

Productontwikkeling Fotostraaldetectie

Programma van eisen

author: Gerrit van Dalfsen

web: www.ganpro.nl

Date	Version	Change
08Sep2016	0.1	First draft
21Nov2016	0.2	Review
23Nov2016	1.0	Final
31Mrt2021	1.1	Update tbv blog artikel

Inhoudsopgave

Productontwikkeling Fotostraaldetectie	1
Programma van eisen.....	1
Inhoudsopgave.....	2
1. Inleiding.....	3
1.1. Opdrachtschrijving.....	3
1.2. Scope.....	3
1.3. Uitgangspunten	3
2. Standaarden - Keurmerken	4
2.1. CE-markering.....	4
2.2. IPR-code	4
2.3. ISO Software product quality	5
2.4. Begrippen	5
3. Programma van Eisen	6
3.1. Requirements	6
4. Ontwerp opties.....	10
4.1. Through beam of Reflective	10
4.2. Infrarood of zichtbaar licht.....	10
4.3. Doorgangdetectie methoden	12
4.4. Meerstraals detectie	13
4.5. Detectie techniek.....	15
4.6. Identificatie bij doorgang.....	17
5. Markt aanbod	17
5.1. Kansen voor nieuw te ontwikkelen product	19

Document referentie

Ref	Titel	versie, datum, auteur
[1]	Slalom timing accuracy with photobeams	v2.0, March2013, G. van Dalssen, Timingteam
[2]	Enkelcel-dubbelcel vergelijking	March 2013, G. van Dalssen, Timingteam

1. Inleiding

De elektronische doorgangdetectie met behulp van een lichtstraal heeft veel toepassingen. Te denken is aan het tellen van klanten in een winkel, het starten van een roltrap, machine beveiliging, het openen en sluiten van een hek of deur. En elektronische (sport)tijdmeting. Op deze laatste toepassing spitst dit document zich toe.

Bij elektronische tijdmeting geeft een lichtstraalonderbreking een trigger naar een klok, die een tijdstempel produceert. Het inzetten van lichtstraal onderbreking om een start of finish vast te stellen, leidt niet vanzelf tot een nauwkeurige tijdmeting (beter dan 0,01 sec).

Een wedstrijdreglement bepaalt welk object de start- of finishlijn moet onderbreken om als start- of finishmoment te gelden. Afhankelijk van de sport discipline kan dat de borst, het hoofd, de voet of het lichaam van de deelnemer zijn. Of de voorkant van een voer- of vaartuig. Daarbij is het niet gewenst dat de fotostraal detectie al een trigger geeft als een skistok of een kanopeddel de lichtstraal onderbreekt voordat het lichaam van de deelnemer de lichtstraal onderbreekt.

Ook is het niet gewenst dat de fotostraal detectie een trigger geeft als het regent, of als een insect door de straal vliegt. Anderzijds, als men wil meten op het voorwiel van een fiets, dan moet de fotostraal detectie juist op een zeer korte onderbreking triggeren. Dan kan het nodig zijn om ongewenste triggers te voorkomen door met meer parallelle lichtstralen te werken die tegelijk, of in een bepaalde volgorde onderbroken moeten worden. De keerzijde van complexere constructies is dat de fotostraal detectie wel betrouwbaar moet triggeren als inderdaad een deelnemer de finishlijn passeert.

Aan doorgangsdetectie met lichtstraal onderbreking ten behoeve van nauwkeurige tijdmeting worden dus eisen gesteld die deels met elkaar op gespannen voet staan.

Dit document inventariseert de diverse eisen die voor elektronische tijdmeting met fotostraal detectie relevant zijn, bespreekt oplossingen voor conflicterende eisen, en formuleert een advies voor een te ontwikkelen oplossing.

1.1. Opdrachtomschrijving

1. Inventariseer de eisen die relevant zijn voor het ontwikkelen van een fotostraal detectiesysteem ten behoeve van een nauwkeurige en betrouwbare elektronische tijdmeting.
2. Geef een afweging van mogelijke oplossingen
3. Geef een advies voor een toe te passen oplossing

1.2. Scope

- Het onderzoek beperkt zich tot fotostraal detectie systemen ten behoeve van elektronische sport tijdmeting.
- Binnen scope zijn eisen volgend uit standaarden en keurmerken die relevant zijn bij het ontwikkelen van een te vermarkten product.

1.3. Uitgangspunten

- Het fotostraal detectie systeem moet in de open lucht kunnen werken.
- Het fotostraal detectie systeem moet als een tijdelijke opstelling geplaatst en weer opgenomen kunnen worden.

2. Standaarden - Keurmerken

Om een product op de markt te brengen zijn er diverse standaarden en keurmerken waar een product aan moet voldoen, of zou moeten voldoen. Dit hoofdstuk beschrijft relevante keurmerken.

