

# VERSLAG PROJECT MICROCONTROLLERS

Marieke Louage, Stef Pletinck



UNIVERSITEIT GENT  
CAMPUS KORTRIJK

# Inhoudsopgave

|          |                                      |           |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Doelstellingen</b>                | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Praktische aanpak</b>             | <b>2</b>  |
| 2.1      | Werking display . . . . .            | 2         |
| 2.2      | Aansturing LED's . . . . .           | 2         |
| 2.3      | Timing LED's . . . . .               | 5         |
| 2.4      | Fysieke constructie . . . . .        | 5         |
| 2.5      | Aansturing motor . . . . .           | 5         |
| 2.6      | Toerenteller schijf . . . . .        | 8         |
| 2.7      | Joysticks . . . . .                  | 9         |
| 2.8      | Game engine . . . . .                | 9         |
| <b>3</b> | <b>Openstaande Problemen</b>         | <b>10</b> |
| <b>4</b> | <b>Taakverdeling en Samenwerking</b> | <b>10</b> |
| <b>5</b> | <b>Conclusie en Toekomstig Werk</b>  | <b>10</b> |

## Lijst van figuren

|    |   |   |
|----|---|---|
| 1  | Structuur van het microcontrollerprogramma . . . . .  | 3 |
| 2  | Schema van de draaischijf . . . . .                   | 4 |
| 3  | Schema van een led-pakket . . . . .                   | 4 |
| 4  | Schema van het aansturen van een ledstrip . . . . .   | 4 |
| 5  | Duiding 16 segmenten 13 gaten . . . . .               | 6 |
| 6  | ge-3D-printe sensorhouder . . . . .                   | 6 |
| 7  | Plexi scherm . . . . .                                | 6 |
| 8  | Controlesignaal ESC . . . . .                         | 7 |
| 9  | Spanning naar de motor . . . . .                      | 8 |
| 10 | Sensor gemonteerd aan de rand van de schijf . . . . . | 8 |

## Lijst van onafgewerkte taken

|  |    |
|--|----|
| Meer uitleg over leds . . . . .                                  | 5  |
| Waarom vierkante pixels? . . . . .                               | 5  |
| openstaande problemen uitbreiden . . . . .                       | 10 |
| Alle “voor als we tijd over hebben” dingen oopschrijven. . . . . | 10 |

# 1 Doelstellingen

Doel van deze opgave was het maken van een spel op een microcontroller, specifiek een *AT90USB646* op een *Dwenguino* ontwikkelbord. Verdere doelen van het vak zijn het leren lezen en interpreteren van datasheets en werken met de taal *C*. Er werd besloten om een multiplayer spel te maken, voor meer interactiviteit.

Voor de weergave van het spel werden verschillende mogelijkheden overlopen. Een eerste mogelijkheid was het aansturen van een VGA-display, maar door de hoge klokfrequentie van VGA en de daaraan gelinkte problemen werd dit idee snel verworpen. Een tweede idee was het gebruik van een LED-matrix. De lage resolutie hiervan was echter een groot nadeel, dus werd uiteindelijk gekozen voor een scherm dat gebruik maakt van het principe van een hardeschijfklok. Een snel rond draaiende ledstrip werd ook overwogen, maar dit is praktisch niet haalbaar.

Het spel zelf vindt plaats in een baan rond de aarde, waar twee ruimteschepen elkaar rond de aarde achtervolgen en proberen neer te schieten.

Als invoer van de spelers werd gekozen voor arcade-joysticks. Deze bestaan uit vier microswitches per joystick. Er waren verder nog vele ideeën om het spel verder uit te breiden.

## 2 Praktische aanpak

De nodige functionaliteit werd opgedeeld in logische blokken die met elkaar communiceren en op elkaar vertrouwen voor informatie. De bekomen structuur is zichtbaar in figuur 1. Op deze figuur staat hardware in een ovaal en software in rechthoekjes.

Het motorsysteem staat los van alles, en genereert op basis van interrupts het controlesignaal voor de hardwarematige motordriver, die de hardeschijfmotor aanstuurt.

