in een cellsite. Hoe groter de bandbreedte hoe groter de down- en uploadsnelheden. Dit wordt aangetoond door de theorie van Claude Shannon waarmee de capaciteit van een kanaal wordt berekend. De formule om de capaciteit te berekenen volgens de theorie van Claude Shannon luidt als volgt:

$C = Bw \cdot \log_2(1 + S/N)$, waarbij C de capaciteit aangeeft in bits per seconde, Bw de bandbreedte van het kanaal in hertz, S/N de verhouding tussen het signaal dat uitgezonden wordt en het signaal dat ontvangen wordt. Uit deze formule komt duidelijk naar voren dat hoe groter de gekozen

bandbreedte van het kanaal is hoe groter de capaciteit van dat kanaal is waardoor de down- en uploadsnelheden ook groter zijn.

2.7 Backhaul

In het wireless communicatiesysteem wordt onder backhaul verstaan dat gedeelte van het netwerk (transmissienetwerk) dat het access netwerk verbindt met het core netwerk. De backhaul voert de capaciteit naar de zender toe om die over het gehele netwerk uit te zenden. De toevoer van de capaciteit kan geschieden d.m.v. bekabeling of wireless die verder in deze paragraaf beschreven zullen worden.

De belangrijkste informatiebron is het boek *Fostering the deployment of broadband networks & converged services*.

Grotere capaciteit in een gesectoriseerde cellsite vereist een backhaul met minimaal drie keer zoveel bandbreedte als de Downlink Peak Data Rates plus minimaal drie keer zoveel bandbreedte als de Uplink Peak Data Rates.

Naast fiber optic kan LTE -Advanced op de 2600MHz band een oplossing bieden. WiFi hotspot (2.4GHz) providers gebruiken WiMax unlicensed 5.8GHz band als backhaul.

LTE-Advanced kan een bandbreedte van maximaal 100 MHz ondersteunen, de downloadsnelheid kan tot 3 Gbit/s en de uploadsnelheid kan meer dan 1,5 Gbit/s zijn.

Naast wireless wordt glasvezel nu ook veel gebruikt als medium voor backhaul. Vanwege het feit dat telecom providers naast telecom ook videocontent aanbieden wordt de behoefte aan capaciteit groter. Als er een vergelijking gemaakt wordt tussen glasvezel en wireless backhaul, dan is het belangrijk op te merken dat:

- wireless gemakkelijk op te zetten is, en een dubbele uitvoering ook minder kost in vergelijking met glasvezel.
- glasvezel niet onderhevig is aan storingen (interference) terwijl wireless wel.
- de levensduur van glasvezel langer is en meer bedrijfszekerheid biedt in vergelijking met wireless. Wel is het zo dat het oplossen van een kabelstoring veel langer kan duren dan een storing bij wireless, vooral bij beschadiging van de glasvezelkabel.
- het nadeel van glasvezel is dat het niet overal aangelegd kan worden en daar is wireless dan de oplossing.
- op bepaalde plaatsen glasvezel wel aangelegd kan worden maar wegens de geografische ligging wordt de aanleg heel erg duur waar wireless dan een oplossing biedt.

- een wireless transmissienetwerk heel erg complex kan worden indien er weinig spectrum beschikbaar is en de frequentiekanalen hergebruikt moeten worden.
- het gemakkelijk is een acces netwerk via een wireless transmissienetwerk (backhaul) te verbinden met het core netwerk. Als een pad een interference heeft kan remote overgeschakeld worden naar een ander pad. Al lopen er twee kabels naar de centrale toe, als er bij de ingang van het terrein gegraven wordt dan is de kans groot dat beide kabels beschadigd worden.

Voor grote afstanden is het beter dat glasvezel gebruikt wordt omdat er bij wireless hoge masten nodig zijn door de line of sight (LOS) en dit maakt dat het transmissienetwerk meer gaat kosten. Voor korte afstanden is draadloos goedkoper dan kabel.

Voor een backhaul waar er een hoge capaciteit nodig is kan er beter glasvezel gebruikt worden dan wireless omdat er veel meer capaciteit vervoerd kan worden door glasvezel dan door een wireless transmissienetwerk.

Als er gekeken wordt naar de factor complexity dan wordt een wireless transmissienetwerk veel complexer dan glasvezel. Vooral bij hergebruik van het frequentiespectrum, wanneer er geen spectrum beschikbaar is, wordt het nog complexer.

Als er een backhaul is voor een netwerk dan is het gewenst dat deze backhaul storingsvrij is zodat de users het signaal ook goed kunnen ontvangen. Dit zal moeilijk zijn als er bij de backhaul al storingen optreden. De interferentie is groter bij een wireless transmissienetwerk dan bij glasvezel. Bij glasvezel treden er haast geen storingen op en is het ook bijna onmogelijk dat men gestoord kan worden door derden terwijl bij wireless dat wel het geval is bijvoorbeeld: bij regen, bliksem, andere frequentiegebruikers e.d.

3 Spectrumgebruik

Voor wireless communicatie is het frequentiespectrum zeer belangrijk. In dit hoofdstuk zal het spectrumgebruik nader belicht worden z.a. welke frequentiespectrum er gereserveerd is voor de telecommunicatiesector, welke al bezet zijn en welke er nog vrij zijn. In paragraaf 3.1 zal nader ingegaan worden op het frequentiemangement.

De belangrijkste informatiebron is het internet (<http://www.frequentieland.nl/management.htm>).

3.1 Frequentiemangement

Het frequentiespectrum dat gebruikt wordt voor radiocommunicatie strekt zich uit van praktisch nul Hertz tot 1000 GigaHertz. Het frequentiespectrum wordt om een aantal redenen geordend. In paragraaf 3.1.1 wordt nagegaan hoe het bestemmen van frequenties plaatsvindt. In paragraaf 3.1.2 wordt het frequentiespectrum in Suriname beschreven.

De belangrijkste informatiebron is het internet (<http://www.frequentieland.nl/management.htm>).

Allereerst kunnen radiogolven afkomstig van verschillende bronnen elkaar (bij de ontvanger) beïnvloeden. Dit maakt het nodig om afspraken te maken over het gebruik van frequenties om gebruikers te vrijwaren van storing van anderen. Omdat radiogolven zich tot over de landsgrenzen kunnen voortplanten is internationale afstemming hierbij noodzakelijk

Ten tweede is het frequentiespectrum beperkt en relatief schaars. Het totale frequentiespectrum strekt zich weliswaar uit van 0 Hz tot 1000 GHz, maar niet iedere frequentie is even geschikt voor een bepaalde toepassing. Daardoor is het bruikbare deel van het frequentiespectrum een stuk kleiner en zijn de meest interessante delen relatief schaars.

Een derde reden om te ordenen is harmonisatie. Voor bepaalde toepassingen, zoals radiocommunicatie voor scheep- en luchtvaart, satellietcommunicatie en radionavigatie is internationale harmonisatie vanwege de aard van de toepassing onvermijdelijk. Daarnaast zal het voor zowel gebruikers als fabrikanten en dienstverleners van groot belang zijn als diensten en de daarbij gebruikte apparatuur is geharmoniseerd. Deze diensten kunnen dan over een groot geografisch gebied worden aangeboden, waarbij deze over dezelfde frequentie werken en gebruik maken van dezelfde apparatuur. Voorbeelden hiervan zijn de FM-radio en GSM. Omdat de markt voor FM-radio's praktisch wereldwijd is kan je voor een paar tientjes al een goede ontvanger kopen.

De nodige ordening van het frequentiespectrum wordt bereikt door:

1. Het aantal toepassingen per frequentieband te beperken.
Frequentiebanden worden voor een beperkt aantal toepassingen bestemd.
2. Het aantal gebruikers per frequentieband te beperken.
Het aantal gebruikers kan worden beperkt als er onvoldoende frequentieruimte beschikbaar is voor alle gegadigden.
3. Nadere eisen te stellen aan het gebruik van frequenties.
Het stellen van eisen heeft tot doel storing aan anderen te voorkomen en doelmatig gebruik van het schaarse spectrum te bevorderen.

3.1.1 Het bestemmen van frequenties

Het bestemmen van frequenties voor bepaalde toepassingen is in hoge mate internationaal bepaald. Uitgangspunten hiervoor zijn wereldwijde afspraken die gemaakt worden in de International Telecommunications Union (ITU).