2.1. CE-markering

Betreft Europese regels voor de veiligheid in het gebruik van de producten. Relevant voor fotocellen en bijbehorende elektronische apparatuur:

- 2006/95/EC Elektrisch materieel bestemd voor gebruik binnen bepaalde spanningsgrenzen (laagspanning)
- IEC 6247 - Eye safety standard for artificial non coherent sources (Leds). (Vishay stelt dat al zijn infrarood led's binnen deze norm vallen).
- EMC 89/336/EEC - Electro Magnetic Compatibility. Houdt in dat het apparaat geen electromagnetische storingen veroorzaakt, en niet gevoelig is voor electromagnetische storingen van buiten (binnen zekere normen).

2.2. IPR-code

De IPR-code (Ingress Protection Rating) geeft aan hoe bestendig apparatuur en behuizingen zijn tegen indringing van objecten en vocht.

IP RATING CODES

Protection from Solid Objects		Protection from Moisture	
0	Not protected	0	Not protected
1	Larger than Ø50mm	1	Dripping water
2	Larger than Ø12mm	2	Dripping water when tilted at 15°
3	Larger than Ø2.5mm	3	Water spray
4	Larger than Ø1.0mm	4	Water splash
5	Dust protected	5	Water jets
6	Dust tight	6	Heavy seas
		7	Immersion from 0.15-1.00m depth
		8	Submersion below 1.00m depth

2.3. ISO Software product quality

Voor software geeft ISO/IEC 25000 kwaliteitskenmerken waar je een software product op kunt beoordelen.



2.4. Begrippen

Begrip	Omschrijving
Detector	Apparaat dat een gebeurtenis kan waarnemen.
Fotostraal	Een lichtpad tussen een licht zender en een licht ontvanger.
Fotocel	Een lichtontvanger
Fotostraal apparatuur	Een aantal apparaten die samen een fotostraal in stand houden
Triggerpuls	Een signaal dat aangeeft dat de fotostraal apparatuur een gebeurtenis waarneemt.

3. Programma van Eisen

3.1. Requirements

Functional suitability

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
F01	De toegepaste golflengte van de fotostraal mag in het zichtbare en niet-zichtbare licht liggen. Zichtbaar licht of infrarood. Zijn er redenen om de een met voorkeur boven de ander te gebruiken ?	
F02	De afstand die met de fotostraal overbrugd kan worden is 50 meter. Dit is een eis vanuit de kanowereld, waar een rivier of kanaal overbrugd moet kunnen worden.	
F03	De vertraging (latency) tussen eerste onderbreking van de fotostraal en het geven van een triggerpuls is bekend en constant en niet groter dan xx ms.	
F04	Als de fotostraal in werking is, toont de detector een signaal dat de fotostraal in werking is.	
F05	Of de fotostraal bij onderbreking een trigger afgeeft, moet geactiveerd en gedeactiveerd kunnen worden.	
F06	Als de ontvangstkwaliteit van de fotostraal niet optimaal is, geeft de detector een waarschuwingssignaal.	
F07	De fotostraal detector biedt signalen die de uitlijning van de fotostraal ondersteunen.	
F08	De behuizing van de fotostraal zender/ontvanger is waterdicht - IP67 (onderdompelbaar). Dit is een eis vanuit de kanowereld. De zender/ontvanger moet ertegen kunnen dat hij in het water valt. Het kan ook voorkomen dat het waterpeil van het wedstrijdparcours een halve meter stijgt, waardoor de zender/ontvanger onder water komt te staan.	
F09	De fotostraal behuizingen zijn stofdicht. Dit maakt het bruikbaar op het strand, waar zand in alles en overal binnendringt.	
F10	De fotostraal apparatuur is niet gevoelig voor mechanische schokken. Moet tegen een val kunnen en tegen transport trillingen.	
F11	Indien in de fotostraal apparatuur condens optreedt, dan slaat dan niet neer op een eventueel lichtvenster of lens.	
F12	De opstelconstructie voor de fotostraal apparatuur moet geschikt zijn dat deze ook in een waterkant geplaatst kan worden. Voor kanovaren is het vereist dat de fotocellen 30cm boven het wateroppervlak geplaatst kunnen worden.	

F13	Het is gewenst dat de fotostraal aan de uiteinden van de te detectie lijn een zender en ontvanger heeft. (En dat niet met een spiegel wordt gewerkt.) Bij langere afstanden (> 20 mtr) geeft een spiegel een dubbele te overbruggen afstand, en levert de spiegel ook een signaal demping. Straaluitlijning met een spiegel over langere afstand vraagt precieze instelmechanismen.	
-----	---	--

Performance - Efficiency

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
P01	De fotostraal apparatuur is zodanig energiezuinig dat 12 uur op een batterij / acculading gewerkt kan worden.	

