

Een vergelijkend onderzoek tussen time-of-flight en lasertriangulatie gericht op
hoogtemetingen

Kai Harten, Jure Vidmar, Timothy Singowikromo, Talha Kocak

Module EEP61

Hogeschool Rotterdam

24 juni 2018

I. Samenvatting

Eenmaal per week wordt de lengte en de schedelomtrek gemeten van baby's op de op couveuseafdeling van het Erasmus MC. Dit gebeurt momenteel handmatig. Naar aanleiding van deze kwestie wordt in dit rapport onderzocht of het gebruik van time-of-flight of lasertriangulatie het meest geschikt is voor het meten van hoogte op middelgrote afstand. Hierbij wordt er gekeken naar nauwkeurigheid en meetgedrag in een donkere omgeving, zodat er een aanbeveling gedaan kan worden voor één van de technologieën. Gegevens hiervoor zijn verzameld door middel van literatuuronderzoek en het uitvoeren van testen. Uit de verzamelde gegevens blijkt dat lasertriangulatie met een 2D Camera nauwkeuriger is dan het gebruik van een Time-of-flightcamera. Nauwkeurigheid is het belangrijkste dus is het gebruik van lasertriangulatie met een 2D camera de geschikte keuze voor deze toepassing.

II. Inhoudsopgave	
I. Samenvatting	2
II. Inhoudsopgave.....	3
III. Inleiding	4
IV. Time-of-flightcamera	5
V. 2D Camera met lasertriangulatie.....	8
VI. Conclusie.....	11
VII. Literatuurlijst.....	12

III. Inleiding

Eenmaal in de week wordt de lengte en de schedelomtrek gemeten van baby's op de op couveuseafdeling van het Erasmus MC. Het probleem is dit nu handmatig gebeurt. Naar aanleiding van deze kwestie wordt in dit rapport onderzocht of het gebruik van time-of-flight of lasertriangulatie het meest geschikt is voor het meten van hoogte op middelgrote afstand in een donkere omgeving. Dit wordt gedaan, omdat de lengte van de baby kan worden bepaald met een hoogteprofiel.

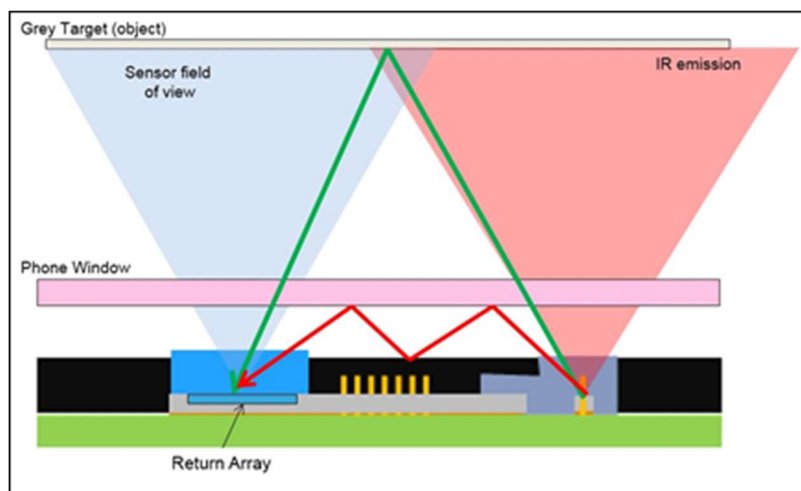
De twee methodes die met elkaar vergeleken worden zijn time-of-flight en lasertriangulatie. Het Erasmus MC heeft hier baat bij, omdat er hiermee bepaald kan worden welke methode geschikt is om de lengte van baby's te meten. Informatie uit verschillende werken zijn hier gebundeld. Het doel is om een aanbeveling te kunnen geven. Dit is een vergelijkend rapport en komt tot stand door literatuuronderzoek en het uitvoeren van testen. Er wordt van alle twee de methodes onderzocht hoe het werkt en wat de karakteristieken zijn.

Dit onderzoek beperkt zich tot de nauwkeurigheid en meetgedrag in een donkere omgeving. Vervolgens wordt dit vergeleken met het uitgangspunt dat een hoogtemeting een nauwkeurigheid van $\pm 5\text{mm}$ haalbaar moet zijn. Uit deze vergelijking volgt een conclusie waaruit een aanbeveling kan worden gegeven.

