

Realisatie document

LiDAR



Avans Hogeschool, 's-Hertogenbosch – Embedded Systems

Uitvoerenden	Niels Roos, Denny Beulen, Thom Nikkelen, Sander van Geel & Arjan van den Bogaard
Instelling opdrachtgever	Avans Hogeschool, 's-Hertogenbosch
Vertegenwoordiger	Willem-Jan van Harskamp
Project	LiDAR – Laser Imaging Detection And Ranging
Periode	01/02/2016 – 01/07/2016

Inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Hardware
 - 2.1 Lichtmeting
 - 2.2 Voeding
 - 2.3 Laser Driver
 - 2.4 PCB layout
 - 2.5 Photodiodes
 - 2.6 Meetsnelheid
3. Software
 - 3.1. Tijdsmeting
 - 3.2 Wifi
 - 3.3 LiDAR meet proces
4. Website
5. Conclusies & Aanbevelingen
5. Revisiehistorie
6. Bijlages

1. Inleiding

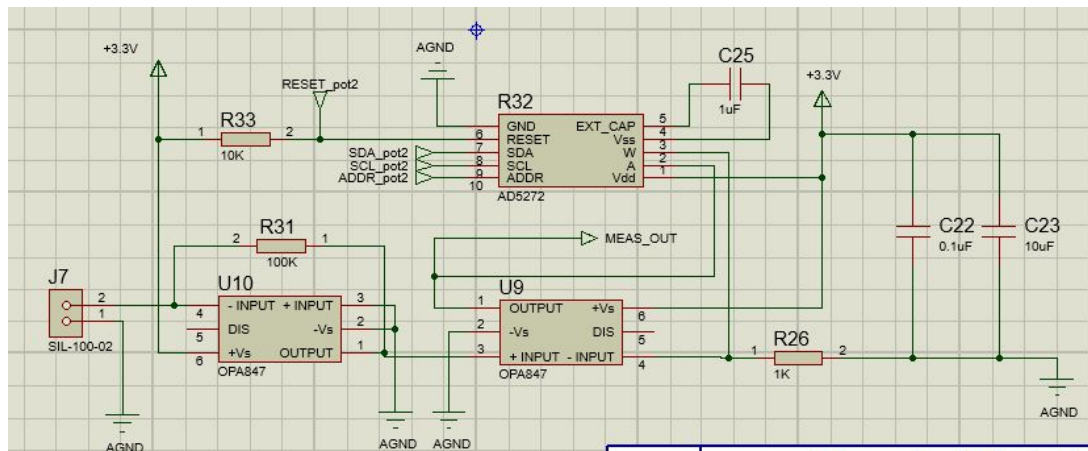
In dit document wordt beschreven hoe zowel hardware- als softwarematig ontwerpen zijn uitgewerkt en gerealiseerd. Tevens is te lezen waarom en welke keuzes om verschillende redenen zijn aangepast.

2. Hardware

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat er allemaal fout is gegaan qua hardware en wat er is gedaan om die fouten op te lossen. Eerst wordt er beschreven wat er mis ging bij de lichtmeting, daarna waarom de voeding niet voldeed en als laatste waarom er geen laser driver meer nodig was.

2.1 Lichtmeting

Tijdens de eerste meting is er uit gekomen dat de automatic gain control niet werkte. Daarom is er in het tweede ontwerp gekozen voor een digitale potmeter. Door middel van deze potmeter kan de gain aangepast worden. Hieronder is het circuit van de versterking, met de digitale potmeter (AD5272), te zien.



Figuur 1: Hardware schema versterker met digitale potmeter

2.2 Voeding

In het eerste ontwerp is er gekozen voor de MIC5211. Deze chip is gekozen omdat die 3.3V en 5V kon reguleren en deze waren allebei nodig op de printplaat. Verder is deze chip erg klein en makkelijk in gebruik. In het tweede ontwerp konden er wat componenten af, hierdoor was de 5V ook niet meer nodig. Ook leverde de MIC5211 te weinig stroom voor de hele printplaat. Daarom is er voor het tweede ontwerp een chip gekozen die alleen naar 3.3V reguleert en genoeg stroom kan leveren, de LM1117.