Compatibility

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
C01	De detectiepuls die de fotostraal apparatuur afgeeft, kan over een geleider van 300 mtr getransporteerd worden.	
C02	De detectiepuls die de lichtstraalapparatuur afgeeft, is zodanig simpel dat deze met eenvoudige omzettingismiddelen aan diverse apparaten aangeboden kan worden.	
C03	De fotostraal apparatuur is modulair opgezet, waarbij de modules in verschillende configuraties ingezet kunnen worden.	

Usability

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
U01	De fotostraal apparatuur is op een eenvoudige en intuïtieve manier in te stellen en uit te lijnen. De apparatuur geef signalen die het uitlijnproces faciliteren.	
U02	De bedieningsbeschrijving van de fotostraal apparatuur is eenvoudig en intuïtief, en vanuit het gebruiksperspectief vorm gegeven.	

Reliability

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
R01	De gevoeligheid voor fouten van eerste orde (triggeren wanneer dat niet moet) en tweede orde (niet triggeren wanneer dat wel moet) is beter dan 1:1000.	

	Gevoeligheid voor ongewenst afvuren door regen, insect, skistok, peddel, ..	
R02	Gewenst is dat er een zekere marge is waarbinnen de fotocellen kunnen bewegen, voordat dit de uitlijning verstoort. Gewenst is dat de fotostraal een signaal geeft als de uitlijning niet meer optimaal is (voordat de uitlijning volledig verloren is.)	
R03	Gewenst is dat het fotostraal systeem fault tolerant is, dat delen van het systeem afgeschakeld of door backup vervangen kunnen worden, terwijl het systeem toch blijft werken, eventueel met verminderde functionaliteit. (bijv. een handknop om handmatige een tijd puls te kunnen genereren). (Anti fragile).	
R04	Het heeft de voorkeur dat koppelingen voor doorgifte van de triggerpuls bekabeld zijn, boven een draadloze koppeling.	

Security

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
S01	De apparatuur moet zodanig gevormd zijn, dat het niet uitnodigt voor gelegendheidsdiefstal. (door te bekabelen, omvang van kastjes waardoor die niet gemakkelijk in een jaszak kunnen verdwijnen). (Diefstal onaantrekkelijk).	
S02	De knoppen van de fotostraal apparatuur moeten afgeschermd zijn tegen ongewenste bediening / geintjes / sabotage.	

Maintainability

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
M01	Het is mogelijk dat geïnformeerde en vaardige gebruikers zelf reparaties aan het fotostraalsysteem verrichten.	
M02	Er is geen geavanceerde apparatuur nodig om reparaties aan het fotostraalsysteem te verrichten en het te testen.	

Portability

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
P01	Het is gewenst dat het fotostraalsysteem door geïnformeerde en vaardige mensen zelf te bouwen is.	

Regulations

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
L01	Indien het fotostraal systeem als product vermarkt wordt, dient het een CE Markering te hebben. Zie H 2.1 voor relevante regelgeving.	
L02	Safety – oogbeschadiging bij inkijken fotostraal. IEC 6247 - Eye safety standard for artificial non coherent sources (Leds)	

Non-functionals

Ref	Omschrijving vereisten	Moscow
N01	Prijsomvang - bij zelfbouw < € 300,-	

4. Ontwerp opties

4.1. Through beam of Reflective

In de through-beam optie staat een zender aan de ene zijde van de doorgang en de ontvanger aan de andere zijde. In de reflective optie staat zender en ontvanger aan de ene zijde van de doorgang en een reflector aan de andere zijde van de doorgang.

In de reflective optie kan zender en ontvanger in dezelfde behuizing worden ondergebracht en hoeft aan de spiegelzijde geen actieve apparatuur geplaatst te worden. Voor vaste installaties en doorgangen met beperkte breedte is deze optie wellicht te prefereren.

Voor sport tijdmeting is de lichtstraal een tijdelijke opstelling. De voeding van de zender kan dagelijks ververs worden. De afstand die overbrugd moet worden kan aanzienlijk zijn (tot 50 mtr). Met een reflector legt de lichtstraal een dubbele afstand af, terwijl de reflector voor enige demping zorgt. Regeldruppels of opspattend water op de reflector kunnen licht verstrooien. Een lichtstraal via een reflector is lastiger uit te richten als een throughbeam. Vanwege deze issues bij elkaar gebruiken we bij sporttijdmeting geen reflective beam.

4.2. Infrarood of zichtbaar licht

Een lichtstraal in zichtbaar licht heeft een voordeel dat zichtbaar is of de lichtstraal aan staat.

4.2.1. Fotostraal lichtbronnen

De keuze voor infrarood lichtbronnen (led's) in het verleden houdt ermee verband dat led's alleen in het rood en ver rood beschikbaar waren en dat led's in het ver rood efficiënter in lumen/watt waren.

