



Universiteit Leiden Faculteit der Archeologie

Goedkoop differential GPS systeem voor archeologisch veldwerk

Tjaco Mast



Afstudeerverslag van ter afronding van de bachelor studie Technische Informatica aan de Haagse Hogeschool, 2012



Referaat

Titel

Tjaco Mast, Goedkoop differential GPS systeem voor archeologisch veldwerk, afstudeerverslag ter afronding van de bachelor studie Technische Informatica aan de Haagse Hogeschool, 2012

Samenvatting

Met behulp van GPS technologie is het mogelijk wereldwijd plaatsbepalingen te doen met een fout van maximaal 7 meter. Wanneer een hogere precisie nodig is, biedt dGPS een oplossing. Professionele dGPS apparatuur kan een precisie bereiken met een sub-centimeter fout. Deze apparatuur is echter duur en ontworpen om door specialisten te worden gebruikt. In dit afstudeerverslag wordt een dGPS systeem voorgesteld wat eenvoudig te bedienen is en waarbij de kosten qua onderdelen niet meer dan € 500 bedragen.

Descriptoren

GPS, differential GPS, dGPS, geodesie, landmeetkunde, plaatsbepaling, archeologie.



Voorwoord

In de acht jaar dat ik werkzaam was als systeembeheerder voor de Faculteit der Archeologie van de Universiteit Leiden, ben ik een sterke verbondenheid gaan voelen bij deze faculteit, het belang van archeologische onderwijs en onderzoek en de mensen die daar vorm aan geven. Ik was dan ook verheugd toen ik voor mijn voormalig leidinggevende, dr. Hans Kamermans, een afstudeeropdracht kon uitvoeren. Bij het zoeken van een opdracht heb ik mij ook ten doel gesteld, iets te realiseren dat daadwerkelijk een bijdrage kan leveren in de onderzoekspraktijk van Hans.

Honderd of meer mensen kan ik bedanken die mij geholpen hebben tijdens mijn studie Technische Informatica aan de Haagse Hogeschool. Om het voorwoord leesbaar te houden beperk ik mij tot één. Mijn vader Tjitze Mast. Tjitze bracht mij de liefde bij voor alles wat met techniek te maken heeft en meer.

Tjaco Mast

Leiden, mei 2012



Inhoudsopgave

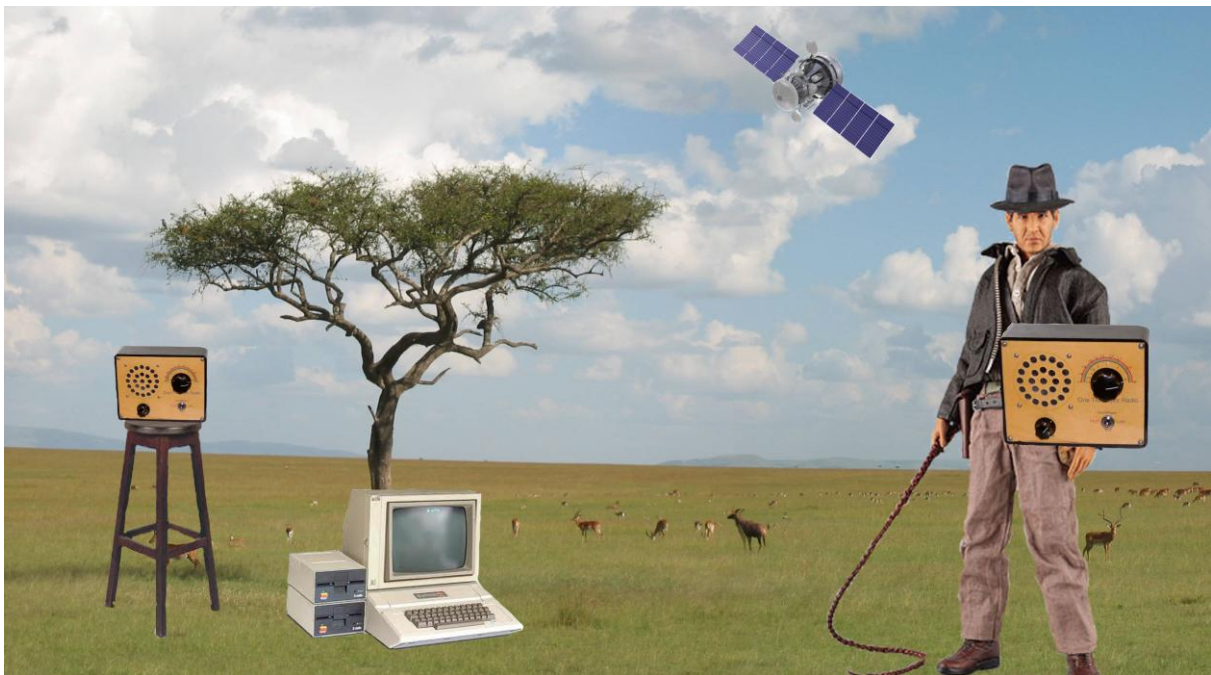
1	Inleiding.....	1
2	Organisatiebeschrijving.....	3
3	Oriëntatiefase	5
3-1	Context	5
3-2	Probleemstelling.....	5
3-3	Doelstelling	6
3-4	Resultaat en methode	7
3-5	Risicoanalyse	8
4	Definitiefase	9
4-1	Literatuuronderzoek.....	9
4-2	Requirements	16
4-3	Globaal ontwerp Proof of Concept.....	17
4-4	Beschikbare middelen	18
5	Iteratie 1, de LS20031 module	19
5-1	Ontwerp.....	19
5-2	Bouw.....	20
5-3	Test	22
5-4	Evaluatie	24
5-5	Volgende iteratie	24
6	Iteratie 2, de LEA-6T module.....	25
6-1	Ontwerp.....	25
6-2	Bouw.....	26
6-3	Test	28
6-4	Evaluatie	29
6-5	Volgende iteratie	29
7	Iteratie 3, geheugen en microcontroller	30
7-1	Ontwerp.....	30
7-2	Bouw en test.....	35
7-3	Test	42
7-4	Evaluatie	42
8	Iteratie 4, het samenvoegen der dingen.....	43
8-1	Ontwerp.....	43
8-2	Bouw.....	46
8-3	Test	46
8-4	dGPS verrekeningssoftware	50
8-5	Evaluatie	51
9	Projectevaluatie	52
	Afkortingen en terminologie	54
	Literatuurlijst	56

1 Inleiding

Het uitvoeren van plaatsbepalingen is een belangrijk aspect van het veldonderzoek van de archeoloog. Voor het uitvoeren van plaatsbepalingen staan hem verschillende moderne technieken ter beschikking, ieder met haar voor- en nadelen. GPS is een techniek waarmee de coördinaten van een positie kunnen worden bepaald. Het voordeel van GPS is dat het meetinstrument goedkoop is in aanschaf. Het nadeel is dat de meetfout van gewone GPS kan oplopen tot zeven meter. Dit is voor archeologisch veldonderzoek vaak te hoog. Het is mogelijk een hogere nauwkeurigheid te bereiken met behulp van *differential* GPS (dGPS) technologie. Het nadeel van dGPS is dat er alleen meetapparatuur beschikbaar is voor de professionele markt. Deze apparatuur is zeer nauwkeurig, veel nauwkeuriger dan voor veel veldonderzoek noodzakelijk is. Ook is de bediening van de apparatuur complex en zijn de aanschafkosten hoog.

De opdrachtgever van mijn afstudeerproject gaf aan een analyse te willen naar de mogelijkheid zelf een dGPS systeem te bouwen wat beter aansloot bij zijn wensen, goedkoop en eenvoudig te bedienen. Hiernaast moet het systeem ook bestand zijn tegen de ruwe omstandigheden van het archeologisch veldonderzoek.

De onderstaande afbeelding geeft een dGPS systeem schematisch weer.



Op de kruik naast de boom staat een zogenaamd field station. Het field station ontvangt continu GPS data van de satellieten rechtsboven. Het field station blijft tijdens de metingen op dezelfde plaats staan. De archeoloog rechts in de afbeelding, loopt door het veld en doet met behulp van de zogenaamde rover op verschillende plekken een GPS meting. Na de veldmetingen begeeft de archeoloog zich naar het post processing station onder de boom. Hij voert de verzamelde data van het field station en de rover in.



GPS metingen bevatten altijd een fout, veroorzaakt door verschillende natuurkundige invloeden. Omdat de rover en het field station naar dezelfde satellieten luisteren, ontvangen zij ook dezelfde fout. Van het field station weten we echter dat deze zijn plaats niet heeft verlaten. Door de metingen van het field station te vergelijken met de metingen van de rover, is de relatieve fout van de rover weg te rekenen.

De rode draad in dit project was de daadwerkelijke bouw van een dGPS systeem. Een literatuurstudie was voor de opdrachtgever onvoldoende. We besloten te zien hoever ik kon komen met de bouw van een proof of concept (PoC). Naast de noodzakelijke literatuur, zou ook de soldeerbout op tafel komen. Archeologen houden van concrete oplossingen.

Dit verslag is in twee gedeeltes te onder te brengen. Het eerste deel, die de oriëntatie- en definitiefase van het project beschrijft, blijft voornamelijk theoretisch. Ik stel vast wat de opdrachtgever wenst en doe een analyse naar de technische mogelijkheden. Deel twee beslaat vier iteraties waarin de hard- en software van het PoC wordt gerealiseerd. Vooral deel twee kent toont een confrontatie met de werkelijkheid.

Tijdens de eerste iteratie lijkt het principe van dGPS onhaalbaar met goedkope modules, tot blijkt dat de aanvankelijke productselectie tekort schoot. Tijdens de tweede iteratie lijkt de GPS module matig te presteren tot blijkt dat het aansluitschema in het datasheet verkeerd geïnterpreteerd is. Een eerste test wijst echter uit dat dGPS haalbaar is met een resolutie van 18 bij 13 cm. Tijdens de derde iteratie lijken goed werkende software libraries gevonden te zijn. Voor het eerst geen tegenslag. Tijdens de vierde iteratie blijken de softwarecomponenten niet zonder meer samen aan de praat te krijgen. Ook wordt duidelijk dat maximale resolutie van het systeem ingewikkelder in elkaar zit. Met een korte meting (5 min) blijkt een resolutie van twee meter haalbaar. Met een lange meting (30 min) blijkt een sub-centimeter resolutie haalbaar.

Tijdens dit project is aangetoond dat dGPS met grote waarschijnlijkheid realiseerbaar is bij een onderdelenbudget van €500. Het behalen van een sub-meter resolutie blijkt zeer zeker mogelijk. Voor field survey lijkt het systeem vooralsnog minder geschikt, tenzij een resolutie van 2 m ook acceptabel is. Het realiseren van een robuust apparaat is vooralsnog niet behaald.

De resultaten zijn zo bemoedigend dat dit project een vervolg krijgt.

- De eerste stap wordt de bouw van een hardwareplatform die voldoende robuust is dat er ook door derden goed mee kan worden getest.
- Vervolgens wordt de hard- en software open source gepubliceerd.
- De opdrachtgever gaf aan hierna het platform te willen introduceren op een archeologisch congres. De bedoeling is binnen de wetenschappelijke wereld belangstellenden te betrekken, die aan de verdere ontwikkeling willen bijdragen.

2 Organisatiebeschrijving

De Faculteit der Archeologie is de kleinste zelfstandige faculteit van de Universiteit Leiden. Ondanks de druk van de hedendaagse trend tot schaalvergroting, weet zij keer op keer haar zelfstandigheid te behouden. Vele pogingen zijn ondernomen archeologie bij een grote faculteit als Geesteswetenschappen of Sociale Wetenschappen onder te brengen (zelfs Wiskunde en Natuurwetenschappen is aan de orde geweest), maar in ieder geval kon worden hard gemaakt dat het functioneren van de faculteit er niet op vooruit zou gaan wanneer men de archeologen zelf het roer uit handen zou nemen.

Het mission statement stamt uit 2007 en is als volgt beschreven:

The Faculty of Archaeology of Leiden University studies the material remains of the development of human societies across the globe, from the earliest hominins until the post-medieval expansion of western societies and its consequences. Its research makes innovative contributions to debates in World Archaeology and to the role of the discipline in modern society, and it structures and inspires teaching.

De Faculteit der Archeologie beschikt over een eigen bestuur, dat leiding geeft aan honderdvijftig medewerkers (een gemiddelde bezetting van 72.6 FTE), die op hun beurt zeshonderd studenten in opleiding hebben.

De lijnen binnen de organisatie zijn kort en de contacten verlopen informeel.

Het onderzoek binnen de faculteit is ondergebracht bij tien leerstoelgroepen, ieder onder leiding van een hoogleraar. In het organogram (op de volgende pagina) worden deze weergegeven in de vier blokken onderaan. Het onderwijs wordt gegeven in zogenaamde *tracks* die een student kan volgen. Momenteel worden de volgende tracks aangeboden: Ancient America, Azië, Heritage Management, Klassieke wereld en het nabije Oosten, Noordwest Europa en Science-based Archaeology. Per *track* volgt de student een vastgesteld programma gegeven vanuit de verschillende leerstoelgroepen.

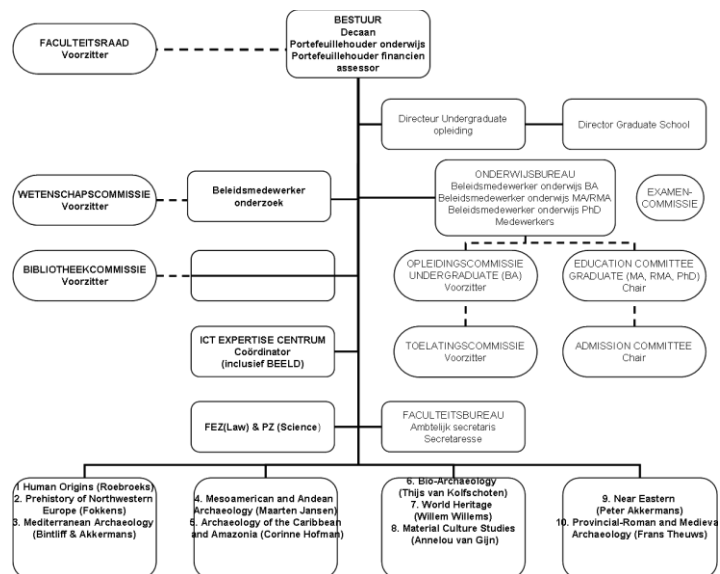
Naast deze afdelingen bestaan er verschillende commissies en een expertisecentrum. Dr. Hans Kamermans, mijn opdrachtgever, vormt samen met drs. Milco Wansleben en ing. Eric Dullaart het *ICT expertisecentrum*.



Het huidige bestuur van de Faculteit der Archeologie. Van links naar rechts: R. Nieuwenkamp, prof. dr. W.J.H Willems, Prof. dr. C.L. Hofman en drs. H.C. Pafort.



Vanuit dit expertisecentrum wordt onderwijs in computertoepassingen gegeven en houdt men zich bezig met onderzoek naar hoe nieuwe technologie de archeologie kan ondersteunen. De opdrachtgever is bestuurslid van het internationale CAA, dat ijvert voor het samenbrengen van archeologen, wiskundigen en informatici, met als doel het ontwikkelen van nieuwe kwantitatieve methodes voor archeologisch onderzoek. Nieuwe toepasbare technologie komt voornamelijk beschikbaar op het terrein van landmeten. Vandaar dat enkele jaren terug een geodetisch ingenieur aan de staf is toegevoegd.



Vanwege wettelijke bepalingen, beschikt deze kleine faculteit toch over een complexe organisatiestructuur.

De relatie van dit project tot de Faculteit der Archeologie bleef beperkt tot het ICT expertisecentrum. Tot twee jaar geleden maakte ik ook deel uit van dit expertisecentrum.



3 Oriëntatiefase

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar het te bereiken doel, de risico's die bij dit project aan de orde komen en de inrichting van het project. Het uiteindelijke product van deze fase is een projectplan met risicoanalyse.

3-1 Context

Dit project is uitgevoerd ten behoeve van de uitbreiding van het arsenaal landmeetapparatuur van de Faculteit der Archeologie van de Universiteit Leiden. De intentie was dat een eventueel succes ten goede zou komen aan de gehele archeologische gemeenschap, waardoor besloten is de gerealiseerde hard- en software *open source* te publiceren. Dit project behelst een analyse naar nieuwe mogelijkheden en is daarom niet bedrijfskritisch.

Het project is uitgevoerd met behulp van een kleine groep belanghebbenden, namelijk het ICT expertisecentrum van de Faculteit der Archeologie.

3-2 Probleemstelling

Voorafgaand aan de definitiefase is vastgesteld wat het probleem van de opdrachtgever is. Dit probleem is vastgelegd in de volgende probleemstelling:

Het is onbekend hoe een goedkoop, nauwkeurig en eenvoudig te bedienen dGPS systeem te maken is, voor archeologisch veldwerk.

Analyse probleemstelling

Deze probleemstelling is een samenstelling van vier problemen.

1. Het is onbekend hoe een dGPS systeem te maken.
2. Het is onbekend hoe dit goedkoop te doen.
3. Het is onbekend hoe deze nauwkeurig te laten functioneren.
4. Het is onbekend hoe deze eenvoudig bedienbaar te krijgen.

Over punten 2 en 3 had de opdrachtgever al een uitlating gedaan, die echter niet als in steen gebeiteld moet worden beschouwd. Een onderdelenbudget van € 500 beschouwde de opdrachtgever als goedkoop. Een nauwkeurigheid van één meter of minder beschouwde hij als nauwkeurig.

Het is vooralsnog binnen dit project onbekend hoe een dGPS systeem te maken is. Dat een dGPS te maken is staat echter vast. De onderdelen zijn te koop. De belangrijkste vraag is of een dGPS te maken is binnen het gegeven onderdelenbudget. Het is immers mogelijk dat de bestaande systemen een essentieel onderdeel bevatten dat buiten het budget valt.

Hiermee wordt het eerste en belangrijkste risico bekend:



Wellicht is het niet mogelijk binnen dit budget een dGPS te bouwen. Zelfs niet wanneer de overige eisen worden beperkt en het budget uitgebreid.

De problemen 3 en 4 lijken minder zwaarwegend. Een dGPS systeem zal nauwkeuriger meten dan een enkele GPS ontvanger. Wellicht wordt een nauwkeurigheid van 1 meter niet behaald, maar blijkt het systeem in praktijk toch bruikbaar. Op de bedienbaarheid van het systeem heeft de ontwerper veel invloed, zodra bekend is hoe het mogelijk is een goedkoop dGPS systeem te bouwen.

Conclusie

Alle deelproblemen uit de probleemstelling leunen op twee onderwerpen waar vooralsnog niet voldoende kennis bij mij over bestaat.

1. Er is onvoldoende bekend bij mij over de werking van GPS en dGPS technologie.
2. Er is onvoldoende bekend bij mij over de beschikbare hardware.

3-3 Doelstelling

Voorafgaand aan de definitiefase is vastgesteld wat de doelstelling van dit project moet zijn. De doelstelling is als volgt beschreven:

Het doel van de opdracht is inzicht geven, hoe een goedkoop, nauwkeurig en eenvoudig te bedienen dGPS systeem te maken is.

Kennis vergaren

Volgens de conclusie uit de vorige paragraaf bestaat er allereerst een kennistekort over hardware en theorie. Om de doelstelling te behalen zal dit kennistekort moeten worden opgelost.

In de inleiding staat beschreven dat de opdrachtgever niet louter een literatuurstudie verlangde. Hij gaf aan dat er ook onderzoek diende te gebeuren aan daadwerkelijke hardware met als doel kennis te vergaren over een bruikbaar dGPS systeem. De opdracht was om een PoC op te leveren.

Het vervaardigen van een PoC brengt met zich mee dat er met elektronica gebouwd moet worden. Een kant en klare dGPS module binnen het gewenste budget bestaat immers niet.

