

GRAP: Modernisering robot

Studie 2



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Upgrade van de robot	4
2.1	ADD-ON	4
2.1.1	Keuzes microcontroller	4
2.1.1.1	Power (ESP32)	6
2.1.1.2	Databussen	6
2.1.1.3	ADC (Analog to Digital Converter)	7
2.1.1.4	GPIO (General Purpose Input Output)	8
2.1.2	Extra mogelijkheden voor localisatiebepaling.	10
2.1.2.1	Localisatiebepaling met behulp van extra sensoren	10
2.1.2.2	Localisatiebepaling met wifi	11
2.1.2.3	Localisatiebepaling met gps	11
2.2	Lijnsensoren	11
2.2.1	Kleurherkenning mogelijk maken	11
2.2.2	I ² C multiplexen	12
2.3	Hoofd	12
2.3.1	LED's	12
2.3.2	Lichtsenor	13
2.4	Camera	13
2.5	Hoofdbord	14
2.5.1	Power	14
2.5.2	Muziekkaart	14
2.5.2.1	Voordelen van I ² S voor een muziekkaart	14
2.5.2.2	Integratie met ESP32	15
2.5.2.3	Besluit	15
2.5.3	LED'S	15
2.5.3.1	Verwijderen of vervangen van huidige debug LED's	15
2.5.3.2	Uitbreiden van indicator LED's	16
2.5.3.3	Waarom LED's aanpassen?	16
3	Probleemoplossing	17
3.1	USB UART-brug	17
3.2	Gebruik maken van native USB	17
3.3	Kapotte batterij	17
3.4	Overleaf (LaTeX)	17
4	Besluit	18
5	Bibliografie	19

1 INLEIDING

In de afgelopen decennia heeft de technologie een enorme vooruitgang geboekt, waarbij robots steeds slimmer, sneller en veelzijdiger zijn geworden. Veel oude robotmodellen die ooit baanbrekend waren, zijn inmiddels verouderd en niet meer in staat om te voldoen aan de eisen van moderne toepassingen.

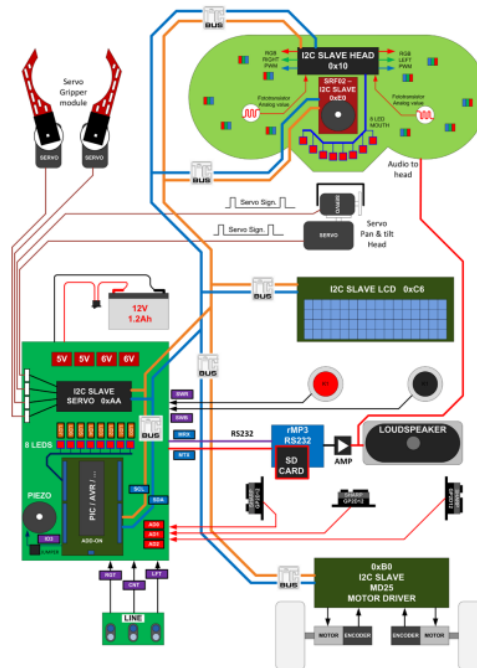
Het moderniseren van een oude robot kan echter een interessante uitdaging bieden: het combineren van klassieke robottechnologie met de nieuwste innovaties.

In deze graadproef zal ik onderzoeken hoe een verouderde robot, zoals de Elektor Proton Robot, kan worden geüpdatet met hedendaagse technologieën, zoals geavanceerde sensoren, nieuwe besturingssystemen en verbeterde software. Door deze modernisering kan de robot zijn functionaliteit, efficiëntie en prestaties aanzienlijk verbeteren.

In studie 1 ben ik de bestaande onderdelen, mogelijkheden en de werking van de robot nagegaan. In deze studie 2 bekijk ik de opties om te moderniseren.

2 UPGRADE VAN DE ROBOT

In dit hoofdstuk gaan we na wat de mogelijkheden zijn om de robot te verbeteren of te moderniseren. Dit doen we door ieder bord afzonderlijk te bekijken. Sommige borden doen alles goed, zoals de motoren, LCD-scherm. De servodriver werkt ook goed en wordt ook niet bekeken. Andere zoals de ADD-On, lijnsensoren, hoofdbord-muziekkaart bekijken we afzonderlijk.



figuur: blokschema Elektor Proton Robot

2.1 ADD-ON

Hier gaan we dieper in op de onderdelen van de ADD-On kaart en welke verbeteringen, modernisering en toevoegingen er mogelijk zijn. Hiermee zorgen we voor een betere connectiviteit en maken we de robot toegankelijker voor toekomstige toepassingen.

