

COMMUNICATIE & AUTONOME PLATTEGROND CREATIE DOOR ROBOTS

Auteur	Wilco Boele
Studentnr.	1575812
Datum	18-12-2012
Versie	1.0
Status	Definitief
Project	Afstudeeropdracht: Woyaka
Eerste examiner	drs. Leo van Moergestel
Bedrijfsbegeleider	ir. Ronald de Leeuw van Weenen

DOCUMENT GESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
0.1	29-08-2012	Wilco Boele	Initiële versie
0.2	17-10-2012	Wilco Boele	Literatuuronderzoek uitwerken
0.3	12-11-2012	Wilco Boele	Deelvragen beantwoorden
0.4	27-11-2012	Wilco Boele	Aanpassingen naar aanleiding van review door R. de Leeuw van Weenen
0.5	03-12-2012	Wilco Boele	Technische onderdeel van de scriptie toevoegen.
0.6	06-12-2012	Wilco Boele	Bijlagen invoegen en opmaak rechtzetten.
0.7	11-12-2012	Wilco Boele	Schrijven van de evaluaties en samenvatting
0.8	14-12-2012	Wilco Boele	Aanpassingen na review door D. Meijers & L. van Moergestel.
0.9	15-12-2012	Wilco Boele	Tekst formeler geformuleerd en tekstuele verbeteringen
1.0	18-12-2012	Wilco Boele	Laatste wijzigingen naar aanleiding van de reviews door S. Jobing en J. Boele

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie die als eindresultaat dient van het project Woyaka. Woyaka betekent zoiets als 'spreken' in de taal Lakota, dat gesproken wordt door indianen stammen. Deze naam is gekozen omdat andere projecten die binnen Sioux Automation Technology, hierna te noemen Sioux, uitgevoerd worden vaak ook namen hebben die afgeleid worden uit de manier van leven van de Indianen.

Dit document beschrijft alle werkzaamheden en resultaten van de afstudeeropdracht die is uitgevoerd in naam Sioux in Amstelhoek.

Dit document bestaat uit twee delen:

1. Een deel waarin het onderzoek dat gedaan is wordt beschreven.
2. Een deel waarin staat beschreven hoe de implementatie is gedaan van de hard- en software waarmee de robot autonoom kan rondrijden en daarbij een plattegrond kan maken.

In het onderzoek wordt de vraag beantwoord: *"Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen"*. Deze vraag is gesteld door de kennisgroep van Sioux. Dit document is tevens een rapport dat gebruikt kan worden binnen Sioux.

Verwijzingen naar bronnen worden aangeduid met ^[1] en kunnen gevonden worden in hoofdstuk 14. Bijlagen worden aangeduid met een hoofdletter ^[A].

Dank gaat uit naar de opdrachtbegeleider van Sioux; ir. R. de Leeuw van Weenen en de opdrachtbegeleider van de Hogeschool Utrecht drs. L. Van Moergestel voor de begeleiding tijdens het traject van de opdracht en het geven van feedback.

Ook gaat dank uit naar allen die mij tijdens de afstudeerperiode tot hulp zijn geweest. In het bijzonder collega's, mijn ouders en mijn vriendin.

MANAGEMENTSAMENVATTING

Om verschillende robots met elkaar te laten samenwerken is communicatie onmisbaar. Er zijn tal van communicatietechnieken ontwikkeld die allemaal verschillende eigenschappen en toepassingsgebieden hebben.

Binnen Sioux loopt een project waarbij robots ontwikkeld worden die autonoom opdrachten kunnen uitvoeren en een doel kunnen behalen door bijvoorbeeld als team samen te werken. De robots die ontwikkeld worden kunnen op elke denkbare plek op aarde of daarbuiten ingezet worden, waarbij voornamelijk gebieden zullen worden gekozen die voor mensen ontoegankelijk zijn of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden. Hierbij kan gedacht worden aan gebieden waar veel straling is, midden in een woestijn waar geen oplaadpunten zijn, ergens onder water of in het heelal. Kortom gebieden waarbij veel vereist wordt van een communicatietechniek.

Daarnaast is ook een probleem dat robots niet kunnen opereren wanneer ze niet bekend zijn met de omgeving waarin ze zich bevinden en wat hun eigen relatieve positie is binnen die omgeving.

Tijdens de afstudeerperiode zijn daarom twee opdrachten voltooid:

1. Een onderzoek naar verschillende draadloze communicatietechnieken en de bijbehorende specificaties.
2. Een autonoom rijdende robot die een plattegrond kan maken van zijn eigen omgeving.

In het onderzoek is gezocht naar verschillende draadloze communicatietechnieken en de daarbij behorende specificaties. Ook is onderzocht hoe bruikbaar deze theoretische specificaties zijn in de praktijk. Hiervoor is literatuur- en praktijkonderzoek gedaan.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?

Het antwoord op deze vraag kan niet gegeven worden zonder dat bekend is in welke omgeving robots ingezet zullen worden en dat bekend is wat het doel van de opdracht is die vervuld moet worden. Er wordt ook niet verwacht dat dit antwoord er komt. Veel belangrijker wordt het geacht dat er een lijst komt met verschillende communicatietechnieken met daarbij de specificaties en de benodigde kennis vanuit dit onderzoek, om later een gefundeerde keuze te kunnen maken voor een bepaalde communicatietechniek.

Belangrijke eigenschappen waar bij het maken van een keuze naar moet worden gekeken worden hieronder puntsgewijs beschreven:

- Betrouwbaarheid
- Reikwijdte
- Security
- Energieverbruik
- Aantal connecties dat kan worden onderhouden in het netwerk

Elke opdracht of omgeving heeft voor elke eigenschap zijn eigen mate van relevantie, dit dient van te voren dan ook goed uitgezocht te worden.

Belangrijk om te vermelden is dat de communicatietechnieken die worden genoemd, misschien niet de enige zijn, het is goed mogelijk dat er meer zijn, of dat er later meer bij zullen komen. Belangrijk is daarom om naast de kennis uit dit onderzoek ook te kijken naar misschien nieuwe technieken in de loop van de tijd.



Het doel van deze opdracht was om een lijst van verschillende communicatietechnieken op te stellen met de daarbij behorende specificaties. Ook moest onderzocht worden of de theoretische specificaties bruikbaar zijn in de praktijk.

Dit doel is behaald. Ook is uit het praktijk onderzoek gebleken dat de specificaties alleen gelden onder ideale omstandigheden en is vanuit het theoretisch onderzoek beschreven waarom de specificaties in de praktijk anders zijn dan in de theorie. Dit komt voornamelijk door interferentie, reflecties en absorptie door materialen.

Tijdens het onderzoek is een meetplan opgesteld, die tot doel heeft dat er in de toekomst metingen gedaan kunnen worden op andere communicatietechnieken onder dezelfde omstandigheden. Ook kan dit meetplan gebruikt worden om de resultaten die in dit onderzoek getoond worden, te controleren.

Naast dit onderzoek is een autonoom rijdende robot ontwikkeld die een plattegrond kan maken van zijn eigen omgeving. De robot bestaat uit een aantal hardware onderdelen waarop stukken software zijn geschreven.

Er zijn voor het koppelen van de hardware onderdelen elektronica componenten op een lege printplaat gesoldeerd. Dit was nodig om verschillende hardware onderdelen met elkaar te laten samenwerken, maar ook om de hardware onderdelen tegen elkaar te beschermen vanwege verschillende voltages.

Er zijn drie verschillende stukken software geschreven:

1. Software waarmee de robot autonoom kan rijden en een plattegrond kan opbouwen van de omgeving.
2. Software waarmee de plattegrond verstuurd kan worden via een Wi-Fi broadcast naar de buitenwereld.
3. Een PC applicatie waarmee de plattegrond die ontvangen wordt getekend kan worden.

Het doel van deze opdracht was om een robot te ontwikkelen die autonoom kan rijden en daarbij een plattegrond van de omgeving kan tekenen. Dit doel is ten tijde van schrijven behaald. Daarbij zijn ook aanbevelingen gegeven, om de mogelijkheden uit te breiden.



VERKLARENDE WOORDENLIJST

ELF – Extremely Low Frequency (3 – 300 Hz).

VLF – Very Low Frequency (3 – 30 kHz).

Broadcast – Een bericht dat uitgezonden wordt naar iedereen binnen een bepaalde afstand en/of adres bereik. Het maakt niet uit wie de geadresseerde is, iedereen die het bericht wil horen, kan luisteren.

Embedded – Een embedded system (ook wel ingebed systeem of geïntegreerd systeem) is een elektronisch systeem (hardware én software) dat is geïntegreerd in gebruiksartikelen of apparaten, met de bedoeling deze een vorm van intelligent gedrag te bezorgen^[18].

XBee – Een draadloze communicatietechniek dat verschillende communicatieprotocollen ondersteund. Werkt over het algemeen met de IEEE 802.15.4 standaard (o.a. ZigBee), maar sommige bordjes kunnen ook overweg met Wi-Fi. In dit onderzoek zou er gebruikt gemaakt worden van de ZigBee variant.

IPN – Interplanetary Network. Een netwerk protocol dat ontworpen is om over miljoenen kilometers te kunnen communiceren. Naar andere planeten bijvoorbeeld.

Radio Propagatie – Het gedrag van elektromagnetische golven wanneer ze verzonden worden tussen twee punten op aarde of door verschillende lagen van de atmosfeer^[14].

RF – Radio Frequentie.

Multipath fading – Een bericht over een RF golf komt van verschillende kanten en op verschillende tijden kort achter elkaar binnen.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	I
MANAGEMENTSAMENVATTING	II
VERKLARENDE WOORDENLIJST	IV
1 INLEIDING	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Afdeling / Organisatie	1
1.3 Relatie met andere projecten	1
DEEL I ONDERZOEK	3
2 UITGANGSSITUATIE EN PROBLEEMSTELLING	4
2.1 De uitgangssituatie	4
2.2 Probleemstelling	4
3 DE OPDRACHT	4
3.1 Analyse	4
3.2 Centrale vraag	5
3.3 Deelvragen	5
3.4 Doelstelling & Relevantie	6
3.5 De werkwijze	6
4 DE ONDERZOEKSRESULTATEN	7
4.1 Deelvraag 1	7
4.2 Deelvraag 2	8
4.3 Deelvraag 3	11
4.4 Deelvraag 4	17
4.5 Algehele Conclusie	20
5 OPMERKINGEN	21
5.1 Netwerkprotocollen	21
5.2 Signaal verstoringen in de atmosfeer	21
5.3 Temperatuur en Energieverbruik	21
5.4 Sensor netwerken	22
6 AANBEVELINGEN	22
7 SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK	23
7.1 Effect van materialen op radiosignalen	23
7.2 Onderzoek naar sensor netwerken	23

7.3 Gebruik van verschillende communicatietechnieken	23
DEEL II ONTWIKKELING	24
8 DE OPDRACHT	25
8.1 De uitgangssituatie	25
8.2 Probleemstelling	25
8.3 Opdrachtoomschrijving	25
8.4 Analyse	26
8.5 De werkwijze	26
9 ONTWERP	27
9.1 Use cases	27
9.2 Activity diagram 'omgeving scannen'	28
9.3 Class diagram	29
10 DE OPGELEVERDE PRODUCTEN	30
10.1 Algemeen	30
10.2 De Hardware	30
10.3 Communicatie tussen de robot en de buitenwereld	30
10.4 Autonoom rijden en plattegrond maken	31
10.5 Applicatie voor het tonen van de plattegrond	32
11 ONDERBOUWING VAN DE GEMAAKTE KEUZES	33
11.1 Drie afstandssensoren	33
11.2 Op basis van vermogen bepalen of er een botsing plaatsvindt	33
11.3 Op basis van voltage de snelheid bepalen	34
11.4 Berekeningen laten uitvoeren op een 16MHz processor	34
11.5 Telkens de plattegrond opnieuw verzenden	34
12 AANBEVELINGEN	35
13 EVALUATIE VAN DE PROCESGANG	36
13.1 Hoe ben ik begonnen?	36
13.2 Hoe was het verdere verloop van het afstuderen?	36
13.3 Wat heb ik geleerd?	37
13.4 Wat vond ik lastig?	37
13.5 Wat vond ik van de eindresultaten?	37
13.6 Wat vonden mijn collega's van de eindresultaten?	38
14 LITERATUUR	39
14.1 Literatuurlijst van Bijlage C	40

BIJLAGE A	PLAN VAN AANPAK -----	42
BIJLAGE B	EVALUATIE VAN HET EIGEN FUNCTIONEREN-----	64
BIJLAGE C	SPECIFICATIES COMMUNICATIETECHNIEKEN-----	65
BIJLAGE D	BROADCASTS -----	71
BIJLAGE E	COMMUNICATIE STANDBY -----	73
BIJLAGE F	RAPPORTEN ENERGIEVERBRUIK-----	74
BIJLAGE G	RAPPORTEN OPSTARTTIJDEN -----	75
BIJLAGE H	RAPPORTEN REIKWIJDTE BINNEN -----	77
BIJLAGE I	RAPPORTEN REIKWIJDTE BUITEN -----	78
BIJLAGE J	OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK -----	79
BIJLAGE K	ONDERZOEKSPLAN -----	81
BIJLAGE L	MEETPLAN -----	93
BIJLAGE M	TECHNISCH ONTWERP -----	122



1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Deze opdracht wordt uitgevoerd in opdracht van Sioux. Binnen Sioux is een kennisgroep bezig robots te ontwikkelen die autonoom en gedecentraliseerd opdrachten kunnen uitvoeren. De robots die deze kennisgroep ontwikkelt zullen uiteindelijk ingezet kunnen worden in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden.

De robots zullen vele functies hebben, maar om een team te vormen is het belangrijkst dat met elkaar en met de buitenwereld gecommuniceerd kan worden. Er zijn vele technieken die voorzien in draadloze communicatie, maar omdat de robots ingezet zullen worden in speciale gebieden zijn er een aantal beperkingen.

De kennisgroep van Sioux heeft 2 dingen gevraagd, die in twee delen behandeld worden in deze scriptie:

1. Er moet een onderzoek gedaan worden naar de verschillende draadloze communicatietechnieken met daarbij gegevens over de inzetbaarheid in verschillende gebieden.
2. Daarnaast is er gevraagd of er een stuk software kan worden geschreven waarmee een robot autonoom een plattegrond van de omgeving kan maken.

1.2 Afdeling / Organisatie

Binnen de afdeling Automation Technology bij Sioux in Amstelhoek werken ongeveer vijftientig mensen. De meeste werknemers werken gedetacheerd bij andere bedrijven om daar projecten te realiseren. De projecten bestaan voornamelijk uit het maken van technische software. Daarbij valt o.a. te denken aan het trajectcontrolesysteem op de snelweg A2.

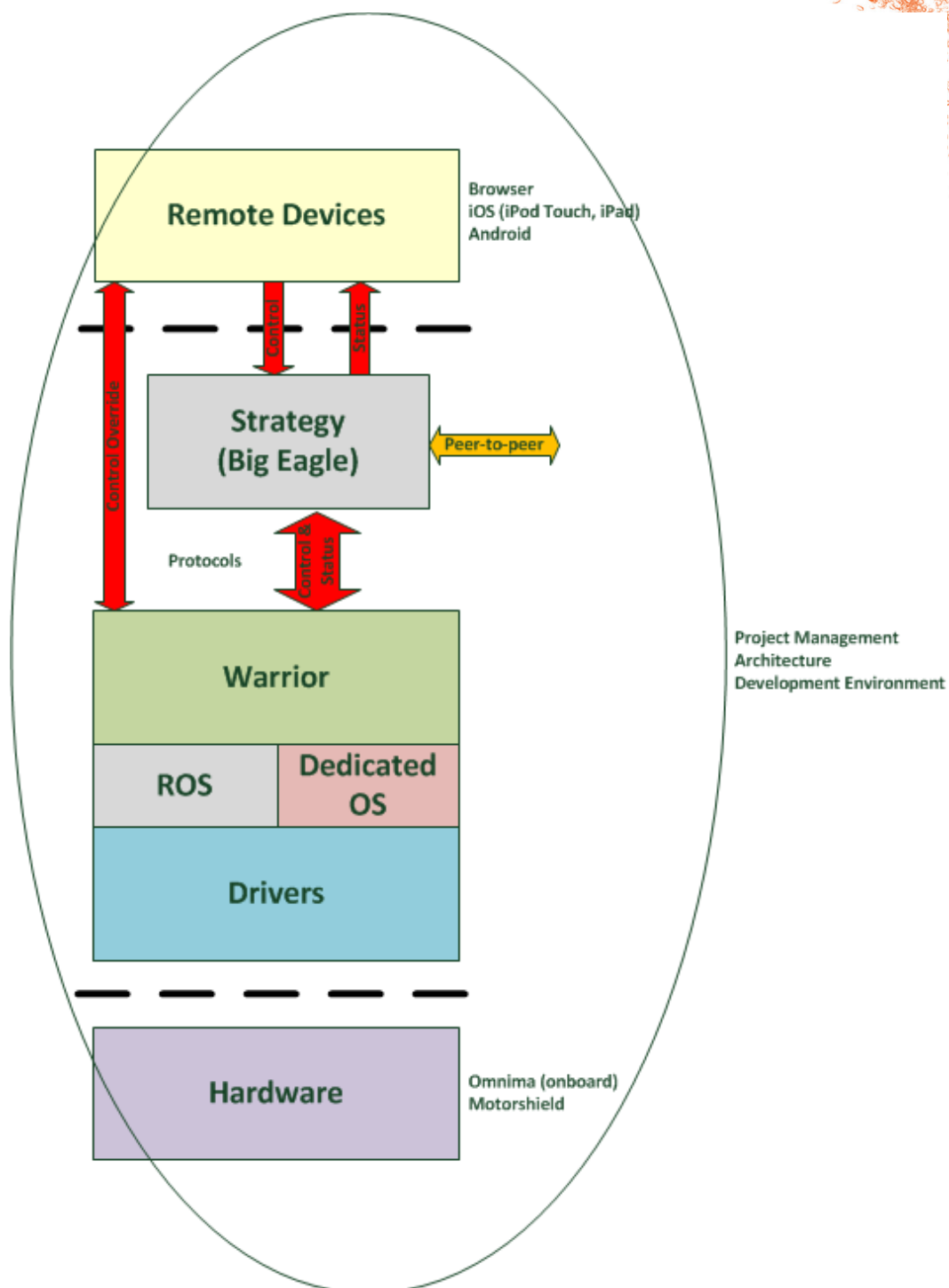
1.3 Relatie met andere projecten

Deze afstudeeropdracht is een onderdeel van twee andere projecten:

1. "Impi", wat regiment betekend.
2. "Big Eagle", wat een metafoor is voor "boven uit stijgen / overzien".

Impi is een project waarbij mechatronica een grote rol speelt. Er worden robots gebouwd die zich kunnen verplaatsen in een ruimte en daar verschillende handelingen kunnen uitvoeren. Het project Big Eagle is eigenlijk een tweede laag boven op het Impi project waarbij het doel is om de robots autonoom te laten functioneren. Dat wil zeggen, de robots verzamelen gegevens en communiceren met andere robots om zo meer kennis te verkrijgen van de omgeving. In deze omgeving moeten de robots dan een bepaald doel bereiken. Dit alles zonder centrale aansturing. Uiteindelijk kunnen de robots op verschillende terreinen ingezet worden. Daarbij gaat het vooral om terreinen waarbij het voor mensen gevaarlijk is of waar het te kostbaar is om mensen in te zetten. Denk bijvoorbeeld aan een radioactief gebied, een gebied met bommen, diepzee of het heelal.

In afbeelding 1 wordt getoond hoe deze projecten zich tot elkaar verhouden. Het project Impi omvat alle lagen vanaf de Hardware tot Warrior en het project Big Eagle wordt apart getekend tussen de Warrior en Remote Devices.



Afbeelding 1

DEEL I ONDERZOEK

Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?



2 UITGANGSSITUATIE EN PROBLEEMSTELLING

2.1 De uitgangssituatie

Er is binnen het project niet bekend welke draadloze communicatietechnieken er allemaal zijn en welke technieken in welke omgeving gebruikt kunnen worden. Daarbij is ook niet bekend wat de specificaties zijn van de verschillende communicatietechnieken.

2.2 Probleemstelling

De robots zullen opereren in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden. Te denken valt hierbij aan diepzee, oorlogsgebieden, nucleaire installaties en dergelijken. Het probleem in deze omgevingen is dat draadloze communicatie vaak ook niet goed gaat. Dit heeft verschillende oorzaken. Onder water zijn er weinig technieken waarmee goed gecommuniceerd kan worden, dit komt omdat radiogolven zich niet goed onder water kunnen verspreiden. In andere omgevingen is interferentie met materialen, of grote afstanden vaak een probleem. Dit zijn allemaal problemen die communicatie tussen de robots in de weg staat.

Communicatie tussen de robots is van essentieel belang, wanneer dit dan ook verhinderd wordt door de omgeving, zullen de robots onbruikbaar worden zodat ze externe hulp nodig hebben.

3 DE OPDRACHT

Het onderzoek wordt gedaan naar draadloze communicatietechnieken en bestaat uit twee delen:

1. Literatuuronderzoek.
2. Praktijkonderzoek

Het literatuuronderzoek beantwoordt de vragen die beschreven worden in paragrafen 3.2 en 3.3. Het praktijkonderzoek is meer gericht op de vraag of de specificaties overeenkomen met wat in de praktijk wordt gemeten. Vaak gaan specificaties van producten uit van ideale omstandigheden. Aangezien er geen ideale omstandigheden zijn in de omgevingen waar de robots mogelijk worden ingezet, is het noodzakelijk om hier in de praktijk onderzoek naar te doen. Voordat de onderzoeksvragen bepaald konden worden is er een analyse gedaan van het probleem.

3.1 Analyse

Wat gebeurt er?

De robots kunnen in verschillende omgevingen ingezet worden, waarbij elke omgeving andere eisen stelt aan communicatietechnieken. De eisen die gesteld worden kunnen zodanig zijn dat lang niet alle communicatietechnieken gebruikt kunnen worden in een bepaalde omgeving. Er is niet bekend binnen Sioux welke communicatietechnieken er allemaal zijn en wat de specificaties zijn van deze communicatietechnieken.

Wat veroorzaakt het probleem?

Het feit dat de robots op elke denkbare plek ingezet kunnen worden, veroorzaakt de behoefte naar een literatuuronderzoek waarin verschillende draadloze communicatietechnieken met

specificaties zijn beschreven. Belangrijk is dat ook onderzoek gedaan is naar de bruikbaarheid van deze specificaties. Daarnaast is de informatie wel vindbaar op internet, maar deze informatie kan niet in één enkele bron gevonden worden.

Waar vindt het probleem plaats?

Binnen de kennisgroep van Sioux, omdat de kennisgroep de keuze moet maken voor een communicatietechniek die gebruikt kan worden in het gebied waarin een robot ingezet kan worden.

Wanneer doet het probleem zich voor?

Zodra bekend is waar een robot ingezet gaat worden.

Hoe vaak vindt het probleem plaats?

Telkens wanneer er een keuze gemaakt moet worden voor een communicatietechniek in een bepaald gebied. Tot nog toe is dat niet voorgekomen. Maar dit onderzoek richt zich dan ook op de toekomst en op wat mogelijk is.

Hoe wordt er op dit moment een keuze gemaakt voor een communicatietechniek?

Door telkens te zoeken naar communicatietechnieken op basis van specificaties.

Conclusie

Het is niet bekend binnen de kennisgroep welke communicatietechnieken er allemaal zijn en welke specificaties deze hebben. Ook is niet bekend in hoeverre deze specificaties bruikbaar zijn in de realiteit.

Het probleem wordt op dit moment opgelost door telkens opnieuw communicatietechnieken op te zoeken die toepasbaar lijken in een bepaald gebied op basis van specificaties of bepaalde kennis die er al is.

3.2 Centrale vraag

Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?

Hierbij moet worden bedacht dat hier geen kant en klaar antwoord op kan worden gegeven. De bedoeling is dat er resultaten worden geleverd, waarmee de kennisgroep aan de hand van verschillende eigenschappen van een omgeving een keuze kan maken voor een communicatietechniek dat volgens de theorie bruikbaar zou moeten in de betreffende omgeving.

3.3 Deelvragen

De centrale vraag in het onderzoek wordt opgesplitst in verschillende deelvragen. Op deze manier wordt stap voor stap naar een algehele conclusie toegewerkt, waarbij duidelijk uiteengezet kan worden welke aspecten dit onderzoek omvat.

1. *Welke draadloze communicatietechnieken zijn er en welke specificaties hebben deze?*
2. *Welke omgevingsvariabelen zijn belangrijk bij het maken van een keuze voor een communicatietechniek?*
3. *Zijn de specificaties uit de standaarden aannemelijk om te gebruiken of moet een communicatietechniek altijd eerst uitvoerig gemeten worden?*
4. *In welke gebieden kan geen enkele draadloze communicatietechniek gebruikt worden door de robot?*

3.4 Doelstelling & Relevantie

Het doel van dit onderzoek is om een helder beeld te krijgen van de verschillende draadloze communicatietechnieken en welke communicatietechnieken gebruikt kunnen worden door de robots. Sioux kan zo zelf bepalen welke technieken gebruikt kunnen worden in een bepaalde omgeving waarin de robots moeten opereren. De doelstelling hierbij luidt:

“Aan het eind van de afstudeerperiode moet er een lijst van verschillende communicatietechnieken zijn met daarbij de specificaties. Daarnaast moet er theoretische kennis verzameld worden over deze specificaties en moeten specificaties getoetst worden in de praktijk om te bepalen hoe bruikbaar de specificaties uit de theorie zijn. Deze kennis en resultaten moet worden beschreven in de scriptie”

3.4.1 Relevantie van het onderzoek

3.4.1.1 Praktische relevantie

Om de robots bruikbaar in te kunnen zetten in gebieden waar de omgeving speciale eigenschappen van draadloze technieken vereist, is het van belang te weten welke technieken daar gebruikt kunnen worden en wat deze eigenschappen (specificaties) dan zijn. Zonder deze kennis kan Sioux geen gegronde keuze maken voor een bepaalde communicatietechniek in een bepaald gebied.

3.4.1.2 Theoretische relevantie

Er wordt veel onderzoek naar communicatietechnieken gedaan. Er zijn veel papers waarin soortgelijke problematiek wordt beschreven als in dit onderzoek. Voor Sioux is er een theoretische relevantie, omdat in dit onderzoek de noodzakelijke kennis, die nodig is om robots te kunnen laten communiceren in gebieden waarin communicatie gestoord kan worden, beschreven wordt. Daarnaast is informatie verzameld uit veel bronnen in één onderzoek.

3.5 De werkwijze

Voordat er begonnen werd aan de uitvoering van het onderzoek is er een onderzoeksplan^[K] gemaakt. Op basis van dit onderzoeksplan is er een Meetplan^[L] gemaakt, waarin beschreven staat hoe het onderzoek uitgevoerd moet worden. Als laatste zijn de metingen uitgevoerd en de deelvragen beantwoord. Op deze manier zijn de resultaten van dit onderzoek tot stand gekomen.

3.5.1 Planning

In de planning werd voor elk onderdeel uit gespecificeerd wat het verwachte aantal uren zou zijn, hoeveel uren er aan gewerkt was en hoeveel werk (in uren) er nog te doen was. Op deze manier kon gecontroleerd worden of de planning niet uitliep en hoe het project vorderde. Op basis van de planning heb ik keuzes kunnen maken voor het verdere verloop van de afstudeeropdracht.

4 DE ONDERZOEKSRESULTATEN

De onderzoeksresultaten worden aan de hand van de deelvragen beantwoord. Bij elke deelvraag wordt een conclusie gegeven. Aan het eind wordt er een algehele conclusie gegeven op de centrale vraag.

Hoe het praktijkonderzoek is uitgevoerd en wat de opzet was wordt in Bijlage J beschreven.

4.1 Deelvraag 1

Welke draadloze communicatietechnieken zijn er en welke specificaties hebben deze?

4.1.1 Algemeen

Er zijn veel draadloze communicatietechnieken op de markt die allemaal hun eigen specificaties hebben. De één behaalt een hogere data rate, de ander heeft een hogere betrouwbaarheid in situaties met veel interferentie, weer een andere is juist energiezuinig en sommige combineren deze eigenschappen. Al met al zijn er dus veel communicatietechnieken beschikbaar die allemaal eigen toepassingsgebieden hebben.

In dit onderzoek is onderzocht welke draadloze communicatietechnieken er zijn die interessant kunnen zijn voor gebruik op de robot^[C]. Voor elk van deze communicatietechnieken worden specificaties gegeven op internet, sommigen zijn in een IEEE standaard beschreven (bijvoorbeeld IEEE 802.11 voor Wi-Fi apparaten). Voor de bekende draadloze communicatietechnieken was het niet heel moeilijk om veel informatie te vinden over specificaties. Voor de minder bekende communicatietechnieken was het lastiger en zijn er ook minder specificaties gevonden. In Bijlage C is dan ook niet overal alles ingevuld.

4.1.2 Het lijkt mooier dan het is

Belangrijk om te weten over de specificaties is dat deze bijna altijd worden beschreven onder ideale omstandigheden. In de praktijk zullen de specificaties die beschreven staan zelden of nooit behaald worden. Daarnaast worden specificaties van bijvoorbeeld de data rate altijd opgeschreven op een manier zodat het lijkt alsof er een heel hoge snelheid behaald kan worden. Bij Wi-Fi (802.11g) wordt bijvoorbeeld een data rate neergezet van 54Mb/s. Dit lijkt op 54 megabytes, maar in werkelijkheid staat er 54 megabit, wat dus 8 keer kleiner is. Daarnaast worden er naast de bits die de data bevatten ook nog allerlei andere bits meegestuurd waarmee data eventueel hersteld kan worden of waarmee data weer in de goede volgorde kan worden gezet. Ook worden er bits verstuurd waarmee aangegeven wordt dat er een bestandsoverdracht zal plaatsvinden of juist zal eindigen.

Al deze informatie zorgt ervoor dat de effectieve data rate minder wordt. Om te tonen wat deze effecten in het echt betekenen zijn er voor Wi-Fi tien metingen binnen gedaan en in tabel 1 wordt getoond wat de resultaten uit die metingen zijn voor wat betreft de data rate en de error rate (aantal mislukte downloads, per meting 20 downloads). De metingen zijn uitgevoerd bij een snelheid van 54Mb/s en telkens was er een afstand van twee meter tussen opeenvolgende metingen:

Wi-Fi	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Data rate in MB/s	1.38	1.33	0	0.78	0.72	0.60	0	0	0	0
Error rate	1	1	20	10	10	7	0	0	0	6

Tabel 1 data rate / error rate

In tabel 1 kan worden gezien dat naarmate de robot verder van de ontvanger af staat, de data rate minder wordt en het aantal mislukte bestandsoverdrachten groter wordt. De data rate wordt gemeten in megabytes en is pure data, zonder protocoloverhead. Opvallend is dat bij de derde meting alle bestandsoverdrachten mislukken. De robot stond hier voor een beeldscherm, wat de oorzaak was voor het mislukken. Bij de vierde meting moet de robot door een extra muur communiceren, waardoor de data rate gelijk een stuk minder wordt en de helft van de bestandsoverdrachten mislukken. Na de zesde meting (twaalf meter), mislukt elke bestandsoverdracht. De robot heeft nu nog een muur extra tussen zichzelf en de ontvanger staan. Het signaal van de robot wordt af en toe ontvangen, maar bestandsoverdrachten mislukken. Op twintig meter afstand is er wel verbinding, maar mislukken zes overdrachten en de laatste veertien overdrachten worden niet meer uitgevoerd. Op deze afstand is de verbinding wel iets beter, maar dit maakt verder niets meer uit voor de dataoverdrachten. Daarnaast valt de verbinding hier ook weg. Deze metingen horen bij hoofdstuk 5.4 uit het Meetplan^[1]. Zie Bijlage H voor de onderzoeksrapporten die bij deze metingen horen.

In hoofdstuk 4.3 wordt meer geschreven over de aannemelijkheid van de specificaties.

4.1.3 Conclusie

Welke draadloze communicatietechnieken zijn er en welke specificaties hebben deze?

Er zijn veel draadloze communicatietechnieken en deze hebben allemaal verschillende specificaties. Vaak gaan deze specificaties uit van ideale omstandigheden. Zie voor de lijst met draadloze communicatietechnieken Bijlage C. Er blijven ook steeds nieuwe communicatietechnieken ontwikkeld worden, waardoor de lijst in Bijlage C steeds groter zal worden.

In principe kan elke communicatietechniek gebruikt worden door een robot, maar sommige zijn praktischer dan anderen. Minder praktisch zijn bijvoorbeeld de NFC en RFID tags. Deze kunnen vaak op heel korte afstand (orde van grootte in cm) communiceren. Dit zal in de meeste gevallen niet heel praktisch zijn, maar er zijn toepassingen zoals scanpoortjes waarbij dit prima bruikbaar is. Andere communicatietechnieken zoals ZigBee en Wireless Hart hebben devices in het netwerk zoals routers of de coördinator die altijd aan staan en daardoor veel energie verbruiken. Dit zal bij kleinere robots niet bruikbaar zijn, maar bij grotere robots die zichzelf van energie voorzien zal dit ook prima kunnen werken. Kortom: Het hangt vooral van de toepassing af, welke communicatietechnieken bruikbaar zijn en welke niet.

Wat wel genoemd moet worden is dat in elk land andere regels gelden omtrent het frequentiegebruik. In o.a. Europa kunnen de banden 900 MHz tot ~950 MHz niet gebruikt worden voor communicatie omdat deze voor andere netwerken zijn gereserveerd. Alle communicatietechnieken die in deze banden opereren vallen dus per definitie af. In o.a. Amerika zijn deze banden juist wel vrij, waardoor ze daar prima bruikbaar zijn. De meeste apparaten zijn daarom beschikbaar in twee versies. De ene communiceert in de 900 – 925 frequentiebanden terwijl de andere versie dan in de 868 MHz band communiceert die o.a. voor Europa bedoeld is.

4.2 Deelvraag 2

Welke omgevingsvariabelen zijn belangrijk bij het maken van een keuze voor een communicatietechniek?

4.2.1 Hoeveelheid objecten in de buurt

In een omgeving waar veel gebouwen staan of waar veel metalen objecten aanwezig zijn wordt het signaal van verschillende kanten gereflecteerd. Het signaal komt dan van verschillende

kanten en vooral ook op verschillende tijden binnen. Hierdoor kan het lijken dat er een nieuw bericht binnenkomt terwijl het in werkelijkheid een echo is van het vorige bericht.

Daarnaast bestaat in een omgeving waar veel gebouwen staan een grote kans dat hier meer draadloze communicatietechnieken worden gebruikt (mobiele telefonie, Wi-Fi, GPS, Bluetooth). Wanneer in dit gebied een communicatietechniek wordt gebruikt door de robots die dezelfde frequentiebanden gebruikt als de andere aanwezige communicatietechnieken is er een grote kans op interferentie (samen- of tegenwerking van verscheidene golven op dezelfde tijd en plaats^[10]).

4.2.2 De afstand die de robots verwijderd zijn van een oplaadpunt

Stel dat de robots in een gebied worden ingezet met berrmbommen. De robots worden vanaf de militaire basis aangezet en de opdracht is om berrmbommen onschadelijk te maken. Het probleem hierbij is dat de robots niet elke halve dag terug kunnen komen om bijvoorbeeld de batterijen op te laden (dit zou namelijk een heel beperkte actieradius opleveren). Dit betekent dat de robot heel zuinig met zijn energie om zal moeten gaan.

Vanuit de specificaties is al bekend dat communicatietechnieken over het algemeen veel energie verbruiken. Het is daarom verstandig om in deze casus zo min mogelijk te communiceren, maar het zou ook veel verschil maken wanneer een communicatietechniek wordt gebruikt die weinig energie verbruikt (daarbij moet wel weer bedacht worden dat daardoor de reikwijdte ook minder kan worden).

4.2.3 Hoeveelheid robots waarmee gecommuniceerd moet worden

Het is per communicatietechniek verschillend hoeveel apparaten er tegelijkertijd verbonden kunnen zijn in een netwerk. Wanneer bijvoorbeeld drie of vijf robots tegelijkertijd verbonden moeten zijn in een netwerk kan gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld Bluetooth (Bluetooth kan een netwerk vormen van maximaal zeven apparaten). Maar wanneer er meer dan 100 robots met elkaar zullen communiceren wordt het lastiger, in dit geval zijn er verschillende communicatietechnieken beschikbaar waarmee gecommuniceerd kan worden. Dit komt voornamelijk omdat veel communicatietechnieken de mogelijkheid hebben om netwerken uit te breiden doormiddel van routers. Wi-Fi bijvoorbeeld kan tot maximaal 32 apparaten verbonden hebben aan één router, maar deze router kan wel onderdeel zijn van een groter netwerk, waardoor de grootte van het netwerk enorm kan zijn.

De volgende communicatietechnieken kunnen netwerken vormen van meer dan 10 apparaten:

- Wi-Fi
- ZigBee
- Wireless Hart
- RuBee
- Z-wave
- INSTEON
- MyriaNed

4.2.4 De afstand tussen de verschillende robots

Bij elke opdracht is het verschillend hoe dicht de robots bij elkaar zullen blijven om een opdracht te voltooien. Reikwijdte is daarom een omgevingsvariabele. Bij sommige opdrachten zullen de robots veel dingen samen moeten doen, waardoor ze bij elkaar zullen blijven. Bij andere opdrachten zullen de robots veelal alleen opereren, maar zal bijvoorbeeld wel gecommuniceerd moeten worden op welke plekken al zijn gereden is (in het geval van de berrmbommen bijvoorbeeld).

Wanneer de robots dicht bij elkaar zullen blijven, is er misschien genoeg aan een communicatietechniek met een reikwijdte van 10 meter. Maar wanneer de robots veelal alleen

zullen opereren is er misschien een communicatietechniek nodig dat kan communiceren over meer dan 2 kilometer.

In principe kan met elke communicatietechniek over een relatief grote afstand gecommuniceerd worden, als de robot maar beschikt over voldoende energie. Er kan namelijk een hoger vermogen worden gebruikt. Als voorbeeld kan worden gebruikt, dat wanneer in een gesprek harder gepraat wordt, het gesprek over een grotere afstand gehoord kan worden. Ditzelfde geldt ook voor communicatie over RF.

Wanneer over grote afstand gecommuniceerd moet worden, kan het beste gekozen worden voor communicatietechnieken die op lage frequenties werken. Data over lagere frequenties kan namelijk over grotere afstand ontvangen worden. Hogere frequenties in combinatie met een hoog vermogen zorgt ook voor een grotere reikwijdte, maar het energieverbruik zal dan wel hoger zijn.

4.2.5 Is het gebied vijandelijk?

In oorlogsgebieden kan het van belang zijn dat de communicatie niet wordt onderschept of in elk geval niet eenvoudig kan worden afgeluisterd. In dit geval is het belangrijk dat de communicatietechniek een heel goede beveiliging van de data ondersteunt. Daarnaast kan de data die wordt overgestuurd van zichzelf al cryptisch worden gemaakt. Dit omdat elke beveiliging kan worden gekraakt, maar het proces om de data te kraken wel kan worden vertraagd.

4.2.6 Conclusie

Welke omgevingsvariabelen zijn belangrijk bij het maken van een keuze voor een communicatietechniek?

Bij het kiezen voor een communicatietechniek is het belangrijk om te kijken naar de eisen die gesteld worden aan de robot in de opdracht die het moet voltooien. Daarbij zijn over het algemeen gezien de eigenschappen uit tabel 2 het meest belangrijk om naar te kijken voor het maken van een keuze voor een communicatietechniek. Bij elke eigenschap wordt een top drie gegeven van de communicatietechnieken die hiervoor in aanmerking komen.

Eigenschappen / ranking.	Betrouwbaarheid	Reikwijdte	Security	Energieverbruik	Aantal connecties
1	RuBee	DASH7	RuBee	RFID / NFC	INSTEON
2	MyriaNed	Wavenis	Ultra Wide Band	Alle andere sensor netwerken (Wireless Hart, INSTEON, LonWorks, ONE-NET, BACnet, RuBee enz..)	RuBee
3	Wireless Hart	KNX/RF	Alle communicatietechnieken gebaseerd op de AES standaard (Wi-Fi, Wibree, Dash7 enz..) ^{[19][20]}	Bluetooth Low Energy	MyriaNed

Tabel 2 belangrijke eigenschappen communicatietechnieken

Zoals gezien kan worden komt RuBee in vier van de vijf kolommen voor. Het lijkt er dus op dat dit een communicatietechniek is die met veel situaties overweg kan. Vooral in omgevingen waar andere communicatietechnieken niet bruikbaar zijn blijkt uit de specificaties in Bijlage C. Toch zal deze communicatietechniek lastig te gebruiken zijn vanwege de fysieke uitvoering, net zoals RFID of NFC.

4.3 Deelvraag 3

Zijn de specificaties uit de standaarden aannemelijk om te gebruiken of moet een communicatietechniek altijd eerst uitvoerig gemeten worden?

4.3.1 Algemeen

Zoals al in paragraaf 4.1.2 werd beschreven zijn veel specificaties genoteerd waarbij onder ideale omstandigheden gemeten is. De specificaties lijken mooier dan ze zijn. In dit hoofdstuk wordt vanuit de theorie hier het één en ander over beschreven, maar er zijn ook metingen gedaan in de praktijk om te bepalen wat de specificaties zijn onder omstandigheden die verre van ideaal zijn.

4.3.2 Data rate

De data rate wordt in de specificaties vaak aangegeven in Mb/s. Dat betekent $1024 \times 1024 = 1048576$ bits per seconde. In datacommunicatie is dit strikt genomen de standaard notatie, maar software engineers en consumenten zijn vaak meer in bytes geïnteresseerd. Eén byte is acht bits en daarom is het aantal megabytes 8 keer kleiner. Deze conversie moet gedaan worden om theoretisch te bepalen hoeveel megabytes er per seconde verstuurd kunnen worden. Dit is echter nog niet alles.

Wanneer een verbinding opgezet is tussen twee of meer apparaten doormiddel van een draadloze communicatietechniek, kan er om de verbinding in stand te houden allerlei informatie verstuurd worden over het netwerk. Tijdens een bestandsoverdracht wordt allerlei informatie verstuurd waarmee de ontvanger eventuele fouten kan herstellen. Zogenoemde pariteit bits. Ook kunnen er start en stop bits worden verzonden. Deze extra informatie zorgt ervoor dat de werkelijke hoeveel data (de data die uiteindelijk verzonden moet worden) dat kan worden verzonden per seconde nog minder wordt. In sommige specificaties wordt hier een indicatie van gegeven, maar ook die informatie geldt alleen in ideale omstandigheden.

Om te laten zien wat deze effecten in de realiteit betekenen zijn er voor Wi-Fi een aantal metingen gedaan. In tabel 3 worden de resultaten getoond uit die metingen voor wat betreft de data rate binnen en buiten. De metingen zijn uitgevoerd bij een snelheid van 54Mb/s en telkens was er een afstand van twee meter tussen twee opeenvolgende metingen:

Wi-Fi	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Data rate binnen in MB/s	1.38	1.33	0	0.78	0.72	0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Data rate buiten in MB/s	1,29	1,21	1,38	1,36	1,47	0,78	0,70	0,99	0,66	0,49	0,7	0,51	0,28	0	0

Tabel 3 data rate

De uitleg van de data rate bij de binnen metingen wordt beschreven in paragraaf 4.1.2. Buiten kan over grotere afstanden worden gecommuniceerd. Binnen kan er tot en met 12 meter gecommuniceerd worden en buiten tot en met 26 meter. Buiten blijft de data rate tot op 10 meter afstand redelijk gelijk. Vanaf 12 meter wordt de data rate een stuk lager. Vanaf hier staat de ontvanger halverwege een steeg, waarbij er geen line of sight (vrij zicht) meer is. Vanaf 20 meter lijkt het erop dat de data rate nog lager wordt, maar bij 22 en 24 meter wordt de data rate onverwachts toch nog hoger. Dit komt omdat de ontvanger hier voor een muur staat die de signalen reflecteert. In de meetgegevens in Bijlage I valt ook op dat de error rate omlaag gaat. Vanaf 26 meter afstand gaat de data rate drastisch omlaag en bij 28 meter valt de verbinding weg. Er kan in deze meting tot en met 26 meter gecommuniceerd worden zonder line of sight. De specificaties geven maximaal 90 meter weer bij line of sight voor Wi-Fi. De resultaten uit deze meting voor buiten zijn dus ongeveer 69% lager dan de specificaties, hoewel dit voor het grootste deel zal komen doordat er geen line of sight is en doordat er andere apparaten zijn die in dezelfde frequentiebanden communiceren. De specificaties vermelden dat Wi-Fi binnen

ongeveer een bereik heeft van 30 meter. Deze metingen geven dus aan dat dit in onze situatie ongeveer 60% lager ligt.

Zie Bijlage H voor de rapporten van de metingen die binnen zijn uitgevoerd en Bijlage I voor de rapporten van de metingen die buiten zijn uitgevoerd.

4.3.3 Reikwijdte

De reikwijdte wordt over het algemeen aangegeven in meters of kilometers. Sommige technieken zoals RFID en NFC worden aangegeven in centimeters. In de specificaties wordt ook hier altijd van ideale omstandigheden uitgegaan. Er wordt vaak wel bij vermeld dat er rekening moet worden gehouden met een reikwijdte bij line of sight. Ook wordt in de specificaties geen rekening gehouden met dataverkeer door andere apparaten in dezelfde frequentiebanden.

Er zijn verschillende factoren die de reikwijdte beïnvloeden. Hieronder wordt opgesomd welke factoren de reikwijdte kunnen beïnvloeden.

1. Andere apparaten die tegelijkertijd in dezelfde of naastliggende frequentiebanden communiceren. (Interferentie)
2. Objecten tussen de zender en ontvanger (elk materiaal heeft een eigen reflectie en absorptie vermogen).
3. Posities van de antennes.
4. Verstoringen van signalen in de atmosfeer

Er wordt nu per factor een beschrijving gegeven waarom dit de reikwijdte beïnvloed.

4.3.3.1 Interferentie

Een alledaags voorbeeld maakt duidelijk waarom interferentie de reikwijdte en de kwaliteit van het signaal beïnvloed.

Wanneer er een conversatie plaatsvindt tussen twee personen zonder dat anderen mensen aan het praten zijn kunnen deze twee personen elkaar zonder moeite verstaan en kan er ook over grotere afstand met elkaar gepraat worden.