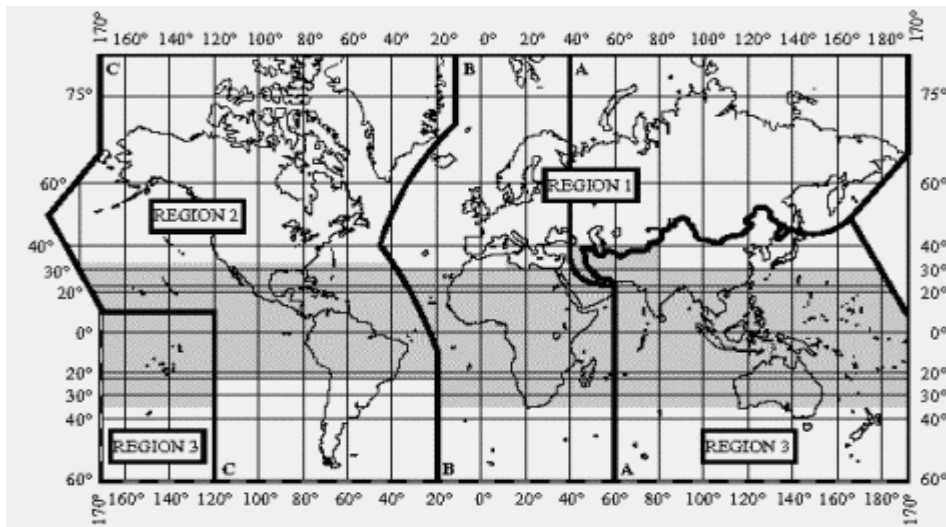
De ITU is een organisatie van de Verenigde Naties (VN) die onder meer belast is met de coördinatie van het frequentiegebruik. Deze coördinatie vindt plaats binnen de ITU-R (radiocommunications). In de ITU-R worden afspraken gemaakt over de indeling van het frequentiespectrum in frequentiebanden en de bestemmingen die aan de frequentiebanden worden gegeven. Als lid van de VN en de ITU is Suriname gebonden aan de afspraken die binnen de ITU-R worden gemaakt.

De afspraken die binnen de ITU-R gemaakt worden over de bestemming van de frequentiebanden worden vastgelegd in de ITU Radio Regulations. Binnen de bestemmingen wordt onderscheid gemaakt naar verschillende typen radiodiensten. Daarnaast zijn de procedures opgenomen die lidstaten moeten volgen om het gebruik van frequenties met de omliggende landen af te stemmen. Via zulke afstemmingsprocedures verwerft een land het gebruiksrecht voor bepaalde frequenties.

De bestemming van frequenties blijft binnen de ITU beperkt tot algemene radiodiensten, zoals omroep, vaste verbindingen, mobiele communicatie of radioplaatsbepaling. Deze radiodiensten kunnen aard- of satellietdiensten zijn. Mobiele diensten kunnen worden onderscheiden naar de aard van de toepassing, zoals landmobiel, maritieme mobiel en luchtvaartmobiel. De radiodiensten zijn niet beperkt tot telecommunicatiediensten.

Er is ook een aantal niet-telecommunicatiediensten, zoals plaatsbepaling, navigatie en toepassingen op het gebied van astronomie, meteorologie, wetenschap en ruimtevaart.

Bij het bestemmen van de frequentiebanden wordt binnen de ITU een onderverdeling gemaakt in drie regio's (zie figuur 9). Suriname behoort tot regio 2.



Figuur 9: De ITU- onderverdeling in drie regio's

Hoewel in principe iedere regio een eigen ITU-frequentietabel heeft, wordt ernaar gestreefd om deze tabellen zoveel mogelijk met elkaar in overeenstemming te brengen om wereldwijd geharmoniseerd gebruik mogelijk te maken.

Afwijkingen op de tabel zijn alleen mogelijk voor zover geen storing wordt veroorzaakt aan de internationaal afgesproken toepassingen. De ITU Radio Regulations worden iedere 3 á 4 jaar bijgewerkt tijdens een World Radio Conference (WRC).

3.1.2 Het frequentiespectrum in Suriname

Zoals het beheer van het frequentiespectrum in handen ligt van de telecomautoriteiten van elk land is dat ook het geval in Suriname. Dit wordt ook wel het frequentiespectrummanagement genoemd. Het frequentiespectrummanagement in Suriname ligt in handen van de Telecom Autoriteiten Suriname (TAS). Een belangrijk onderdeel binnen het frequentiespectrummanagement zijn frequentie allocatie en coördinatie. Het frequentiespectrum is een natuurlijke hulpbron die schaars is en die steeds schaarser wordt, gezien de behoefte aan download en upload speed van de user, die voor alles betaalt.

Om deze behoefte te kunnen ervaren moet de TAS erop toezien dat er geen interferentie optreedt zoals aangehaald in paragraaf 2.1.2, wat één van de factoren is bij het balanceren van elk RF-netwerk door middel van de vijf C's.

Er wordt gesproken over een schaarste van het frequentiespectrum omdat men niet over voldoende frequentiespectrum beschikt om al de activiteiten te kunnen ontplooiën die men gepland heeft. Dit blijkt uit het inkorten van de UHF tv-kanalen die een verloop hadden van kanaal 14 t/m kanaal 82. Eerst werd het teruggebracht tot kanaal 70, daarna weer tot kanaal 50. Om LTE op de 700MHz band te kunnen implementeren moet de TAS ervoor zorgen dat deze band helemaal vrij gemaakt wordt, gezien de bezetting van kanaal 52 door een tv-station. Door de schaarste aan frequentiespectrum wordt er steeds naar betere technologieën gezocht om het frequentiespectrum zo efficiënt mogelijk te gebruiken.

4 Casestudie

In dit hoofdstuk zal de casestudie uitgewerkt worden. Voor de casestudie is ervoor gekozen om een pilotproject te beginnen, voor de implementatie van LTE en WiMax in het Hanna's Lustproject. In paragraaf 4.1 wordt beschreven dat er onderzocht is of er spectrum beschikbaar is om het pilotproject te implementeren en in paragraaf 4.2 wordt het onderzoek beschreven dat gedaan is naar de user equipments van LTE en WiMax.

De belangrijkste informatiebron is het internet.

(<http://www.qualcomm.com/gobi/products/finder?type=Laptops%20and%20Tablets>).

Het is zeer belangrijk dat tijdens de implementatie van het pilotproject de vijf C's in balans worden gebracht voor een goed geslaagd project. Er zal eerst onderzocht moeten worden of er spectrum beschikbaar is om met dit pilotproject te beginnen. Indien er spectrum beschikbaar is zal er nagegaan moeten worden of het spectrum schoon is. Als er negatieve invloeden zijn zal er onderzocht moeten worden welke die zijn en hoe ze weggewerkt kunnen worden. In dit onderzoek is er ook gekeken naar welke invloed de tv-zenders hebben op het LTE- netwerk. Om een goede coverage en voldoende capacity te bewerkstelligen is er een frequentieband nodig met genoeg bandbreedte en weinig propagatiedemping. Er is getracht om de kosten (costs) zo laag mogelijk te houden en een Return on Investment (R.O.I.) van 15% of hoger te bewerkstelligen. Voor dit pilotproject is ervoor gekozen om een casestudie te maken van Hanna's Lustproject 1, 2 en 3. Uit marktonderzoek en veldonderzoek is vastgesteld dat het een dichtbevolkte, studentenrijke woongemeenschap aan het worden is. Gelet op het RF- environment in dat gebied blijkt het een obstakelvrije omgeving te zijn wat heel goed is voor de coverage. Er is voor deze technologie gekozen zodat de user experience, voornamelijk de download- en uploadsnelheid naar wens zal zijn van de klant. Gelet op de ingebouwde mogelijkheden van de user equipment kan Telesur het huidige tv-kanaal 52, dat in de LTE 700MHz band ligt, ook gebruiken om tv- content aan te bieden in dit gebied. Het is een (langzaam) groeiend dichtbevolkt woongebied en biedt de mogelijkheid en genoeg tijd aan de technici van Telesur om te experimenteren met dit pilotproject. Dankzij de mogelijkheid dat de bandbreedte scalable is bij de LTE- technologie kan de download en upload speed vergroot worden naarmate de aanvraag toeneemt zonder extra investeringen te plegen. In de casestudie is er een aantal scenario's uitgewerkt waaruit zal moeten blijken dat het pilotproject op Hanna's Lust, met de aanwezigheid van de analoge tv-zenders in de buurt, die het signaal kunnen storen, toch succesvol gestart kan worden. Het is de taak van de TAS om tv-kanaal 52 dat nu gebruikt wordt vrij te maken om LTE in Suriname te kunnen implementeren op die fre-

quentieband. Gezien de afstand tussen de nieuwe mast die moet komen en de bestaande mast, wordt aanbevolen, om LTE 2600 als backhaul te gebruiken.

Complexiteit van deze cellsite kan verminderd worden door alleen te dealen met mogelijke negatieve invloeden van andere frequentiegebruikers. Er wordt aanbevolen om een 80 meter self supporting mast te gebruiken om in de toekomst ook zendfaciliteiten van Wireless Information Services (WISE), een dochteronderneming van Telesur, in de top te installeren.

Een vereiste hiervoor is wel dat naast een wireless backhaul een fiber backhaul getrokken moet worden. Als het hele project is ontwikkeld en bewoond wordt dan zullen er in dit project ongeveer 457 huishoudens zijn volgens de kaart van het Hanna's Lustproject (figuur 10 en 11). Dat betekent plusminus 457 users in één sector. Om te blijven voldoen aan de behoefte van de klant qua download en upload speed moet op de bestaande cellsite van Hanna's Lust 1 een tweede cellsite komen. Dit brengt met zich mee dat Telesur zoveel mogelijk klanten kan faciliteren in de picocell en de microcell. Users in de macrocell kunnen gebruik maken van fix antennes voor hun laptop.