2.1.1 KEUZES MICROCONTROLLER

De microcontroller in de Elektor Proton Robot (en in veel andere robots) is het "brein" van de robot. Het regelt het besturen van de robot en verwerkt de gegevens van de sensoren. De microcontroller is een kleine computer die taken uitvoert in elektronische systemen. Het bestaat uit een processor, geheugen en invoer-/uitvoerapparaten om met de buitenwereld te communiceren.

Bij het moderniseren van de robot speelt de microcontroller een belangrijke rol. Hij bestuurt de oude hardware en maakt nieuwe functies mogelijk. Dankzij moderne microcontrollers kunnen zelfs eenvoudige robots slimmer en efficiënter worden door gebruik te maken van sensoren, motoren en communicatietechnologieën voor geavanceerdere toepassingen.

Bord	Voltage	IO pins	ADC		DAC	PWM	UART	I ² C	I ² S	SPI	Wifi	Bluetooth	Thread /zigbee
			Pins	Resolutie									
Arduino Giga	5V	76	12	10	2	12	4	3		2			
Arduino Mega	5V	54	16	10		15	4	1		1			
Arduino Uno	5V	14	6	10		6	1	1		1			
ESP32 C3	3.3V	15	6	12			2	1	1	3	150Mbps	v5.0	
ESP32 C5	3.3V	22	6	12			3	2	1	1	150Mbps	v5.0	ja
ESP32 C6	3.3V	23	7	12			2+1	1+1		1	150Mbps	v5.3	ja
ESP32 C61	3.3V	18	4	12			3	1	1	1	150Mbps	v5.0	
ESP32 H2	3.3V	19	5	12			2	2	1	3		v5.3	ja
ESP32 mini1	3.3V	28	18	12			3	2	2	4	150Mbps	v4.2	
ESP32 pico mini	3.3V	27	18	12			3	2	2	4	150Mbps	v4.2	
ESP32 pico v3	3.3V	0	18	12			3	2	2	4	150Mbps	v4.2	
ESP32 S2	3.3V	37	20	12			2	2	1	4	150Mbps		
ESP32 S3	3.3V	36	20	12			3	2	2	4	150Mbps	v5.0	
ESP32 WROOM 32E	3.3V	26	18	12			3	2	2	4	150Mbps	v4.2	
ESP32 WROVER E	3.3V	24	18	12			3	2	2	4	150Mbps	v4.2	
ESP8684 MINI 1	3.3V	14	6	12			2	1		3	72Mbps	v5.3	
ESP8684 WROOM	3.3V	15	6	12			2	1	1	3	150Mbps	v5.0	
Attiny	5V	4-28	0-28	10			0-1	0-1		0-1			

Tabel: vergelijking opties microcontrollers die met ArduinoIDE werken

Uit de tabel blijkt dat de ESP's handig zijn, want ze hebben allemaal (behalve H2) wifi waardoor we kunnen communiceren en updaten via ArduinoOTA en IOT-Cloud.

Voor mijn project heb ik als microcontroller gekozen voor de ESP32-C6, aangezien deze microcontroller de meeste functionaliteiten biedt.

De ESP32-C5 en de ESP32-C6 hebben betere wifi (wifi 6), in vergelijking met de ESP32-S3 die maar wifi 4 heeft.

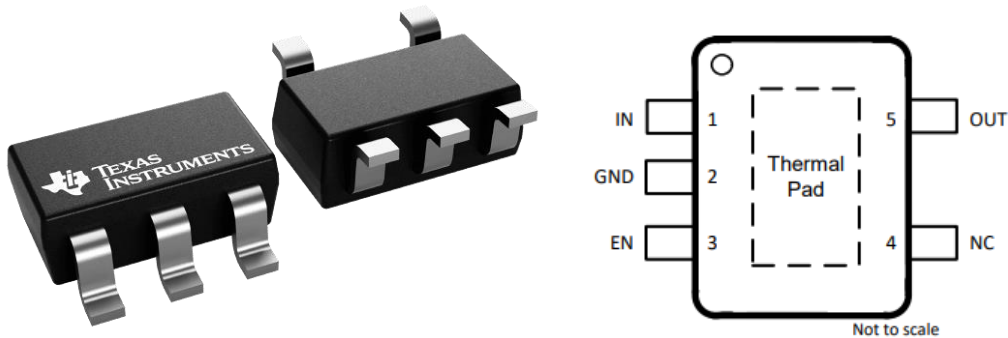
Een nadeel van de ESP32-C6 is echter dat deze minder extra I/O-pinnen heeft in vergelijking met de ESP32-S3 en de afwezigheid van ondersteuning voor I²S en CAN (TWAI), welke wel aanwezig zijn in de ESP32-C5 en ESP32-S3.