Interfacing realiseren

Er zal gekeken moeten worden hoe de verschillende elektronica onderdelen op elkaar aangesloten moeten worden om dGPS signalen te digitaliseren.

Het PoC zal een gebruikersinterface nodig hebben waarmee een gebruiker kan aangeven wanneer hij een meting wil doen.

Software realiseren

Om de dGPS metingen van het PoC naar een post processing station te krijgen is wellicht software op het PoC nodig, dat de dataopslag en datatransmissie regelt. Wellicht is er een softwarecomponent



nodig tussen de user interface en de rest van het PoC. Zeker is dat er software moet komen voor het post processing gedeelte. Misschien bestaat deze al, of moet binnen dit project worden gerealiseerd.

Testen

The proof of the pudding is in the eating. Testen zal uiteindelijk uitwijzen of de doelstelling behaald is. Tevens is een hoop testwerk te verwachten tijdens de bouw van het PoC.

3-4 Resultaat en methode

Dat de aanpak van het project op het resultaat toegesneden moet zijn, behoeft geen betoog. Hierom wordt in deze paragraaf resultaat en aanpak samengenomen.

Resultaat

Dit project levert documentatie en een PoC. De documentatie bestaat uit een definitiestudie en vier iteratierapporten. In het laatste iteratierapport is een test van het gerealiseerde PoC opgenomen.

Gedurende het project zal een PoC worden gebouwd in afgekaderde stappen.

Methode

Hoewel het doel van dit project duidelijk is, is de weg daar naar toe dat allerm minst. Van het onderwerp is nog zo weinig bekend dat een traditionele aanpak van ontwerpen, bouwen, testen tekort lijkt te schieten. Wellicht blijken onderdelen zich anders te gedragen dan verwacht en naar verwachting is de verhouding tussen theorie en praktijk weerbarstig. Hiermee is de waterval methode als projectvorm uitgesloten. RUP zou een betere keuze zijn, vanwege zijn iteratieve karakter. De elaboratie- en constructiefases dienen echter vooraf ingedeeld te worden. Teruggrijpen op een vorige fase is toegestaan, maar het uiteindelijke pad ligt vast. Bij dit project ligt nog niets vast, behalve het einddoel.

De keuze viel op een iteratieve manier van ontwikkelen. Deze methode betreft de opdrachtgever bij het bepalen van de koers van het project en biedt ruimte voor koerswijzigingen mochten er zich lastige situaties voordoen. De bestaande agile methodes zijn echter ontworpen voor gebruik door een ontwikkelteam. Bij dit project is er geen sprake van een team. De projectleider is tevens de uitvoerende. Bekend is dat er drie belangrijke onderdelen in dit project aan bod komen. Deze onderdelen hebben een dwingende volgorde.

1. Informatie vergaren
2. Een hardwareplatform realiseren
3. Software realiseren

Bovendien dient het project te worden ingericht.



Het inrichten van het project en het vergaren van informatie zijn typische eerste stappen in een traditionele projectaanpak. Nazorg lijkt bij dit project niet aan de orde te komen. Er wordt immers geen productiesysteem opgeleverd. Ontwerpen, voorbereiden, realiseren en testen komen echter wel aan de orde. Hiervan is echter nog niet duidelijk wat en wanneer.

Besloten is de initiatie- en definitiefase te gebruiken en deze te laten vervolgen door een aantal iteraties.

De iteraties worden als volgt ingedeeld:

- Vaststellen wat er in de huidige iteratie gaat gebeuren.
- Ontwerpen wat er in de iteratie gebouwd gaat worden.
- Bouwen van het product naar het ontwerp.
- Testen van het product.
- Evalueren van wat er gerealiseerd is.
- Vaststellen hoe het project verder dient te verlopen.



De traditionele fases in een ICT project

Hier ontstaat een samensmelting van twee methodes. Volgens het principe: voorbereiding is het halve werk, is er een planning gemaakt waarin de eerste twee fases de dubbele hoeveelheid tijd krijgen ten opzichte van de iteratiefases.

Volgens de planning blijft er nog één week over. Deze *vijfde iteratie* is bedoeld als round-up. Hier worden de losse eindjes verwerkt.

3-5 Risicoanalyse

Het belangrijkste risico is dat er een slechte voorspelling over de te volgen activiteiten te maken is. Om dit risico het hoofd te bieden is besloten te werken in korte iteraties, die worden afgesloten met een overleg met de opdrachtgever over hoe verder te gaan.

De tijdsduur van dit project is strikt beperkt. Om de belangrijkste eigenschappen van het PoC te realiseren, worden aan het begin van iedere iteratie meerdere doelen vastgesteld. Tevens wordt vastgesteld welke doelen worden losgelaten mocht er tijdgebrek optreden.



4 Definitiefase

De in de vorige fase verzamelde requirements zijn in het definitierapport opgenomen. Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd om in kaart te brengen welke kennis nodig was om tot een succesvol ontwerp te komen. Hierna is een globaal ontwerp van het PoC gemaakt en zijn de beschikbare middelen om dit PoC te bouwen geïnventariseerd.

4-1 Literatuuronderzoek

Tijdens de start van dit project werd al snel duidelijk dat de techniek en theorie aangaande (d)GPS omvangrijk en diepgravend is. Een volledig begrip van de technologie verkrijgen lijkt voor een bachelor afstudeerproject weinig realistisch. Uit een korte verkenning in de wetenschappelijke literatuur bleek dat menig promotieonderzoek is uitgevoerd ten aanzien van een deelonderwerp van de GPS technologie.

Dit onderzoek is uitgevoerd om praktische grond onder de voeten te krijgen.

Hoofdvraag en onderzoeksdoelstelling

De hoofdvraag is als volgt verwoord:

Welke mogelijkheden staan mij ter beschikking om met behulp van GPS modules verkrijgbaar op de consumentenmarkt een dGPS systeem te ontwikkelen?

Deze vraag is gesteld om het volgende doel te bereiken:

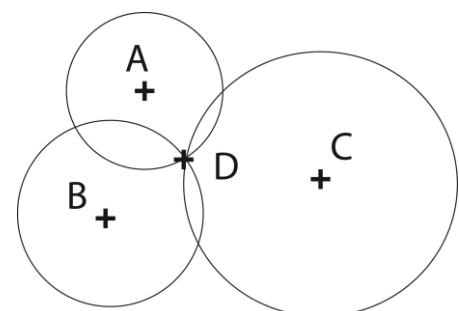
De doelstelling is voldoende begrip van de techniek en theorie aangaande GPS te verkrijgen om een praktische dGPS toepassing te kunnen ontwikkelen.

Beantwoording deelvragen

De hoofdvraag is uitgesplitst in verschillende deelvragen. In deze paragraaf volgt een opsomming van de deelvragen met hun gevonden antwoord.

Hoe is de GPS technologie tot stand gekomen?

GPS technologie is een logische opvolger van de radioplaatsbepalingssystemen die aan het einde van de tweede wereldoorlog aan hun ontwikkeling begonnen. De radioplaatsbepalingssystemen die toen zijn ontwikkeld waren allemaal gebaseerd op radiogroundstations. Hun principe berustte op drie afstandsmetingen en de methode van achterwaartse insnede. Men zond een signaal naar een groundstation. Het groundstation stuurde dit signaal weer terug.



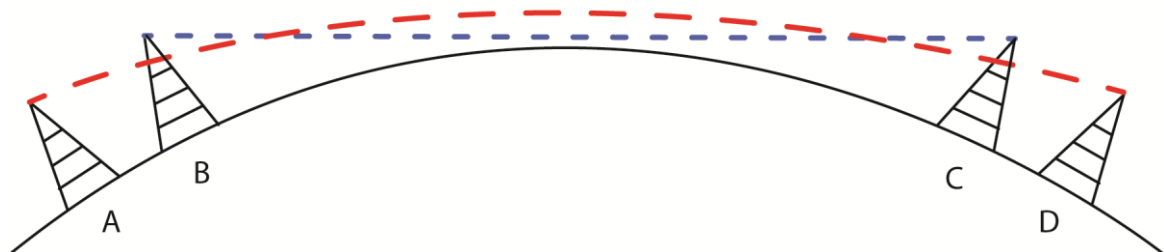
Achterwaartse insnijding. D wordt bekend, zodra de afstand van D tot A, B, en C bekend is.

Door de tijd te meten die verstrijkt tussen versturen van het signaal en ontvangen, met de wetenschap dat radiogolven met de snelheid van het licht reizen, is de afstand tot het grondstation te bepalen. Het is dan bekend dat men zich bevindt op een cirkel waarvan het grondstation het middelpunt vormt, waarbij de straal van de cirkel gelijk is aan de afstand tussen de metende en het grondstation. Door eenzelfde meting te doen aan twee andere grondstations, worden drie cirkels bekend. Het snijpunt van deze cirkels geeft de positie van de metende aan.^(1) Alberda, Ebginge, 2003)

Deze systemen hadden drie nadelen.

1. Gebruikte men een hoge radiofrequentie voor de meting, dan kon nauwkeurig de plaats bepaald worden (enkele meters precisie). Hoogfrequente radiogolven buigen echter niet met de aarde mee. De zender en ontvanger moesten in elkaars zichtveld zijn.
2. Gebruikte men een lage radiofrequentie voor de meting, dan was een meting mogelijk waarbij de zender en ontvanger ten opzichte van elkaar over de horizon heen lagen. De nauwkeurigheid nam echter af tot kilometerprecisie of minder.
3. Door de dubbele looptijdmeting, van de metende naar het grondstation en weer terug, verraaide de metende zijn eigen positie, waardoor het systeem voor oorlogsvoering minder geschikt was.

De volgende figuur geeft het probleem van de lange afstand onnauwkeurige meting (A-D) en de korte afstand, nauwkeurige meting weer. ^(2) Hursti, 2000)



In 1958 bewees W.H. Guier van de John Hopkins University, door metingen te doen aan het radiosignaal van de zojuist gelanceerde Russische Sputnik satelliet, dat een satellietnavigatiesysteem realiseerbaar is. ^(3) Guier, 1960)

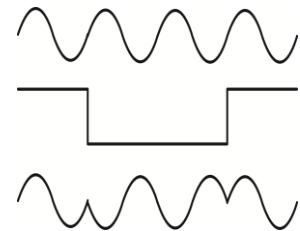
Hierop werd het TRANSIT systeem ontwikkeld. TRANSIT werkte met hoogfrequente zenders in een baan rond de aarde. Vanwege de baan rond de aarde was het zichtveld tot de satelliet geen probleem meer. Een dubbele looptijd was echter nog steeds nodig.

Nadat de Amerikaanse marine een oplossing voor het dubbele looptijdprobleem had gevonden, begon men in 1978 met het Navstar systeem. Navstar is de naam voor wat in de volksmond GPS is gaan heten. Navstar was uitgerust met een opzettelijke fout in de niet encrypte data (selective availability), waardoor de plaatsbepaling er honderd meter naast kan zitten. De Amerikaanse marine kon echter gebruik maken van ge-encrypte gegevens, waarvan alleen zij de sleutel bezat. Selective availability is op 2 mei 2000 uitgeschakeld.

Hoe verloopt een GPS plaatsbepaling?

Een plaatsbepaling wordt gedaan in verschillende stappen.

Een satelliet verstuurt twee draaggolven, genaamd L1 en L2. Over deze draaggolven wordt middels bifasemodulatie digitale data verstuurd. Deze data bevat ruwe baangegevens, nauwkeurige baangegevens en klok correctie data. (⁴McNamara, 2004)



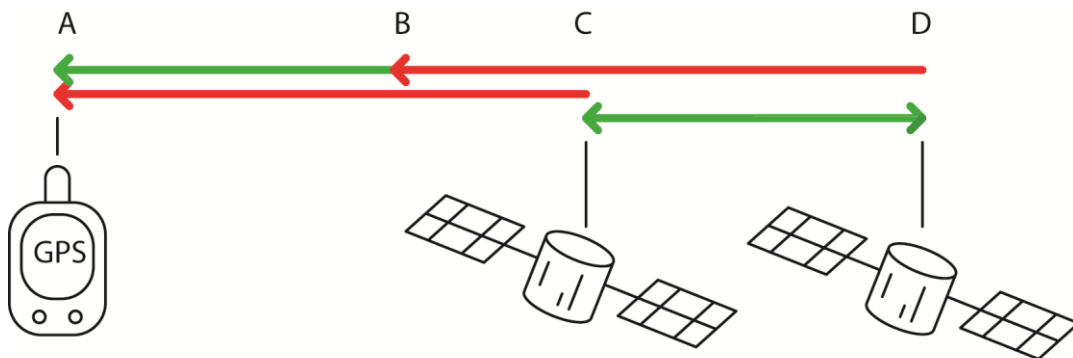
Bij bifasemodulatie wordt de fase van de draaggolf omgekeerd wanneer het digitale signaal van logische toestand wisselt.

De ruwe baangegevens zijn ongeschikt om een plaatsbepaling mee uit te voeren. Het is echter het eerste wat een GPS ontvanger opslaat in zijn zogenaamde almanak. De almanakgegevens zijn voor drie maanden in de toekomst valide. Alle satellieten zenden de almanak uit waarin positiegegevens staan over alle satellieten.

Nu de grove posities van de satellieten bekend zijn, wordt de zogenaamde efemeriden data ingelezen. Iedere satelliet verzendt zijn eigen nauwkeurige baangegevens als efemeriden data. Een efemeriden dataset is valide voor dertig minuten in de toekomst. De efemeriden worden iedere dertig seconden opnieuw uitgezonden.

Als de GPS ontvanger de almanak en efemeriden binnen heeft, zijn de exacte posities van de satellieten bekend, maar nog niet hun afstand.

De onderstaande illustratie geeft een enkele looptijd meting weer.



Op een gegeven moment is ongeveer bekend hoe twee satellieten zich qua afstand verhouden tot elkaar in een rechte lijn naar de ontvanger (Afstand C-D). De looptijd van signaal B-D en A-C is dezelfde. Ook is ruwweg de afstanden C-A en D-A bekend. Dit zijn namelijk de afstanden van de satellieten tot het aardoppervlak. De onnauwkeurigheid is aanvankelijk groot. De satellieten en de ontvanger liggen immers niet exact op één lijn. Door dezelfde meting te doen aan meerdere satellieten, worden de afstanden van de ontvanger tot de satellieten steeds nauwkeuriger. Met deze



meer nauwkeurige gegevens kunnen de eerdere afstandsmetingen opnieuw berekend worden, tot de natuurkundige fout (de maximaal haalbare resolutie van de GPS ontvanger) is bereikt. (⁵Bekir, 2007)

De belangrijkste natuurkundige fout wordt geïntroduceerd door de ionosfeer. (² Hursti, 2007) De ionosfeer is een laag in de atmosfeer die veel geladen deeltjes (ionen) bevat. De deeltjes raken geladen onder invloed van zonnewinden (wolken geladen deeltjes afkomstig van de zon). De ionosfeer begint op 70 tot 100 km boven het aardoppervlak en strekt zich honderden kilometers naar boven uit. De ionosfeer kan sterk van vorm en lading wisselen en is niet gelijkmatig over de aarde verdeeld. De ionosfeer werkt op radiogolven als een prima op licht. De golf wordt niet alleen afgebogen, maar wijzigt ook in frequentie. (De voortplantingssnelheid blijft echter dezelfde omdat elektromagnetische golven zich altijd met de lichtsnelheid voortplanten.)

Met behulp van metingen aan de fase van L1 en L2 is een nog hogere nauwkeurigheid te behalen. De frequentie van L1 is zo gekozen dat deze de minste breking van de ionosfeer ondervindt. De frequentie van L2 is zo gekozen dat deze een bekende fractie meer breking van de ionosfeer ondervindt. Door de ontvangen frequenties van L1 en L2 te vergelijken is terug te rekenen wat de invloed van de ionosfeer was op L1.

Welke theorie betreffende GPS is voor dit onderzoek relevant?

De fundamentele theorie over GPS is voor dit onderzoek relevant, maar strekt te ver om binnen het kader van dit project helder te krijgen. Uit verschillende bronnen bleek dat de apparatuur die beschikbaar is slechts verwerkte data levert. Een aantal datasheets geven aan dat de module in staat is 'ruwe' data te produceren. Hier bleek dat met ruwe data, data volgens het NMEA protocol werd bedoeld. NMEA (National Marine Electronics Association) is een protocol bedoeld om positieberichten in ASCII over een seriële verbinding te sturen. NMEA werd als 'ruw' beschouwd, ten opzichte van de eigen proprietary protocollen, die enkel door de software van dezelfde producent kan worden gelezen.

Waar deze apparatuur wel flexibiliteit in toont is het toepassen van SBAS (Satellite Based Augmentation System). Dit systeem is ontwikkeld om piloten van informatie te voorzien over de validiteit van hun plaatsbepaling. Het nauwkeuriger krijgen van de plaatsbepaling stond op de tweede rang. Omdat de grondstations onderling op grote afstand staan, is de dGPS component van weinig invloed. SBAS is een verzamelnaam voor de WAAS, MSAS en EGNOS technologie, die grotendeels compatibel is. Alle drie de systemen hebben een dGPS component, bieden extra informatie over de ionosfeer, en kunnen aangeven wanneer GPS metingen onbetrouwbaar zijn. Deze extra informatie wordt verzorgd door grondstations die correctiedata uitzenden. WAAS strekt zich uit over Noord Amerika, EGNOS bestrijkt het Europese grondgebied en MSAS is als Japans systeem beschikbaar in een aantal Aziatische landen.

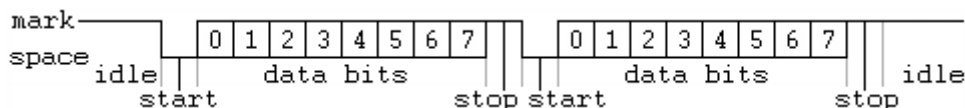
Op de moderne GPS modules zijn verschillende instellingen aangaande SBAS te doen.



Wat de verschillende modules gemeen hebben is de manier waarop zij hun GPS gegevens aanbieden. Iedere module is in staat tot het genereren van een NMEA data feed. NMEA is een protocol waarin de berekende plaatsbepaling en extra arbitraire gegevens worden weergegeven.

NMEA wordt verstuurd volgens een asynchroon serieel lijnprotocol als EIA232. Met dien verstande dat de elektrische signaalniveaus anders zijn. Bij EIA232 codeert 15V tot 3V een logische 0 en -15 tot -3V een logische 1. De GPS modules hanteren echter signaalniveaus van 5V of 3,3V ten opzichte van 0V. Net als bij EIA232 zijn verschillende instellingen te maken, als het aantal stopbits, de baudrate, parity check, enzovoort.

Hieronder wordt een voorbeeld van een lijnsignaal afgebeeld, waarover NMEA data kan worden verstuurd:



Links beginnend staat de lijn op een hoog niveau (een logische 0), wat aangeeft dat er geen data wordt verstuurd. Voorafgaand aan een reeks te verzenden bits, wordt de lijn voor één periode laag gemaakt. Dit is het zogenaamde startbit. Hierna volgen de databits die in dit geval een karakter van 7 bit coderen, afgesloten met een stopbit.

De karakters zijn gecodeerd volgens ASCII waardoor NMEA data min of meer leesbaar is. Volgens NMEA wordt data verstuurd in zogenaamde sentences. Een sentence begint met de karakters \$GP en eindigt met de stuurcodes <CR><LF>.