Een optische sensor genereert interrupts, die worden geïnterpreteerd tot timinginformatie over de draaischijf. Deze worden gebruikt door het *graphics* systeem om de juiste LED's te laten oplichten. Dit systeem wordt constant vanuit eenlus in `main()` opgeroepen, en geeft door welke LED's moeten oplichten aan de *leddriver*, die de feitelijke seriële data genereert en blokkerend doorstuurt naar de LED's.

De gegevens voor het *graphics* systeem worden gegenereerd door de *engine*, die via een interrupt 30 keer per seconde alle objecten in het spel ververst en doorgeeft aan *graphics*. Daarvoor worden gegevens over de joysticks synchroon uitgelezen door het *joysticks* systeem.

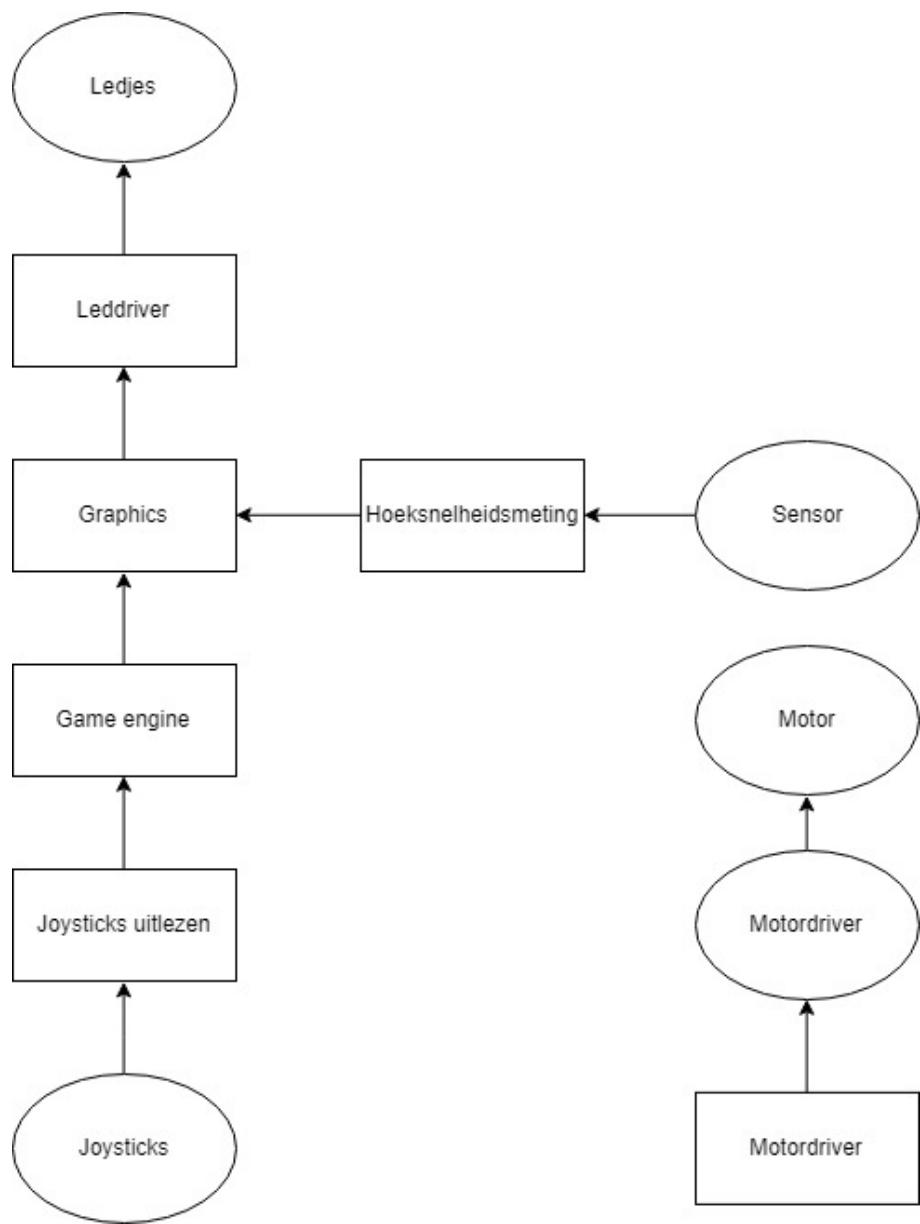
### 2.1 Werking display

Een schijf met gaten draait snel rond over LED's, verspreid in sectoren, zie figuur 2. Door de LED's op de gepaste momenten in en uit te schakelen kan een zeer hoge resolutie bekomen worden rond het middelpunt. In de radiale richting is de resolutie beperkt door het aantal LED's, dit werd oorspronkelijk gekozen op 16 om de aansturing werkbaar te houden. Er bleek dat er, door de dunne wanden tussen sectoren, soms twee "pixels" zich boven dezelfde sector bevonden en *spookpixels* weergaven, dus is het aantal sectoren behouden op 16, maar werd besloten om in de radiale richting naar 13 pixels te gaan.