2.3 Laser Driver

In het eerste ontwerp is er gebruik gemaakt van een sinus generator met een laser driver. Door het ontwerp waarbij gebruik gemaakt wordt van een beamsplitter met een start en stop sensor is de sinus generator niet meer nodig. Dit ontwerp zou gebruikt worden als er niet gemeten werd door middel van tijd meting maar ook via fase verschillen. Tijdens het project is er gekozen om alleen gebruik te maken van tijd meting. Hierdoor hoeft er geen laser driver

gerealiseerd te worden. Bij het gebruik van de TDC (time to digital converter) heeft de opstarttijd van de laser geen invloed op het eind resultaat.

2.4 PCB layout

Fouten PCB layout

Hieronder is een lijst met PCB verbeteringen te zien.

- Ground plane clearance:

De clearance van de ground plane was te klein, dit houdt in dat sporen heel dicht op het ground plane komen te liggen.

- Footprint oscillator:

De Footprint die getekend was verkeerd overgenomen vanuit de datasheet, deze is aangepast.

- Interrupt TDC naar RP pin:

De microcontroller heeft RP pinnen dit zijn Remapable Pinnen. Voor het programmeren van de microcontroller was de vraag om deze lijn op een RP pin te plaatsen.

- Ground plane Photo diode:

De photodiode staat op een apart klein printplaat, deze staat loodrecht op het hoofd printplaat. De grondplane van het kleine printplaat maakte contact met het hoofd printplaat. Om mogelijke complicaties te voorkomen is het ground plane ingekort.

- AGND en DGND:

De AGND (Analoge GND) en DGND (Digitale GND) lijnen lagen te dicht op elkaar waardoor deze mogelijk connectie konden maken. Daarom zijn deze verder uit elkaar gelegd.

- TDC interrupt pull up:

De interrupt lijn van de TDC (time to digital converter) moet standaard hoog zijn. Vandaar dat er gekozen ins om hier een pull up aan te hangen.

- TDC trigger RP:

Ook voor de TDC trigger moet er gebruik gemaakt worden van een RP pin.

- PCB logo toevoegen:

Het logo van LIDAR moest op het printplaat geplaatst worden.

- TestPinnen:

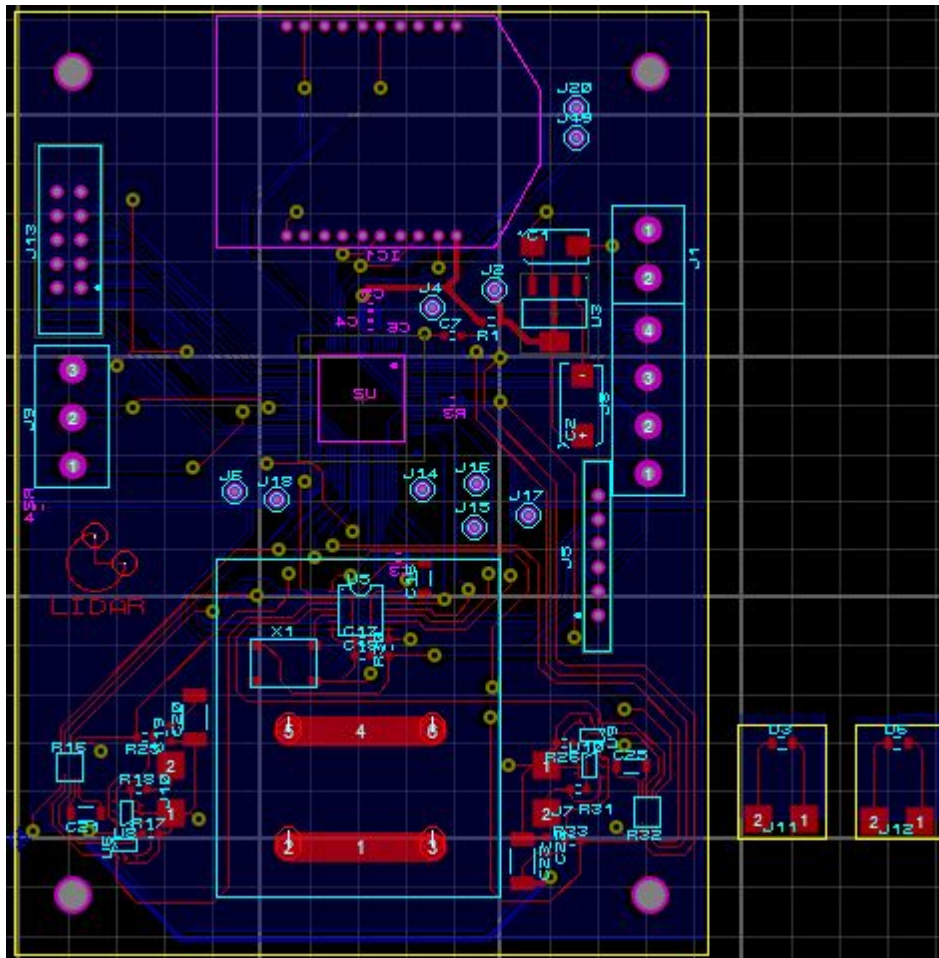
Voor het testen van de communicatie zijn er aan alle communicatie lijnen test pinnen verbonden. Deze zijn terug te vinden in het PCB layout (o.a. J14 t/m J20).