Hieronder staat een voorbeeld van een stuk NMEA data feed:

```
$GPGGA,161339.400,5209.0627,N,00429.2370,E,1,5,2.28,-3.6,M,47.1,M,,*74
$GPGLL,5209.0627,N,00429.2370,E,161339.400,A,A*56
$GPGSA,A,3,28,18,17,15,09,,,,,,,,,3.83,2.28,3.08*01
$GPGSV,3,1,12,27,75,291,,15,74,229,16,09,51,276,24,26,41,141,*71
$GPGSV,3,2,12,28,39,055,15,18,32,284,29,17,30,098,16,33,27,204,*72
$GPGSV,3,3,12,12,17,213,,22,13,324,,08,02,082,,11,01,025,*7E
$GPRMC,161339.400,A,5209.0627,N,00429.2370,E,1.75,346.33,070412,,,A*63
```

De sentences bevatten veelal dezelfde data en verschillende vorm. De \$GPGGA sentence is één van de meest interessantste. Deze sentence bevat onder andere hoogte- en breedtegraad informatie, de hoogte van de ontvanger ten opzichte van de zeespiegel en de tijd.

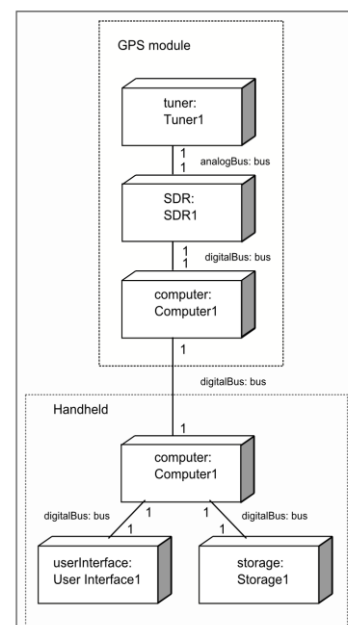


Als we de bovenste sentence in een tabel met toelichting plaatsen blijkt de leesbaarheid erg mee te vallen:

Betekenis	Data
<i>Global positioning system fixed data</i>	\$GPGGA
Tijd (hhmmss.ms)	161339.400
Hoogtegraad	5209.0627,N
Breedtegraad	00429.2370,E
0 = No fix 1 = Fix 2 = dGPS fix	1
Bemonsterde satellieten	5
PDOP	2.28
Hoogte	-3.6,M
Hoogte2	47.1,M
Laatste dGPS update	
dGPS referentiestation	
Checksum	*74

Uit welke onderdelen bestaat een GPS ontvanger?

Bij het beschouwen van de gevonden datasheets van GPS modules, viel op dat slechts enkele producenten informatie verstrekten over de interne werking van de module. Bij de datasheets waar hier wel gewag van wordt gemaakt, valt de volgende structuur op. De radiogolven ontvangen door de antenne komen binnen op een tuner. Deze tuner stemt af op de specifieke GPS frequenties en biedt deze aan aan een SDR (Software Defined Radio) circuit.⁽⁴⁾ McNamara, 2004) De SDR demoduleert de GPS signalen, waardoor de ruwe data uit de satellieten beschikbaar komt. De ruwe data wordt door een computer verwerkt tot NMEA of vergelijkbare data. De computer is veelal een ARM SoC. Dit is een relatief trage computer (600 MHz) die energiezuinig is en een hoge performance heeft mits een volledig besturingssysteem achterwege kan worden gelaten.



Een ARM computer is los verkrijgbaar, de tuner en SDR zijn specifiek voor een GPS module en niet als losse component verkrijgbaar.

Bij veel GPS modules is de antenne geïntegreerd en is gekozen

Een GPS module aangesloten op een handheld. Deze constructie is typisch voor een moderne smartphone met GPS functionaliteit.



voor een passieve keramische antenne.

Wat voor GPS modules zijn op de consumentenmarkt beschikbaar?

Voor dit onderzoek is een long list van beschikbare GPS modules gemaakt. Door de uit de longlist de modules met USB aansluiting en externe antenne te verwijderen, ontstond de volgende short list. Vanwege de grote hoeveelheid modules is de aanname gedaan dat een module verkrijgbaar moet zijn, en een seriële aansluiting en geïntegreerde antenne moet hebben.

Module name	Chipset	Sensitivity	Input protocol	GLONASS	Galileo
LS20031	MT3329	-165dBm	n	-	-
EM-406A	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
S2525G2F	S2525G2F	-159dBm	n	x	-
PMB-648	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
PMB-688	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
Copernicus II	Copernicus II	-160dBm	n/s	-	-
EM-408	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
FV-M8	FV-M8	-158dBm	n	-	-
GP-2106	SiRF IV	-163dBm	n	-	-
D2523T	UBX-G5010	-160dBm	n/u	-	-
D2523T-6	UBX-G6010	-162dBm	n/u	-	-
GS407	uBlox 5	-160dBm	n/u	-	-
EM-410	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
EM-411	Sirf III	-159dBm	n/s	-	-
552ETTL	uBlox 5	-160dBm	n/u	-	x
UP501	MT3329	-165dBm	n	-	-
IT600	STA8088EX	-160dBm	n	x	x
W2SG0084i	Sirf IV	-163dBm	n/s	-	-

Een aantal minder relevante kolommen zijn uit deze lijst weggelaten. Bij het bestuderen van de datasheets bleek dat de modules grotendeels dezelfde functionaliteit bezitten. De prijzen in de long list varieerden van € 16 tot € 135. Er is specifiek gezocht naar modules boven de € 135, maar die zijn niet gevonden. Er lijkt geen extreem bovensegment in GPS modules te bestaan.

Conclusie

GPS is qua theorie en toepassing een complexe techniek. Dit blijkt uit het lange ontwikkeltraject ondanks miljardeninvesteringen van de Amerikaanse overheid. Dit is begrijpelijk als gekeken wordt naar de extreme getallen die bij GPS technologie komt kijken. Voor het doen van een plaatsbepaling met een nauwkeurigheid van zeven meter, worden satellieten gebruikt die op 20.000 km afstand staan. De klokken die in de satellieten worden gebruikt hebben een fout van maximaal 9ns (0.000000009s) per etmaal. Bovendien moet het systeem compenseren voor natuurkundige invloeden van de ionosfeer en het verre van sferische zwaartekrachtsveld van de aarde. Hiernaast bestaan er nog een reeks andere natuurkundige invloeden die weliswaar minder impact op de meetfout hebben, maar ieder voor zich weer een verstoring introduceren.



Beschikt men niet over een radiotechnisch laboratorium of professionele landmeet GPS systemen, dan is men aangewezen op GPS modules. Deze zijn goedkoop maar lijken weinig opties voor experimenten te bieden. De modules hebben een vergelijkbare performance en kwaliteit. Alle in dit onderzoek gevonden modules bieden een NMEA data feed.

4-2 Requirements

De opdrachtgever had aangegeven over een meetinstrument te willen beschikken waarmee metingen konden worden gedaan die een nauwkeurigheid van één meter behaalde waarbij de kosten van de onderdelen niet boven de € 500 uit zouden komen. Het bleek dat er nog meer voor de hand liggende eigenschappen van het apparaat bestonden. Het moest robuust zijn, portable, eenvoudig te bedienen. De lijst werd steeds langer en daarmee onduidelijker welke requirement in welke mate belangrijk was, waardoor de opdrachtgever besloot dat de overige leden van het ICT expertisecentrum betrokken moesten worden.

In een gesprek met de opdrachtgever, zijn wetenschappelijk medewerker en de facultaire geodesiespecialist, ontstond spontaan een opsomming van requirements. Hier is direct een lijst van gemaakt. Hoewel de focus lag op het vinden van functionele requirements, hadden de leden van het ICT expertisecentrum dermate concrete ideeën over de vorm van het uiteindelijke PoC, dat er voornamelijk technische requirements benoemd werden. Omdat er discussie ontstond over wat een requirement precies inhield, heeft de projectleider per requirement concrete performance indicatoren te benoemen.

Nadat de requirements in een lijst waren geplaatst is aan de leden van het ICT expertisecentrum gevraagd per requirement een score toe te kennen in eenheden van 7, 3, 1 of 0 punten. Om te verhinderen dat ieder requirement 7 punten kreeg toegekend, is een maximum van 60 te verdelen punten vastgesteld.

De scores zijn opgeteld en door drie gedeeld. Dit leverde de volgende tabel.

Categorie	Eisen	OP	GS	WM	average	top 3
Nauwkeurigheid	Tot 1 m nauwkeurig	7	7	7	7,0	1
	Max afstand tussen Rover / FS tot 10 Km	1		1	0,7	
	PDO ?					
	Rover en FS bevatten interne klokken	1	7	3	3,7	3
Robuustheid	Overleeft val van 2m op harde ondergrond	7	3	3	4,3	2
	Overleeft enkele seconden onder de douche	1	3	3	2,3	
	Functioneert tussen -20 en 50 deg.C	7	3	1	3,7	3
	Is niet donker gekleurd		1		0,3	
Draagbaarheid	Rover weegt max 500g	3	3	7	4,3	2
	Bevat accu	1	3		1,3	
	Accu kan niet overladen	3	3	7	4,3	2
	Accu heeft capaciteit voor 12hr werk	1	1	1	1,0	
	Accu is oplaadbaar in 8 hr	7	3		3,3	



Bedienbaarheid	Alfanumeriek toetsenbord	3	3	3	3,0	
	Draai-en-drukkop bediening	1		1	0,7	
	Goedkoop en vervangbaar LCD scherm	1	1	1	1,0	
	Touchscreen					
	Ladingsindicatie voor accu	1	1	1	1,0	
Betaalbaarheid	Kosten onderdelen max 500 Euro	7	7	7	7,0	1
	HW ontwerp en broncode is open source	1	3	7	3,7	3
Aansluitbaarheid	Data op verwijderbare SD card	3	1	3	2,3	
	RS232 aansluiting	3	1	3	2,3	
	Kan RINEX formaat exporteren		3		1,0	
	PC software is platform onafhankelijk	1	3	1	1,7	
Totaal punten		60	60	60	60	

OP = Opdrachtgever, GS = Geodesie specialist, WM = Wetenschappelijk medewerker.

Bij het verzamelen en wegen van de requirements wordt duidelijk dat het PoC een in praktijk bruikbaar instrument dient te worden. Wat opvalt is dat twee requirements door iedereen als meest belangrijk werden beschouwd. Het beperkte onderdelenbudget en de meetfout van maximaal één meter.

4-3 Globaal ontwerp Proof of Concept

Nu bekend is wat de wens van de opdrachtgever is en er kennis over toegepaste GPS technologie is vergaard, kan een globaal ontwerp van het PoC worden opgesteld.

De requirements brengen een aantal eisen en beperkingen met zich mee.

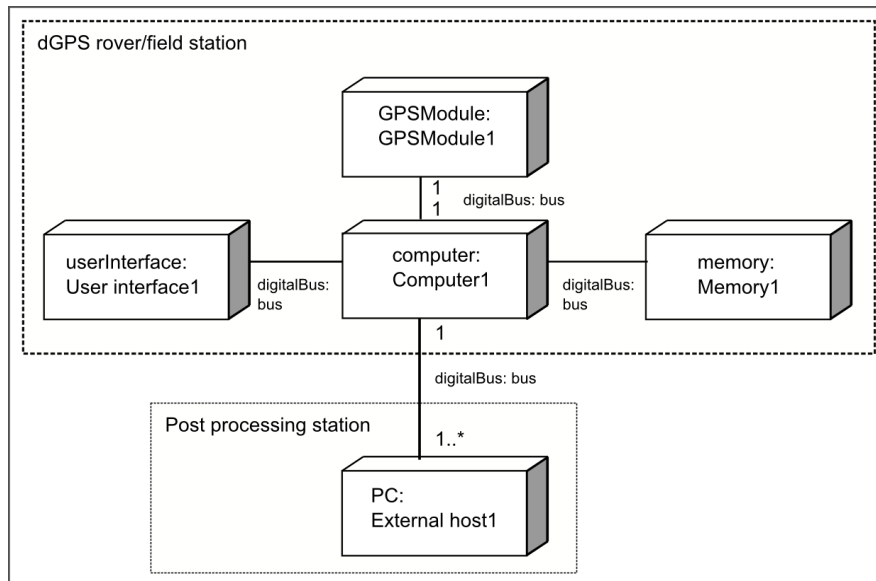
1. Er kan niet met bestaande apparaten, zoals smartphones, worden gewerkt waar een GPS in zit. De aanschaf hiervan overschrijdt het onderdelenbudget.
2. De rover en fieldstation moeten stand alone kunnen opereren. Een GPS module direct op het postprocessing station aansluiten is geen optie. Hieruit volgt dat er een eigen geheugen en stroomvoorziening op de rover en fieldstation aanwezig moet zijn.
3. De rover en fieldstation hebben een minimale user interface nodig, om een begin en eind van een meet sessie aan te geven en aan te kunnen geven waar een meting dient plaats te vinden.

Hieruit volgt dat minimaal de volgende onderdelen nodig zijn.

1. Een GPS module.
2. Een kleine computer.
3. Een user interface, in zijn eenvoudigste vorm een paar toetsen en eventueel een digitaal display.

4. Een geheugen.
5. Een interface om met het post processing station te communiceren.
6. Een draagbare voeding.

Weergegeven in een UML deployment diagram verschijnt de volgende afbeelding:



4-4 Beschikbare middelen

Naast het onderdelenbudget van € 500 staan de projectleider de landmeetapparatuur en software van de Faculteit der Archeologie ter beschikking voor gebruik:

- Infraroodtheodolieten (voor referentiemetingen);
- Professionele GPS ontvangers;
- Verschillende softwareapplicaties voor geodesie.

Hoewel hij een personeel middel is, verdient de facultaire geodetisch ingenieur het om apart van de apparatuur vermeld te worden.

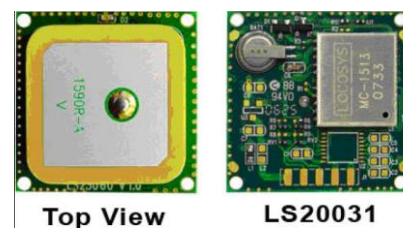
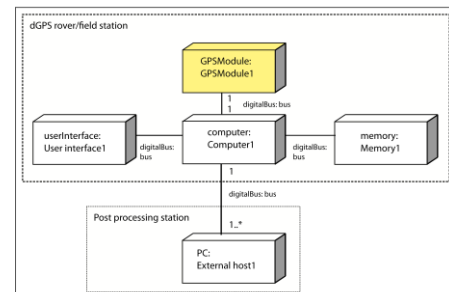
5 Iteratie 1, de LS20031 module

In de eerste iteratie is ten doel gesteld twee GPS modules te doen functioneren en de data op een PC beschikbaar te krijgen. Wanneer dit is gerealiseerd, wordt getest of de verkregen data voldoende correlatie heeft om als dGPS systeem te kunnen functioneren.

5-1 Ontwerp

Bij het opstellen van het definitierapport is bekend geworden wat de opdrachtgever verwacht, wat de technische mogelijkheden zijn en hoe het basisonwerp eruit ziet. Ieder iteratiehoofdstuk begint met een verkleinde afbeelding van het basisonwerp, waarin de gele kleur aangeeft aan welk onderdeel wordt gewerkt.

Tevens is er een shortlist van modules gemaakt. Bij het selecteren van een module voor gebruik in de eerste iteratie, is gekeken naar de prijs en extra opties die de module biedt. Veel verschil in opties is niet te herkennen, wel kan één module beduidend meer kanalen tegelijkertijd ontvangen. Tevens liggen de kosten van deze module met € 40 rond het gemiddelde van de overige modules. Er is besloten twee modules van het type LS20031 van de firma LOCOSYS te bestellen.



De LS20031 module.

Voor testdoeleinden zijn er twee Arduino boards beschikbaar die een serieel 5V TTL signaal kunnen interfaceren naar een USB aansluiting. Wanneer deze aansluiting op een PC wordt aangesloten, verschijnt daar een virtuele COM poort, waar een applicatie gebruik van kan maken. In de datasheet van de LS20031 lezen we echter twee zaken die problematisch zijn.

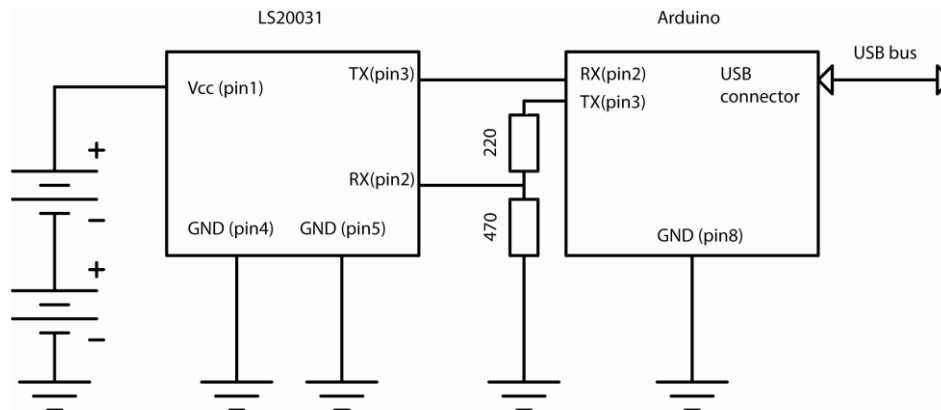
1. De LS20031 heeft een voedingsspanning van 3,3V nodig.
2. De LS20031 communiceert op 3,3V signaalniveau.

Na wat rekenwerk bleek probleem 1 op te lossen door twee penlite batterijen aan te sluiten. Deze leveren weliswaar 1,5V per stuk, maar aan het begin van hun gebruik is de spanning 0,2V hoger. 3,4V valt nog binnen de maximale voedingsspanning van de LS20031. Er is overwogen de 3,3V spanningsbron die op de Arduino aanwezig is te gebruiken om de LS20031 te voeden. Deze kan 50mA leveren. In de datasheet van de LS20031 is echter geen piekstroom beschreven, alleen het nominale verbruik van 30mA. Om de Arduino niet te beschadigen is toch voor de batterijoplossing gekozen.

Een oplossing voor probleem 2 werd gevonden in een application note van de firma MicroChip. Hier werden verschillende oplossingen aangedragen om een 3,3V signaal te converteren naar 5V en terug. Een 3,3V LVTTLL uitgang aansluiten op een 5V TTL ingang is geen probleem. Andersom is wel een

probleem omdat de 5V het 3,3V apparaat kan beschadigen. De simpelste oplossing is het toepassen van een spanningsdeler.

Dit leidde tot het volgende ontwerp:

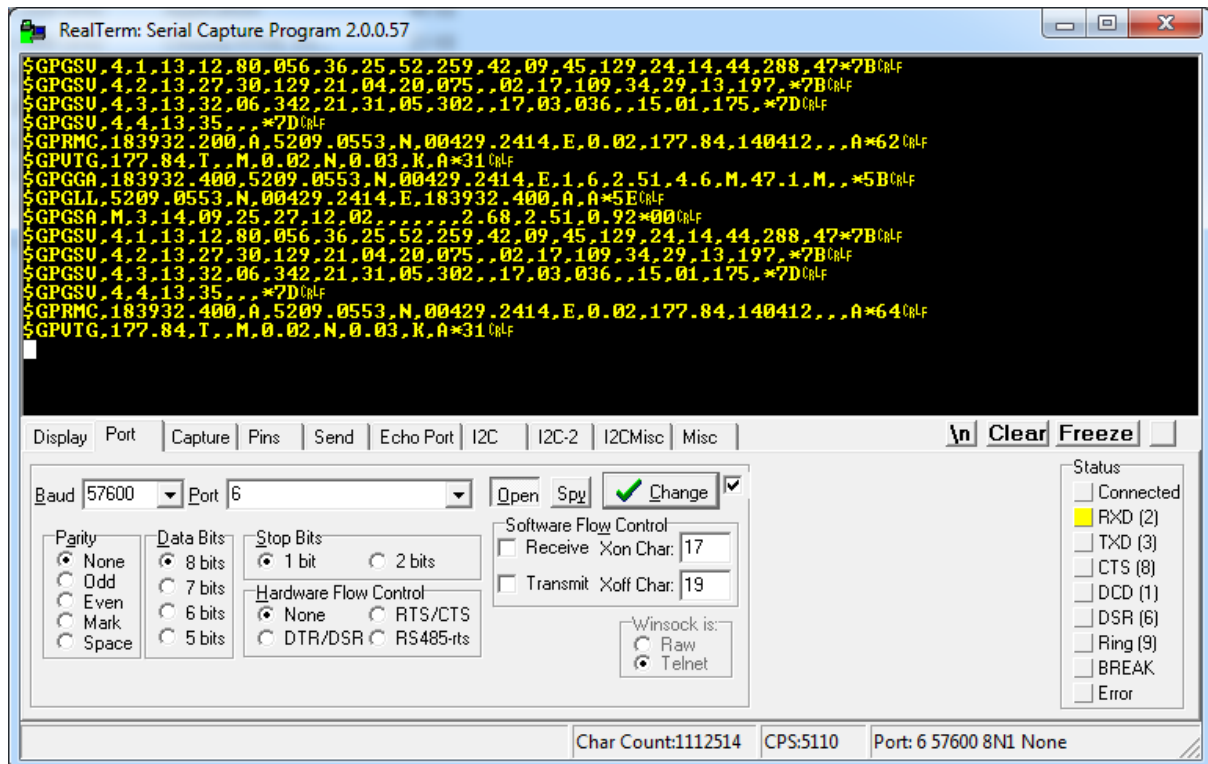


De LS20031 betreft zijn eigen voeding uit twee penlite batterijen. TX naar de Arduino kan direct worden aangesloten, RX naar de Arduino verloopt via een spanningsdeler zoals voorgesteld in de application note van MicroChip.