Inmiddels zijn led's ook in het zichtbaar licht in vele golflengten en vermogens beschikbaar.

LED product	Wave length (nm)	Radiant intensity @20mA (mW/sr ¹⁾	Luminous intensity @20mA (mLm/sr) ²⁾	Viewing angle	diameter (mm)
TSAL6100	940 (ir)	170 @100mA		10	5
IR333-A	940 (ir)	20 85 @100mA		20	5
HLMP-EG08-YZ000	626 (red)	60	12600	8	5
L-793SRC	640 (red)	51	6000	15	8
TLCR5800	622	145@50mA	35000 @50mA	4	5

- 1) milliWatt per Steradian > gebruikt bij ir licht
Steradian : conus van bol met boloppervlak van r^2
- 2) milliLumen per Steradian = milli candela > gebruikt bij zichtbaar licht (menselijk zicht gevoeligheidskromme meegewogen)
- 3) efficacy lm/W - lumen/Watt - zit menselijk zicht gevoeligheidskromme in verwerkt. > geen goede maat voor vergelijking met IR.

Voor zichtbaar licht kun je Luminous intensity omrekenen naar Radiant intensity. Infrarood kun je niet omrekenen naar Luminous intensity (omdat ir niet zichtbaar is)

Beperken energiegebruik fotostraal led

In de volgende paragraaf wordt besproken dat je het fotostraal signaal gepulst moet versturen om het kunnen onderscheiden van het achtergrondlicht. Gebruikelijke frequenties zijn 38Khz en 40Khz. Een gepulst signaal bespaart op energiegebruik van de led. Verdere energiebesparing is mogelijk door de pulsen geburst te versturen. Bijvoorbeeld 8 pulsen gedurende 1/4 van een burstperiode (8 pulsen van 26,15 us is 210 us, is 1/4 van 842 us burstperiode.) Geburst versturen bespaart op het energie gebruik van de fotostaal led. Dat moet je afwegen tegen het stroomgebruik van de extra component om geburst signaal te maken.

Opmerking: Geburst fotostraal signaal voegt wel wat variatie toe op de latency tussen begin onderbreking en afgeven detectiepuls (bij bovengenoemde cijfers ca 0,6 ms)

4.2.2. Fotostraal sensors

De volgende tabel geeft een overzicht van foto sensors - voornamelijk in de vorm van foto transistors.

Photo transistors

Product	Wave length (nm)	Light current (mA) @ 1 mW/cm2	Viewing angle (degr)		
Honeywell SDP8436	900	10	10		
Sharp GPIU5					niet meer leverbaar,
Sharp PT480E	800	1.7	13		
Osram SFH 309	900	7	24		
Osram BPY 62-3/4	800	1	16		
Vishay TSOP4038	950		45	38 khz	filter + preamplifier

Een gedachte dat je met een fotosensor in het zichtbare licht last hebt van achtergrond licht, maar niet in het infrarood, gaat niet op. De helft van de zonlicht energie zit in het zichtbaar licht, de andere helft in het infrarood. Ook in het infrarode bereik is er een flinke portie achtergrondlicht waar de fotosensor op kan triggeren.

Dit achtergrondlicht is de reden waarom men in voorkomende toepassingen de fotostraal gepulst verstuurt. Dat is om het signaal te kunnen onderscheiden van de achtergrondverlichting. Sensor als de GPIUS en de TSOP4038 hebben een filter en versterker aan boord, ingesteld voor een 40KHz signaal. Het

gebruik van de TSOP4038 heeft als voordeel dat je niet zelf een filter/versterker hoeft te ontwikkelen om het beam signaal van het achtergrondlicht te onderscheiden.

De fototransistors tonen merendeel een maximale gevoeligheid in het infrarood. Er zijn fototransistors die ook in het zichtbare licht kunnen waarnemen, maar hebben in het zichtbare licht niet hun maximale gevoeligheid. Een fotostraal in zichtbaar rood is mogelijk, maar dat gaat ten koste van de afstand die overbrugd kan worden.