- Clock van 16MHz onder TDC:

De TDC moet op een hele hoge frequentie werken. De clock lijn van 16MHz moest daarom ook niet onder de TDC door gelegd worden om storing te voorkomen.

- Footprint condensator:

Bijna alle condensatoren hebben een 0603 footprint, echter waren de 1uF condensatoren niet beschikbaar in 0603 formaat en moesten aangepast worden naar een 1206 formaat.



Figuur 2: PCB Layout

2.5 Photodiodes

Tijdens het ontwerpproces is er geen rekening gehouden met de gevoeligheid van de photodiodes. Vooral bij het doen van een meting op de muur is dit van groot belang. Op een muur wordt het licht namelijk diffuus weerkaatst. Dit zorgt ervoor dat er maar een deel van het licht terugkomt op de sensoren.

Om te bepalen hoeveel licht terug komt op de sensoren, moet eerst bekend zijn hoeveel licht er door de laser uitgestuurd wordt. Helaas is dit niet terug te vinden in de datasheets van de gebruikte laser. Ook is er geen apparatuur aanwezig, waarmee de lichtsterkte gemeten kan worden. De efficiëntie van de gebruikte laser ligt tussen de 25 en 30%¹. Omdat er gebruik gemaakt wordt van een 300mW laser, is er vanuit gegaan dat er 75mW lichtstraling (radiant flux) opgewekt wordt.

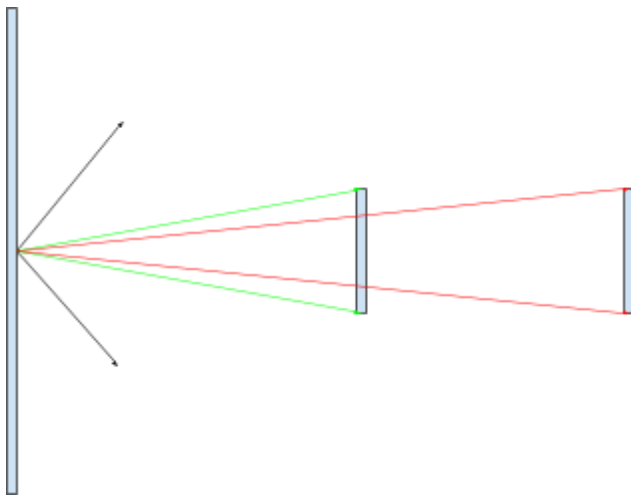
De 75mW lichtstraling zal door de beamsplitter gesplitst worden in twee lichtbundels van elk 50%. Vervolgens komt een van deze lichtbundels met een sterkte van 37,5 mW op een muur.

¹ "Encyclopedia of Laser Physics and Technology - wall-plug efficiency ..." 2013. 28 Jun. 2016
<https://www.rp-photonics.com/wall_plug_efficiency.html>

Afhankelijk van de kleur en structuur, heeft elk oppervlakte een reflectiecoëfficiënt. Bij het bepalen van de reflectiecoëfficiënt dient er rekening gehouden te worden met de golflengte van de uitgezonden laser. Deze bedraagt 532nm. Hierdoor zal de reflectie coëfficiënt op een groene muur vele malen hoger zijn dan op een rode muur. In deze berekening wordt uitgegaan van een witte muur, waardoor de reflectiecoëfficiënt relatief hoog zal liggen. De reflectiecoëfficiënt van licht stucwerk is 0.4^2 . Hierdoor zal het terug gekaatste licht $37.5\text{mW} \cdot 0.4 = 15\text{mW}$ worden.