5-2 Bouw

Na het aansluiten van de voeding, gedroegen de modules zich als verwacht. Op de bovenzijde van de module zit een LED die per seconde flitst zodra een GPS fix verkregen is. De modules flitste alleen even na inschakelen. Liggend in de vensterbank flitste er na dertig minuten nog niets. Toen een module naar buiten gebracht werd begon deze na vijf minuten te flitsen. Dit ging door wanneer de module weer in de vensterbank werd gelegd. Blijkbaar was het ontvangst binnen te slecht om de efemeriden en almanak te verzamelen.

Wanneer een oscilloscoop op de digitale uitgang (TX) van een werkende module werd aangesloten was een blokgolf van 3,3V te zien. Nadat de TX van de module op de RX van de Arduino werd aangesloten en een terminalprogramma werd gestart, was het volgende te zien:

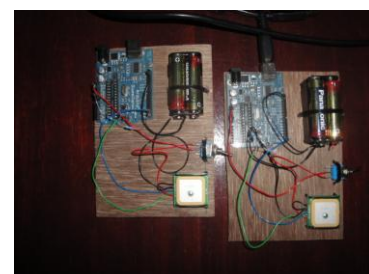


Het terminalprogramma toont verschillende NMEA sentences, die binnenkomen op een serieel signaal van 57600 baud, geen parity, 8 data bits en 1 stop bit.

De baudrate van de module bleek anders te zijn dan in de datasheet werd aangegeven, maar de terminal toonde een NMEA feed.

Het aansluiten van de Arduino TX op de module RX via de spanningdeler verliep minder gunstig. De spanning op de RX aansluiting zakte weg tot 1,7V. Verbrak ik de verbinding tussen de module en de spanningsdeler dan bleef de spanning wel stabiel op 3,3V. Blijkbaar was de weerstand van de ingang zo laag dat het de spanning deed instorten. Als experiment zijn de weerstanden een factor duizend groter genomen en het signaal bleef wel overeind.

In het data sheet stonden een aantal commando's die naar de module kunnen worden verstuurd. Eén daarvan is een test message: \$PMTK000*32<CR><LF> wanneer ik deze verstuurde kwam er een reply message: \$PMTK001,0,3*30. Volgens de datasheet betekent dit reply message dat de boodschap goed is aangekomen.



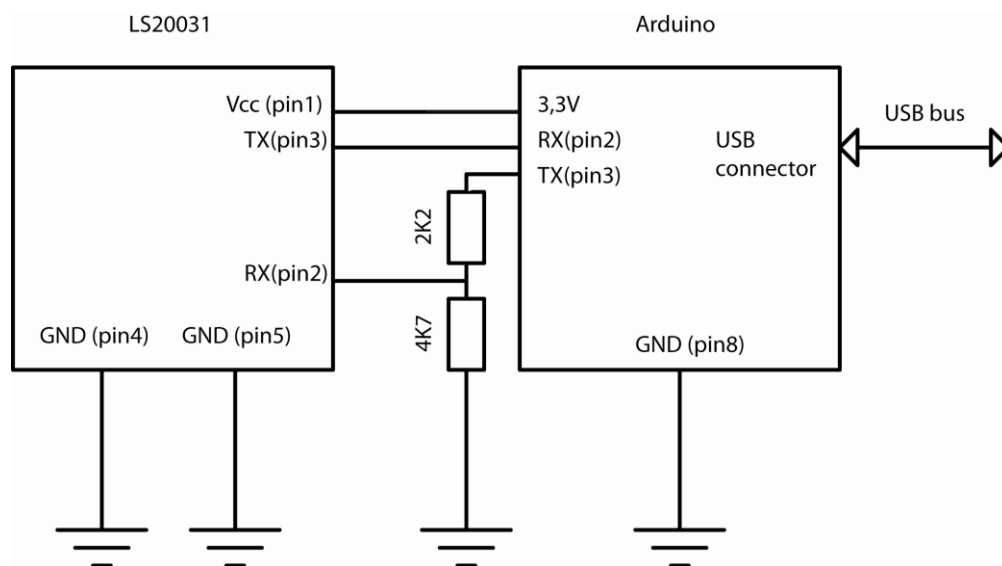
De eerste prototypes

Hierna begon één module 'stotterend' signalen te geven. De batterijspanning bleek na een paar uur gebruik weggezakt tot 2,2V. De gok is genomen om toch de 3,3V voedingsbron op de Arduino te

gebruiken om de module te voeden. Dit bleek geen probleem. Er waren op de Arduino geen warme componenten te bespeuren.

De Arduino betreft zijn voeding uit de USB poort. Tijdens de bouw viel op dat bij het gebruik van lange USB kabels de voeding niet voldoende meer is.

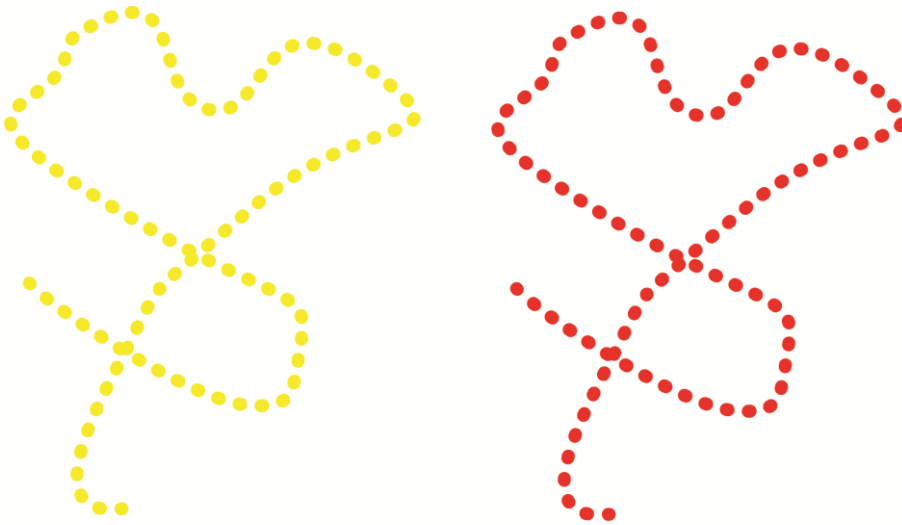
Nadat de wijzigingen in het ontwerp waren opgenomen ontstond het volgende schema:



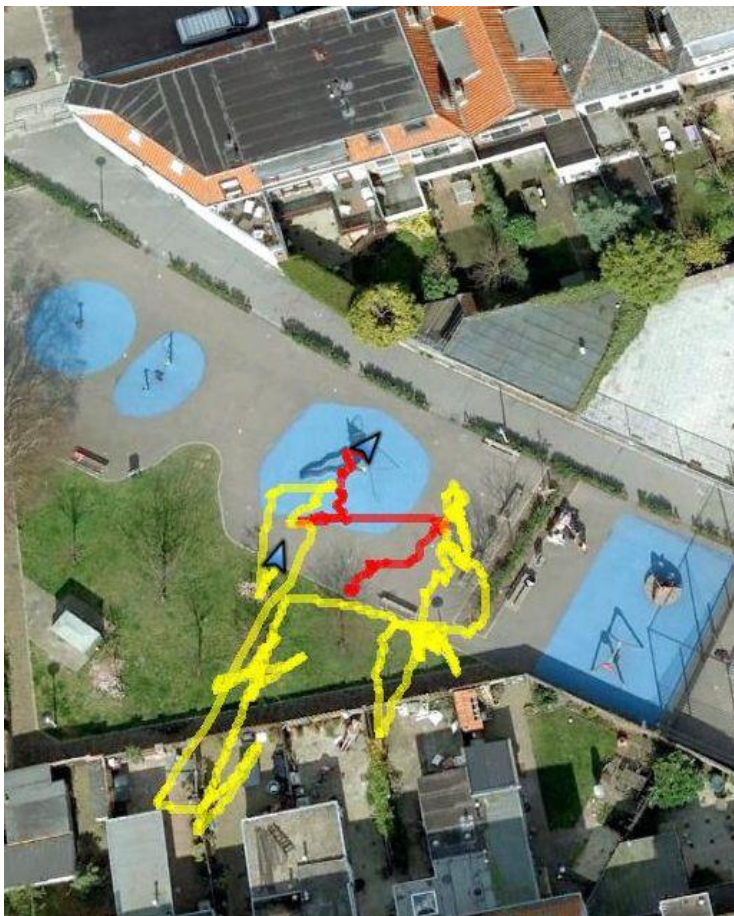
5-3 Test

Voor de eerste test is van beide modules een NMEA feed opgenomen terwijl zij zich op een meter afstand van elkaar op een vaste plek bevonden. Deze test is op verschillende plekken herhaald, bij voorkeur 's avonds wanneer de invloed van de ionosfeer het minst is. De resultaten waren niet bemoedigend.

Ik hoopte op een beeld waarin de fout van beide modules elkaar lijken te volgen. Onderstaande afbeelding (niet gebaseerd op echte meetgegevens) toont twee reeksen metingen over dezelfde tijd, waarbij zij exact dezelfde fout volgen.



De volgende afbeelding laat een plot zien van de positiebepalingen die de twee werkelijke modules maakten, stilstaand op een open plein.





Het gele spoor is een reeks positiemetingen van één stilstaande module. Het rode spoor een reeks positiemetingen van de andere module. De bemonsteringstijd was vijftien minuten, waarin de modules gelijktijdig stonden te ontvangen.

De fout van de modules lijkt totaal niet gecorreleerd. Alle metingen gaven een soortgelijk beeld of slechter.

Het aan en uitschakelen van SBAS leek geen enkele invloed te hebben.

5-4 Evaluatie

De aanname die gedaan is dat twee GPS modules dezelfde fout meten blijkt niet te kloppen. Met de opdrachtgever is overleg gehouden over hoe verder. Bij dit overleg was de geodetisch ingenieur aanwezig. Hij vroeg of de modules ook RINEX (Receiver Independent Exchange Format) data konden produceren. RINEX is een protocol voor het weergeven van satelliet data. RINEX is eerder aan de orde geweest in dit project, maar heeft weinig aandacht gekregen. De LS20031 kan zeer zeker geen RINEX produceren.

Een aantal zaken ten aanzien van de LS20031 module waren teleurstellend. De documentatie bevatte fouten (de initiële baudrate klopte niet), productnummers uit de documentatie en op de module kwamen niet overeen. De bijgeleverde software was erg beperkt en crashte voortdurend.

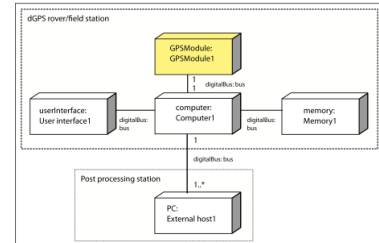
5-5 Volgende iteratie

Het niet onderzoeken van het RINEX formaat was een gemiste kans. RINEX is een protocol om echte ruwe GPS data te coderen. Er bleek wel degelijk een module verkrijgbaar deze was zelfs langsgekomen was in de longlist. De LEA-6T van de firma U-BLOX. De shortlist heeft hij niet gehaald omdat hij geen geïntegreerde antenne bezat. Het was ook de duurste module die gevonden is en vanwege zijn maat slecht met de hand te solderen.

De opdrachtgever gaf aan de eerste iteratie herhaald te willen hebben maar nu met een LEA-6T module.

6 Iteratie 2, de LEA-6T module

In de tweede iteratie is wederom ten doel gesteld twee GPS modules te doen functioneren en de data op een PC beschikbaar te krijgen. Wanneer dit is gerealiseerd, wordt getest of de verkregen data voldoende correlatie heeft om als dGPS systeem te kunnen functioneren. Er wordt echter nu gebruik gemaakt van LEA-6T modules. Er is nu bekend dat de modules RINEX data kunnen genereren en dat deze data door de geodetisch ingenieur van de Faculteit der Archeologie voor dGPS vergelijkingen kan worden gebruikt.



6-1 Ontwerp

In de vorige iteratie was er sprake van dat de module en het Arduino board niet zonder meer op elkaar aangesloten konden worden. Na het lezen van de datasheet van de LEA-6T module valt op dat er wederom 3.3V signalen worden gebruikt. Nu is ook bekend dat de LEA-6T module tot 72mA piekstroom trekt terwijl van de Arduino bekend is dat deze tot 50mA kan leveren. Tevens staat in de datasheet dat de LEA-6T zeer gevoelig is voor statische elektriciteit. Totdat de antenne en alle aarde verbindingen zijn aangesloten, kan de module sneuvelen wanneer deze zonder de juiste maatregelen wordt aangeraakt.



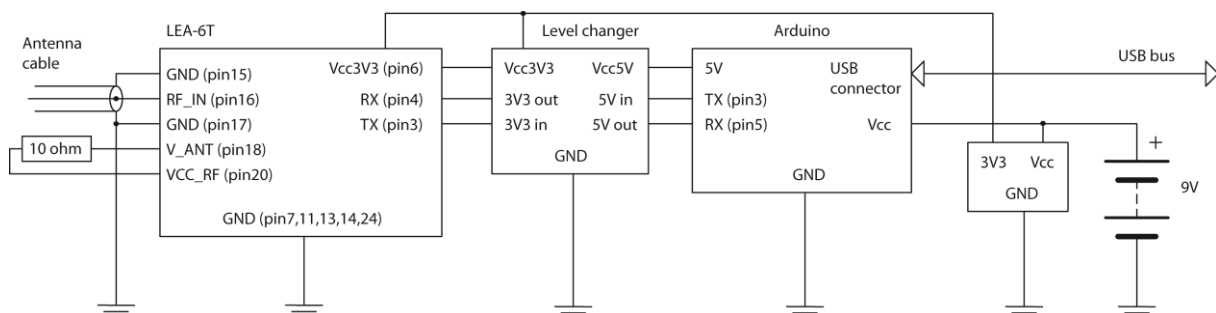
De LEA-6T module heeft de grootte van een postzegel

Voor het interfaceren van 5V TTL en 3,3V LVTTTL signalen zijn zogenaamde level changers verkrijgbaar. Het experimenteren met weerstanden zoals in de vorige iteratie brengt een risico met zich mee. Er is besloten om in deze iteratie level changers te gebruiken om dit risico uit te sluiten.

De voeding van de LEA-6T zal niet van de Arduino afkomen. Er moet een aparte voedingsbron van 3,3V voor de module komen.

In de vorige iteratie bleek dat de Arduino te weinig voeding kreeg bij gebruik van lange USB kabels. Hierom is besloten bij het prototype voor iteratie 2 ook de Arduino van een eigen batterijvoeding te voorzien.

Op basis van de gevonden onderdelen is het volgende schema gemaakt:



Het verbeterde schema is nu uitgebreid met een kant en klare level changer en 3,3V voedingsmodule.

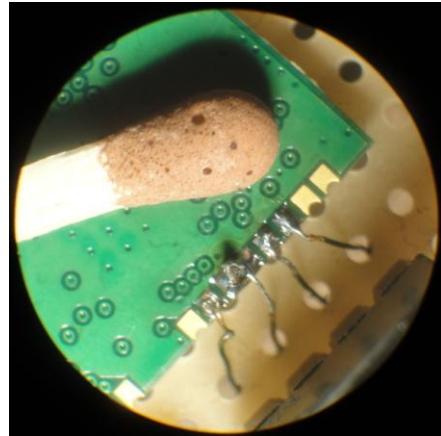
6-2 Bouw

Vanwege de waarschuwing om statische elektriciteit te vermijden is deze hardware gebouwd op een antistatische mat met polsband, waarbij al het elektrisch gereedschap (bout, microscoop) was geaard.

Wederom is eerst de voeding aangesloten zodat met een oscilloscoop getest kon worden of er een blokgolf met data op de LEA-6T gemeten kon worden. Hierbij moest ook de antenne en de weerstand worden aangesloten. De LEA-6T is op een apart stukje printplaat ondergebracht. De actieve antennes die besteld zijn met de modules, hebben aan het kabeleinde een SMA plug. Er is een SMA chassisdeel op de printplaat gezet en aan de module gesoldeerd middels een stukje dun coaxkabel. Het soldeerwerk was lastig met de hand te doen. Bij het onder spanning brengen van de module verscheen er echter een 3,3V blokgolf. Hierop is de eerste eenheid afgebouwd. De ontvangst bleek niet geweldig, waardoor bij de tweede eenheid is gekozen om het chassisdeel waar de actieve antenne op wordt aangesloten, zo dicht mogelijk bij de aansluiting van de module te plaatsen.

Na de bouw bleek de tweede eenheid het aanzienlijk beter te doen. Hierop is de antenneaansluiting van de eerste eenheid aangepast zodat deze ook zo dicht mogelijk bij de aansluiting op de module zat. Dit gaf geen verbetering, de ontvangst leek zelfs slechter. Om het ontvangst optimaal te krijgen zijn de antennes (waar een snoer van zeven meter aan zit) op een kruis bevestigd die uitstak boven de nok van het laboratorium.

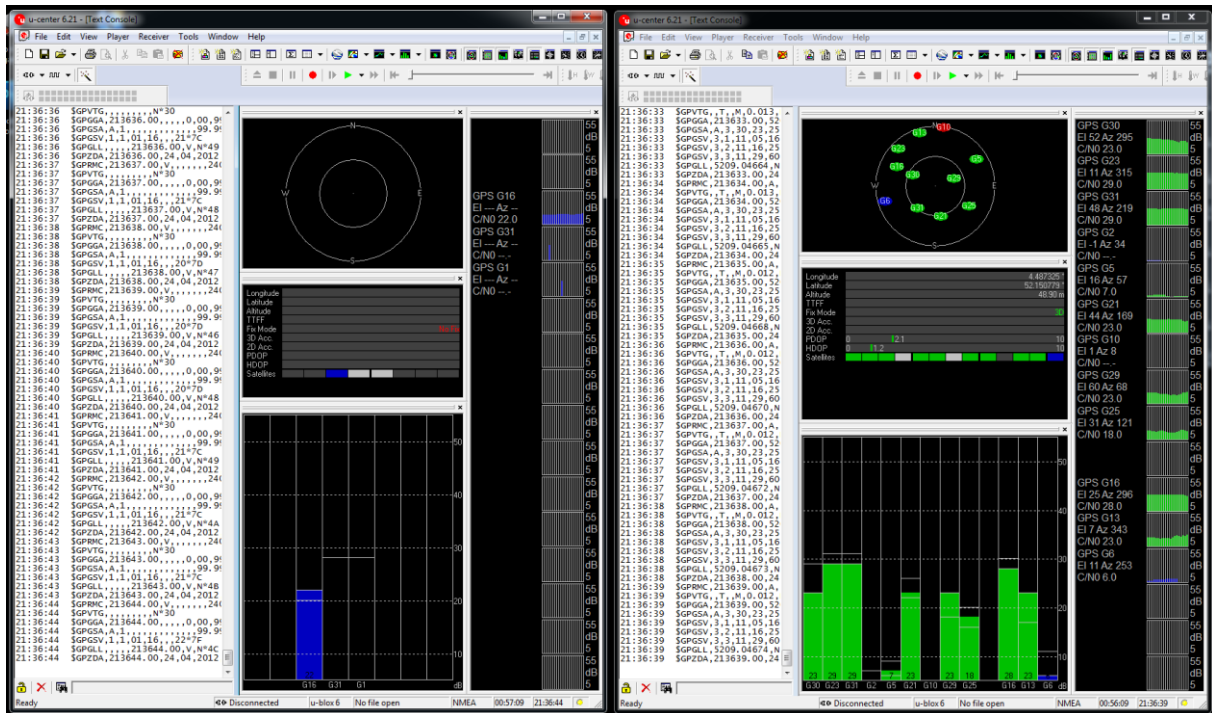
Wederom zijn de metingen zoveel mogelijk bij nacht gedaan. De metingen bleven niet geweldig. Onderstaande afbeelding toont een screenshot van de testapplicatie die U-BLOX bij haar onderdelen levert.