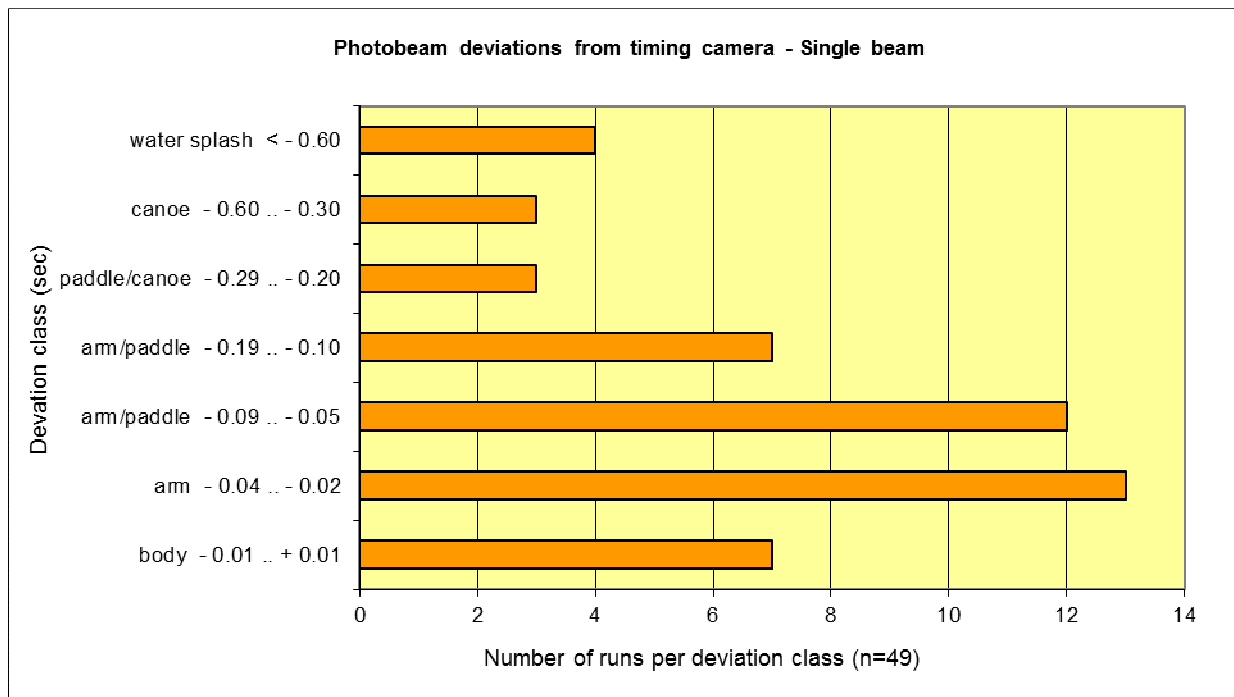
De conclusie is dat als je een fotostraal in het zichtbare licht wilt hebben, dat je zelf de filtering en versterking moet verzorgen om het signaal van het achtergrond licht te onderscheiden, en dat de te overbruggen afstand geringer zal zijn dan een fotostraal in infra rood.

4.3. Doorgangdetectie methoden

De essentie van de fotostraal doorgangsdetectie is dat er een doorgang geconcludeerd wordt als de fotostraal wordt onderbroken. In de praktijk van sporttijdmeting is het waarnemen van een doorgang ter bepaling van een start of finish moment wat weerbarstiger.

Wanneer een rechthoekig object door de fotostraal schuift, dan is het onderbrekingsmoment zeer precies bepaald (afgezien van eventuele lichtbuigings effecten rond het object). Wanneer een sporter met zijn uitrusting door de fotostraal schuift, dan zijn dit meestal een aantal onderbrekingen achter elkaar. Bijvoorbeeld bij een kano vaarder of een skiër, waarbij de fotostraal eerst door een peddel, stok of arm onderbroken kan worden, voordat het lichaam de fotostraal onderbreekt. Volgens het wedstrijd reglement moet het lichaam, de borst, de romp, de voet of wat ook zijn, waarvan de passage over de start of finishlijn het start resp. het finish moment bepaalt.

Uit metingen met finishcamera's [2] blijkt dat de variatie van een finishmoment wel tot 0,6 sec. kan zijn, afhankelijk of kano, peddel, arm of romp de fotostraal onderbreken. Dat is beduidend meer dan de 0,01 sec. nauwkeurigheid die in veel gevallen verlangd wordt.



Figuur 1 - Vroegonderbreking finishes slalomkano's

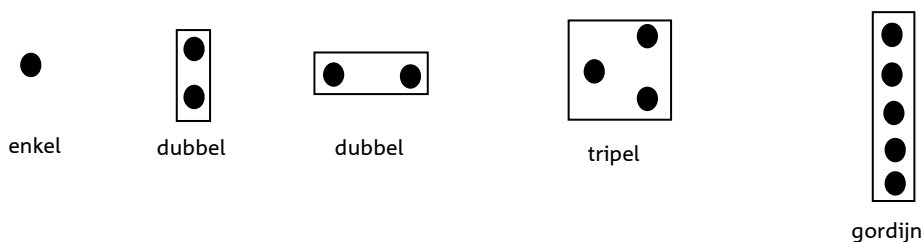
In pogingen vroegonderbrekingen te beperken, wordt gewerkt met detectie niveaus. Dat houdt in dat de fotostraal een zekere tijd onderbroken moet zijn alvorens een trigger naar de tijd klok gegeven wordt. De gedachte daarmee is dat men een onderbreking door een peddelsteel of een skistok kan uitfilteren.