Een muur zal het licht diffuus weerkaatsen. Om de weerkaatsing te berekenen is de invalshoek van het licht van belang³ (zie hoofdstuk 2.1.2 van reflection, refraction, diffraction and scattering). Voor deze berekening zullen we uitgaan van een muur die zich haaks op de Lidar bevindt. Hierdoor zal het licht weerkaatst worden met $A \cdot \cos(0) = 1$. Bij een muur die wel onder een hoek staat zal er dus minder licht terugkomen.

Tot op dit moment is het zonder veel voorkennis over optica en licht, redelijk te berekenen hoeveel licht er in elke stap verloren gaat. Echter op het moment dat de muur het licht diffuus gaat weerkaatsen zijn er uitgebreide berekeningen nodig. Hierbij moet er in gedachten gehouden worden dat hoe groter de afstand tussen de lidar en de muur is, hoe kleiner de hoek is waarin het licht daadwerkelijk op de sensor zal vallen. Dit is te zien aan de hoek tussen de groene, en de rode lijnen in figuur 3.



Figuur 3: Diffuse weerkaatsing van licht.

Omdat het oppervlakte van de sensoren zeer klein is. Kan het opgevangen licht vergroot worden door gebruik te maken van een lens. De lens kan ervoor zorgen dat het oppervlakte van het opgevangen licht vergroot wordt. De lens zal het gefocusde licht dan op de sensor laten vallen. Er is in de huidige opstelling geen gebruik gemaakt van lenzen.

² "Materials - Light Reflecting Factors - Engineering ToolBox." 2012. 28 Jun. 2016
<http://www.engineeringtoolbox.com/light-material-reflecting-factor-d_1842.html>

³ "2 Reflection, refraction, diffraction, and scattering." 2014. 28 Jun. 2016
<<https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF-GEO4310/h09/undervisningsmateriale/imaging-kap2.pdf>>

2.6 Meetsnelheid

Tijdens het ontwikkelen van de Lidar module zijn er meerdere problemen voorkomen. Vaak was het erg lastig om de oorzaak van deze problemen te vinden, omdat de meting binnen een zeer korte tijd plaats vindt. Binnen Avans is er geen meetapparatuur beschikbaar die snel genoeg is om de metingen van de eigen gemaakte hardware te kunnen verifiëren.