De rekenkracht van de ESP32-C6 is minder dan die van de ESP32-S3 want niet erg is behalve als we beeldherkenning en AI willen gebruiken.

Helaas is de ESP32-C5 niet in productie gegaan, wat de keuze voor de ESP32-C6 noodzakelijk maakte. Een ander belangrijk aspect is dat de ESP32-C6, net als andere modellen uit de ESP32-serie, werkt op 3.3V in plaats van de gebruikelijke 5V die veel andere microcontrollers ondersteunen. Dit vormt een extra uitdaging, aangezien de robot waarvoor deze controller bedoeld is, oorspronkelijk was ontworpen voor 5V. Dit zorgt voor een aanpassing van zowel de power, databussen, analoge en digitale signalen.

2.1.1.1 Power (ESP32)

Zoals in punt 2.1.1 aangehaald, heeft de ESP32-C6 dus een 3.3V voeding nodig. Ik heb gekozen voor TLV75733PDBVR. Deze is heel goedkoop (€0,275 per stuk) en kan ook max 1A aan. Dit is meer dan genoeg voor de ESP32 en mogelijks extra.



2.1.1.2 Databussen

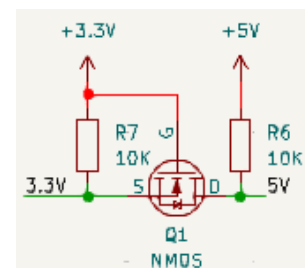
2.1.1.2.1 Voltageomvormer voor I²C

Voor het correct functioneren van een I²C-communicatie tussen componenten met verschillende spanningsniveaus, is het noodzakelijk om een bidirectionele voltageomvormer te gebruiken. Deze omvormer zorgt ervoor dat de signalen tussen apparaten met verschillende spanningslogica (bijvoorbeeld 5V en 3,3V) probleemloos kunnen worden uitgewisseld.

Een bidirectionele voltageomvormer is relatief eenvoudig te realiseren. Voor elke datalijn zijn slechts twee weerstanden en een MOSFET nodig. Aangezien het I²C-protocol doorgaans gebruikmaakt van twee datalijnen, namelijk SCL (kloklijn) en SDA (datalijn), zijn er voor een volledige implementatie in totaal vier weerstanden en twee MOSFET's vereist. Sommige implementaties maken gebruik van een extra lijn, zoals een INT-lijn (interrupt), maar in dit project wordt deze niet gebruikt.

Hieronder leg ik kort de werking van een bidirectionele voltageomvormer uit:

- De MOSFET fungeert als een schakelaar en zorgt ervoor dat signalen veilig kunnen worden overgebracht tussen de spanningsniveaus.
- De weerstanden stellen de juiste pull-up-waarden in, die essentieel zijn voor de werking van de I²C-bus.



Dit type schakeling is dus niet alleen kosteneffectief, maar ook praktisch en betrouwbaar voor het waarborgen van de compatibiliteit tussen apparaten met verschillende spanningslogica.

2.1.1.2.2 UART-verbinding voor de muziekkkaart

De robot beschikt ook over een UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) verbinding, die wordt gebruikt om te communiceren met de muziekkkaart. Een UART-verbinding maakt gebruik van twee datalijnen:

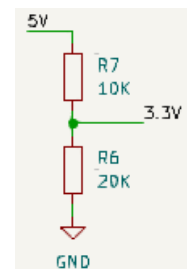
- TX (transmit): om data te verzenden.
- RX (receive): om data te ontvangen.

Bij deze toepassing is het belangrijk om rekening te houden met de verschillende spanningsniveaus van de aangesloten componenten, namelijk 5V en 3,3V.