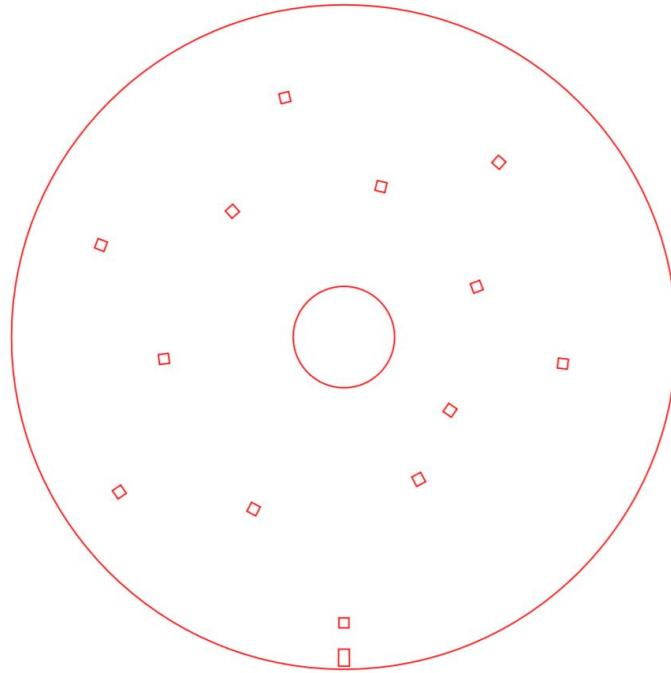
Met deze aanpak is het mogelijk om willekeurig de resolutie te kiezen waarmee de hoek wordt beschreven. Hoe groter deze resolutie, hoe meer pixels. Deze waarde werd gekozen op 1024, dit als een goede balans tussen nauwkeurigheid van het display en haalbaarheid. Hoe hoger deze resolutie, hoe sneller de LED's namelijk ververst moeten worden om te zorgen dat alle objecten weergegeven worden.

### 2.2 Aansturing LED's

De gebruikte LED's zijn ledstrips van het type *APA102*. Deze kunnen vrij eenvoudig via SPI data ontvangen. Elke LED krijgt een pakket bestaande uit 32 bits, zie figuur 3. Deze data moet byte



Figuur 1: Structuur van het microcontrollerprogramma



Figuur 2: Schema van de draaischijf



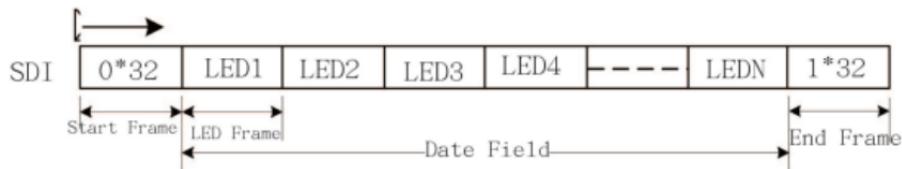
Figuur 3: Schema van een led-pakket

per byte en per bit verzonden worden over één datalijn, met een kloksignaal.

De ledstrip luistert naar nieuwe commando's na een startpakket bestaande uit 32 0-bits. Vervolgens moet, zoals zichtbaar op figuur 4, een pakket per LED verstuurd worden gevolgd door nogmaals 32 bits om te zorgen dat alle data ver genoeg doorgeschoven is. De waarde van deze bits is onbelangrijk, maar 0 is handig om te voorkomen dat er een LED op volle helderheid wit licht geeft wanneer er niet naar elke LED gegevens worden gestuurd.