Figuur 10: Kaart van het Hanna's Lustproject

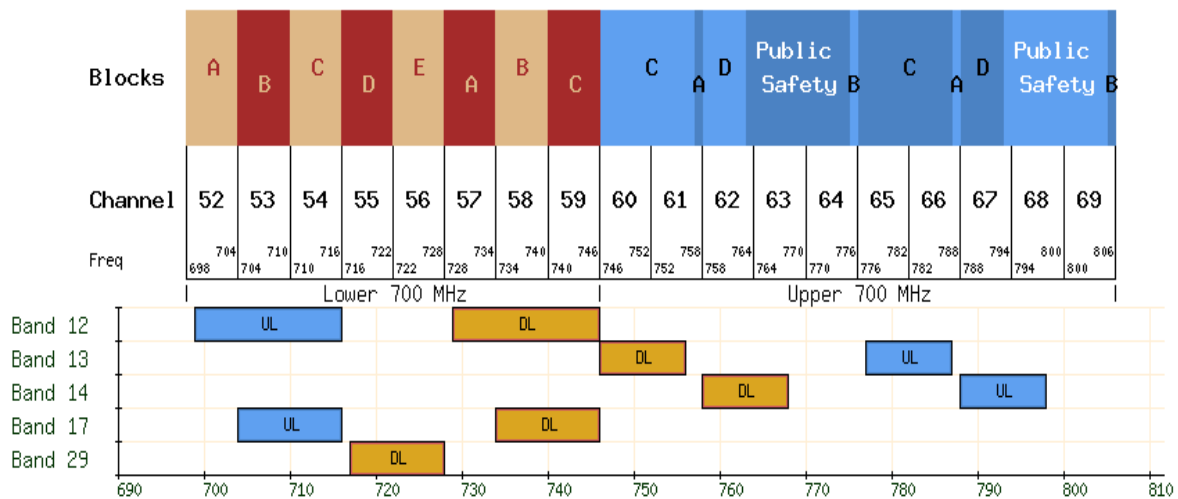


Figuur 11: Kaart van het Hanna's Lustproject

4.1 Beschikbaar frequentiespectrum

Voordat er met dit pilotproject gestart kan worden zal er eerst gekeken moeten worden of er frequentiespectrum beschikbaar is because “no spectrum, no wireless”. Als er geen spectrum beschikbaar is zal er ook geen wireless communicatie mogelijk zijn. Het frequentiespectrum speelt een grote rol om de coverage en de capacity te bepalen. Dit zijn twee van de vijf C's die nodig zijn om het netwerk in een juiste balans te brengen. Hoe hoger de frequentie hoe kleiner de coverage. De bandbreedte van het spectrum bepaalt de capacity.

Figuur 12 geeft het frequentiespectrum op de 700MHz frequentieband aan. LTE kan in verschillende frequentiebanden geïmplementeerd worden maar de 700MHz band biedt een aantal voordelen waaronder coverage en capacity in tegenstelling tot de andere frequentiebanden. Ook de free space loss en de inbuilding penetration loss van de 700MHz band is veel minder dan die van de hogere frequentiebanden. Dit heeft dan ook verder invloed op de download en upload snelheden.



Figuur 12: U.S. FCC 700MHz band for commercial services

Advies ten aanzien van spectrumaanvraag:

Gelet op de bandbreedte van de uplink en de downlink van de frequentiebanden volgens figuur 12 wordt aan Telesur geadviseerd om de band 12 aan te vragen voor de implementatie van het LTE- pilotproject. De uplink en de downlink van band 12 alleen is 3 x 6MHz terwijl de uplink en downlink van de andere banden 2 x 6MHz is. De uplink van band 12 bestaat uit drie kanalen (kanaal 52, 53 en 54), waarbij elk kanaal een bandbreedte van 6MHz heeft. De downlink van band 12 bestaat ook uit drie kanalen (kanaal 57, 58 en 59), met dezelfde bandbreedte. Al deze kanalen zijn vrij behalve kanaal 52, die één van de kanalen is in de uplink van band 12. Dit kanaal wordt momenteel gebruikt voor het uitzenden van analoge tv- beelden. Van de band 12 is alleen kanaal 52 dus nog niet vrij. Het is de taak van de TAS om dit kanaal vrij te maken voor Telesur omdat er internationale afspraken zijn en door de ITU is bepaald dat dit frequentiespectrum voor telecomdoeleinden gebruikt zal worden.

Band 17 omvat als uplink kanaal 53 en 54 en als downlink kanaal 58 en 59. Band 17 is dus een deel van band 12. Dat kanaal 52 nu in gebruik is moet geen reden zijn om band 12 niet aan te vragen omdat er reeds meer dan honderden CPE's beschikbaar zijn met ingebouwde mobile tv receivers. Hiervoor wordt kanaal 52 gebruikt, naar het model van media flo en het LTE- netwerk van Verizon in de USA. Media flo wordt beheerd door Qualcomm en biedt via telecom providers tegen betaling tv- content aan voor mobiel devices.

Het advies aan Telesur is: gebruik de totale 18 MHz bandbreedte voor de downlink en in het begin alleen 5MHz van kanaal 54 als uplink. Kanaal 53 moet in het begin dienen als guardband terwijl kanaal 52 nu nog gebruikt wordt voor tv- doeleinden. Naarmate het gebied dichter bevolkt wordt zal de TAS in staat moeten zijn om kanaal 52 vrij te maken. Indien niet dan zijn er als advies een aantal scenario's om kanaal 52 vrij te maken.

Scenario 1: Telesur kan proberen om te onderhandelen met de eigenaar van kanaal 52 om het op te kopen. Het tv- station op kanaal 52 houdt dan op te bestaan. Indien de eigenaar van kanaal 52 toch zijn bestaansrecht niet wil opgeven, dan zal uitgeweken worden naar de volgende scenario's.

Scenario 2: Telesur die eigenaar is van TV 2 kan een ruil doen voor kanaal 52 met kanaal 2. Telesur als trendzetter voor digitale tv kan de huidige content van kanaal 2 aanbieden in digitale vorm. Hierdoor zal het tv- station van kanaal 52 blijven bestaan maar alleen van kanaal veranderen. In dit geval zal Telesur ook de kosten die gepaard gaan met de zendapparatuur van het tv- station vergoeden.

Scenario 3: Indien Telesur TV 2 niet wil loslaten en kanaal 52 toch wil bemachtigen volgt er een ander scenario. De kanalen die momenteel voor tv- doeleinden worden gebruikt zijn: 14-17-20-23-26-28-30-32-38-45-47-50-52. Bij analoge tv wordt er om het ene kanaal gebruikt. Het tussenkanaal dat vrij is, wordt als guardband gebruikt om elkaar niet te storen. Er is gekeken naar de zogenaamde verloren kanalen. Telesur kan proberen om af te stemmen met de eigenaar van kanaal 17 om die te verschuiven naar kanaal 16 om kanaal 52 vervolgens te brengen naar kanaal 18. Een andere optie is dat Telesur met de eigenaar van kanaal 23 gaat afstemmen om die te verschuiven naar kanaal 22 om vervolgens kanaal 52 bij kanaal 24 onder te brengen.

Hierbij zal Telesur ook moeten inkomen voor de kosten van de zendapparatuur die gepaard zullen gaan met het verschuiven van de kanalen. Deze kosten zullen opgenomen worden in het LTE- project om ze later terug te verdienen.

Momenteel is de TAS, samen met de belanghebbende groepen, bezig om gesprekken te voeren om af te stappen van analoge tv en digitale tv te introduceren. Hierdoor zal het hele frequentiespectrum (zie figuur 12) van kanaal 52 t/m kanaal 69 vrijkomen. Het tv- gebeuren zal dan geschieden in het UHF-frequentiespectrum van kanaal 14 t/m 50. Hierdoor zal het frequentiespectrum dan vrijkomen om LTE te implementeren en Telesur moet als eerste het beste beschikbare frequentiespectrum aanvragen om niet achter het net te vissen. In feite zou Telesur nu al moeten beginnen om die band 12 aan te vragen. Als kanaal 52 even buiten beschouwing wordt gelaten dan heeft Telesur nu alvast 2 x 6MHz (kanaal 53 en 54) voor de uplink en 3 x 6MHz voor de downlink. Voor het pilotproject is dat meer dan voldoende. In afwachting op de komst van digitale tv waarbij kanaal 52 dan vrijkomt, kan Telesur dan alvast met het pilotproject beginnen. Frequentiespectrum is dus wel beschikbaar om LTE te implementeren. Er zal nu gekeken moeten worden of het frequentiespectrum schoon is. Dit betekent dat gekeken moet worden naar hoe het RF- environment eruit ziet. Telesur is niet de enige frequentiegebruiker.

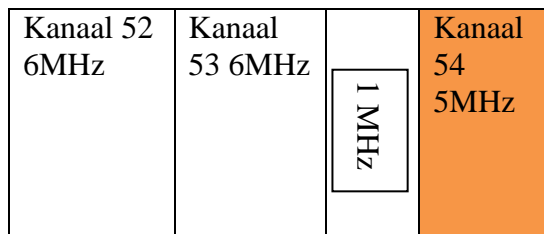
Bij meerdere frequentiegebruikers ontstaan er storingen, die interferentie worden genoemd. Interferentie ontstaat door medegebruikers in dezelfde frequentieband en door medegebruikers van andere frequentiebanden z.a. tv- zenders. Volgens figuur 12 zijn er op hetzelfde frequentiespectrum dat Telesur gaat gebruiken voor de implementatie van LTE ook kanalen die gebruikt zullen worden voor public safety. Het is de taak van de TAS om voor een goed spectrum allocation en coördination te zorgen zodat er geen storingen (interference) optreden. Telesur moet er ook voor waken dat het frequentiespectrum dat hem toebedeeld is niet gestoord wordt door medegebruikers.