IV. Time-of-flightcamera

Een time-of-flightcamera is een camerasysteem dat naast lengte en breedte ook diepte kan waarnemen. Dit wordt berekend door de reistijd van licht. Hiermee kan er een driedimensionaal beeld worden gevormd (Wikipedia, 2017). Hierbij wordt gebruik gemaakt van infrarood licht.

In dit onderzoek wordt er getest met de V53L0X van ST Microelectronics. Dit is een time-of-flight sensor die metingen kan uitvoeren tot twee meter (STMicroelectronics, 2016). Deze sensor bestaat uit twee delen; de IR-emitter en de IR-sensor. Deze versturen en ontvangen het infrarode signaal. In figuur 1 valt te zien dat er twee onderdelen onder een hoek van 25 graden uit stralen en daardoor een crossover vlak ontstaat. Dit is het gedeelte waardoor een meting gedaan kan worden, omdat de ontvanger hierdoor het signaal kan opvangen van de zender.



Figuur 1 Principe van time-of-flightcamera

In een ideale situatie, zonder plexiglas en op kamertemperatuur heeft de sensor een maximaal bereik van 2200mm met een witte achtergrond. Bij een grijze achtergrond is dat al maximaal 800mm. De nauwkeurigheid kan worden gekarakteriseerd door de standard deviatie. In figuur 2 staat de standard deviatie in percentage bij een timing budget van 33 en 66 milliseconde op afstanden van 1200 en 700 millimeter (STMicroelectronics, 2016).

Object reflectantie	Afstand (in mm)	33ms	66ms
Wit object	1200	4%	3%
Grijs object	700	7%	6%

Figuur 2 Standaarddeviatie nauwkeurigheid

De sensor kan in verschillende profielen worden ingesteld. Dit kan op lange afstand, hoge snelheid, standaard en hoge nauwkeurigheid worden ingesteld. Hoe hoger de nauwkeurigheid, des te langer een meting duurt. Bij een normaal profiel duurt een meting rond de 30ms en is de nauwkeurigheid zoals in figuur 2. Bij het hoge snelheidsprofiel duurt een meting 20ms is de nauwkeurigheid +- 5%. Bij het hoge nauwkeurighedsprofiel is de standaarddeviatie kleiner dan 3%, maar duurt een meting 200ms (STMicroelectronics, 2016).

De maximale meetafstand is 350mm. Een standaarddeviatie van 3% geeft in dit geval een afwijking van 10.5mm. Een testopstelling is gemaakt met een objectafstand van 45mm met vier testscenario's.

```
Reading a measurement... Distance (mm): 34
Reading a measurement... Distance (mm): 32
Reading a measurement... Distance (mm): 35
Reading a measurement... Distance (mm): 28
Reading a measurement... Distance (mm): 31
Reading a measurement... Distance (mm): 32
Reading a measurement... Distance (mm): 30
Reading a measurement... Distance (mm): 32
Reading a measurement... Distance (mm): 31
Reading a measurement... Distance (mm): 30
Reading a measurement... Distance (mm): 30
Reading a measurement... Distance (mm): 35
Reading a measurement... Distance (mm): 33
Reading a measurement... Distance (mm): 31
Reading a measurement... Distance (mm): 32
Reading a measurement... Distance (mm): 36
```

Figuur 3 Meetresultaat op 45mm met een zwarte achtergrond

In figuur 3 valt te zien dat de gebruikte sensor waardes geeft tussen 30mm en 36mm bij een zwarte achtergrond. Dit is een afwijking van maximaal 15mm en minimaal 9mm. De gemiddelde afwijking is 12mm en dus een relatieve afwijking van 28%.

```
Adafruit VL53L0X test
VL53L0X API Simple Ranging example

Reading a measurement... Distance (mm): 49
Reading a measurement... Distance (mm): 46
Reading a measurement... Distance (mm): 46
Reading a measurement... Distance (mm): 47
Reading a measurement... Distance (mm): 45
Reading a measurement... Distance (mm): 45
Reading a measurement... Distance (mm): 50
Reading a measurement... Distance (mm): 47
Reading a measurement... Distance (mm): 43
Reading a measurement... Distance (mm): 45
Reading a measurement... Distance (mm): 48
Reading a measurement... Distance (mm): 44
```