Hieronder leg ik de uni-directionele spanningsaanpassing voor de UART-datalijnen uit:

1. Datalijn RX van 5V naar 3,3V:

Voor deze lijn is een eenvoudige spanningsdeler voldoende. Dit wordt gerealiseerd met twee weerstanden, waarbij één weerstand ongeveer het dubbele is van de andere. Door deze verhouding wordt de spanning op de lijn verlaagd naar een veilig niveau van 3,3V, zodat de muziekkkaart correct kan functioneren zonder schade te veroorzaken.



2. Datalijn TX van 3,3V naar 5V:

In theorie kan deze datalijn zonder enige spanningsomvorming worden gebruikt. De meeste 5V-componenten interpreteren een 3,3V-sigitaal correct als "hoog" (logische 1). Toch is het aan te raden om hier dezelfde spanningsomvormer te gebruiken als voor de I²C-datalijnen (want de uni directionele variant is complexer). Dit verhoogt de betrouwbaarheid van de verbinding en voorkomt mogelijke problemen bij compatibiliteit.

Door consequent dezelfde bidirectionele spanningsomvormer te gebruiken, zoals die bij de I²C-datalijnen, worden alle verbindingen uniform en betrouwbaar uitgevoerd. Dit draagt bij aan de stabiliteit en functionaliteit van het systeem.

2.1.1.3 ADC (Analog to Digital Converter)

Bij het verwerken van analoge signalen zijn er twee belangrijke methoden om spanningsomzetting en signaalverwerking te realiseren. Beide methoden hebben hun voor- en nadelen, afhankelijk van de toepassing en de gewenste precisie.

2.1.1.3.1 Spanningsverdeler

Een spanningsverdeler is een eenvoudige en goedkope oplossing voor het omzetten van hogere spanningen (bijvoorbeeld 5V) naar lagere spanningen (bijvoorbeeld 3,3V). Dit wordt gerealiseerd met behulp van twee weerstanden.

Voordelen:

- Eenvoudig te implementeren en kosteneffectief.
- Geschikt voor situaties waarin hoge nauwkeurigheid niet essentieel is.

Nadelen:

- Kleine vervormingen in het analoge signaal: door de eigenschappen van de spanningsverdeler kunnen er kleine afwijkingen in het signaal optreden, wat kan leiden tot onnauwkeurige metingen.
- Herkalibratie nodig: omdat de vervormingen variabel kunnen zijn, is het regelmatig nodig om de sensoren opnieuw te kalibreren.

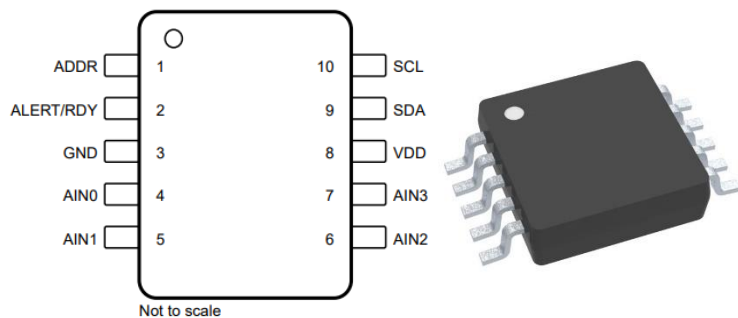
Deze methode is de aanpak die wordt gebruikt voor de 5V naar 3.3V, maar in het geval van analoge signalen is de betrouwbaarheid lager door de gevoeligheid voor ruis en vervorming.

2.1.1.3.2 Externe ADC

Een betere oplossing voor het verwerken van analoge signalen is het gebruik van een externe ADC (Analog-to-Digital Converter). Dit is een specifiek apparaat dat analoge signalen omzet naar digitale waarden met hoge precisie.

Voor dit project heb ik gekozen voor de ADS1115-Q1, een externe ADC met de volgende eigenschappen:

- 4 kanalen: hierdoor kunnen meerdere analoge signalen tegelijkertijd worden verwerkt.
- 16-bit resolutie: dit biedt een veel hogere precisie dan de ingebouwde ADC van de ESP32-C6, die slechts 12-bit is.
- Compatibiliteit met 5V: in tegenstelling tot de ADC van de ESP32-C6, kan de ADS1115 direct omgaan met analoge signalen van 5V zonder dat een spanningsverdeler nodig is.
- Betrouwbaarheid: externe ADC's zoals de ADS1115 zijn minder gevoelig voor ruis en vervormingen, waardoor de meetresultaten consistent zijn.
- Eenvoudige integratie: de ADS1115 communiceert via het I²C-protocol, waardoor het gemakkelijk te verbinden is met microcontrollers zoals de ESP32-C6.