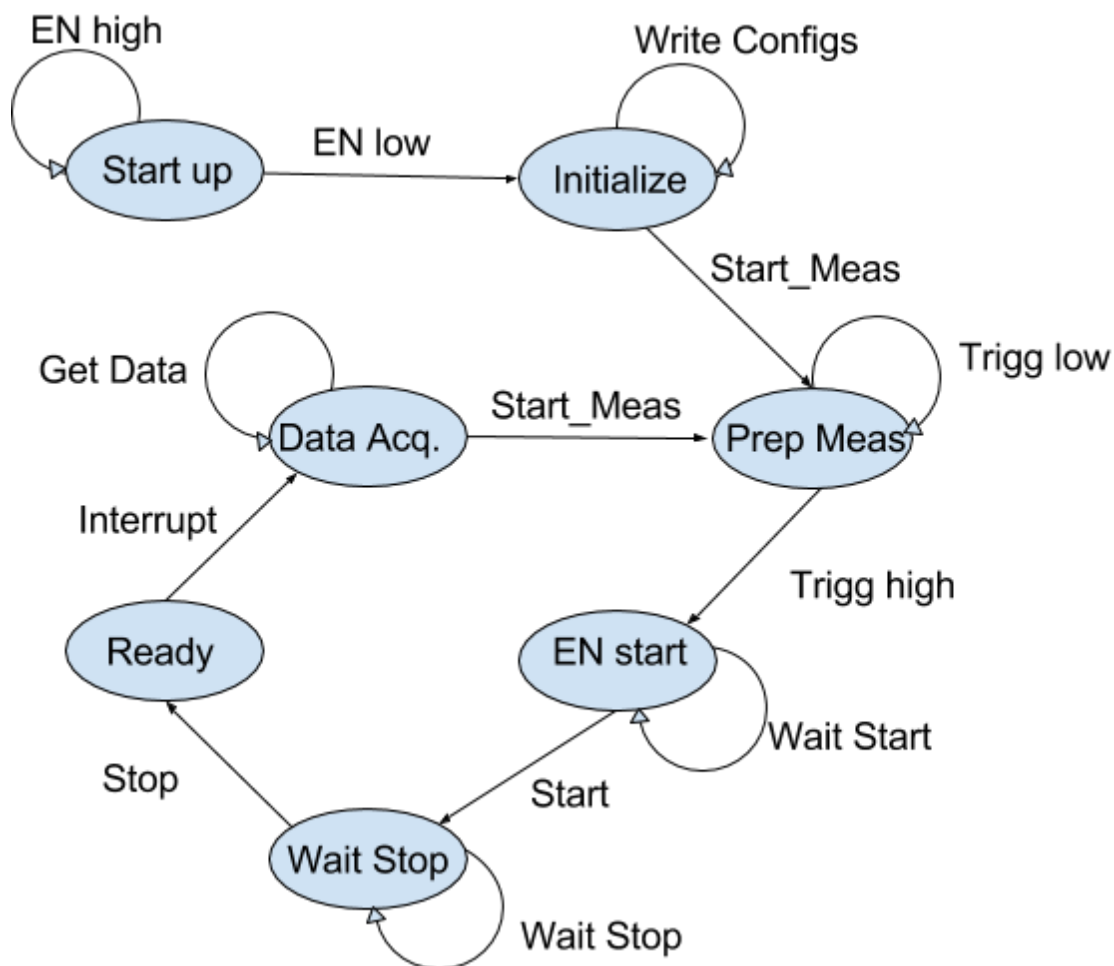
Via dr WJ van Harskamp zijn er contacten gelegd met TU Eindhoven en UMC. Hier beschikken ze wel over de benodigde oscilloscopen. Door tijdgebrek is hier helaas geen gebruik van gemaakt. Een aantal problemen zijn doormiddel van trial and error opgelost.

3. Software

In tegenstelling tot het ontwerp document is hier uitgebreid beschreven hoe en waarom verschillende belangrijke onderdelen, die mogelijk verdere uitleg nodig vereisen, gerealiseerd zijn. In dit document is niet elke module specifiek genoemd zoals in het ontwerp document. De niet genoemde modules zijn met name ter ondersteuning van de genoemde modules. Voor verdieping is de source code van de embedded software in te zien.

3.1. Tijdsmeting

In deze subparagraaf is beschreven hoe een meting van de time of flight gerealiseerd wordt.



Figuur 4: State Diagram TDC

De ENABLE lijn van de TDC 7200 dient na het opstarten laag gemaakt worden zodat de TDC geïnitieerd kan worden. Tijdens het initialiseren wordt het Configuratie Register 1 en 2 ingesteld door middel van het schrijven naar adres 0x40 en 0x41. Binnen de LiDAR module worden de volgende configuratie instellingen gebruikt:

* CONFIG1:

* DataBit 7: FORCE_CAL

* DataBit 6: PARITY_EN

- R/W - 1: Calibration is always performed at the end

- R/W - 0: Parity bit for Measurement enabled(EVEN PARITY)

- * DataBit 5: TRIGG_EDGE - R/W - 0: TRIGG is output as a Rising edge Signal
- * DataBit 4: STOP_EDGE - R/W - 1: Measurement is stopped on Falling Edge of STOP
- * DataBit 3: START_EDGE - R/W - 0: Measurement is started on Rising Edge of START
- * DataBit 2: MEAS_MODE(1) - R/W - 0: Measure Mode 1 (ToF < 500ns)
- * DataBit 1: MEAS_MODE(0) - R/W - 0: Measure Mode 1 (ToF < 500ns)
- * DataBit 0: START_MEAS - R/W - 0: Start Measurement bit