Figuur 4 Meetresultaat op 45mm afstand met een witte achtergrond

In figuur 4 valt te zien dat de gemeten waardes tussen de 44mm en 49mm liggen. De gemiddelde meetwaarde is 46,25mm. Dit is een afwijking van 1,25mm en dus een relatieve afwijking van 2,78%.

```

Reading a measurement... Distance (mm): 48
Reading a measurement... Distance (mm): 48
Reading a measurement... Distance (mm): 45
Reading a measurement... Distance (mm): 48
Reading a measurement... Distance (mm): 49
Reading a measurement... Distance (mm): 45
Reading a measurement... Distance (mm): 18
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0
Reading a measurement... Distance (mm): 0

```

Figuur 5 Meetresultaat op 45mm hoogte met een reflecterend object

In figuur 5 valt te zien dat wanneer een reflecterend object onder de sensor wordt geschoven, de waarde naar 0mm gaat. Een verklaring hiervoor kan zijn dat het object het licht zondag reflecteerde dat ze sensor het niet meer goed zag.

```

Reading a measurement... Distance (mm): 349
Reading a measurement... Distance (mm): 364
Reading a measurement... Distance (mm): 357
Reading a measurement... Distance (mm): 359
Reading a measurement... Distance (mm): 359
Reading a measurement... Distance (mm): 365
Reading a measurement... Distance (mm): 357
Reading a measurement... Distance (mm): 354
Reading a measurement... Distance (mm): 352
Reading a measurement... Distance (mm): 350
Reading a measurement... Distance (mm): 363
Reading a measurement... Distance (mm): 354
Reading a measurement... Distance (mm): 359
Reading a measurement... Distance (mm): 361
Reading a measurement... Distance (mm): 349
Reading a measurement... Distance (mm): 389

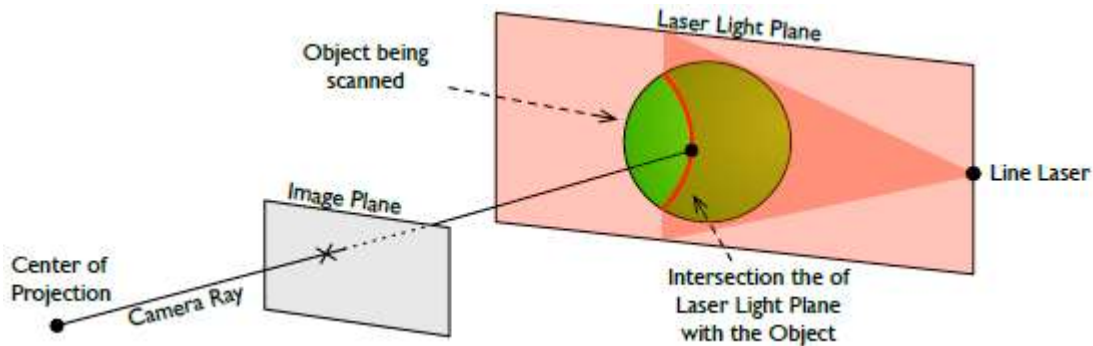
```

Figuur 6 Meetresultaat op 345mm afstand met een lichte achtergrond

In figuur 6 valt te zien dat de hoogst gemeten waarde op 364mm ligt en de laagst gemeten waarde op 349mm. Dit is een maximale afwijking van 24mm en een minimale afwijking van 4mm. De gemiddelde meetwaarde is 356,8mm. Dit is afwijking van 11,8mm en dus een relatieve afwijking van 3,42%.