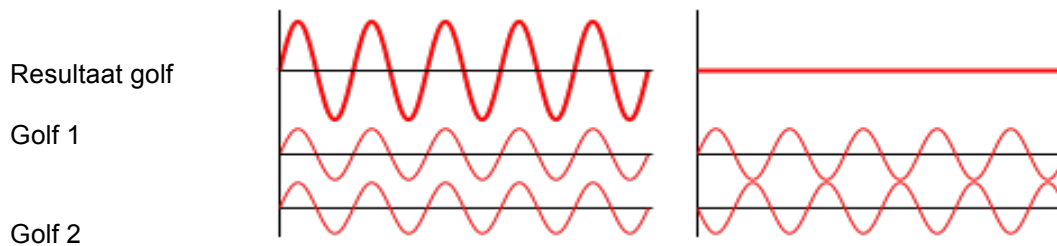
Stel dat er nu tien mensen bij komen die ook allemaal beginnen te praten, de één harder dan de ander. Dan moeten de twee eerste personen meer hun best doen om elkaar te verstaan en wordt de afstand waarover ze elkaar nog fatsoenlijk kunnen verstaan drastisch verminderd. Ditzelfde gebeurt ook met radiofrequenties.

Om deze reden is het goed om te weten welke signalen er in de lucht zitten en waardoor de communicatie tussen de robots beïnvloed zou kunnen worden. Het is wel zo dat deze gegevens voor elke locatie verschillend zijn. Daarom moet er altijd bedacht worden wanneer er een keuze gemaakt moet worden op basis van de reikwijdte tussen de robots dat deze reikwijdte in elke situatie verschillend is. Het advies is daarom te kiezen voor een communicatietechniek die ruimschoots voldoet aan de eisen voor de reikwijdte. En daarna wanneer de robots ingezet worden, elke robot metingen te laten doen naar de ontvangen signaalsterkte en reikwijdte tussen de robots. Hiermee kan dan worden bepaald of de reikwijdte overeenkomt met wat vanuit de theorie en dit onderzoek bekend is en of de robots rekening moeten houden met een verminderde reikwijdte.

In de omgevingen waar de robots ingezet kunnen worden is het mogelijk dat allerlei andere apparaten die gebruik maken van draadloze communicatie het signaal beïnvloeden. Bijvoorbeeld Bluetooth of ZigBee apparaten die in dezelfde frequentiebanden zenden, of andere apparaten die Wi-Fi gebruiken, zoals smartphones en laptops. Apparaten die op ongeveer dezelfde frequentie zenden beïnvloeden het signaal van de robot het meest^[1]. Daarnaast kunnen andere frequenties het signaal van de robot ook beïnvloeden.

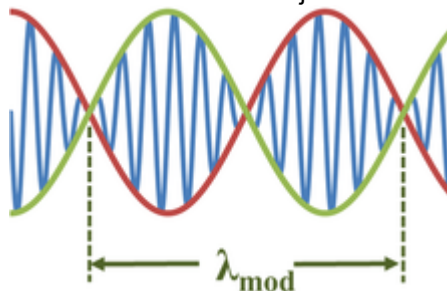
Het deel van een amplitude boven de nullijn wordt een crest genoemd en het deel onder de nullijn wordt de trough genoemd. Wanneer de crest van een signaal de crest van een ander

signaal passeert worden deze bij elkaar opgeteld en wordt de amplitude versterkt. Dit wordt constructieve interferentie genoemd. Wanneer de crest van een signaal de trough van een ander signaal passeert wordt de amplitude gelijk aan het verschil tussen deze twee en wordt het signaal dus afgezwakt. Dit wordt destructieve interferentie genoemd. Zie afbeelding 2 om dit duidelijk te maken.



Afbeelding 2 Constructieve interferentie - destructieve interferentie

Wanneer deze verschijnselen plaatsvinden bij frequenties die weinig verschillen in golflengte en frequentie treedt er een beat op. In het akoestisch spectrum zou dit gehoord kunnen worden, omdat het signaal dan telkens aan en uit zou gaan. Zodra de frequenties verder uit elkaar komen te liggen wordt dit niet meer gehoord als aan en uit, maar als een onzuiver/trillend geluid^[4] (in het akoestisch spectrum). Dit gebeurt ook wanneer de frequentie boven de 15Hz komt. Zie voor de duidelijkheid afbeelding 3.



Afbeelding 3 Een gemoduleerde golf als resultaat door twee bijna identieke frequenties op te tellen^[2]

Deze effecten bepalen de meetwaarden uit de onderzoeken. Om ervoor te zorgen dat deze effecten geminimaliseerd worden in de resultaten, worden de metingen meerdere keren uitgevoerd. Waarbij wel bedacht moet worden, dat deze effecten nooit helemaal uitgebannen kunnen worden, tenzij de metingen in een laboratorium worden uitgevoerd, waarmee de resultaten weer erg theoretisch worden.

4.3.3.2 Absorberend en reflecterend vermogen van andere objecten

Uit verschillende onderzoeken^{[5][6]} blijkt dat het geen zin heeft om theoretisch iets te zeggen over het absorberend en reflecterend vermogen van verschillende objecten/materialen. Dit komt, omdat dit overal verschillend is. Dit heeft te maken met andere objecten die in de buurt staan, of factoren die het signaal verzwakken of van richting doen veranderen. De enige manier om te bepalen welk vermogensverlies er op treedt bij verschillende materialen is door dit te meten in een laboratorium, waar geen enkele andere factor invloed kan uitoefenen op de radiosignalen. Ook hier geldt het advies om de robots metingen te laten verrichten zodra deze ingezet worden in een bepaald gebied. Zodoende kan er bepaald worden of er rekening moet worden gehouden met een verminderde reikwijdte.

4.3.3.3 Positionering van de antennes

Voor de communicatie tussen de robots wordt gebruik gemaakt van een radio die op een bepaalde (afhankelijk van welke communicatietechniek er wordt gebruikt) frequentie werkt. Dit zullen voornamelijk de frequenties 5.0GHz, 2.4GHz, 915MHz, 868MHz en 433MHz zijn. In Bijlage C worden nog enkele andere frequenties beschreven.

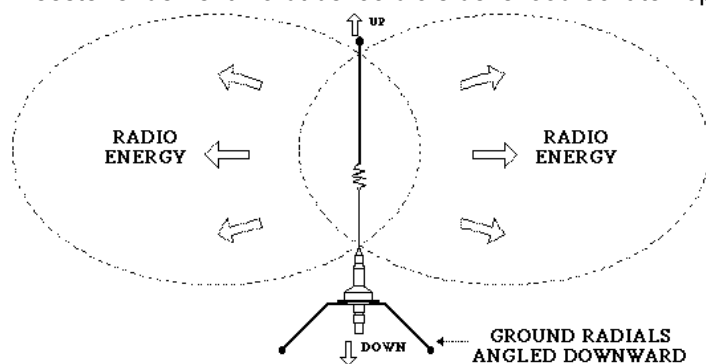
Om het signaal te kunnen uitzenden wordt gebruik gemaakt van antennes. Deze antennes zijn in verschillende vormen te verkrijgen. Het soort antenne bepaalt de afstand waartussen de robots nog met elkaar kunnen communiceren. Antennes worden grofweg ingedeeld in twee categorieën:

- De omni-directionele antenne; deze straalt of ontvangt rondom
- De directionele antenne; deze straalt of ontvangt in een bepaalde richting.

Door de robot wordt vooralsnog alleen gebruik gemaakt van een omni-directionele antenne. Voor directionele antennes kan aangenomen worden dat de reikwijdte groter zal zijn en/of het energieverbruik lager.

Dit komt omdat de zender en ontvanger bij een directionele antennes naar elkaar toe gericht kunnen worden. Op deze manier kan het verst gestraald worden en is er minder energie nodig (wanneer er gekozen is om het uitgezonden vermogen automatisch te laten bepalen door de communicatietechniek).

Bij de omni-directionele antenne maakt het niet uit hoe de antenne ingesteld is, behalve dat het meeste rendement wordt behaald als deze loodrecht ten opzichte van de grond wordt geplaatst^[3]. Zie voor de duidelijkheid afbeelding 4.

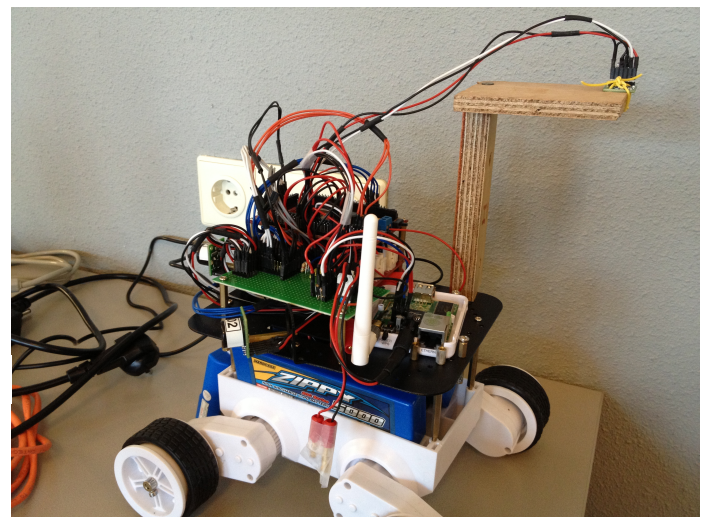


Voor de robot maakt het uit hoe deze geplaatst is ten opzichte van de ontvanger. Uit metingen is gebleken dat wanneer de robot van de ontvanger weg rijdt er een slechter signaal wordt gemeten dan wanneer de robot naar de ontvanger toe rijdt. Dit heeft te maken met de draden en

Afbeelding 4

printplaten van de robot die dan voor de antenne staan, als oplossing hiervoor kan de antenne bijvoorbeeld hoger geplaatst worden dan de andere onderdelen van de robot, zie afbeelding 5 voor de situatie waarin dit probleem voorkomt. In bijlage C van het Meetplan^[4] is een grafiek te vinden waarin deze meetgegevens staan uitgebeeld.

Afbeelding 5



4.3.3.4 Verstoringen van signalen in de atmosfeer

Bij bepaalde frequenties kan de atmosfeer (eigenlijk de ionosfeer) een signaal reflecteren^{[14][15][16]}. Wanneer er naar een satelliet gecommuniceerd moet worden kan dit dus een probleem zijn, maar deze effecten kunnen ook in positieve zin gebruikt worden. Bijvoorbeeld het communiceren over zeer grote afstanden op aarde, waarbij geen line of sight meer is. De signalen worden dan gereflecteerd in de atmosfeer en komen verderop op de aarde weer terug, waar ze ontvangen kunnen worden. Dit effect is wel genoemd in dit hoofdstuk, maar wordt niet behandeld, zie paragraaf 5.2 voor meer informatie.

4.3.3.5 Resultaten uit eigen metingen.

In dit onderzoek zijn binnen en buiten metingen naar de reikwijdte gedaan. Deze metingen zijn net als de anderen gedaan op Wi-Fi. In de specificaties van het Wi-Fi protocol wordt voor binnen een maximale reikwijdte gegeven van dertig meter en voor buiten 90 meter. De resultaten uit het onderzoek tonen aan dat dit in de omstandigheden hier op kantoor minder blijkt te zijn.

Wi-Fi	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m
dBm ontvangst binnen	-56	-63	-58	-65	-67	-62	-68	-71	-77	-79	0	0	0	0	0
dBm ontvangst buiten	-43	-50	-52	-54	-52	-61	-63	-61	-69	-69	-69	-70	-76	0	0

Tabel 4 Reikwijdte binnen en buiten

In tabel 4 kan worden gezien dat de reikwijdte binnen 20 meter is en buiten 26 meter. Bij deze metingen was geen sprake van line of sight. De meetresultaten van de metingen binnen kunnen worden gevonden in Bijlage H, de meetresultaten van de metingen die buiten zijn uitgevoerd kunnen worden gevonden in Bijlage I. De beschrijvingen bij deze resultaten worden beschreven in paragraaf 4.1.2 voor de binnen metingen en in 4.3.2 voor de buiten metingen.

4.3.4 Energieverbruik

Om het energieverbruik te bepalen vanuit de specificaties wordt er het maximaal uitgezonden vermogen gegeven. Dit is voor sensornetwerken en andere energiezuinige netwerken meestal 1 milliwatt. Voor Wi-Fi kan dit 100 milliwatt zijn^[C]. Dit is het vermogen dat kan worden uitgezonden, dit kan dus ook minder zijn. In de praktijk kan van een communicatietechniek opgevraagd worden hoeveel vermogen deze uitzendt. Dit wordt vaak weergegeven in dBm. De dBm is gekoppeld aan de Watt. 0 dBm staat gelijk aan 1 milliwatt en een verhoging van 3 dBm zorgt ervoor dat de hoeveelheid milliwatt verdubbeld. Een verlaging van 3 dBm zorgt ervoor dat de hoeveelheid milliwatts gehalveerd wordt.

De formule voor deze conversie is^[9]: $P_{mW} = 10^{(P_{dBm}/10)}$

Waarbij P_{mW} het vermogen in milliwatt is en P_{dBm} het vermogen in dBm.

Een voorbeeld van het gebruik van deze formule is als volgt, bij 13dBm wordt 19.95mW verbruikt.

$$P_{(mW)} = 1mW \cdot 10^{(13dBm / 10)} = 19.95 mW$$

Met deze gegevens is bekend wat het uitgezonden vermogen is, maar nog niet wat het energieverbruik is van een communicatietechniek.

Om het energieverbruik te berekenen kan de volgende formule gebruikt worden^[7]:

$$E_{(Wh)} = P_{(W)} \cdot t_{(h)}$$

Versie: 1.0, Definitief

Voor een communicatietechniek dat zendt met een vermogen van 100mW geldt dat er een energieverbruik is van:

$$E_{(Wh)} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ Watt per uur of } 0,1 / 3600 \cdot 1000 = \sim 0,028 \text{ milliwatt per seconde.}$$

Het is ook mogelijk dat in de specificaties wordt aangegeven hoeveel ampère een communicatietechniek maximaal kan gebruiken. Dit gegeven kan samen met het voltage geconverteerd worden naar een hoeveelheid Watts dat daarna weer omgezet kan worden met de bovenstaande formules naar energieverbruik. De formule voor ampère naar Watt is^[8]:

$$P_{(W)} = I_{(A)} \cdot V_V$$

Aan de hand van zulke gegevens kan bepaald worden hoe lang een robot ongeveer kan communiceren.

Verder zal het energieverbruik toenemen zodra de robots zich in een gebied begeven waar veel dataverkeer is van andere netwerken. Er moet dan namelijk met een hoger vermogen gecommuniceerd worden dan in een gebied waar weinig ander dataverkeer is, om data toch goed te kunnen ontvangen. Lees voor de duidelijkheid het voorbeeld van communicatie tussen personen in paragraaf 4.3.3.1. Daaruit wordt duidelijk dat er harder gepraat moet worden wanneer er andere mensen aan het praten zijn of achtergrondgeluiden zijn.

In tabel 5 wordt weergegeven hoeveel energie de Wi-Fi adapter en de Bluetooth dongle verbruiken op de robot. Eerst wordt aangegeven wat het energieverbruik van de robot zelf is (zonder communicatietechnieken) en daarna wordt aangegeven wat het energieverbruik is wanneer Wi-Fi of Bluetooth aanstaat en wanneer er data wordt verzonden met deze communicatietechnieken. In vergelijking met de specificaties uit Bijlage C kan geconcludeerd worden dat het belangrijk is dat altijd eerst metingen gedaan worden op een gekozen communicatietechniek zodat bekend is wat het energieverbruik is in de realiteit is.

	Stand-by	Communicatietechniek aan	Continu data verzenden
Robot zonder communicatietechnieken	1,7W	-	-
Robot met Wi-Fi adapter	1,7W	1,7W	2,5W
Robot met Bluetooth dongle	1,7W	2,5W	-

Tabel 5 Energieverbruik

Voor Bluetooth was het niet mogelijk om een meting te doen waarbij data werd verzonden. Zie voor verdere toelichting paragraaf 13.5.

In de tabel wordt getoond dat Wi-Fi 0,8 Watt meer energie verbruikt zodra er data wordt verzonden. In de specificaties uit Bijlage C wordt aangegeven dat een Wi-Fi adapter ongeveer 100mW aan energie verbruikt. 0,8 Watt is 800mW wat dus acht keer zoveel is dan wat in de specificaties staat, terwijl hier gebruik gemaakt wordt van een embedded device. Dit extra energieverbruik valt te verklaren doordat er op het embedded device een chip is gebouwd die deze draadloze communicatie verzorgt. Deze chip zal de meeste energie verbruiken. Zie Bijlage F voor de rapporten die bij deze metingen horen.

Verder is het energieverbruik ook afhankelijk van het aantal keer dat er gecommuniceerd wordt en hoe lang een communicatietechniek aan staat. Wanneer bijvoorbeeld elke seconde data wordt verstuurd, terwijl dit ook elke vijf seconden zou kunnen, wordt er dus vijf keer zoveel energie verbruikt. Daarnaast kan het bij sommige communicatietechnieken ook zuinig zijn om de communicatietechniek uit te schakelen zodra er geen communicatie hoeft plaats te vinden. Dit is alleen bruikbaar wanneer er niet te vaak gecommuniceerd hoeft te worden. In tabel 6 wordt aangegeven hoe snel Wi-Fi erover doet op de Ominima MiniEmbWiFi om op te starten vanuit stand-by.

Ook wordt aangegeven hoe lang het duurt voordat de robot operationeel is, wanneer deze helemaal uit is geweest. Zie Bijlage G voor de rapporten die bij deze metingen horen.

Communicatietechniek	Opstarttijd vanuit uit stand	Opstarttijd vanuit stand-by
Wi-Fi	~30 seconden	~2 seconden

Tabel 6 Opstarttijden

4.3.5 Conclusie

Zijn de specificaties uit de standaarden aannemelijk om te gebruiken of moet een communicatietechniek altijd eerst uitvoerig gemeten worden?

Zoals in dit hoofdstuk is beschreven zijn de specificaties uit de standaarden bepaald op basis van ideale omstandigheden en worden de specificaties mooier omschreven dan dat ze zijn. Dit geeft de conclusie dat de specificaties niet aannemelijk zijn om te gebruiken bij een keuze voor een bepaalde communicatietechniek. Natuurlijk geeft het wel een indicatie, maar precieze cijfers kunnen alleen verkregen worden door zelf metingen te doen met de betreffende communicatietechniek. Hierbij moet ook bedacht worden dat de resultaten uit die metingen ook onder bepaalde omstandigheden zijn verkregen en op andere plaatsen verschillend kunnen zijn.

Ook de verschillende hardware uitvoeringen van een communicatietechniek kunnen verschil maken voor de meetwaarden. De communicatietechniek moet zich houden aan de standaarden, maar de hardware om de communicatietechniek aan te sturen niet. Om die reden verbruikt Wi-Fi op de robot 800mW meer dan wanneer Wi-Fi uit staat, terwijl Wi-Fi volgens de specificaties maximaal 100mW zou mogen verbruiken. De resterende 700mW wordt dus ergens anders verbruikt en het meest voor de hand liggende is de aparte processor voor de Wi-Fi adapter.

Om deze redenen is het aan te bevelen om zodra een robot wordt ingezet, deze eerst allerlei metingen te laten verrichten naar de omgeving waarin gecommuniceerd moet worden. En deze te vergelijken met metingen die eerder zijn gedaan. Op basis van die metingen kan dan bijvoorbeeld de strategie aangepast worden. Ook kan worden gekozen om verschillende communicatietechnieken tegelijk op de robot aan te brengen, zodat altijd nog gewisseld kan worden tussen communicatietechnieken.

4.4 Deelvraag 4

In welke gebieden kan geen enkele draadloze communicatietechniek gebruikt worden door de robot?

4.4.1 Algemeen

Er zijn verschillende casussen te bedenken waarbij communicatie met elektromagnetische straling een probleem is. Denk bijvoorbeeld aan communicatie onder water, of aan communicatie onder de grond. Voor deze gebieden moeten andere manieren worden bedacht om robots toch met elkaar te kunnen laten communiceren.

4.4.2 Communicatie onder water

RF signalen kunnen wel door water heen, maar het vermogen neemt heel snel af. De signalen worden namelijk sterk geabsorbeerd door water. Vooral wanneer het om hoge frequenties gaat (bijvoorbeeld 2,4 GHz). Draadloze communicatie zou dan alleen gaan op zeer korte afstanden. De afstanden kunnen vergroot worden door lagere frequenties (ELF, 3 – 300Hz) te gebruiken. Onderzeeërs bijvoorbeeld, gebruiken een frequentie ergens tussen de 70 en 90 Hz^[1]. Dit



betekend dat communicatie langzaam gaat, maar wel over heel grote afstanden mogelijk is. Deze frequenties hebben een golflengte tussen de 3,500 en 4000 kilometer. De antenne die hiervoor nodig is, is veel te groot. In de oceanen zijn twee plekken waar zulke antennes gemaakt zijn. Deze antennes worden gemaakt door pennen in de grond te boren en daar een koperen lijn (~54km) tussen te maken. Daarmee wordt de aarde als antenne gebruikt^[17]. Deze antennes zijn overigens niet meer in gebruik.

Communicatie in het VLF gebied (3 – 30 kHz) is ook mogelijk onder water maar dan kan er tot ongeveer 20 meter diepte worden gecommuniceerd, waarbij de data rate ongeveer 35 bytes per seconde bedraagt. Ook voor deze frequenties geldt dat een antenne maken niet eenvoudig is en dat die behoorlijk groot is.

Voor bruikbare communicatie onder water zijn eigenlijk geen draadloze communicatietechnieken beschikbaar werkend op elektromagnetische golven voor grote afstanden. Voor kleine afstanden, denk aan een klein aantal meters, kan ook gebruik gemaakt worden van licht. Met licht kan bijvoorbeeld door verschillende kleuren, of door te knipperen informatie door gegeven worden. Voor grotere afstanden kan geluid gebruikt worden. Met geluid kan over vele kilometers gecommuniceerd worden, denk aan de ultrasone geluiden van dolfijnen bijvoorbeeld. Verschillende tonen kunnen fungeren als datagegeven. Geluid is geen elektromagnetische golf en heeft moleculen nodig om zich te kunnen verplaatsen.

4.4.3 Communicatie onder de grond

Wanneer de robots zich in dezelfde ruimte bevinden onder grond kunnen ze prima met elkaar communiceren. Dit zal snel minder worden wanneer er rotswanden tussen de robots zitten. Aanvankelijk zal communicatie nog wel mogelijk zijn, omdat signalen eerst nog gereflecteerd zullen worden via rotswanden, maar dit zal na een twee of meer bochten wel ophouden. Dit betekent dat communicatie onder de grond alleen mogelijk is wanneer de robots dicht bij elkaar in de buurt blijven. Op een andere manier is communiceren met elektromagnetische golven niet mogelijk.

Communicatie naar het aardoppervlak zal zeker niet lukken omdat er een laag grond/zand/gesteente tussen de zender en ontvanger zit. In dit geval werkt licht ook niet, omdat dit nergens dan alleen door transparante materialen heen kan. Geluid zou wel gebruikt kunnen worden, maar dat zal alleen een aantal meters door de grond heen kunnen.

Bij dit soort operaties zullen de robots heel veel autonoom moeten doen. Wanneer toch met systemen boven het aardoppervlak gecommuniceerd moet worden zal een plek gezocht moeten worden waar een directe open verbinding is naar boven. Wanneer toch onderling gecommuniceerd moet worden, maar waarbij de robots wel verder van elkaar af opereren kan er bijvoorbeeld een tijdstip en plaats afgesproken moeten worden, waar de communicatie plaats moet worden.

4.4.4 Interplanetaire communicatie

Wanneer robots ingezet worden op bijvoorbeeld de planeet Mars kan er geen gebruik meer worden gemaakt van de communicatietechnieken die beschreven staan in Bijlage C. Om over deze afstanden (miljoenen kilometers) te communiceren wordt sinds de jaren 50 gebruik gemaakt van het Deep Space Network. Dit is een systeem met een verzameling radioantennes in Californië, Madrid en de omgeving van Canberra, Australië. Dit netwerk is verantwoordelijk voor alle NASA communicatie in de ruimte.

Er wordt gebruik gemaakt van het Interplanetary Network (IPN) om interplanetaire communicatie mogelijk te maken. Het probleem met dit protocol is dat er heel precies berekend moet worden wanneer communicatieberichten verstuurd moeten worden en of er op dat moment geen objecten tussen de zender of ontvanger staan (objecten zoals een maan, komeet



of dergelijken). Dit is behoorlijk foutgevoelig en het is niet bekend of een bericht wel of niet aankomt.

Als voorbeeld kan de Beagle 2 gebruikt worden. Dit was een Britse Marslander die na de landing in 2003 nooit meer iets van zich liet horen. Later werd ontdekt dat op de plek waar de Beagle 2 had moeten landen een krater zat. Waarschijnlijk is een communicatiebericht gemist waardoor de Marslander geen acties heeft ondernomen om af te remmen voor de landing^{[12][13]}.

Om deze problemen voortaan te voorkomen is in de jaren 90 een nieuw protocol ontwikkeld voor communicatie over deze zeer grote afstanden. Dit is het Disruption-Tolerant Networking (DTN) protocol. Hierbij worden berichten net zolang bewaard in een node totdat het bericht is aangekomen bij de volgende node, net zolang totdat het bericht is aangekomen op zijn bestemming^{[12][13]}.

Er wordt nog heel veel onderzoek gedaan naar zulke internet systemen, omdat de communicatie tussen robots en de aarde van essentieel belang is. Als de communicatie mislukt, mislukt ook de missie, en daar gaat heel veel geld in om.

Wanneer meerdere robots bij elkaar op kleine afstand ingezet zullen worden kan er wel met communicatietechnieken uit Bijlage C gecommuniceerd worden, omdat dit hetzelfde werkt als op aarde. De enige communicatietechniek die absoluut niet gebruikt kan worden is geluid, omdat het in grote delen van het heelal ontbreekt aan een medium waarin geluid zich kan voortplanten.

4.4.5 Conclusie

In welke gebieden kan geen enkele draadloze communicatietechniek gebruikt worden door de robot?

In dit hoofdstuk werden een aantal gebieden besproken waar draadloze communicatie een probleem kan zijn. Maar op deze vraag kan geantwoord worden dat er geen gebieden zijn waar geen enkele communicatietechniek gebruikt kan worden. Voor elk gebied zijn oplossingen bedacht en kan er door computers gecommuniceerd worden. Wel is een beperking in deze gebieden dat vaak alleen onder lage snelheden gecommuniceerd kan worden, bijvoorbeeld onder water, maar ook in de ruimte. Een bericht naar Mars doet er 3,5 tot 20 minuten over om de bestemming te bereiken, dit verschil heeft te maken met de afstand tussen Aarde en Mars, die kan verschillen. Ook kan het zijn dat er geen gebruik gemaakt kan worden van elektromagnetische golven, maar dat er gecommuniceerd moet worden met licht of geluid.

4.5 Algehele Conclusie

Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?

Het is erg moeilijk te zeggen welke communicatietechniek gekozen moet worden bij bepaalde omgevingsvariabelen. Het belangrijkste doel van dit onderzoek was om zoveel mogelijk gegevens te verzamelen van verschillende communicatietechnieken en om te kijken of de specificaties die worden genoemd bruikbaar zijn in de praktijk. Daarnaast is met dit onderzoek ook bereikt dat meer kennis is opgedaan over draadloze communicatie in het algemeen. Deze kennis kan goed van pas komen voor het inzetten van de robot, maar ook in andere projecten. In hoeverre de specificaties bruikbaar zijn in de praktijk wordt in de deelvragen beantwoord.

Het belangrijkste dat uit dit onderzoek geconcludeerd kan worden is het volgende: "Het is niet mogelijk te bepalen welke communicatietechniek in welke situatie het beste gebruikt kan worden". Dit is van zoveel factoren afhankelijk dat dit niet te bepalen valt. Elke omgeving heeft verschillende eigenschappen waar de communicatietechniek mee om moet kunnen gaan en daarnaast is ook elke missie verschillend (er worden telkens andere eigenschappen van de communicatietechnieken vereist). Wanneer een keuze gemaakt moet worden voor een communicatietechniek, zullen altijd metingen gedaan moeten worden om te kijken wat de specificaties in de werkelijkheid zijn (t.o.v. de theoretische specificaties). Daarnaast is het belangrijk om, zodra een robot wordt ingezet in een bepaald gebied, deze eerst metingen te laten uitvoeren. Zo kan worden gecontroleerd in hoeverre de communicatietechniek bruikbaar is en wat de eigenschappen in die omgeving zijn. Dit kan dan de strategie bepalen.

Er zijn veel factoren die de communicatie kunnen verstoren en elke communicatietechniek heeft zijn eigen manier om de invloed van deze factoren te verminderen. Sommige communicatietechnieken zijn goed om de invloed van interferentie te verminderen, anderen kunnen over grotere afstanden communiceren en weer andere combineren deze eigenschappen, maar zijn daardoor misschien duurder in aanschaf. In tabel 7 worden de belangrijkste eigenschappen op volgorde van relevantie in kolommen weergegeven, met daaronder een top drie van communicatietechnieken:

Eigenschappen / ranking.	Betrouwbaarheid	Reikwijdte	Security	Energieverbruik	Aantal connecties
1	RuBee	DASH7	RuBee	RFID / NFC	INSTEON
2	MyriaNed	Wavenis	Ultra Wide Band	Alle andere sensor netwerken (Wireless Hart, INSTEON, LonWorks, ONE-NET, BACnet, RuBee enz..)	RuBee
3	Wireless Hart	KNX/RF	Alle communicatietechnieken gebaseerd op de AES standaard (Wi-Fi, Wibree, Dash7 enz..) ^{[19][20]}	Bluetooth Low Energy	MyriaNed

Tabel 7

Voor elke situatie zijn communicatiemogelijkheden bedacht en het is aan de kenniscgroep om voor de omgeving waarin een robot zal worden ingezet de mogelijke omgevingseigenschappen te onderzoeken. Met de gegevens uit dit onderzoek kan dan een keuze worden gemaakt voor een communicatietechniek.

Er zijn drie soorten communicatiemediën te onderscheiden:

1. Elektromagnetische golven
2. Geluidsgolven
3. Licht

Over het algemeen kan altijd gebruik gemaakt worden van elektromagnetische golven, maar onder water of onder de grond kan het beter zijn om gebruik te maken van licht of geluidsgolven.

5 OPMERKINGEN

Tijdens dit onderzoek zijn een aantal dingen naar voren gekomen waar wel over is nagedacht, maar die verder niet worden genoemd. In dit hoofdstuk worden ze toch kort beschreven, omdat dit misschien in latere onderzoeken van nut kan zijn.

5.1 Netwerkprotocollen

Tijdens besprekingen met de kennisgroep is gedacht om netwerkprotocollen te beschrijven voor elke communicatietechniek. Dit kan handig zijn om te weten. In het geval van Wi-Fi zijn er bijvoorbeeld de protocollen TCP en UDP. TCP is bedoeld voor point to point verbindingen, terwijl met UDP broadcast, multicast en point to point berichten verzonden kunnen worden. Daarbij wordt bij UDP geen error handling gedaan en is dit een connection-less protocol. Zo heeft elk protocol zijn eigen voor en nadelen. Het is alleen lastig om voor elke communicatietechniek de netwerkprotocollen te vinden. Er moet opgepast worden dat er geen verschillende dingen vergeleken worden. Er is wel geprobeerd om voor elke communicatietechniek deze netwerkprotocollen te beschrijven, maar vanwege bovenstaand probleem is dit deel van het onderzoek weggelaten.

5.2 Signaal verstoringen in de atmosfeer

Bij bepaalde frequenties kan de atmosfeer (eigenlijk de ionosfeer) een signaal reflecteren^{[14][15][16]}. Wanneer naar een satelliet gecommuniceerd moet worden kan dit dus een probleem zijn, maar deze effecten kunnen ook in positieve zin gebruikt worden. Bijvoorbeeld het communiceren over zeer grote afstanden op aarde, waarbij geen line of sight meer is. De signalen worden dan gereflecteerd in de atmosfeer en komen verderop op de aarde weer terug, waar ze ontvangen kunnen worden. Dit gedrag wordt radio propagatie genoemd. Voor dit project is het beschrijven van de invloed van radio propagatie niet zo heel belangrijk, omdat de robots alleen onderling communiceren, niet via een satelliet of iets dergelijks. Radio propagatie door het weer komt alleen voor bij bepaalde weersomstandigheden en voornamelijk in de communicatie tussen aarde en satellieten in de ruimte. Zodra positiebepaling gedaan moet worden via GPS^[14], kan radio propagatie zorgen voor een verminderde nauwkeurigheid. Daarom kan in specifieke gevallen, waarbij positiebepaling uiterst noodzakelijk is, misschien beter een andere manier van positiebepalen gebruikt worden.

5.3 Temperatuur en Energieverbruik

Ook is gedacht aan de relatie tussen temperatuur en energieverbruik. Het idee was om het energieverbruik te meten onder verschillende omgevingstemperaturen. Na overleg met de bedrijfsbegeleider en enkele andere collega's is besloten dit niet te doen, omdat deze

omgevingsvariabele voor elke communicatietechniek zal gelden en daarom de uitkomsten vergelijkbaar zullen zijn. Dit is een aanname, maar op basis van de informatie die er nu is, wordt de temperatuur als omgevingsvariabele ten opzichte van het energieverbruik als niet relevant geacht.

5.4 Sensor netwerken

Sensor netwerken zijn bedoeld om metingen te verrichten op bijvoorbeeld het CO₂ gehalte in een stad, waarbij de sensoren data genereren en deze doorsturen naar een centraal punt. Sensor netwerken kunnen ook gebruikt worden om bepaalde apparaten aan te sturen. Bijvoorbeeld de verlichting in huis. Met een afstandsbediening kunnen dan lampen aan of uit gezet worden. Deze netwerken zijn over het algemeen heel energiezuinig. Sensor netwerken bestaan vaak uit een coördinator, routers en end devices. De coördinator zet een netwerk op en andere devices kunnen zich dan aansluiten. Probleem hierbij is, dat er altijd één coördinator nodig is voor het opzetten van het netwerk. De robot die beschikt over de coördinator is dan eigenlijk niet gelijk aan de andere robots. Daardoor is dan een risico, dat als die ene robot uitvalt er in het geheel geen netwerk meer kan worden opgezet. Dit zorgt voor afhankelijkheden binnen het systeem, waardoor robots individueel niet meer autonoom zijn. De conclusie hieruit is dat sensor netwerken misschien helemaal niet kunnen worden gebruikt door de robots, omdat er dan niet meer wordt voldaan aan het autonome aspect van de robots. Het is belangrijk dat dit verder wordt onderzocht, omdat er hierdoor een heel aantal communicatietechnieken kunnen afvallen.

6 AANBEVELINGEN

Tijdens het theoretisch onderzoek en de metingen die zijn uitgevoerd op de Wi-Fi adapter en de Bluetooth dongle zijn verschillende dingen naar voren gekomen die belangrijk zijn om genoteerd te worden.

- Wanneer gebruik gemaakt wordt van Wi-Fi, moet bedacht worden dat er maar een heel beperkt aantal sockets geopend kunnen worden. Te snel achter elkaar communiceren gaat ook niet goed. Tijdens het onderzoek werd er een bestand gedownload over een socket verbinding, waarbij de beste resultaten werden behaald met een interval van 10 seconden tussen de downloads. Te snel achter elkaar kan ervoor zorgen dat de gehele communicatie vastloopt op de robot.
- Wanneer een keuze gemaakt moet worden voor een communicatietechniek, moet er geprobeerd worden metingen te doen met de verschillende communicatietechnieken die worden overwogen. Dit om te bepalen in hoeverre de specificaties bruikbaar zijn in de praktijk.
- Wanneer uiteindelijk is gekozen voor een communicatietechniek, moeten de robots eerst een aantal metingen doen in het gebied waar ze worden ingezet. Deze metingen kunnen de strategie bepalen of veranderen. Voer deze metingen vaker uit tijdens de operatie om de strategie eventueel aan te passen aan de omstandigheden.
- Controleer voordat gekozen wordt voor een communicatietechniek, of de communicatietechniek gebruik maakt van een frequentie die legaal is in het land waar de robot ingezet zal worden. Frequenties die gebruikt worden voor belangrijke doeleinden, of waarvoor betaald moet worden mogen niet zomaar gebruikt worden. Vanwege deze reden zijn restricties opgelegd voor het gebruik van deze frequenties. Ook het zendvermogen is belangrijk om in acht te nemen, omdat wanneer een hoog zendvermogen wordt gebruikt dit allerlei andere apparatuur kan storen, vaak zijn er limieten gesteld aan het zendvermogen.

- Kies voor een communicatietechniek waarvan de specificaties ruimschoots voldoen aan de eisen die gesteld worden. Dit voorkomt dat door onverwachte omstandigheden in de omgeving of wijzigingen in de opdracht de communicatietechniek onbruikbaar wordt.

7 SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK

In het onderzoek zijn nog een aantal onderdelen blijven liggen. Hieronder wordt in paragrafen beschreven waar nog meer onderzoek naar gedaan kan worden en waarom.

7.1 Effect van materialen op radiosignalen

In het Meetplan^[1] is dit onderwerp al eerder genoemd, maar wanneer bekend zou zijn hoeveel effect bepaalde materialen hebben op radio signalen, kan beter worden bepaald welke strategie de robots zouden moeten nemen in verschillende situaties. Wanneer vooraf bekend is dat er bijvoorbeeld veel staal aanwezig is moet er misschien een andere strategie worden genomen dan wanneer er veel hout of steen is.

7.2 Onderzoek naar sensor netwerken

Sensor netwerken worden veelal gebruikt om bepaalde metingen te verrichten en deze meetgegevens om een bepaalde tijd te verzenden naar een coördinator of router. Een coördinator of router kan de meetgegevens dan doorgeven aan een computer, die daar weer conclusies uit kan trekken, of simpelweg kan monitoren naar een gebruiker of systeem. Een groot voordeel van deze systemen is dat ze erg energiezuinig kunnen zijn en dat ze vaak goed om kunnen gaan met interferentie of uitval. Het kunnen ook zelfhelende netwerken zijn (denk aan ZigBee of Wireless Hart). Het zou interessant zijn om dit soort communicatietechnieken te gebruiken op de robots. Het is alleen niet bekend of dit mogelijk is. Ook de opmerking die is geschreven in paragraaf 5.4 speelt hier een grote rol. Kortom hier heerst nog onduidelijkheid en het loont misschien de moeite om dit te onderzoeken.

7.3 Gebruik van verschillende communicatietechnieken

Het kan interessant zijn om tegelijk verschillende communicatietechnieken te laten gebruiken door een robot. Misschien kan bij bepaalde omstandigheden gewisseld worden van communicatietechniek, omdat bijvoorbeeld sprake is interferentie, of omdat meer energie moet worden bespaard. Hoe wordt er dan gewisseld? En hoe laat een robot weten dat er gewisseld moet worden, wanneer er geen berichten meer kunnen worden verzonden? Terwijl anderen dit misschien nog wel kunnen. Er kunnen namelijk verschillende redenen zijn dat een robot niet meer kan communiceren. De afstand tussen de robots is bijvoorbeeld te groot geworden, of de accu is leeg, of de robot is stuk, of er is inderdaad sprake van een slechte verbinding waardoor er terecht gewisseld moet worden van communicatietechniek. Dit is meer een onderzoek naar de strategie.

DEEL II ONTWIKKELING

Autonoom rijden en het maken van een plattegrond van de omgeving door een robot

8 DE OPDRACHT

8.1 De uitgangssituatie

Voordat werd begonnen aan de afstudeeropdracht, kon de robot alleen vooruit en achteruit bewegen door handmatige besturing. De communicatie verliep via een TCP/IP verbinding, waarbij de opdrachten gegeven werden via een PHP script.

Verder was de hardware voor de robot al aanwezig voordat werd begonnen aan de afstudeeropdracht. Hierin zijn verder geen keuzes gemaakt.

Hieronder wordt beschreven welke hardware nu aanwezig is op de robot en wat de benamingen zijn van deze hardware.

- Dagü – 48 Servo Red Black Spider Controller
- Dagü – 4 Channel DC motorcontroller
- Rover 5 with 4 encoder support
- Omnima MiniEMBWiFi
- 3 x SRF02 afstandssensoren
- 1 x CMPS10 kompas.

Verdere uitleg over de hardware wordt beschreven in het technisch ontwerp^[M].

8.2 Probleemstelling

De robots kunnen op elke denkbare plek op aarde of daarbuiten ingezet worden. Het probleem daarbij is dat niet altijd een plattegrond beschikbaar is en dat het nog moeilijker is om in sommige situaties de positie te bepalen van een robot in een plattegrond, omdat er bijvoorbeeld geen GPS beschikbaar is.

8.3 Opdrachtomschrijving

De robot moet autonoom kunnen rijden en een plattegrond maken van de eigen omgeving. Om dit te realiseren zal een stuk software ontworpen en gerealiseerd worden. Het ontwerp zal de structuur en dynamiek van de software vastleggen op basis van analyse en UML diagrammen. Het eindresultaat zal een stuk software zijn waarmee uiteindelijk de robot een plattegrond kan maken van zijn eigen omgeving.

De deelopdrachten hierbij zijn:

- Het maken van een technisch ontwerp
- Het bouwen van de hardware voor de robot
- Het schrijven van de software

Het doel dat bij deze opdracht hoort wordt als volgt geformuleerd: *“Een autonoom rijdende robot die zijn eigen omgeving kan scannen en deze omgeving ook kan verwerken in een plattegrond”*.



8.4 Analyse

Wat gebeurt er?

De robots kunnen in elke denkbare omgeving worden ingezet. Het kan zijn dat door een ramp geen plattegrond beschikbaar is voor een omgeving. Ook kan het zijn dat er geen positiebepaling mogelijk is in een gebied, vanwege absorptie van GPS signalen of straling. Wanneer positiebepaling niet mogelijk is, heeft de robot ook niets aan een plattegrond. Om deze reden kan de robot zich in principe niet verplaatsen, omdat nooit bekend is wat de gevolgen daarvan zijn.

Wat veroorzaakt het probleem?

Het ontbreken van een plattegrond (of de schaal van een plattegrond is te groot). Of er is geen positiebepaling mogelijk, waardoor een plattegrond onbruikbaar is.

Waar vindt het probleem plaats?

In omgevingen waarvan geen plattegronden beschikbaar zijn, of waar deze achterhaald zijn, of waar geen positiebepaling mogelijk is. Over het algemeen behoren gebouwen of voor mensen ontoegankelijke gebieden ook tot deze omgevingen.

Wanneer doet het probleem zich voor?

Zodra een robot wordt ingezet in een omgeving waar een plattegrond onbruikbaar is, of waar deze er zelfs nog niet is.

Hoe vaak vindt het probleem plaats?

Nog niet, omdat de robots nog nergens worden ingezet.

Hoe heeft de robot op dit moment kennis van zijn omgeving?

Niet, de robot heeft nog geen mogelijkheid om kennis te hebben van zijn omgeving.

Conclusie

De robots hebben geen kennis van de omgeving waarin ze zijn en daardoor kunnen ze zich ook niet voortbewegen. Ook is het daardoor niet mogelijk om opdrachten uit te voeren. Het maken van een plattegrond is daarom één van de onderdelen die tot de basisfunctionaliteiten behoren van een robot.

8.5 De werkwijze

8.5.1 Hardware

Voor het bouwen van de hardware-onderdelen en het laten samenwerken daarvan is veel documentatie gelezen om te begrijpen hoe deze hardware werkt en gebruikt kon worden. Voor het laten samenwerken van verschillende hardware is hulp gevraagd van collega's met grotere kennis van elektronische componenten. Het solderen, in elkaar zetten en uitvoeren van berekeningen is zelf gedaan. Vaak werd er eerst een schema getekend of opgezocht op internet voordat onderdelen in elkaar gezet werden.

8.5.2 Software

Tijdens het bouwen van deze hardware-onderdelen werd ook al software geschreven om te controleren of de gemaakte hardware ook echt deed wat het zou moeten doen. Hierdoor was al veel software voor de aansturing van de hardware gereed voordat begonnen werd aan het ontwerpen en implementeren van het maken van een plattegrond door een robot.

Dit meer dynamische onderdeel van de software is eerst ontworpen met verschillende diagrammen op basis van UML 2.0. Er is bedacht wat de beste manier zou kunnen zijn voor het autonoom creëren van een plattegrond, daarna is dit omgezet in diagrammen. Vervolgens is de software geïmplementeerd en zijn de software en diagrammen telkens consistent gehouden zodat beiden hetzelfde verhaal vertellen.

9 ONTWERP

Om de robot autonoom te laten rijden en een plattegrond te laten tekenen zijn verschillende ontwerpen gemaakt. De belangrijkste ontwerpen worden kort in dit hoofdstuk uitgelegd. Het gehele ontwerp wordt beschreven in het technisch ontwerp^[M].

9.1 Use cases

Er zijn drie verschillende statussen waarin de robot zich kan bevinden.

1. IDLE
2. DRIVING – handmatige besturing
3. MAPPING

In afbeelding 6 wordt het use case diagram getoond. Er zijn zes use cases.

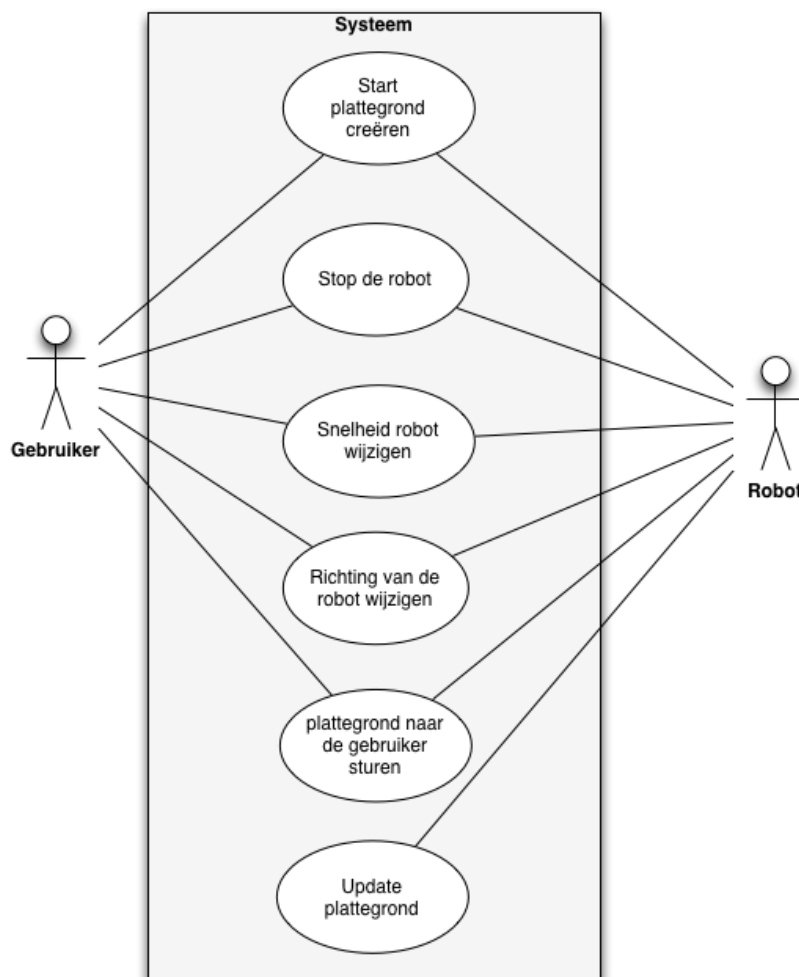
Vier daarvan zijn acties die de gebruiker kan uitvoeren op de robot.