2.1.1.4 GPIO (General Purpose Input Output)

Vanwege het lagere voltage van de ESP32-C6 (3,3V) is het raadzaam om een externe module te gebruiken die compatibel is met hogere spanningen, zoals 5V. Dit voorkomt compatibiliteitsproblemen en zorgt voor een betere signaalintegriteit. Voor dit project is gekozen voor de PI4IOE5V6416, een krachtige I/O-uitbreidingsmodule.

De PI4IOE5V6416 biedt een scala aan functionaliteiten die ideaal zijn voor dit project. Hieronder volgen de belangrijkste eigenschappen:

2.1.1.4.1 16 bestuurbare pinnen

De module biedt 16 GPIO-pinnen (General Purpose Input/Output) die afzonderlijk kunnen worden aangestuurd. Dit maakt het mogelijk om meerdere componenten en apparaten aan te sluiten, zoals sensoren, LED's of andere externe modules.

2.1.1.4.2 Ondersteuning voor Pull-Up/Pull-Down weerstanden

De module heeft ingebouwde ondersteuning voor pull-up en pull-down weerstanden. Dit betekent dat de gebruiker de toestand van de pinnen nauwkeurig kan instellen:

- Pull-up: zorgt ervoor dat een pin standaard naar een hoge spanning (bijvoorbeeld 5V) wordt getrokken.
- Pull-down: zorgt ervoor dat een pin standaard naar een lage spanning (bijvoorbeeld 0V) wordt getrokken.

Dit maakt het gemakkelijker om stabiele digitale signalen te verkrijgen zonder extra externe weerstanden toe te voegen.

2.1.1.4.3 Ondersteuning voor interrupts

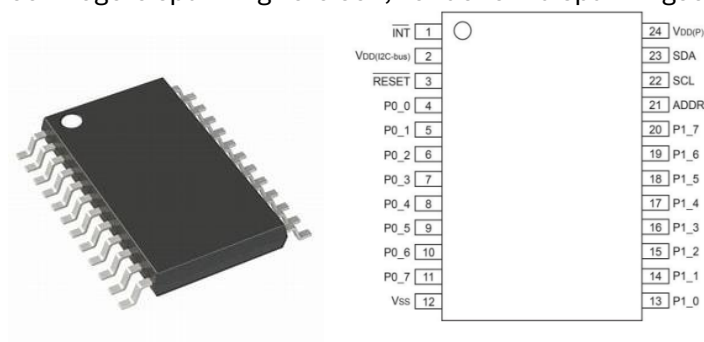
De PI4IOE5V6416 biedt de mogelijkheid om interrupts uit te sturen. Dit betekent dat de module een signaal naar de ESP32-C6 kan sturen wanneer een specifieke gebeurtenis plaatsvindt, zoals:

- Een verandering in de toestand van een pin (bijvoorbeeld een drukknop die wordt ingedrukt).
- Een signaal dat wordt ontvangen van een aangesloten apparaat.

Interrupts zijn belangrijk omdat ze de microcontroller in staat stellen om efficiënt te reageren op gebeurtenissen zonder constant elke pin te hoeven controleren (polling). Dit bespaart rekenkracht en verbetert de prestaties.

2.1.1.4.4 Compatibiliteit met 5V

Een van de belangrijkste voordelen van de PI4IOE5V6416 is de compatibiliteit met een werkspanning van 5V. Hierdoor kan de module rechtstreeks worden gebruikt in systemen die een hogere spanning vereisen, zonder extra spanningsomzetting of aanpassingen.



2.1.2 EXTRA MOGELIJKHEDEN VOOR LOCALISATIEBEPALING.

In dit onderdeel onderzoek ik de mogelijkheid om de plaats van de robot te bepalen. We bekijken eerst hoe we de localisatie bepalen t.o.v. een startpunt met behulp van extra sensoren. Daarnaast bekijken we wat er mogelijk is met Wifi en GPS modules.