Een foto van het soldeerwerk. Op de module ligt de kop van een lucifer.



Onbelemmerde line of sight



Beide modules zijn ingeschakeld en twee instanties van de testapplicatie laten binnenkomende gegevens zien. De linker kolom toont een doorlopende NMEA feed. De middelste en rechter kolom toont grafieken over de signaalsterkte en de satellieten die worden ontvangen. Vooral de onderste grafiek van de middelste kolom is interessant. Deze toont de signaalsterktes.

De goede module rechts vindt 11 satellieten, maar het ontvangstniveau blijft karig. De module links presteert nauwelijks.

De goede module bleek wel RINEX te kunnen leveren. De testapplicatie biedt de mogelijkheid instellingen op de module te doen. Hiermee is het mogelijk de NMEA feed uit te schakelen en een raw feed aan te zetten. Op internet werd een tool gevonden: UBX2RIN. Deze open source, command line tool, geschreven in Fortran, zet een UBX bestand om naar RINEX. De volgende tabel toont een stukje RINEX opgenomen met de goede module.



```

2.10      OBSERVATION DATA      G (GPS)      RINEX VERSION / TYPE
ant2rin 060509      your name here      20120422 14:03:05ET PGM / RUN BY / DATE
XXXX
0001
your name here      <private>
nnnnn      u-blox LEA-4T      Firmware V5.00      REC # / TYPE / VERS
600577      u-blox ANN-MS-0-005      ANT # / TYPE
1095790.2358 -4831326.5883 4003934.2615      APPROX POSITION XYZ
0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1 0      WAVELENGTH FACT L1/2
2 L1 C1      # / TYPES OF OBSERV
1.0000      INTERVAL
SNR is mapped to RINEX snr flag value [1-9]      COMMENT
L1: 10 dBHz = 1; 30 dBHz = 5; 50 dBHz = 9      COMMENT
2012 04 21 12 56 59.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

12 4 21 12 56 59.0000000 0 7G 7G 8G10G28G 5G26G15
2926162.82934 23505584.362 4
-2171585.70333 20903250.911 3
4325427.65931 25032911.529 1
-3997401.10634 22015720.230 4
1882370.94532 21359740.440 2
-2364557.85834 20043347.003 4
-5439017.70625 23197417.007 5
12 4 21 12 56 60.0000000 0 6G 7G 8G28G 5G26G15
2929067.27534 23506137.639 4
-2170445.75133 20903469.457 3
-3999743.93334 22015273.958 4
1884130.01232 21360074.542 2
-2365981.12134 20043076.804 4
-5442462.86825 23196761.507 5

```

De file begint met een header, waarna blokken met satellietinformatie volgen. De eerste regel van een blok bevat de tijd (YY MM DD hh mm ss.ssssss) en de satellieten die worden gezien 7G, 8G, 10G, enzovoort. Hierna volgt per satelliet een regel met het aantal hele fases van de L1 golf tussen de satelliet en de ontvanger. Op dezelfde regel de afstand tussen de ontvanger en de satelliet in meters, gevolgd door de signaalsterkte. De satellieten bevinden zich inderdaad op zo'n 20.000 km afstand van de ontvanger.

6-3 Test

De eerste RINEX file is opgestuurd naar de geodetisch ingenieur. Hij kon met zijn software inderdaad een plaatsbepaling doen die overeen kwam met de plek waar de module zich bevond. De Faculteit der Archeologie bezit slechts één licentie van deze prijzige software, waardoor de data-analyse alleen op het instituut gedaan kon worden.

Een dGPS test met beide modules was niet mogelijk daar één module geen zinnige ontvangst had. Hierop is besloten een test te doen met een GPS ontvanger van de faculteit in combinatie met een LEA-6T module.

Binnen deze iteratie was weinig tijd meer voor doortesten. Na analyse van de RINEX data uit de LEA-6T en de ontvanger van de faculteit gaf de software aan dat de verrekende data een normaal verdeelde fout bevatte van 13 bij 18 centimeter.

6-4 Evaluatie

Ondanks het beperkte testen lijkt de LEA-6T module geschikt om een dGPS apparaat te bouwen.

De documentatie van deze module is aanzienlijk uitgebreider, er wordt een uitgebreide testapplicatie bijgeleverd en de module bevat aanzienlijk meer opties dan degene die eerder gevonden zijn. Tevens bevat de documentatie uitgebreide instructie hoe deze module middels een geautomatiseerd productieproces op een printplaat kan worden bevestigd. Hierbij wordt een pick and place robot en reflow solderen (geautomatiseerd solderen in een oven) besproken. Dat de module niet is ontworpen om met de hand te solderen was echter al duidelijk.



De gebruikte professionele TopCon GPS reciever.

6-5 Volgende iteratie

Het onderdelenbudget had inmiddels zijn grens bereikt. Daarom is aan de opdrachtgever geadviseerd door te ontwikkelen met behulp van een GPS ontvanger van de faculteit. Het vermoeden is dat de matige ontvangst van de tweede eenheid te maken heeft met te onnauwkeurig soldeerwerk en dat de eerste ontvanger gedurende het soldeerwerk is gesneuveld.

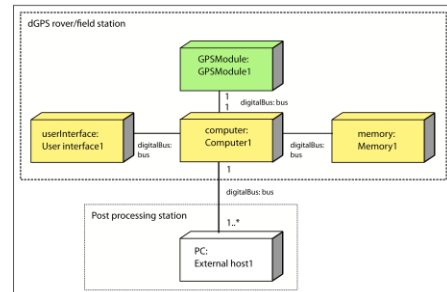
De geodetisch ingenieur gaf aan toch graag met twee LEA-6T modules te willen testen. Omdat het eerste resultaat bemoedigend was, gaf de opdrachtgever aan zijn budget te willen oprekken. Hierop is geadviseerd te investeren in de bouw van een printplaatje waarop de module en het chassisdeel voor de antenneaansluiting volgens de voorschriften van U-BLOX kunnen worden gemonteerd. De opdrachtgever stemde in hier het benodigde bedrag voor uit te trekken.

Met nog maar twee iteraties te gaan, is in overleg met de opdrachtgever besloten een deel van de requirements los te laten. Een compleet dGPS systeem bouwen lijkt binnen dit project niet meer haalbaar. We constateren dat het aanvankelijke plan erg ambitieus was.

De opdrachtgever geeft aan dat de focus nu moet liggen op een bewijs dat dGPS met behulp van de LEA-6T modules te realiseren is.

7 Iteratie 3, geheugen en microcontroller

Het streven is om in deze iteratie het PoC van eigen geheugen te voorzien waardoor deze stand alone kan opereren. Het stand alone opereren van de PoC is belangrijk om tests uit te voeren. Tot nu toe is het PoC beperkt in draagbaarheid. In de volgende iteratie zal gekeken worden hoe de software te realiseren is waarmee de UBX-RAW data die de LEA-6T produceert, direct als RINEX uit het geheugen van het PoC te halen is.



De concrete doelen voor deze iteratie zijn:

1. Een PCB (printed circuit board) ontwerpen en laten produceren, waarop een LEA-6T module kan worden bevestigd.
2. Een computer realiseren waarmee de data uit de LEA-6T op een geheugen kan worden geplaatst.
3. Een geheugen op de computer aansluiten.

7-1 Ontwerp

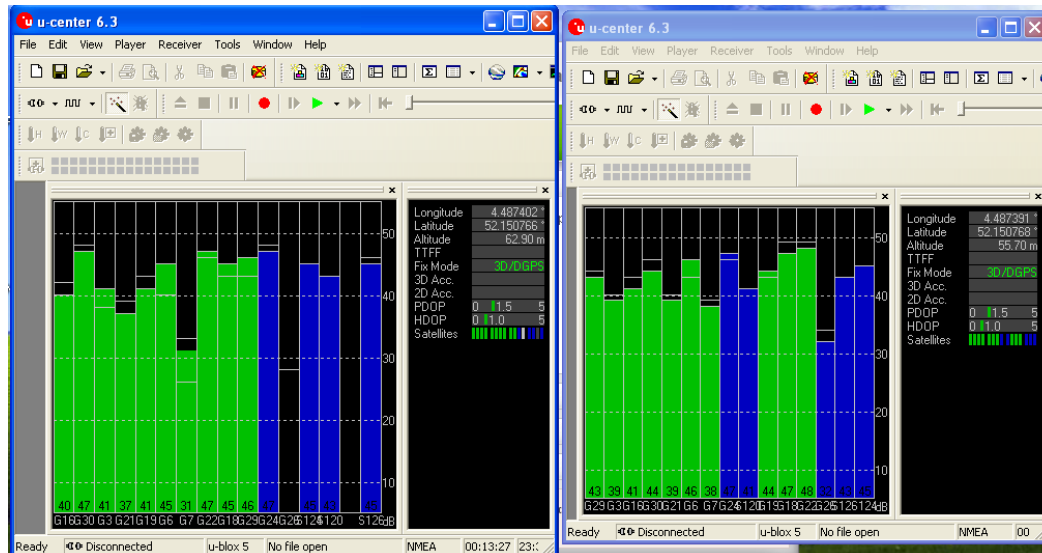
Ontwerp PCB

Een PCB ontwerpen en maken kan met de hand, maar tegenwoordig ook geautomatiseerd. Verschillende bedrijven maken prototype PCB's aan de hand van in een CAD programma ontworpen layout. Het veel gebruikt gratis CAD programma voor PCB ontwerp is EagleCAD van de firma EagleSoft. Omdat de projectleider met deze software bekend is zal middels Eaglesoft een PCB worden ontworpen waarna deze besteld kan worden.

EagleSoft bevat een uitgebreide bibliotheek aan standaard componenten. De LEA-6T module maakt daar geen deel van uit en moet als custom component in EagleSoft worden ontworpen, voordat een PCB kan worden ontworpen. De footprint van de LEA-6T is atypisch waardoor de coördinaten van de soldeereilanden handmatig moeten worden ingegeven.

De volgende afbeelding toont het ontworpen custom component en de uiteindelijke PCB.

Hierop zijn de aansluitingen op de modules omgesoldeerd, waarna de volgende afbeelding het ontvangst toonde:



Beide modules blijken uitstekend te ontvangen. Hierop is besloten geen nieuwe module en PCB's te bestellen.

Back-up batterij

In de datasheet lezen we dat het aansluiten van een back-up batterij geen ingewikkelde klus is. De spanning van de back-up batterij dient te liggen tussen de 1,4V en 3,6V. Het volgende schema geeft de werking van het backup systeem op de module aan.

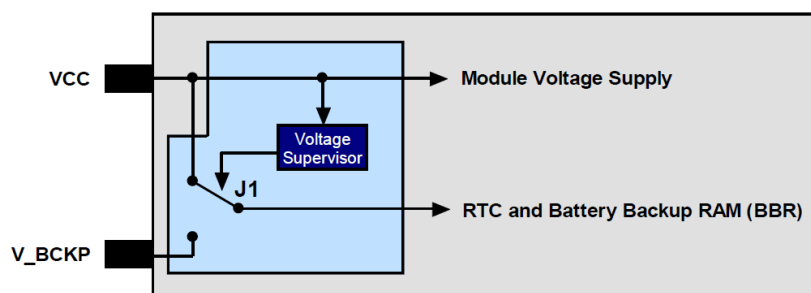


Figure 2: Backup Battery and Voltage

De LEA-6 module bevat een voltage supervisor. Zodra er voldoende spanning op Vcc staat (volgens de datasheet 2,7V), wordt de voeding voor de RTC (Real Time Clock) en het configuratiegeheugen uit Vcc betrokken. Daalt de spanning beneden de minimum waarde voor Vcc, dan schakelt de voeding voor de RTC en het configuratiegeheugen om naar de V_BCKP pin. In back-up modus verbruikt de

module volgens het datasheet $22\mu\text{A}$. In de eerste iteratie is uitgezocht wat de lading van een penlite batterij is, namelijk 3330 mAh. $3330\text{mAh}/22\mu\text{A} \approx 151363$ uur. Dit komt neer op 17 jaar.

17 Jaar lijkt schromelijk overdreven voor een back-up batterij, maar ik kan de batterijhouders uit het eerste prototype gebruiken, waardoor ik geen extra kosten maak of op een bestelling hoeft te wachten.

In de datasheet staat ook een schema van een LEA-6 module waar de back-up batterij is geïmplementeerd, weergegeven in de volgende afbeelding.

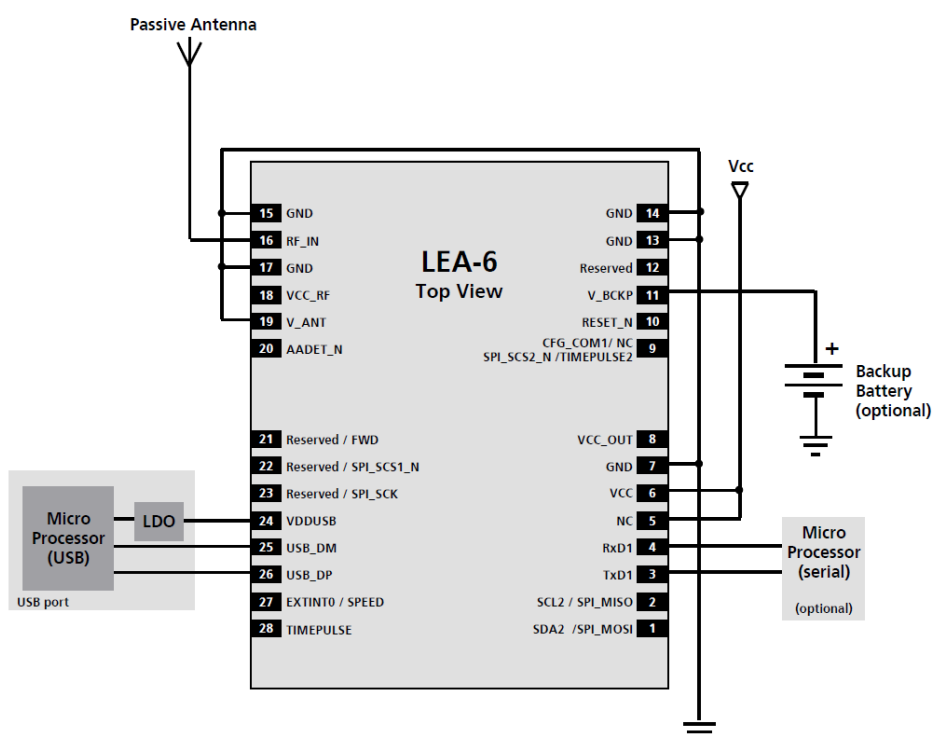


Figure 12: LEA-6 passive antenna design with USB port

Een back-up batterij aansluiten vergt niet meer dan de anode van de batterij met V_BCKP en de kathode van de batterij met de aarde te verbinden.

Microcontroller

Voor het aansluiten van extern geheugen moeten twee ontwerpkeuzes worden gemaakt. Er bestaan geen geheugens die direct een serieel signaal kunnen opslaan. Voor het opslaan van data op een geheugen is een reeks signalen nodig die niet in een serieel signaal voorkomen.

- Wat voor type computer wordt gebruikt.
- Wat voor type geheugen wordt gebruikt.

De Arduino die tot nu toe zonder microcontroller is gebruikt, is gewoonlijk voorzien van een ATmega328 microcontroller van de firma Atmel. Omdat de tijd dringt, kijk ik eerst of deze microcontroller geschikt is om als computer te gebruiken.

Seriële poort

Het belangrijkste punt is de mogelijkheid van de ATmega328 om de seriële data van de LEA-6T te kunnen inlezen. In de datasheet van de ATmega328 lees ik dat de microcontroller beschikt over een zogenaamde USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) en een SPI (Serial Peripheral Interface) poort. De USART is zo te configureren dat deze de data uit de LEA-6T kan ontvangen. De baudrate van beide apparaten is instelbaar. De LEA-6T module, kan op elf verschillende vastgestelde waardes worden ingesteld tussen de 1.200 en 921.600 baud. De USART van de ATmega328 kan veel meer verschillende baudrate aan, waarbij de systeemklok de beperking vormt qua maximale baudrate en precisie. De hoogste snelheid waarop beide apparaten kunnen communiceren blijkt na berekening 38.400 baud.

De pakketten met ruwe data die ik voorbij zag komen bestonden op zijn hoogst uit 400 bytes. De LEA-6T stuurt zijn data één keer per seconde uit. Bij een baudrate van 38.400 kunnen er echter 38.400 symbolen (bytes) per seconde worden verstuurd. Geen probleem dus.

De aansluitingen van RX en TX op de Arduino moeten worden omgewisseld. Voorheen bevatte de Arduino geen microcontroller, waardoor de TX van de LEA-6T direct op de TX aansluiting van het Arduino board kon worden aangesloten. Deze is namelijk direct verbonden met de RX van de USB tranceiver.

Wanneer er wel een microcontroller op het board zit, is de USB tranceiver niet meer als input te gebruiken. Wel is het nog mogelijk de data die van de microcontroller naar de LEA-6T wordt verstuurd via USB te visualiseren.



Een MicroSD shield gemonteerd op een Arduino, bevat niet meer dan een level converter, kaarthouder en resettoets.

Geheugen

Omdat ook voor het ontwikkelen van een geheugenaansluiting weinig tijd over is, is eerst gekeken naar beschikbare uitbreiding boards (in Arduino termen: shields) die voor de Arduino beschikbaar zijn. Een geschikte oplossing lijkt het MicroSD shield. Dit is een kant en klare SD kaarthouder die op een Arduino kan worden geplaatst. MicroSD is een geheugen dat communiceert via de SPI poort.⁶ MicroSD bestaat in verschillende snelheidsvarianten. De traagste klasse 2, leest en schrijft data met een maximale snelheid van 2MB/s. Wederom meer dan voldoende.

Niet alleen bleek er een kant en klaar shield beschikbaar. De leverancier wees ook op het bestaan van een open source FAT filesystem implementatie (FatFs) voor microcontrollers. Hiermee is het mogelijk direct de data op te slaan in een formaat wat met behulp van een SD kaartlezer direct op een PC als file te lezen is.