De interference kan onderverdeeld worden in outband interference en inband interference. Bij inband interference wordt er ook wel gesproken van multi user interference. Hier treden er storingen op doordat er meerdere users bezig zijn op dezelfde frequentie. Er is dus verschillende apparatuur die verschillende vermogens uitstraalt die elkaar dan storen. Deze interference wordt veroorzaakt door users in dezelfde frequentieband en wordt daarom inband interference genoemd.

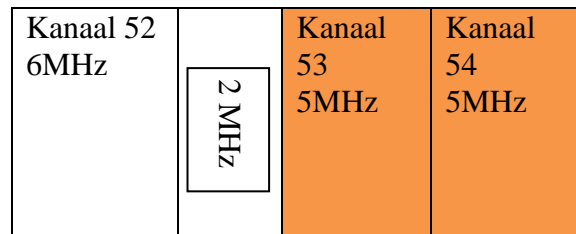
Een andere vorm van interference is outband interference. Deze interference wordt veroorzaakt door gebruikers van verschillende frequenties. Er is dus een aantal gebruikers die op verschillende frequentiebanden bezig zijn.

De interference ontstaat omdat de gebruikers niet zo ver van elkaar zijn. Als Telesur bijvoorbeeld het LTE- pilotproject te Hanna's Lust wil uitvoeren zal er rekening mee gehouden moeten worden dat er geen interference optreedt door de tv- zenders in de buurt. Al zijn de tv- zenders op een andere frequentieband bezig, toch kunnen er storingen (interference) optreden. Deze vorm van interference is outband interference.

Bij het gebruik van band 12 zal de indeling als volgt plaats vinden. Kanaal 52 zal gebruikt worden als mobiele tv. Op dit kanaal kunnen er ongeveer 28 programma's uitgezonden worden. Hierna zal er een speling van 2MHz gelaten worden als guardband. De andere 2x5MHz zal gebruikt worden als uplink waaronder in het begin 5MHz (het laatste gedeelte van kanaal 54). Dus in het begin wordt 7MHz als guardband gebruikt (figuur 13). Als de vraag later toeneemt, kan er nog eens 5MHz van de uplink gebruikt worden vlak naast de andere 5MHz (figuur 14). De resterende 2MHz die overblijft, zal als guardband functioneren. Van de downlink kan vanaf het begin alles gebruikt worden. Voor de downlink is de totale 3x6MHz beschikbaar omdat de technologie de mogelijkheid biedt naarmate de wens van de klant groeit dit van minimaal naar maximaal te gebruiken. En dit is ook heel goed voor experimenteerdoeleinden om te kunnen vaststellen wat het aanbod zal zijn bij de vraag.



Figuur 13: Uplinkindeling beginsituatie



Figuur 14: Uplinkindeling uitbreiding

Het effect van televisiezenders en andere frequentiegebruikers

Als er gestart wordt met het LTE -pilotproject zal er zeker rekening gehouden moeten worden met andere frequentiegebruikers in de buurt. Dit vanwege één van de factoren van de vijf C's (carrier to interference and noise ratio) die zeer belangrijk zijn om een RF- netwerk de juiste balans te geven.

Alvorens te starten met het LTE- pilotproject zal er gekeken moeten worden naar wat de signaalsterkte van de andere frequentiegebruikers is in dit gebied en of deze signalen het signaal van de BTS- antenne niet zullen storen. Als er gekeken wordt naar de andere frequentiegebruikers die in de buurt van het Hanna's Lustproject voorkomen dan kan er opgemerkt worden dat het gaat om radiozenders en televisiezenders. Uit onderzoek van verschillende telecom providers is gebleken dat het signaal van de radiozenders geen gevaar vormt voor eventuele storing van het LTE- signaal. De meeste radiozenders zenden uit op de FM- band die loopt van 87,5MHz t/m 108MHz. Dit frequentiegebied is niet relevant voor het LTE- pilotproject, omdat het ver van de LTE- frequentieband ligt. Het signaal van de televisiezenders kan wel een gevaar vormen voor het LTE -signaal omdat het ook in de UHF- band ligt zoals de LTE- band. De UHF- band loopt van 300MHz t/m 3GHz. De televisiefrequenties komen in deze band voor en voor LTE zal de 700MHz band gebruikt worden. Nu zal er gekeken moeten worden naar welk effect de televisie -zenders zullen hebben op het LTE -pilotproject. Tabel 2 geeft een overzicht van al de televisiezenders en op welke afstand ze liggen van het Hanna's Lustproject waar het LTE- pilotproject geïmplementeerd zal worden. De coördinaten van de ligging van de masten van de televisiezenders zijn bepaald door middel van een gps. Hierna zijn de coördinaten van het Hanna's Lustproject bepaald. Toen kon de afstand van de televisiezenders tot het Hanna's Lustproject bepaald worden. Met deze afstand wordt niet de afstand bedoeld die men per voertuig zou afleggen, maar de afstand die het signaal aflegt. In deze tabel is ook het vermogen van de televisiezenders opgenomen.

Aan de hand van de afstand en de frequentie van de televisiezenders is de free space loss berekend. Dit zijn de verliezen die optreden bij het uitzenden van het televisiesignaal. Als de free

space loss nu afgetrokken wordt van het vermogen van de televisiezender wordt de sterkte van het televisiesignaal verkregen dat in het Hanna's Lustgebied zal voorkomen. De free space loss wordt bepaald in decibel terwijl het vermogen van de televisiezenders in watts wordt aangegeven. Er zijn formules om het vermogen om te zetten van watt naar dBm of dBW. Dit geeft het vermogen aan in decibel op basis van een milliwatt of een watt. Hierna kan de free space loss wel afgetrokken worden van het vermogen van de televisiezenders. In deze tabel zijn de sterktes van al de signalen van de televisiezenders die voorkomen in het Hanna's Lustproject opgenomen. Aan de hand van deze resultaten is nagegaan welke invloed deze signalen zullen hebben op het LTE-signaal.

Tabel 2: Berekening signaalsterkte van de tv- zenders in het Hanna's Lustproject

Naam	Ch	Frequentie (MHz)	Lat	Long	Afstand (Km)	Zendvermogen (Kw)	FSL (dB)	Verwachte signaalsterkte
Radika	14	470.0-476.0	5.7862	-55.1913	2.88	3=64.77dBm	-95.1	-30.33
Sccn	17	488.0-494.0	5.8322	-55.1466	9.843	3=64.77dBm	-106.1	-41.33
Trishul	20	506.0-512.0	5.8038	-55.2011	7.176	3=64.77dBm	-103.7	-38.93
Garuda	23	524.0-530.0	5.8505	-55.1358	12.237	3=64.77dBm	-108.6	-43.83
Sangeetmala	26	542.0-548.0	5.7799	-55.1962	2.013	3=64.77dBm	-93.2	-28.43
Pertjajah	28	554.0-560.0	5.82361	-55.17611	7.187	3=64.77dBm	-104.5	-39.73
Rasonic	30	566.0-572.0	5.8359	-55.1614	10.711	3=64.77dBm	-108.2	-43.43
SBS	32	578.0-584.0	5.7799	-55.1962	2.013	3=64.77dBm	-93.8	-29.03
Ramasha	38	614.0-620.0	5.8494	-55.2591	11.11	3=64.77dBm	-109.2	-44.43
CSN	45	656.0-662.0	5.8354	-55.1688	8.896	3=64.77dBm	-107.8	-43.03
SKY	47	668.0-674.0	5.8074	-55.2041	4.362	3=64.77dBm	-101.8	-37.03
Mustika	50	686.0-692.0	5.8421	-55.1432	11.029	3=64.77dBm	-110.1	-45.33
Gospel	52	698.0-704.0	5.7881	-55.2069	2.2	3=64.77dBm	-96.2	-31.43

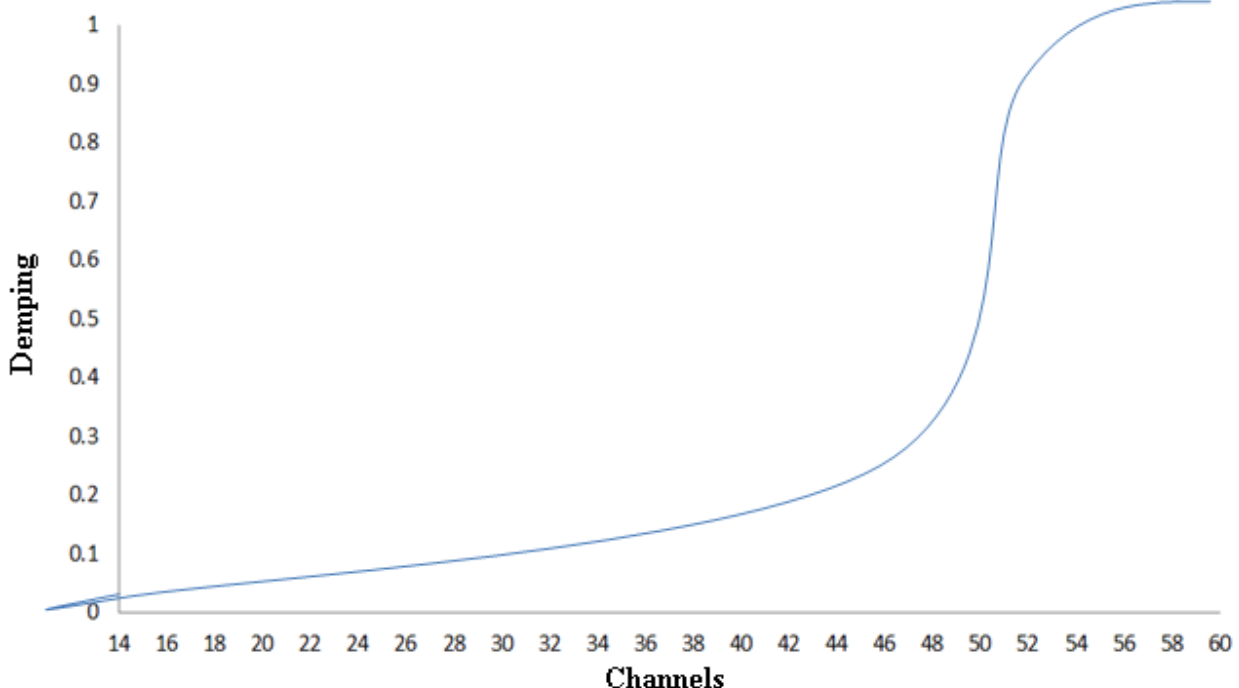
$$P_{(dBm)} = 10 \cdot \log_{10}(1000 \cdot P_{(w)} / 1W) = 10 \cdot \log_{10}(1000 \cdot 3000) = 64.77dBm$$