1. Start plattegrond tekenen (MAPPING)
2. Stop de robot (IDLE)
3. Snelheid wijzigen (DRIVING)
4. Richting wijzigen (DRIVING)

Twee daarvan zijn acties die de robot kan uitvoeren.

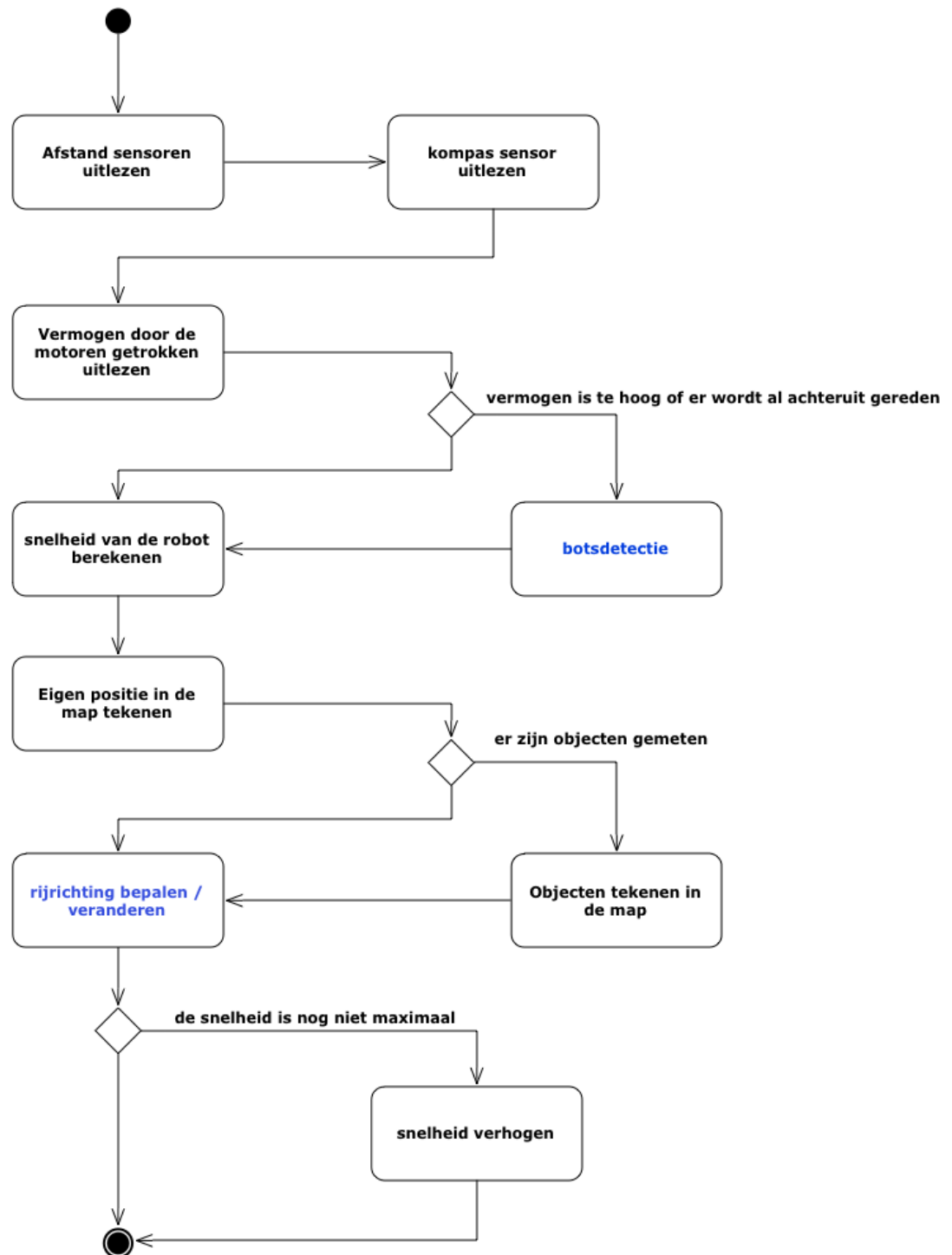
1. Plattegrond sturen naar de gebruiker
2. Update plattegrond

Ook de beschrijvingen bij de use cases worden beschreven in het technisch ontwerp^[M]



Afbeelding 6

9.2 Activity diagram 'omgeving scannen'

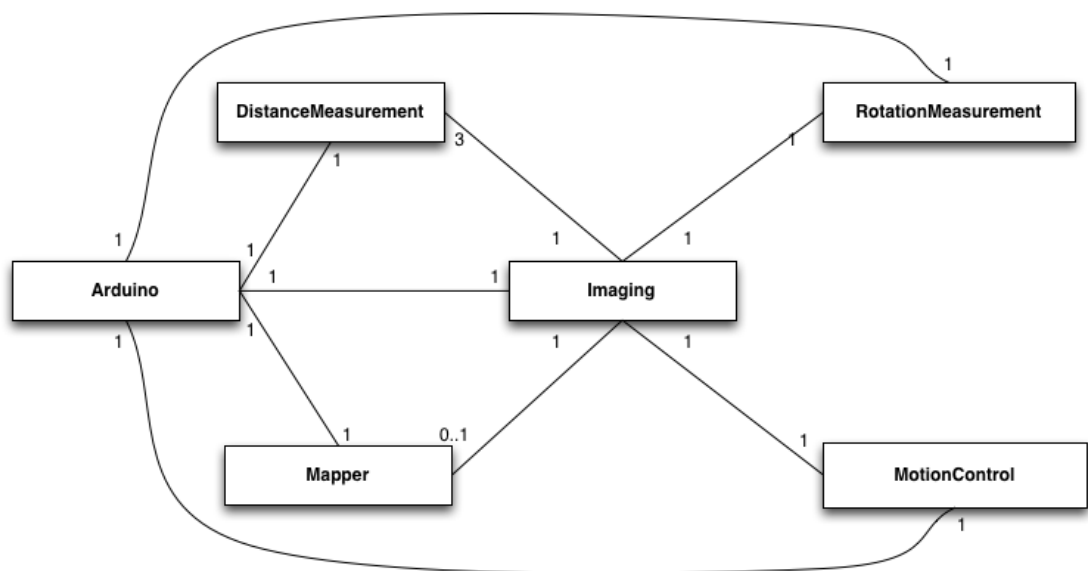


Afbeelding 7

In afbeelding 7 wordt de belangrijkste activity diagram getoond voor het autonoom rijden en maken van de plattegrond. Dit diagram toont alle acties die worden doorlopen om het autonoom rijden en het maken van de plattegrond mogelijk te maken.

De activiteiten 'botsdetectie' en 'richting bepalen / veranderen' zijn blauw gekleurd, dit betekend dat daarvoor afzonderlijk nog activity diagrams zijn gemaakt. Deze worden verder getoond in het technisch ontwerp^[M].

9.3 Class diagram



Afbeelding 8

De software op de Red Black Spider Controller bestaat uit zes klassen, dit wordt getoond in afbeelding 8. drie klassen daarvan zijn bedoeld voor aansturing van de hardware, namelijk:

1. DistanceMeasurement: Verkrijgen van meetresultaten op de afstandssensoren en bepalen van verschillen tussen opeenvolgende metingen.
2. RotationMeasurement: Verkrijgen van meetresultaten op de kompas sensor en het bijhouden van een lopend gemiddelde.
3. MotionControl: Wordt gebruikt voor de motor aansturing.

Daarnaast zijn er twee klassen die nodig zijn voor het bepalen van de omgeving en het bijhouden van een plattegrond.

De eerste en belangrijkste daarvan is de klasse 'Imaging'. Deze klasse haalt de data uit de klassen 'DistanceMeasurement' en 'RotationMeasurement' op en bepaald of er geroteerd moet worden of niet. Wanneer de status van de robot ingesteld staat op 'MAPPING', wordt door deze klasse een object van de klasse 'Mapper' aangemaakt. In deze klasse wordt een plattegrond bijgehouden en wordt ook de eigen positie bepaald. Deze klasse voert ook de berekeningen uit die nodig zijn om te bepalen welke richting op gedraaid moet worden naar een plek waar nog niet is gereden.

Daarnaast staat er nog een klasse getekend, namelijk: 'Arduino'. Deze klasse is nodig voor de aansturing van de Red Black Spider Controller. Deze klasse voorziet in alle basisfunctionaliteiten. Ook bevat deze klasse de functionaliteiten voor het communiceren over een seriële poort.

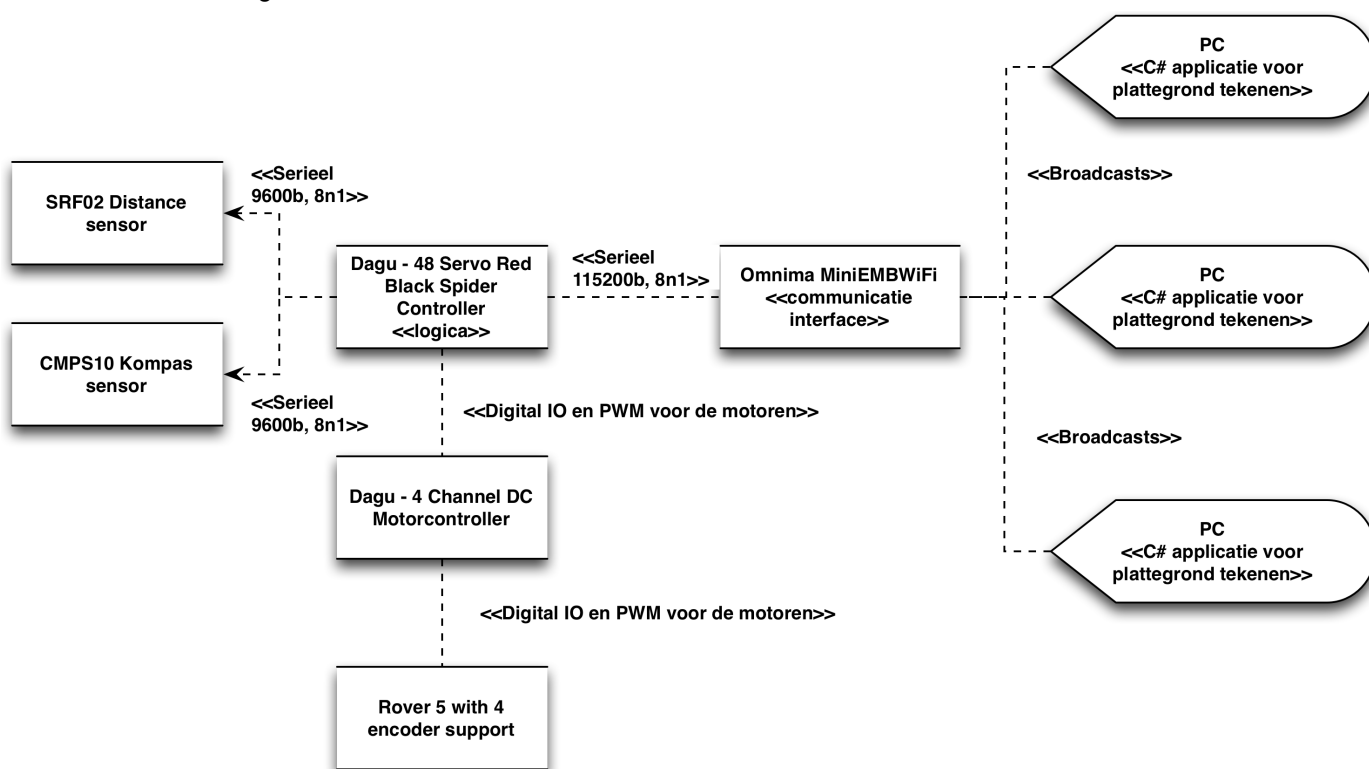
10 DE OPGELEVERDE PRODUCTEN

10.1 Algemeen

De werking van de opgeleverde producten worden beschreven zoals het is in de huidige status. Op het moment dat deze scriptie geschreven is, kon de robot al wel autonoom rijden en een map tekenen, maar dit werkt nog niet altijd even goed. In dit hoofdstuk wordt tevens, wanneer dit van toepassing is, de werking van de programmatuur beschreven.

10.2 De Hardware

Elk hardware-onderdeel op de robot heeft zijn eigen taak binnen het systeem. In afbeelding 9 wordt getoond hoe de verschillende hardware onderdelen met elkaar samenwerken.



Afbeelding 9 Deployment Model

Zie voor de uitgebreide uitleg over de hardware hoofdstuk 2 van het Technisch Ontwerp^[M].

10.3 Communicatie tussen de robot en de buitenwereld

Voor de communicatie tussen de robot en de buitenwereld wordt het Omnima MiniEMBWiF bordje gebruikt. Dit bordje is voorzien van een Linux distributie. Dit bordje is verder voorzien van één seriële poort en een Wi-Fi adapter. De seriële poort is aangesloten op de Red Black Spider Controller met 115200 baud (configuratie: 8N1: 8 bits, geen pariteit en 1 stop bit). 115200 baud



betekend dat er 115200 bits per seconden kunnen worden verstuurd. Dit is de snelst mogelijke communicatie die mogelijk is tussen de Omnima en de Red Black Spider Controller. Het is belangrijk dat deze communicatie snel verloopt, omdat in de tijd dat er gecommuniceerd wordt, geen andere taken uitgevoerd kunnen worden. De overdracht vindt elke vijf seconden plaats, behalve bij een rotatie.

Theoretisch zou de dataoverdracht van de plattegrond (6400 bytes) er bij 115200 baud 444ms over doen. $(6400 / (115200 / 8) * 1000 = 444ms)$. Eerst werd een baud rate gebruikt van 57600. De dataoverdracht zou dan dubbel zo lang duren.

De software die voor deze opdracht gebruikt wordt is geschreven in de programmeertaal C en wordt uitgevoerd op het Omnima bordje.

De software leest telkens de buffer van de seriële poort. In de communicatie worden vanaf de Red Black Spider Controller telkens drie berichten gestuurd, namelijk:

1. Een startbericht, waarmee aangegeven wordt dat de plattegrond gestuurd gaat worden.
2. De plattegrond zelf, byte voor byte. Dit zijn in totaal 6400 berichten. Deze plattegrond wordt tijdelijk in een één dimensionale array opgeslagen.
3. Een stopbericht, waarmee aangegeven wordt dat de plattegrond is verstuurd.

Zodra het stopbericht ontvangen wordt op de Omnima, wordt opeenvolgend vanaf de Omnima een startbericht, plattegrond en een stopbericht gestuurd naar de buitenwereld. Het maakt verder niet uit wie naar het bericht luistert. Elke PC waarop de software uit paragraaf 10.5 aan staat zal het bericht ontvangen en zal de plattegrond tekenen.

De berichten die serieel worden verstuurd naar de Omnima komen eerst in een buffer (array van bytes) terecht. Deze seriële poort wordt telkens in een while loop uitgelezen. Wanneer er een aantal bytes in de buffer zitten, wordt de buffer byte voor byte uitgelezen. Eerst wordt gecontroleerd of in de array een start bericht zit. Wanneer er een start bericht is ontvangen worden alle volgende bytes in een plattegrond array gezet, totdat in de stroom van bytes een stopbericht wordt gevonden. De array waarin de plattegrond wordt opgeslagen is een één dimensionale array van 6400 bytes groot. Deze array wordt in één keer verstuurd met een Wi-Fi broadcast.

Dit stukje software blijft uitgevoerd worden totdat de robot handmatig uitgezet wordt. Het enige dat dit programma doet is data doorgeven vanaf de Red Black Spider Controller naar de buitenwereld.

10.4 Autonomo rijden en plattegrond maken

De software voor het autonoom rijden en het maken van de plattegrond is geschreven in de programmeertaal C++ en wordt uitgevoerd op de Red Black Spider Controller. Op deze controller zijn ook de sensoren en actoren aangesloten.

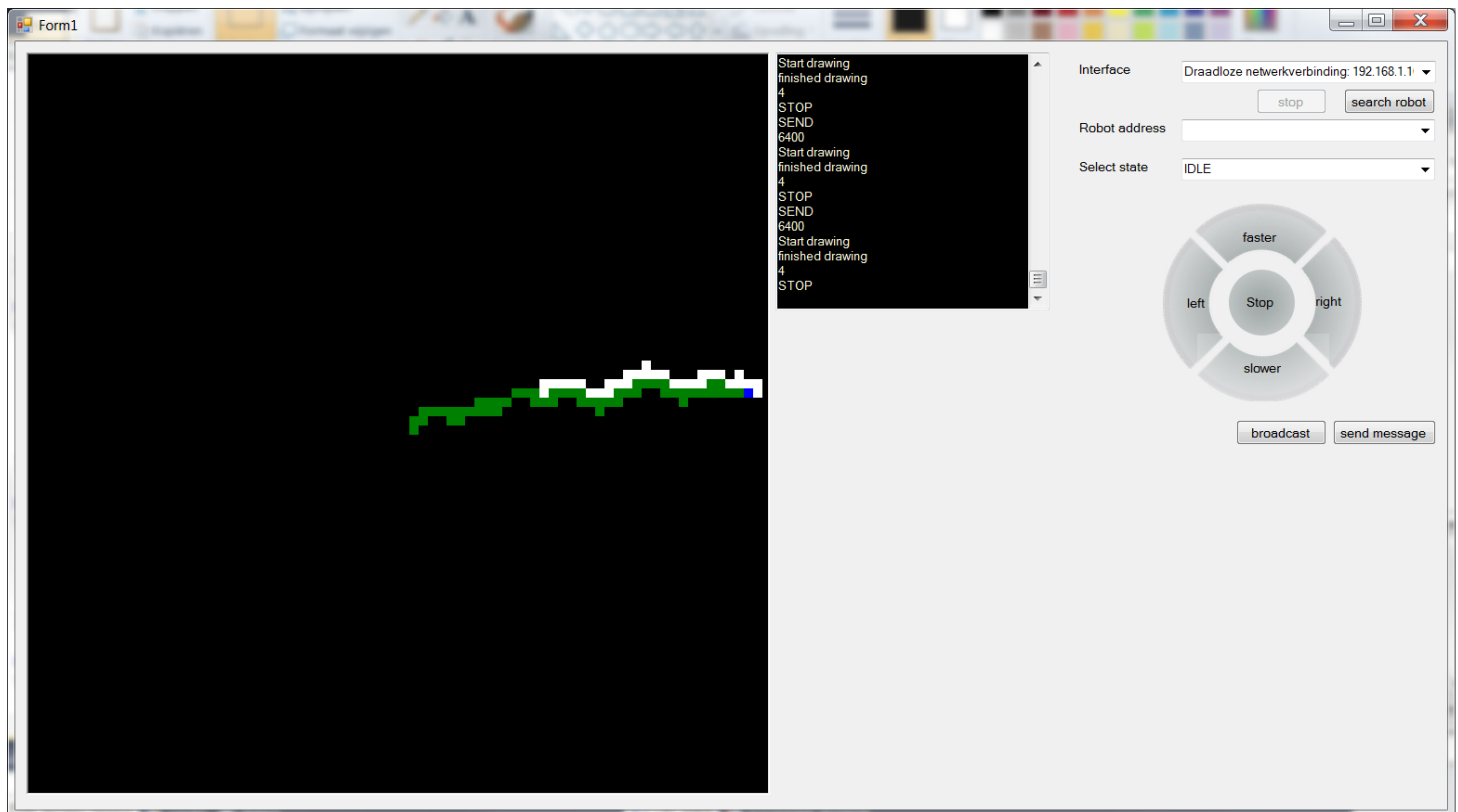
De werking van deze software staat beschreven in paragraaf 9.2.

De snelheid van de robot wordt berekend aan de hand van het voltage dat op de motoren gezet wordt. Waarom dit zo gedaan wordt, is beschreven in paragraaf 11.3. Op basis van deze snelheid en door de tijd te bepalen die één iteratie door het programma duurt kan theoretisch de positie van de robot bepaald worden. Door ook gebruik te maken van de gemeten rotatie op het kompas, kunnen posities van objecten op de plattegrond getekend worden. Momenteel wordt in de software alleen gebruik gemaakt van meetwaarden van de afstandssensoren om te bepalen waar wel en niet gereden kan worden. Er wordt nog geen gebruik gemaakt van de plattegrond zelf om te bepalen waar wel en niet gereden is. Wanneer wordt gedetecteerd dat objecten te dicht bij komen, wordt er berekend wat de aanrijdingshoek is en wordt er een rotatie gedaan, zodat netjes langs het object wordt gereden.

10.5 Applicatie voor het tonen van de plattegrond

Voor Windows is een applicatie geschreven in de programmeertaal C# waarmee een plattegrond getekend kan worden. Dit programma luistert naar broadcast berichten van een robot. De robot zal zoals in paragraaf 10.3 beschreven is eerst een startbericht zenden, vervolgens de plattegrond en als laatste een stopbericht. Telkens wanneer een broadcast bericht binnen komt zal de robot de plattegrond opnieuw tekenen. In afbeelding 10 wordt de interface getoond van deze applicatie.

De groene lijn in de afbeelding stelt de afgelegde weg voor die de robot gereden heeft. De blauwe stip stelt de huidige positie voor en de witte strepen stellen objecten voor die gemeten zijn op de afstandssensoren. In deze afbeelding kan gezien worden dat er langs een muur gereden wordt.

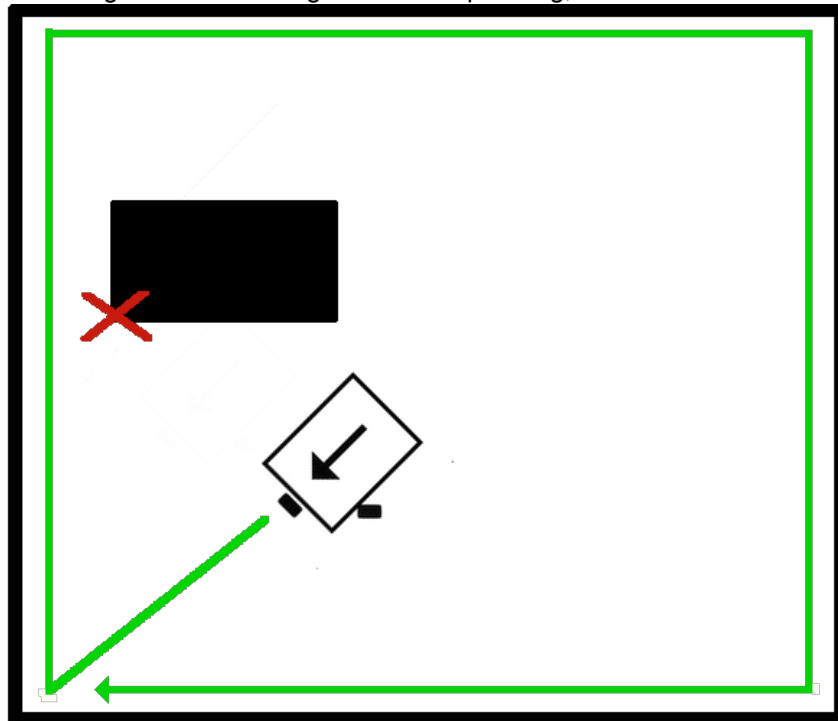


Afbeelding 10

11 ONDERBOUWING VAN DE GEMAAKTE KEUZES

11.1 Drie afstandssensoren

Er is voor gekozen om de robot te voorzien van drie afstandssensoren. Het zou veel nauwkeuriger zijn om de robot te voorzien van bijvoorbeeld 8 sensoren, omdat dan in een halve cirkel aan de voorkant van de robot gemeten kan worden. Toch wordt dat niet gedaan, omdat het mogelijk moet zijn een plattegrond te tekenen met drie afstandssensoren. In theorie is het zelfs met twee sensoren mogelijk. Eén sensor aan de voorkant en één aan bijvoorbeeld de linkerkant. De manier waarop de omgeving dan in kaart wordt gebracht wordt getoond in afbeelding 11. Toch is dit geen ideale oplossing, de kans dat er aan de rechterkant ergens



tegenaan gereden wordt is groot (Dit wordt in afbeelding 11 getoond met de rode kruis). Daarom is er voor gekozen om aan drie kanten metingen te verrichten. De voorkant, linkerkant en de rechterkant. Dit zorgt er voor dat de kans op een botsing het kleinst is en dat de robot een stuk slimmer lijkt te werken.

Afbeelding 11 Eerst zuidwest, daarna noord, oost, zuid, west

11.2 Op basis van vermogen bepalen of er een botsing plaatsvindt

Er is gekozen om op basis van de energie dat verbruikt wordt door de motoren te bepalen of er een botsing plaatsvindt of niet. Dit wordt uitgedrukt in een ampèreniveau en kan voor elk wiel (gekoppeld aan één motor) afzonderlijk uitgelezen worden.

Waarschijnlijk is het beter om deze detectie op basis van een accelerometer te doen. Een accelerometer is aanwezig in het kompas, maar deze wordt vooralsnog niet gebruikt, omdat dit nog niet nodig is. Vooralsnog is niet gewerkt aan een verdere implementatie van de accelerometer, omdat de huidige implementatie goed genoeg werkt voor nu en het belangrijker werd geacht dat eerst het geheel af zou zijn en dat daarna wanneer er nog tijd over was gewerkt kon worden aan verbeteringen.

11.3 Op basis van voltage de snelheid bepalen

In eerste instantie is geprobeerd om de snelheid te bepalen aan de hand van motorencoders die in de wielen van de robot zitten. Deze encoders kunnen interrupts genereren die vertaald kunnen worden naar een snelheid. Hoe dit werkt staat beschreven in het technisch ontwerp^[M]. Vanwege de frequentie waarmee de interrupts gegenereerd worden (elke 2,5ms). Is besloten om de snelheid te berekenen aan de hand van het voltage dat op de motoren gezet wordt. Dit voltage is programmeerbaar, waardoor bekend is hoeveel dit is.

De snelheid die uit deze berekening volgt is een aanname, maar is voor nu goed genoeg. Het is mogelijk is dat de motoren wel draaien, maar dat de robot niet vooruit beweegt vanwege een gladde ondergrond. Dit probleem zou eventueel ondervangen kunnen worden door uit de energie dat verbruikt wordt door de motoren te concluderen dat dit veel lager is dan normaal. Wanneer de snelheid namelijk 25cm/s is maar het ampèreniveau op de motoren 0 is, kan geconcludeerd worden dat er niet gereden wordt en de snelheid 0cm/s is.

11.4 Berekeningen laten uitvoeren op een 16MHz processor

Er is voor gekozen om de berekeningen voor het scannen van de omgeving en het maken van de plattegrond uit te voeren op De Red Black Spider Controller, die een processor heeft van 16MHz. Dit in tegenstelling tot de Omnima die een processor heeft van 320MHz. De reden om toch de berekening te doen op de Red Black Spider Controller is, omdat de seriële communicatie tussen deze twee bordjes niet erg snel is. Vooralsnog zijn er geen rekenintensieve taken te verrichten op de Red Black Spider Controller, waardoor het ook niet noodzakelijk is om deze berekeningen op snellere hardware uit te voeren.

Verder heeft De Red Black Spider Controller de beperking dat deze maar 8kb werkgeheugen aan boord heeft, waardoor voor de plattegrond maximaal een array gemaakt kan worden van 80 bij 80 bytes, waarbij nog 2kb overblijft voor andere variabelen in de software. Verder is gekozen om één positie in de array te laten overkomen met 30cm² in de werkelijkheid. Dit heeft als gevolg dat er maximaal een omgeving kan worden gescand van $80 * 80 * 30 = 192000\text{cm}^2 = 19,2\text{m}^2$. Als oplossing voor deze beperking kan er voor worden gekozen om de map bij te houden op de Omnima die uitgebreid kan worden met een USB stick. Dit is uiteindelijk niet gedaan, omdat dit het systeem complexer maakt, wat in eerste instantie niet nodig is, maar ook trager, omdat de seriële communicatie een traag proces is (in vergelijking met wat er op de eigen processor kan).

Uiteindelijk kan er ook voor gekozen worden om een klein gedeelte van de map in de Red Black Spider Controller te houden, terwijl de rest dan opgeslagen staat op de Omnima. Zodra er dan richting een rand van de kaart wordt gereden, kan er een nieuw gedeelte van de kaart geladen worden vanaf de Omnima. Vooralsnog is dit niet nodig en om die reden is er gekozen om alle berekeningen en map data te doen op de Red Black Spider Controller.

11.5 Telkens de plattegrond opnieuw verzenden

Het telkens opnieuw verzenden van de plattegrond kan de vraag oproepen, waarom er telkens zoveel redundante gegevens verstuurd worden. Dit is gedaan, omdat het mogelijk moet zijn om op een willekeurig tijdstip (wanneer de robot bezig is een plattegrond te maken) de applicatie op een PC op te starten en dan de volledige plattegrond te verkrijgen. Dit is niet mogelijk wanneer er alleen updates van de plattegrond worden verstuurd.

12 AANBEVELINGEN

Tijdens het ontwerpen en implementeren van de software zijn verschillende dingen naar voren gekomen die belangrijk zijn om genoteerd te worden.

- Voor het maken van een plattegrond zijn verschillende algoritmen te bedenken. Nu is er voor gekozen om dit te doen door naar omliggende pixels in de map te kijken of daar al is gereden ja of nee. Beter zou zijn, om de robot bijvoorbeeld in banen door de omgeving te laten rijden. Dit is nauwkeuriger en wordt er niet op willekeurige basis door de omgeving gereden.
- Berekeningen op de plattegrond zouden niet uitgevoerd moeten worden op de 16MHz processor van de Red Black Spider Controller, maar op een snellere processor. Door deze berekeningen op andere, snellere, hardware uit te voeren, komen ook complexere algoritmen binnen bereik. Op de Red Black Spider Controller is het niet mogelijk om complexe image processing algoritmen uit te voeren.
- Vooral nog worden er drie afstandssensoren gebruikt voor het detecteren van objecten in de omgeving. Dit is niet veel, maar het is voldoende om vrijwel zonder botsingen door de omgeving te rijden. Het is wel aan te bevelen om gebruik te maken van meer afstandssensoren. Hierdoor wordt in ieder geval de kans op botsingen een stuk minder. Of de plattegrond ook nauwkeuriger getekend kan worden, kan nog niet gezegd worden, omdat dit nog niet geïmplementeerd is ten tijde van schrijven.
- De applicatie voor het tonen van de plattegrond die door een robot wordt gebouwd kan voornamelijk maar één plattegrond tekenen. Daarnaast wordt er nog niet gecontroleerd vanaf welke robot de plattegrond gestuurd wordt. Deze applicatie zou uitgebreid kunnen worden door met behulp van data van verschillende robots een enkele plattegrond te tekenen.
- Het is ook een mooie uitbreiding om de applicatie voor het tekenen van de plattegrond te laten controleren of er door verschillende robots overlappende stukken omgeving zijn gescand. Als dit zo is, dan kunnen plattegronden samengevoegd worden en kan de applicatie de robots deelopdrachten geven zodat daarna overlap wordt voorkomen. Ook kan daardoor een uitgebreidere plattegrond getekend worden.
- Op basis van de accelerometer bepalen of er een botsing plaatsvindt. Een accelerometer detecteert veranderingen in snelheid.
- Op basis van de energie dat de motoren verbruiken bepalen of er gereden wordt. Door het energieverbruik te verifiëren aan de theoretische snelheid kan bepaald worden of er gereden wordt of niet.

13 EVALUATIE VAN DE PROCESGANG

13.1 Hoe ben ik begonnen?

Als eerst heb ik in overleg met Sioux een afstudeeropdracht gekozen. Dit zou een onderzoek zijn naar communicatietechnieken en een stuk software voor de robot. Wat deze software zou moeten doen, was nog niet helemaal bekend, dit is tijdens de afstudeerperiode verder uitgedacht. Dit eerste overleg heb ik verwerkt in een afstudeervoorstel. Nadat dit afstudeervoorstel geschreven was ben ik nog een keer bij Sioux geweest, om alles nog eens te bespreken en het voorstel nog te verbeteren. Daarna is het voorstel ingeleverd en goedgekeurd. Tussen het inleveren van het afstudeervoorstel en het daadwerkelijke afstuderen, waren er kennisgroep bijeenkomsten waarin er over de projecten vergaderd werd. De opdrachten die ik heb uitgevoerd zijn namelijk onderdeel van een groter project binnen Sioux. Deze kennisgroep bijeenkomsten heb ik telkens bijgewoond, om alvast kennis op te doen over mijn eigen opdrachten en om me alvast voor te bereiden. Dit heb ik als heel waardevol ervaren, omdat ik hierdoor de context van de afstudeeropdracht leerde kennen. Zodra ik begon met de daadwerkelijke afstudeerperiode kon ik daarom meteen beginnen aan een plan van aanpak en een onderzoeksplan. Dit had ik al in de eerste week klaarliggen.

13.2 Hoe was het verdere verloop van het afstuderen?

Nadat het plan van aanpak en het onderzoeksplan klaar waren ben ik begonnen met het meetplan^[1]. Het meetplan is gemaakt om in de toekomst andere communicatietechnieken te kunnen onderwerpen aan dezelfde metingen, hierdoor kunnen de resultaten van dit onderzoek telkens verder uitgebreid worden.

Tijdens het maken van het meetplan zijn er steeds al testmetingen gedaan om te controleren of de voorgestelde metingen haalbaar zijn en of die ook een toegevoegde waarde hebben. Voor sommige van deze metingen moest ook software geschreven worden. Dit zorgde ervoor dat er al essentiële stukken software voor de communicatie geschreven waren voordat ik begon aan de tweede opdracht: De autonoom rijdende robot die een plattegrond kan maken.

Er heeft heel veel tijd in het voorbereidend werk gezeten, van zowel het onderzoek als de ontwikkeling van de software. Hierdoor had ik al heel veel documentatie beschikbaar, waardoor bij het schrijven de scriptie geen nieuwe dingen bedacht hoefden te worden. Toch heb ik hier veel aan gehad, omdat hierdoor goed overzicht gehouden werd over het geheel. Daarbij geldt ook dat de documentatie ervoor zorgt dat er stap voor stap ergens naartoe wordt gewerkt.

Elke dag heb ik de uren genoteerd die ik gewerkt had en daarbij hield ik ook bij wat ik die dag gedaan had. De urenstaat heeft ook de functie van een planning, omdat er uit gespecificeerd werd welke opdrachten er allemaal uitgevoerd moesten worden en hoeveel tijd ik daarvoor nodig dacht te hebben. Door dan vervolgens de gewerkte uren erachter te zetten, kan er bepaald worden of er volgens de planning gewerkt wordt. Dit zorgt ook dat er redelijk goed te bepalen valt wanneer dingen af zijn. En belangrijker, of alle opdrachten binnen de afstudeerperiode behaald kunnen worden.

Hier heb ik veel aan gehad, omdat ik zo een goede controle had op mezelf. Deze manier van werken had ik me al aangeleerd tijdens de specialisatiesemester en daar heb ik veel profijt van.

13.3 Wat heb ik geleerd?

In het onderzoek heb ik heel veel geleerd van draadloze communicatie in het algemeen. De werking van radio frequenties en de effecten die op kunnen treden door interferentie, reflecties, absorptie door objecten enzovoorts. Daarnaast heb ik door de metingen in de praktijk ook een goed beeld gekregen van de specificaties die vaak genoemd worden.

Van het bouwen aan de robot heb ik veel geleerd van de hardware. Het koppelen van verschillende hardware onderdelen en bezig zijn met elektronica. Dit is heel low level en echt iets dat bij Technische Informatica hoort. Ook heb ik veel geleerd van het schrijven van de software die nodig was om de hardware aan de praat te krijgen. Ook dit is heel low level en hoort ook zeker bij Technische Informatica thuis.

13.4 Wat vond ik lastig?

In het begin van het afstuderen vond ik het soms lastig om mezelf aan het werk te houden. Ik miste soms nog wat puzzelstukken van het geheel. Dit werd naarmate ik verder was met de opdrachten beter. En na een paar weken had ik daar helemaal geen last meer van.

Verder had ik soms moeite om het einddoel voor ogen te houden door de hoeveelheid informatie en werk dat voor me lag. Maar door dan even met de planning aan de slag te gaan en door een voortgangsgesprek met de begeleider te houden, kon dan alles gereflecteerd worden en kreeg ik weer helder voor ogen hoe ik het einddoel zou gaan behalen.

13.5 Wat vond ik van de eindresultaten?

Als eerste wil ik zeggen dat ik erg tevreden ben met de eindresultaten. Ik heb niet het idee dat ik ergens tekortgeschoten ben en dat bepaalde doelen niet zijn bereikt. Er zijn wel kleine dingen anders gelopen dan ik eerst gedacht had.

Dit geldt voor het onderzoek bijvoorbeeld. In het meetplan^[1] was beschreven dat er metingen verricht zouden worden op Wi-Fi, Bluetooth en een XBee (ZigBee) module. Uiteindelijk zijn er alleen metingen verricht op Wi-Fi, omdat vanwege een probleem met een passkeyAgent op de Omnima er geen verbinding kon worden opgezet met een Bluetooth dongle op de robot. Het heeft veel tijd gekost om dit werkend te krijgen. Zelf ben ik daar een paar dagen mee bezig geweest en een andere collega ook nog eens anderhalve week. Dit bracht mij tot de keuze om de metingen alleen op Wi-Fi te doen, omdat er ook nog software ontwikkeld moest worden voor de andere opdracht.

Uiteindelijk zijn de metingen alleen bedoeld om te kijken wat nu het verschil is tussen de specificaties in de theorie en de gemeten waarden in de praktijk onder niet ideale omstandigheden. Om die reden is het niet heel erg dat niet alle metingen zijn uitgevoerd op Bluetooth en XBee. Met de metingen alleen op Wi-Fi is al duidelijk geworden dat de verschillen groot kunnen zijn.

Het is wellicht opgevallen dat niet alle specificaties in de lijst met communicatietechnieken ingevuld zijn. Het kost heel veel tijd om alle specificaties te vinden. Dit komt voornamelijk omdat niet van alle communicatietechnieken de officiële documentatie kon worden gevonden. Er moet dan veel op internet worden gezocht en dan kunnen specificaties niet zomaar overgenomen worden. Vaak komen specificaties niet helemaal overeen op verschillende bronnen op internet en een specificatie wordt pas als een zeker gegeven beschouwd als meerdere bronnen hetzelfde zeggen. Kortom een klus waar heel veel tijd in gaat zitten en waarmee niet heel grote

resultaten mee kunnen worden geboekt. Wel heb ik geprobeerd om zoveel mogelijk communicatietechnieken te vinden, zodat de lijst later alsnog volledig ingevuld kan worden.

Het autonoom laten rijden van de robot was snel voor elkaar, maar het werkend krijgen van de communicatie tussen de robot en de buitenwereld was lastiger. Toch is dit werkend gekregen en kan er een plattegrond getekend worden. Ik ben erg tevreden met de resultaten die de robot laat zien, zeker omdat er gebruik wordt gemaakt van maar drie afstandssensoren en een kompas dat veel hinder ondervindt van storingen in het magnetisch veld.

13.6 Wat vonden mijn collega's van de eindresultaten?

Elke zes weken wordt er door Sioux een kennisavond georganiseerd en tijdens één van die avonden heb ik de resultaten gepresenteerd die zijn behaald tijdens het afstuderen. De reacties waren positief. Er werd positief gereageerd op het feit dat er al veel vorderingen aan de robot waren gemaakt. Ook tijdens de afstudeerperiode leidde de resultaten uit het onderzoek tot leuke discussies, omdat niet alleen ik zelf, maar ook de collega's konden leren van het onderzoek.

14 LITERATUUR

- [1] [Interferentie](http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3116531) - <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3116531>
- [2] [Interferentie](http://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_(waves)) - [http://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_\(waves\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_(waves))
- [3] [Plaatsen van antennes](http://www.data-linc.com/instinst/antenna/antenna.htm) - <http://www.data-linc.com/instinst/antenna/antenna.htm>
- [4] [Frequency beats](http://www.youtube.com/watch?v=5hxQDAmdNWE) - <http://www.youtube.com/watch?v=5hxQDAmdNWE>
- [5] [Outdoor-to-indoor propagatie](http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/750/RUG01-001311750_2010_0001_AC.pdf) - http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/750/RUG01-001311750_2010_0001_AC.pdf
- [6] [Propagation Losses Through Common Building Materials](http://www.ko4bb.com/Manuals/05)_GPS_Timing/E10589_Propagation_Losses_2_and_5GHz.pdf) - [http://www.ko4bb.com/Manuals/05\)_GPS_Timing/E10589_Propagation_Losses_2_and_5GHz.pdf](http://www.ko4bb.com/Manuals/05)_GPS_Timing/E10589_Propagation_Losses_2_and_5GHz.pdf)
- [7] [Watt naar Wattuur](http://www.rapidtables.com/convert/electric/watt-to-wh.htm) - <http://www.rapidtables.com/convert/electric/watt-to-wh.htm>
- [8] [Ampère naar Watt](http://www.rapidtables.com/convert/electric/Electrical_Conversion.htm) - http://www.rapidtables.com/convert/electric/Electrical_Conversion.htm
- [9] [dBm naar mW](http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm_to_mW.htm) - http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm_to_mW.htm
- [10] [Interferentie](http://nl.wikipedia.org/wiki/Interferentie_(natuurkunde)) - [http://nl.wikipedia.org/wiki/Interferentie_\(natuurkunde\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Interferentie_(natuurkunde))
- [11] [RF onder water](http://www.electronicspoint.com/rf-through-water-question-t21986.html) - <http://www.electronicspoint.com/rf-through-water-question-t21986.html>
- [12] [Interplanetair internet](http://www.kennislink.nl/publicaties/interplanetair-internet) - <http://www.kennislink.nl/publicaties/interplanetair-internet>
- [13] [Interplanetair internet](http://en.wikipedia.org/wiki/Interplanetary_Internet) - http://en.wikipedia.org/wiki/Interplanetary_Internet
- [14] [Radio Propagation](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation) - http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation
- [15] [Radio Propagation](http://www.sss-mag.com/pdf/1propagation.pdf) - <http://www.sss-mag.com/pdf/1propagation.pdf>
- [16] [Radio Propagation](http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-propa.htm) - <http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-propa.htm>
- [17] [Communication with submarines](http://en.wikipedia.org/wiki/Communication_with_submarines) - http://en.wikipedia.org/wiki/Communication_with_submarines
- [18] [Embedded system](http://nl.wikipedia.org/wiki/Embedded_system) - http://nl.wikipedia.org/wiki/Embedded_system
- [19] [RC4](http://en.wikipedia.org/wiki/RC4) - <http://en.wikipedia.org/wiki/RC4>
- [20] [XTEA vs. AES](http://wiki.tinyclr.com/index.php?title=Crypto_AES) http://wiki.tinyclr.com/index.php?title=Crypto_AES

14.1 Literatuurlijst van Bijlage C

- [21] [Wi-Fi standaard - http://www.maxi-pedia.com/IEEE+Wireless+Wi-Fi+networking+802.11+standards](http://www.maxi-pedia.com/IEEE+Wireless+Wi-Fi+networking+802.11+standards)
- [22] [Wi-Fi overhead - http://www.cwnp.com/cwnp_wifi_blog/wi-fi-overhead-part-1-sources-of-overhead/](http://www.cwnp.com/cwnp_wifi_blog/wi-fi-overhead-part-1-sources-of-overhead/)
- [23] [DASH7 - http://en.wikipedia.org/wiki/DASH7](http://en.wikipedia.org/wiki/DASH7)
- [24] [DASH7 - http://www.slideshare.net/peburns](http://www.slideshare.net/peburns)
- [25] [Wi-Fi standaard - http://www.tutorialspoint.com/wi-fi/wifi_ieee_standards.htm](http://www.tutorialspoint.com/wi-fi/wifi_ieee_standards.htm)
- [26] [Whitepaper Wi-Fi - http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf](http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf)
- [27] [Bluetooth specificaties - http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Specifications_and_features](http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Specifications_and_features)
- [28] [Bluetooth low energy - http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy)
- [29] [Weersafhankelijkheden met betrekking tot RF - http://www.broadcastpartners.nl/website/uploads/files/Weersgerelateerde_interferentie.pdf](http://www.broadcastpartners.nl/website/uploads/files/Weersgerelateerde_interferentie.pdf)
- [30] [Bluetooth low energy paper - http://www.google.nl/url?url=Bluetooth_le_technology_backgrounder_4.pdf](http://www.google.nl/url?url=Bluetooth_le_technology_backgrounder_4.pdf)
- [31] [ZigBee - http://www.newcircuits.com/article.php?id=tut004](http://www.newcircuits.com/article.php?id=tut004)
- [32] [ZigBee - http://www.dtic.upf.edu/~afaridi/Publications/2010_ZigBee_Palattella.pdf](http://www.dtic.upf.edu/~afaridi/Publications/2010_ZigBee_Palattella.pdf)
- [33] [ZigBee - http://www2.schneider-electric.com/documents/Zigbee_EN.pdf](http://www2.schneider-electric.com/documents/Zigbee_EN.pdf)
- [34] [INSTEON - http://en.wikipedia.org/wiki/INSTEON](http://en.wikipedia.org/wiki/INSTEON)
- [35] [INSTEON - http://www.insteon.net/about-specifications.html](http://www.insteon.net/about-specifications.html)
- [36] [INSTEON the details - http://www.insteon.net/pdf/insteondetails.pdf](http://www.insteon.net/pdf/insteondetails.pdf)
- [37] [INSTEON compared - http://www.insteon.net/pdf/insteoncompared.pdf](http://www.insteon.net/pdf/insteoncompared.pdf)
- [38] [ONE-NET - http://en.wikipedia.org/wiki/ONE-NET](http://en.wikipedia.org/wiki/ONE-NET)

- [39] [EnOcean](http://en.wikipedia.org/wiki/EnOcean) - <http://en.wikipedia.org/wiki/EnOcean>
- [40] [Z-Wave](http://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave) - <http://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>
- [41] [ZigBee](http://www.cse.yorku.ca/~dusan/Zigbee-Standard-Talk.pdf) - <http://www.cse.yorku.ca/~dusan/Zigbee-Standard-Talk.pdf>
- [42] [ZigBee](http://www.digi.com/pdf/wp_zigbee.pdf) - http://www.digi.com/pdf/wp_zigbee.pdf
- [43] [Wireless Hart](http://www.hartcomm.org/protocol/training/WirelessHART_bro.en.pdf) - http://www.hartcomm.org/protocol/training/WirelessHART_bro.en.pdf
- [44] [Wireless Hart](http://www.hartcomm.org/protocol/training/wirelesshart_datasheet.pdf) - http://www.hartcomm.org/protocol/training/wirelesshart_datasheet.pdf
- [45] [RuBee](http://www.rubee.com/Techno/index.html) - <http://www.rubee.com/Techno/index.html>
- [46] [RFID](http://nl.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency_identification) - http://nl.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency_identification
- [47] [NFC](http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication) - http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication
- [48] [Z-wave](http://electronicdesign.com/article/communications/whats-difference-zigbee-zwave-73665) - <http://electronicdesign.com/article/communications/whats-difference-zigbee-zwave-73665>
- [49] [Z-wave](http://media.digikey.com/pdf/Data_Sheets/Zensys_PDFs/ZM3102N.pdf) - http://media.digikey.com/pdf/Data_Sheets/Zensys_PDFs/ZM3102N.pdf
- [50] [ONE-NET](http://one-net.info/spec/ONE_NET_Specification_v2_3_0.pdf) - http://one-net.info/spec/ONE_NET_Specification_v2_3_0.pdf
- [51] [Ultra Wide Band](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wpans/index.html) - <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wpans/index.html> -
[Section4](#)
- [52] [Bluetooth protocollen](http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_protocols) - http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_protocols
- [53] [LonWorks](http://www.echelon.com/support/documentation/manuals/transceivers/005-0154-01D.pdf) - <http://www.echelon.com/support/documentation/manuals/transceivers/005-0154-01D.pdf>
- [54] [MyriaNed](http://en.wikipedia.org/wiki/MyriaNed) - <http://en.wikipedia.org/wiki/MyriaNed>
- [55] [MyriaNed](http://wsn.chess.nl/?page_id=78) - http://wsn.chess.nl/?page_id=78
- [56] [KNX-RF](http://www.radiocrafts.com/uploads/rc1180-knx_features_1_1.pdf) - http://www.radiocrafts.com/uploads/rc1180-knx_features_1_1.pdf
- [57] [KNX-RF, EnOcean, ZigBee](https://www.auto.tuwien.ac.at/downloads/knxsci06/reinisch-wireless-knxsci06-website.pdf) -
<https://www.auto.tuwien.ac.at/downloads/knxsci06/reinisch-wireless-knxsci06-website.pdf>
- [58] [IO-Homecontrol](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF7022_2page.pdf) - http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF7022_2page.pdf

BIJLAGE A PLAN VAN AANPAK

PLAN VAN AANPAK

Auteur	Wilco Boele
Studentnr.	1575812
Datum	18-10-2012
Versie	1.2
Status	Definitief
Project	Afstudeeropdracht: Woyaka

DOCUMENT GESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
0.1	29-08-2012	Wilco Boele	Initiële versie
0.2	31-08-2012	Wilco Boele	Aanpassingen naar aanleiding van de review van David Meijers.
0.3	06-09-2012	Wilco Boele	Aanpassingen naar aanleiding van de review van Leo van Moergestel.
0.4	14-09-2012	Wilco Boele	Risico analyse en planning toegevoegd
1.0	26-09-2012	Wilco Boele	Document afgerond, risico planning afgemaakt en algemene aanpassingen in het gehele bestand gedaan.
1.1	28-09-2012	Wilco Boele	Aanpassingen naar aanleiding van de review van Ronald de Leeuw van Weenen.
1.2	18-10-2012	Wilco Boele	Het plan van aanpak aanpassen aan de laatste stand van zaken. Het is inmiddels bekend welke software gebouwd gaat worden. Dit was in eerdere versies nog te specificeren. Het document is nog voor de laatste keer doorgenomen met Ronald de Leeuw van Weenen.