Er zijn twee mogelijke manieren om meerdere bytes te versturen over SPI, via een blokkerende **while**-lus en via een interrupt. Het is echter ook mogelijk om een interrupt te ontvangen wanneer een byte is verzonden, om vervolgens een volgende byte te verzenden. Op die manier kan CPU-tijd uitgespaard worden, maar dit blijkt zeer lastig foutloos te implementeren. Het spel gebruikt bijgevolg voorlopig nog de *blocking* aanpak.

Het is handig om te weten wat de maximale frequentie is waarmee alle LED's kunnen aangestuurd



Figuur 4: Schema van het aansturen van een ledstrip

worden. Hiervoor is het belangrijk te weten dat de microcontroller een werkfrequentie heeft van 16 MHz en er maximaal 1 bit per 2 klokcycli kan verstuurd worden over SPI. Er zijn 16 LED's, dit geeft een maximale frequentie van 15 625 Hz. In de praktijk zal deze limiet dus waarschijnlijk nooit een probleem leveren.

## 2.3 Timing LED's

De juiste LED's moeten op correcte momenten aan en uit geschakeld worden om op de juiste plaats op de cirkel pixels op te laten lichten, en niet te lang zodat de pixels geen lijnen worden en alle mogelijke hoeken bereikt worden.

Meer uitleg over leds

Het *graphics* systeem wordt daartoe zo snel mogelijk na elkaar opgeroepen in een lus in `main()`. In deze `render()` functie, wordt voor elke *entity* (bv. spelers, kogels, ...) gecontroleerd of deze zich momenteel onder een gaatje in de schijf bevindt, en onder welk gat. Als dit zo is, wordt dit object omgezet in LED-informatie en krijgt de juiste LED deze waarden toegekend. De `Led` struct die daarvoor wordt gebruikt bevat informatie over de algemene helderheid en hoeveelheid blauw, groen en rood.

De controle of een object weergegeven kan worden is niet exact, er zit een lichte marge op de hoek om te voorkomen dat een tijdelijke vertraging in de code objecten laat verdwijnen. Op de straal is er geen zulke marge, aangezien deze slechts een klein aantal vaste waarden kan aannemen. Het *graphics*-systeem heeft de hoek waaronder de schijf staat nodig om deze controle uit te kunnen voeren. Het systeem rekent dit zelf uit, gebaseerd op de tijd die nodig is voor één volledige rotatie van de schijf, en de tijd sinds de schijf laatst het nulpunt is gepasseerd. Deze waarden krijgt het uit de code die informatie verzamelt uit de optische sensor.

## 2.4 Fysieke constructie

Waarom vierkante pixels?

De fysieke constructie is een rechtstaand licht hellend display met voldoende ruimte voor de elektronica en bedrading. De gehele constructie werd ontworpen in het CAD-pakket Siemens NX 11 en voornamelijk uitgesneden op een lasercutter, op een paar uitzonderingen na.

De draaischijf is op de lasercutter gemaakt en bestaat uit 2 mm dikke zwarte ABS. De schijf bevat 13 gaatjes, goed voor een straalresolutie van 13 pixels. De pixels zijn gerangschikt in twee spiralen opdat buren veraf van elkaar zouden liggen. Zo wordt de lichtvervuiling in een aangrenzend segmenten minimaal benadrukt door zover mogelijk verwijderd te zijn van een sprite.

De segmenten zijn met een breekmes op een snijplank gemaakt uit een wit PVC vel. Er zijn 16 segmenten en elk segment heeft één led die gemonteerd is op een wand van de behuizing grenzend aan de cirkel. Het wit plastic zorgt voor een goede diffusie van het licht van de ledjes.

Dat het aantal segmenten en gaten niet gelijk is aan elkaar komt doordat geen twee gaten zich tegelijkertijd in hetzelfde segment mogen bevinden. Waarom bij 16 segmenten voor 13 gaten gekozen is wordt duidelijk gemaakt in figuur 5. De rood aangeduide stukjes staan ter hoogte van het binnenste gaatje en zijn even lang, de oranje lijnen zijn tonen de segmenten.