Om te kunnen bepalen wat de invloed van de sterkte van de televisiesignalen op het LTE- signaal zal zijn is er eerst gekeken naar tabel 3. In deze tabel wordt aangegeven wat de signaalsterkte moet zijn om een bepaalde modulatietechniek en download speed te ervaren. Uit deze tabel blijkt dat het signaal minimaal -94 dBm moet zijn om het signaal nog goed te kunnen waarnemen. Dit betekent dat geen van de signalen die een waarde van lager dan -94 dBm hebben en die voorkomen in het Hanna's Lustproject invloed zullen hebben op het LTE- signaal. Als er gekeken wordt naar tabel 2 dan blijkt dat de sterkte van al de signalen hoger ligt dan -81 dBm. Dit betekent dat de signaalsterkte van al de televisiestations heel vaak voorkomt in het Hanna's Lustproject volgens tabel 2. Deze signalen zullen het LTE- signaal dan ook sterk beïnvloeden.

Tabel 3: Rx performance BTS receiver

Rx sensitivity	DL speed	modulatietechniek
-94dBm	2.5MBPS	BPSK
-87dBm	5.0MBPS	QPSK
-81dBm	15MBPS	16QAM

De interference (outband interference) zal heel hoog zijn. Om geen last te ondervinden van de interference van de televisiesignalen wordt er geadviseerd om een hoog doorlaatfilter te plaatsen voor de BTS- antennes. Deze HDF zal ervoor zorgen dat alle frequenties die voorkomen beneden kanaal 52 geblokkeerd worden en de frequenties die voorkomen na kanaal 52 doorgelaten worden. Hierdoor zal het LTE- signaal geen interference ondervinden van de televisiezenders (figuur 15).



Figuur 15: Grafiek HDF voor het blokkeren van frequenties beneden kanaal 53

Het bepalen van de pico cell, micro cell en de macro cell

Tabel 3 geeft de Rx performance aan van een BTS- receiver op de 700MHz band. In deze tabel wordt aangegeven welke modulatietechniek de user ervaart bij verschillende Rx performances. Hieruit kan de afstand bepaald worden waardoor er ook bepaald kan worden wat de strekkingen zijn van de pico cell, de micro cell en de macro cell. Bij het bepalen van de pico cell, de micro cell en de macro cell is de Rx sensitivity zeer belangrijk. Aan de hand van de berekeningen die gemaakt kunnen worden om de free space loss te bepalen kan de afstand uitgerekend worden hoe ver het signaal komt. Uit tabel 3 blijkt, dat de Rx performance van de BTS receiver -94 dB moet zijn dat de user zich nog net in de macro cell kan bevinden. Uit berekening is gebleken dat deze afstand, voor een frequentie van 700MHz, 1709 meter is. Deze afstanden zijn ook berekend voor de micro cell en de pico cell en opgenomen in tabel 4. Echter zal er rekening gehouden moeten worden met de inbuilding penetration loss. Deze is 12dB voor “worse case scenario’s” en 7dB voor “practical scenario’s” voor de 700MHz band. De inbuilding penetration loss zijn de verliezen van het signaal die optreden door de dikke wanden van de gebouwen. De wanden van kantoorgebouwen zijn dikker vergeleken met van normale huizen en ook zitten de mensen dieper in het gebouw waardoor er meer verliezen zijn bij kantoorgebouwen dan bij normale huizen. Als dit ook wordt meegenomen in de berekeningen dan blijkt de afstand kleiner te zijn geworden. De afstand is nu 429 meter van de macro cell in plaats van 1709 meter. Dus op een afstand van 429 meter zal de user zich in de macro cell bevinden en zal BPSK ervaren. De berekeningen van de afstanden waarop de pico cell, de micro cell en de macro cell zullen zijn in een “worse case scenario”(voor kantoorgebouwen) zijn opgenomen in tabel 4. Eerst zijn de afstanden berekend zonder de inbuilding penetration loss in rekening te brengen. Daarna zijn de afstanden berekend met de inbuilding penetration loss erbij.

Tabel 4: Bepaling van de pico-, micro- en de macro cell voor een worse case scenario

Rx sensitivity(dB)	Afstand(m)	Rx sensitivity met penetration loss(dB)	Afstand(m)	modulatietechniek
-94	1709	$-94+12= -82$	429	BPSK
-87	764	$-87+12= -75$	192	QPSK
-81	383	$-81+12=-69$	96	16QAM

Hierna zijn de pico cell, de micro cell en de macro cell voor een practical scenario (normale huizen) bepaald en de resultaten zijn opgenomen in tabel 5. Eerst is de afstand bepaald waarop de user zich in de macro cell, de micro cell en de pico cell bevindt zonder de penetration loss erbij te nemen. Daarna is de Rx sensitivity bepaald door de penetration loss erbij te nemen. Hierna is de afstand bepaald door middel van berekeningen voor de free space loss.

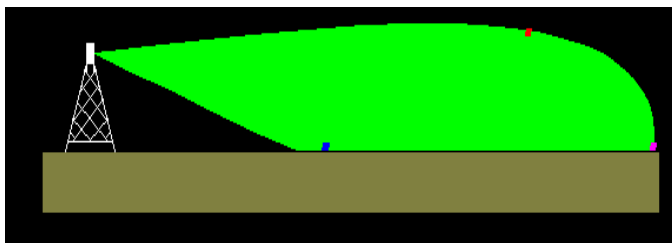
Tabel 5: Bepaling van de pico-, micro- en de macro cell voor een practical scenario

Rx sensitivity(dB)	Afstand(m)	Rx sensitivity met penetration loss(dB)	Afstand(m)	modulatietechniek
-94	1709	$-94+7= -87$	764	BPSK
-87	764	$-87+7= -80$	341	QPSK
-81	383	$-81+7=-74$	171	16QAM

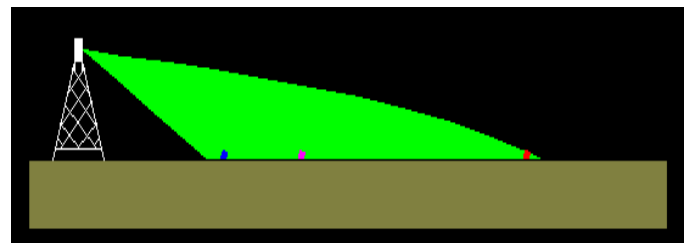
De pico cell in een worse case scenario is tot een afstand van 96 meter, de micro cell op 192 meter afstand en de macro cell op 429 meter afstand vanuit de mast en voor een practical scenario is deze respectievelijk 171 meter, 341 meter en 171 meter.

De keuze van de antenne

Het is zeer belangrijk om de juiste keuze van de BTS- antenne te maken omdat er antennes met verschillende specificaties in de handel te verkrijgen zijn. Belangrijk bij de keuze van de antenne is de frequency range in welke de antenne werkt. Verder zijn belangrijk het stralingspatroon en het vermogen van de antenne. Bij de keuze van de antenne is het ook belangrijk na te gaan welk gebied er gecoverd moet worden. Dit is heel belangrijk om het stralingspatroon van de antenne te bepalen. Figuur 16 geeft twee verschillende stralingspatronen aan.



Figuur 16a



Figuur 16b

Figuur 16: Stralingspatronen van de BTS-antenne met een grote en een kleine hoek

Figuur 16 toont aan dat verschillende delen van een gebied gecoverd kunnen worden door de beamtilt van de BTS- antenne te regelen. Er zal nagegaan moeten worden in welke gebied de klanten zich bevinden om de antenne zo af te stellen dat de klanten een zo goed mogelijke ontvangst hebben. Volgens de antennetheorie heeft elke antenne een stralingspatroon. Dit stralingspatroon straalt onder een bepaalde hoek uit, zowel in de lengte als in de breedte. Als de instelling met een antenne gedaan wordt die 120^0 in de breedte uitstraalt dan kan er volstaan worden met drie antennes om het gebied rondom (360^0) te coveren.