Metingen met een finishcamera aan een fotostraal die na 0,03 sec een detectiepuls geeft, wijst uit dat dit geen invloed heeft op het beperken van vroegonderbrekingen van het finishmoment. Een minimale onderbrekingsduur zorgt er wel voor dat de fotostraal geen spookfinishes geeft vanwege insecten of regendruppels.

Het verhogen van de onderbrekingsduur voordat een detectiepuls gegeven wordt, leidt tot een grotere latency (vertraging) in het afgeven van de start of finish puls. Een nog verdere verhoging van de onderbrekingsduur geeft het risico dat de sporter de fotostraal te snel passeert, en niet gedetecteerd wordt. Snelle vaarders kunnen in 0,1 sec de finishstraal passeren [1].

4.4. Meerstraals detectie

In een poging de vroegonderbreking van een enkelstraals detectie te beperken, zijn meerstraals fotodetectoren ontwikkeld. Varianten zijn tweestraal detectoren, driestraals detectoren en gordijn detectoren



M.b.t. het koppelen van de fotosensors zijn er ontwerpopties.

- a. Beide fotocellen (bij dubbel sensors) of alle drie (bij triple sensors) moeten tegelijk onderbroken zijn om een detectiepuls te geven. Of minimaal x fotocellen moeten bij een gordijn opstelling onderbroken worden. Deze eis bepaalt dat de fotocellen niet te ver uit elkaar geplaatst kunnen worden in verhouding tot de afmetingen van het voorwerp dat de meerstraals fotostraal moet onderbreken (bijv. de romp van een deelnemer.)
- b. Alle fotocellen moeten zekere tijd onderbroken worden, maar niet noodzakelijk tegelijk. Dit treedt op als een voorwerp door de stralen schuift, terwijl de fotocellen op een afstand geplaatst zijn die groter is dan het voorwerp. Dit achtereenvolgens onderbreken moet wel binnen een tijdbestek plaatsvinden. Bij een gordijnopstelling kun je bepalen dat x fotocellen binnen een tijdbestek onderbroken moet zijn geweest. Optie b vraagt een meer uitgebreide detectie logica.

De verwachting is dat meerstraals opstellingen minder gevoelig zijn voor 'voorberoeringen' door een peddel, arm of skistok. En dus een nauwkeuriger meting geven. Anderzijds neemt de kans op een niet-detectie ook toe.

Bij de meerstraals detectie zijn er meer fotostraal fotocellen opgesteld. Aan de zenderzijde zijn er ook ontwerpopties. De straalhoek van de zender led's is niet heel beperkt. Als de zender op enige afstand staat, belicht deze meer sensors.

- a. Als de meervoudige fotocellen door één zender belicht worden, dan is het vakje dat onderbroken moet worden voor een detectie niet gelijk over de breedte van het parcours. (Het vakje is kleiner naarmate het dichter bij de zender is). Dat is geen gewenste ontwerpoptie.
- b. Als aan de zenderzijde ook een dubbel / tripel opstelling wordt geplaatst, dan worden de sensors door meer zenders belicht. Het te onderbreken gebied is dan wel over de hele breedte van het parcours gelijk. Als de zenders meer fotocellen belichten, dan is het zaak dat de zenders gesynchroniseerd pulsen. Andere optie is de gepaarde zenders en ontvangers verschillende polarisatie richtingen te geven. Polarisation filters verzwakken de lichtstraal en beperken daarmee de overbrugbare afstand.

Metingen door Tijdteam aan verticale dubbelstralen [2] laten zien dat de detectie onnauwkeurigheid afneemt naar 0,15 sec. maar dit is nog altijd beduidend meer dan de gewenste nauwkeurigheid van 0,01 sec.

Probleem met meerstraalsdetectie is dat de kans op niet detecteren van een doorgang groter wordt. En de breedte van de doorgang - de te overbruggen afstand - wordt erdoor beperkt. Gordijn detectoren kunnen niet meer dan een paar meter uit elkaar staan.

Er zijn geen vergelijkende metingen bekend tussen tripel en gordijn detectoren en finishcamera's. De verwachting is dat de meetnauwkeurigheid met deze detectoren wel toeneemt. Maar de vraag is er een gewenste nauwkeurigheid van 0,01 sec mee bereikt kan worden. (Hooguit in gespecialiseerde opstellingen.)

Het voordeel van fotostraaldetectie is een instantaan tijdstempel bij doorgang. Nadeel van een fotostraal detectie is dat achteraf niet is te tonen wat de straal precies heeft onderbroken.

Conclusie is dat fotostraal doorgangsdetectie een goede oplossing is om instantaan een finishtijd en runtijd te verkrijgen, maar dat de nauwkeurigheid daarvan niet beter dan 0,1 sec. is. Wil men nauwkeuriger meten, dan is een tijdcamera nodig.