2.1.2.1 Localisatiebepaling met behulp van extra sensoren

2.1.2.1.1 Alles in één sensor

In eerste instantie onderzocht ik de BNO085. Dit is een sensor voor locatiebepaling, die een breed scala aan functies biedt, maar ook een relatief hoge prijs heeft (€10,99 voor één exemplaar, of €10,49 per stuk bij aankoop van 10 stuks). De BNO085 sensor beschikt over de volgende belangrijke componenten:

- Een 3-assige accelerometer
- Een 3-assig gyroscoop
- Een 3-assige magnetometer

2.1.2.1.2 Alternatief

Gezien de relatief hoge prijs zocht ik naar alternatieven voor de BNO085 die samen minstens hetzelfde kunnen voor een lagere prijs.

- De MC3479 is een 3-assige accelerometer. Dit is een interessante keuze, met een prijs van €0,903 per stuk (€0,735 per stuk bij een aankoop van 10 stuks). Deze sensor heeft een resolutie van 16 bit en biedt verschillende maximale g-instellingen (± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 12 , ± 16) [m/s^2].
- De ICM-42670 is een 3-assige accelerometer, 3-assig gyroscoop. Voor €2,77 per stuk (€2,30 per stuk bij een aankoop van 10 stuks). De ICM-42670 biedt een resolutie van 16 bit voor zowel de accelerometer als de gyroscoop. De accelerometer ondersteunt verschillende maximale g's (± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 16) [m/s^2], terwijl de gyroscoop een resolutie van 16 bit heeft en verschillende dps (graden per seconde) instellingen biedt (± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000) [$^\circ/s$].
- De MLC90395 is een 3-assige magnetometer. Met zijn I²C-ondersteuning en een prijs van €2,93 per stuk kan ook deze een interessante keuze zijn. De MLX90395 beschikt over een 16-bit magnetometer met een maximum van 130 mT in de Z-as en 55 mT (medium field variant) of 120 mT (high field variant) in het XY-vlak. Bovendien heeft de sensor een 16-bit voltmeter en een 14-bit thermometer, wat een extra functionaliteit biedt.

2.1.2.1.3 Besluit sensoren localisatiebepaling

Ik heb gekozen voor de ICM-42670 en de MLX90395, aangezien deze sensoren meer functionaliteiten bieden dan de BNO085, tegen een lagere prijs. De ICM-42670 biedt zowel een accelerometer als een gyroscoop met een resolutie van 16 bit en meerdere g- en dps-instellingen, wat meer flexibiliteit biedt voor verschillende toepassingen. De MLX90395 voegt een 3-assige magnetometer toe met een hoge resolutie van 16 bit, samen met een voltmeter en thermometer. Dit maakt de combinatie van deze twee sensoren een voordelige keuze, aangezien ze meer functionaliteiten leveren en aanzienlijk goedkoper zijn dan de BNO085.

2.1.2.2 Localisatiebepaling met wifi

De localisatiebepaling met behulp van Wifi is een mogelijkheid aangezien de ESP32 Wifi heeft. Dit kan in combinatie met de deep sleep functie van de ESP32 een interessante toevoeging zijn om de robot na een langere inactieve periode terug te vinden. Echter zijn hiervoor extra access points nodig. Gezien de onnauwkeurigheid en de nood om een netwerk op te stellen wordt dit niet verder bekeken. Indien dit in de toekomst toch nodig blijkt, kan dit makkelijk worden geïmplementeerd doordat de ESP32 wifi heeft.

2.1.2.3 Localisatiebepaling met gps

Hiervoor moet er een extra gps module toegevoegd worden. De nauwkeurigheid is ook wel niet groot en de signalen worden makkelijk verstoord door gebouwen. Om deze redenen wordt dit niet verder bekeken.

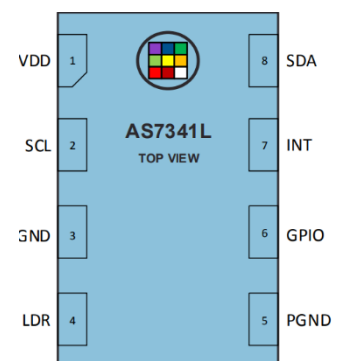
2.2 Lijnsensoren

Momenteel heeft de lijnsensor een monocolor kleurherkenning. Hij kan enkel zwart en wit onderscheiden. Dit wil ik verbeteren door meerder kleuren te laten herkennen. Ook wil ik dan meerdere sensoren toevoegen waardoor complexere algoritmes mogelijk zijn.