Nu wordt er gekeken naar de stralingspatroon in de lengte. Dit stralingspatroon kan beter uitgelegd worden met de flashlighttheorie. Als de klanten zich ver van de mast bevinden zal er voor een stralingspatroon met een kleine hoek worden gekozen waardoor de straal heel ver uitstraalt

zoals bij een flashlight. Dit betekent dan ook dat er een kleiner gebied gecoverd zal kunnen worden want de straal is dun en lang.

Bevinden de klanten zich niet zo ver van de mast dan kan er gekozen worden voor een antenne waarvan de hoek van de straal iets groter is. Hierdoor wordt de straal iets kleiner maar wordt er een groter gebied gecoverd. Het stralingspatroon van de antenne is hetzelfde als de straal van een flashlight. Als de straal korter wordt gemaakt wordt een groter gebied verlicht terwijl als de straal langer wordt gemaakt er een kleiner gebied wordt verlicht. Bij een grote hoek van het stralingspatroon van de antenne is er een grote coverage, maar de afstand is klein (figuur 16b) terwijl bij een kleine hoek de coverage klein is maar de afstand groot (figuur 16a).

Aanbeveling voor outrole van een pilot: Het voorstel is om te starten op Hanna's Lust 2. Er is reeds land ter beschikking van Telesur (zie bijlage IV) en dat staat niet ver van de bestaande Telesurmast. Dit biedt de mogelijkheid om als backhaul zowel fiber als wireless verbinding te gebruiken. Er is ook stroom en waterleiding aanwezig. Er is een opkomende markt en het is een Low Income Shelter- program waarbij voorzichtig geconcludeerd kan worden dat deze gebruikers niet in staat zullen zijn FTTH te betalen omdat hun salaris al zwaar belast zal zijn bij de bank voor aflossing van de percelen en de woningen. En toch zullen deze mensen de behoefte hebben aan breedbandinternet. Dit voorstel moet gezien worden als een alternatief voor deze mensen omdat technisch gezien het een draadloze ADSL-verbinding is. Men spreekt ook van "copper through the air" (WiMax) en "fiber through the air" (LTE).

Het is een taak van ons allen erop toe te zien dat het frequentiespectrum zo efficiënt mogelijk gebruikt wordt. Het advies aan Telesur is dat Telesur marktleider is en marktleider moet blijven op basis van service quality met inachtneming van service neutrality. Dat betekent dat de andere providers ook hun netwerk mogen opzetten waar Telesur zijn netwerk heeft. Om marktleider te blijven moet Telesur hen voor zijn. Aanbevolen wordt dat Telesur gebruik maakt van de beschikbare knowhow van zijn personeel en van buiten, en het door de staat beschikbaar gestelde perceel op het Hanna's Lustproject, om een pilotproject voor LTE te beginnen. Het onderzoek heeft uitgewezen dat het LTE- pilot project zowel technisch als economisch haalbaar is.

4.2 Beschikbaar Customer Premises Equipment (CPE)

Indien er gestart wordt met een pilotproject voor LTE door Telesur zal er ook user equipment ter beschikking moeten zijn, wil Telesur een marktaandeel hebben. Telesur zal dan ervoor moeten zorgen dat dit user equipment ter beschikking gesteld wordt van zijn klanten.

Wereldwijd zijn er verschillende fabrikanten die devices produceren die LTE en WiMax ondersteunen. LTE wordt op verschillende frequentiebanden op de wereld aangeboden.

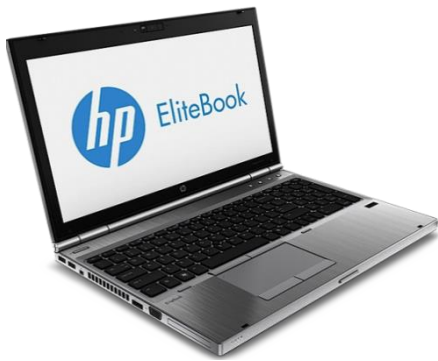
Het LTE- pilot project zal door Telesur op de 700MHz band geïmplementeerd worden. Er zal dan ook user equipment geïmporteerd moeten worden dat LTE op de 700MHz band ondersteunt. Dit zal niet zo moeilijk zijn voor Telesur omdat LTE ook op de 700MHz band geïmplementeerd is in de United States of Amerika (U.S.A). Hierdoor zijn er een aantal fabrikanten in de U.S.A die user equipments produceren die de 700MHz band supporten.

Er zijn verschillende user equipments die LTE ondersteunen. Zo zijn er 4G LTE USB- modems voor laptops (figuur 17). Deze modems kunnen ingeplugd worden in laptops en verschaffen toegang tot het LTE- netwerk. Deze modems zijn zeer handig en kunnen overal gebruikt worden zoals in de auto, in de trein, in vliegtuigen, in het park e.d. Deze USB- modems zijn verkrijgbaar in multiband uitvoeringen d.w.z. dat ze verschillende frequenties ondersteunen (zie bijlage I voor specificaties). Er is een aantal fabrikanten die deze USB- modems produceren die toegang geven tot het LTE -netwerk. Sommigen ondersteunen maar één frequentie (single band) terwijl anderen multiband zijn. Sommige zijn uitgevoerd met tweemaal MIMO- antennes waardoor hun ontvangst beter is dan andere die met enkel MIMO- antennes uitgevoerd zijn. Op basis van hun specificatie verschillen ze dan ook in prijsklasse.



Figuur 17: 4G LTE USB -modems

Er zijn ook laptops en tablets met inbuilding LTE- modems. Deze laptops en tablets hebben een ingebouwd chipmodem van Gobi devices. Deze laptops en tablets kunnen dan direct toegang krijgen tot het LTE- netwerk zonder extra devices te gebruiken. Figuur 18 geeft een paar van deze laptops aan van de zoveel modellen die op de markt te verkrijgen zijn en in figuur 19 worden een paar tablets getoond met ingebouwd LTE -modem.



HP Elitebook 8570p



Lenovo ThinkPad T530



Dell Latitude E5530

Figuur 18: Laptops met ingebouwd 4G Gobi modem



Amazon Kindle Touch



Samsung Galaxy Tab™ 7.7



Pantech Element

Figuur 19: Tablets met ingebouwd Gobi modem

Er zijn ook cellulair phones in de handel verkrijgbaar met een Gobi chip erin die 4G technologie ondersteunt, waaronder ook LTE. In figuur 20 worden een paar van deze toestellen getoond.



LG LS860 Cayenne



Samsung Chrono™



ZTE Memo™

Figuur 20: Cell phones met inbuilt 4G LTE Gobi chip

Voor de klanten die op een afstand van de mast zijn en die het signaal moeilijk kunnen ontvangen binnen hun huis is er ook LTE- outdoor user equipment. Dit equipment functioneert net als een buitenantenne bij een tv waarvan de ontvangst slecht is met een normale binnenantenne. Dit outdoor user equipment vangt het signaal op en via een kabel gaat het dan naar de devices (laptop, computer) binnen in het huis. Hierdoor zal de ontvangst dan beter zijn. Figuur 21 geeft een LTE outdoor user equipment aan. Voor verdere specificaties, zie bijlage II.



Figuur 21: LTE outdoor user equipment

Voor de laptops die geen inbuilt LTE- modem hebben worden er ook LTE PCI Express Mini Cards gemaakt. Deze PEM card kan men in zijn laptop zetten om toegang te krijgen tot het LTE-netwerk. In figuur 22 wordt zo een PEM card afgebeeld. Voor verdere specificaties, zie bijlage III.



Figuur 22: LTE PCI Express Mini Card

Voor kleine bedrijven wordt er ook user equipment geproduceerd waarop een aantal computers aangesloten kan worden. Deze bedrijven kunnen dan een user equipment aanschaffen om op hun netwerk aan te sluiten. Alle computers hebben dan toegang tot het LTE- netwerk. Dit equipment is de LTE Wi-Fi Hotspot (figuur 23).



Figuur 23: LTE Wi-Fi Hotspot

Zo zijn er een aantal user equipments die door verschillende bedrijven geproduceerd worden om toegang te krijgen tot het LTE- netwerk. De user equipment kan single band of multiband zijn. Het hangt dan ook van de specificaties af in welke prijsklasse het valt. Wanneer user equipment uitgerust is met een aantal mogelijkheden zal het duurder zijn dan een met minder mogelijkheden. Zoals een wagen die fully loaded is duurder zal zijn dan een wagen die standard is.

5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Het woningbouwproject te Hanna's Lust is een Low Income Shelter program waarbij voorzichtig geconcludeerd kan worden dat deze gebruikers niet in staat zullen zijn FTTH te kunnen betalen omdat hun salaris al zwaar belast zal zijn bij de bank voor aflossing van de percelen en de woningen. Uit veldonderzoek is gebleken dat een aantal huistelefoonaansluitingen van mensen in het Hanna's Lustgebied afgesloten zijn omdat ze de rekening niet kunnen betalen.
- De investering voor een 4G netwerk is kleiner dan voor een 3G netwerk wat heel gunstig uitkomt voor zowel de telecom provider als de klanten. Vooral LTE op de 700 MHz band biedt vele voordelen ten opzichte van LTE op de andere frequentiebanden z.a. betere coverage, grotere capaciteit, minder free space loss etc.
- Voor het pilotproject is er al een perceel beschikbaar. Ook zijn er nutsvoorzieningen aanwezig waardoor Telesur geen extra investeringen hiervoor hoeft te plegen.
- Er is al een Telesurmast in het Hanna's Lustgebied waardoor makkelijk en snel een wireless backhaul opgezet kan worden voor het LTE- pilotproject.
- Door het woningbouwproject is er een goede opkomende markt voor Telesur want er komen ongeveer 457 woningen. Behalve deze 457 huishoudens is de buurt ook dichtbevolkt en is het een studentenrijke buurt gezien de verschillende scholen in de buurt. Hierdoor kan Telesur verzekerd zijn van een goed marktaandeel.
- Het LTE- project is in Suriname makkelijker te implementeren omdat de 700 Mhz band, die door de ITU bepaald is voor communicatiedoeleinden, geheel vrij is op kanaal 52 na.