INHOUDSOPGAVE

1 AANLEIDING TOT DE OPDRACHT	47
2 DE CONTEXT	48
2.1 Afdeling	48
2.2 Relatie met andere projecten	48
2.3 De afdeling/organisatie	48
3 PROBLEEMSTELLING	49
3.1 Huidige situatie	49
3.2 Probleemstelling	49
3.2.1 Praktijk probleemstelling	49
3.2.2 Probleemstelling in de context van het project	49
4 DOELSTELLINGEN	50
5 DE OPDRACHT MET DEELOPDRACHTEN	51
5.1 De opdracht	51
5.1.1 Onderzoek	51
5.1.2 Software voor het maken van een plattegrond	51
5.2 Projectgrenzen	51
5.2.1 Onderzoek	51
5.2.2 Software voor het maken van een plattegrond	52
5.3 Randvoorwaarden	52
5.3.1 Tijd	52
5.3.2 Hardware	52
5.3.3 Methoden en Technieken	53
5.4 Afbakening	53
5.4.1 Afbakening t.o.v. het geheel	53
5.4.2 Afbakening binnen de opdracht	53
5.5 Projectorganisatie	54

6 OP TE LEVEREN PRODUCTEN	55
7 RISICO'S	56
8 PLANNING	57
9 BEDRIJFS-/PERSOONSgegevens	58
10 BRONVERMELDINGEN	59
11 BIJLAGE 1: CONTRACT AFSTUDEEROPDRACHT	60
12 BIJLAGE 2: HARDWARE SPECIFICATIES	61
12.1 Omnima MiniEMBWiFi ^[1]	61
12.2 Dagu 48 Servo Red Back Spider Robot Controller ^[3]	61
12.3 SRF02 Ultrasonic distance sensor ^[5]	61
12.4 CMPS10 Kompas ^[6, 7]	62
13 BIJLAGE 3: ORGANOGRAM	63

1 AANLEIDING TOT DE OPDRACHT

Deze opdracht wordt uitgevoerd in opdracht van Sioux. Binnen Sioux is een kennisgroep bezig robots te ontwikkelen die autonoom en gedecentraliseerd opdrachten kunnen uitvoeren. De robots die deze kennisgroep ontwikkelt zullen uiteindelijk ingezet kunnen worden in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden.

De robots zullen vele functies hebben, maar om een team te vormen is het belangrijkst dat ze met elkaar en de buitenwereld kunnen communiceren. Er zijn vele technieken die voorzien in draadloze communicatie, maar omdat de robots ingezet zullen worden in speciale gebieden zijn er een aantal beperkingen.

In gebieden waar bijvoorbeeld veel staal of straling aanwezig is hebben draadloze technieken last van interferentie of multipath fading (het signaal komt via andere materialen meerdere keren binnen). In gebieden waar de robots ver verwijderd zijn van een oplaadpunt is het belangrijk dat de accu lang mee kan gaan. Dit zijn al twee beperkingen die ervoor zorgen dat er een goede afweging moet kunnen worden gemaakt bij de keuze voor een draadloze communicatietechniek.

De kennisgroep van Sioux heeft 2 dingen gevraagd:

3. Er moet een onderzoek gedaan worden naar de verschillende communicatietechnieken met daarbij gegevens over de inzetbaarheid in verschillende gebieden.
4. Daarnaast is er gevraagd of er een stuk software kan worden geschreven waarmee de robots een plattegrond van de omgeving kunnen maken.

Deze twee vragen vormen de aanleiding tot deze opdracht.

2 DE CONTEXT

2.1 Afdeling

Binnen de afdeling Automation Technology bij Sioux in Amstelhoek werken ongeveer vijfentwintig mensen. De meeste werknemers werken gedetacheerd bij andere bedrijven om daar projecten te realiseren. De projecten bestaan voornamelijk uit het maken van technische software. Daarbij valt o.a. te denken aan het trajectcontrolesysteem op de snelweg A2.

2.2 Relatie met andere projecten

Deze afstudeeropdracht is een onderdeel van twee andere projecten. Het eerste project heeft de naam "Impi" en het tweede project de naam "Big Eagle". Impi is een project waarbij vooral mechatronica een grote rol speelt. Er worden robots gebouwd die zich kunnen verplaatsen in een ruimte en daar verschillende handelingen kunnen uitvoeren. Het project Big Eagle is eigenlijk een tweede laag boven op het Impi project waarbij het doel is om de robots autonoom te maken. Dat wil zeggen, de robots verzamelen zelf gegevens en communiceren met andere robots om zo meer kennis te verkrijgen van de omgeving. In deze omgeving moeten de robots dan een bepaald doel bereiken. Dit alles zonder centrale aansturing.

Uiteindelijk kunnen de robots op verschillende terreinen ingezet worden. Daarbij gaat het vooral om terreinen waarbij het voor mensen gevaarlijk is of waar het te kostbaar is om mensen in te zetten. Denk bijvoorbeeld aan een radioactief gebied, een gebied met bremmbommen, diepzee of het heelal.

2.3 De afdeling/organisatie

De afstudeeropdracht is zoals eerder genoemd een onderdeel van twee andere projecten die binnen Sioux worden uitgevoerd. Het doel van de opdracht is om de kennis van Sioux te vergroten en zodoende het visitekaartje aan te vullen. Daarbij worden de projecten modulair opgebouwd zodat bepaalde technieken in andere projecten hergebruikt worden. Ook wordt gekeken of de robots uiteindelijk in samenwerking met een ander bedrijf op de markt kunnen worden gebracht.

3 PROBLEEMSTELLING

3.1 Huidige situatie

Op dit moment bevinden de projecten Impi en Big Eagle zich nog in een initiële fase. Dat wil zeggen dat er bekend is welke hardware nodig is om de robots te kunnen bouwen en dat de meest essentiële hardware al samengevoegd is tot een werkende (rijdende) robot. Er moet nog bepaald worden welke handelingen de robot zal moeten gaan uitvoeren. Hiervoor zullen ontwerpen gemaakt moeten worden en uiteindelijk kan de software voor deze handelingen geschreven worden. Inmiddels is er dus een robot die via HTTP opdrachten kan ontvangen en kan rijden en sturen.

Voor het Big Eagle project moet bepaald worden welke doelen de robots uiteindelijk krijgen en hoe ze daarop moeten reageren in een bepaalde situatie.

3.2 Probleemstelling

Er zijn twee verschillende problemen te onderscheiden:

1. Het probleem vanuit de praktijk bezien.
2. Het probleem vanuit de context van het project.

Beide probleemstellingen zijn belangrijk, om te begrijpen waarom deze opdracht wordt uitgevoerd.

3.2.1 Praktijk probleemstelling

De robots zullen opereren in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden. Het probleem in deze omgevingen is dat draadloze communicatie vaak ook niet goed gaat. Dit heeft verschillende oorzaken. Onder water zijn er weinig technieken waarmee goed gecommuniceerd kan worden, dit komt omdat radiogolven zich in water anders gedragen dan in lucht. In andere omgevingen is interferentie met materialen vaak een probleem. Dit zijn verschillende problemen die communicatie tussen de robots in de weg staat.

Communicatie tussen de robots is van essentieel belang, wanneer dit dan ook verhinderd wordt door de omgeving waarin ze zich bevinden zullen ze onbruikbaar worden zodra ze externe hulp nodig hebben.

3.2.2 Probleemstelling in de context van het project

Er is niet bekend welke communicatietechnieken er allemaal zijn en welke technieken in welke omgeving gebruikt kunnen worden. Daarbij is ook niet bekend wat de specificaties zijn van de verschillende communicatietechnieken. Daarom is het nu nog niet mogelijk om de robots in verschillende gebieden in te kunnen zetten.

4 DOELSTELLINGEN

Het doel van de opdracht is om een helder beeld te krijgen van de verschillende communicatiemogelijkheden en welke communicatietechnieken gebruikt kunnen worden door de robots. De kenniscgroep kan zo zelf bepalen welke technieken ze zullen gebruiken in een bepaalde omgeving waarin de robots moeten opereren. Daarnaast is er het doel dat na deze opdracht de robots een plattegrond kunnen maken van hun eigen omgeving, zodat ze weten waar ze kunnen rijden en waar niet. Dit zorgt er ook voor dat ze niet doelloos rondrijden, maar ergens naar toe kunnen rijden.

Aan het eind van de opdracht zijn zoals beschreven de volgende doelen bereikt:

- Er zijn onderzoeksresultaten, waarmee kan worden bepaald welke communicatietechniek wordt gebruikt door de robots in een bepaalde omgeving. Hierbij is het van belang dat de resultaten uit het onderzoek overzichtelijk geordend worden, zodat de kenniscgroep te allen tijde het onderzoek kan raadplegen om zo voor elke omgeving een communicatietechniek kan kiezen.
- Er is een stuk software geschreven waarmee de robots een plattegrond kunnen maken van hun eigen omgeving, zodat ze weten waar ze wel en niet kunnen rijden.

5 DE OPDRACHT MET DEELOPDRACHTEN

5.1 De opdracht

Zie hoofdstuk 4 voor de deelopdrachten binnen het afstuderen.

Als afronding van het afstuderen wordt een scriptie opgeleverd met daarin een volledige beschrijving van het werk en de resultaten die zijn behaald tijdens het afstuderen.

5.1.1 Onderzoek

Het onderzoek bestaat uit een literatuuronderzoek en een praktijkonderzoek. Het literatuuronderzoek beantwoord o.a. de vragen: welke communicatietechnieken zijn er? En wat zijn de specificaties daarvan? Aan de hand van deze resultaten kan al bepaald worden welke communicatietechnieken interessant zijn voor het project. Het praktijkonderzoek is meer gericht op de vraag of de specificaties overeenkomen met wat in de praktijk wordt gemeten. Vaak gaan specificaties van producten uit van ideale omstandigheden. Aangezien er geen ideale omstandigheden zijn in de omgevingen waar de robots mogelijk worden ingezet, is het noodzakelijk om hier in de praktijk onderzoek naar te doen.

5.1.2 Software voor het maken van een plattegrond

Om de robots een plattegrond te laten maken van hun eigen omgeving zal er een stuk software ontworpen en gerealiseerd worden. Het ontwerp zal de structuur en dynamiek van de software vastleggen op basis van analyse en UML diagrammen. De realisatie zal een stuk software zijn waarmee uiteindelijk de robot een plattegrond kan maken van zijn eigen omgeving.

5.2 Projectgrenzen

5.2.1 Onderzoek

In het onderzoek worden uitgesproken gedaan over verschillende relevante communicatietechnieken, hiervan worden de specificaties die relevant zijn voor de kennissgroep beschreven en wordt beschreven in welke situaties/omgevingen deze communicatietechnieken ingezet kunnen worden.

Er wordt in het onderzoek niet beschreven welke communicatietechniek het beste gebruikt kan worden in een specifieke omgeving. Er wordt ook geen keuze gemaakt voor een bepaalde communicatietechniek of omgeving waarin de robot zal moeten opereren. Er zal alleen een overzicht met gegevens komen, waarmee de kennissgroep gegeven een situatie de keuze kan maken voor een communicatietechniek dat het beste overeenkomt met het doel waarvoor de robots worden ingezet in een bepaalde omgeving.

5.2.2 Software voor het maken van een plattegrond

Om de software voor het maken van een plattegrond te bouwen is een ontwerp nodig waardoor duidelijk wordt hoe deze software gebouwd moet worden. Aan de hand van de ontwerpen zal de software gebouwd worden waarmee de robots een plattegrond kunnen maken van hun eigen omgeving. Welke taal wordt gebruikt om deze software te schrijven moet nog nader worden gespecificeerd.

5.3 Randvoorwaarden

5.3.1 Tijd

De opdracht zal uitgevoerd worden gedurende 5 maanden. In deze maanden worden een aantal producten opgeleverd. De inleveringdatum in januari hebben niet de betekenis dat deze dan pas af zijn, maar daarmee wordt bedoeld dat deze producten worden opgeleverd aan het eind van het afstuderen, hoewel ze al veel eerder afgemaakt kunnen zijn.

Vorbereiden plan van aanpak	September 2012
Oplevering plan van aanpak	Uiterlijk 19 oktober 2012
Inlevering scriptie	Uiterlijk 18 december 2012 om 12:00 uur
Inlevering beoordeling bedrijf	Uiterlijk 21 december 2012
Onderzoeksplan	Tussen 14 t/m 25 januari 2013
Meetplan voor het onderzoek	Tussen 14 t/m 25 januari 2013
Onderzoeksrapport	Tussen 14 t/m 25 januari 2013
Technisch ontwerp voor de software	Tussen 14 t/m 25 januari 2013
Software voor het maken van een plattegrond	Tussen 14 t/m 25 januari 2013
Presentatie tijdens de afstudeerzitting	Tussen 14 t/m 25 januari 2013

5.3.2 Hardware

Er zijn ook randvoorwaarden te definiëren wat betreft de hardware die wordt gebruikt op de robot. Er wordt gebruik gemaakt van de volgende hardware:

- Omnima MiniEMWiFi (dit bordje bevat de aansturing van de gehele robot, van hieruit wordt alle andere hardware aangestuurd, dit bordje heeft Wi-Fi en een USB ingang om een dongle op aan te sluiten)^[1].
- Dagu 48 Servo Red Back Spider Robot controller (dit bordje voorziet in de aansturing van andere hardware componenten en het uitlezen van de encoders of interrupts daarvan)^[3].
- SRF02 Ultrasonic afstand sensor (dit bordje voorziet in de meting van de afstand tussen de robot en een object. Dit bordje is de basis voor het maken van een plattegrond)^[5].
- CMPS10 Kompas (dit bordje is nodig om te bepalen welke kant op wordt gereden, op deze manier kan bepaald worden aan welke kant van de plattegrond lijnen getekend moeten worden)^[6, 7].

Er zijn nog meerdere hardware componenten aanwezig op de robot, maar deze zijn niet relevant voor de opdracht om te beschrijven. Verder informatie over de hardware wordt beschreven in bijlage 2.

5.3.3 Methoden en Technieken

Tijdens het afstuderen zullen er verschillende methoden gebruikt worden om tot een goed eindresultaat te komen. Ze worden in deze paragraaf puntsgewijs weergegeven.

- Scrum: Wordt gebruikt om telkens snelle sprints te kunnen maken, waarop dan ook weer snel feedback op kan worden gegeven. Door gebruik te maken van scrum kan er ook beter op korte termijn worden gepland.
- UML: Voor het ontwerpen van de software waarmee de robots kunnen communiceren wordt voornamelijk gebruik gemaakt UML diagrammen.
- Op het Omnima bordje wordt gebruik gemaakt van de Linux distributie OpenWrt. Verder is er een ontwikkelomgeving opgezet die draait op Ubuntu 12.04.
- De ontwikkelomgeving voor de software voor het maken van een plattegrond is nog niet bekend, omdat dit afhangt van de taal waarin wordt geprogrammeerd.
- De ontwikkelomgeving voor de software die nodig is voor de metingen is Visual Studio 2010 Express.
- De ontwikkelomgeving waarin de Dagü 48 Servo Red Back Spider Robot controller wordt geprogrammeerd is Arduino 1.0.1.

5.4 Afbakening

5.4.1 Afbakening t.o.v. het geheel

De projecten Impi en Big Eagle bestaan uit het maken van een drietal robots met daarop een stuk slimme software die ervoor zorgt dat de robots een strategie kunnen volgen om zo (gezamenlijk) een doel te bereiken. Dit stuk software zal alle communicatie met andere robots voor zijn rekening nemen en kan beslissingen nemen op basis van zijn omgevingsvariabelen. Dit is het project wat Big Eagle wordt genoemd. Het project Impi houdt voornamelijk in:

1. Het bouwen van de hardware
2. Het bouwen van een interface waarmee de hardware wordt aangesproken.

Dit zijn de twee projecten als geheel in een zeer korte samenvatting beschreven. Mijn opdracht hierin bevat alle aspecten die te maken hebben met communicatie, namelijk:

1. Het onderzoek naar de communicatietechnieken
2. Een stuk software waarmee de robot een plattegrond kan maken van zijn eigen omgeving.

5.4.2 Afbakening binnen de opdracht

Het onderzoek bevat een deel literatuuronderzoek en een praktijk onderzoek. In het praktijk onderzoek worden een aantal communicatietechnieken onderzocht op verschillende specificaties. Er wordt onderzocht of de specificaties uit de theorie aannemelijk zijn of totaal niet bruikbaar in de praktijk. Er worden metingen uitgevoerd op Wi-Fi apparaten en op Bluetooth apparaten. Tot nog toe is gebleken dat het erg veel tijd kost om deze communicatietechnieken werkend te krijgen op een robot. En om meetgegevens te verkrijgen moet ook software worden geschreven die deze gegevens kan laten zien. Ook deze software kost veel tijd om te maken. Daarom zal het niet meevallen om met nog meer communicatietechnieken metingen te verrichten.

Er moet ook bedacht worden dat de resultaten van een meting op één of twee communicatietechnieken niet meteen gelden voor alle andere communicatietechnieken, maar het geeft wel aan in hoeverre er rekening moet worden gehouden met specificaties.



Om ervoor te zorgen dat de metingen altijd onder dezelfde condities worden uitgevoerd wordt er een meetplan gemaakt dat gebruikt kan worden voor meerdere communicatietechnieken. Dit Meetplan zorgt er ook voor dat er na de afstudeeropdracht altijd nog metingen gedaan kunnen worden op andere communicatietechnieken, wanneer de kennisgroep dit nodig vindt.

De software voor het maken van een plattegrond wordt uitgevoerd door één robot. Het is namelijk ook mogelijk om meerdere robots samen een plattegrond te laten maken. Wat uiteindelijk ook het beste zou zijn, omdat dit veel sneller gaat, maar omdat dit wel een stuk moeilijker is en meer tijd zal kosten om te realiseren zal dit niet gedaan worden. Mocht er tijd over zijn binnen de afstudeeropdracht, kan dit altijd nog gedaan worden. De plattegrond die gemaakt wordt is een 2 dimensionale plattegrond. Dit betekent dat de robot alleen een plattegrond kan maken van plaatsen waar geen trappen of andere afstapjes zijn. Dit is in de ruimte waarin de afstudeeropdracht wordt uitgevoerd ook niet het geval. Een 3 dimensionale plattegrond is wel mogelijk, maar dan moeten er ook afstandssensoren naar beneden en omhoog worden gericht. Dit valt niet binnen de afstudeeropdracht.

5.5 Projectorganisatie

De projecten Impi en Big Eagle worden uitgevoerd door een aantal medewerkers van Sioux. Samen vormen zij de kennisgroep.

Elk lid van de kennisgroep is vrij om te kiezen aan welke taken hij wil werken. Hiermee heeft iedereen de kans zich te ontwikkelen op gebieden waar hij nog weinig of geen kennis van heeft.

Er wordt gewerkt met de methode scrum om zo een snelle voortgang te houden. Daarnaast is er elke 6 weken op dinsdag of donderdag een overleg met de kennisgroep om de voortgang te bespreken. Tijdens deze besprekingen worden ook belangrijke beslissingen genomen.

Mijn rol in de projecten is voornamelijk:

1. Het onderzoeken welke communicatietechniek gebruikt kan worden bij bepaalde omgevingsvariabelen
2. Een stuk software schrijven waardoor de robots een plattegrond kunnen maken van hun eigen omgeving.
3. De robot eventueel voorzien van andere/nieuwe hardware componenten en functionaliteiten. Bijvoorbeeld het uitlezen van encoders en afhandelen van interrupts, die gegenereerd worden door de wielen van de robot.

Mijn verdere rol in de projecten is vooral het meedenken tijdens de besprekingen met de kennisgroep.

Zie bijlage 3 voor een organogram van de organisatie.

6 OP TE LEVEREN PRODUCTEN

Tijdens het afstuderen worden een aantal producten opgeleverd die samen het geheel vormen van de afstudeeropdracht. Al deze producten zijn al in dit document beschreven en daarom worden ze in dit hoofdstuk voor de volledigheid ordelijk weergegeven in een lijst.

- Plan van Aanpak
- Onderzoek in de vorm van een rapport: Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?
 - *Literatuuronderzoek als onderdeel van dit onderzoek*
 - *Praktijkonderzoek als onderdeel van dit onderzoek*
- Software voor het maken van een plattegrond van de omgeving
 - *Technisch ontwerp met passende diagrammen*
 - *Technische documentatie*
 - *De software zelf*
- Scriptie

7 RISICO'S

Er zijn verschillende risico's te benoemen die de opdracht kunnen belemmeren. Eerst worden er een aantal tabellen gegeven met daarin omschrijvingen van kans en gevolg. Dit zorgt dat de tabel met risico's beter te interpreteren is^[4].

Klasse	Kans	Omschrijving
1	0 tot 5 procent	Onwaarschijnlijk
2	5 tot 25 procent	Mogelijk
3	25 tot 50 procent	Waarschijnlijk
4	50 tot 100 procent	Vrijwel zeker

Klasse	Gevolg
1	Het project loopt geen vertraging op en de projectresultaten kunnen binnen de gestelde tijd behaald worden.
2	Het project loopt < 3 dagen vertraging op.
3	Het project loopt 3 tot 5 dagen vertraging op.
4	Het project loopt 1 tot 2 weken vertraging op en de projectresultaten lopen gevaar niet binnen de gestelde tijd behaald te kunnen worden.

Hieronder wordt een overzicht gegeven met de mogelijke risico's en eventuele oplossingen.

Omschrijving risico	Kans	Gevolg	Risico (k x g)	Prioriteit	Actie
De levering van bepaalde hardware loopt al vertraging op, mogelijk duurt het nog langer voordat de hardware allemaal binnen is.	3	2	6	Derde prioriteit	Zoveel mogelijk vooronderzoek doen waarvoor de hardware nog niet nodig is. Mocht de hardware echt niet komen, dan kan er nog een simulatieomgeving gemaakt worden.
De robots gaan stuk, zodat het niet mogelijk is om software te testen op de robots dan alleen in een gesimuleerde omgeving.	2	4	8	Tweede prioriteit	Er kan door andere collega's die niet op een project zitten een simulatieomgeving gebouwd worden. Op deze manier kan het project binnen de gestelde tijd afgerond worden.
Programmeren van software die de hardware moet aanspreken kan meer tijd kosten, omdat dit een tijdrovende klus is.	2	2	4	Vierde prioriteit	Eventueel zouden andere collega's kunnen helpen met het schrijven van deze software. Anders kan er ook nog besloten worden dit te laten zitten, omdat dit de communicatie niet in de weg zit.
De praktijkbegeleider en/of andere collega's zijn niet aanwezig, waardoor bepaalde vragen en bepaalde problemen niet meteen opgelost kunnen worden.	3	1	3	Vijfde prioriteit	Er kan gecommuniceerd worden via email of Skype. Mocht er echt een probleem zijn of bepaalde kennis ontbreekt, dan kan de afstudeeropdracht tijdelijk ook bij Sioux Embedded Systems in Eindhoven uitgevoerd worden.
Alle collega's zitten op een project of zijn gedetacheerd en risico's 2 of 3 zijn werkelijkheid.	3	4	12	Hoogste prioriteit	Overleg met de docentbegeleider wat te doen en eventueel hulp van collega's in Eindhoven is dan nodig.

8 PLANNING

Product/Planning in weken	Augustus	September	Oktober	November	December	Januari
Onderzoeksplan						
Literatuur onderzoek						
Meetplan						
Software schrijven voor de metingen						
Metingen verrichten						
Deelvragen beantwoorden a.d.h.v. resultaten en literatuur						
Hoofdvraag beantwoorden						
Onderzoek afronden						
Technisch Ontwerp + diagrammen						
Software schrijven om communicatiemedia aan te sturen						
Software schrijven om sensoren aan te sturen						
Software voor het maken van een plattegrond uitwerken						
Technische Documentatie						
Scriptie						
Testen + andere/extra werkzaamheden						

9 BEDRIJFS-/PERSOONSgegevens

Bedrijfsbegeleider:

Ronald de Leeuw van Weenen

M: [+31\(0\)61135 4181](tel:+31611354181)

T: [+31 \(0\)88 7468928](tel:+310887468928)

ronald.de.leeuw.van.weenen@sioux.eu

www.siox.eu

Sioux Automation Technology
van Dijklaan 22
1427 AE Amstelhoek
The Netherlands

Begeleider van school:

Leo van Moergestel

leo.vanmoergestel@hu.nl

Nijenoord 1

3552 AS Utrecht

T: (088) 481 81 88

Student

Wilco Boele

Studentnummer: 1575812

Scholekster 10

3628 CG Kockengen

M: 06-13630131

wilco.boele@student.hu.nl



10 BRONVERMELDINGEN

[1] Omnima MiniEMBWiFi - <http://www.omnima.co.uk/store/catalog/MiniEMBWiFi-p-16180.html>

[2] Omnima STM32Expander - <http://www.omnima.co.uk/store/catalog/STM32Expander-p-16189.html>

[3] Red Back Spider Robot Controller - <http://www.robotshop.com/content/PDF/instruction-manual-RS012.pdf>

[4] Risico Analyse - <http://www.leren.nl/cursus/management/risicomanagement/prioriteiten-stellen.html>

[5] Ultrasonische afstand sensor - <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf02tech.htm>

[6] CMPS10 datasheet - <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps10doc.htm>

[7] CMPS10 specificaties - http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=137#.UH-5O8XZYuN

11 BIJLAGE 1: CONTRACT AFSTUDEEROPDRACHT



Contract afstudeeropdracht
Instituut voor ICT
Nijenoord 1, 3552 AS, UTRECHT

NB: Dit contract dient te worden opgenomen als vast onderdeel van het plan van aanpak

Datum:

Naam student: Wilco Boele

Opleiding: Technische Informatica

Variant: voltijd / ~~deeltijd~~ / duaal

Adres student: Scholekster 10

Postcode / Woonplaats student: 3628 CG Kockengen

Studentnummer: 1575812

Telefoonnummer privé: 06-13630131

E-mailadres: wilcoboele@gmail.com

Naam bedrijf (afstuderende): Sioux Automation Technology

Adres bedrijf: Van Dycklaan 22

Postcode / Woonplaats bedrijf: 1427 AE Amstelveen

Naam bedrijfsbegeleider: Ronald de Leeuw van Weeren

Telefoonnummer bedrijfsbegeleider: 0611354181

E-mailadres bedrijfsbegeleider: ronald.de.leeuw.van.weeren@sioux.eu

Beoogde datum van afstuderen: jan 2013

Geheimhouding geaccordeerd door HU op: -

Ondergetekenden verklaren hiermee akkoord te gaan met de inhoud van bijgesloten PVA.

Handtekeningen

Student

: W. Boele

Docentbegeleider

: [Handwritten signature]

Bedrijfsbegeleider^[6]

: [Handwritten signature]

12 BIJLAGE 2: HARDWARE SPECIFICATIES

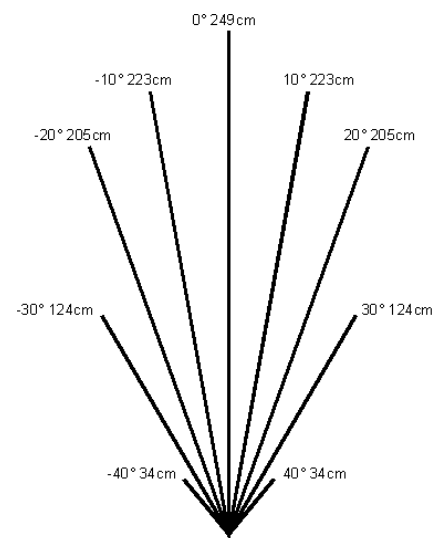
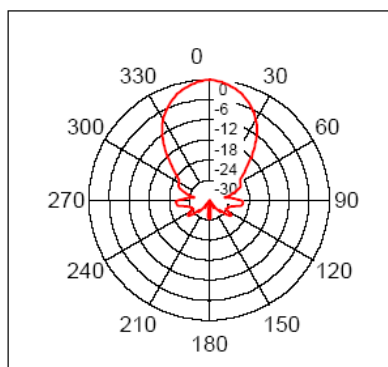
12.1 Omnima MiniEMBWiFi^[1]

- MIPS 24KEc 320MHz CPU
- 8 MB NOR Flash
- 32 MB SDRAM
- 1x WLAN 802.11n, access point (AP), station (STA), A, B, G, N or mixed mode operation
- 1x WAN/LAN Port 10/100M UTP
- 1x USB 2.0 OTG/OHCI/EHCI
- 1x UART serial port
- Antenna 3dBi Dipole detachable antenna x 1
- Output Power 11n: 15±1dBm, 11g: 15±1dBm, 11b: 18±1dBm
- Power Adapter 5VDC, 2.5A Switching Power Adaptor
- Dimension: 67(W) x 50(D) mm x 15(H)
- Temperature Operating: 0~50oC, Storage: -20~60oC
- Humidity Operating: 10~90% (Non-Condensing)
- Storage: Max.95% (NonCondensing)

12.2 Dagu 48 Servo Red Back Spider Robot Controller^[3]

- ATmega1280 16MHz CPU
- 128K FLASH, 8K SRAM and 4K EEPROM
- USB interface and ISP socket
- Built in 3A switch mode power supply (7V – 30V input)
- 70 I/O pins with male and female headers
- Support for up to 48 servos
- 16x 10bit analog inputs
- 15x 8bit PWM outputs
- 1x I2C
- 6x External interrupt pins
- 4x Serial communication
- Comes with Arduino boot-loader installed

12.3 SRF02 Ultrasonic afstand sensor^[5]

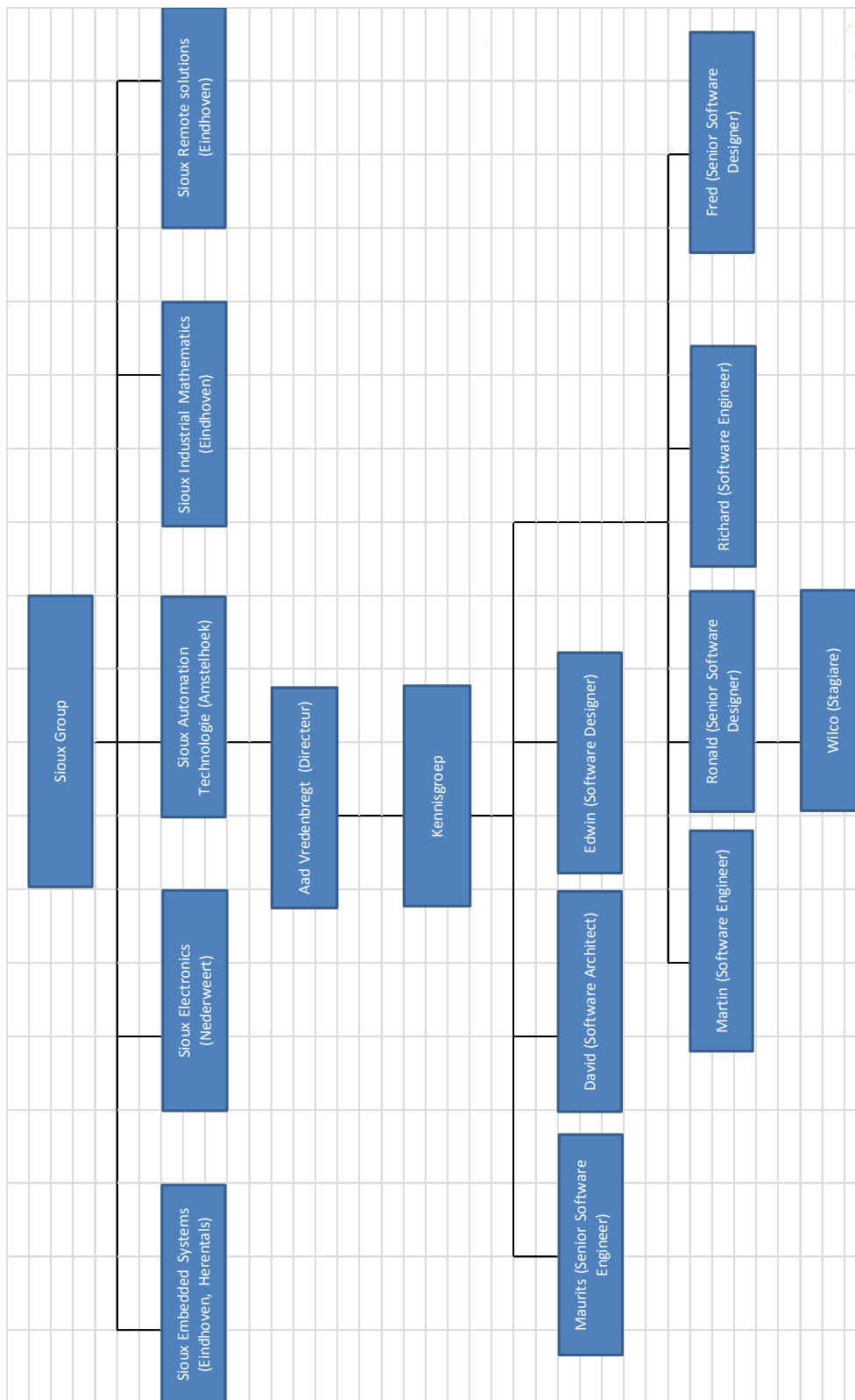




12.4 CMPS10 Kompas^[6, 7]

- Resolution - 0.1 Degree
- Accuracy - Horizontal, 3-4 degrees.
- Accuracy - Tilted to +/- 60 degrees, 4-5 degrees
- Output 1 - I2C Interface, SMBUS compatible, 0-255 and 0-3599 , 100khz
- Output 2 - Serial port, 9600 baud, no parity, 2 stop bits and 3.3v-5v signal levels
- Output 3 - Timing Pulse 1mS to 37mS in 0.1mS increments
- Dimension: 24mm x 18mm

13 BIJLAGE 3: ORGANOGRAM





BIJLAGE B EVALUATIE VAN HET EIGEN FUNCTIONEREN

Vanaf het begin van het afstuderen ben ik bezig geweest met beide opdrachten die tijdens het afstuderen uitgevoerd zouden worden. In de eerste week had ik al een plan van aanpak en een onderzoeksplan^[K] klaarliggen. Daarbij was ik ook al bezig de hardware van de robot te verkennen. In het begin deed ik meestal drie en halve dag aan documentatie werken en daarna anderhalve dag aan de hardware van de robot. Toen het onderzoeksplan klaar was ben ik begonnen aan het Meetplan en ben ik voorzichtig begonnen met wat testmetingen te verrichten.

Naast het Meetplan moest er ook veel informatie over communicatietechnieken opgezocht worden en theoretisch informatie over beïnvloeding van elektromagnetische signalen. Dit was een tijdrovende klus en zelf vond ik het ook jammer dat niet alle specificaties gevonden konden worden. Toch ben ik wel tevreden over de resultaten, omdat het ook niet de verwachting was dat alle specificaties gevonden zouden worden. Belangrijker waren de conclusies over de bruikbaarheid van deze specificaties.

Tijdens het maken van het Meetplan en het beschrijven van theoretische bevindingen was ik ook bezig met de implementatie van het autonoom laten rijden van de robot. Dit heb ik bewust steeds afgewisseld, Dagen lang documenten schrijven, wordt vervelend en gewoon even bouwen aan een robot is dan een leuke afwisseling.

Telkens wanneer ik dacht vast te lopen met bepaalde dingen tijdens het afstuderen deed ik een beroep op mijn collega's. Er zijn collega's die veel verstand hebben van elektrotechniek, wat ik goed kon gebruiken bij het bouwen van de robot. Ook zijn er softwarearchitecten in huis, waardoor ik goede reviews kon krijgen van de software ontwerpen.

Wat verder gezegd moet worden is dat de hele afstudeeropdracht veel werk was. Het waren twee verschillende opdrachten, waarvan het onderzoek in ieder geval ook een afstudeeropdracht op zichzelf had kunnen zijn. Soms had ik het idee dat ik het niet af zou krijgen, omdat door de hoeveelheid werk het overzicht kwijt was. Maar de afstudeerbegeleider en mijn eigen planning zorgden er dan dat er weer overzicht kwam. Het was een heel leuke afstudeerperiode waarin ik echt veel geleerd heb. Zowel van de techniek, als ook van de procesgang binnen Sioux. Daarnaast ben ik ook erg blij met het werk dat gedaan is en de resultaten die bereikt zijn.

Leuk om ook te vermelden is, dat ik een baan aangeboden gekregen heb bij Sioux! Hier ben ik erg blij en dankbaar voor!