- * CONFIG2:
- * DataBit 7: Cal2_P(1) - R/W - 1: Calibration 2 - measuring 10 Clock Periods
- * DataBit 6: Cal2_P(0) - R/W - 1: Calibration 2 - measuring 10 Clock Periods
- * DataBit 5: AVG_Cycles(2) - R/W - 0: 1 Measurement Cycle (no Multi-Cycle Mode)
- * DataBit 4: AVG_Cycles(1) - R/W - 0: 1 Measurement Cycle (no Multi-Cycle Mode)
- * DataBit 3: AVG_Cycles(0) - R/W - 0: 1 Measurement Cycle (no Multi-Cycle Mode)
- * DataBit 2: NUM_Stop(2) - R/W - 0: Single stop
- * DataBit 1: NUM_Stop(1) - R/W - 0: Single stop
- * DataBit 0: NUM_Stop(0) - R/W - 0: Single stop

Zodra de configuraties ingesteld zijn, kan er gemeten worden. Om een meting te starten dient de START_MEAS bit in het CONFIG1 register hoog gemaakt te worden. Zodra de nieuwe config instelling ontvangen is, wordt de TDC intern gereed gemaakt om een meting te starten. Zodra de TDC gereed is, wordt de trigger lijn richting de PIC controller hoog gemaakt en wacht de TDC totdat er een signaal binnenkomt op de START lijn van de TDC.

Zodra de PIC controller ziet dat de trigger lijn hoog gemaakt is, zet de controller de laser aan. De photodiode geplaatst bij het uitgaande signaal zal licht meten en vervolgens de START lijn van de TDC triggeren waarna de TDC start met meten, de trigger richting de controller laag maakt en wacht op totdat de STOP lijn hoog wordt. Deze STOP lijn wordt hoog zodra de photodiode van het inkomende signaal licht meet. Bij het hoog worden van de STOP lijn, stopt de TDC met de tijd meting en zodra de gemeten tijd en bijbehorende calibratie waarden in de interne registers geplaatst is, stuurt de TDC een interrupt naar de PIC controller. Deze interrupt geeft aan dat het status register van de TDC uitgelezen moet worden. In het status register zal de TDC aangeven dat er een meting gereed is en vervolgens dient de controller de tijd waarden en calibratie waarden uit te lezen.

De controller zal met de uit de TDC gelezen waarden de volgende formule invullen om uiteindelijk tot een tijd te komen:

Waar:

- TOFn [sec] = time-of-flight meeting van START tot de n-de STOP
- TIME_n = n-de TIME meeting gegeven door de TIME1 tot TIME6 registers
- normLSB [sec] = normalized LSB waarde van de calibratie
- CLOCKperiod [sec] = externe CLOCK periode
- CALIBRATION1 [count] = TDC count van eerste kalibratie cycle
- CALIBRATION2 [count] = TDC count van tweede kalibratie cycle
- CALIBRATION2_PERIODS = instelling voor de tweede kalibratie cycle uit register CONFIG2 bit 1

Voorbeeld: time-of-flight tussen START en de eerste STOP, waarbij de volgende waarden zijn verkregen:

- CALIBRATION2 = 21121 (decimal)
- CALIBRATION1 = 2110 (decimal)
- CALIBRATION2_PERIODS = 10
- CLOCK = 8MHz
- TIME1 = 4175 (decimal)

Resultaat in de berekening voor time-of-flight:

- $\text{calCount} = (21121 - 2110) / (10 - 1) = 2112.33$
- $\text{normLSB} = (1/8\text{MHz}) / (2112.33) = 5.917 \times 10^{-11}$
- $\text{TOF1} = (4175)(5.917 \times 10^{-11}) = 247.061 \text{ ns}$

3.2 Wifi

Door middel van de RN171 Wifly chip is het mogelijk om een TCP socket tot stand te brengen. Binnen de Lidar opstelling is een wifi router geplaatst waarmee de module en de webserver verbinding maken. In de software staat de naam van het netwerk, het IP adres en de bijbehorende poort hardcoded geschreven waarmee de chip de TCP verbinding dient te maken. De procedure om met het netwerk te verbinden is als volgt:

- Stuur “\$\$\$” naar de Wifly module om naar command mode te gaan.
- Stuur het volgende commando om verbinding te maken met het Lidar netwerk:
“Join Lidar \r\n”
- Wacht totdat de wifi reageert met de volgende responsies:
“Auto-Assoc Lidar chan=11 mode=OPEN SCAN OK\r\n”
“Joining Lidar now..\r\n”
“<4.00>\n”
“Associated!\r\n”
“DHCP: Start\r\n”
- Met bovenstaande responsie geeft de chip aan dat het bezig is om met het gegeven netwerkverbinding te maken. Zodra dit volbracht is, geeft de chip de volgende responsies:
“DHCP in 1107ms, lease=86400s\r\n”
“IF=UP\r\n”
“DHCP=ON\r\n”
“IP=192.168.1.102:2000\r\n”
“NM=255.255.255.0\r\n”
“GW=192.168.1.1\r\n”
“Listen on 2000\r\n”
- Bovenstaande responsies geven aan dat de module met het netwerk verbonden is en hoe de module te bereiken is. Nu is het mogelijk om met de server een TCP verbinding op te zetten door de volgende instructie te versturen:
“Open 192.168.1.103 21\r\n”
- De module reageert hier vervolgens op met de volgende responsie die aangeeft dat de module een poging gaat doen om de TCP verbinding te openen:
“Open 192.168.1.103 21\r\n”

"Connecting to 192.168.1.103:21\r\n"

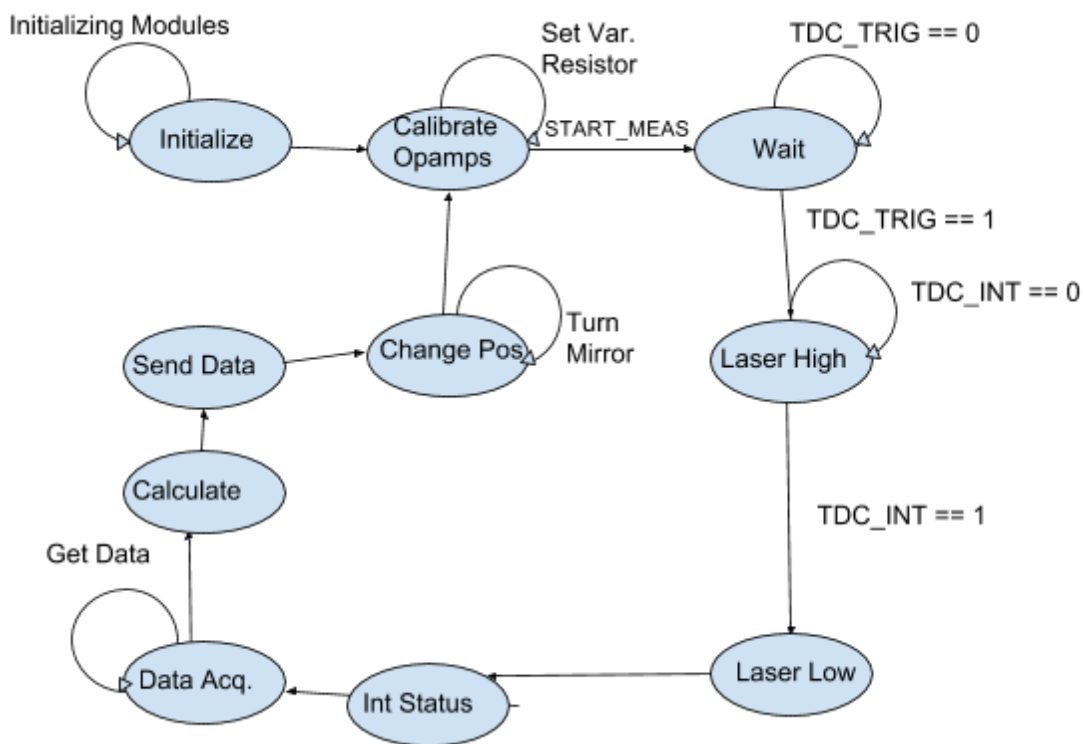
"<4.00> \n"

- Wanneer de Wifly module uiteindelijk reageert met "*OPEN*", heeft de module een TCP verbinding opgezet met de server, is de module overgegaan naar data mode en is de module gereed om data naar de server te versturen.

De module zal met de server communiceren conform de in bijlage 1 van het ontwerp document opgestelde communicatie protocol.

3.3 LiDAR meet proces

Gegeven de state diagram van het gehele proces waarmee de LiDAR data tot stand komt.



Figuur 4: State Diagram van LiDAR proces

Het gehele proces dat de de LiDAR uitvoert is beschreven in bovenstaand figuur.