Aanbevelingen

- Ten aanzien van het spectrum-aanvraag wordt Telesur aanbevolen om de band 12 van de 700MHz spectrum aan te vragen omdat de band 12 de grootste up- en downlink heeft wat beter is voor een grotere bandbreedte.
- Er wordt aanbevolen kanaal 52 die voorkomt in de uplink van band 12 te gebruiken voor de aanbidding van mobiele tv aangezien er al user equipment bestaat om die tv- beelden op te vangen.
- Voor een LTE-pilotproject wordt aan Telesur aanbevolen om een wireless backhaul op te zetten omdat dit sneller en gemakkelijker is dan een fiber backhaul.
- Aan Telesur wordt aanbevolen om een self supporting mast van 80 meter op te zetten zodat later daarin ook de antenne voor mobiele tv geplaatst kan worden.

Literatuurlijst

Boeken

Bellavich, R., Olexa, R. (2008). *Wimax forum rf network engineer certification boot camp*. San Diego. DoceoTech.

Jong, G.P. de. (1982). *Telecommunicatie*. Nederland-Rotterdam. Stam Technische Boeken.

Qualcomm University. (2009). *Introduction to LTE*. San Diego. Qualcomm Incorporated.

Verizon. (2010). *Global growth through communications sharing*. San Diego. United States Telecommunication Training Institute.

Verizon. (2010). *Fostering the deployment of broadband networks & converged services*. San Diego. United States Telecommunications Training Institute.

Persoonlijke communicatie

- B. Kandhai, persoonlijke communicatie, 9 december, 2013
- P. Kolenberg, persoonlijke communicatie, 15 december, 2013
- M. Boldewijn, persoonlijke communicatie, 4 november, 2013
- Y. Sokarijo, persoonlijke communicatie, 13 november, 2013
- J. Udit, persoonlijke communicatie, 19 november, 2013
- W. Pelswijk, persoonlijke communicatie, 19 november, 2013

Het internet

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

<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TDMA>

<http://searchtelecom.techtarget.com/definition/CDMA>

<https://www.google.com/search?q=switched+beam&espv=210&es>

<https://www.google.com/search?q=adaptive+array&espv=210&es>

http://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss

<http://www.qsl.net/pa2ohh/jsffield.htm>

<http://www.frequentieland.nl/management.htm>

http://niviuk.free.fr/lte_band.php

<http://www.amazon.com/Verizon-Wireless-LTE-Modem-551L/dp/B0069RXK9G>

<http://www.gd-broadband.com/solutions/lteuserdevices.html>

<http://www.qualcomm.com/gobi/products/finder?type=Laptops%20and%20Tablets>

<http://www.qualcomm.com/gobi/products#smartphones>

Bijlage I: Specificaties van een 4G LTE USB- modem

GD Broadband LTE USB Stick Modem



Key Benefits

State of the art patented baseband processor

High performance throughput

Low power consumption

Custom multi-band design

Over the air software upgradeable

Features

The GD BRoadband LTE USB Stick modem features a state of the art, patented baseband processor with a high degree of programmability, high performance and ultra-low power consumption. The modem supports all 3GPP defined LTE bandwidths and duplex modes and delivers maximum category 3 data rates of 102 Mbps downlink and 50 Mbps uplink in a pair of 20MHz FDD channels.

The modem is packaged in a small USB stick form factor with built-in MIMO antennas that have been optimized to provide superior cell-edge performance as well as high MIMO throughputs under good signal conditions. It draws power directly from the USB port of the PC for a truly high performance mobile wireless device. A range of accessories such as external antennas and a desktop stand are offered to further enhance performance for nomadic and fixed wireless access.

User authentication and security is accomplished by standard 3GPP USIM authentication. Software upgrades to future LTE releases are downloaded over-the-air to the modem via the connection manager on a PC.

Applications

The USB stick modem connects to the USB port of a PC for mobile broadband access. Alternatively, it can be connected to a compatible residential WiFi router for Internet sharing at home.

About General Dynamics Broadband

With the recent acquisition of IPWireless, General Dynamics Broadband combines the expertise in building and integrating complex communication networks for federal agencies and for defense with industry leading 3G and 4G Long Term Evolution (LTE) wireless broadband. The result is a boon to the emerging nationwide interoperable broadband network for first responders. That is because General Dynamics Broadband brings "always-on," high-speed access to vital information needed by law enforcement, emergency first responders, government agencies and other professionals responsible for the public's safety and the nation's security.

Broadband technology also ensures that information, ranging from real-time video feeds to large image files and other mission-critical data will be available in cluttered urban environments, isolated rural areas and everywhere in between.

Some of the most advanced mobile broadband deployments in the government sector today, including New York City's Wireless Network known as NYCWiN and Adcom 911, Adams County, Colo.'s public safety LTE network, are in a position to leverage the decade-long experience developing and deploying next-generation mobile broadband solutions now represented by GD Broadband.

GENERAL DYNAMICS
Broadband

GD Broadband LTE PCI Express Mini Card

Specifications

Operating Frequency	700 MHz to 2700 MHz (Single- and multi-band designs, model specific)
Channel bandwidth	5MHz, 10MHz and 20MHz
Duplex mode	Frequency Division Duplex (FDD), Time Division Duplex (TDD)
UE Category	Category 3 UE
Transmit power	+23 dBm ± 2 dB
Radio performance	3GPP TS 36.101 compliant
LTE PHY layer maximum data rates	36.7Mbps/12.6Mbps in a 5MHz FDD channel 73.4Mbps/25.5Mbps in a 10MHz FDD channel, 102.0Mbps/50.8Mbps in a 20MHz FDD channel. (Actual throughput depends on channel bandwidth and radio coverage.)
Standards compliance	3GPP R8 LTE compliant 3GPP R9 LTE compliant via future software upgrade
Radio configuration	1 Transmit / 2 Receive
Power requirements	5VDC at 500mA
Power consumption	2.5 Watts maximum
Dimensions	94.7 x 32.0 x 12.4 mm (LxWxH)
Weight	34g
Antenna	Integral MIMO antennas Two connectors for optional external antennas
Host interface	USB 2.0, USB Type A plug on modem
Authentication	USIM slot
Connection manager	Windows and Mac OS X versions CD-less installation from USB stick Client for OTA software upgrade Diagnostics utility Custom operator branding (optional)
Driver	Windows XP/Vista/7 32-bit and 64-bit versions, WHQL Mac OS 10.4 or higher Linux Kernel 2.6.32 or higher
Operating temperature	-20 to +40°C (-4 to +104°F) ambient
Storage temperature	-20 to +65°C (-4 to +149°F) ambient
Humidity	5 to 95% condensing
Optional accessories	USB desktop stand, laptop clip, external MIMO antennas
Interoperability	Tested with multiple infrastructure vendors
Regulatory Approvals	Radio & Safety approvals - FCC radio approval - UL safety approval ROHS compliant

Model Number

USB-14-AL-03-US	Band Class 14 LTE USB Stick Modem (US version)
USB-12-AL-03-US	Band Class 12 LTE USB Stick Modem (US version)

Ordering Information

To place an order, please contact GD Broadband regional sales.

Americas – americassales@ipwireless.com • EMEA – emeasales@ipwireless.com • Asia Pacific – apacsales@ipwireless.com

GENERAL DYNAMICS

Broadband

USA Headquarters • 90 New Montgomery Street, Suite 315 • San Francisco, CA 94105 • United States • +1 415 430 1350

UK R&D Center • Unit 7, Greenways Business Park • Chippenham, Wiltshire SN15 1BN • United Kingdom • +44 (0) 1249 800 100

Website: www.gd-broadband.com

© 2012 General Dynamics. All rights reserved.

GDB-LTEUSB-1-0712

Bijlage II: Specificaties van LTE outdoor user equipment

GD Broadband LTE Band 14 Outdoor Omni-Directional UE



Key Benefits

State of the art patented baseband processor

High performance throughput

Over the air software upgradeable

Features

The GD Broadband LTE Band 14 Outdoor Omni-Directional User Equipment (UE) features a state of the art, patented baseband processor currently supporting 3GPP LTE Release 8 and software upgradeable to 3GPP Release 9. The unit is a 3GPP Category 3 UE which delivers Frequency Division Duplex (FDD) downlink/uplink data rates up to 36.7Mbps/12.6Mbps in a 5MHz channel and 73.4Mbps/25.5Mbps in a 10MHz channel and is designed specifically for LTE Band 14 (788-798MHz Uplink, 758-768MHz Downlink).