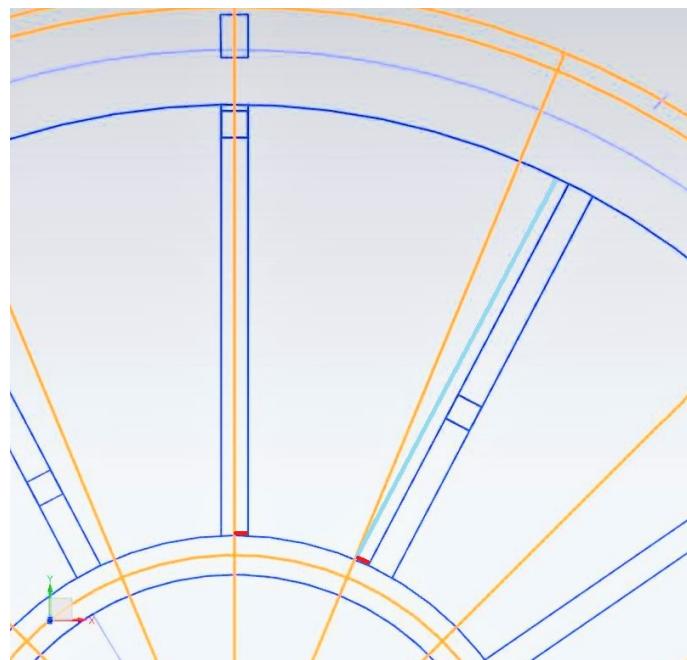
De sensorhouder is een klein ge-3D-print stuk dat de sensor op zijn plaats houdt. Dit is zichtbaar in figuur 6.

De behuizing is gemaakt uit 3mm dik MDF plaatmateriaal en is volledig demonteerbaar. Op de behuizing kan een scherm uit een 3mm dikke plexiplaat geplaatst worden. De plaat is te zien in figuur 7.

## 2.5 Aansturing motor

De schijf draait rond met behulp van een brushless DC-motor uit een harde schijf. Om deze aan te sturen is een speciale ESC-module<sup>1</sup> nodig.

<sup>1</sup>ESC: Electronic Speed Control



Figuur 5: Duiding 16 segmenten 13 gaten



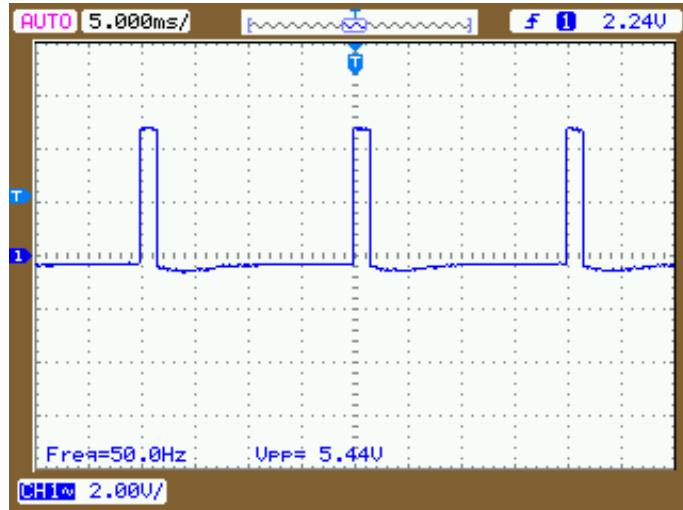
Figuur 6: ge-3D-printe sensorhouder



Figuur 7: Plexi scherm

|           | Klokslagen | Tijd (ms) |
|-----------|------------|-----------|
| Hoge puls | 2000       | 1         |
| Lage puls | 38 000     | 19        |
| Periode   | 40 000     | 20        |