4.5. Detectie techniek

Doorgangsdetectie op basis van een fotostraal moet betrouwbaar zijn. Zeker ingeval van sportwedstrijden. Een niet-detectie van een doorgang betekent voor een deelnemer geen uitslag. Wanneer daar een forse en niet herhaalbare inspanning aan vooraf gegaan is, is een niet-detectie niet acceptabel.

Detectiefouten zijn te categoriseren in fouten van de eerste orde en fouten van de tweede orde. Fouten van de eerste orde zijn doorgangen die gemist worden. Fouten van de tweede orde zijn detectiepulsen terwijl er geen doorgang is.

Detectiefouten van de eerste orde kunnen voorkomen wanneer de deelnemer over de straal heen springt, of er onderdoor duikt. Een niet-detectie zou ook voor kunnen komen wanneer de straal ergens spiegelt en om de deelnemer heen schijnt. Denk aan een reflectie op een watergolfje, door het dek van een natte kano, of door de reflectie op een peddelsteel.

In de detectietechniek die verderop besproken wordt, kan een korte reflectie een detectie teller resetten, waardoor de detectie twee onderbrekingen waarneemt, die elk te kort zijn om een detectiepuls te triggeren. Een verdere reden van eerste orde fouten kunnen stoorsignalen zijn op het signaal dat de fotodetector afgeeft. Eén stoorpiekje van een electromagnetische storing uit de buurt kan de detectie teller ook resetten, met als gevolg het missen van een doorgang.

Detectiefouten van de tweede orde worden soms wel aangeduid als spookpulsen. Spookpulsen kunnen optreden wanneer kleine voorwerpen de fotostraal onderbreken, bijvoorbeeld een insect, een grasspriet of takje in de wind, regendruppels, of opspattend water. Spookpulsen kunnen ook optreden wanneer de signaalkwaliteit van lichtsignaal afneemt. Bijv. door overstraling vanuit een andere bron (bijv. inschijnend zonlicht), door interferenties door reflecties (bijv. golfjes op het water), of door een grote afstand van de zender waardoor de lichtpulsen in het achtergrondlicht verdrinken en niet goed uitgefilterd kunnen worden.

In de beschrijving van de detectiefouten zijn enkele veronderstellingen wat betreft de detectietechniek gehanteerd.

- a. het fotostraal signaal is gepulst.
- b. het detectiemechanisme geeft een trigger wanneer een aantal pulsjes uit de fotostraal gemist worden.

De foto detector Vishay TSOP4038 is geoptimaliseerd voor een fotosignaalfrequentie van 38 KHz. Dat signaal moet je op de zender aanbieden. Dus dat vraagt een oscillator en een signaalsvormer aan de zender zijde.

In de detector willen we niet direct reageren op een eerste ontbrekende puls. Er moeten een aantal pulsen ontbreken, of er moeten gedurende een zekere tijd lichtstraal pulsen ontbreken, voordat de detector een trigger geeft. Die tijd moet liefst instelbaar zijn.

De detector die door het Gennepermolen team is gebouwd gebruikt een 74CH4020 counter die met een klokpuls wordt aangestuurd, maar die door de fotostraal pulsen steeds gereset wordt. Wanneer de fotostraal pulsen achterwege blijven vanwege een onderbreking, dan gaat de counter tellen en worden achtereenvolgende deler uitgangen hoog. Door het kiezen van een counter uitgang voor het aansturen van de pulstrap, kun je instellen hoeveel tijd er fotostraalpulsen moeten ontbreken, voordat de detector een detectiepuls geeft.

Een nuttige bijkomstigheid van deze detector is dat je op een lagere deler uitgang een indicator signaal kunt krijgen dat aangeeft dat kwaliteit van de fotostraal niet optimaal is. (Dit wil zeggen dat de fotostraal regelmatig pulsjes heeft die in het achtergrondlicht verdwijnen, en die de fotostraal detector niet als een pulsje kan reconstrueren). Als regelmatig pulsjes missen, maar onvoldoende aaneen om tot een doorgang te besluiten, dan is het signaal op de lagere deleruitgang bruikbaar om een indicator signaal te geven (geluid of een led), dat de kwaliteit van de fotostraal te wensen overlaat (en een risico inhoud van spookpulsen).

Het nadeel van deze detectie techniek is dat er tijdens een doorgang maar één pulsje vanwege een reflectie of een storing hoeft op te treden, om de teller te resetten, en waardoor een doorgang geen detectiepuls geeft. De ervaring met deze detector is dat een fout van de eerste orde (niet triggeren bij een doorgang) optreedt eens in de 100 tot 200 doorgangen.