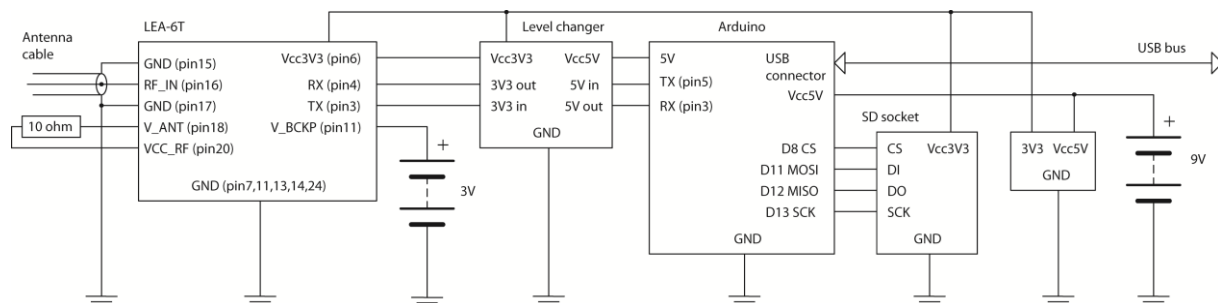
Geen Arduino

Hoewel de hardware van een Arduino wordt gebruikt, is het PoC geen Arduino systeem. Kenmerkend voor een Arduino is het besturingssysteem dat op de ATmega328 microcontroller draait. Dit stelt de gebruiker in de gelegenheid met behulp van de bijbehorende ontwikkelomgeving eenvoudig de Arduino met eigen software (in Arduino terminologie: sketches) te programmeren. De keerzijde van dit eenvoudig programmeren is verlies aan controle over de timing van de softwareprocessen. Het Arduino OS voert eerst zijn eigen (onvoorspelbare) taken uit voordat de gebruiker tijd krijgt. *Eenvoudig* programmeren met behulp van een Arduino is voor dit project ongeschikt.

Microcontrollers van het type ATmega328 worden doorgaans *bare metal* geprogrammeerd. Dit houdt in dat een programma direct op de processor draait, zonder tussenkomst van een besturingssysteem. Eventuele drivers voor aangesloten hardware moeten direct in dit programma worden opgenomen. Dit betekent meer werk voor de programmeur, maar ook maximale controle over de hardware.

Schema

Als ik de bedachte wijzigingen doorvoer, ontstaat het volgende schema:



Er is nu een back-up batterij en een SD card socket toegevoegd ten opzichte van het vorige schema. In dit schema is niet te zien dat het Arduino board van een ATmega328 is voorzien.

7-2 Bouw en test

Wederom gebeurt de bouw in stappen.

1. De backup batterij wordt aangesloten.
2. De RX en TX worden omgewisseld en de ATmega328 toegevoegd.
3. De SD socket wordt aangesloten en getest.

Back-up batterij

Na het aansluiten van de batterij is in de U-Center omgeving een paar instellingen op de LEA-6T gedaan. Normaliter worden deze terug naar default gezet wanneer de voeding wordt uitgezet. De voedingsspanning is van het PoC afgehaald. Toen deze na 24 uur weer aangezet werd, bleken de



instellingen nog steeds te bestaan. Tevens verkreeg de module sneller een fix, daar de almanak bewaard was gebleven.

ATmega328 aansluiten.

De microcontroller is toegevoegd. Voor de eerste test is de LEA-6T module losgekoppeld.

Op internet vond ik een stuk code die de data verstuurd vanaf de PC, vanaf de microcontroller weer terugstuurt. Ik moest wel de register en bit namen aanpassen, de oorspronkelijke code was voor een ander type AVR.

```
#include <avr/io.h>
#include <inttypes.h>

#define FOSC 16000000 // Clock Speed
#define BAUD 38400
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1

void USARTInit(uint16_t ubrr_value)
{
    UBRR0 = ubrr_value; //Baudrate
    UCSR0C=(1<<USBS0)|(3<<UCSZ00); //8data 2 stop bit
    UCSR0B=(1<<RXEN0)|(1<<TXEN0); //Enable The receiver and transmitter
}

char USARTReadChar()
{
    while(!(UCSR0A & (1<<RXC0))){} //Wait untill a data is available
    return UDR0;
}

void USARTWriteChar(char data)
{
    while(!(UCSR0A & (1<<UDRE0))){} //Wait untill the transmitter is read.
    UDR0=data;
}

void main()
{
    char data;
    USARTInit(MYUBRR);

    while(1)
    {
        data=USARTReadChar();
        USARTWriteChar(data);
    }
}
```

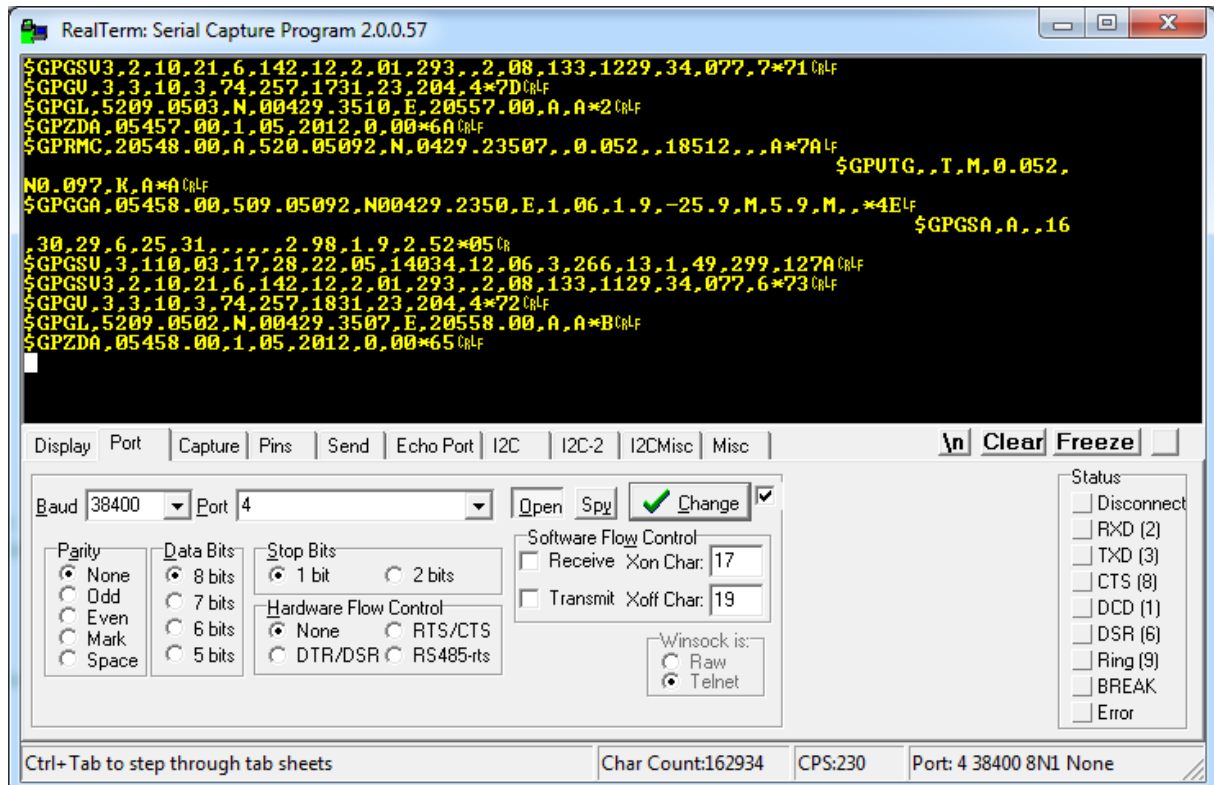
Nadat de microcontroller was geprogrammeerd, kwam er inderdaad hetzelfde terug in de seriële console van wat ik verzond. Om zeker te zijn dat wat ik zag klopte, wijzigde ik één regel code.

```
USARTWriteChar(++data);
```

Nu wordt iedere ontvangen ASCII code één verhoogd voor het terugsturen. Ook dit werkte. Typte ik 'Tjaco' dan ontving ik 'Ukbdp'



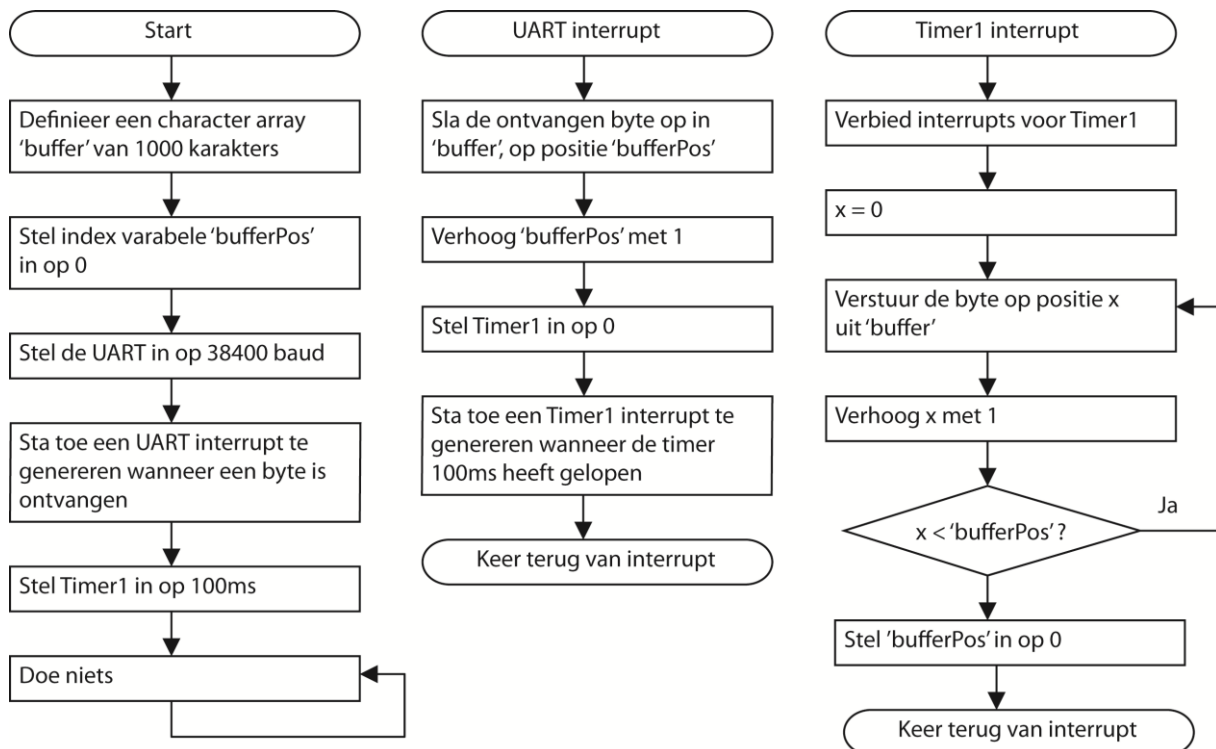
Hierop sloot ik de TX van de LEA-6T aan op de RX van de microcontroller. Nu werd er geen code naar de PC teruggestuurd die ik zelf van de PC verstuurde, maar de data feed werd via de microcontroller naar de PC verstuurd. Dit leverde het volgende onrustige beeld.



De tekst versprong continu en er vielen stukken tekst weg. Bij het naslaan van de datasheet van de ATmega328 bleek waarom. De microcontroller beschikt over één USART waarmee verzonden en ontvangen wordt. Er bestaat ook maar één 8 bit register om een serieel woord voor versturen of ontvangen op te slaan. Het ontvangen en verzenden van een byte zat elkaar qua timing in de weg.

Hierop breidde ik de code uit met een interrupt routine die aangeroepen werd wanneer een serieel woord was ontvangen. Een array waarin ik de codes opsloeg en een timer die 100ms na het ontvangen van de laatste code een interrupt genereerde waarop de codes, opgeslagen in de array weer worden teruggestuurd.

De volgende flow chart geeft de structuur weer.



Het hoofdprogramma doet een aantal instellingen en eindigt in een eindeloze lus. Zodra er een byte is ontvangen, wordt de timer gestart en bij iedere nieuw ontvangen byte weer op nul gezet. Is er voor 100ms geen byte meer ontvangen, genereert de timer een interrupt. Interrupts voor de timer worden uitgezet en de data uit de buffer wordt verstuurd.

Omgezet in C code ontstond het volgende programma.

```
#include <avr/io.h>
#include <inttypes.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define FOSC 16000000 // Clock Speed
#define BAUD 38400
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1

#define BUFFER_SIZE 1000
#define DELAY 40
#define TRUE 1
#define FALSE 0

volatile char udr_data;
volatile char msTimer = 0;
volatile char buffer[BUFFER_SIZE];
volatile int bufferPos = 0;

ISR(USART_RX_vect) //char recieved
{
    buffer[bufferPos] = UDR0;
    bufferPos++;
    TCNT1 = 0; // counter = 0
    TIFR1 |= (1<<OCF1A); // clear pending interrupts
    TIMSK1 |= 1<<OCIE1A; // enable interrupt for timer match OCR1A
```



```
}

ISR(TIMER1_COMPA_vect)          //called each 100ms
{
    int x;
    TIMSK1 &= ~(1 << OCIE1A);    // disable interrupt for timer match OCR1A
    PORTD |= (1<<2);              // PIND2 high

    for (x=0; x<bufferPos; x++)
    {
        USARTWriteChar(buffer[x]);
    }
    bufferPos = 0;
    PORTD &= ~(1<<2);            // PIND2 low
}

void USARTInit(uint16_t ubrr_value)
{
    UBRRO = ubrr_value;           //Baudrate
    UCSR0C=(1<<USBS0)|(3<<UCSZ00); //8data 2 stop bit
    UCSR0B=(1<<RXEN0)|(1<<TXEN0); //Enable The receiver and transmitter
}

void USARTWriteChar(char data)
{
    while(!(UCSR0A & (1<<UDRE0))){} //Wait until the transmitter is read.
    UDR0=data;
}

void main()
{
    OCR1A = 16000;                // 0.1 s interrupt at 16MHz/256 */
    TCCR1B |= (1 << CS12);        // speed = F CPU/256
    TCCR1B |= (1 << WGM12);        // CTC mode, reset timer after OCR match

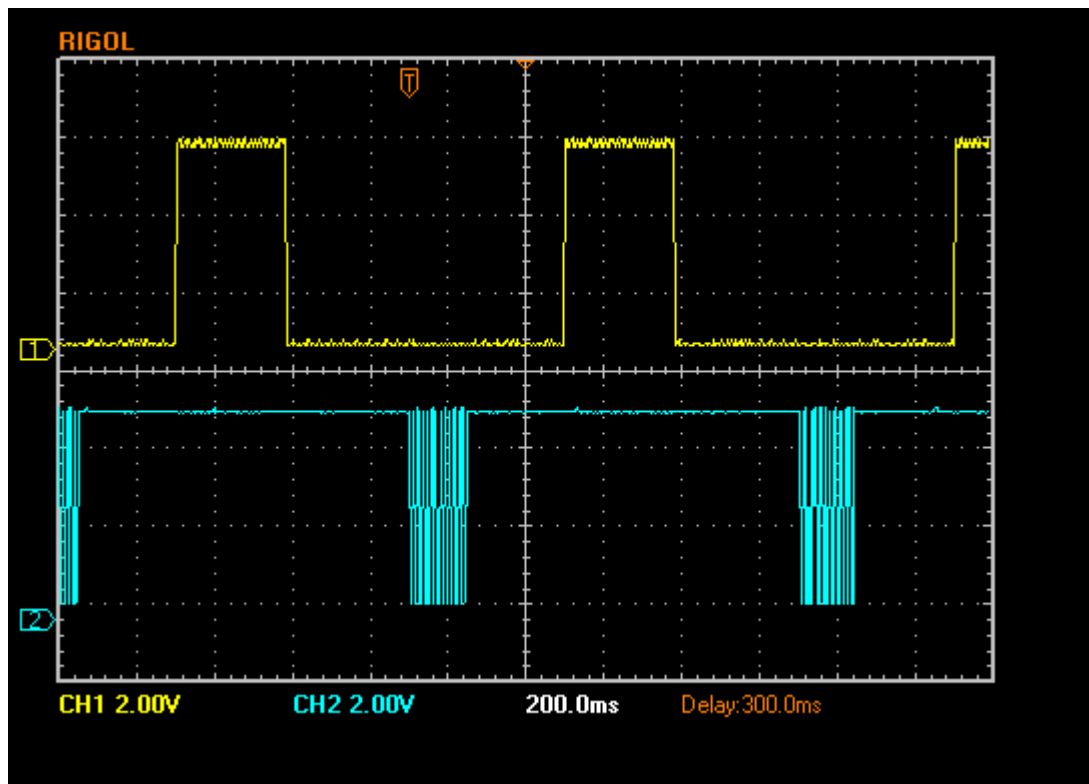
    DDRD |= (1<<2);               // Set PD2 as output

    USARTInit(MYUBRR);
    UCSR0B |= (1 << RXCIE0);      // enable interrupt
    sei();

    while(1)
    {
        // Be idle
    }
}
```

Hierop werd het beeld in de terminal weer normaal. Troubleshooting bij microcontrollers behoeft onconventionele technieken, daar het niet makkelijk is een beeldscherm aan te sluiten waarop je het gedrag van een applicatie kan volgen. In de TIMER1_COMPA_vect interrupt service routine zet ik voor het versturen van de data een pin van de microcontroller hoog. Nadat de data verstuurd is, zet ik deze weer laag.

De oscilloscoop toonde het volgende beeld.

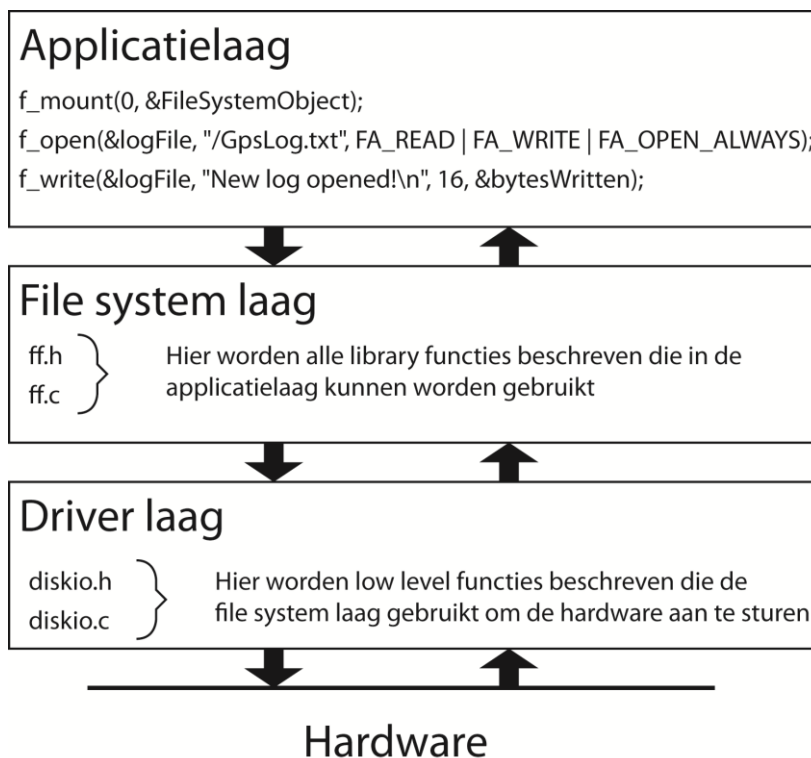


De LEA-6T module stuurt per seconde een NMEA data feed. Deze worden weergegeven als de blauwe pulstrein blokken onderin. De gele grafiek geeft de toestand van PIND2 weer. Deze wordt hoog gezet wanneer de ontvangen data wordt teruggestuurd en laag gezet wanneer het versturen is beëindigd. De applicatie haalt nu keurig de data binnen, wacht even en stuurt haar weer uit.

FatFs

De laatste uitdaging was het realiseren van toegang tot het geheugen.

De gevonden FatFs library is een FAT32 implementatie in ANSI C, voor SD en MMC kaarten. Omdat het een generieke library is, moeten er per type microcontroller wel low level drivers worden geschreven. De volgende afbeelding toont hoe de FatFs library zich verhoudt tot de andere systeemonderdelen.