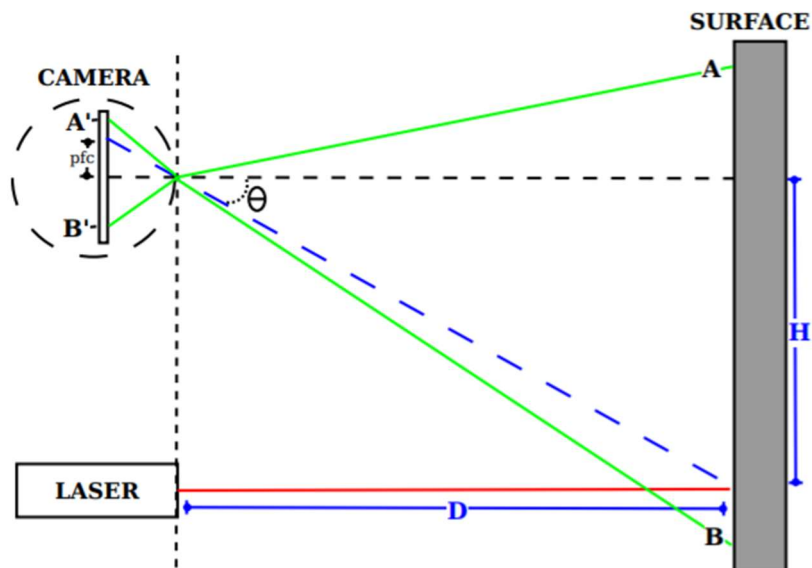
V. 2D Camera met lasertriangulatie

Lasertriangulatie is een techniek waarmee 3D-informatie kan worden verkregen. Door een laserlijn loodrecht op een object te richten en de camera onder een hoek te plaatsen, kan de camera een hoogteprofiel zien dat overeenkomt met een dwarsdoorsnede van het object. Door het object in de lengterichting te verplaatsen – bijvoorbeeld door de camera en laserlijn te verplaatsen met een stappenmotor – en de camera meerdere hoogteprofielen te laten lezen, ontstaat er een 3D-beeld (Sick Sensor Intelligence, 2017). In figuur 7 (Douglas Lanman, 2009) staat dit concept weergegeven.



Figuur 7 Concept van lasertriangulatie

In figuur 7 valt te zien dat wanneer de lijnlaser het object raakt, een verbuiging van de lijn ontstaat. Een buiging kan bestaan uit verschillende segmenten en deze segmenten bestaan uit meerdere verlichte laserpunten. Eén verlicht punt, die zichtbaar is voor de camera, wordt gedefinieerd als een camera-ray. In figuur 8 (Portugal-Zambrano, 2011) valt een schematisch overzicht de zien van het principe om afstand D te bepalen met de projectie van de laser op het oppervlak van het object.



Figuur 8 Schematische weergave van lasertriangulatie

De afstand tussen de camera en de lijnlaser is gedefinieerd als H (in centimeter). De afstand tussen de scanner en het object is gedefinieerd als D (in centimeter). De afstand tussen het midden van de afbeelding tot de locatie van de geprojecteerde straal kan worden gedefinieerd als pfc (pixels from center) waar theta θ de hoek is die gevormd wordt door de projectie van de laserstraal op de afbeelding. Met dit schema kunnen we de relatie stellen volgens formule 1 (Portugal-Zambrano, 2011).

$$D = \frac{h}{\tan \theta} \quad (1)$$

Elke pixel in de afbeelding kan worden omgezet naar een corresponderende waarde in centimeter door hoek theta te berekenen. Deze pfc wordt vermenigvuldigd met het aantal radialen per pixel pitch (rpc) en opgeteld bij een offset aan radialen (ro) om hoek theta te berekenen (formule 2). Vervolgens kan de uitkomst hiervan weer in formule 1 worden gezet om op deze manier formule 3 te krijgen.

$$\theta = pfc * rpc + ro \quad (2)$$

$$D = \frac{h}{\tan(pfc * rpc + ro)} \quad (3)$$

Om de parameters rpc en ro te bepalen moet eerst een kalibratie worden uitgevoerd. De pfc kan worden geteld vanuit de afbeelding. H is constant. Om het systeem te kalibreren, wordt de pfc bij bepaalde afmetingen geteld. Dus een afstand van 29cm correspondeert met 103 pixels vanaf het center. In figuur 9 (Danko, 2018) staan kalibratiegegevens van Todd Danko.

pixels from center	103	81	65	55	49	45	41	39	37	35
actual D (cm)	29	45	58	71	90	109	127	159	189	218

Figuur 9 Kalibratiedata

De daadwerkelijke hoek theta θ kan worden berekend met de daadwerkelijke afstand uit de kalibratiegegevens.

$$\theta_{\text{werkelijk}} = \arctan\left(\frac{h}{D_{\text{werkelijk}}}\right) \quad (4)$$