BIJLAGE C SPECIFICATIES COMMUNICATIETECHNIEKEN

Medium / standaard	Reikwijdte	Verbruik	Bandbreedte	Data throughput	Security	Frequentie	Interferentie	Overhead	Topologie	Signaaltipe	Line of Sight benodigd?	Beïnvloedbaar door weersomstandigheden	Opstartsnelheid	Betrouwbaarheid	Aantal connecties
WiFi / IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n	30 m binnen en 90 m buiten	100mW	A: 20MHz B: 25MHz G: 20MHz N: 40MHz (alleen nieuwe devices, en optioneel vanwege compatibiliteit met de oudere standaarden)	A: 54 B: 11 G: 54 N: min: 100 max: 540 Snelheden in Mbit/s	A: Optional-RC4 (AES in 802.11i) B: Optional-RC4 (AES in 802.11i) G: Optional-RC4 (AES in 802.11i) N: Optional-RC4 (AES in 802.11i)	A: 5,8GHz B: 2,4GHz G: 2,4GHz N: 2,4GHz & 5,8GHz	B, G en N hebben in de 2,4 GHz band interferentie van vele andere apparaten (in bewoond gebied in ieder geval). A en N hebben in de 5,8 GHz band minder last van interferentie, maar er komen wel meer apparaten op de markt die in deze band werken. De 5,8 GHz band heeft wel het nadeel dat de antennes elkaar rechtstreeks moeten zien (line of sight). Dit omdat deze signalen geabsorbeerd worden door vaste objecten	Na communicatie overhead weg te laten blijft er voor elke standaard de volgende effectieve data-rate over: A: < 19 Mbit/s B: max. 5,9 Mbit/s (TCP), 7,1 Mbit/s (UDP) G: 19 Mbit/s N:	Ad hoc, infrastructuur	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd	Alle banden hebben last van weersomstandigheden, mits er gecommuniceerd moet worden over lange afstand (denk aan tientallen kilometers) of via satellieten in de ruimte. Voor ons zal dit waarschijnlijk alleen gelden voor positiebepaling via GPS			maximaal 32
Bluetooth 2.0 + EDR	~30 m	Class 1: 100mW Class 2: 2,5mW Class 3: 1mW	1 MHz	1-3 Mbit/s	SAFER+, key negotiation (known weaknesses)	2,4GHz	Ja dit is een vrije band en wordt gebruikt door vele apparaten. Er is dus altijd kans op interferentie, hoewel dit voor normaal gebruik geen probleem hoeft te zijn.	0.7-2.1 Mbit/s	piconet	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd		<6sec		7
Bluetooth 2.1 + EDR	~30m	Class 1: 100mW Class 2: 2,5 mW Class 3: 1mW	1MHz	1 - 3 Mbit/s	SAFER+, key negotiation (known weaknesses)	2,4GHz		0.7-2.1 Mbit/s	piconet	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd		<6sec		7
Bluetooth 4.0 High Speed	~50 m	30µA in hold mode, 8-30mA bij actieve verbinding	1 MHz	24Mbit/s		2,4GHz			piconet	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd		> 100 ms		7
Bluetooth Low Energy	~50 m	< 15mA	1 MHz	1 Mbit/s	AES-128 CCM	2,4GHz	Ja dit is een vrije band en wordt gebruikt door vele apparaten. Er is dus altijd kans op interferentie, hoewel dit voor normaal gebruik geen probleem hoeft te zijn.	0.26 Mbit/s	Star-bus	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd		3 ms		7

Medium / standaard	Reikwijdte	Verbruik	Bandbreedte	Data throughput	Security	Frequentie	Interferentie	Overhead	Topologie	Signaaltipe	Line of Sight benodigd?	Beïnvloedbaar door weersomstandigheden	Opstartsnelheid	Betrouwbaarheid	Aantal connecties
ZigBee / IEEE 802.15.4	10m - 100m	> 1mW	5 MHz, 2MHz wordt daadwerkelijk gebruikt	250kbps (2,4 GHz) 40 kbps (915MHz) 20 kbps (868MHz). Er zijn hier ook weer opties om toch op de andere banden ook 250 kbps te halen	AES-128	868/915 MHz (DSSS BPSK) 868/915 MHz DSSS QPSK) 2,4GHz (DSSS QPSK) 868/915 MHz (PSSS ASK)	vooral in de 2,4 GHz band. De nodes moeten minimaal 2m van een interferend Wifi of Bluetooth apparaat verwijderd zijn. Verder geen problemen http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/40110601_Zigbee_EN.pdf	~125kbps, ~20kbps, ~10kbps	Point to point, Star, Boomstructuur, Mesh	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd	Alle banden hebben last van weersomstandigheden, mits er gecommuniceerd moet worden over lange afstand (denk aan tientallen kilometers) of via satellieten in de ruimte.	15ms	Het is een zelfhelend netwerk, pakketten komen altijd aan zolang er een connectie naar de coordinator is	netwerk tot 65000 apparaten. Per router of coordinator kunnen max 6 apparaten aangesloten zijn.
Wireless Hart / 802.15.4	1 – 70 m, 250 m line of sight	kan via een batterij, maar de radio kan ook vaak een losse voeding nodig hebben, verbruik nog niets over bekend..		250 kbit/s	AES-128, elke bericht wordt met een uniek id versleuteld, verschillende keys om het netwerk te joinen	2,4GHz	Ja		Mesh, Star, Combined Star & Mesh	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd	Voor ons zal dit waarschijnlijk alleen gelden voor positiebepaling via GPS		Dit is net als ZigBee een zelfhelend netwerk en heeft een betrouwbaarheid groter dan 99%	
Ultra Wide Band 802.15.4 DS_UWB	10m		> 500MHz	55mbps - 1.32gbps in 3.1GHz band en 55mbps - 2gbps in de 6.2GHz band	Gebruikt zulke complexe patronen, dat dit signaal voor andere ontvangers op ruis lijkt.	pulsen in het spectrum tussen 3.1 - 4.85GHz of 6.2GHz - 9.7GHz	Ja is mogelijk, maar deze frequentiebanden worden niet door veel apparaten gebruikt			Elektro-magnetisch	Ja, vanwege de hoge frequenties zullen de signalen heel snel afzwakken.				
Wireless USB				3 meter: 480Mbit/s, 10 meter: 110Mbit/s		3,1GHz tot 10,6GHz	Ja is mogelijk, maar deze frequentiebanden worden niet door veel apparaten gebruikt			Elektro-magnetisch	Ja, vanwege de hoge frequenties zullen de signalen heel snel afzwakken.				
DASH7 / ISO/IEC 18000-7	Aan te passen tussen 10 m en 10 km			Aan te passen tussen 28 kbit/s en 200 kbit/s	128-bit AES	433.92 MHz	Werkt ook in de vrije band en zal daarom mogelijk last hebben van interferentie		Star	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				



Medium / standaard	Reikwijdte	Verbruik	Bandbreedte	Data throughput	Security	Frequentie	Interferentie	Overhead	Topologie	Signaaltipe	Line of Sight benodigd?	Beïnvloedbaar door weersomstandigheden	Opstartsnelheid	Betrouwbaarheid	Aantal connecties
RuBee IEEE standard 1902.1	0,5 - 50m	Ultra Low Power		1200 bytes per seconde	RuBee is de enige draadloze technologie welke is goedgekeurd door de US Department of Energy(DoE) voor het gebruik in hoogst beveiligde gebieden.	131Kz Magnetic waves	Volgens de producenten de meest betrouwbare wireless technologie in omgevingen met veel staal of water. Er wordt namelijk over een lange draaggolf gecommuniceerd. Werkt niet via USB maar met Tags. Geen last van interferentie of reflecties. Werkt in het magnetische veld			Magnetisch	Geen line of sight benodigd	Vanwege de werking in het magnetisch veld is er geen beïnvloeding door het weer.		Dit communicatiemedium is bedoeld voor ruwe omgevingen, waarbij de meeste communicatietechnieken niet meer zullen werken. Is ook goedgekeurd om in explosieve omgevingen te werken	netwerken van vele duizenden zijn mogelijk
Z-wave ZM3102 Module (extentie voor de omnima)	30 meter binnen zonder obstakels, buiten 100 m met line of sight	Power Consumption o TX@-5dBm = 24mA o TX@0dBm = 36mA o RX = 23mA o Power down/sleep mode = 2.5µA	9MHz	EU: 9.6kbps: 868.42 MHz, 40kbps: 868.40 MHz US: 9.6kbps: 908.42 MHz, 40kbps: 908.40 MHz HK: 9.6kbps: 919.82 MHz, 40kbps: 919.80 MHz NZ: 9.6kbps: 921.42 MHz, 40kbps: 921.40 MHz AUS 9.6kbps: 921.42 MHz, 40kbps: 921.40 MHz	TDES, Triple Data Encryption Standard.	EU: 868.42 MHz & 868.40 MHz US: 908.42 MHz & 908.40 MHz HK: 919.82 MHz & 919.80 MHz NZ:: 921.42 MHz & 921.40 MHz AUS 921.42 MHz & 921.40 MHz	In Europa is vooral de 868MHz band gevoelig voor interferentie (vanwege de vele andere apparaten die in deze vrije band zenden). In Amerika zijn vooral de banden tussen 900 en 925 MHz gevoelig voor interferentie, omdat hier juist deze frequenties een vrije licentie hebben.		Mesh, broadcasting, multicasting	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd	Alle banden hebben last van weersomstandigheden, mits er gecommuniceerd wordt over lange afstand (denk aan tientallen kilometers) of via satellieten in de ruimte. Voor ons zal dit waarschijnlijk alleen gelden voor positiebepaling via GPS			232 nodes max.
RFM70,2.4G RF transceiver (extentie voor het de omnima)	buiten, 70 - 80m		83,5 / 83channels = 1MHz per channel	1 / 2mbps in burst mode		2,4GHz - 2,4835 GHz	Vrije band en is daarom ook gevoelig voor interferentie, o.a. van Wi-Fi en Bluetooth apparaten.			Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				
Wibree	10m	10mW		1mbps	AES-128	2,4GHz			piconet	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				7
Wavenis	binnen 200m, buiten tot 1km met 125dB	10 jaar op een batterij		4.8kbps tot 100kbps programmable, de meeste communiceren met 19,2 kbps		868MHz, 915MHz, 433 MHz	Alle frequentiebanden hebben last van interferentie omdat het vrije banden zijn. 868MHz wordt in Europa gebruikt en 915MHz in o.a. Amerika		tree, star, mesh	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				

Medium / standaard	Reikwijdte	Verbruik	Bandbreedte	Data throughput	Security	Frequentie	Interferentie	Overhead	Topologie	Signaaltipe	Line of Sight benodigd?	Beïnvloedbaar door weersomstandigheden	Opstartsnelheid	Betrouwbaarheid	Aantal connecties
IO-Homecontrol		Ultra Low Power		38,4 kbps	128-bit AES	~868MHz	Vrije band			Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd	Alle banden hebben last van weersomstandigheden, mits er gecommuniceerd moet worden over lange afstand (denk aan tientallen kilometers) of via satellieten in de ruimte. Voor ons zal dit waarschijnlijk alleen gelden voor positiebepaling via GPS			
KNX/RF	800m met een quarter wave antenne	Energiezuinig		16,4kbit/s		868,3MHz	Vrije band			Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				64 receivers
EnOcean	30m binnen, 300m buiten	Ultra Low Power		125kbps		868.3 MHz en 315 MHz.				Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				
INSTEON	45 m line of sight			Instantaneous (within a single packet): 13,165 bit/s Sustained best case (over multiple packets): 2,880 bit/s Sustained average case: 180 bit/s	Adress masking, encrypted message payloads	US: 915KHz Europe: 868KHz Australia, New Zealand: 921KHz	Vrije banden		point to point, mesh	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				Max. 16,777,216 apparaten in het een netwerk. 256 apparaten in een groep
ONE-NET	peer to peer binnen 60 m tot 100 m, buiten 500m. In star verscheidene kilometers	3 tot 5 jaar op AA / AAA batterijen, 1mW	0,7MHz	38.4 kbps. De specificatie staat toe dat per node dynamisch 230 kbps behaald kan worden	XTEA2-32	868 & 915 MHz tegenwoordig, wordt uitgebreid naar 433 MHz en 2.4 GHz	Alle frequentiebanden hebben last van interferentie omdat het vrije banden zijn. 868MHz wordt in Europa gebruikt en 915MHz in o.a. Amerika		Star, peer to peer en multihop	Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				
BACnet	notitie: BACnet ondersteund eigenlijk alleen bedrade netwerken, maareen zoekopdracht in Google zal tonen dat er aan gewerkt wordt dat ook gecommuniceerd kan worden via ZigBee. BACnet is net als INSTEON, EnOcean en Konnex/KNX bedoeld voor Building Automation en Control Networks														
LonWorks	Groot bereik, bij een verbinding met weinig storing kunnen signalen opgevangen worden die meer dan 10,000 keer verzwakt zijn			5,4kbps (C-band), 3,6kbps (A-band)		~70kHz - ~85khz (A-band), ~115kHz - ~132 kHz (C-band)	Geen tot weinig last van interferentie van andere apparaten. Dit zijn frequenties die weinig worden gebruikt			Elektro-magnetisch	Geen line of sight benodigd				



Medium / standaard	Reikwijdte	Verbruik	Bandbreedte	Data throughput	Security	Frequentie	Interferentie	Overhead	Topologie	Signaaltipe	Line of Sight benodigd?	Beïnvloedbaar door weersomstandigheden	Opstartsnelheid	Betrouwbaarheid	Aantal connecties
MyriaNed		5 jaar op een enkele batterij				2,4GHz	Vrije band en is daarom ook gevoelig voor interferentie, o.a. van Wi-Fi en Bluetooth apparaten.		True mesh (redundante communicatie paden in het netwerk)	Elektro-magnetisch		Alle banden hebben last van weersomstandigheden, mits er gecommuniceerd moet worden over lange afstand (denk aan tientallen kilometers) of via satellieten in de ruimte.		Heel efficiënt en robuust (berichten worden gebroadcast, berichten volgen verschillende routes mogelijk parallel waardoor dataverlies niet meteen hoeft te betekenen dat het gehele bericht verloren is gegaan)	2 tot 10000 nodes
RFID	10 cm 1 m 1 - 100 m 1 - 2 m 1 - 2 m tot 200 m	passieve tags gebruiken het elektromagnetisch veld van de zender (deze verbruiken zelf dus niets) (Semi) actieve tags verbruiken wel, maar dit is heel energiezuinig)		laag laag tot Gemiddeld Gemiddeld tot hoog Hoge snelheid Hoge snelheid	Data kan beveiligd worden, maar de tag zelf is eenvoudig te kraken	120 - 150 kHz 13,56MHz 433MHz 865 - 868 MHz (Europa) 2450 - 5800 MHz 3,1 - 10 GHz	Interferentie is mogelijk in het gebied rond 868 MHz en 2,4 GHz		Poin to point	Elektro-magnetisch		Voor ons zal dit waarschijnlijk alleen gelden voor positiebepaling via GPS	passieve tags reageren altijd op een dus er geldt geen opstartsnelheid (deze is in ieder geval verwaarloosbaar)		1
NFC	<= 4cm, theoretisch tot 20cm	<15mA	7kHz, maar 1.8MHz wanneer ASK modulatie wordt gebruikt	106kbps, 212kbps of 424kbps		13,56MHz			Point to point	Elektro-magnetisch			< 0,1 s		1
IrDA	Standaard 1m			0,3kbps tot 125mbps		405 THz - 300 GHz	Nee, maar de reikwijdte kan verminderd worden door strooilicht		Point to point	Elektro-magnetisch in het optisch gebied	Line of sight met een stralingshoek van 15 graden	Nee			1
Li-Fi				Tot 10Gbit/s		790 THz - 405 THz	Nee, maar de reikwijdte kan verminderd worden door strooilicht		Poin to point	Elektro-magnetisch in het optisch gebied	Ja	Nee			1

Bronnen: [21][22][23][24][25][26][27][28][29][30][31][32][33][34][38][39][40][41][42][43][44][45][46][47][48][49][50][51][52][53][54][56][57][58]

Versie 1.0, Definitief

©2012, Sioux Automation Technology B.V.

pagina 70



BIJLAGE D BROADCASTS

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>

#define PORT 8655 // the port users will be connecting to
#define MAXBUFLen 512

int main(int argc, char argv[])
{
    printf("answering broadcast messages..");
    int sockreceive;
    int socksend;
    struct sockaddr_in my_addr; // my address information
    struct sockaddr_in their_addr; // connector's address
    information
    socklen_t addr_len;
    int numbytes;
    char buf[MAXBUFLen];
    char *message = "ROBOT";

    if ((sockreceive = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == -1) {
        perror("socketreceive");
        exit(1);
    }
    if ((socksend = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == -1) {
        perror("socketsend");
        exit(1);
    }

    my_addr.sin_family = AF_INET; // host byte order
    my_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY; // automatically fill with
my IP
    my_addr.sin_port = htons(PORT); // short, network byte
order
    memset(&(my_addr.sin_zero), '\0', 8); // zero the rest of the
struct
    if (bind(sockreceive, (struct sockaddr *)&my_addr, sizeof(struct
sockaddr)) == -1) {
        perror("bind");
        exit(1);
    }
    while(1) {
        addr_len = sizeof(struct sockaddr);
        if ((numbytes = recvfrom(sockreceive, buf, MAXBUFLen-1 ,
0, (struct sockaddr *)&their_addr, &addr_len)) == -1) {
            perror("recvfrom");
            exit(1);
        }
    }
}
```

```

    }

    printf("got packet from
%s\n",inet_ntoa(their_addr.sin_addr));
    printf("packet is %d bytes long\n",numbytes);
    buf[numbytes] = '\0';
    printf("packet contains \"%s\"\n",buf);
    memset(buf, '\0', sizeof(buf));

    their_addr.sin_family = AF_INET;           // host byte
order      their_addr.sin_port = htons(PORT); // short, network
byte order
    memset(&(their_addr.sin_zero), '\0', 8); // zero the rest
of the struct

    if(sendto(socksend, message, strlen(message), 0, (struct
sockaddr *)&their_addr, sizeof(their_addr)) < 0) {
        perror("sendto");
        printf("fout1");
        //exit(1);
    } else {
        printf("succesfully send message");
    }
}
close(sockreceive);
close(socksend);
return 0;
}

```

Makefile

```

# build broadcastreceiver executable when user executes 'make'

broadcastreceiver: broadcastreceiver.o
    $(CC) $(DFLAGS) broadcastreceiver.o -o broadcastreceiver

broadcastreceiver.o: broadcastreceiver.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c broadcastreceiver.c

#remove object files and executable when user executes 'make clean'
clean:
    rm *.o broadcastreceiver

```



BIJLAGE E COMMUNICATIE STANDBY

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char argv[])
{
    while(1){
        system("uci set wireless.@wifi-device[0].disabled=1; uci
commit wireless; wifi");
        sleep(90);
        system("uci set wireless.@wifi-device[0].disabled=0; uci
commit wireless; wifi");
        sleep(90);
    }
}
```

Makefile

```
# build com_standby executable when user executes 'make'

com_standby: com_standby.o
    $(CC) $(DFLAGS) com_standby.o -o com_standby

com_standby.o: com_standby.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c com_standby.c

#remove object files and executable when user executes 'make clean'
clean:
    rm *.o com_standby
```

BIJLAGE F RAPPORTEN ENERGIEVERBRUIK

Rapportage	
Doel van de meting	<i>Meten van het energieverbruik wanneer het communicatiemedium uitgeschakeld is</i>
Meetobject	
Productnaam	<i>Omnima MiniEMBWiFi</i>
Typeaanduiding	
Serie- of registratienummer	<i>E1240002738</i>
Meetmethode	
Titel en verwijzing naar hoofdstuk van rapport	<i>Hoofdstuk 5.1 - Communicatiemedium standby</i>
Indien van toepassing, vermelding van afwijkingen van de methodiek en reden	-
Meetomgeving	
Omschrijving van de meetlocatie	<i>Binnen</i>
Datum en tijdstip van de metingen	<i>10-10-2012 - 13:40</i>
Indien buiten, omschrijving van de weersomstandigheden	-
Afstand tot reflecterende objecten (muren, staal enz)	<i>1 meter vanaf de muur</i>
Indien binnen, afmetingen en aankleding van de ruimte	<i>10 x 8 meter, zie bijlage B van het meetplan</i>
Omschrijving van radiosignalen in de omgeving	<i>n.v.t.</i>
Indien mogelijk, foto van het meetobject met de nabije omgeving	
Meetapparatuur	
Lijst gebruikte meetapparatuur met type, typenummer, serienummer en indien mogelijk laatste datum kalibratie	<i>Voltcraft PPS 11810, 1 -18V/DC, 0-10A ingesteld op 7,4V, 1,0A, Dell Latitude E5520, kalibratie niet bekend</i>
Meetgrootheid	<i>Watt</i>
Gemeten niveaus en verwerking	
Indien van toepassing, afstand tussen de metingen	-
<i>Meting</i>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
<i>Energieverbruik communicatiemedium uit</i>	<i>1,7</i>
<i>Energieverbruik stand-by</i>	<i>1,7 2,5 bij rekenwerk</i>
<i>Energieverbruik continue zenden</i>	
<i>Data Throughput</i>	
<i>Reikwijdte binnen</i>	
<i>Reikwijdte buiten</i>	
<i>Error Rate</i>	
<i>Opstartsnelheid vanuit uit stand</i>	
<i>Opstartsnelheid vanuit standby</i>	
Aantal middelingen en type middeling	<i>0</i>

BIJLAGE G RAPPORTEN OPSTARTTIJDEN

Rapportage	
Doel van de meting	<i>Tijd die nodig is vanaf dat de robot uit staat totdat er voor het eerst verbinding gemaakt kan worden.</i>
Meetobject	
Productnaam	Omnima MiniEMBWiFi
Typeaanduiding	
Serie- of registratienummer	E1240002738
Meetmethode	
Titel en verwijzing naar hoofdstuk van rapport	Hoofdstuk 5.2 - Opstarttijd vanaf uit stand
Indien van toepassing, vermelding van afwijkingen van de methodiek en reden	-
Meetomgeving	
Omschrijving van de meetlocatie	Binnen, de ontvanger staat in een andere kamer dan de robot, er is dan geen sprake van line of sight, hoewel de muur niet heel hinderlijk hoeft te zijn.
Datum en tijdstip van de metingen	10-10-2012 - 14:20
Indien buiten, omschrijving van de weersomstandigheden	-
Afstand tot reflecterende objecten (muren, staal enz)	Zie figuur "meting opstarttijd"
Indien binnen, afmetingen en aankleding van de ruimte	5,5 x 5,5 meter voor de ontvanger en 2,35 x 3,55 meter voor de robot, zie bijlage B van het meetplan voor uitgebreide informatie
Omschrijving van radiosignalen in de omgeving	Zie paragraaf 4.1 van het meetplan
Indien mogelijk, foto van het meetobject met de nabije omgeving	
Meetapparatuur	
Lijst gebruikte meetapparatuur met type, typenummer, serienummer en indien mogelijk laatste datum kalibratie	Dell Latitude E5520 als ontvanger
Meetgrootheid	Tijd in seconden
Gemeten niveaus en verwerking	
Indien van toepassing, afstand tussen de metingen	-
Meting	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Energieverbruik communicatiemedia uit	
Energieverbruik stand-by	
Energieverbruik continue zenden	
Data Throughput	
Reikwijdte binnen	
Reikwijdte buiten	
Error Rate	
Opstartsnelheid vanuit uit stand	28,0 30,1 31,0 28,5 28,3 31,0 30,0 28,7 29,1 29,9
Opstartsnelheid vanuit standby	
Aantal middelingen en type middeling	10, alle meetresultaten optellen en delen door 10

Versie 1.0. Definitief

BIJLAGE H RAPPORTEN REIKWIJDTE BINNEN

Rapportage																																																																																																																																																																																	
Doel van de meting	Meten van het energieverbruik bij continue zenden op verschillende afstanden																																																																																																																																																																																
Meetobject	<table border="1"> <tr> <td>Productnaam</td> <td>Omnima MiniEMWiFi</td> </tr> <tr> <td>Typeaanduiding</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Serie- of registratienummer</td> <td>E1240002738</td> </tr> </table>	Productnaam	Omnima MiniEMWiFi	Typeaanduiding		Serie- of registratienummer	E1240002738																																																																																																																																																																										
Productnaam	Omnima MiniEMWiFi																																																																																																																																																																																
Typeaanduiding																																																																																																																																																																																	
Serie- of registratienummer	E1240002738																																																																																																																																																																																
Meetmethode	Titel en verwijzing naar hoofdstuk van rapport meetmethode: <i>Hoofdstuk 5.4 - Energieverbruik continue zenden met reikwijdte binnen</i> Indien van toepassing, vermelding van afwijkingen van de methodiek en reden: <i>In het meetplan staat beschreven dat er 1000 downloads gedaan moeten worden, het blijkt dat 10 downloads van 10MB al ongeveer 3 a 4 minuten duren. Om die reden is gekozen om 20 downloads te doen.</i>																																																																																																																																																																																
Meetomgeving	Omschrijving van de meetlocatie: <i>Binnen, Bij de eerste drie metingen staat er geen muur tussen de robot en de ontvanger (de ontvanger staat wel 2 meter lager). Na de vierde meting staat er 1 muur van 12cm tussen. Na de 6e meting staan er 2 muren tussen, waarvan de laatste zo'n 35 cm is. Daarnaast staan er verschillende computerschermen in de ruimte. Bij meting 3 mislukt daarom de meting.</i> Datum en tijdstip van de metingen: <i>23-11-2012 - 9:40 - 12:00, 27-11-2012 - 8:00 - 11:30</i> Indien buiten, omschrijving van de weersomstandigheden: <i>-</i> Afstand tot reflecterende objecten (muren, staal enz): <i>Alle metingen vinden plaats binnen het kantoor. Telkens kunnen er muren, beeldschermen en andere objecten tussen staan. Bij meting drie staat er een beeldscherm voor, waardoor geen enkele bestandsoverdracht is gelukt.</i> Indien binnen, afmetingen en aankleding van de ruimte: <i>10 x 8 meter, zie bijlage B van het meetplan</i> Omschrijving van radiosignalen in de omgeving: <i>Er zijn ongeveer 10 andere Wi-Fi access points die ook signalen uitzenden, waarvan er in ieder geval 2 zijn die in dezelfde channel aan het zenden zijn. Daarnaast zijn er ook 7 Bluetooth apparaten die in dezelfde frequentie werken</i> Indien mogelijk, foto van het meetobject met de nabije omgeving: <i>zie figuur in deze bijlage</i>																																																																																																																																																																																
Meetapparatuur	Lijst gebruikte meetapparatuur met type, typenummer, serienummer en indien mogelijk laatste datum kalibratie: <i>Voltcraft PPS 11810, 1 -18V/DC, 0-10A ingesteld op 7,4V, 1,0A, Dell Latitude E5520, kalibratie niet bekend</i> Meetgrootheid: <i>Energieverbruik = Watt; Data Throughput = MB, Error rate = aantal keer</i>																																																																																																																																																																																
Gemeten niveaus en verwerking	Indien van toepassing, afstand tussen de metingen: <i>2 meter</i> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Meting</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energieverbruik communicatiemedia uit</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Energieverbruik stand-by</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Energieverbruik continue zenden</td> <td>4,4</td><td>4,4</td><td>-</td><td>4,4</td><td>3,3</td><td>3,3</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,5</td> </tr> <tr> <td>Data Throughput</td> <td>1,38</td><td>1,33</td><td>-</td><td>0,78</td><td>0,72</td><td>0,60</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0,00</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> <tr> <td>Reikwijdte binnen</td> <td>-56</td><td>-63</td><td>-58</td><td>-65</td><td>-67</td><td>-62</td><td>-68</td><td>-71</td><td>-77</td><td>-79</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> <tr> <td>Reikwijdte buiten</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Error Rate</td> <td>1</td><td>1</td><td>20</td><td>10</td><td>10</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>6</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> <tr> <td>Opstartsnelheid vanuit uit stand</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Opstartsnelheid vanuit standby</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Aantal middelingen en type middeling</td> <td colspan="15"><i>20 x herhalen van de downloads</i></td> </tr> </tbody> </table>	Meting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Energieverbruik communicatiemedia uit																Energieverbruik stand-by																Energieverbruik continue zenden	4,4	4,4	-	4,4	3,3	3,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	Data Throughput	1,38	1,33	-	0,78	0,72	0,60	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	Reikwijdte binnen	-56	-63	-58	-65	-67	-62	-68	-71	-77	-79	-	-	-	-	-	Reikwijdte buiten																Error Rate	1	1	20	10	10	7	-	-	-	6	-	-	-	-	-	Opstartsnelheid vanuit uit stand																Opstartsnelheid vanuit standby																Aantal middelingen en type middeling	<i>20 x herhalen van de downloads</i>														
Meting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																		
Energieverbruik communicatiemedia uit																																																																																																																																																																																	
Energieverbruik stand-by																																																																																																																																																																																	
Energieverbruik continue zenden	4,4	4,4	-	4,4	3,3	3,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5																																																																																																																																																																		
Data Throughput	1,38	1,33	-	0,78	0,72	0,60	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																		
Reikwijdte binnen	-56	-63	-58	-65	-67	-62	-68	-71	-77	-79	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																		
Reikwijdte buiten																																																																																																																																																																																	
Error Rate	1	1	20	10	10	7	-	-	-	6	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																		
Opstartsnelheid vanuit uit stand																																																																																																																																																																																	
Opstartsnelheid vanuit standby																																																																																																																																																																																	
Aantal middelingen en type middeling	<i>20 x herhalen van de downloads</i>																																																																																																																																																																																

BIJLAGE I RAPPORTEN REIKWIJDTE BUITEN

Rapportage	
Doel van de meting	Meten van het energieverbruik bij continue zenden op verschillende afstanden
Meetobject	Productnaam Typeaanduiding Serie- of registratienummer
Meetmethode	Titel en verwijzing naar hoofdstuk van rapport meetmethode Indien van toepassing, vermelding van afwijkingen van de methodiek en reden
Meetomgeving	Omschrijving van de meetlocatie Datum en tijdstip van de metingen Indien buiten, omschrijving van de weersomstandigheden Afstand tot reflecterende objecten (muren, staal enz) Indien binnen, afmetingen en aankleding van de ruimte Omschrijving van radiosignalen in de omgeving Indien mogelijk, foto van het meetobject met de nabije omgeving
Meetapparatuur	Lijst gebruikte meetapparatuur met type, typenummer, serienummer en indien mogelijk laatste datum kalibratie Meetgrootheid
Gemeten niveaus en verwerking	Indien van toepassing, afstand tussen de metingen Meting Energieverbruik communicatiemedia uit Energieverbruik stand-by Energieverbruik continue zenden Data Throughput Reikwijdte binnen Reikwijdte buiten Error Rate Opstartsnelheid vanuit uit stand Opstartsnelheid vanuit standby Aantal middelingen en type middeling

BIJLAGE J OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Onderzoeksontwerp

Zie het onderzoeksplan^[K].

Beschrijving van de onderzoeksinstrumenten

In deze paragraaf worden kort de meetinstrumenten beschreven. Zie het Meetplan^[L] voor meer informatie.

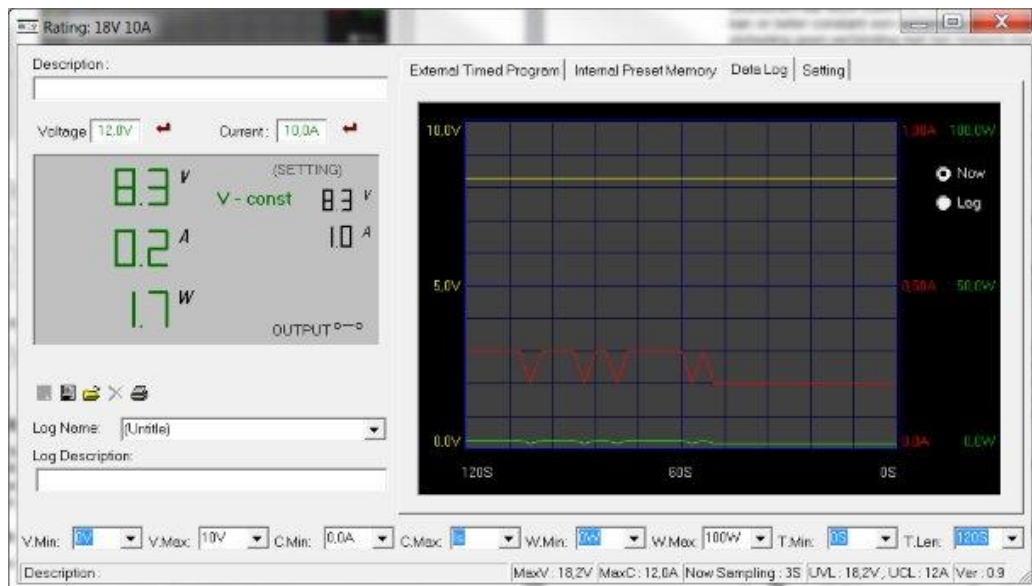
Voltcraft PPS 11810, 1 – 18 V/DC, 0 – 10A

De Voltcraft is een regelbare lab voeding, waarmee het energieverbruik van de robot kan worden gemeten



Voor de meting wat betreft de opstartsnelheid van een bepaalde communicatietechniek is ook een C programma geschreven, waarmee de Wi-Fi adapter wordt uitgeschakeld en vervolgens weer wordt ingeschakeld. De code van dit programma is te vinden in Bijlage E.

Zie de volgende figuur voor de output die de software van de Voltcraft kan genereren zodra een robot is aangesloten. Het voltage kan in het tabblad 'Internal Preset Memory' worden ingesteld en ook het maximaal aantal ampère. In dit tabblad wordt getoond welk stroomverbruik wordt gemeten en wat de hoeveelheid energie is die de robot verbruikt.



Dell Latitude E5520

Dit is de laptop waarop de metingen zijn uitgevoerd. De laptop diende als ontvanger. In deze laptop zit een Intel® Centrino® Advanced-N 6205 Wi-Fi adapter.

C# applicatie

Dit is de applicatie waarmee het uitgezonden vermogen van Wi-Fi access points kan worden weergegeven en waarmee een verbinding kan worden opgezet met een robot. Op de robot is een C applicatie geschreven die luistert naar broadcastevents en die ook weer broadcasts terugstuurt^[D]. Doormiddel van deze broadcasts kunnen robots zich dan identificeren.

Wijze van materiaalverzameling

De specificaties van de verschillende communicatietechnieken worden opgezocht op het internet, waarbij zo veel mogelijk wordt gekeken naar de officiële specificaties. Wanneer de officiële specificaties niet beschikbaar zijn of te groot om door te nemen, wordt er ook gekeken naar meerdere andere bronnen op internet en worden specificaties opgenomen zodra gecontroleerd is of meerdere bronnen hetzelfde zeggen. Dit geldt het gedeelte literatuuronderzoek.

In het praktische gedeelte van het onderzoek wordt het materiaal verzameld doormiddel van eigen metingen. In het Meetplan^[L] is beschreven hoe dit materiaal verzameld wordt. De metingen worden uitgevoerd op de robot. Deze robot heeft een aantal printplaten, met elk hun eigen toepassing. De metingen worden uitgevoerd op een embedded Linux bordje. Dit bordje heeft de naam Omnima MiniEmbWiFi.

In het Meetplan^[L] staan drie meetobjecten beschreven die op de Omnima te gebruiken zouden zijn:

1. Wi-Fi adapter
2. Bluetooth dongle
3. XBee adapter

Afbakening

Vanwege problemen met het werkend krijgen van Bluetooth op de robot en tijdsgebrek is ervoor gekozen om de metingen verder af te bakenen dan in het meetplan is beschreven. De uitleg daarbij is als volgt:

Als eerst is geprobeerd de Wi-Fi adapter werkend te krijgen. Dit was binnen een dag voor elkaar en er kon een verbinding worden op gezet. Een Bluetooth dongle kan ook gebruikt worden op de Omnima. Ook dit device was redelijk snel werkend op de Omnima (een dag werk). Het probleem met de Bluetooth dongle was alleen dat de dongle wel een signaal uitzond maar dat er geen verbinding kon worden gemaakt vanwege een passkeyAgent (dit is nodig om een pincode uit te wisselen en te controleren). Hier is een aantal dagen werk in gestoken door mijzelf om dit probleem op te lossen en daarna ook nog anderhalve week door een collega. Uiteindelijk werkte het nog niet, ook niet zonder een pincode te gebruiken. Vanwege dit probleem is besloten alleen metingen te doen op de Wi-Fi adapter en alleen de metingen op de Bluetooth dongle die mogelijk waren. Ook op de XBee module zijn verder geen metingen gedaan, vanwege het risico op tijdgebrek in de andere opdracht binnen het afstuderen.

Verwerking van de gegevens

Voor de metingen is een rapportageformat gemaakt waarin alle meetgegevens genoteerd kunnen worden. Dit rapportageformat kan gevonden worden in het Meetplan^[L]. Achter dit rapport zijn alle meetrapporten te vinden.

BIJLAGE K ONDERZOEKSPLAN

ONDERZOEKSPLAN

Auteur	Wilco Boele
Datum	01-10-2012
Versie	1.1
Status	Definitief
Project	Afstudeeropdracht: Woyaka

INHOUDSOPGAVE

1 AANLEIDING	85
1.1 Beschrijving waaruit dit onderzoek is voortgekomen	85
2 PROBLEEM- EN DOELSTELLING	86
2.1 Probleemstelling	86
2.1.1 Praktijk probleemstelling	86
2.1.2 Probleemstelling in de context van het project	86
2.2 Doelstelling	86
2.2.1 Relevantie voor de praktijk	86
3 ACHTERGROND	87
3.1 Achtergrondinformatie	87
3.2 Voorlopig model	87
3.2.1 Hoofdvraag	87
3.2.2 Deelvragen	87
3.3 Verwachtingen	88
4 PLANNING	89
5 UITVOERING	90
5.1 Theorie	90
5.2 Praktijk	90
5.2.1 Wat wordt er gemeten en hoe wordt er gemeten?	90
5.3 Stappenplan	91
6 DOMEIN AFBAKENING	92
6.1 Waarover worden uitspraken gedaan?	92
6.2 Waarover worden geen uitspraken gedaan?	92
6.3 Beschrijving van de omgeving	92

DOCUMENT GESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
0.1	28-08-2012	Wilco Boele	Initiële versie
1.0	29-08-2012	Wilco Boele	Aanpassingen na het gesprek met Ronald
1.1	01-10-12	Wilco Boele	Spellingsfouten verbeterd

1 AANLEIDING

1.1 Beschrijving waaruit dit onderzoek is voortgekomen

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van Sioux. Binnen Sioux is een kennisgroep die bezig is robots te ontwikkelen die autonoom en gedecentraliseerd opdrachten kunnen uitvoeren. De robots die deze kennisgroep ontwikkelt zullen uiteindelijk ingezet kunnen worden in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden.

Wanneer deze robots starten zullen ze contact zoeken met andere robots en zo samen een werkwijze bedenken waarmee het doel wat ze is meegegeven te behalen.

Om dit te bereiken zullen deze robots met elkaar moeten communiceren. Op zich is dit geen probleem, maar er zijn een aantal beperkingen. Deze beperkingen zorgen ervoor dat bepaalde draadloze communicatietechnieken niet gebruikt kunnen worden in bepaalde gebieden.

Dit is het probleem wat de aanleiding heeft gegeven om een onderzoek uit te voeren naar de verschillende communicatietechnieken en de specificaties daarvan om zo te kunnen bepalen welke communicatietechniek moet worden gebruikt in een bepaalde omgeving.

2 PROBLEEM- EN DOELSTELLING

2.1 Probleemstelling

Er zijn twee verschillende problemen te onderscheiden. Ten eerste het probleem vanuit de praktijk bezien. Ten tweede het probleem vanuit de context van het project. Beide probleemstellingen zijn belangrijk, om te begrijpen waarom dit onderzoek wordt uitgevoerd.

2.1.1 Praktijk probleemstelling

De robots zullen opereren in omgevingen waar het voor mensen te gevaarlijk is of waar mensen te kostbaar zijn om ingezet te worden. Te denken valt hierbij aan diepzee, heelal, nucleaire installaties en dergelijken. Het probleem in deze omgevingen is dat draadloze communicatie vaak ook niet goed gaat. Dit heeft verschillende oorzaken. Onder water zijn er weinig technieken waarmee goed gecommuniceerd kan worden, dit komt omdat radiogolven onder water niet goed kunnen verplaatsen. In andere omgevingen is interferentie met materialen vaak een probleem. Dit zijn allemaal problemen die communicatie tussen de robots in de weg staat.

Communicatie tussen de robots is van essentieel belang, wanneer dit dan ook verhinderd wordt door de omgeving waarin ze zich bevinden zullen ze onbruikbaar worden zodra ze externe hulp nodig hebben.

2.1.2 Probleemstelling in de context van het project

Er is niet bekend welke communicatietechnieken er allemaal zijn en welke technieken in welke omgeving gebruikt kunnen worden. Daarbij is ook niet bekend wat de specificaties zijn van de verschillende communicatietechnieken.

2.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om een helder beeld te krijgen van de verschillende communicatietechnieken en welke communicatietechnieken gebruikt kunnen worden door de robots. De kennisgroep kan zo zelf bepalen welke technieken er gebruikt zullen worden in een bepaalde omgeving waarin de robots ingezet worden.

2.2.1 Relevantie voor de praktijk

Om de robots bruikbaar in te kunnen zetten in gebieden waar de omgeving speciale eigenschappen van draadloze communicatietechnieken vereist, is het belangrijk te weten welke technieken daar dan gebruikt kunnen worden en wat deze eigenschappen (specificaties) dan zijn.

3 ACHTERGROND

3.1 Achtergrondinformatie

Dit onderzoek wordt uitgevoerd omdat de kennisgroep meer informatie wil hebben over de communicatie tussen robots in omgevingen waar draadloze communicatie verhinderd kan worden. Daarnaast is dit onderzoek een deel van mijn afstudeeropdracht.

De reden waarom dit onderzoek wordt uitgevoerd, is om te weten te komen in welke omgevingen welke draadloze techniek gebruikt kan worden. Daarnaast kan de informatie uit het onderzoek ook gebruikt worden wanneer de robots in andere / nieuwe omgevingen ingezet zullen worden. Ook kan de informatie gebruikt worden in andere projecten, omdat er in het onderzoek voor elke draadloze techniek beschreven wordt in welke omgeving(en) deze het beste gebruikt kan worden.

3.2 Voorlopig model

Om in dit onderzoek een hoofdvraag te kunnen stellen is het belangrijk te weten dat er in het hele onderzoek twee variabelen zijn. De eerste is de draadloze techniek. In het onderzoek wordt geen conclusie gegeven over één enkele techniek, maar over meerdere. De tweede variabele is de omgeving. Er wordt geen conclusie gegeven over een specifieke omgeving, maar over verschillende omgevingen. Dit is belangrijk, omdat de robots in verschillende omgevingen ingezet moeten kunnen worden. Wanneer er dan in dit onderzoek een uitspraak wordt gedaan over één specifieke omgeving, is het onderzoek onbruikbaar in andere situaties.

3.2.1 Hoofdvraag

Welke communicatietechniek moet worden gekozen bij bepaalde omgevingsvariabelen?

3.2.2 Deelvragen

De centrale vraag in het onderzoek wordt opgesplitst in verschillende deelvragen. Op deze manier wordt stap voor stap naar een algehele conclusie toegewerkt, waarbij duidelijk uiteengezet kan worden welke aspecten dit onderzoek omvat.

1. *Welke draadloze communicatietechnieken zijn er en welke specificaties hebben deze?*
2. *Welke omgevingsvariabelen zijn belangrijk bij het maken van een keuze voor een communicatietechniek*
3. *Zijn de specificaties uit de standaarden aannemelijk om te gebruiken of moeten aangeschafte technieken altijd eerst uitvoerig gemeten worden?*
4. *In welke gebieden kan geen enkele draadloze communicatietechniek gebruikt worden door de robot?*

3.3 Verwachtingen

Nadat dit onderzoek is uitgevoerd beschikt de kennisgroep over informatie omtrent verschillende draadloze communicatietechnieken. Deze informatie kan gebruikt worden om de robots in verschillende situaties / omgevingen in te zetten, waarbij de techniek waarmee gecommuniceerd wordt tussen de robots is afgestemd op de omgeving.

Daarnaast worden de volgende verwachtingen gesteld over de uitkomst van het onderzoek:

- Er zijn verschillende draadloze communicatietechnieken die eigenschappen / specificaties hebben waardoor ze in gebieden gebruikt kunnen worden waar de meeste andere technieken dit niet kunnen.
- Voor elke omgeving is er een communicatietechniek waarmee de robot zou kunnen communiceren

4 PLANNING

	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
Onderzoeksplan						
Onderzoek opstellen						
Metingen verrichten						
Deelvragen uitwerken						
Conclusies schrijven						

5 UITVOERING

5.1 Theorie

Een groot deel van het onderzoek zal bestaan uit een literatuuronderzoek. Het is nodig om van alle (relevante) draadloze communicatietechnieken te beschrijven wat de specificaties zijn en in welke omgevingen de technieken kunnen worden ingezet. Daarnaast kan aan de hand van deze gegevens besloten worden welke technieken interessant zijn voor gebruik op de robot. Dit zal voornamelijk afhangen van energieverbruik, security en de hoeveelheid data die verzonden kan worden binnen een bepaalde tijd.

5.2 Praktijk

Zodra er gekozen is welke draadloze communicatietechnieken gebruikt kunnen gaan worden door de robots. Kunnen deze technieken in de vorm van USB dongels worden aangeschaft en kan er begonnen worden met metingen te verrichten aan deze dongels. Deze metingen zijn nodig om te bepalen of de gemeten waarden overeenkomen met de specificaties en of de conclusies kloppen vanuit het theoretische deel van het onderzoek. Die betrekkingen hebben op de relatie tussen de bruikbaarheid van de communicatietechnieken ten opzichte van specifieke omgevingen.

5.2.1 Wat wordt er gemeten en hoe wordt er gemeten?

Om metingen te verrichten is het belangrijk te weten hoe de metingen worden verricht en wat er wordt gemeten. De volgende paragrafen beschrijven wat er wordt gemeten hoe dat wordt gemeten.

5.2.1.1 Energieverbruik

De mate van energieverbruik wordt gemeten door een robot gedurende een bepaalde tijd te laten communiceren via een bepaalde draadloze communicatietechniek. Door met een labvoeding te meten hoeveel de robot van zichzelf aan energie verbruikt en hoeveel de robot verbruikt met een communicatietechniek aangesloten kan worden bepaald hoeveel energie een communicatietechniek aan energie verbruikt op de robot.

5.2.1.2 Data throughput

Hoeveel data kan er worden verzonden binnen een bepaalde tijd? Er kunnen verschillende omgevingen worden gesimuleerd waarbij telkens een bepaald bestand van bijvoorbeeld 10MB wordt verzonden. Er kan telkens gemeten worden hoeveel tijd dit kost en of het bestand dan ook nog zonder problemen wordt ontvangen.

5.2.1.3 Storingsgevoeligheid door interferentie / multipath fading

Ook hier kunnen verschillende omgevingen worden gesimuleerd, waarbij telkens wordt gekeken hoe storingsgevoelig een bepaalde communicatietechniek is.

5.2.1.4 Kan er verzonden worden door muren of is line of sight nodig?

Dit is in principe al bekend vanuit de specificaties, maar het is wel de moeite waard om dit in de praktijk te controleren. Er kan bijvoorbeeld een bestand worden verzonden waarbij de robots elkaar onmogelijk rechtstreeks zouden kunnen zien. Dit kan getest worden met verschillende materialen daartussen om zo te bepalen welke materialen problemen geven.

- Hout
- Staal
- Gips
- Steen
- Glas
- Enz..

5.3 Stappenplan

Om tot een goed resultaat te komen, maar ook om het onderzoek in goede banen te leiden is het nodig een stappenplan op te stellen, waarin wordt beschreven welke stappen ondernomen zullen worden om tot een goed resultaat te komen.

Hieronder volgt een puntsgewijs stappenplan:

- Centrale vraag moet worden gedefinieerd.
- Omgevingen moeten worden gedefinieerd, om enigszins zinnige conclusies te kunnen geven.
- Deelvragen worden gedefinieerd
- Technische specificaties worden van verschillende draadloze technieken op een rijtje gezet
- Aan de hand daarvan kan al enigszins worden bepaald welke techniek in welke omgeving gebruikt kan worden
- Er worden USB dongels gekocht van verschillende draadloze technieken
- De specificaties uit de standaarden worden vergeleken met de metingen die gedaan worden aan verschillende draadloze communicatietechnieken.
- Van elke draadloze communicatietechniek kan nu beschreven worden in welk soort omgevingen deze het best gebruikt kan worden.

6 DOMEIN AFBAKENING

6.1 Waarover worden uitspraken gedaan?

Uitsluitend over draadloze communicatietechnieken worden uitspraken gedaan. Er wordt op de robots gebruik gemaakt van een Wi-Fi module en er is een USB poort aanwezig waarop dongels aangesloten kunnen worden. Te denken valt hierbij aan Bluetooth of ZigBee dongels. Verder zijn er twee extensie bordjes te verkrijgen voor het Omnima bordje waarmee ook radiocommunicatie gedaan kan worden.

6.2 Waarover worden geen uitspraken gedaan?

In dit onderzoek wordt niet een bepaalde casus vastgehouden waarop het gehele onderzoek wordt gebaseerd. Wanneer dit wel gedaan wordt is het onderzoek heel beperkt en heeft de kennisgroep er later niets aan, omdat het onderzoek dan niet van toepassing is op eventuele andere toepassingsgebieden.

6.3 Beschrijving van de omgeving

Onder omgeving worden in dit onderzoek verschillende dingen verstaan. Ten eerste wordt hiermee bedoeld de plek waar de robots opereren. Dit kan zijn in nucleaire omgevingen, diep in zee, chemische fabrieken (veel interferentie) of ergens in het heelal.

Verder zijn er nog andere variabelen die ook onder omgeving worden verstaan. Bijvoorbeeld het batterijpercentage van de robot en de afstand waarvan de robot verwijderd is van een oplaadpunt.

Deze gegevens dragen allemaal bij aan de keuze voor een bepaalde communicatietechniek voor de robots.

BIJLAGE L MEETPLAN

MEETPLAN

Auteur	Wilco Boele
Studentnr.	1575812
Datum	10-10-2012
Versie	1.0
Status	Definitief
Project	Afstudeeropdracht: Woyaka

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	99
2 RATIONALE	100
2.1 Communicatietechniek	100
2.2 Energieverbruik	100
2.3 Temperatuur vs. energieverbruik	100
2.4 Vermogensverlies door objecten	100
3 MEETAPPARATUUR EN WERKWIJZE	101
3.1 Meetapparatuur / software	101
3.2 Richtingsafhankelijkheid	101
3.3 Meetmatrix	102
3.4 Planning	103
3.5 Rapportage	103
4 MEETCONDITIES	104
4.1 Achtergrond signalen	104
4.2 Binnen	105
4.3 Buiten	106
5 MEETMETHODEN	107
5.1 Meting 1: Energieverbruik stand-by	107
5.1.1 Achtergrond	107
5.1.2 Uitvoering van de meting	107
5.1.3 Meetcondities	108
5.1.4 Resultaten	108
5.2 Meting 2: Opstartsnelheid vanuit uit stand	109
5.2.1 Achtergrond	109
5.2.2 Uitvoering van de meting	109
5.2.3 Meetcondities	109
5.2.4 Resultaten	110
5.3 Meting 3: Opstartsnelheid vanuit stand-by	111
5.3.1 Achtergrond	111
5.3.2 Uitvoering van de meting	111
5.3.3 Meetcondities	111
5.3.4 Resultaten	111
5.4 Meting 4: Energieverbruik continue zenden met reikwijdte binnen	112
5.4.1 Achtergrond	112
5.4.2 Uitvoering van de meting	112
5.4.3 Meetcondities	113
5.4.4 Resultaten	114
5.5 Meting 5: Energieverbruik continue zenden met reikwijdte buiten	115
5.5.1 Achtergrond	115
5.5.2 Uitvoering van de meting	115
5.5.3 Meetcondities	115
5.5.4 Resultaten	116

6 BRONVERMELDINGEN -----	117
7 BIJLAGE A: RAPPORTAGE -----	118
8 BIJLAGE B: PLATTEGROND MEETOMGEVING-----	119
9 BIJLAGE C: MEETGEGEVENS WI-FI-----	120

DOCUMENT GESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
0.1	04-09-2012	Wilco Boele	Initiële versie
0.2	14-09-2012	Wilco Boele	Aanpassingen aan de indeling en werkwijze na een gesprek met Ronald de Leeuw van Weenen
0.3	26-09-2012	Wilco Boele	Meetplannen verder uitwerken, beschrijven waarom er geen theoretisch onderzoek komt naar vermogensverliezen. Meetomgeving tekenen.
1.0	10-10-2012	Wilco Boele	Alle tekst nagelopen en afgerond.