Deze fout zou beperkt kunnen worden door bij een doorgang eerst weer x lichtpulsen te vereisen voordat doorgang beëindigd wordt beschouwd

4.5.1. Hardware of Software detectie

Het laatste decennium is een breed scala van processors beschikbaar gekomen waarmee de doorgangsdetectie gerealiseerd kan worden. Alternatief kan de detectie hardwarematig met digitale electronica uitgevoerd worden.

Voordeel van processors is dat je met een software wijziging functionaliteit kunt wijzigen. Een keuze voor hardware kan zijn een lagere energieconsumptie dan een processor, snelheidseisen waar een processor niet aan kan voldoen, eventueel oncontroleerbare latencies van een processor, of andere eisen.

Een vergelijking tussen een hardware oplossing en een processor oplossing:

Hardware detectie

De detectieklok van 138 KHz, geeft een klokcyclus van 7 us. Per klokcyclus doet de hardware detectie:

- check puls van fotostraal
- check tellerwaarde 'slecht signaal'
- check tellerwaarde 'onderbreking'

Stroomverbruik van deze hardware detector is 27 mA bij 6 V

Software detectie

Processors zijn verkrijgbaar met een processor speed van 16 - 84 MHz.

In een testopstelling geeft een Arduino Micro (16MHz) een detectie cyclus van 20 us. (Test programma, met 5 if-statements en twee pin writes. Cyclus met oscilloscope gemeten). Stroomverbruik van deze software detector is 35 mA bij 5 V.

De 20 us detectie cyclus is nog toereikend om het het fotostraal signaal met een pulslengte van 26 us te bemonsteren. Met een snellere processor kan de detectiecyclus verkort worden, maar het stroomgebruik gaat dan ook omhoog.

Conclusie

Aangezien software detectie gezien detectie cyclus en stroomverbruik niet heel verschillend scoort ten opzichte van hardware detectie, is er een voorkeur om de detectie met een processor uit te voeren, omdat dit minder componenten vraagt, en een flexibeler oplossing biedt.

4.6. Identificatie bij doorgang

Bij doorgangsdetectie is het een wens het object van doorgang te kunnen identificeren. Identificatie vindt nu in veel gevallen plaats door een waarnemer die een startnummer leest.

Alternatieven zijn het object van doorgang te voorzien van een rfid chip en die uit te lezen, of van een bluetooth beacon, of van een wifi radio, of van beeldherkenning. Deze identificatiemethoden vragen extra apparatuur en tags op het object van doorgang.

Is er een optie om voor de identificatie alleen het licht van de fotostraal te gebruiken? Kan het object van doorgang, op het moment dat de onderbreking eindigt, en de lichtstraal direct achter het object langs schijnt, het licht modificeren en een identificatiecode meegeven?

Modificatie ideeën:

- golflengte veranderen
- polarisatie veranderen
- puls frequentie veranderen
- pulsbreedte veranderen
- interferentie

Het liefst zou dit een passieve modifier moeten zijn die op de achterkant van het object van doorgang bevestigd is. Een hologram ? Een polarisatie filter?

Optie is ook het object van doorgang tijdens de doorgang vanuit de ontvanger zijde van de fotostraal aan te stralen, en in de reflectie daarvan een identificatiecode te verpakken. Dat zou wellicht met een hologram kunnen. Maar misschien ook met een QR code, al vraagt dat weer beeldherkenning.

Dit lijkt even een te wild idee, temeer als dit een coderingsrange van 1000 te onderscheiden codes zou moeten omvatten.

5. Markt aanbod

De aanbieders van sporttijdmeting bieden allen fotostraal detectie systemen. De systemen zijn in een reflectieve opstelling (15 mtr) of in een through beam (80 mtr) opstelling te plaatsen. Met een through beam opstelling heb je wel twee van deze apparaten nodig (dubbele kosten).

De detectie electronica zit in deze apparaten ingebouwd. Dat vraagt connectors en instelknopjes aan de buitenzijde, waardoor de IP rating minder dan gewenst is. De getoonde systemen zijn niet zeer geschikt voor natte omstandigheden bij kanowedstrijden.

Microgate:



Alge:



Tag Heuer:



De aangeboden fotostraal detectiesystemen hebben een aanzienlijke prijs (> € 1000) en zijn afgestemd op gerelateerde apparatuur als tijd klokken. Dat geeft aankoopbedragen voor tijdmeetsystemen van € 5.000 tot meer dan € 20.000. Dat zijn bedragen die wel op te brengen zijn voor (inter)nationale wedstrijden met omvangrijke budgetten, maar niet voor lokale ('domestic') wedstrijden.

5.1. Kansen voor nieuw te ontwikkelen product

Een nieuw te ontwikkelen product kan zich onderscheiden van het marktaanbod door:

- robustere behuizing (IP67)
- een open interface voor het afgeven van detectiepulsen
- goedkoper (max € 500)
- open voor zelfbouw