Tabel 1: PWM generatie



Figuur 8: Controlesignaal ESC

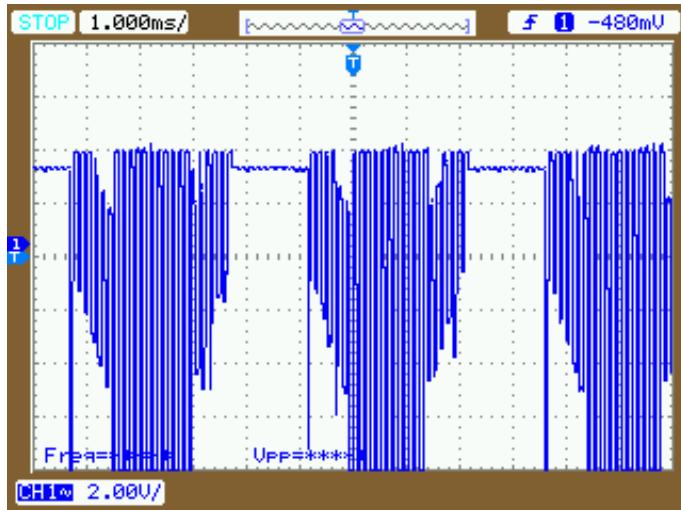
Deze modules zijn ontworpen voor gebruik in quadcopters en verwachten bijgevolg een speciale aansturing. Het nodige signaal is een vorm van PWM, met een frequentie van 50 of 60 Hz en een pulsbreedte tussen 1 en 2 ms. De PWM-modules die ingebouwd zitten in de microcontroller kunnen niet opereren in deze frequenties en pulsbreedtelimieten, het protocol werd dus volledig in software geïmplementeerd. Zie figuur 8 voor een beeld het geproduceerde signaal.

Het PWM signaal wordt op pin D0 naar buiten gebracht. De software implementatie van het PWM signaal is met Timer/Counter3 in Clear Timer on Compare Match (CTC) modus verwezenlijkt. In het register OCR3A wordt een waarde ingesteld, wanneer de **Timer/Counter** deze waarde bereikt wordt de counter op nul gezet en wordt de interrupt **TIMER3\_COMPA\_vect** aangevraagd. Er wordt in de interrupt service routine een nieuwe waarde ingesteld in **OCR3A** en de output bit op pin D0 wordt geflipped. Deze counter werd gekozen vanwege zijn 16-bits resolutie.

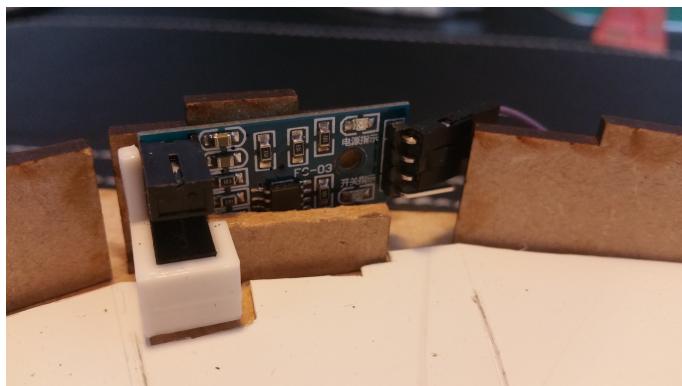
Om nul procent vermogen aan te sturen moet het signaal 1ms hoog zijn, om het maximale vermogen aan te sturen moet het signaal 2 ms hoog zijn. De Timer/Counter3 heeft een frequentie van 2 MHz, dat is de I/O klok van 16 MHz verschaald met prescaler 8. Een cijfervoorbeeld van het PWM signaal dat overeenkomt met 0 % motorvermogen is in tabel 1 zichtbaar.

Een extra moeilijkheid is de opstartprocedure van de ESC. De microcontroller moet opgestart zijn en een signaal sturen dat overeen komt met 0 % motorvermogen wanneer de ESC stroom krijgt en wordt ingeschakeld. De ESC produceert dan een serie tonen, gevolgd door een langere toon wanneer het signaal herkend wordt. Daarna kan de motor aangestuurd worden en het vermogen verhoogd, liefst langzaam gezien het hoge gewicht van de draaischijf. Uiteindelijk zal de ESC een driefasig signaal naar de motor sturen, zoals zichtbaar in figuur 9.