De daadwerkelijke hoek θ wordt voor elk kalibratiepunt berekend en hierdoor kan met het aantal pixels een hoek θ worden berekend. Dit komt, omdat om de kalibratiepunten niet willekeurig zijn, maar de gekozen punten samen een lineair verband vormen. In figuur 10 (Danko, 2018) staan de berekende gegevens volgens formule 5 met behulp van de kalibratiegegevens.

$$D = \frac{h}{\tan(pfc * 0,0024259 - 0,056514)} \quad (5)$$

pixels from center	berekende D (cm)	daadwerkelijke D (cm)	% error
103	29,84	29	2,88
81	41,46	45	-7,87
65	57,55	58	-0,78
55	75,81	71	6,77
49	93,57	90	3,96
45	110,85	109	1,70

Figuur 10 Daadwerkelijke en berekende hoogtegegevens

In figuur 10 valt ook te zien dat de er een gemiddelde error van 0,26% is. De maximale afwijking is -7,87% en de minimale afwijking is -0,78. Vanwege de lichtbron van de laser, werkt dit goed in een donkere omgeving.

VI. Conclusie

In de inleiding staat beschreven dat dit onderzoek richt op hoogtemetingen op middelgrote afstand in een donkere omgeving. Een afstand van 100mm tot 350mm is gewenst en de afwijking mag niet meer dan ± 5 mm zijn. In het geval van 100mm is dit een afwijking van 10%. In het geval van 500mm is dit een afwijking van 2.85%. Dit moet worden behaald in een donkere omgeving.

Time-of-flightcamera functioneerde niet goed met een zwarte achtergrond, maar lasertriangulatie functioneert juist in een donkere omgeving, omdat het zelf voor licht zorgt. Vanwege de eis dat het moet functioneren in een donkere omgeving, is het verstandig om voor lasertriangulatie te kiezen.

Daarnaast valt de gemiddelde afwijking van lasertriangulatie op 0.26%, maar heeft het een maximale afwijking van meer dan 7% op een afstand van 450mm. Dit is ver buiten de gevraagde nauwkeurigheid, maar op 590mm is de afwijking 0.8%. Dit ligt binnen de gevraagde nauwkeurigheid. Het lijkt erop dat dit ook aan de testopstelling en de omgeving te maken heeft, waarom dit niet consistent is, of aan het aantal kalibratiepunten. Time-of-flight heeft op 700mm een afwijking van 6% en dit ligt ook buiten de gevraagde nauwkeurigheid. Op dit vlak wint lasertriangulatie het ook. Wel is op te merken dat het midden punt van de laserlijn niet berekend is, maar geschat. Hierbij is er door de auteur aangenomen dat het laserpunt op het middelpunt van het beeld ligt en vandaar uit zijn alle waardes berekend inclusief het % error.

Op beide punten is lasertriangulatie een betere keuze. Het functioneert goed in een donkere omgeving en het biedt een goed uitgangspunt qua nauwkeurigheid. Een advies is wel om de omgeving zo goed mogelijk te beheersen qua licht en meerdere kalibratiepunten te gebruiken.

VII. Literatuurlijst

- Danko, T. (2018). *Webcam Based DIY Laser Rangefinder*. Opgehaald van https://sites.google.com/site/todddanko/home/webcam_laser_ranger
- Douglas Lanman, G. (2009). Build your own 3d scanner: 3D photography for beginners.
- Portugal-Zambrano, C. (2011). Robust Range Finder Through a Laser. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*.
- Sick Sensor Intelligence. (2017). *Zo werkt lasertriangulatie bij 3D*. Opgehaald van Sickipedia: <https://www.sick.com/medias/Lasertriangulatie-bij-3D.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8MzU1MTc5fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxoZGUvaGl1Lzg4MjgzODgyNDU1MzQucGRmfGI4MzMzMzYzNTIwNGY3MjQ0NTQ0YTMxOTImZTMxMzdkZTVlZmI3YjY0OTQxNTczZmQ5MDYyNjQyOWQwOWQ3MGI>
- STMicroelectronics. (2016). *VL53L0X Datasheet*. Opgehaald van ST.
- Wikipedia. (2017, Februari 15). *Time-of-flightcamera*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Time-of-flightcamera>