The LTE outdoor UE is packaged in an IP67 rated, UV stabilized plastic enclosure, with SMA connectors for connection to omnidirectional antennas, and is powered from a 24V passive Power over Ethernet (PoE) AC adaptor.

User authentication and security is accomplished by standard 3GPP USIM authentication. Configuration and UE management is performed via an easy to use web based tool. Software upgrades to future LTE releases are done seamlessly over-the-air by network push without any intervention from the subscriber.

Applications

The LTE outdoor UE supports 100Base-T Ethernet for connection to a PC or to a compatible residential Wi-Fi router for internet sharing.

About General Dynamics Broadband

With the recent acquisition of GD Broadband, General Dynamics Broadband combines the expertise in building and integrating complex communication networks for federal agencies and for defence with industry leading 3G and 4G Long Term Evolution (LTE) wireless broadband. The result is a boon to the emerging nationwide interoperable broadband network for first responders. That is because General Dynamics Broadband brings "always-on," high-speed access to vital information needed by law enforcement, emergency first responders, government agencies and other professionals responsible for the public's safety and the nation's security.

GENERAL DYNAMICS
Broadband

GD Broadband LTE Band 14 Outdoor Omni-Directional UE

Specifications

Operating Frequency	3GPP Band Class 14 (788-798MHz Uplink / 758-768MHz Downlink)
Channel bandwidth	5MHz and 10MHz
Duplex mode	Frequency Division Duplex (FDD)
UE Category	Category 3 UE
Transmit power	+23 dBm \pm 2 dB
Radio performance	3GPP TS 36.101 compliant
LTE PHY layer maximum data rates	36.7Mbps/12.6Mbps in a 5MHz FDD channel; 73.4Mbps/25.5Mbps in a 10MHz FDD channel (Actual throughput depends on channel bandwidth and radio coverage.)
Standards compliance	3GPP R8 LTE compliant; 3GPP R9 LTE compliant via future software upgrade
Radio configuration	1 Transmit / 2 Receive
Power supply	US compatible PoE AC adapter: Input Voltage (AC): 100-240V nominal, 90-264V maximum Input Frequency Range: 47-63Hz Output Power: 12W @ 24V Temperature range: -10 to +40 °C (+14 to +104°F) ambient
Power consumption	7 Watts maximum
Dimensions (not including antennas)	122 x 215 x 66 mm (4.8" x 8.5" x 2.6") (W x H x D)
Weight	2.0 Kg (4.4lbs) maximum (Does not include mounting bracket)
Antenna connectors	SMA
Antennas	Omni-directional (Peak gain of 1.7dBi with 80% antenna efficiency)
Host interface	100BaseT Ethernet
Authentication	USIM
Networking	Embedded LTE connection manager & statistics; IPv4 & IPv6, NAT/NAPT, DHCP server
Configuration & Management	Web-based configuration; OTA Firmware upgrade via FTP/TFTP; System status and security logs
LEDs	External status and signal strengths
Enclosure	Metal back, UV stabilized plastic front
Operating temperature	-40 to +70°C (-40 to +158°F) ambient (Includes solar loading of +15°C)
Storage temperature	-40 to +65°C (-40 to +149°F) ambient
Humidity	5 to 95% condensing
Water/dust proofing	IP67/NEMA 4X compliant
Mounting	Pole and wall mount
Sales Pack	LTE Outdoor unit, PoE AC adaptor, Ethernet cable (2m in length for use between PoE AC Adaptor and PC/Router), wall/pole mount
Regulatory Approvals	Radio & Safety approvals <ul style="list-style-type: none"> ■ FCC radio approval ■ UL safety approval ROHS compliant

Model Number

ODU-14-AL-05-US	Band Class 14 LTE outdoor omni-directional UE (U.S. version)
-----------------	--

Ordering Information

To place an order, please contact GD Broadband regional sales.

Americas – americassales@ipwireless.com • EMEA – emeasales@ipwireless.com • Asia Pacific – apacsales@ipwireless.com

GENERAL DYNAMICS

Broadband

USA Headquarters • 90 New Montgomery Street, Suite 315 • San Francisco, CA 94105 • United States • +1 415 430 1350

UK R&D Center • Unit 7, Greenways Business Park • Chippenham, Wiltshire SN15 1BN • United Kingdom • +44 (0) 1249 800 100

Website: www.gd-broadband.com

© 2013 General Dynamics. All rights reserved.

GDB-LTEOOD14-1-0812

Bijlage III: Specificaties van LTE PCI Express Mini Cards

GD Broadband LTE PCI Express Mini Card (LTE Bands 4, 12 and 14)



Key Benefits

State of the art patented baseband processor

High performance throughput

Low power consumption

Custom multi-band design

Over the air software upgradeable

Features

The GD Broadband LTE PCI Express Mini (PEM) Card features a state of the art, patented baseband processor currently supporting 3GPP LTE Release 8 and software upgradeable to 3GPP Release 9.

The device has been designed to support LTE Band 4 (1710-1755MHz Uplink, 2110-2155MHz Downlink), Band 12 (699-716MHz Uplink, 729-746MHz Downlink) and Band 14 (788-798MHz Uplink, 758-768MHz Downlink) and supports downlink/uplink data rates up to 102.0Mbps/50.8Mbps in a 20MHz FDD channel

The PEM is based on the industry standard PCI Express Mini Card form factor and contains a 52-pin edge connector which uses USB2.0 protocol for interface with the host device. In addition two U.FL connectors are provided for connection to external antennas.

User authentication and security is supported via an interface to an external USIM. Software upgrades to future LTE releases are done seamlessly over-the-air by network push or download to the PEM via the host device.

Applications

The PEM is designed for embedded applications such as notebook PCs, routers and vehicle mount modems (when used with compatible antennas).

About General Dynamics Broadband

With the recent acquisition of IPWireless, General Dynamics Broadband combines the expertise in building and integrating complex communication networks for federal agencies and for defense with industry leading 3G and 4G Long Term Evolution (LTE) wireless broadband. The result is a boon to the emerging nationwide interoperable broadband network for first responders. That is because General Dynamics Broadband brings "always-on," high-speed access to vital information needed by law enforcement, emergency first responders, government agencies and other professionals responsible for the public's safety and the nation's security.

Broadband technology also ensures that information, ranging from real-time video feeds to large image files and other mission-critical data will be available in cluttered urban environments, isolated rural areas and everywhere in between.

Some of the most advanced mobile broadband deployments in the government sector today, including New York City's Wireless Network known as NYCWiN and Adcom 911, Adams County, Colo.'s public safety LTE network, are in a position to leverage the decade-long experience developing and deploying next-generation mobile broadband solutions now represented by GD Broadband.

GENERAL DYNAMICS
Broadband

GD Broadband LTE PCI Express Mini Card

Specifications

Operating Frequency	3GPP Band Class 4 (1710-1755MHz Uplink/ 2110-2155MHz Downlink) 3GPP Band Class 12 (899-716MHz Uplink/ 729 - 746MHz Downlink) 3GPP Band Class 14 (798-798MHz Uplink/ 758 - 768 MHz Downlink)
Channel bandwidth	5, 10 and 20MHz
Duplex mode	Frequency Division Duplex (FDD)
UE Category	Category 3 UE
Transmit power	+23 dBm ± 2 dB
Radio performance	3GPP TS 36.101 compliant
LTE PHY layer maximum data rates	38.7Mbps/12.6Mbps in a 5MHz FDD channel, 73.4Mbps/25.5Mbps in a 10MHz FDD channel, 102.0Mbps/50.8Mbps in a 20MHz FDD channel. (Actual throughput depends on channel bandwidth and radio coverage.)
Standards compliance	3GPP R8 LTE compliant 3GPP R9 LTE compliant via future software upgrade
Radio configuration	1 Transmit/2 Receive
Voltage	3.0 - 3.6 VDC
Dimensions	PCI Express Mini Card (Full Mini FI) 50.95 x 30.00 x 5.00 mm
Weight	15g
Antenna Connector	UFL connector (x2 for diversity)
Host interface	USB2.0 over 52-pin PCI Express Mini Card edge connector
Authentication	External USIM interface
Drivers	Windows XP/Vista/7 32-bit and 64-bit versions, WHQL Mac OS 10.4 or higher Linux Kernel 2.6.32 or higher
Operating temperature	-40 to +80°C (-22 to +140°F) ambient
Storage temperature	-40 to +85 °C (-40 to +149°F) ambient
Humidity	5 to 95% condensing
Sales Pack	LTE PEM
Regulatory Approvals	Radio & Safety approvals - FCC radio approval - UL safety approval ROHS compliant

Model Number

PEM-041214-AL-FI-US	Band Class 4, 12 and 14 LTE PEM UE (US version)
---------------------	---

Ordering Information

To place an order, please contact GD Broadband regional sales.

Americas - americasales@ipwireless.com • EMEA - emeasales@ipwireless.com • Asia Pacific - apacsales@ipwireless.com

GENERAL DYNAMICS

Broadband

USA Headquarters • 90 New Montgomery Street, Suite 315 • San Francisco, CA 94105 • United States • +1 415 430 1350

UK R&D Center • Unit 7, Greenways Business Park • Chippenham, Wiltshire SN15 1BN • United Kingdom • +44 (0) 1249 800 100

Website: www.gd-broadband.com

© 2012 general dynamics. all rights reserved.

GDB-LTEPCI-1-0712

Bijlage IV: Terrein op Hanna's Lust ter beschikking van Telesur