Deze procedure maakt het moeilijk om microcontroller en ESC op één voeding te laten werken. Door de grote stroom is het ook lastig om bijvoorbeeld de ESC te schakelen met een transistor. Voorlopig moet de ESC manueel in de stekker gestoken worden. De driver wacht daartoe even met het opstarten van de motor, aangezien de stekker pas mag ingeplugged worden wanneer het stuursignaal reeds aanwezig is.



Figuur 9: Spanning naar de motor



Figuur 10: Sensor gemonteerd aan de rand van de schijf

## 2.6 Toerenteller schijf

De hoeksnelheidsmeting component uit figuur 1 levert de hoeksnelheid en een ijkpunt van de draaibeweging van de schijf. Als input krijgt de component een puls van een stationaire optische sensor die gemonteerd is langs de rand van de schijf. In de schijf zit een gaatje waardoor de optische sensor getriggerd wordt als dit gaatje doorheen de sensor passeert. (Figuur 10)

De praktische realisatie berust op de Input Capture unit van Timer/Counter1. Dit vereist de alternate function van poort PD4, namelijk ICP1 of Timer/Counter1 Input Capture Trigger. Als een dalende of stijgende flank (dit is vrij te kiezen) geregistreerd wordt op pin ICP1 dan wordt de huidige waarde van Timer/Counter1 zo snel mogelijk gekopieerd in een register genaamd ICR1, waarna dat op zijn beurt kan bevraagd worden door de microcontroller. Doordat een noise-cancelling optie aanstaat duurt het kopiëren vier systeemklok pulsen langer, wat geen probleem levert voor de accuraatheid.

De frequentie waarop Timer/Counter1 telt is 250 kHz. Dit is de I/O klok van 16 MHz verschaald met prescaler 64.

De Input Capture unit heeft de mogelijkheid tot het genereren van een interrupt. Indien ingesteld, wordt zodra de waarde in ICR1 gekopieerd is, de interrupt aangevraagd. In de interrupt routine wordt eerst de opgevangen waarde gekopieerd en vervolgens wordt met de waarde de tijd die verstrekken is sinds de vorige interrupt bepaald. De eenheid van deze waarde is nog arbitrair om de hoge resolutie te bewaren, het is een verschaalde versie van het aantal increments.

| Tijd per increment ( $\mu$ s) | Aantal increments | Hoeksnelheid (toeren/s) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 4                             | 12 870            | 19.425 02               |

Tabel 2: Meting en berekening toerental

De Timer/Counter1 overflow interrupt wordt getriggerd wanneer de maximale waarde bereikt is en de telwaarde op nul wordt gezet. Elke keer dat de overflow vector getriggerd wordt moet het aantal increments met 216 verhoogd worden.

In tabel 2 is een meting van het aantal increments te zien. Voor een hoeksnelheid van 19 toeren per seconde is het aantal increments 12870. Elke 65 536 increments vind een overflow plaats. De verhoudingen tussen kloksnelheid en schijfsnelheid zijn dus goed gedimensioneerd.

## 2.7 Joysticks

De beide joysticks zijn relatief eenvoudig om uit te lezen. Ze bestaan telkens uit vier NO schakelaars, één per richting. Aangezien elke joystick op een aparte *port* van de microcontroller aangesloten is, kan met een simpele NOT operatie en enkele bitshifts een consistente weergave gegenereerd worden, met 1 bit per richting die hoog is wanneer de schakelaar actief is. Hiertoe moeten ook de pullups geactiveerd worden. De driver voor de joysticks controleert ook welke schakelaars sinds de laatste tick actief zijn geworden, en slaat deze apart op.

Enkele gemaksfuncties werden toegevoegd om uit deze bitweergave te bepalen of een gekozen richting actief is.

## 2.8 Game engine

Intern wordt alles dat moet weergegeven worden, voorgesteld door een *entity*, dit zijn bijvoorbeeld kogels en spelers. Een *entity* bevat telkens informatie over de positie, in poolcoördinaten, en LED-informatie. De meeste *entities* bevatten ook extra informatie die intern nodig is, zoals de levenskracht van een speler.