VOORWOORD

Voor u ligt het meetplan wat behoort tot het onderzoek van het project Woyaka. Dit document volgt op het onderzoeksplan van het project Woyaka.

Verwijzingen naar bronnen worden aangeduid met ^[1] en kunnen gevonden worden in hoofdstuk 6. Bijlagen worden aangeduid met een hoofdletter ^[A].



1 INLEIDING

Dit document is bedoeld om vast te leggen hoe de metingen verricht gaan worden binnen het onderzoek genaamd Woyaka. Dit onderzoek bevat een theoretisch deel, waarin vooral wordt gekeken naar de specificaties van verschillende communicatietechnieken. Van de communicatietechnieken die in het theoretisch deel van het onderzoek worden beschreven, worden er een aantal gekozen waarmee echte metingen gedaan worden. Deze metingen dienen om te controleren hoe betrouwbaar deze specificaties zijn en of deze in de praktijk ook bruikbaar zijn.

Om ervoor te zorgen dat deze metingen betrouwbaar en in alle gevallen onder dezelfde omstandigheden zullen plaatsvinden is dit document opgesteld. Dit document zal dus als leidraad fungeren bij het uitvoeren van de metingen. Dit document beantwoordt dan ook de vraag hoe de metingen verricht zijn en onder welke omstandigheden. Dit voorkomt ten eerste onduidelijkheid, maar ten tweede ook dat er straks verschillende dingen met elkaar vergeleken worden.

Verder kan dit document ook door anderen gebruikt worden om de metingen te reproduceren.

2 RATIONALE

In dit hoofdstuk wordt beschreven waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt en welke dingen belangrijk zijn te weten voor het begrijpen van dit document.

2.1 Communicatietechniek

Communicatietechniek betekent in dit document altijd een apparaat op zichzelf dat de mogelijkheid biedt om te communiceren over RF. Dit kan een USB dongle zijn, maar ook een ander apparaat dat RF mogelijkheid biedt. Wanneer het apparaat ook nog in andere functies voorziet dan alleen communicatie, dan betekent communicatietechniek alleen het RF onderdeel op het apparaat.

2.2 Energieverbruik

Het is belangrijk te weten dat de metingen worden uitgevoerd op de robot zelf. Dit betekent dat wanneer het energieverbruik zal worden gemeten het ook belangrijk is te weten hoeveel de robot zelf aan energie verbruikt.

Van de robot wordt alleen het energieverbruik gemeten wanneer deze niets anders aan het doen is. De robot staat alleen aan. Het valt buiten de scope van dit project om het energieverbruik te meten van alle mogelijke condities van de robot.

2.3 Temperatuur vs. energieverbruik

Ook is er gedacht aan de relatie tussen temperatuur en energieverbruik. Het idee was om het energieverbruik te meten onder verschillende omgevingstemperaturen. Na overleg met de bedrijfsbegeleider en enkele andere collega's is besloten dit niet te doen, omdat deze omgevingsvariabele voor elke communicatietechniek zal gelden en daarom voor elke communicatietechniek de uitkomst hetzelfde zal zijn. Dit is een aanname, maar op basis van de informatie die er nu is wordt de temperatuur als omgevingsvariabele ten opzichte van het energieverbruik als niet relevant geacht.

2.4 Vermogensverlies door objecten

Uit verschillende onderzoeken^[4, 5] blijkt dat het geen zin heeft om theoretisch iets te zeggen over het absorberend en reflecterend vermogen van verschillende objecten/bouwmaterialen. Dit komt, omdat dit overal verschillend is. Dit heeft te maken met andere objecten die in de buurt staan, of factoren die het signaal verzwakken of van richting doen veranderen. De enige manier om te bepalen welk vermogensverlies er op treed bij verschillende materialen is door dit te meten in een laboratorium, waar geen enkele andere factor invloed kan uitoefenen op de radiosignalen.

3 MEETAPPARATUUR EN WERKWIJZE

3.1 Meetapparatuur / software

Tijdens de metingen wordt gebruik gemaakt van de volgende apparatuur/software.

- Digitale Multimeter 250V 10A Skandia
- Zelf ontworpen applicatie, die beschikbaar is binnen Sioux.
- Voltcraft PPS 11810, 1 – 18 V/DC, 0 – 10A
- Dell Latitude E5520

3.2 Richtingsafhankelijkheid

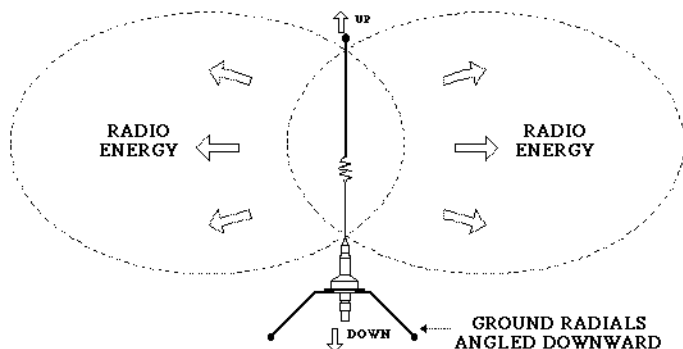
Bij twee metingen wordt er gebruik gemaakt van radiosignalen. Voor het communiceren tussen de robots wordt gebruik gemaakt van een radio die op een bepaalde (afhankelijk van welke communicatietechniek er wordt gebruikt) frequentie werkt. Dit zullen de frequenties 5.0GHz, 2.4GHz, 915MHz, 868MHz en 433MHz zijn. Waarbij 2.4GHz en 868/915MHz de meeste gebruikte zijn.

Om het signaal te kunnen uitzenden wordt er gebruik gemaakt van antennes. Deze antennes zijn in allerlei vormen te verkrijgen. Voor dit onderzoek is het belangrijk te noemen welk soort antenne er wordt gebruikt, omdat dit de reikwijdte en hoeveelheid uitgezonden vermogen bepaald. Antennes worden grofweg ingedeeld in twee categorieën:

- De omni-directionele antenne; deze straalt of ontvangt rondom
- De directionele antenne; deze straalt of ontvangt in een bepaalde richting.

In ons onderzoek wordt alleen gebruik gemaakt van een omni-directionele antenne. Dit betekent dat voor alle uitspraken die worden gedaan over reikwijdte en energieverbruik deze alleen geldend zijn voor een omni-directionele antenne. Voor directionele antennes kan er aangenomen worden dat de reikwijdte groter zal zijn en/of het energieverbruik lager. Dit komt omdat directionele antennes zo ingesteld kunnen worden dat de zender en ontvanger naar elkaar toe wijzen. Op deze manier kan het verst gestraald worden en is er minder energie nodig.

Bij de omni-directionele antenne maakt het niet uit hoe de antenne ingesteld is, behalve dat het meeste rendement wordt behaald als deze loodrecht ten opzichte van de grond wordt geplaatst^[10].



Voor de robot maakt het ook nog uit hoe deze geplaatst is ten opzichte van de ontvanger. Uit metingen is gebleken dat wanneer de robot van de ontvanger weg rijdt er een slechter signaal wordt gemeten dan wanneer de robot naar ons toe rijdt. Dit heeft te maken met de draden en printplaten van de robot die dan voor de antenne staan. In bijlage C

is een grafiek te vinden waarin deze meetgegevens staan uitgebeeld.

3.3 Meetmatrix

	Energieverbruik stand-by	Energieverbruik continue zenden	Data Rate	Reikwijdte binnen	Reikwijdte buiten	Opstartsnelheid vanuit uit stand	Opstartsnelheid vanuit stand-by	Error Rate
Energieverbruik stand-by	1							
Energieverbruik continue				4	5			
Data Rate				4	5			
Reikwijdte binnen		4	4					4
Reikwijdte buiten		5	5					5
Opstartsnelheid vanuit uit stand						2		
Opstartsnelheid vanuit stand-by							3	
Error Rate				4	5			

Zoals kan worden afgelezen uit de tabel worden verschillende metingen gecombineerd. Dit kan omdat bij een meting meerdere gegevens verzameld kunnen worden. Bij metingen vier en vijf kunnen de meeste gegevens verzameld worden. Meting vier is bedoeld voor metingen binnen en het energieverbruik. Het gevolg daarvan is, dat dan ook de data rate en error rate bepaald kunnen worden.

Dit geldt ook voor meting vijf, waarbij het enige verschil is dat de metingen buiten worden uitgevoerd. Metingen één, twee en drie zijn op zichzelf staande metingen, waardoor hier maar één gegeven verkregen kan worden.

In totaal moeten er vijf metingen gedaan worden om alle gegevens te verkrijgen.

3.4 Planning

Meting in minuten	Energieverbruik stand-by	Energieverbruik continue zenden	Data Rate	Reikwijdte binnen	Reikwijdte buiten	Opstartsnelheid vanuit uit stand	Opstartsnelheid vanuit stand-by	Error Rate
Energieverbruik stand-by	1. 120							
Energieverbruik continue				4. 120	5. 120			
Data Rate								
Reikwijdte binnen		4. 120						
Reikwijdte buiten		5. 120						
Opstartsnelheid vanuit uit stand						2. 15		
Opstartsnelheid vanuit stand-by							3. 15	
Error Rate								

Metingen	Tijd in min
Meting 1	120
Meting 2	15
Meting 3	15
Meting 4	120
Meting 5	120
Totaal	6,5 Uur

De tijden in de tabel zijn aangegeven in minuten. Per meting wordt hieronder verantwoord waarom er voor de hoeveelheid minuten is gekozen.

1. 120 minuten, deze tijd is gekozen omdat op deze manier data wordt verzameld over het energiegebruik over een langere periode. Zo kan worden gezien of het batterijverbruik constant blijft of dat er fluctuaties optreden na verloop van tijd.
2. 15 minuten, deze tijd is gekozen omdat het opstarten van de robot ongeveer 1 tot 1,5 minuut duurt. Inclusief de meting opstellen en de resultaten verwerken wordt voor deze meting 15 minuten gerekend.
3. Hiervoor geldt hetzelfde als in meting 2.
4. 120 minuten, deze tijd is gekozen omdat bij deze meting op verschillende afstanden wordt gemeten. De totale meting kan dan ook wat tijd in beslag nemen. Voor elke meting wordt ongeveer 10 minuten gerekend.
5. Hiervoor geldt hetzelfde als in meting 4.

3.5 Rapportage

In de rapportage dienen alle relevante zaken te worden gemeld die nodig zijn voor het controleren en beoordelen van de metingen. Bij elke meting staat aangegeven welke gegevens verzameld en genoteerd dienen te worden. Het rapportagetemplate^[A] kan voor elke meting gebruikt worden.

4 MEETCONDITIES

De metingen worden zowel binnen als buiten uitgevoerd, voor beide metingen worden geen ideale condities gezocht, maar wordt gewoon gemeten rond de omgeving van bedrijf (van Dijklaan 22, Amstelhoek). Dit wordt gedaan omdat de meting zo het meest realistisch is.

4.1 Achtergrond signalen

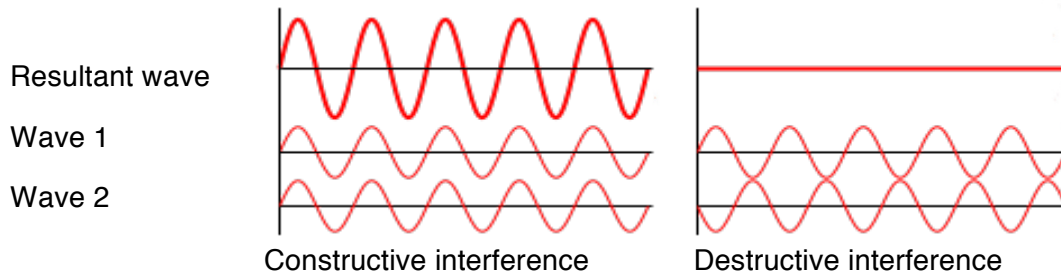
Om te laten zien in welk soort omgeving er gemeten wordt qua radio frequenties is er aan gedacht om een spectrum analyzer te gebruiken. Met een spectrum analyzer kan op een groot aantal frequenties gemeten worden of daar data over wordt verzonden.

Helaas is het niet gelukt om voor dit onderzoek een spectrum analyzer te gebruiken. Binnen Sioux is geen spectrum analyzer aanwezig en ook op school kon er niet één verkregen worden. Daarom is er voor gekozen om geen spectrum analyzer te gebruiken, maar de omgeving gewoon te omschrijven met de kennis die er al is.

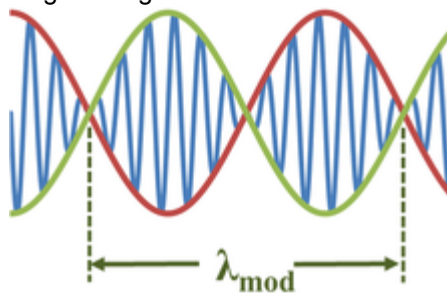
Wanneer er van een Wi-Fi station gemeten wordt hoeveel vermogen (DBm) er op een bepaalde afstand ontvangen wordt, is het belangrijk te weten of er nog meer apparaten zijn die in hetzelfde frequentiegebied data aan het versturen zijn. Dit bepaald namelijk de vermogenswaarde/signaalsterkte dat gemeten wordt. Een alledaags voorbeeld maakt duidelijk waarom. Wanneer er een conversatie plaatsvindt tussen 2 personen zonder dat anderen mensen aan het praten zijn kunnen deze 2 personen elkaar zonder moeite verstaan en kunnen ze ook over grotere afstand met elkaar praten. Stel dat er nu tien mensen bij komen die ook allemaal beginnen te praten, de één harder dan de ander. Dan moeten de twee eerste personen meer hun best doen om elkaar te verstaan en wordt de afstand waarover ze elkaar nog fatsoenlijk kunnen verstaan drastisch verminderd. Ditzelfde gebeurt ook met radiofrequenties.

Om deze reden is het goed om te weten welke signalen er in de lucht zitten en waardoor de metingen beïnvloed zouden kunnen worden. Nu is het wel zo dat deze gegevens voor elke locatie verschillend zijn. En, omdat de robots ingezet zullen worden in allerlei verschillende gebieden is er besloten om in plaats van een meting met een spectrum analyzer, een omschrijving van de meetomgeving te geven. Dit besluit is genomen nadat bekend werd dat de mogelijkheid om een spectrum analyzer te gebruiken er niet was.

In de omgeving waar de metingen plaatsvinden zijn er allerlei apparaten die het signaal kunnen beïnvloeden. Bijvoorbeeld Bluetooth apparaten die in dezelfde frequentiebanden zenden, of andere apparaten die Wi-Fi gebruiken, zoals smartphones en laptops. Apparaten die op ongeveer dezelfde frequentie zenden beïnvloeden het signaal van de robot het meest^[7]. Daarnaast kunnen andere frequenties het signaal van de robot ook beïnvloeden. Het deel van een amplitude boven de nullijn wordt een crest genoemd en het deel onder de nullijn wordt de trough genoemd. Wanneer de crest van een signaal de crest van een ander signaal passeert worden deze bij elkaar opgeteld en wordt de amplitude versterkt. Dit wordt constructieve interferentie genoemd. Wanneer de crest van een signaal de trough van een ander signaal passeert wordt de amplitude gelijk aan het verschil tussen deze twee en wordt het signaal dus afgezwakt. Dit wordt destructieve interferentie genoemd. Zie de volgende figuur om dit duidelijk te maken.



Wanneer deze verschijnselen plaatsvinden bij frequenties die weinig verschillen in golflengte en frequentie treed er een beat op. In het akoestisch spectrum zou dit gehoord kunnen worden, omdat het signaal dan telkens aan en uit zou gaan, zodra de frequenties verder uit elkaar komen te liggen wordt dit niet meer gehoord als aan en uit, maar als een onzuiver/trillend geluid^[(11)] (wanneer we het over het akoestisch spectrum hebben). Zie voor de duidelijkheid de volgende figuur.



A modulated wave resulting from adding two sine waves of nearly identical wavelength and frequency^[9].

Deze effecten bepalen de meetwaarden uit de onderzoeken. Om ervoor te zorgen dat deze effecten geminimaliseerd worden in de resultaten, worden de metingen meerdere keren uitgevoerd. Waarbij wel bedacht moet worden, dat deze effecten nooit helemaal uitgebund kunnen worden, tenzij de metingen in een laboratorium worden uitgevoerd.

4.2 Binnen

In bijlage B is een plattegrond te zien van de belangrijkste delen van het gebouw waarin de metingen plaatsvinden. In deze plattegrond staan ook de objecten aangegeven zoals die staan in het gebouw. De muren die buiten en binnen scheiden zijn 40 cm dik. De dubbelsteense muren in het gebouw zijn 24 cm dik en de enkelsteense muren in het gebouw zijn 12 cm dik. De binnenmuren zijn gemaakt van rode metselstenen en de muur die buiten en binnen scheidt is gemaakt bekleed met rode metselstenen en heeft van binnen een spouw. In bijlage C zijn meetresultaten te zien waarin het effect te zien is van zulke muren op de radiosignalen. (TODO)

Verder zijn er in de buitenmuren ramen geplaatst die ook gezien kunnen worden in de plattegrond^[B]. De deuren in het gebouw zijn van hout gemaakt en zijn 4cm dik.

4.3 Buiten

In de metingen die gedaan worden betekend 'buiten' de nabije omgeving van het pand waarin de afstudeeropdracht wordt uitgevoerd (van Dijklaan 22, Amstelhoek). Rondom het pand zijn verschillende parkeerplekken, waarop auto's staan. Auto's zitten vol metalen en zullen de radio signalen absorberen en reflecteren. Daarnaast staan er veel bomen om het pand en ook deze zullen de signalen absorberen, omdat er veel water in bomen zit. Verder staan er rondom het gebouw huizen die de signalen zullen reflecteren.



Noordwest kant van het bedrijfspand 1



Noordoost kant van het bedrijfspand 1

5 MEETMETHODEN

5.1 Meting 1: Energieverbruik stand-by

5.1.1 Achtergrond

Deze meting wordt gedaan, omdat het belangrijk wordt geacht te weten hoeveel energie er wordt verbruikt onder bepaalde omstandigheden. Met deze informatie kan worden bepaald wat de actieradius is van de robots en hoe lang deze weg kunnen blijven zonder terug te keren naar een oplaadpunt. Het belangrijkste uit deze meting is om te bepalen wat het energieverbruik is van de robot zonder dat de communicatietechniek data aan het verzenden is, waarbij de communicatietechniek zelf wel aan moet staan.

Tevens moet worden vastgesteld wat het energieverbruik van de robot is zonder dat de communicatietechniek aangesloten is of aan staat. Dit kan met deze zelfde meetmethode gedaan worden. Op deze manier kan het verschil berekend worden en kan uitgerekend worden wat de communicatietechniek zelf aan energie verbruikt.

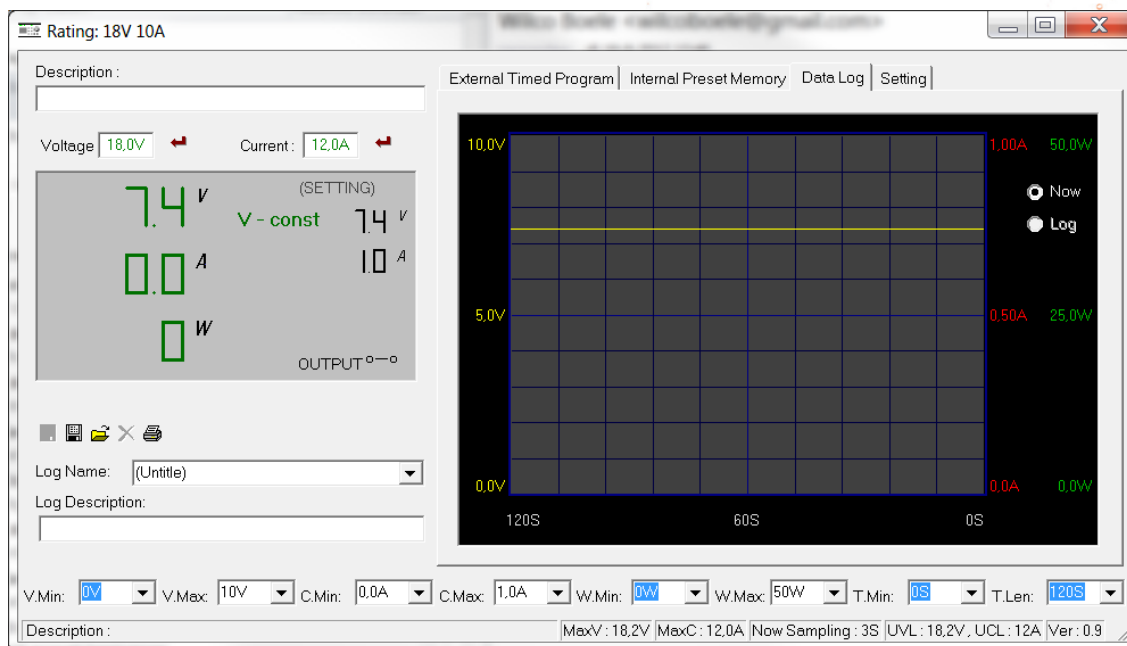
5.1.2 Uitvoering van de meting

De robot wordt aangesloten op de voltcraft voeding. Deze voeding kan een stroom en voltage leveren die nodig zijn voor de robot. Met deze voltcraft voeding kan uitgelezen worden wat het stroomverbruik is door deze via een USB kabel aan te sluiten aan een computer. Hier kunnen grafieken mee worden gegenereerd.

De volgende instellingen moeten worden gehandhaafd tijdens de meting:

- Een maximale spanning van 7.4 V
- Een maximale stroom van 1.0 A, om te voorkomen dat er hardware kapot gaat, doordat er teveel stroom getrokken zou worden door de robot, om wat voor reden dan ook.
- De voeding moet aangesloten worden aan ingang 1 van de robot





De volgende instellingen moeten gedaan worden in de software:



5.1.3 Meetcondities

Voor deze meting maakt het niet uit in welke omgeving de robot(s) geplaatst zijn. Het energieverbruik is voor alle communicatietechnieken gelijk in elke omgeving. Als er toch meer energie wordt verbruikt vanwege de omgeving, dan is dat voor alle metingen hetzelfde, waardoor het niet relevant is om te noteren.

5.1.4 Resultaten

In deze meting worden de volgende resultaten genoteerd.

- Welke communicatietechniek is aangesloten op de robot
- De tijd dat de robot aan heeft gestaan
- Een grafiek of resultaten uit de volcraft, waaruit opgemaakt kan worden wat het energieverbruik* is, wanneer de communicatietechniek aan staat.
- Een grafiek of resultaten uit de volcraft, waaruit opgemaakt kan worden wat het energieverbruik* is, wanneer de communicatietechniek uit staat of niet aangesloten is.

*Het energieverbruik wordt altijd in Watts of milliwatts genoteerd.

5.2 Meting 2: Opstartsnelheid vanuit uit stand

5.2.1 Achtergrond

Deze meting wordt gedaan, omdat het soms van belang is dat er snel gereageerd kan worden door de robots. Ook kan het zijn dat er telkens gecontroleerd moet worden of een robot nog operatief is. In dit geval kan er natuurlijk telkens een verbinding worden opgezet en dan worden gekeken of iedereen nog reageert, maar als een robot dan niet reageert kan dit net zo goed betekenen dat deze buiten de reikwijdte van de communicatietechniek is gekomen. Daarom kan er beter constant een verbinding worden onderhouden. En wanneer een robot dan plotseling geen verbinding met het netwerk meer heeft, kan dit voor de andere robots een indicatie zijn dat de robot niet meer operatief is.

5.2.2 Uitvoering van de meting

De robot zal voor elke communicatietechniek zo ingesteld worden dat deze altijd een netwerk op zet. Zodra dit netwerk opgezet is kan deze worden gevonden door de laptop of een andere ontvanger. De tijd die verstrijkt totdat er een verbinding is gemaakt door het ontvangende apparaat met dit netwerk wordt dan de opstart tijd genoemd. Deze tijd wordt gemeten met een stopwatch.

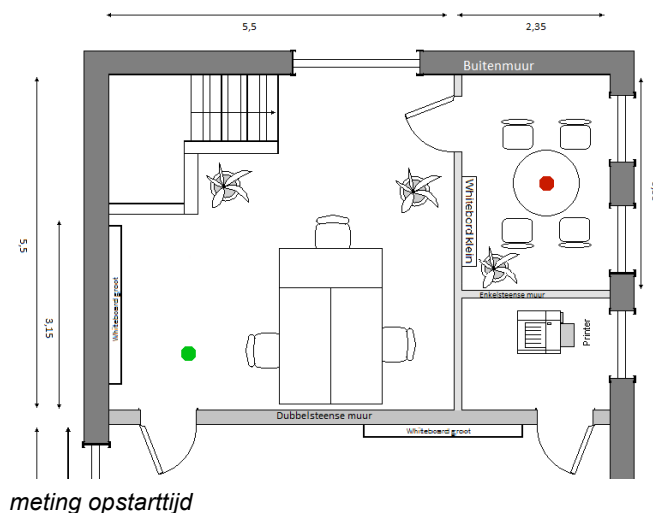
Wi-Fi en Bluetooth interfaces kunnen in Windows zo worden ingesteld dat deze automatisch met een netwerk verbinding maken.

De robot wordt volledig uitgezet voordat de meting begint. De stopwatch wordt aangezet zodra de robot wordt aangezet. De robot zal dan opstarten en als laatste een Wi-Fi netwerk opstarten.

5.2.3 Meetcondities

Deze meting wordt uitgevoerd in een omgeving waarbij de robots elkaar niet kunnen 'zien', onder normale omstandigheden. Het kan wel verschil maken voor de resultaten in welke omgeving de meting uitgevoerd wordt. De tijd loopt namelijk totdat er verbinding is met een andere robot en de eerste data is verstuurd. In omstandigheden waarbij de radio signalen van alle kanten verstoord worden, is het goed mogelijk dat het langer duurt voordat er een verbinding is opgezet.

Hieronder volgt een tekening van de meetopstelling. De groene stip is de ontvanger (laptop) en de rode stip is de robot.



5.2.4 Resultaten

In deze meting worden de volgende resultaten genoteerd.

- Welke communicatietechniek is aangesloten op de robot
- De tijd die het heeft geduurd voordat de robot voor het eerst kon communiceren



5.3 Meting 3: Opstartsnelheid vanuit stand-by

5.3.1 Achtergrond

Zie paragraaf 5.2.1

5.3.2 Uitvoering van de meting

De robot zal voor elke communicatietechniek zo ingesteld worden dat deze altijd een netwerk op zet. Zodra dit netwerk opgezet is kan deze worden gevonden door de laptop of een andere ontvanger. De tijd die verstrijkt totdat er een verbinding is gemaakt door het ontvangende apparaat met dit netwerk wordt dan de opstart tijd genoemd. Deze tijd wordt gemeten met een stopwatch.

Wi-Fi en Bluetooth interfaces kunnen in Windows zo worden ingesteld dat deze automatisch met een netwerk verbinding maken.

De robot staat aan voordat de meting begint, maar de netwerkkinterface is uitgeschakeld. Er is een script gemaakt die de netwerkkinterface zal starten. Zodra dit script wordt gestart gaat ook de stopwacht lopen.

5.3.3 Meetcondities

Zie paragraaf 5.2.3

5.3.4 Resultaten

Zie paragraaf 5.2.4

5.4 Meting 4: Energieverbruik continue zenden met reikwijdte binnen

5.4.1 Achtergrond

Deze meting wordt gedaan, omdat er aangenomen wordt dat het energieverbruik zal toenemen zodra de robots op een grotere afstand van elkaar moeten communiceren. Het is alleen niet bekend of dit voor alle communicatietechnieken geldt en hoeveel het energieverbruik zal toenemen.

Om deze reden wordt deze meting uitgevoerd, zodat na de meting bekend is of de robots bij een laag energieniveau een andere strategie moeten kiezen.

5.4.2 Uitvoering van de meting

5.4.2.1 Energieverbruik

Zie paragraaf 5.1.2

5.4.2.2 Data Throughput

Op de robot moet een script worden geschreven die een bestand van exact 2MB en een bestand van exact 10MB maakt. Deze bestanden worden gebruikt voor het meten van de data throughput. Dit script bevat de volgende inhoud:

```
#bin/ash
dd if=/dev/zero of=file_2MB bs=2097152 count=1
dd if=/dev/zero of=file_10MB bs=10485760 count=1
```

Zodra dit script wordt uitgevoerd, worden de twee bestanden aangemaakt. Het bestand met 2MB inhoudt bestaat uit 2097152 bytes ($1024 \times 1024 \times 2$). En het bestand met

10 MB inhoudt bestaat uit 10485760 bytes ($1024 \times 1024 \times 10$).

Er is een PHP script ontwikkeld voor de robot waarmee data verzonden kan worden naar een client. Hieronder volgt een tabel waarin staat aangegeven hoeveel data er verzonden zal worden per communicatietechniek.

Communicatietechniek	Hoeveelheid MB dat gedownload wordt
Wi-Fi	10MB
Bluetooth	2MB
XBee	2MB

Met een C# programma kan de data worden opgevraagd uit de robot. Het C# programma zal het PHP script aanroepen. Daarna zal dit programma berekenen hoe lang de data overdracht geduurd heeft en hoeveel MB er is ontvangen, aan de hand daarvan wordt bekend wat de data throughput is. Door ook te kijken met welke data rate de communicatietechniek data verstuurd, kan er bepaald worden hoeveel data er werkelijk verzonden kan worden bij een bepaalde data rate. In het programma kan er ook voor gekozen worden om de data meerdere keren achter elkaar te downloaden, op die manier kan er een gemiddelde data throughput berekend worden. Door het bestand bijvoorbeeld 100 keer te downloaden, wordt de meting meer betrouwbaar.

5.4.2.3 Reikwijdte

In deze meting is er voor gekozen om de robots zo te plaatsen dat er geen sprake is van line of sight. Ze kunnen elkaar dus niet "zien". In deze meting wordt één robot gebruikt en een laptop als ontvanger. Tussen deze twee kunnen allerlei objecten staan (muren, tafels, planten en mensen), dit simuleert een omgeving zoals die overal tegengekomen kan worden. De meting vindt binnen plaats^[B]. Vervolgens worden beide apparaten opgesteld en worden ze op 1 meter

van elkaar afgezet. Op deze manier vindt de eerste meting plaats. Daarna wordt de meting herhaald op steeds een aantal meter verder. In de tabel hieronder wordt weergegeven hoeveel meter er steeds opgeschoven dient te worden bij de verschillende communicatietechnieken.

Communicatietechniek	Aantal meters tussen elke meting
Wi-Fi	2 meter
Bluetooth	1 m
XBee	1 m

5.4.2.4 Error rate

Met hetzelfde programma als waarmee de data throughput wordt gemeten, wordt ook gemeten hoe vaak een bestandsoverdracht fout gaat. In het programma kan worden aangegeven hoe groot het bestand moet zijn dat gedownload moet worden, maar ook hoe vaak dit bestand gedownload moet worden achter elkaar. Er wordt dan bijgehouden hoe vaak dit goed gaat en hoe vaak dit mis gaat.

Er is in eerste instantie gedacht om de hoeveelheid fouten te meten die tijdens één bestandsoverdracht optreden (pakketjes die niet aankomen en die door het TCP protocol opnieuw worden opgevraagd), maar achteraf gezien lijkt dit niet erg nuttig te zijn, omdat het niet interessant wordt geacht te weten hoeveel fouten er in de datastroom optreden terwijl de bestandsoverdracht wel gewoon wordt voltooid, maar juist hoeveel bestandsoverdrachten er echt mislukken. Met deze informatie kan namelijk veel beter bepaald worden of een communicatietechniek betrouwbaar is of niet. Wanneer het namelijk van belang is dat 99% van alle bestandsoverdrachten voltooid worden, maar een communicatietechniek kan er in bepaalde omstandigheden maar 90% voltooien, kan er altijd beslist worden om een andere communicatietechniek in te zetten.

In de volgende tabel wordt weergegeven hoeveel keer een bestand gedownload moet worden per communicatietechniek.

Communicatietechniek	Aantal downloads per meting
Wi-Fi	1000
Bluetooth	100
XBee	100

5.4.3 Meetcondities

De robots worden zo geplaatst dat ze elkaar niet kunnen "zien". Dit betekent dat er objecten tussen de robot en de ontvanger staan, dit maakt het communiceren lastiger, waardoor er waarschijnlijk een hoger zendvermogen moet worden gebruikt. De metingen worden binnen uitgevoerd. Dit betekent dat er allerlei objecten zijn die het signaal reflecteren, absorberen of geleiden. De reikwijdte wordt naar bepaalde plekken dan waarschijnlijk drastisch verminderd, maar op andere plekken zou de reikwijdte groot blijven. Zie voor verdere informatie over deze condities paragraaf 4.1.

Bij elke meting wordt de robot 2 meter verder van de ontvanger gezet, dit geldt voor alle communicatietechnieken. Op die manier kunnen er verbanden gelegd worden tussen bijvoorbeeld de error rate en reikwijdte.

In de volgende figuur wordt de meetopstelling getoond. De groene stip in de figuur stelt de ontvanger voor. De rode stip stelt de robot voor. In de figuur kan gezien worden dat sommige meetpunten midden in een muur verschijnen. In deze gevallen wordt de robot net naast de muur geplaatst. Ook ontbreekt er halverwege een rode stip, omdat deze zich buiten zou bevinden.



Meetopstelling metingen binnen

5.4.4 Resultaten

In deze meting worden de volgende resultaten genoteerd.

- Welke communicatietechniek is aangesloten op de robot
- Een grafiek of resultaten uit de voltcraft, waaruit opgemaakt kan worden wat het energieverbruik* is.
- De gemiddelde data rate
- Wat de afstand was tussen de zender en ontvanger, plus het ontvangen vermogen
- Het aantal keer dat een bestandsoverdracht is mislukt (error rate)

*Het energieverbruik wordt altijd in Watts of milliwatts weergegeven.

5.4.4.1 Betrouwbaarheid

Omdat de resultaten vanwege verschillende omstandigheden kunnen afwijken op verschillende momenten, worden er meerdere metingen gedaan. De gegevens worden dan met elkaar vergeleken en gemiddeld en daaruit komt dan een meer betrouwbaar gegeven per meting. Hieruit kan dan ook een foutmarge opgemaakt worden.

5.5 Meting 5: Energieverbruik continue zenden met reikwijdte buiten

5.5.1 Achtergrond

Deze meting wordt gedaan, omdat er aangenomen wordt dat het energieverbruik zal toenemen zodra de robots op een grotere afstand van elkaar moeten communiceren. Het is alleen niet bekend of dit voor alle communicatietechnieken geldt en hoeveel het energieverbruik zal toenemen.

Om deze reden wordt deze meting uitgevoerd, zodat na de meting bekend is of de robots bij een laag energieniveau een andere strategie moeten kiezen.

5.5.2 Uitvoering van de meting

5.5.2.1 Energieverbruik

Zie paragraaf 5.1.2

5.5.2.2 Data throughput

Zie paragraaf 5.4.2.2

5.5.2.3 Reikwijdte

Zie paragraaf 5.4.2.3

5.5.2.4 Error rate

Zie paragraaf 5.4.2.4

5.5.3 Meetcondities

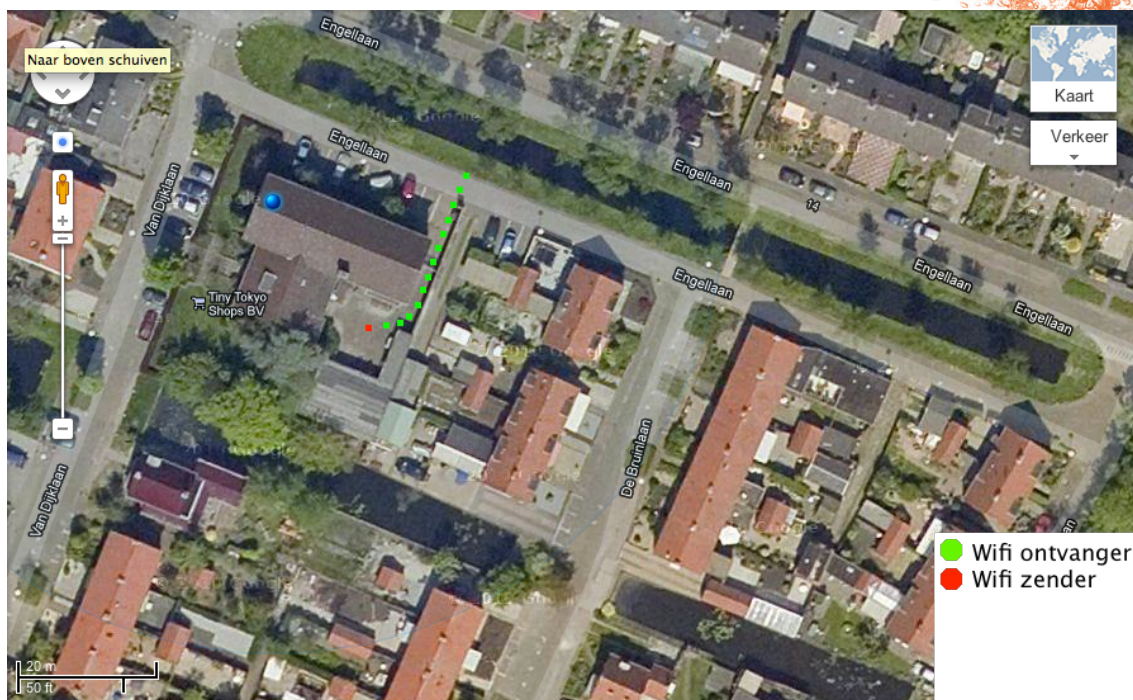
De robots worden zo geplaatst dat ze elkaar niet kunnen "zien". Dit betekent dat er objecten tussen de robot en de ontvanger staan, dit maakt het communiceren lastiger, waardoor er waarschijnlijk een hoger zendvermogen moet worden gebruikt. De metingen worden binnen uitgevoerd. Dit betekent dat er allerlei objecten zijn die het signaal reflecteren, absorberen of geleiden. De reikwijdte wordt naar bepaalde plekken dan waarschijnlijk drastisch verminderd, maar op andere plekken zou de reikwijdte groot blijven.

Verder zijn er nog allerlei achtergrond signalen in de lucht. Er zijn bijvoorbeeld Bluetooth apparaten die in dezelfde frequentiebanden zenden, of andere apparaten die Wi-Fi gebruiken, zoals smartphones en laptops. Al deze apparaten beïnvloeden de metingen, maar om een foutmarge te kunnen geven zullen de metingen verscheidene keren herhaald worden, om toch tot betrouwbare conclusies te komen.

In het geval van Wi-Fi apparaten wordt bij elke meting de robot 5 meter verder van de ontvanger gezet. In gevallen waarbij theoretisch al bekend is dat deze een kleine reikwijdte hebben wordt de robot steeds 2 meter verplaatst.

Op die manier kunnen er verbanden gelegd worden tussen bijvoorbeeld de error rate en reikwijdte.

In de volgende figuur wordt de meetopstelling weergegeven. Er worden twee meetopstellingen getoond. Eén waarmee de meetopstelling wordt getoond voor Wi-Fi apparaten en één waarmee de meetopstelling wordt getoond voor apparaten waarvan theoretisch al bekend is dat deze een kleine reikwijdte hebben.



Meetopstelling metingen buiten

5.5.4 Resultaten

In deze meting worden de volgende resultaten genoteerd.

- Welke communicatietechniek is aangesloten op de robot
- Een grafiek of resultaten uit de volcraft, waaruit opgemaakt kan worden wat het energieverbruik* is.
- De gemiddelde data rate
- Wat de afstand was tussen de zender en ontvanger, plus het ontvangen vermogen
- Het aantal keer dat een bestandsoverdracht is mislukt (error rate)

*Het energieverbruik wordt altijd in Watts of milliwatts weergegeven.

5.5.4.1 Betrouwbaarheid

Zie paragraaf 5.4.4.1.