2.2.1 KLEURHERKENNING MOGELIJK MAKEN

Een andere mogelijke verbetering zou het vervangen van de lijnsensoren zijn door sensoren die meerdere kleuren kunnen onderscheiden. Dit zou de robot in staat stellen om complexere taken uit te voeren, zoals het volgen van een groene lijn gevolgd door een rode lijn.

Omdat er geen multicolor 5V lichtsensoren beschikbaar zijn, zijn voltageomvormers noodzakelijk. De AS734L lijkt de beste keuze voor dit doel, aangezien deze sensor een breed spectrum van licht kan meten, variërend van 405 nm (bijna onzichtbaar blauw) tot 855 nm (infrarood). Bovendien heeft de AS734L een werkspanning van slechts 1.8V, wat iets minder handig is, maar de voltageomvormers voor zowel de I²C-communicatie als de stroomvoorziening kunnen eenvoudig worden gedeeld door dezelfde reeks, namelijk de TLV75718PDYDR.



2.2.2 I²C MULTIPLEXEN

Een belangrijk nadeel van bovenstaande is dat het vaak wenselijk is voor lijnsensoren om meerdere sensoren te gebruiken om een breder bereik te krijgen. De AS734L heeft echter slechts één sensor, wat betekent dat we multiplexing nodig hebben. Er zijn twee mogelijke opties voor I²C-multiplexers: de TCA9544 en de TCA9548. Het belangrijkste verschil is dat de TCA9544 vier I²C-lijnen kan splitsen, terwijl de TCA9548 acht I²C-lijnen kan splitsen. De TCA9544 ondersteunt bovendien de mogelijkheid om interruptus door te sturen, wat voor mijn toepassing minder relevant is (indrupt bij TLV75718PDYDR is niet handig). Daarom heb ik besloten de TCA9548 te gebruiken, aangezien deze acht I²C-lijnen kan splitsen.

Het voordeel van beide I²C-multiplexers is dat maximaal acht sensoren kunnen worden aangesloten door gebruik te maken van de adres bits A0, A1 en A2. Dit maakt de opstelling flexibel en uitbreidbaar voor meerdere kleursensoren, wat de robuustheid van de robot aanzienlijk vergroot.

Als er nog tijd over is, zal ik de lijnsensoren verder uitwerken. Deze vernieuwing is leuk en heel handig, maar lijkt minder cruciaal.

2.3 Hoofd

Ook het hoofd van Proton robot kunnen we verbeteren met nieuwere componenten. Hieronder vind je alvast een opsomming van enkele ideeën.

2.3.1 LED'S

Ik overweeg om de huidige LED's in het hoofd van de robot te vervangen door adresseerbare LED's. Deze LED's hebben als groot voordeel dat ze individueel kunnen worden aangepast met slechts één enkele pin, in plaats van de drie PWM-pinnen per kleurgroep of één pin per LED-groep, waarbij elke groep altijd dezelfde staat heeft. Dit vereenvoudigt de hardware en biedt meer flexibiliteit in de bediening van de verlichting.

De meest voorkomende adresseerbare LED is de WS2812B, hoewel sommige vergelijkbare producten zelfs zeggen: "soortgelijk aan WS2812B". Deze LED's maken het mogelijk om elke LED in het hoofd afzonderlijk te besturen, wat verschillende visuele effecten en patronen mogelijk maakt. Dit kan bijvoorbeeld handig zijn voor het weergeven van statusindicatoren of om visuele feedback te geven in reactie op de omgeving of acties van de robot.

Door gebruik te maken van WS2812B LED's kunnen we de visuele presentatie van de robot aanzienlijk verbeteren, terwijl we tegelijkertijd de benodigde pinnen op de microcontroller verminderen (wat het ontwerp efficiënter maakt).

2.3.2 LICHTSENSOR

De huidige lichtsensor maakt gebruik van een 8-bit ADC (PIC in het hoofd), maar aangezien ik de LED's wil vervangen, zou het noodzakelijk zijn om een nieuwe PCB te maken. Dit maakt het aantrekkelijk om ook de lichtsensor te upgraden. De BH1750FVI lijkt een goede keuze, aangezien deze sensor een 16-bit nauwkeurigheid biedt en communiceert via I²C, wat de integratie vereenvoudigt. Echter, de BH1750FVI werkt alleen op 3.3V, wat een extra uitdaging vormt, aangezien de robot oorspronkelijk op 5V is ontworpen en de 3.3V nog niet tot aan het hoofd komt.