De game engine werkt op een relatief eenvoudig principe. Op regelmatige basis wordt de functie `uint8_t tick(uint16_t time_since_zero)` opgeroepen, deze voert enkele stappen uit:

1. *Tick alle entities*, entiteiten hebben een `tick()` functie, bijvoorbeeld `player_tick(Player *p)`, die ervoor zorgt dat de entity zich verplaatst volgens zijn snelheid en eventueel reageert op invoer.
2. *Controleer voor botsingen*, in deze stap wordt getest of er kogels een schip geraakt hebben, en eventueel levens van deze speler worden afgenomen.
3. *Check voor het einde van het spel* door te controleren of beide spelers nog in leven zijn. Dit bepaalt de returnwaarde van deze functie, `true` wanneer het spel moet verder gaan, anders `false`.

Deze functie wordt aan 30 Hz opgeroepen, met behulp van Timer/Counter0 in *CTC* mode. De counter geeft dan een interrupt telkens een ingestelde waarde wordt bereikt en begint vervolgens weer vanaf nul te tellen. Voorlopig telt de counter tot 255, indien mogelijk kan dit later verlaagd worden om het spel sneller te maken. De 8-bits resolutie is meer dan genoeg om een vrij groot bereik van mogelijke frequenties te bereiken met de prescaler op de maximale waarde van 1024.

Alle kogels die op een moment in het spel zijn, worden weergegeven in een array met vaste grootte, momenteel is dit de willekeurig gekozen waarde 20. Wanneer er dus al 20 kogels in het spel zijn en een speler probeert te schieten, zal de oudste kogel verwijderd worden, en vervangen door een nieuwe. Om te voorkomen dat kogels te lang blijven rondvliegen, hebben ze een maximale levensduur, wanneer deze op nul komt, verdwijnt de kogel. Uiteindelijk willen we kogels langzaam laten donkerder worden wanneer ze deze limiet bereiken. Ze zakken apart daarvan langzaamaan naar beneden.

| Parameter                       | Waarde                         |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Ingangsspanning Microcontroller | 5 V                            |
| Ingangsspanning ESC             | 12 V                           |
| Aantal spelers                  | 2                              |
| Bediening                       | 2 Joysticks, 4 schakelaars elk |
| Minimale updatefrequentie       | 24 Hz                          |
| Weergave                        | 15 LED's                       |
| Radiale resolutie               | 13                             |
| Omtrekresolutie                 | 1024                           |

Tabel 3: Specificaties

### 3 Openstaande Problemen

Er is nog wat werk aan de fysieke constructie van de schijf en we twijfelen nog over het aantal sectoren. Een groot deel van de code, zoals de *game engine* en de driver voor LED-timing, is dus nog niet getest. Dit testen en debuggen zal waarschijnlijk nog vrij veel tijd innemen. Verder zijn er nog enkele verbeteringen te maken in de *game engine*, zo wordt er nog geen melding gegeven wanneer een speler sterft en kan het spel niet herstart worden zonder de microcontroller te resetten. Het spel begint ook van zodra de controller opstart, in plaats van wanneer de spelers klaar zijn. Dit is geen wenselijke werking.

openstaande  
problemen  
uitbreiden

### 4 Takkverdeling en Samenwerking

De motordriver werd geschreven door Marieke. Zij schreef ook de code die voor de juiste timing zorgt en de optische sensor uitleest en ontwierp en bouwde de behuizingen.

De game engine en aansturing van LED's werd gedaan door Stef, net zoals uitlezen van joysticks en debugfunctionaliteit.

De structuur en layout van het verslag is door Stef, de inhoud werd verdeeld naar specialiteit.

Onze samenwerking gebeurt via Git en GitHub<sup>2</sup>. Taken worden verdeeld via *issues* op GitHub. Iedereen werkt aan een apart deel van de code of de hardware, die regelmatig samen worden gezet.

### 5 Conclusie en Toekomstig Werk

Voor de specificatie van het project, zie tabel 3. Dit project is bijzonder ambitieus, zeker voor een team bestaande uit twee personen.

Alle “voor als we tijd over hebben” dingen op-schrijven.

<sup>2</sup>[https://github.com/Epse/MCU\\_Project\\_PlanetFight](https://github.com/Epse/MCU_Project_PlanetFight)