Ten eerste worden alle modules geïnitieerd. De verschillende communicatie bussen en componenten worden ingesteld en gereed gemaakt voor gebruik. Nadat alles is ingesteld worden de opamps gekalibreerd door de digitale potmeters te veranderen en vervolgens met gebruik van de interne ADC's het signaal te meten om zo het effect van omgevingslicht te minimaliseren. Vervolgens wordt de TDC opdracht gegeven om zich gereed te maken voor de meting. Zodra de TDC gereed is, wordt de trigger lijn hoog gemaakt en de laser aangezet. De laser blijft aan zolang er nog geen interrupt is gegeven en de TDC dus nog bezig is met meten. Zodra er een interrupt komt vanuit de TDC wordt de laser uitgezet en wordt de interrupt status uitgelezen. Wanneer het interrupt register aangeeft dat de meting

gereed is, wordt de data uitgelezen en vervolgens wordt conform de eerder gegeven formule de time of flight berekend en vervolgens wordt in combinatie met de geluidssnelheid de afstand herleidt. De gemeten data wordt in combinatie met de heading van de spiegel naar de webserver gestuurd en vervolgens wordt de spiegel naar de volgende positie gedraait. Vanaf dat moment zal controller de opamps opnieuw kalibreren en zal de meting zich weer herhalen.

4. Website

Tijdens de realisatie van de website hebben er zich geen grote problemen voorgedaan. In het eerste blok van het project is de basis layout van de website gemaakt, is er verdiept in het Laravel Framework en is er veel tijd besteed aan het 2D tekenen via de Three.js library. Dit omdat deze library zeer uitgebreid is en de uitvoerende hier geen voorkennis in had. In het tweede blok is het meeste van de overige functionaliteit op de website gerealiseerd. Hierbij kan gedacht worden aan; ruimtes toevoegen, bewerken of verwijderen; de ruimtes koppelen aan een gebruiker (en afschermen voor andere gebruikers); het opslaan van meetwaarden in de database (en het tekenen vanuit deze database) en als laatste de communicatie met de LIDAR unit.

5. Conclusies & Aanbevelingen

Tijdens project Lidar is er gekeken naar de mogelijkheden om een afstandsmeting te realiseren met behulp van laser licht. In de onderzoeksfase zijn er 3 verschillende manieren onderzocht om een Lidar te bouwen. De keuze is gemaakt om de afstandsmeting met behulp van Time of Flight (TOF) te gaan realiseren. Bij het maken van deze keuze was bekend dat het triangulation principe makkelijker was te realiseren. De reden dat toch voor TOF gekozen is, is dat de projectgroep hierin een grotere uitdaging zag, en er meer leerstof in deze vorm te vinden zou zijn. Het is dan ook aan te bevelen goed te kijken naar wat de eisen en doelen van het project zijn, en een methode te kiezen die hierbij past. In het huidige eisen pakket zal triangulation ook voldoen, echter het de projectgroep heeft als doel gesteld te kunnen leren van het project. Daar was in de vorm van TOF meer ruimte voor.

TOF brengt echter veel problemen met zich mee. Een van deze problemen is de snelheid waarmee de meting plaats moet vinden. Omdat feitelijk de snelheid van het licht gemeten wordt, is het moeilijk om problemen te vinden zodra deze optreden. Er is binnen Avans geen meetapparatuur beschikbaar die snel genoeg is om alle problemen waar te nemen.

Een Lidar is erg afhankelijk van de gekozen optica. Omdat hier weinig kennis over aanwezig is binnen de groep, heeft dit tot resultaat dat er niet gemeten kan worden op muren. Om dit wel te realiseren zal er meer onderzoek gedaan moeten worden naar de hoeveelheid licht die weerkaatst wordt door een muur, en hoe dit licht zo veel mogelijk opgevangen kan worden. Een oplossing hiervoor kan het toepassen van lenzen zijn. Ook dient er bij het kiezen van de lichtsensoren rekening gehouden te worden met de minimale meetbare intensiteit.

Tijdens het project zijn er zowel technisch als projectmatig veel leermomenten geweest, waar de deelnemers in de toekomst profijt aan zullen hebben.

5. Revisiehistorie

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	16 Juni 2016	Eerste opzet van Realisatie document
1.1	17 Juni 2016	Concept versie
1.2	28 Juni 2016	Definitieve versie