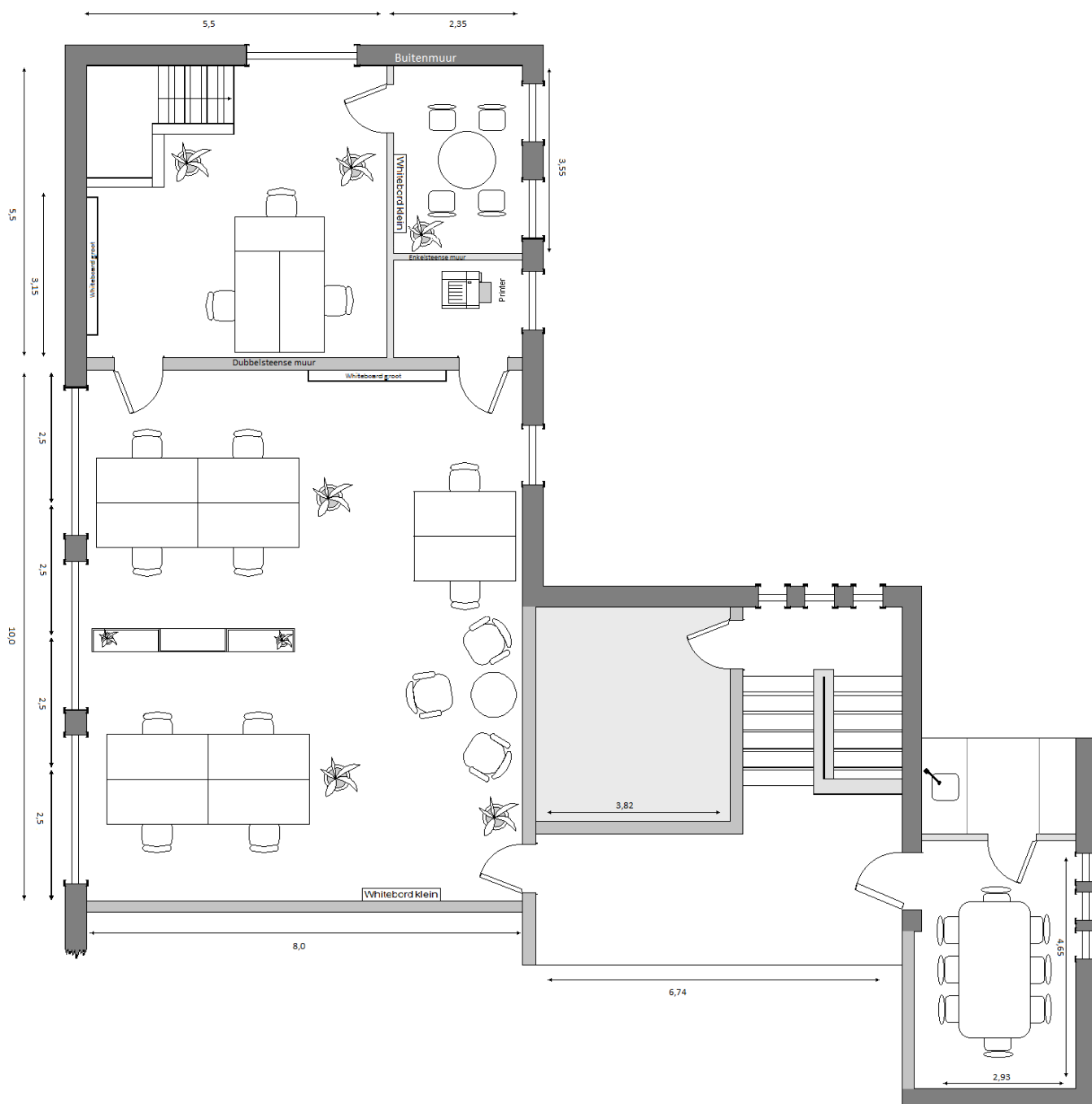
6 BRONVERMELDINGEN

- [1] [TNO onderzoek naar piekgeluiden bij laden en lossen, alleen gebruikt om een idee op te doen hoe meetmethoden worden beschreven - \[http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEgQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.piek-international.com%2Finclude%2FdownloadFile.asp%3Fid%3D3&ei=Vc5FUI_NDoOt0QWjvIHgAw&usg=AFQjCNGOOrC4ybSj8SYpmM7M0GNf_2UQA&sig2=c4xmE55WeZajgJCaV2alyA\]\(http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEgQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.piek-international.com%2Finclude%2FdownloadFile.asp%3Fid%3D3&ei=Vc5FUI_NDoOt0QWjvIHgAw&usg=AFQjCNGOOrC4ybSj8SYpmM7M0GNf_2UQA&sig2=c4xmE55WeZajgJCaV2alyA\)](http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEgQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.piek-international.com%2Finclude%2FdownloadFile.asp%3Fid%3D3&ei=Vc5FUI_NDoOt0QWjvIHgAw&usg=AFQjCNGOOrC4ybSj8SYpmM7M0GNf_2UQA&sig2=c4xmE55WeZajgJCaV2alyA)
- [2] [Radio propagation - http://www.astrosurf.com/luxorion/qsI-propa.htm](http://www.astrosurf.com/luxorion/qsI-propa.htm)
- [3] [Digitale Multimeter Skandia 250V - http://www.totaal-gereedschap.nl/epages/62779745.sf/nl_NL/?ObjectPath=/Shops/62779745/Products/1040531](http://www.totaal-gereedschap.nl/epages/62779745.sf/nl_NL/?ObjectPath=/Shops/62779745/Products/1040531)
- [4] [Outdoor-to-indoor propagatie - http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/750/RUG01-001311750_2010_0001_AC.pdf](http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/750/RUG01-001311750_2010_0001_AC.pdf)
- [5] [Propagation Losses Through Common Building Materials - http://www.ko4bb.com/Manuals/05\)_GPS_Timing/E10589_Propagation_Losses_2_and_5GHz.pdf](http://www.ko4bb.com/Manuals/05)_GPS_Timing/E10589_Propagation_Losses_2_and_5GHz.pdf)
- [6] [Absorptie - http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw_04_07_02.html](http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw_04_07_02.html)
- [7] [Interferentie - http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3116531](http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3116531)
- [8] [Foutentheorie - http://home.scarlet.be/jourivl/Fysica/Lesmateriaal/6e_jaar/Foutentheorie.pdf](http://home.scarlet.be/jourivl/Fysica/Lesmateriaal/6e_jaar/Foutentheorie.pdf)
- [9] [Interferentie - http://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_\(waves\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_(waves))
- [10] [Plaatsen van antennes - http://www.data-linc.com/instinst/antenna/antenna.htm](http://www.data-linc.com/instinst/antenna/antenna.htm)
- [11] [Frequency beats - http://www.youtube.com/watch?v=5hxQDAmdNWE](http://www.youtube.com/watch?v=5hxQDAmdNWE)

7 BIJLAGE A: RAPPORTAGE

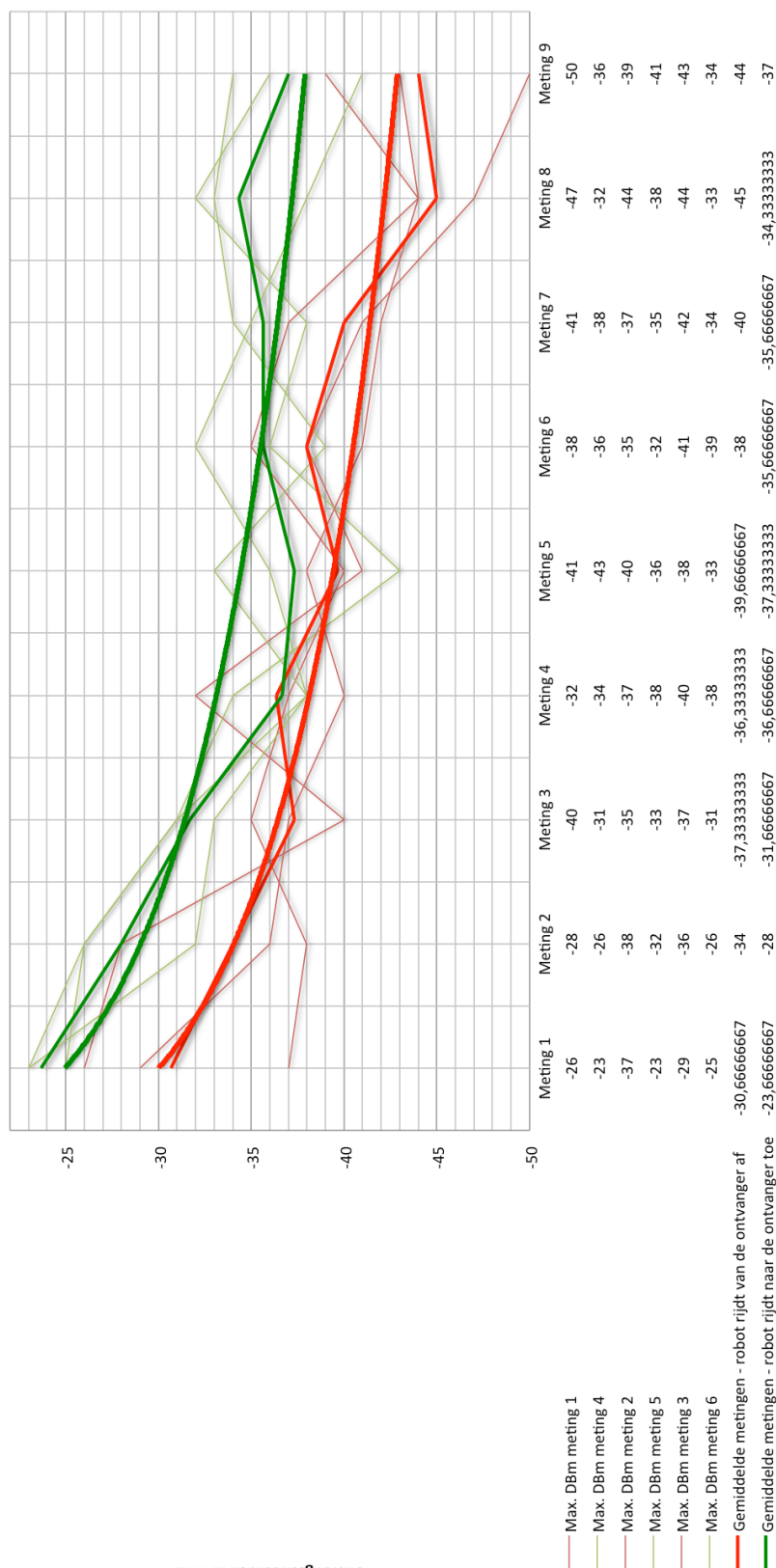
Rapportage	
Doel van de meting	
Meetobject	
Productnaam	
Typeaanduiding	
Serie- of registratienummer	
Meetmethode	
Titel en verwijzing naar hoofdstuk van rapport meetmethode	
Indien van toepassing, vermelding van afwijkingen van de methodiek en reden	
Meetomgeving	
Omschrijving van de meetlocatie	
Datum en tijdstip van de metingen	
Indien buiten, omschrijving van de weersomstandigheden	
Afstand tot reflecterende objecten (muren, staal enz)	
Indien binnen, afmetingen en aankleding van de ruimte	
Omschrijving van radiosignalen in de omgeving	
Indien mogelijk, foto van het meetobject met de nabije	
Meetapparatuur	
Lijst gebruikte meetapparatuur met type, typenummer, serienummer en indien mogelijk laatste datum kalibratie	
Meetgrootheid	
Gemeten niveaus en verwerking	
Indien van toepassing, afstand tussen de metingen	
Meting	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Energieverbruik communicatiemedia uit	
Energieverbruik stand-by	
Energieverbruik continue zenden	
Data Throughput	
Reikwijdte binnen	
Reikwijdte buiten	
Error Rate	
Opstartsnelheid vanuit uit stand	
Opstartsnelheid vanuit standby	
Aantal middelingen en type middeling	

8 BIJLAGE B: PLATTEGROND MEETOMGEVING



9 BIJLAGE C: MEETGEGEVENS WI-FI

Vermogensverlies door afstand en richting van de robot



Bij deze meting is binnen gemeten en telkens één meter verder tot op een afstand van 10 meter.

Bij de eerste meting (groene lijnen) reed de robot van de ontvanger af en bij de tweede meting reed de robot naar de ontvanger toe (rode lijnen). In de grafiek is aan de zwarte trendlijnen te zien dat de ontvangst beduidend minder wordt als de robot van de ontvanger weg rijdt. Andersom is er juist een betere verbinding als de robot naar de ontvanger toe rijdt.

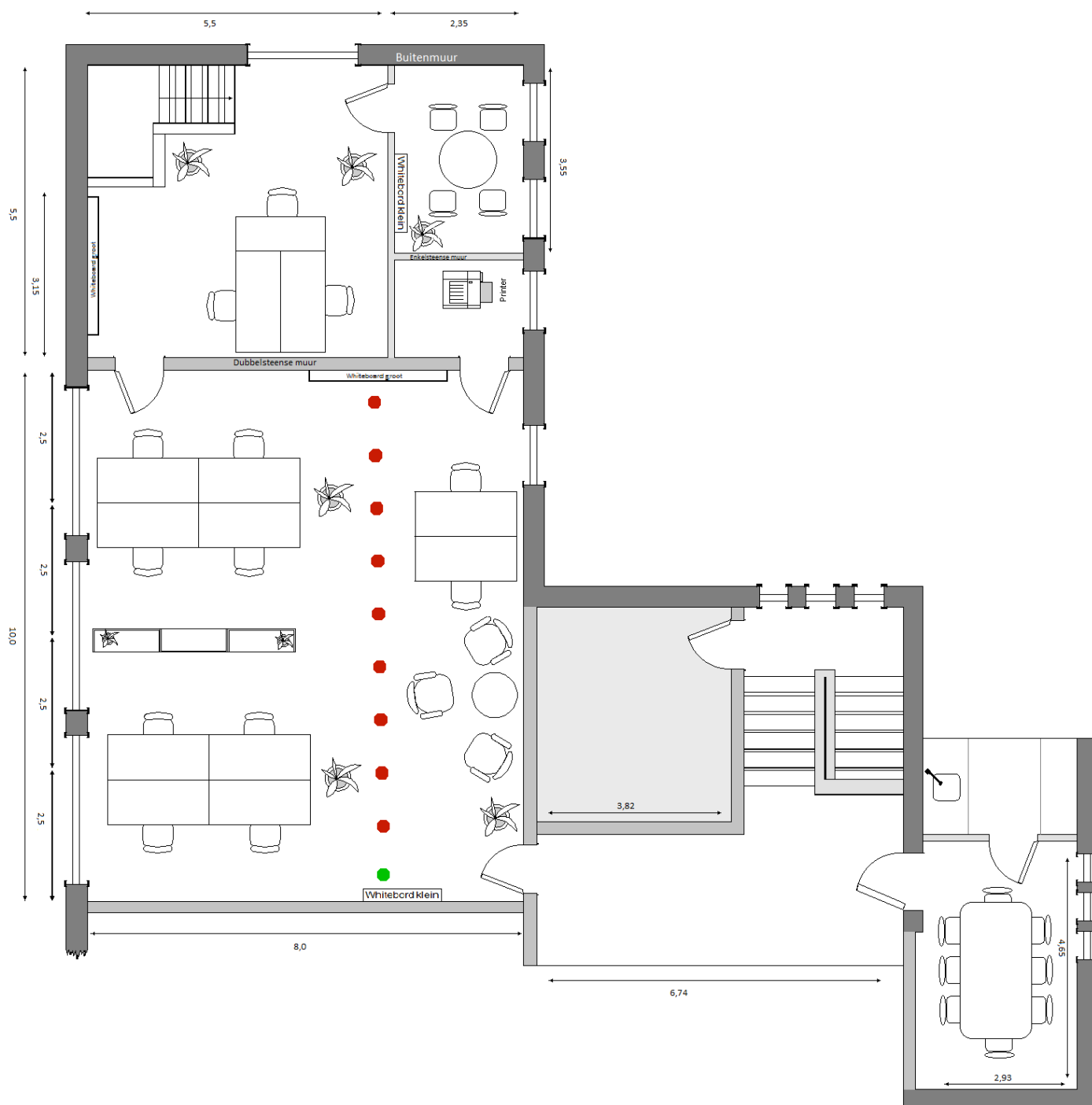
De dikgekleurde trendlijnen zijn gemaakt, omdat de metingen door verschillende omgevingsvariabelen worden beïnvloed. De metingen afzonderlijk kunnen dus op een ander tijdstip een iets ander resultaat geven, maar algemeen gezien (en daar zijn de trendlijnen voor) is het ontvangen signaal zwakker of sterker, afhankelijk van de richting waarheen de robot staat.

De meetresultaten worden weergegeven in dBm. Voor de meting is gebruik gemaakt van het programma 'WirelessMon'. De absolute fout die dit softwarepakket kan maken in deze metingen is 1 dBm, omdat dit de kleinste mogelijke onderverdeling is in de meetsoftware. De procentuele fout wordt berekend aan de hand van de volgende formule^[8]

$$P.F. (meting) = \frac{AF(meting)}{metingen} \cdot 100 \text{ procent}$$

$$P.F. (meting) = \frac{1dBm}{42dBm} \cdot 100 = 2,3 \text{ procent}$$

Zie de volgende pagina voor de meetopstelling van deze meting. De rode stippen geven de meetlocaties aan, die steeds één meter opschuiven. De groene stip is de ontvanger.



Meetopstelling Wi-Fi

BIJLAGE M TECHNISCH ONTWERP

TECHNISCH ONTWERP

Auteur	Wilco Boele
Studentnr.	1575812
Datum	14-12-2012
Versie	1.0
Status	Definitief
Project	Afstudeeropdracht: Woyaka

DOCUMENT GESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
0.1	19-10-2012	Wilco Boele	Initiële versie
0.2	23-10-2012	Wilco Boele	Diagrammen toegevoegd met beschrijvingen.
0.3	22-11-2012	Wilco Boele	Herziening van de diagrammen met beschrijvingen
0.4	29-11-2012	Wilco Boele	Opmerkingen verwerken naar aanleiding van de review door Ronald de Leeuw van Weenen (Senior Software Designer).
0.5	04-12-2012	Wilco Boele	Activity diagrams aanpassen en ontwikkelomgevingen toegevoegd.
0.6	05-12-2012	Wilco Boele	Opmerkingen verwerken naar aanleiding van de review door David Meijers (software architect).
1.0	14-12-2012	Wilco Boele	Referenties bijgewerkt.

WOORD VOORAF

Voor u ligt het technisch ontwerp wat behoort tot de opdracht tot het maken van een plattegrond door de robot van het project Woyaka. Dit document volgt op het plan van aanpak⁰ van het project Woyaka.

Verwijzingen naar bronnen worden aangeduid met ^[1] en kunnen gevonden worden in hoofdstuk 12. Bijlagen worden aangeduid met een hoofdletter ^[A].

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	128
2 HARDWARE	129
2.1 Algemeen	129
2.2 Omnima MiniEMBWiFi	129
2.3 Dagü 48 Servo Red Black spider	129
2.3.1 Afstandssensoren	129
2.3.2 Kompas sensor	130
2.3.3 Motor encoders	130
2.3.4 Motor current	131
2.3.5 Processen	131
2.4 Dagü 4 Channel DC Motorcontroller with encoder support	131
2.5 Zelfgebouwde printplaat	131
2.5.1 Motor encoders & Motor current	131
2.5.2 Afstandssensoren	132
2.5.3 LED verlichting	132
2.5.4 Seriele communicatie	133
2.5.5 Resultaat	134
3 OMGEVING SCANNEN	135
4 DATA VERZENDEN	137
5 ONTWIKKELOMGEVINGEN	138
5.1 Arduino	138
5.2 OpenWrt binnen Ubuntu 12.04	138
5.3 Visual Studio Express 2010	138
6 USE CASE	139
6.1 Use case diagram	139
6.2 Use case beschrijvingen	140
7 CONSTRAINTS MODEL	143
8 TECHNISCHE VERDELING	144
8.1 Deployment Model	144
9 ACTIVITY DIAGRAMS	145
9.1 Start plattegrond creëren	145
9.2 Stop robot	146
9.3 Plattegrond verzenden	147
9.4 Richting wijzigen	148
9.5 Snelheid wijzigen	149

9.6 Update plattegrond-----	150
9.6.1 Rijrichting veranderen-----	151
9.6.2 Achteruit rijden-----	152
10SEQUENCE DIAGRAM^[1, 2]-----	153
11CLASS DIAGRAM-----	154
11.1 Relaties tussen de klassen-----	154
12BRONNEN-----	156
13BIBLIOGRAFIE-----	156
14BIJLAGE A: HARDWARE SPECIFICATIES-----	157
14.1 Omnima MiniEMBWiFi ^[3] -----	157
14.2 Dagü 48 Servo Red Back Spider Robot Controller ^[4] -----	157
14.3 SRF02 Ultrasonic distance sensor ^[5] -----	157
14.4 CMPS10 Compass ^{[6][7]} -----	158

1 INLEIDING

Dit document beschrijft de werking van het autonoom rijden en het maken van een plattegrond door de robot. De robot bestaat uit meerdere hardware componenten die allemaal samen moeten werken om dit mogelijke te maken.

Er wordt eerst op eenvoudige wijze getoond wat een gebruiker kan met deze software.

Vervolgens wordt aan de hand van activity diagrams getoond hoe dit in de software gerealiseerd is. Deze diagrammen laten de program flow zien.

Als laatst wordt er een sequence diagram gegeven van het maken van een plattegrond. Dit diagram laat de berichten tussen de verschillende hardware componenten zien in een tijdsverloop.

De diagrammen zijn opgebouwd volgens UML 2.0.

2 HARDWARE

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt voornamelijk de aansturing en werking van de hardware beschreven. Om de hardware goed samen te laten werken is er een printplaat gebouwd om de hardware met elkaar te verbinden, maar ook om ervoor te zorgen dat sommige hardware niet stuk zou kunnen gaan door fouten in de software. Hoe deze printplaat in elkaar zit en hoe deze gebouwd kan worden wordt in een aparte paragraaf beschreven.

De hardware die nodig is om de robot te laten functioneren was al aanwezig voordat de afstudeeropdracht begon. Hierin zijn verder geen keuzes gemaakt.

2.2 Omnima MiniEMWiFi

De Omnima MiniEMWi-Fi^[3] beschikt over een 320MHz processor en draait op een Linux Distributie van OpenWrt^[8]. Dit bordje wordt gebruikt voor communicatie van en naar de robot. De communicatie met de buitenwereld kan verlopen via de Wi-Fi adapter of via een communicatietechniek die is aangesloten via de USB poort.

2.3 Dagü 48 Servo Red Black spider

De Dagü 48 Red Black Spider Controller^[4] beschikt over een processor die draait op 16MHz. Verder is er 128KB Flash geheugen aanwezig en 8KB RAM.

Dit heeft als consequentie dat er alleen data van sensors verzameld kan worden en dat er verder geen berekeningen uitgevoerd kunnen worden op dit bordje.

Er wordt van drie afstand sensors, en een kompas data verzamelt. Ook kan er nog data verzameld worden van de motorencoders, maar dit wordt niet gebruikt. Per entiteit wordt nu aangegeven welke gevolgen deze hebben voor de software.

2.3.1 Afstandssensoren

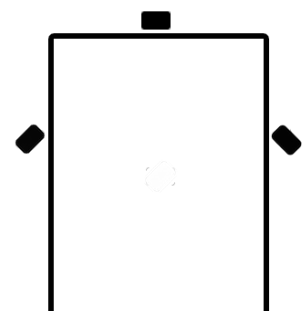
Er kunnen maximaal zestien afstandssensoren aangesloten worden op een seriële poort. Er is voor gekozen om drie van deze sensoren te gebruiken door de robot. De afstandssensoren worden als volgt geplaatst zie figuur 'plaatsing afstandssensoren'.

- Eén aan de voorkant van de robot
- Eén aan de rechterkant van de robot en 45° naar voren
- Eén aan de linkerkant van de robot en 45° naar voren

Deze sensoren krijgen vanuit de fabriek een adres mee. Dit adres is 0x00.

Om meerdere sensoren op één seriële poort aan te sluiten moeten ze elk een ander adres krijgen. Het hoogste adres dat gebruikt kan worden is 0x15. Hoe deze adressen gewijzigd dienen te worden staat beschreven in de specificaties^[11].

plaatsing afstandssensoren 1



De sensoren bepalen de afstand door ultrasoon geluid te gebruiken. De tijd die nodig is om data te verkrijgen van drie afstandssensoren is ongeveer 70 milliseconden.

Er wordt vanuit gegaan dat het met drie afstandssensoren mogelijk moet zijn om een plattegrond te maken. Uiteraard zal het met meer sensoren beter gaan.

2.3.2 Kompas sensor

De kompas sensor is heel gevoelig voor storingen in het magnetisch veld. De motoren die de wielen aandrijven geven genoeg verstoring om de kompas waarden in sommige gevallen 180° af te laten wijken.

Om deze reden moet de sensor ongeveer 25 cm bij de motoren en andere elektronica vandaan worden geplaatst. Of de robot moet in aluminiumfolie worden gewikkeld zonder de kompas sensor. Zodat de meeste storingen in het elektromagnetische veld worden geabsorbeerd.

De kompas sensor kan elke 13,3ms data genereren.

2.3.3 Motor encoders

De motor encoders geven telkens een hoog of een laag signaal wanneer de wielen draaien. Wanneer de wielen niet draaien blijven de encoders hetzelfde signaal afgeven. Per motor zijn er twee encoders. Wanneer één encoder wordt gebruikt kan alleen de snelheid worden bepaald. En wanneer beide encoders worden gebruikt kan ook de richting worden bepaald. Ook is er een signaal die gebruikt kan worden om interrupts te generen. De robot gebruikt 1 encoder per motor om te bepalen wat de snelheid van de wielen is. Met deze snelheid kunnen later berekeningen worden gedaan voor de omgeving (en het maken van de plattegrond).

De robot heeft een 'Rover 5 with 4 encoder support^[9]' onderstel en daarmee kan maximaal 25 cm/s mee worden gereden.

De diameter van de wielen is 6,5 cm. De omtrek is dan $6,5 \cdot \pi = 20,42 \text{ cm}$

Op maximale snelheid draait het wiel dus $\frac{25}{20,42} = 1,22$ keer per seconde.

Om softwarematig de encoders uit te lezen is het eenvoudiger om gebruik te maken van de interrupts. De interrupts zijn een samenvoeging van de encoders en geven daarom tweemaal zo vaak een signaalwisseling.

Er zitten in het wiel 4 witte vlakken en 4 zwarte vlakken, die ervoor zorgen dat een sensor encoder data genereren. Daarnaast is de tandwieloverbrenging naar het encoderschijfje zo hoog dat er 333 interrupts worden gegenereerd per wielomwenteling. Op maximale snelheid betekend dit dat er $\frac{333}{100} * 122 = 406$ interrupts worden gegenereerd per seconde.

Dit betekend dat er elke 2,5ms een interrupt wordt gegenereerd.

Na een aantal tests op de Red Black Spider controller blijkt dat dit bordje de interrupts niet zo snel kan verwerken. Daarom is het handiger om de snelheid en afgelegde afstand theoretisch te berekenen aan de hand van het voltage dat op motoren wordt gezet. Het voltage bepaalt namelijk de snelheid van de robot. En aan de hand van de tijd die het programma elke iteratie in de main loop nodig heeft kan de afgelegde afstand berekend worden. Deze benadering van de snelheid is mogelijk omdat bekend is dat bij 5V de robot 25cm/s zal rijden. Er wordt aangenomen dat elk voltage 5 cm/s betekend. Dit is een theoretische benadering, het is mogelijk dat de wielen wel draaien, maar dat de robot niet vooruit komt vanwege een gladde ondergrond bijvoorbeeld. De snelheid zou gecontroleerd kunnen worden door de robot bij elk voltage langs een meetlint te laten rijden. Zo kan bepaald worden hoe nauwkeurig deze benadering is. Voorlopig wordt deze aanname gehanteerd, omdat dit goed lijkt te werken.

2.3.4 Motor current

Elke iteratie in de main loop wordt er gecontroleerd hoeveel stroom de motoren trekken. Uit metingen is vastgesteld dat tijdens het rijden maximaal 2 ampère wordt getrokken per motor (tijdens het maken van een bocht). Er is voor gekozen om achteruit te gaan rijden zodra het ampère niveau boven de 2,5 komt. Dit niveau komt alleen voor wanneer er ergens tegenaan gereden wordt en kan dan tot maximaal 5 ampère komen.

2.3.5 Processen

De Daggu 48 Servo Red Black Spider is ontworpen om één proces tegelijk te kunnen afhandelen. Er is een mogelijkheid om interrupts te genereren, maar die zullen dan de program loop stilzetten, afhandeling van de interrupt doen en daarna weer verder gaan met het programma. Daarnaast zijn er maar 6 interrupt pinnen aanwezig waar eventueel code in kan worden uitgevoerd.

2.4 Daggu 4 Channel DC Motorcontroller with encoder support

De motorcontroller^[10] is een bordje die de robot kan laten rijden. Dit bordje wordt aangestuurd door de Red Black Spider Controller. De motorcontroller wordt voor de volgende dingen gebruikt:

- Stuurt de motoren in het Rover 5 onderstel aan.
- Meet het vermogen dat door motoren wordt verbruikt en stelt dit beschikbaar.
- Heeft de mogelijkheid om data van de motorencoders te verwerken, maar dit wordt in de huidige software niet gebruikt.

2.5 Zelfgebouwde printplaat

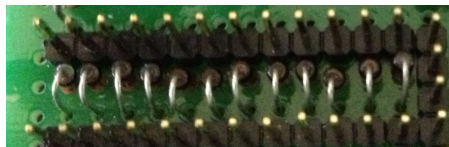
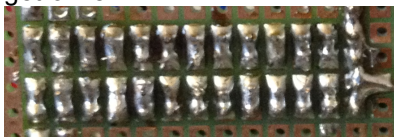
De zelfgebouwde printplaat is gemaakt om verschillende soorten hardware met elkaar te verbinden.

Er zijn vier verschillende mogelijkheden op deze printplaat gebouwd die apart per paragraaf worden besproken. Daarnaast is er ook een aan/uit knop op de printplaat gebouwd. Deze wordt verder niet besproken.

2.5.1 Motor encoders & Motor current

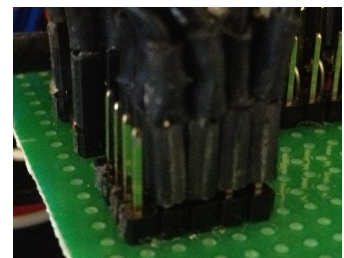
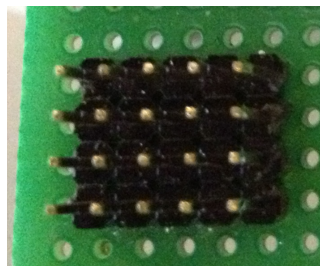
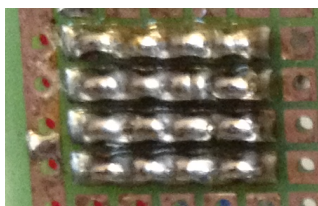
Voor de motor encoders is tussen elke pin van de Red Black Spider Controller en de 4 Channel DC Motorcontroller een diode geplaatst die er voor zorgt dat er alleen stroom kan lopen van de 4 Channel DC motorcontroller naar de Daggu Red Black Spider Controller. Dit is gedaan omdat de Daggu Red Black Spider Controller geprogrammeerd kan worden en er dus een kans bestaat dat deze zo geprogrammeerd wordt dat er per ongeluk een stroom gaat lopen naar de 4 Channel DC motorcontroller. Deze laatste zal dan kapot gaan. Om dit te voorkomen zijn deze diodes geplaatst.

Ditzelfde geldt ook voor pinnen die aangeven hoeveel stroom er door de motoren wordt getrokken.



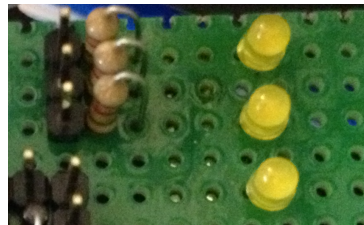
2.5.2 Afstandssensoren

Op de Dagu Red Black Spider Controller zijn drie bruikbare seriële poorten aanwezig. Eén daarvan is nodig voor het kompas, de tweede is nodig voor communicatie van en naar het Omnima MiniEmbWiFi bordje en de laatste kan dan gebruikt worden om de afstandssensoren aan te sturen. Nu zijn er op de robot drie afstandssensoren die alle drie aangestuurd moeten worden door die ene seriële poort. Om ervoor te zorgen dat dit kan zijn op de printplaat pinnen aangebracht waardoor alle drie deze afstandssensoren kunnen worden verbonden met de seriële poort. Omdat elke afstand sensor een eigen adres heeft (zie paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) kunnen ze alle drie afzonderlijk bestuurd worden.



2.5.3 LED verlichting

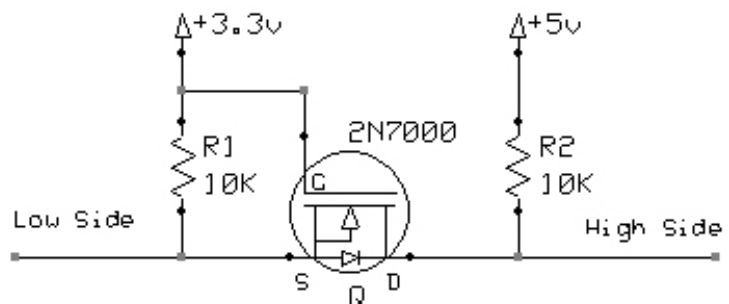
Op de printplaat zijn 3 LEDS gebouwd om daarmee te tonen aan welke kanten van de robot een object gedetecteerd is. Dit is gedaan omdat de robot verder geen enkele feedback kan geven van wat er gedetecteerd wordt en waarom er ergens naartoe gerooteerd wordt, wanneer er geen computers zijn die luisteren naar de broadcasts van de robot. Op deze manier kan dan toch feedback verkregen worden.



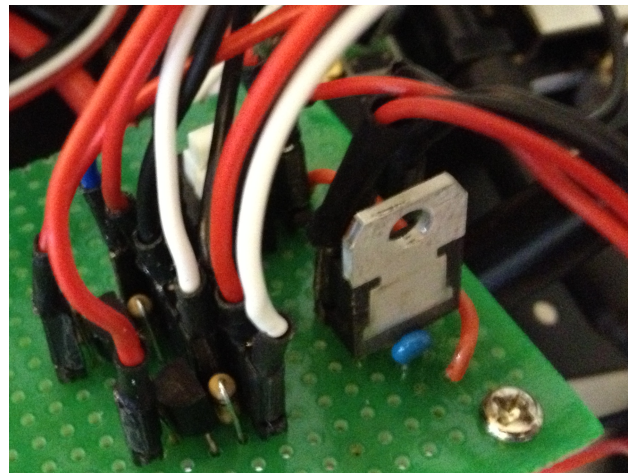
2.5.4 Seriële communicatie

Om seriële communicatie mogelijk te maken tussen de Red Black Spider Controller en de Omnima MiniEmbWiFi moet het voltage veranderd worden. De seriële poorten op de Red Black Spider Controller werken op 5V terwijl de seriële poort van de Omnima MiniEmbWiFi werkt op 3.3V. Voor deze conversie wordt een MOSFET BS170 gebruikt. Het schema dat bij deze conversie hoort wordt getoond in de volgende figuur.

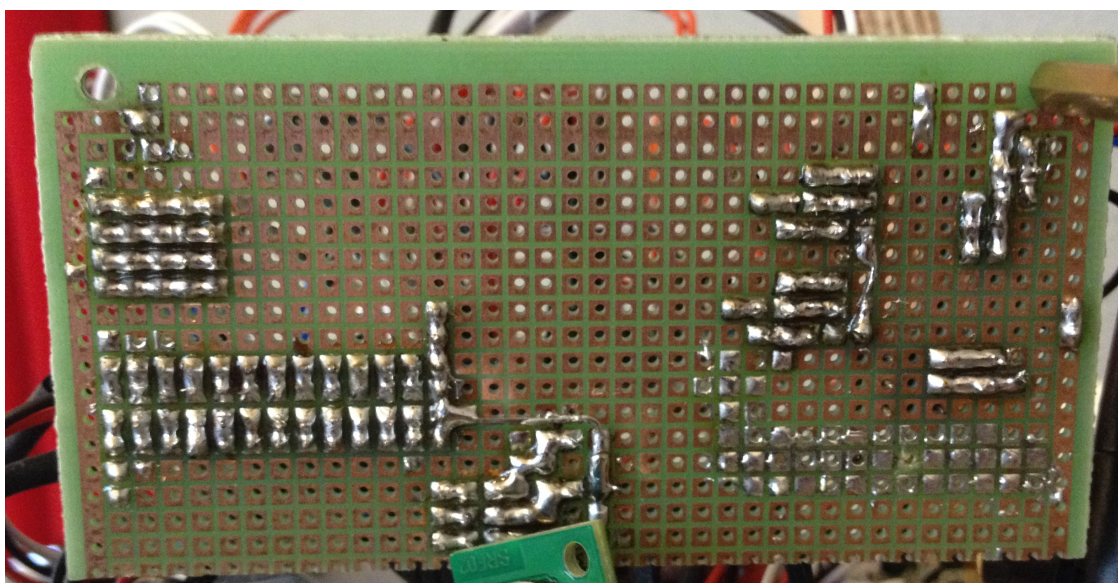
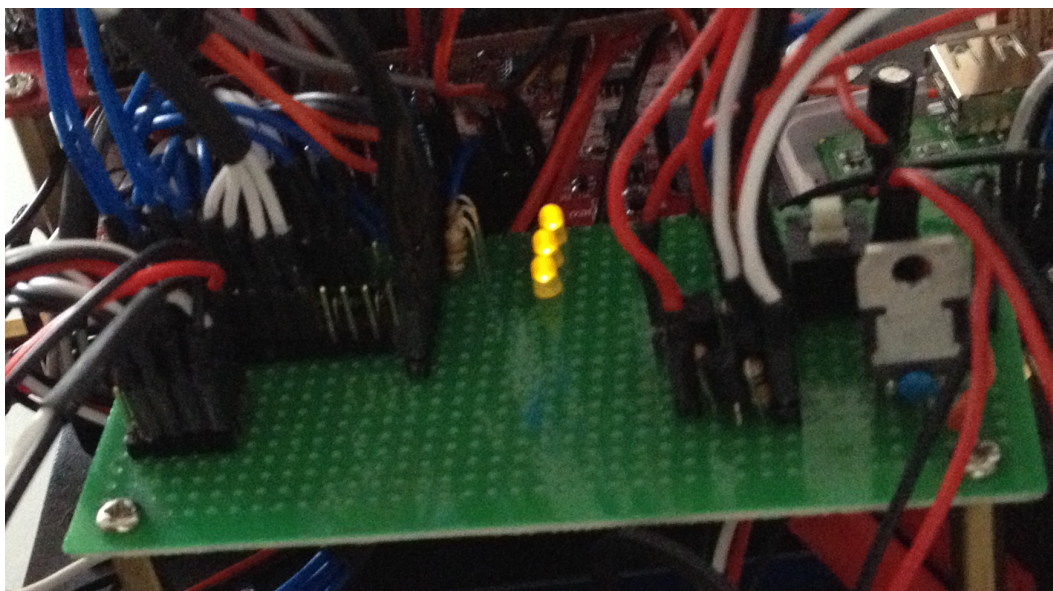
De low side kan in dit geval een RX pin zijn en de high side is dan een TX pin. De RX pin wordt op de Source van MOSFET aangesloten en de TX pin wordt op de Drain van de MOSFET aangesloten. Op de RX pin wordt de 3.3V aangesloten met een 10K ohm weerstand ertussen en de 3.3V wordt ook op de Gate van de MOSFET gezet. Verder wordt op de High Side nog de 5V aangesloten van het desbetreffende bordje en op die manier wordt een 3.3V serieel signaal omgezet naar een 5V serieel signaal.



Dit zelfde moet ook gedaan worden van de TX naar de RX (dan moet alles dus andersom).



2.5.5 Resultaat



3 OMGEVING SCANNEN

Om de robot veilig te laten rondrijden is het nodig dat het zijn omgeving kent. Hiervoor zijn een aantal gegevens nodig.

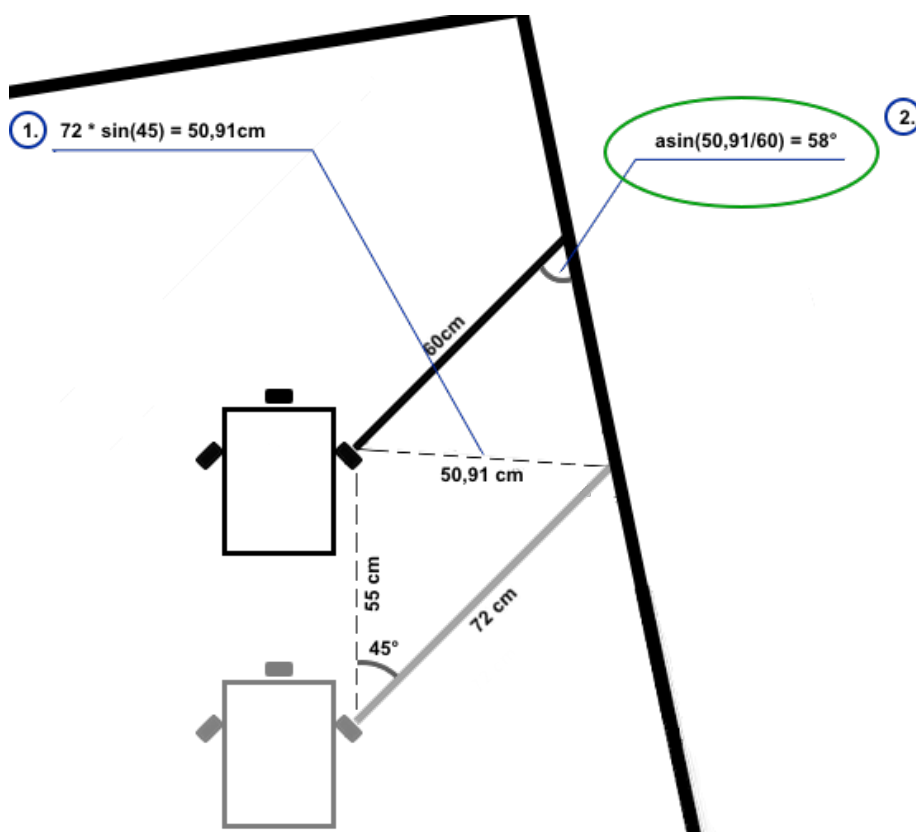
1. De snelheid waarmee de robot zich voortbeweegt.
2. De rotatie in graden ten opzichte van het noorden.
3. De afstand tot objecten aan de voorkant van de robot.

Met deze gegevens kan de volgende informatie gegenereerd worden:

- De hoeveelheid tijd en/of afstand voordat de robot een object raakt.
- De hoek waarmee de robot een muur of ander object nadert.
- Tijdens het draaien van de robot kan bepaald worden hoeveel graden er gedraaid is.

Tijdens het rijden zal de robot telkens een aantal stappen vooruit kijken om te bepalen of er binnenkort een botsing wordt gemaakt met een object. De robot bepaald dit door een lijst van afstandsmetingen te bewaren en te kijken wat de verschillen zijn tussen de afstandsmetingen. De laatste afstand gedeeld door het verschil met de vorige meting geeft het aantal metingen voordat er een botsing wordt veroorzaakt. Dit geeft voor elke kant waar een afstand sensor is geplaatst een bepaalde prioriteit of er wel of niet gedraaid moet worden.

Aan de linker- en rechterkant van de robot is ook een afstand sensor geplaatst. Deze kijken 45° naar opzij. Door twee opeenvolgende metingen te nemen kan de hoek bepaald worden waarmee de robot een object nadert. Hiermee kan de robot een verwachting opmaken voor het verloop van dit object. Door de richting van de robot te corrigeren aan de hand van deze hoek kan er langs het object gereden worden en kunnen objecten nauwkeurig getekend worden. Hieronder volgt een voorbeeld hoe de berekening van de hoek plaatsvindt:



In deze afbeelding moet bedacht worden dat de robot de muur niet kan zien. Doordat de robot kan berekenen wat de hoek is tussen twee metingen kan er een lijn worden getrokken. Deze lijn stelt dan de muur voor. Het is ook mogelijk dat er helemaal geen muur is en dat de robot dat dus verkeerd interpreteert. De robot zal hier zelf achter moeten komen door de lijn te volgen. De berekende hoek is 58° , de muur kan nu gevolgd worden door de robot $58-45 = 13^\circ$ naar links te laten draaien. De robot zal nu de lijn volgen zoals het berekent is. Wanneer blijkt dat de lijn ophoudt was het een object dat zomaar halverwege de omgeving stopt, maar wanneer er aan de voorkant ook een afstand wordt gemeten blijkt er dat de robot zich in een hoek bevindt.

Wanneer de lijn halverwege de omgeving stopt, zal de robot moeten proberen de lijn alsnog te volgen door 90° opzij te draaien. Hierdoor wordt er een andere kant van het object gevolgd.

Wanneer de berekende hoek minder dan 45° bedraagt, is er geen kans aan die kant dat er een botsing plaats zal vinden. De robot zal de lijn wel proberen te volgen door het verschil in graden richting de lijn te draaien. Op die manier zal de robot de lijn blijven volgen.

4 DATA VERZENDEN

Uit het onderzoek naar communicatietechnieken (project Woyaka) is gebleken dat Wi-Fi en Bluetooth ongeveer 0,8 Watt verbruiken tijdens een data overdracht. Omdat de robot op batterijvoeding werkt is het belangrijk om ervoor te zorgen dat met zo min mogelijk dataoverdracht vanaf de robot een plattegrond kan worden getekend op een andere computer.

Er zijn twee manieren om de computer een plattegrond te laten tekenen.

1. De robot kan telkens (bijvoorbeeld om de twee seconden) de volledige plattegrond (6400 bytes) verzenden naar de computer en de computer tekent simpelweg de plattegrond telkens opnieuw.
2. De robot stuurt telkens alleen de parameters die nodig zijn om een plattegrond te kunnen tekenen. De parameters zijn dan: snelheid, rotatie, afgelegde afstand en sensor data van de afstandssensoren. Deze parameters kunnen dan bijvoorbeeld twee seconden lang worden bewaard in de Omnima en dan vervolgens worden verstuurd naar een computer.

In optie één wordt telkens de gehele plattegrond verstuurd, waardoor de computer geen berekeningen meer hoeft uit te voeren wat betreft de lijnen die moeten worden getekend. Wel moet in deze optie meer data worden verzonden dan in optie twee.

Het nadeel van optie twee is dus dat de computer wel elke keer berekeningen moet uitvoeren over hoe de lijnen moeten worden getekend, terwijl dit ook al gebeurt op de Red Black Spider controller, omdat deze ook kennis moet hebben van zijn omgeving.

Verder is er de wens dat er een mogelijkheid is dat meerdere computers de plattegrond zouden kunnen tekenen. Het probleem daarvan is dat er op een willekeurig moment tijdens het genereren van de plattegrond een computer bij kan komen die de plattegrond ook wil kunnen tekenen. Wanneer dan voor optie twee is gekozen, krijgt deze computer alleen parameters vanaf dat moment, waardoor deze nooit de gehele plattegrond kan tekenen. Wanneer in dit geval voor optie één is gekozen kan deze computer ook de gehele plattegrond tekenen.

Met deze kennis is besloten om te kiezen voor optie één. En telkens om de vijf seconden de gehele plattegrond te verzenden.

5 ONTWIKKELOMGEVINGEN

Er worden verschillende ontwikkelomgevingen gebruikt om software te schrijven voor de robot. Elke van deze ontwikkelomgevingen worden beschreven in de volgende paragrafen.

5.1 Arduino

Om de Red Black Spider Controller^[4] te programmeren is er de Arduino ontwikkelomgeving nodig. Deze ontwikkelomgeving heeft de mogelijkheid code te compileren voor de Red Black Spider Controller en deze ook meteen te flashen. De code die binnen deze ontwikkelomgeving wordt geschreven is C of C++.

5.2 OpenWrt binnen Ubuntu 12.04

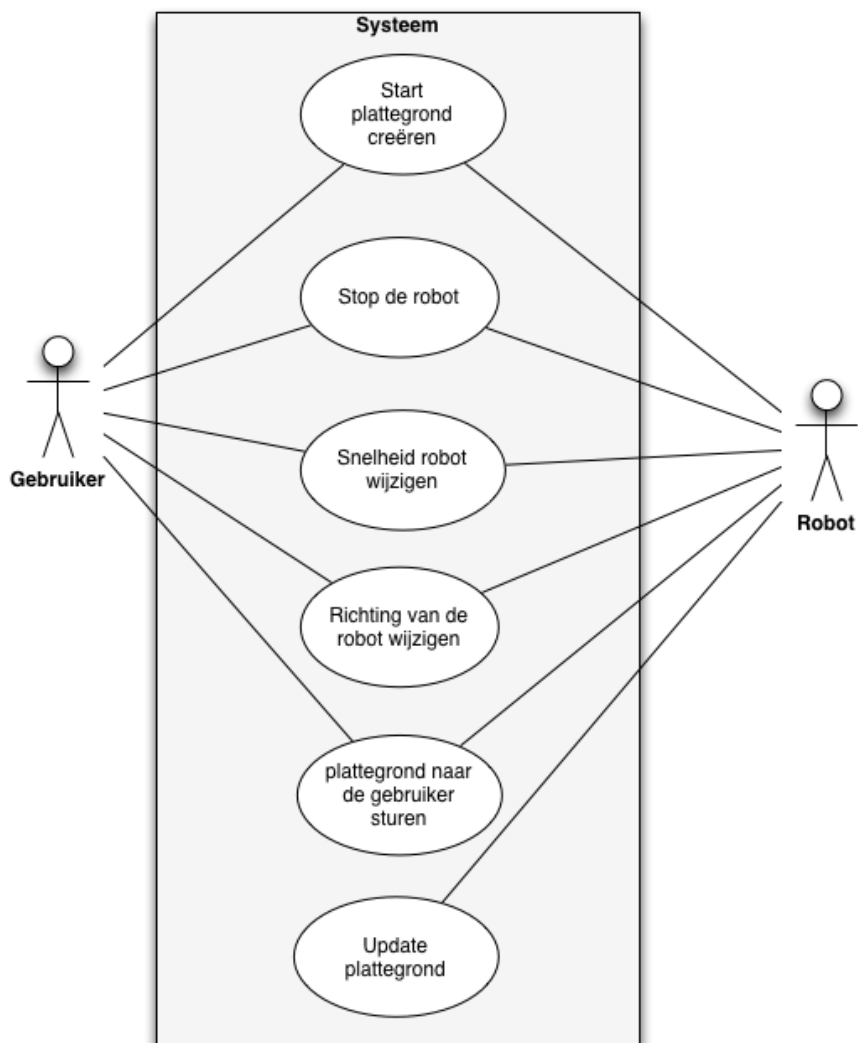
Om de Omnima MiniEMBWiFi^[3] te programmeren is er een ontwikkelomgeving van OpenWrt^[8] beschikbaar die uitgevoerd kan worden binnen o.a. Ubuntu 12.04. Binnen deze omgeving kunnen programma's worden geschreven in de taal C. Ook moeten er zelf makefiles gemaakt worden. Een programma vormt zich dan een package die mee gecompileerd kan worden als er een operating system wordt gecompileerd. Het package zelf kan afzonderlijk op een USB stick worden gezet en daarna op de Omnima geïnstalleerd worden. Het is ook mogelijk om het gehele operating system opnieuw te flashen.

5.3 Visual Studio Express 2010

Voor de applicaties die geschreven worden voor een PC is de ontwikkelomgeving Visual Studio Express 2010 van Microsoft gebruikt. De applicaties die hierin zijn geschreven zijn in de taal C# geschreven. Over deze applicaties wordt verder niet uitgeweken in dit document.