We zien hier een gestructureerde computerarchitectuur ontstaan.⁷ De bestanden FF.h en FF.c bevatten de functies die de applicatielaag kan gebruiken voor file IO. Met bij voorbeeld de `f_write` functie kan een applicatie iets naar een SD kaart schrijven. De bestanden DiskIO.h en DiskIO.c bevatten functies om de hardware aan te sturen. Deze moeten aanwezig zijn omdat het file system laag daar gebruik van maakt. Voor de AVR serie microcontrollers was een voorbeeld van DiskIO.c beschikbaar, maar niet voor de specifieke ATmega328. De pin aansluitingen van de controller uit het voorbeeld zijn vergeleken met die van de ATmega328 en DiskIO.c is hierop aangepast.

Het testen van de file system implementatie in samenwerking met de aangesloten SD kaart, was op zich eenvoudig, op een hoop debug werk na. In DiskIO.c bleken op onverwachte plaatsen stukken code te staan die van essentieel belang waren voor de correcte werking.

Voor de test is geen software ontworpen, maar een voorbeeld uit de library gebruikt die qua timer instellingen aan de ATmega328 moesten worden aangepast. Hieronder staat de gebruikte testcode.

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "ff.h"
#include "diskio.h"

ISR(TIMERO0_COMPA_vect) { /* should be called every 10ms to test unresponsiveness*/
    disk_timerproc();
}

int main() {
```



```
TIMSK0 |= 1 << OCIE0A; /* enable interrupt for timer match a */
OCR0A = 156; /* 10 ms interrupt at 16MHz */
TCCR0B |= (1 << CS02) | (1 << CS00); //speed = F_CPU/1024

sei(); // Enable global interrupts

FATFS FileSystemObject; //File system handle
if(f_mount(0, &FileSystemObject)!=FR_OK) { //mount the card and get a handle if succes
    //flag error
}
DSTATUS driveStatus = disk_initialize(0); //init the SD card
if(driveStatus & STA_NOINIT ||
   driveStatus & STA_NODISK ||
   driveStatus & STA_PROTECT
) {
    //flag error.
}

FIL logFile; //File handle
if(f_open(&logFile, "/GpsLog.txt", FA_READ | FA_WRITE | FA_OPEN_ALWAYS)!=FR_OK) {
    //flag error if file not opened.
}

unsigned int bytesWritten;
f_write(&logFile, "New log opened!\n", 16, &bytesWritten); // write to file
f_close(&logFile); //Close and unmount.

f_mount(0,0);
}
```

Wanneer ik een SD kaart in de socket plaatste en het systeem met bovenstaande code opstartte, werd er een file genaamd 'GpsLog.txt' op de SD kaart geschreven, die de tekst bevatte: 'New log opened!' Deze file was leesbaar wanneer ik de SD kaart in een SD reader op mijn PC aansloot. Hiermee lijkt de mogelijkheid data op te slaan vanaf de microcontroller gerealiseerd.

7-3 Test

In deze iteratie was een generale test niet aan de orde. De afzonderlijke producten zijn tijdens de bouw getest.

7-4 Evaluatie

Hoewel deze iteratie nadrukkelijk arbeidsintensief was, lijken alle voornemens behaald. Er is zelfs een fout uit de vorige iteratie ontdekt en hersteld.

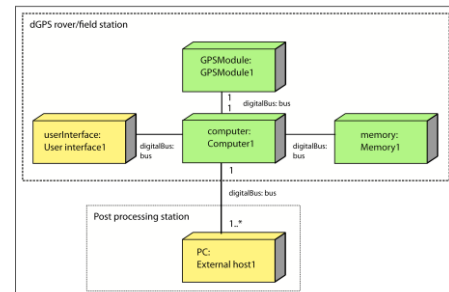
Tijdens deze iteratie zijn de voorbereidingen getroffen om het systeem stand alone te gebruiken, zonder dat een laptop mee hoeft het veld in. De software die hiervoor nodig is moet nog wel bijeengebracht worden in een concrete applicatie.

8 Iteratie 4, het samenvoegen der dingen

Gedurende deze iteratie worden de mogelijkheid een bestand op te slaan en een data feed uit de GPS module in de microcontroller op te slaan, samengebracht. De data feed zal niet meer via de USB poort naar buiten gestuurd worden, maar als bestand op de SD kaart worden opgeslagen.

Er wordt gezocht naar alternatieve software om met RINEX data postprocessing te doen.

Als laatste wordt een test uitgevoerd in samenwerking met de geodetisch ingenieur.



8-1 Ontwerp

Voor het kunnen vastleggen van een data feed in een file, zijn nog kleine aanpassingen aan het PoC nodig. Voorheen fungeerde het PoC enkel als level changer. Het daadwerkelijke opslaan van de data gebeurde op een laptop. Daar werd een bestand geopend, de data voor een periode ingelezen, waarna het bestand weer werd gesloten.

Een eigenschap van een file system is dat de programmeur zich geen zorgen meer hoeft te maken over hoe de file wordt opgeslagen. Hij moet alleen aangeven dat hij een file opent en weer sluit. Wanneer de file geopend is kan hij er data heen schrijven of uitlezen. Wat echter essentieel is dat het file system de opdracht krijgt de file te sluiten voordat de computer uit gaat. Een niet goed afgesloten file kan gecorrumpereerd raken.

De eenvoudigste procedure om de data goed van het PoC af te krijgen is als volgt:

- Het PoC wordt aanzet.
- De gebruiker geeft aan de meting te willen beginnen (file open).
- De gebruiker geeft aan de meting te willen beëindigen (file gesloten).
- Het PoC wordt uitgezet.
- De SD kaart wordt verwijderd, en het bestand wordt op een PC ingelezen.

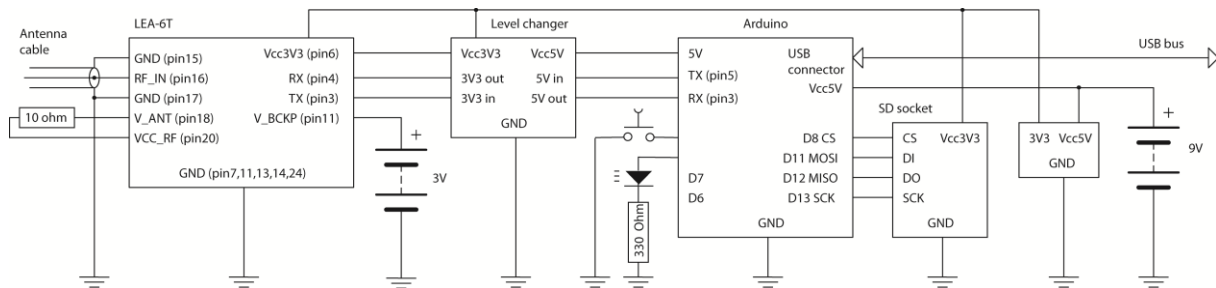
User interface

Uit het bovenstaande verhaal blijkt dat de gebruiker iets aan moet kunnen geven aan het PoC.

Voorheen was het alleen mogelijk de PoC aan en uit te schakelen.

Ik ontwerp een minimale user interface namelijk een druktoets om aan te geven of een meting moet starten of eindigen en een LED waarmee het PoC aangeeft of er wordt gemeten.

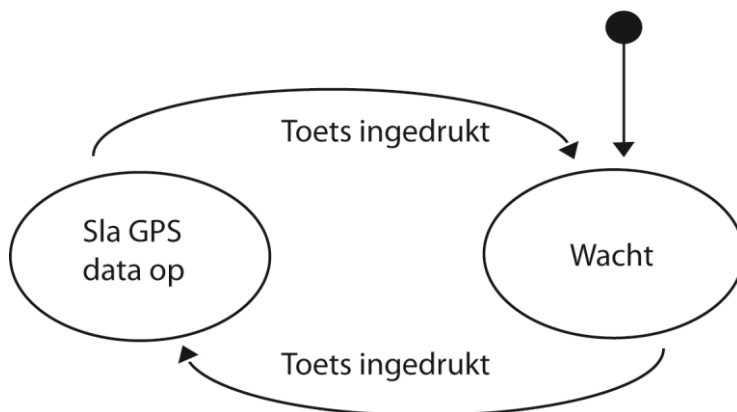
Als ik een druktoets en LED toevoeg ontstaat het volgende schema.



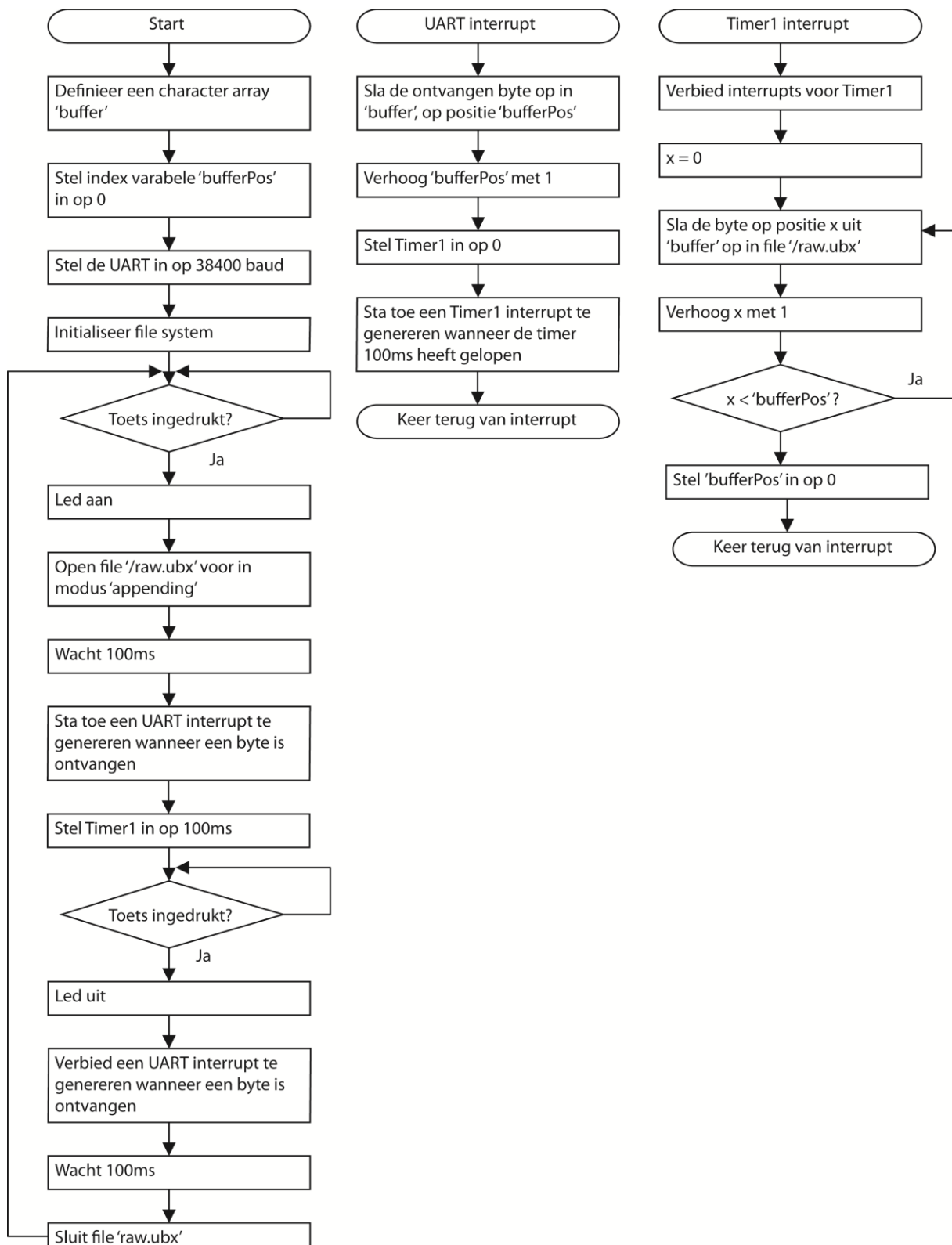
De LED heeft een voorschakelweerstand van 330Ω gekregen, om de stroom te begrenzen. Een druktoets naar aarde kan direct aan een ingang van de ATmega328 worden gesloten. De aansluitingen van de ATmega328 kunnen per stuk als in- of uitgang worden geschakeld door de software. Wanneer een ingang is gedefinieerd, kan vanuit de software een interne pull-up weerstand worden ingeschakeld, waardoor de ingang vanzelf hoog is. Door de toets in te drukken wordt de ingang laag, wat weer door de software kan worden gedetecteerd.

Software

Nu de hardware is uitgebreid met een user interface, kan de software worden aangepast. Ik baseer mij op de flowchart uit de vorige iteratie. De interrupt routine van de timer wordt aangepast om een byte uit de buffer naar een file te schrijven in plaats van de USB poort. In het hoofdprogramma worden een lus aangebracht met twee momenten waarop de status van de druktoets wordt bemonsterd. Hiermee ontstaat het volgende toestanden diagram.



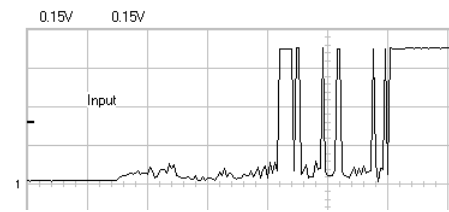
Het PoC heeft twee globale toestanden waarin het kan verkeren. De initiële toestand waarin het niets doet en een toestand waarin het data aan het vastleggen is. Uiteraard gebeurd er 'onder water' veel meer. Dit wordt duidelijk in de aangepaste flowchart.



De state machine komt terug in het hoofdprogramma.

Deze bestaat uit een oneindige lus, waarin twee momenten zijn opgenomen waarin de lus wordt onderbroken om op een toetsaanslag te wachten. Nadat er een toetsaanslag is geweest, wacht de software 100ms. Dit is om toetsdender uit te sluiten. Toetsdender ontstaat wanneer de contacten van een toets openen of sluiten. Soms zwabbert de toestand tussen een beetje aan of uit. De microcontroller ziet dit echter als een reeks korte aanslagen. Toetsdender is elektronisch tegen te gaan maar een eenvoudige wacht lus is vaak voldoende en kost geen onderdelen.

Nu de hardware en software is gemodelleerd, kan overgegaan worden tot de bouw.



Key bounce getoond op een oscilloscoop

8-2 Bouw

Het aanbrengen van de druktoets vormde geen probleem. De eerste versie van de C code leek goed te functioneren, daarna stopte het PoC met schrijven naar de SD kaart. Metingen met oscilloscoop wezen uit de er signalen van de module werden ontvangen en korte tijd later naar de SD kaart verstuurd. Na verloop van tijd stopte ook het versturen naar de SD kaart.

Wanneer ik het PoC in zijn oude toestand terugbracht bleek de LEA-6T als gebruikelijk te functioneren. Een verklaring van de storing werd gevonden in de microcontroller. Bij de aanschaf van onderdelen heb ik 3 ATmega328 IC's gekocht voor het geval er één zou sneuvelen. De eerste die ik een aantal weken terug gebruikte deed vanaf het begin vreemd. Ik constateerde dat het Flash geheugen niet leeg was wanneer ik deze had gewist. Er was een regelmatig patroon te zien van bits die op 0 bleven staan (bij een gewist Flash geheugen staan alle bits op 1). De chip die net de geest had gegeven vertoonde hetzelfde beeld.

Blijkbaar heb ik IC's gekocht uit een minder geslaagde oplage. Het zou een tijd duren voor ik nieuwe microcontrollers in huis had. De opdrachtgever gaf aan te willen testen voor deze binnen waren. Voor het testen heb ik mij grotendeels verlaten op de geodetisch ingenieur. De tekst onder dit hoofdstuk is dan ook voornamelijk van zijn hand.

8-3 Test

Voor de veldtest begon zijn er meerdere tests gedaan met behulp van het kruis bevestigd boven het laboratorium (iteratie 2). Wanneer daar een uur werd gemeten, kwam er consequent een nauwkeurige relatieve positie uit. De antennes bevonden zich 100 cm van elkaar. De meest onnauwkeurig relatieve meting toonde een fout van 13 cm aan. Het kruis bevond zich echter niet op een ijkpunt, waardoor de absolute positie niet kon worden bepaald. Wanneer de geodetisch ingenieur de verkregen data verrekende met die van een aantal vaste GPS ontvangers in Nederland, bleek de absolute positie 10 m te verschuiven. De relatieve positie van de twee eigen ontvangers tot elkaar, bleef echter qua fout beperkt tot enkele centimeters.



Testplan

De geodetisch ingenieur besloot tot een baseline test. Hierbij is ervoor gekozen om gebruik te maken van de grondslagpunten die eerder dit jaar door een landmeetkundig bedrijf zijn uitgezet ten behoeve van de opgraving Oegstgeest (OBSP12).

Van deze grondslagpunten zijn de horizontale coördinaten bekend in centimeternauwkeurigheid en omgerekend naar het Nederlandse referentie stelsel (Rijksdriehoeksnet).

De verticale coördinaten (NAP in het Nederlandse referentiestelsel) zijn ook met GPS ingemeten, maar niet gecontroleerd met behulp van bestaande NAP peilmerken. Omdat GPS metingen per definitie minder nauwkeurig zijn in hoogte en er geen mogelijkheid was om de metingen met een betrouwbare NAP waarde te vergelijken beperkt deze test zich tot metingen in het horizontale vlak.

Het apparaat met de identificatie A4 is als *Base* opgesteld bij meetpunt OBSP12_08. Het apparaat met de indicatie B6 is gebruikt als *Rover*. Met dit laatste apparaat worden vijf andere (bekende) punten gemeten gedurende een kortere tijd. De antennes zijn in alle gevallen direct boven de meetpunten aangebracht.

De Base is opgesteld boven een punt met bekende coördinaten waar het continu positiebepalingen doet die, gekoppeld aan een tijdsindicator, worden opgeslagen in een logbestand. Door atmosferische storingen zal het apparaat voortdurend afwijkingen van de werkelijke positie berekenen. Omdat bekend is dat het apparaat gedurende de meetperiode niet is verplaatst geven de metingen een indicatie van de afwijking die, op een bepaald moment, is veroorzaakt door atmosferische storingen. Zolang de Base en Rover niet meer dan ca. 30 kilometer van elkaar verwijderd zijn kan worden aangenomen dat de invloed van deze storingen bij beide instrumenten nagenoeg identiek is.

De Rover wordt verplaatst en doet bij ieder punt een korte (10s) en een lange (5min) waarneming. Hieruit volgt een coördinaat die kan worden gecorrigeerd met behulp van de bekende afwijkingen die de Base in de zelfde periode heeft waargenomen.

Na het converteren van de (UBX) logbestanden naar RINEX formaat zijn de gegevens ingevoerd in het programma TopCon Tools. Dit programma zet gelijktijdige waarnemingen om naar zogenaamde 'baselines' die kunnen worden opgevat als afstandsmeting tussen twee GPS punten. Door middel van deze baselines is het programma in staat de betrouwbaarheid van de metingen te verbeteren door middel van een proces dat 'vereffenen' heet. Bij de resultaten van deze test is echter geen vereffening toegepast, deze methodiek valt buiten de scope van het project.

Resultaat

In het ontwerp is bepaald dat de horizontale afwijking niet groter mag zijn dan één meter. Of de waarneming aan de eis voldoet wordt eenvoudig bepaald door de horizontale afstand tussen de

verwachte (bekende) en de waargenomen coördinaten te berekenen. De horizontale afwijking wordt als volgt berekend (met behulp van Pythagoras):

$$\Delta_{hor} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}$$

Bekende grondslag gegevens zoals opgeleverd door het landmeetkundig bedrijf.

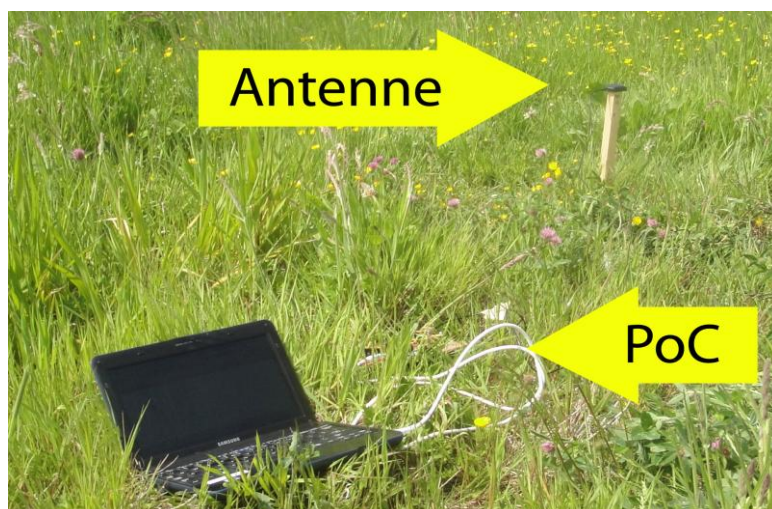
bekende

coördinaten	X (m, RD)	Y (m, RD)
OBSP12_04	90947,060	465202,610
OBSP12_06	90924,784	465219,356
OBSP12_08	90848,675	465196,363
OBSP12_10	90749,054	465165,799
OBSP12_11	90717,273	465120,048
OBSP12_12	90679,559	465058,956

Resultaten van de korte waarnemingen.

waarnemingen	X	Y	ΔX	ΔY	Δ horizontaal	resultaat
OBSP12_04	90947,539	465202,904	0,479	0,294	0,562	voldaan
OBSP12_06	90926,591	465221,078	1,807	1,722	2,496	niet voldaan
OBSP12_10	90748,164	465167,765	-0,890	1,966	2,158	niet voldaan
OBSP12_11	90719,347	465122,853	2,074	2,805	3,488	niet voldaan
OBSP12_12	90698,500	465060,151	18,941	1,195	18,979	verworpen

Aleen de waarneming van punt OBSP12_04 voldoet aan de ontwerpeis. 06, 10 en 11 hebben de vereiste nauwkeurigheid niet gehaald. Waarneming OBSP12_12 is verworpen vanwege de abnormaal hoge afwijking in de X-coördinaat. Mogelijk is hier sprake van een nog onbekende storing (sleepmodus van de laptop?).

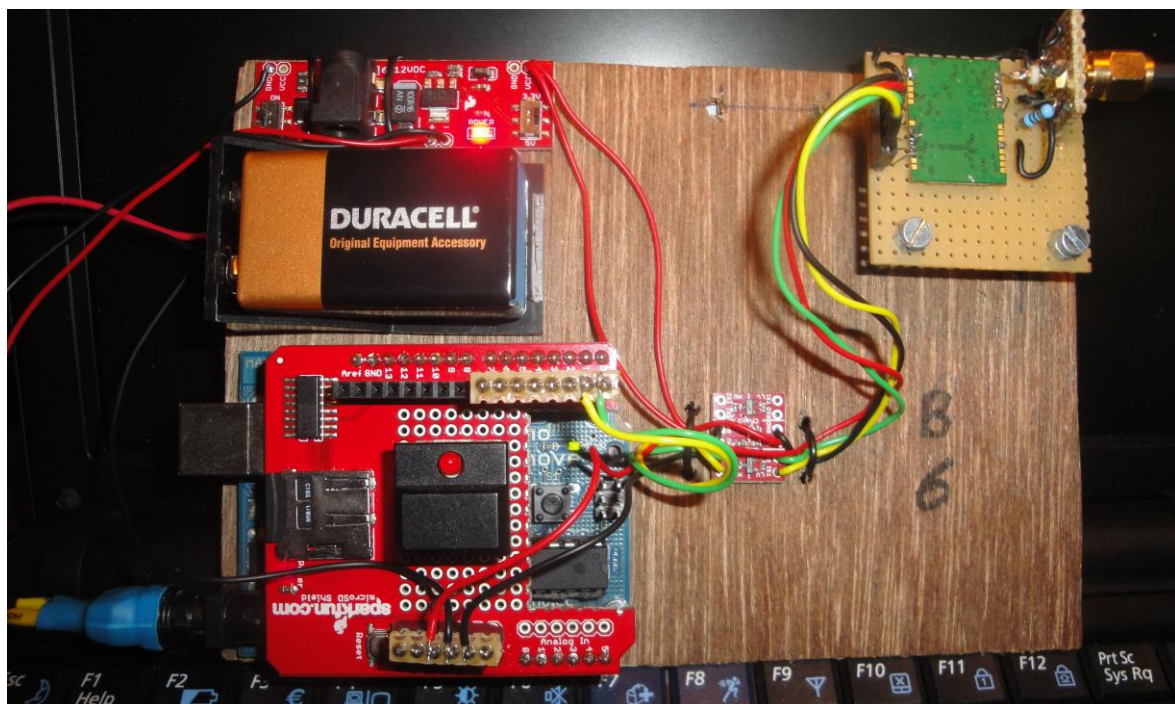


Het doen van veldmetingen is geen werk voor hooikoortspatiënten.

Resultaat van de langere waarnemingen

waarnemingen	X	Y	ΔX	ΔY	Δ horizontaal	resultaat
OBSP12_04	90948,671	465201,304	1,132	-1,600	1,960	niet voldaan
OBSP12_06	90926,365	465219,495	-0,226	-1,583	1,599	niet voldaan
OBSP12_10	90749,067	465165,763	0,903	-2,002	2,196	niet voldaan
OBSP12_11	90718,861	465119,889	-0,486	-2,964	3,004	niet voldaan
OBSP12_12	90699,307	465060,592	0,807	0,441	0,920	voldaan

Ook hier is slechts één meting voldoende nauwkeurig om aan de ontwerp eis te voldoen: OBSP12_12. De overige metingen vallen buiten de marge.



Het Poc met SD kaart, en een minimale user interface van een druktoets en LED. Helaas ook een gesneuvelde microcontroller.



Nabeschouwing

Hoewel weinig metingen binnen de gestelde marge van één meter vallen is het opvallend dat er toch enkele zijn die wel degelijk aan de voorwaarde voldoen. Daarbij blijkt ook nog dat de duur van de meting (lang of kort) weinig invloed heeft op de nauwkeurigheid.

Bij het uitwerken van de testgegevens is gebleken dat het wenselijk is om tijdens de meting een indicatie te hebben of de oplossing van de GPS positie 'floating' dan wel 'fixed' is. Dat was tijdens de test nog niet mogelijk. Gebruik van alleen 'fixed' oplossingen zal de nauwkeurigheid aanzienlijk verhogen. Of dat voldoende is om alle metingen binnen de één meter te krijgen zal echter alleen een test kunnen uitwijzen.

Verwarrend is dat bij de dakmetingen die een uur duurde, altijd een fix werd verkregen, wat wijst op 'hoe langer hoe beter'. Tussen de korte en lange metingen in het veld bleek ook een korte meting voldoende te zijn om een fix te verkrijgen.

Een ander punt van mogelijke verbetering is het gebruik van een antenne die zowel het L1 als het L2 signaal ondersteunt. Deze signalen worden op verschillende frequenties uitgezonden en hebben een andere, maar bekende, reactie op de atmosferische omstandigheden. Door de beide signalen te vergelijken kan de kwaliteit van een GPS oplossing sterk verbeteren. Dit heeft echter wel een hogere prijs tot gevolg.

Er wordt voorgesteld een volgende test te doen, wanneer het PoC is uitgebreid met een indicatie of een L1 fix is verkregen.

8-4 dGPS verrekeningssoftware

Om van UBX data tot nauwkeurige dGPS correcties te komen zijn drie stappen nodig.

- Het UBX bestand, ontvangen uit de LEA-6T moet worden omgezet naar RINEX formaat. Hierbij ontstaat een navigatie file met de ontvangen efemeriden en een observatie file met de afstanden van de satellieten tot de ontvanger.
- Van twee ontvangers die gelijktijdig hebben gemeten moeten de observatie files en één van de navigatiefiles met elkaar verrekend worden.
- Optioneel kunnen de gecorrigeerde posities en de ruwe data worden verrekend met de ontvangen data van GPS ontvangers die op een bekende positie staan. Dit proces heet vereffening. Vereffening is een iteratief proces, wat lijkt op het oplossen van een sudoku. De afstanden van een coördinaat tot iedere andere, worden gewogen op nauwkeurigheid en getypeerd. Na iedere iteratie blijkt dat sommige afstanden van een hogere nauwkeurigheid zijn dan anderen, waarmee zij meer invloed krijgen op berekening voor de volgende iteratie. Met vereffening kunnen metingen tot een factor 10 nauwkeuriger worden. Vereffening is geen statistisch proces, waardoor extreme fouten weggefilterd worden, maar een wiskundige berekening die de gegevens daadwerkelijk nauwkeuriger maakt.

UBX naar RINEX

Om UBX naar RINEX om te zetten zijn twee gratis programma's gevonden.



- De applicatie ubx2rin kan alleen UBX files exporteren naar RINEX v2. De software is open source en geschreven in Fortran.
- De suite RTKLIB kan onder andere UBX naar RINEX v2 en v3 omzetten. Ook deze software is open source en wordt actief onderhouden. RTKLIB is tijdens dit project veel gebruikt voor deze conversie.

Software schrijven waarmee UBX naar RINEX formaat kan worden omgezet is niet ingewikkeld, maar arbeidsintensief. Beide protocollen zijn uitputtend gedocumenteerd.

Post processing

Voor het verrekenen van GPS data tot dGPS coördinaten is slechts één gratis applicatie gevonden. Deze bevindt zich binnen de eerder genoemde RTKLIB suite. De suite is geschreven door Tomoji Takasu en Akio Yasuda van het Laboratory of Satellite Navigation, van de Tokyo University of Marine Science and Technology.

De software wekt een solide indruk. Zoekend op Google worden er 7050 verwijzingen gevonden. Volgens Google Scholar wordt een artikel van beide ontwerpers dertien keer geciteerd. Zowel de gedeodetisch ingenieur als ikzelf behaalde geen goede resultaten met deze software. Dit kan te wijten zijn aan ons beperkte inzicht in de complexe suite.

Vereffening

Er zijn twee open source pakketten gevonden die claimen geodetische netwerken te kunnen vereffenen. GNU Gama en Logi (Local Observations to Global Integration). Deze pakketten zijn niet getest omdat het commerciële TopCon pakket dat tijdens dit project is gebruikt, al een vereffeningfunctie bevat.

8-5 Evaluatie

Daar dit de afsluitende iteratie is, worden tijd en risico's buiten beschouwing gelaten.

Het PoC lijkt in staat voldoende nauwkeurig te meten, mits het een zogenaamde L1 fix heeft verkregen. Is deze fix niet verkregen, dan is de meting 2 a 3 keer zo nauwkeurig als met een eenvoudige GPS ontvanger te bereiken is.

Het vermoeden bestaat dat het mogelijk is sneller tot een fix te komen, met andere hardware. Ook is het hele palet van instellingsmogelijkheden van de LEA6T nog niet verkend. De module is getest met data feed frequentie van 1Hz. De datasheet geeft aan dat 10Hz haalbaar is. Hierbij wordt echter zoveel data per seconde geproduceerd dat dat door een ATmega328 microcontroller niet meer te verwerken is bij de gebruikte baudrate. Om een hogere baudrate mogelijk te maken, moet de oscillator op het Arduino board worden aangepast.



9 Projectevaluatie

Hoewel dit project nog vele open einden bevat en maar een gedeelte bereikt is, van wat was voorgenomen beschouw ik het als geslaagd.

Op de vraag hoe een goedkoop, nauwkeurig en eenvoudig te bedienen dGPS systeem te maken is, is een concreet antwoord gegeven in de vorm van een PoC.

Twee belangrijke onderwerpen zijn echter nog onbevredigend beantwoord. De post processing software en hoe zeker te zijn van een zogenaamde L1 fix.

Dat de meetnauwkeurigheid van het PoC een precisie van 1 m of minder kan bereiken, is aangetoond met de data van een langdurige bemonstering. Of de snelheid om de L1 fix te krijgen zo opgeschroefd kan worden dat het PoC bruikbaar wordt voor archeologische field surveys blijft in het ongewisse.

Dit roept een interessante gedachte op. Wellicht is het PoC ongeschikt voor snelle relatieve metingen voor surveyen, maar blijkt het prima geschikt om met behulp van gratis verkrijgbare ijkgegevens een absolute positiebepaling te doen. De professionele producten die hiertoe in staat zijn, vallen nog steeds in een compleet andere prijs categorie.

Ten aanzien van de materie rond de L1 fix lijkt verder onderzoek gewenst.

Voor het uitvoeren van post processing bestaat een open source suite RTKLIB, waarvan vele gebruikers claimen hier succesvol GPS metingen weten te corrigeren. Daar deze gebruikers ook RINEX formaat hanteren, is het slecht voor te stellen dat de RINEX data uit het PoC hier niet geschikt voor zou zijn. Binnen dit project was niet de tijd beschikbaar om uitgebreid met de ontwikkelgemeenschap van RTKLIB in gesprek te gaan.

Het verdient de voorkeur verder in de RTKLIB software te verdiepen, bij onderzoek naar een gratis post processing oplossing.

Oriëntatiefase

De belangrijkste bijdrage van de oriëntatiefase was het aanbrengen van de fasering. Dit project kende vele tegenslagen, maar bleef beheersbaar door het iteratieve karakter van de uitvoering. Met behulp van een watervalmethode zou dit project bij het doen van de foute productselectie in de definitiefase al ten dode opgeschreven zijn. Een methode als RUP was meer geschikt geweest, maar had door zijn overhead het project niet bespoedigd.

Definitiefase

De definitiefase bood door het literatuuronderzoek een goede opstap voor het verkrijgen van kennis over GPS technologie, maar het bood niet voldoende basis om het project direct in het goede spoor te zetten. Wat het voornamelijk aantoonde is hoe breed en diep de wereld van GPS technologie en theorie is.



Terugkijkend op de requirementsanalyse wordt duidelijk hoe hoog de ambitie was bij aanvang van het project. Het uiteindelijke PoC is nog steeds een plankje multiplex met daarop enkele modules bevestigd. Een van de requirements was het toepassen van een touch screen. Had dit project geen enkele tegenslag gekend, zie ik nog steeds geen ruimte voor het integreren van een touch screen, naast een accu met laadcircuit en robuuste behuizing.

Iteraties

Wat uit de iteraties duidelijk naar voren kwam, was dat er fouten gemaakt moesten worden om de werkelijkheid te begrijpen. De grootste fout in dit project was de aanschaf van de LS20031 module waarvan de leverancier beweert dat deze ruwe data levert. Bij mij bestond ten tijde van aanschaf nauwelijks kennis over wat werkelijke ruwe GPS data inhield.

Een andere fout was het aansluiten van de LEA-6T module. Tijdens het aansluiten werd zoveel energie gestoken in het voorzichtig behandelen van de module dat een verkeerde aansluiting over het hoofd werd gezien. De fout leverde wel kennis op over de werking van een actieve antenne.

Wat als een fout beschouwd kan worden is de haastige productkeuze voor de ATmega328 microcontroller, omdat er toch al Arduino boards werden gebruikt. Bij een betere analyse naar wat nodig was, had ik waarschijnlijk een board gebruikt waar een zwaardere microcontroller op paste, het liefst met een extra seriële interface waardoor buffering niet nodig zou zijn.

Wellicht had ik in een veel eerder stadium het afbouwen van het PoC los moeten laten en mij volledig moeten richten op het testen en configureren van de LEA-6T module. Er is echter wel kennis opgedaan over het beschikbaar maken van een file system op microcontrollers, wat bij voortzetting van dit project beslist weer aan de orde zal komen.

Bij het afronden van dit project beschouw ik mij als een bescheiden beginnening in de wereld van GPS technologie.



Afkortingen en terminologie

AGPS	Assisted GPS
Almanak	Een dataset waarmee een grove voorspelling van een satellietpositie kan worden gedaan.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange Een codering waarbij bytes als karakters worden weergegeven.
Baudrate	De snelheid waarmee de bits in een serieel lijnprotocol worden verstuurd.
CAD	Computer Aided Design Het ontwerpen van een apparaat met behulp van een computerapplicatie.
CAM	Computer Aided Manufacturing Het bouwen van een apparaat door een robot op basis van een CAD ontwerp.
Data feed	Een continue stroom data, waar de gebruiker geen terugkoppeling op heeft. Bijv. een televisiesignaal.
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System De Europese versie van WAAS.
Efimeriden	Een dataset waarmee een nauwkeurige voorspelling van een satellietpositie kan worden gedaan.
GLONASS	GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema De Russische versie van GPS.
GND	Ground De aardeverbinding in een elektronische schakeling.
GNSS	Global Navigational Satellite System Een overkoepelende term voor systemen als GPS, EGNOS en GLONASS.
GPS	Global Positioning System De ingeburgerde term voor het Navstar systeem.
L1	De eerste draaggolf van de radio in een GPS satelliet, met een frequentie van 575,42 MHz.
L2	De tweede draaggolf van de radio in een GPS satelliet, met een frequentie van 1227,60 MHz.
LVTTTL	Low Voltage Transistor Transistor Logic Protocol voor elektrische signaalniveau's van een digitaal signaal.
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System De Japanse versie van WAAS.
NMEA	National Marine Electronics Association Een Amerikaanse organisatie die onder andere standaarden documenteert.
PCB	Printed Circuit Board Een middels CAD/CAM vervaardigde printplaat waarop de elektronische componenten kunnen worden bevestigd.



PMTK	Packet MediaTek Een commando protocol voor GPS modules ontwikkeld door de firma Mediatek.
RTC	Real Time Clock Een digitale schakeling die de tijd bijhoudt. Vaak wordt een RTC voorzien van een back-up batterij, zodat de tijd behouden wordt wanneer het apparaat uitschakelt.
RTK	Real Time Kinetics Een dGPS methode waarbij de correctiedata van het field station via een radioverbinding direct naar de rover wordt gestuurd.
RX	Receive serial Een elektronische signaalingang voor seriële data.
SBAS	Satelite Based Augmentation Service Een verzamelnaam voor WAAS, EGNOS en MSAS.
SDR	Software Defined Radio Een radio-ontvanger waarbij de radiosignalen worden gesampled en door een software filter worden gedemoduleerd.
TTF	Time To First Fix De tijd die nodig is voor een GPS ontvanger om een fix te verkrijgen.
TTL	Transistor-Transistor Logic Protocol voor elektrische signaalniveau's van een digitaal signaal en de benaming van een categorie discrete schakelingen.
TX	Transmit serial Een elektronische signaaluitgang voor seriële data.
Vcc	Voltage Common Collector De aansluiting voor de positieve voedingsspanning in een elektronische schakeling.
WAAS	Wide Area Augmentation System Een correctietechniek voor Noord Amerika.
USART	Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter Een elektronisch circuit waarmee conventionele seriële data kan worden verstuurd en ontvangen.
SPI	Serial Peripheral Interface Een elektronisch circuit om tussen eenvoudige elektronische componenten data uit te wisselen.



Literatuurlijst

¹ J.E. Alberda, J.B. Ebbinge, Inleiding landmeetkunde, zevende druk, 2003, VSSD uitgevers.

² G.J. Hursti, Global positioning system, een inleiding, eerste druk 2000, VSSD uitgevers

³ W.H. Guier, A Satellite Doppler Navigation System, Proceedings of the IRE, jaargang 48, nummer 4, april 1960, pagina 507-516

⁴ J. McNamara, GPS for dummies, tweede druk, 2004, Wiley Publishing Inc.

⁵ E. Bekir, Modern navigation systems, eerste druk, 2007, World scientific publishing Co. Pte. Ltd.

⁶ J. Catsoulis, Designing embedded hardware, tweede druk, 2005, O'Reilly Media.

⁷ A.S. Tanenbaum, Modern operating systems, tweede druk, 2001, Prentice-Hall. Inc.