6 USE CASE

6.1 Use case diagram



6.2 Use case beschrijvingen

Use case naam	Plattegrond naar de gebruiker zenden
Doel	De plattegrond naar de gebruiker sturen
Pre-condities	Het plattegrond creëren moet gestart zijn
Stappen	1. Stuur een bericht dat er een plattegrond verzonden gaat worden 2. Stuur de map 3. Stuur een bericht dat er geen plattegrond data meer komt.
Post-condities	De plattegrond is verzonden
Uitzonderingen	Uitzondering: Eén of meerdere van de berichten komen niet aan. Oplossing: De plattegrond wordt elke 5 seconden geheel verzonden, waardoor het niet erg is dat het verzenden soms niet goed gaat. Uitzondering: De communicatietechnieken zijn in gebruik of werken niet Oplossing: De plattegrond wordt niet verzonden, er is niemand die de plattegrond zal ontvangen. De robot gaat wel gewoon door, omdat het een autonoom systeem is en van niemand afhankelijk zal zijn.

Use case naam	Start plattegrond creëren
Doel	De robot gaat alle objecten in een ruimte zoeken en deze tekenen in een afbeelding, zodoende ontstaat een kaart van de omgeving.
Pre-condities	De robot moet ingeschakeld staan.
Stappen	1. De status van de robot wordt gewijzigd naar 'MAPPING'
Post-condities	Er is gestart met het creëren van een plattegrond.
Uitzonderingen	Uitzondering: De robot staat niet aan Oplossing: De zal geen plattegrond creëren

Use case naam	Stop de robot
Doel	De robot laten stoppen met elke taak waar deze mee bezig was en de robot in de status 'IDLE' zetten
Pre-condities	De robot moet bezig zijn een plattegrond te tekenen of op handmatige besturing staan.
Stappen	1. De motoren worden stilgezet 2. De status van de robot wordt gewijzigd naar 'IDLE'
Post-condities	De robot is gestopt met alle taken en staat in 'IDLE' modus
Uitzonderingen	Uitzondering: De robot stond al in 'IDLE' modus. Oplossing: Dit is niet erg, er verandert niets.



Use case naam	Richting van de robot wijzigen
Doel	De gebruiker de mogelijkheid bieden om handmatig de richting van de robot te wijzigen.
Pre-condities	De robot moet ingeschakeld zijn
Stappen	1. De motoren worden ingesteld zodat er geroteerd wordt. 2. De status wordt gewijzigd naar 'DRIVING'
Post-condities	De rijrichting is gewijzigd.
Uitzonderingen	Uitzondering: De robot heeft de status 'MAPPING'. Oplossing: De richting zal wel aangepast worden, maar de status wordt niet veranderd naar 'DRIVING'

Use case naam	Snelheid robot wijzigen
Doel	De gebruiker de mogelijkheid bieden om handmatig de snelheid van de robot te wijzigen.
Pre-condities	De robot moet ingeschakeld zijn
Stappen	1. De motoren worden ingesteld zodat de snelheid gewijzigd wordt, naar een waarde zoals de gebruiker dat bericht. 2. De status wordt gewijzigd naar 'DRIVING'
Post-condities	De rijnsnelheid is gewijzigd.
Uitzonderingen	Uitzondering: De robot heeft de status 'MAPPING'. Oplossing: De snelheid zal wel aangepast worden, maar de status wordt niet veranderd naar 'DRIVING'. Uitzondering: De snelheid wordt hoger ingesteld dan mogelijk is. Oplossing: De snelheid zal op maximaal worden ingesteld, hoger is niet mogelijk.

Use case naam	Update plattegrond
Doel	De plattegrond updaten en de robot te laten rijden
Pre-condities	De creatie van de plattegrond moet gestart zijn
Stappen	1. Meetwaarden ophalen van de afstandssensoren 2. Meetwaarden ophalen van de kompas sensor 3. Vermogen uitlezen dat door de motoren verbruikt wordt. 4. Snelheid van de robot berekenen 5. Eigen positie in de plattegrond tekenen 6. Objecten tekenen in de plattegrond (die gemeten worden met de afstandssensoren) 7. Richting bepalen welke kant op gereden moet worden 8. Als richting veranderd moet worden, roteren 9. Anders, indien nodig, snelheid opbouwen.
Post-condities	De plattegrond is ge-update en de robot is verder gereden.
Uitzonderingen	Uitzondering: Meetwaarden van de afstandssensoren geven aan dat een object te dicht bij komt. Oplossing: De motoren worden stilgezet, en er wordt een rotatie van de robot in gang gezet. Uitzondering: Er wordt geroteerd door de robot, waardoor posities tekenen op een plattegrond niet veel zin heeft. Oplossing: Tijdens roteren wordt er niets op de plattegrond getekend. Uitzondering: De robot kan nergens heen (volgens metingen op de afstandssensoren). Oplossing: De robot zal stoppen en weer de status 'IDLE' aannemen.

7 CONSTRAINTS MODEL

Constrainttype	Identificatie	Beschrijving	Eenheid	Verificatie	Waarde
Accuracy	Afstand	De tolerantie in de gemeten afstand door de afstand sensoren	cm	De door de afstand sensoren gemeten waarden controleren met een meetlat	1
	Kompasdata	De tolerantie in de gemeten aantal graden door het kompas	graden	De robot met de hand rond draaien om te kijken of de resultaten overeenkomen met wat wordt verwacht	1
Performance	Tijd tussen metingen op de afstand sensoren	Hoeveelheid tijd die minimaal tussen de afstandsmetingen moet zitten	ms	De tijd meten waarbinnen de main loop wordt uitgevoerd en de snelheid berekenen waarmee wordt gereden	minimaal 40ms bij 25 cm/s (het verschil tussen twee metingen is dan 1 cm)
	Tijd tussen metingen op de kompas sensor	hoeveelheid tijd die maximaal tussen de metingen mag zitten. Hoe sneller hoe nauwkeuriger een lopend gemiddelde kan worden bepaald		De tijd meting waarbinnen de main loop wordt uitgevoerd, de meting op het kompas wordt ook één maal gedaan tijdens een iteratie in de main loop	200
Reource use	RAM	Maximaal te gebruiken RAM	kB	Bepaal RAM-gebruik bij test runs	8
	Flash	Maximaal te gebruiken Flash geheugen		Tijdens het uploaden wordt de image grootte weergegeven	128

8 TECHNISCHE VERDELING

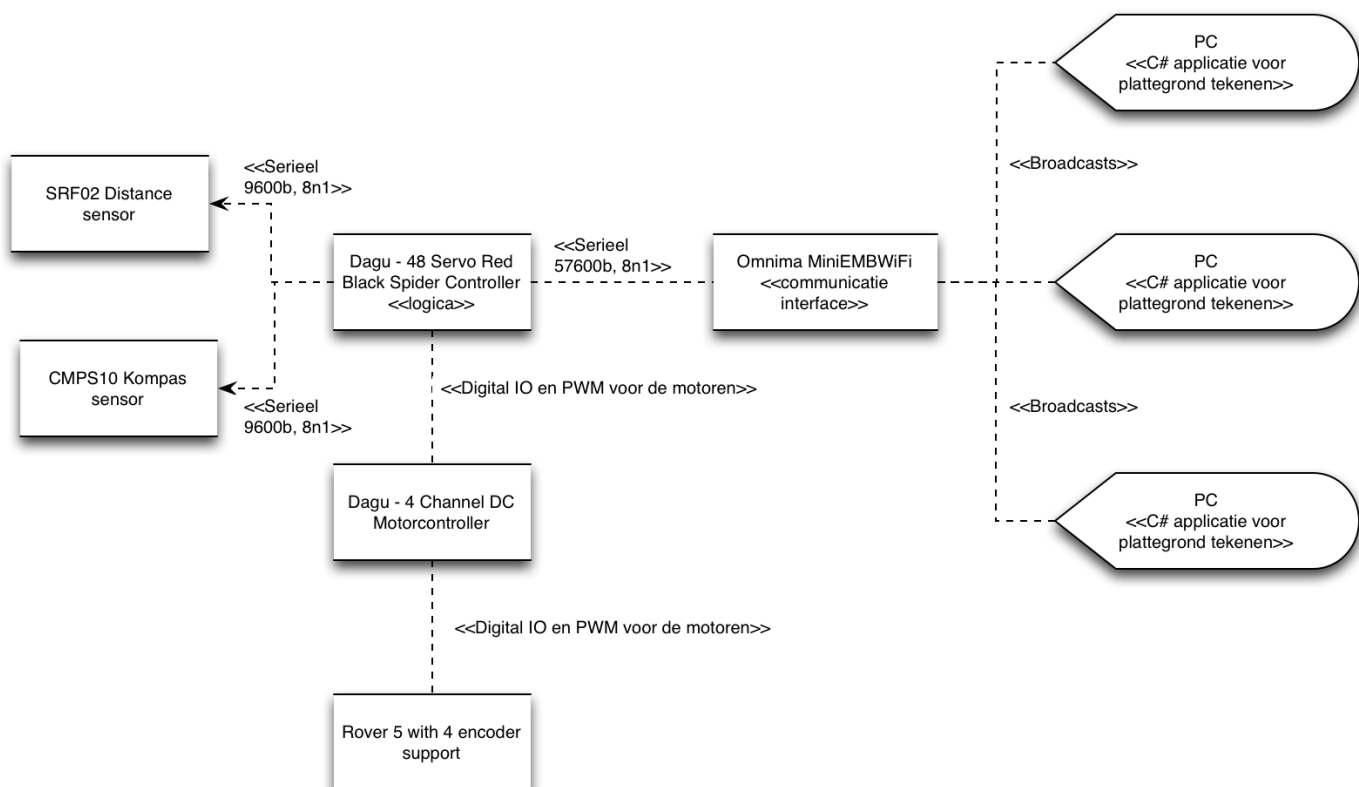
De use cases beschrijven een aantal acties die uitgevoerd kunnen worden door de robot. Het probleem hierbij is dat de robot uit meerdere hardwarecomponenten bestaat die hun eigen taken hebben binnen het systeem. De use cases die in hoofdstuk 6 staan beschreven worden daarom niet allemaal op dezelfde hardware uitgevoerd en worden dus ook niet allemaal in dezelfde software geïmplementeerd.

Er zijn de volgende hardwarecomponenten te onderscheiden, waarvan de specificaties in Bijlage A staan beschreven:

- Dagū – 48 Servo Red Black Spider Controller
- Dagū – 4 Channel DC motorcontroller
- Omnima MiniEMBWiFi
- SRF02 Distance Sensor
- CMPS10 Kompas sensor

De meeste software zal voor de Red Black Spider Controller gemaakt worden. Op dit bordje worden ook de afstandssensoren, kompas sensor en de 4 Channel DC motorcontroller aangesloten. De Omnima MiniEMBWiFi is een embedded Linux bordje waarop alle communicatie van en naar de buitenwereld gedaan wordt. Dit bordje bevat een seriële poort waarmee met de Red Black Spider Controller gecommuniceerd kan worden. Ook bevat dit bordje een Wi-Fi adapter waarmee draadloos met de buitenwereld gecommuniceerd kan worden.

8.1 Deployment Model



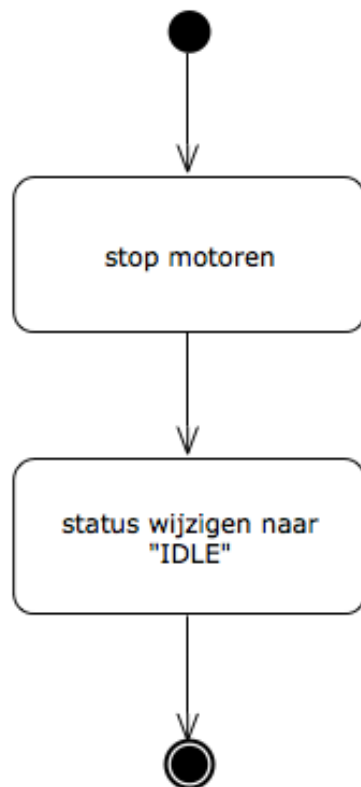
9 ACTIVITY DIAGRAMS

9.1 Start plattegrond creëren



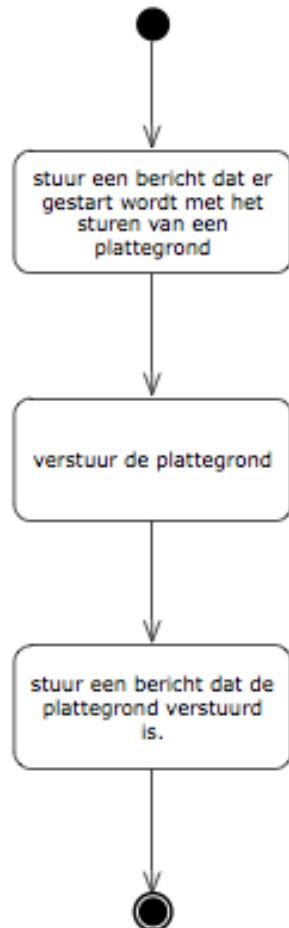
Het starten van het creëren van een plattegrond houdt in dat de status wordt gewijzigd in 'MAPPING' en dat het bouwen van een plattegrond wordt geïnitieerd.

9.2 Stop robot



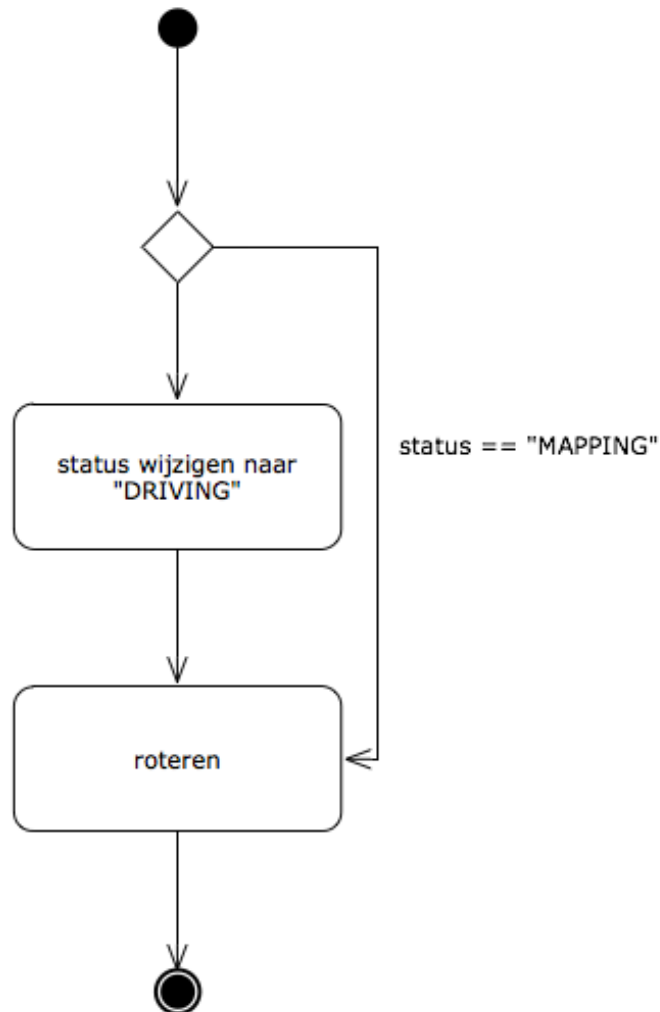
Het stoppen van de robot houdt in dat de motoren worden gestopt en dat de status van de robot wordt gewijzigd in 'IDLE'. Hierna zal de robot gaan wachten op nieuwe opdrachten van een gebruiker.

9.3 Plattegrond verzenden



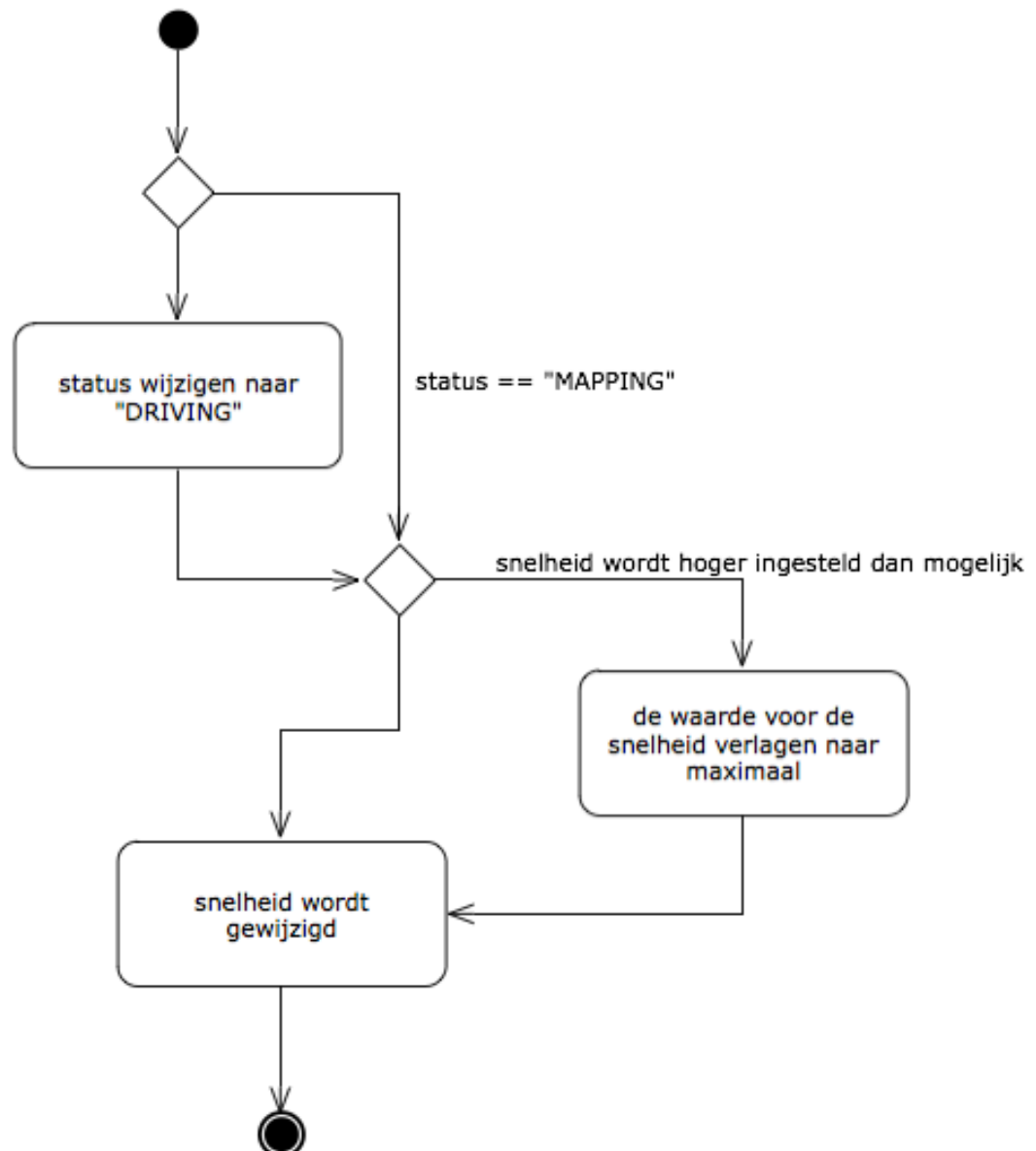
Voordat een plattegrond wordt verzonden naar een gebruiker zal er een bericht verstuurd worden dat er gestart gaat worden met het verzenden van een plattegrond. De applicatie van de gebruiker, weet dan dat de volgende reeks bytes die verstuurd worden een plattegrond is. Als laatste wordt een bericht verstuurd dat de plattegrond verzonden is. De applicatie van de gebruiker zal nu de plattegrond kunnen tekenen.

9.4 Richting wijzigen



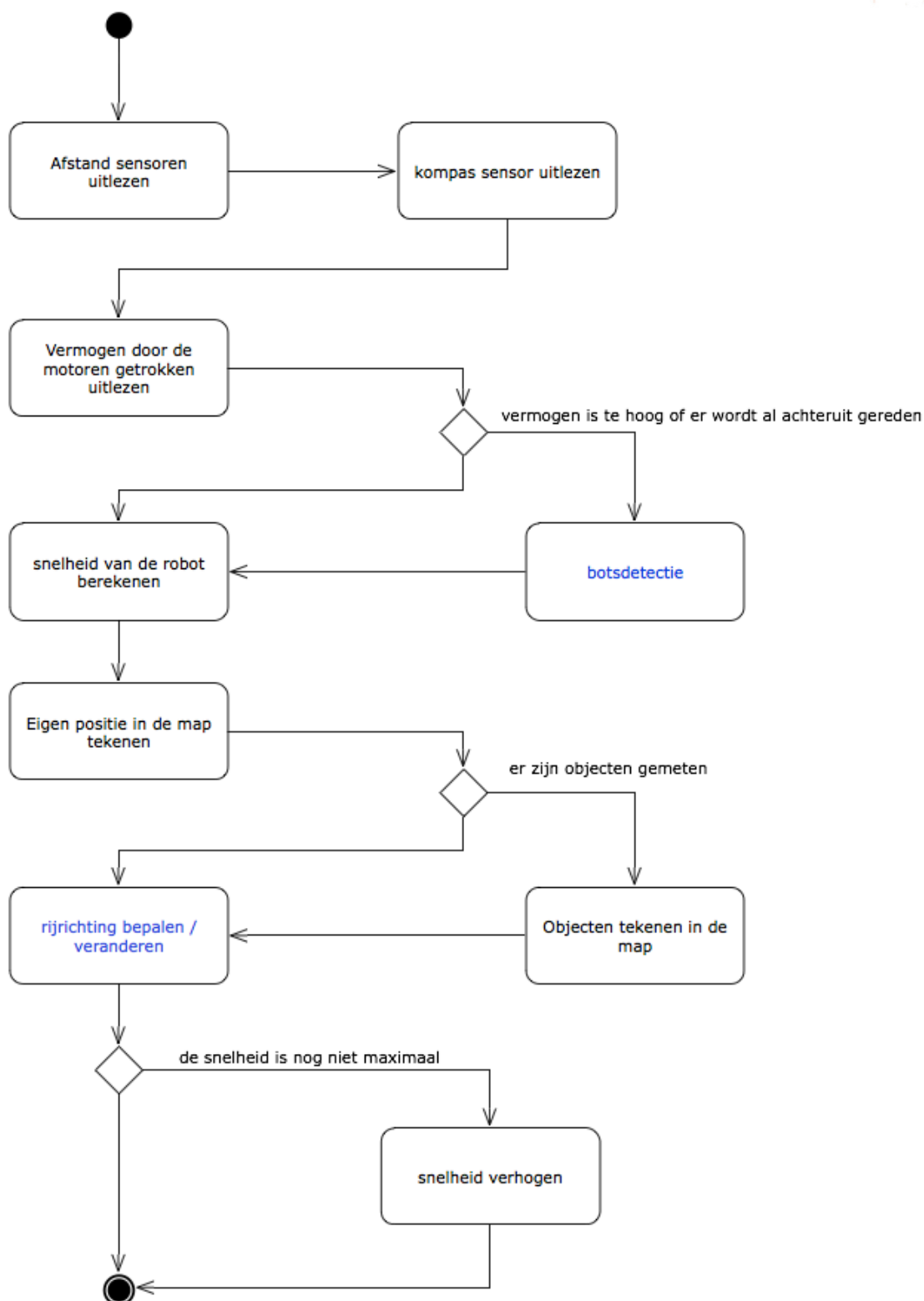
Voordat de richting wordt gewijzigd, wordt er gecontroleerd wat de huidige status is van de robot. Wanneer de status 'MAPPING' is, wordt er alleen geroteerd en zal de robot daarna verder gaan met waar die mee bezig was. Wanneer de status van de robot anders is dan 'MAPPING', wordt de status gewijzigd naar 'DRIVING' en is het mogelijk om de robot handmatig te besturen.

9.5 Snelheid wijzigen



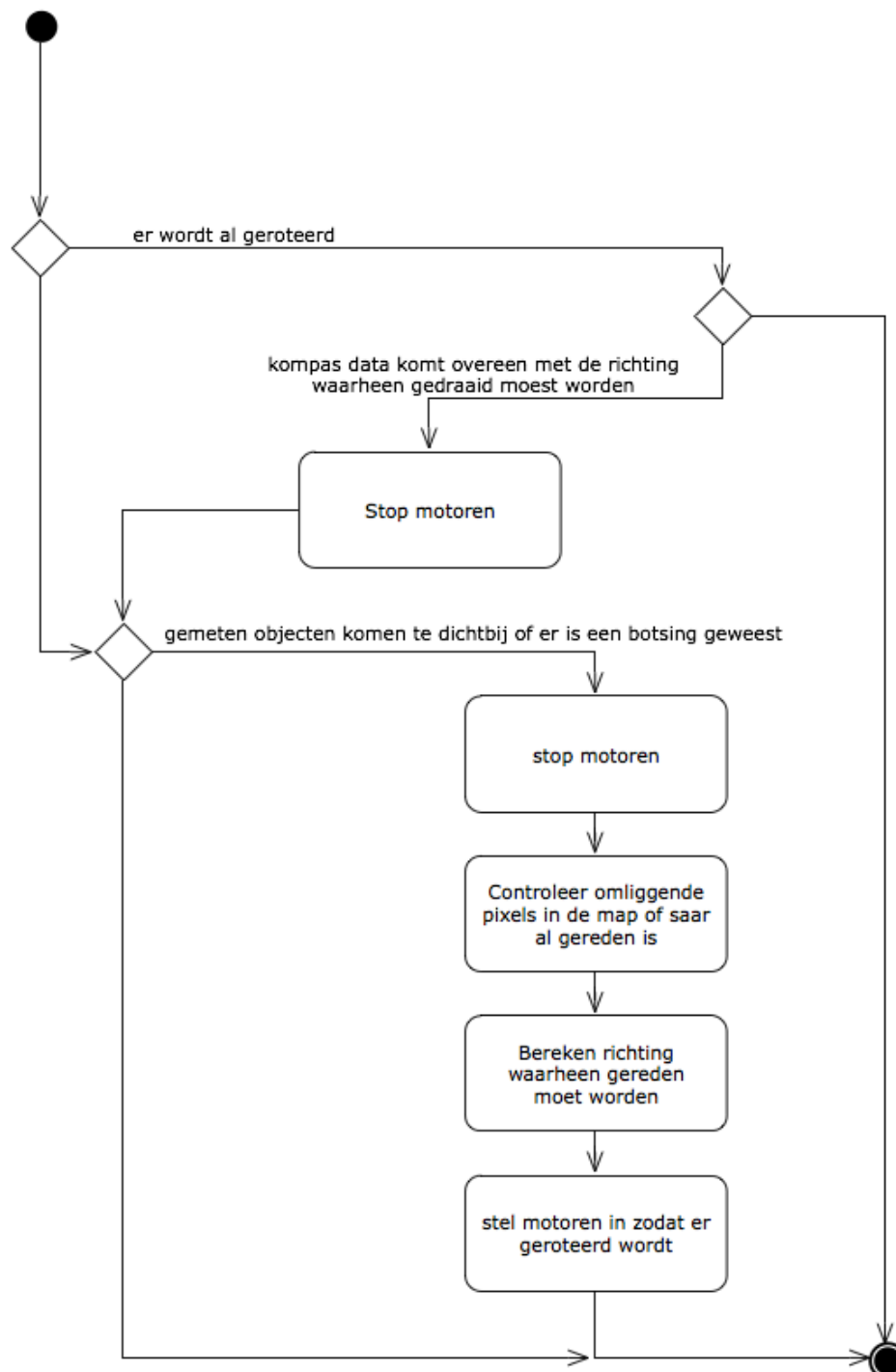
Voor dit diagram geldt hetzelfde als in paragraaf 9.4. Het verschil is alleen dat in dit diagram wordt getoond hoe handmatig de snelheid wordt gewijzigd. Tevens wordt er gecontroleerd of de ingestelde snelheid hoger is dan mogelijk is op de robot. Wanneer de snelheid hoger ingesteld wordt, wordt dit door de robot gecorrigeerd en zal de snelheid op maximaal worden ingesteld.

9.6 Update plattegrond

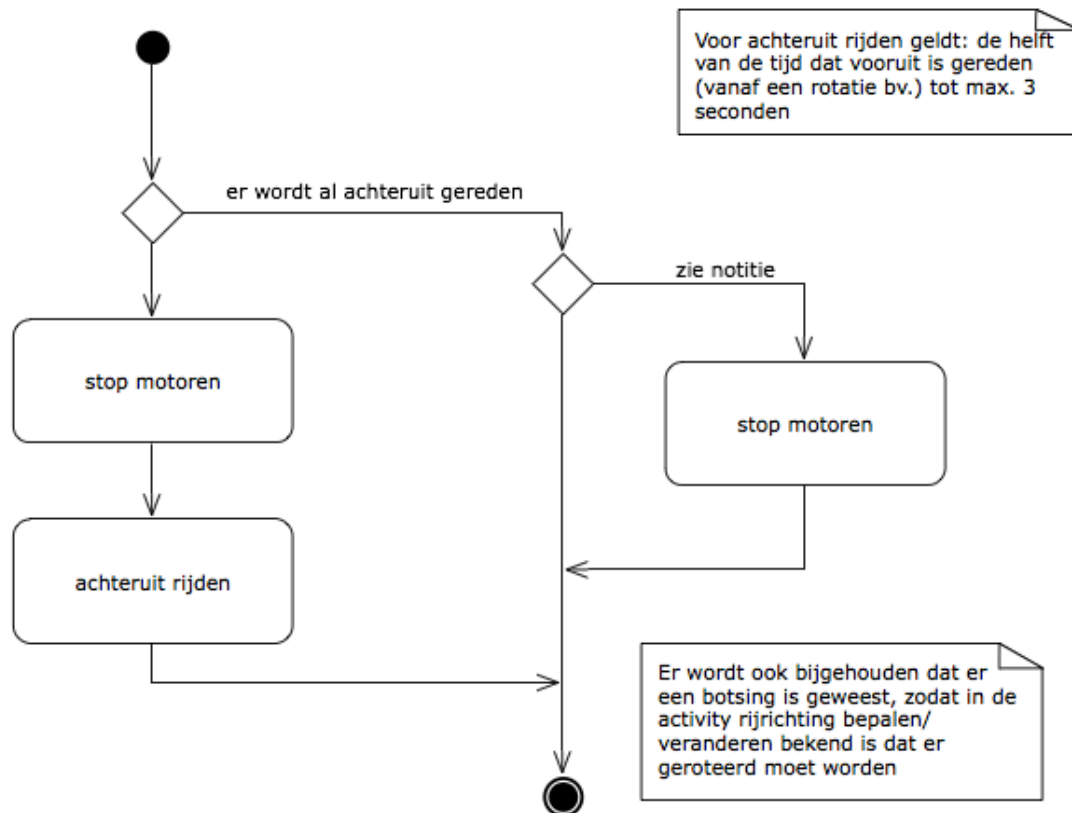


Dit diagram toont de stappen die doorlopen worden om de robot een plattegrond te laten tekenen. De activiteiten 'rijrichting veranderen' en 'achteruit rijden' zijn blauw gekleurd, wat betekent dat deze verdere uitleg nodig hebben. Voor deze activiteiten zijn extra diagrammen gemaakt, die hieronder getoond worden. Als eerst wordt de activity 'rijrichting veranderen' getoond.

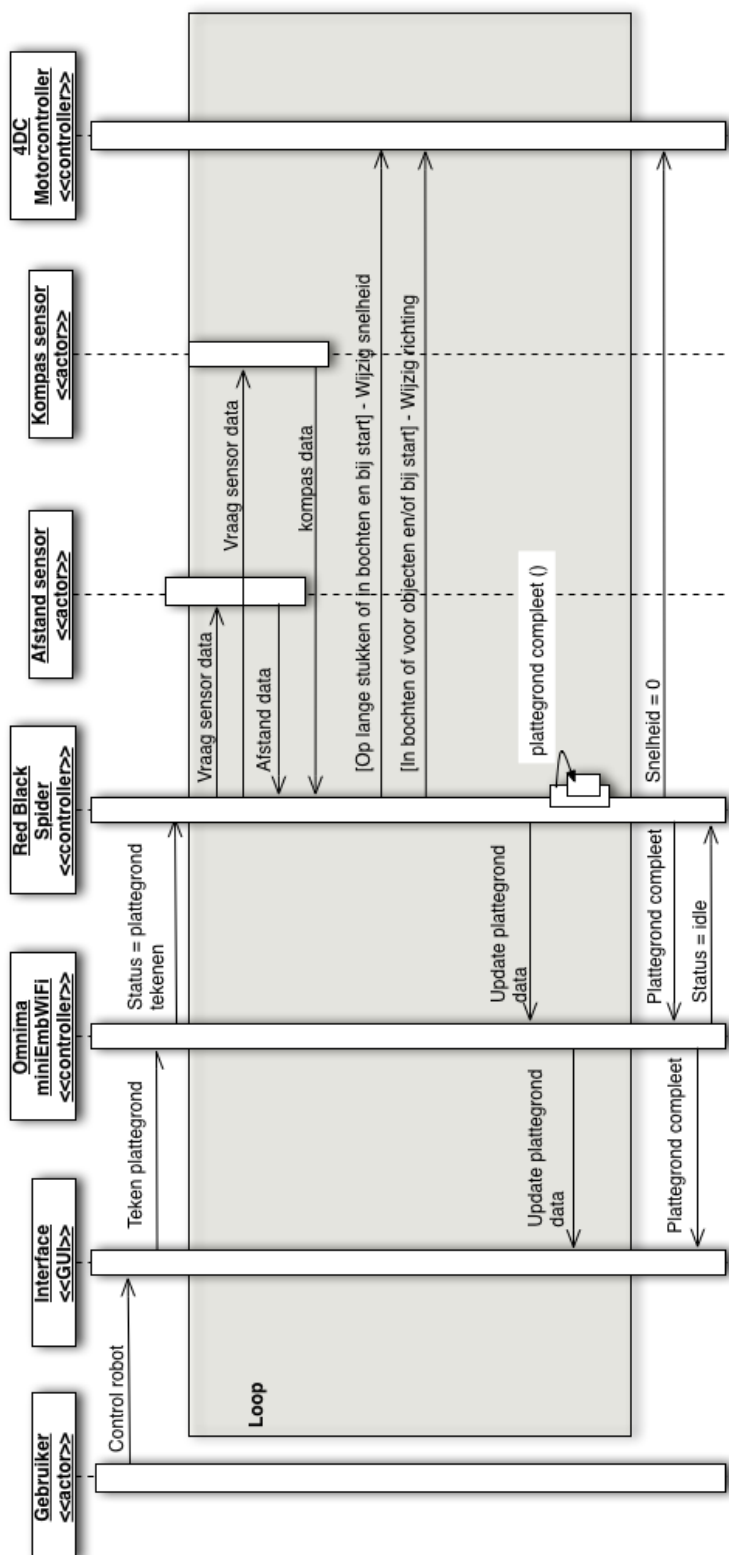
9.6.1 Rijrichting veranderen



9.6.2 Achteruit rijden



10 SEQUENCE DIAGRAM^[1, 2]

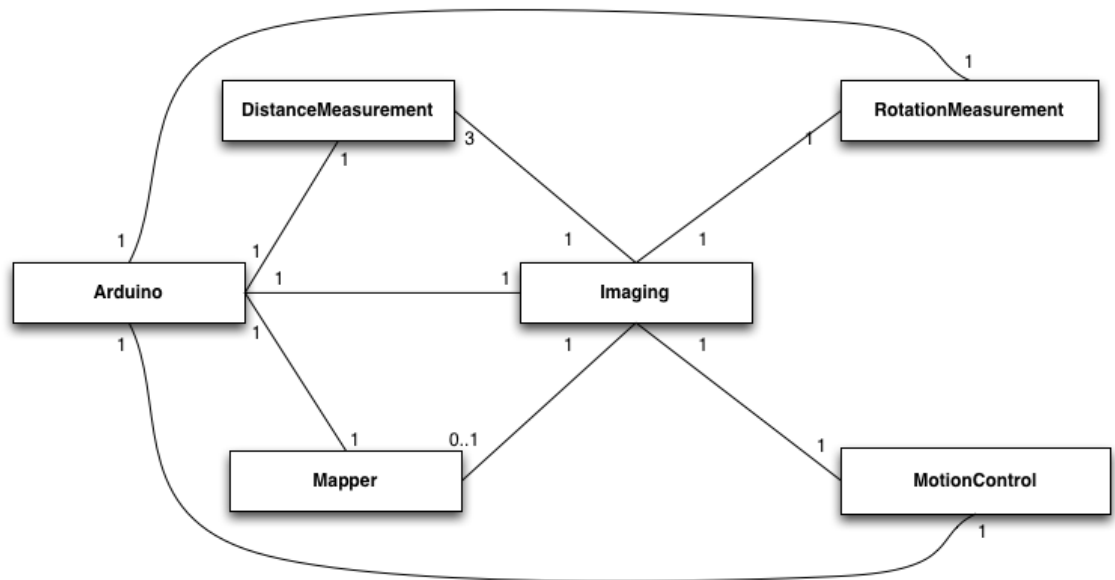


In dit diagram wordt getoond hoe de volgorde van berichten is vanaf de gebruiker tot aan de hardware componenten op de robot. In dit diagram wordt alleen getoond wat het communicatieverloop is voor het maken van een plattegrond.

Eerst wordt een bericht verstuurd dat er een plattegrond getekend moet worden. Dit bericht bereikt uiteindelijk de Red Black Spider controller. De Red Black Spider Controller gaat vervolgens in een loop de sensoren om meetgegevens vragen. Op basis van deze meetgegevens vindt er interactie plaats met de 4 Channel DC motorcontroller. Ook worden er plattegrond updates naar de Omnima verstuurd (die de updates weer doorgeeft aan de gebruikers interface). Om die reden zijn al deze hardware componenten in dezelfde loop getekend. In de software betekent dit dat alleen de Red Black Spider Controller en de Omnima in een loop bezig zijn gegevens te verwerken.

Wanneer volgens de robot alle objecten van de omgeving zijn getekend zal de Red Black Spider controller de motorcontroller laten stoppen. En wordt er een bericht gestuurd naar de Omnima en daarna naar de gebruikersinterface dat de plattegrond klaar is. Vervolgens zal de Omnima naar de Red Black Spider controller berichten dat deze de status 'IDLE' mag aannemen en zal de Red Black Spider controller weer gaan wachten op nieuwe opdrachten.

11 CLASS DIAGRAM



De software op de Red Black Spider Controller zal bestaan uit zes klassen. drie klassen daarvan zijn bedoeld voor aansturing van de hardware, namelijk:

4. DistanceMeasurement: Verkrijgen van meetresultaten op de afstandssensoren en bepalen van verschillen tussen opeenvolgende metingen.
5. RotationMeasurement: Verkrijgen van meetresultaten op de kompas sensor en het bijhouden van een lopend gemiddelde.
6. MotionControl: Wordt gebruikt voor de motor aansturing.

Daarnaast zijn er twee klassen die nodig zijn voor het bepalen van de omgeving en het bijhouden van een plattegrond.

De eerste en belangrijkste daarvan is de klasse 'Imaging'. Deze klasse haalt de data uit de klassen 'DistanceMeasurement' en 'RotationMeasurement' op en bepaald of er geroteerd moet worden of niet. Wanneer de status van de robot ingesteld staat op 'MAPPING', wordt door deze klasse een object van de klasse 'Mapper' aangemaakt. In deze klasse wordt een plattegrond bijgehouden en wordt ook de eigen positie bepaald. Deze klasse zal ook de berekeningen uitvoeren die nodig zijn om te bepalen welke richting op gedraaid moet worden naar een plek waar nog niet is gereden.

Daarnaast staat er nog een klasse getekend, namelijk: 'Arduino'. Deze klasse is nodig voor de aansturing van de Red Black Spider Controller. Deze klasse voorziet in alle basisfunctionaliteiten. Ook bevat deze klasse de functionaliteiten voor het communiceren over een seriële poort.

11.1 Relaties tussen de klassen

De klassen 'DistanceMeasurement', 'RotationMeasurement' en 'Mapper' zijn dataklassen die data bijhouden en bewerken. 'Imaging' heeft een één op drie relatie met 'DistanceMeasurement', omdat er van 'DistanceMeasurement' voorsnog drie objecten worden aangemaakt (voor elke sensor één). Ook is er een één op één relatie met 'RotationMeasurement' en 'MotionControl'.

De klasse 'MotionControl' is alleen bedoeld voor de aansturing van de motoren en er wordt daarom één object van gemaakt. Van de klasse 'RotationMeasurement' wordt ook één object gemaakt, omdat er ook maar één kompas aanwezig is op de robot.

De klasse 'Mapper' wordt alleen gebruikt wanneer de robot in de status 'MAPPING' terechtkomt en heeft daarom een één op nul tot maximaal één relatie.

Bij alles in dit diagram geldt dat alleen de klasse 'Imaging' de andere klassen kent en de andere klassen hebben geen idee van elkaars bestaan.

Elke klasse heeft zoals getekend een relatie met de klasse 'Arduino'. Elke klasse kent de 'Arduino' klasse, omdat alle klassen beschikking moeten hebben over seriële communicatie. Andersom kent de 'Arduino' klasse de anderen niet.

12 BRONNEN

- [1] [UML 2 Sequence Diagrams -
http://www.agilemodeling.com/artifacts/sequenceDiagram.htm](http://www.agilemodeling.com/artifacts/sequenceDiagram.htm)
- [2] [UML basics: The sequence diagram -
http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/3101.html](http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/3101.html)
- [3] [Omnima MiniEMBWFi - http://www.omnima.co.uk/store/catalog/MiniEMBWFi-p-16180.html](http://www.omnima.co.uk/store/catalog/MiniEMBWFi-p-16180.html)
- [4] [Red Back Spider Robot Controller -
http://www.robotshop.com/content/PDF/instruction-manual-RS012.pdf](http://www.robotshop.com/content/PDF/instruction-manual-RS012.pdf)
- [5] [Ultrasonic afstand sensor - http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf02tech.htm](http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf02tech.htm)
- [6] [CMPS10 datasheet - http://www.robot-electronics.co.uk/html/cmeps10doc.htm](http://www.robot-electronics.co.uk/html/cmeps10doc.htm)
- [7] [CMPS10 specificaties -
http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=137#.UH-5O8XZYuN](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=137#.UH-5O8XZYuN)
- [8] [OpenWrt - https://openwrt.org](https://openwrt.org)
- [9] [Rover 5 - http://robosavvy.com/RoboSavvyPages/Dagu/rover5/Rover5Introduction.pdf](http://robosavvy.com/RoboSavvyPages/Dagu/rover5/Rover5Introduction.pdf)
- [10] [Motorcontroller -
http://robosavvy.com/RoboSavvyPages/Dagu/4ChannelDCMotorControllerManual.pdf](http://robosavvy.com/RoboSavvyPages/Dagu/4ChannelDCMotorControllerManual.pdf)
- [11] [SRF02 specificaties - http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf02techSer.htm](http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf02techSer.htm)

13 BIBLIOGRAFIE

Boele, W. (2012). *Plan van Aanpak*. Amstelhoek.

14 BIJLAGE A: HARDWARE SPECIFICATIES

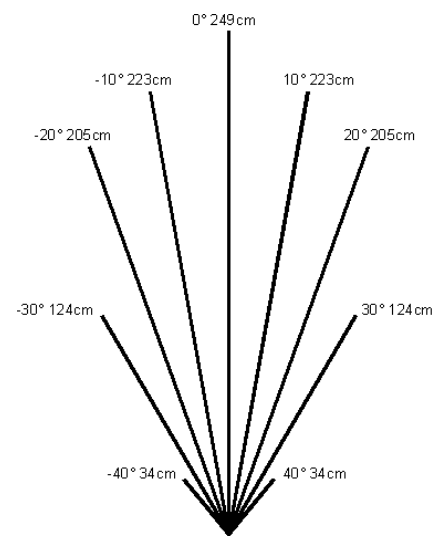
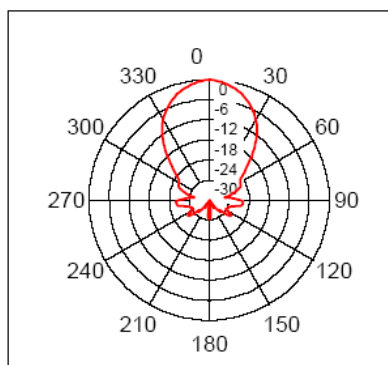
14.1 Omnima MiniEMBWiFi^[3]

- MIPS 24KEc 320MHz CPU
- 8 MB NOR Flash
- 32 MB SDRAM
- 1x WLAN 802.11n, access point (AP), station (STA), A, B, G, N or mixed mode operation
- 1x WAN/LAN Port 10/100M UTP
- 1x USB 2.0 OTG/OHCI/EHCI
- 1x UART serial port
- Antenna 3dBi Dipole detachable antenna x 1
- Output Power 11n: 15±1dBm, 11g: 15±1dBm, 11b: 18±1dBm
- Power Adapter 5VDC, 2.5A Switching Power Adaptor
- Dimension: 67(W) x 50(D) mm x 15(H)
- Temperature Operating: 0~50oC, Storage: -20~60oC
- Humidity Operating: 10~90% (Non-Condensing)
- Storage: Max.95% (NonCondensing)

14.2 Dagu 48 Servo Red Back Spider Robot Controller^[4]

- ATmega1280 16MHz CPU
- 128K FLASH, 8K SRAM and 4K EEPROM
- USB interface and ISP socket
- Built in 3A switch mode power supply (7V – 30V input)
- 70 I/O pins with male and female headers
- Support for up to 48 servos
- 16x 10bit analog inputs
- 15x 8bit PWM outputs
- 1x I2C
- 6x External interrupt pins
- 4x Serial communication
- Comes with Arduino boot-loader installed

14.3 SRF02 Ultrasonic afstand sensor^[5]



14.4 CMPS10 Kompas^{[6][7]}

- Resolution - 0.1 Degree
- Accuracy - Horizontal, 3-4 degrees.
- Accuracy - Tilted to +/- 60 degrees, 4-5 degrees
- Output 1 - I2C Interface, SMBUS compatible, 0-255 and 0-3599 , 100khz
- Output 2 - Serial port, 9600 baud, no parity, 2 stop bits and 3.3v-5v signal levels
- Output 3 - Timing Pulse 1mS to 37mS in 0.1mS increments
- Dimension: 24mm x 18mm

Scriptie

Communicatie & Autonome plattegrond creatie door robots

Afstudeerstage

Wilco Boele
Technische Informatica

Dinsdag 18 december 2012