Er bestaan echter fotodiodes of fototransistors die wel op 5V kunnen werken, maar dit zou een extra ADC vereisen, evenals de nodige weerstanden en mogelijk een condensator. Dit zou het voordeel bieden dat er geen voltageomvorming nodig is, maar het zou wel extra componenten vereisen en de complexiteit van de schakeling verhogen.

Een andere optie is om de lichtsensor van de lijnsensoren te gebruiken. Dit kan echter leiden tot een conflict als de I²C-bus niet goed wordt geregeld, aangezien deze mogelijk wordt gedeeld met andere (door het enige adres van de sensor).

Als alternatief kunnen we overwegen om een microcontroller te gebruiken die beschikt over twee of drie onafhankelijke I²C-bussen, zoals beschreven in sectie 2.1.1, of nog andere microcontrollers te overwegen, maar dan kan de Arduino IDE niet gebruikt worden wat voor mij vervelend zou zijn. Dit zou de mogelijkheid bieden om meerdere I²C-apparaten tegelijk aan te sturen zonder conflicten, waardoor de integratie van meerdere sensoren, waaronder de nieuwe lichtsensor, eenvoudiger wordt. Deze aanpak kan de flexibiliteit van het ontwerp verhogen, maar vereist mogelijk een complexere implementatie van de software en hardware.

2.4 Camera

Een andere goede verbetering aan de robot zou kunnen zijn als die ook de functionaliteit krijgt om te zien. Er bestaat al een "ESP32-CAM" module die de OV2640 camera gebruikt, en het is zeker mogelijk om de ESP32-C6 te gebruiken om deze camera aan te sturen. De ESP32-C6 biedt genoeg kracht en connectiviteitsopties, wat het een geschikte keuze maakt voor algemene toepassingen.

Echter, als de robot taken moet uitvoeren die AI- of beeldverwerkingscapaciteiten vereisen, is de ESP32-S3 wellicht een betere keuze. De ESP32-S3 heeft namelijk verbeterde capaciteiten voor AI-toepassingen, en biedt betere prestaties voor beeldverwerkingstaken, waardoor het efficiënter kan omgaan met complexe berekeningen zoals gezichtsherkenning of objectdetectie.

Het kiezen van de juiste microcontroller hangt dus af van de specifieke vereisten van de robot, zoals de complexiteit van de beeldverwerking en AI-taken die uitgevoerd moeten worden.

2.5 Hoofdbord

Het hoofdbord is het centrale punt waar alle componenten op worden aangesloten of waar de signalen vandaan komen. Sommige onderdelen zijn inmiddels verouderd of zijn niet meer nodig door de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Daarnaast zijn er verschillende aspecten die we kunnen verbeteren, zoals de volgende.

2.5.1 POWER

Als ik het hoofdbord zou vervangen, zou ik overwegen om een efficiëntere DC-to-DC converter te gebruiken voor de belangrijkste (die het meeste stroom verbruiken) spanningen (12V en 5V). Het omzetten van 5V naar 3.3V met een LDO (Low Dropout Regulator) veroorzaakt relatief weinig verlies (het verlies in een LDO is de stroom maal het spanningsverschil tussen de invoer- en uitvoerspanning). Dit betekent dat als je begint met een 5V bron, het verlies bij het omzetten naar 3.3V minimaal is, wat de efficiëntie verbetert.

Echter, voor hogere stromen of wanneer de spanningsverschillen groter zijn, zou een DC-to-DC buck converter een betere keuze zijn. Buck converters kunnen veel efficiënter zijn bij grotere spanningsomzettingen (bijvoorbeeld van 12V naar 5V), aangezien ze de energie beter behouden in de vorm van hogere efficiëntie, vaak boven de 90%.

Samenvattend: als ik het hoofdbord zou vervangen, zou ik kiezen voor een combinatie van LDO-regelaars voor kleinere spanningsomzettingen (zoals 5V naar 3.3V want er is geen grote spanningsval en de stroom is ook lager beide verlagen het energieverlies) en DC-to-DC converters voor grotere omzettingen (zoals 12V naar 5V), om zo de efficiëntie en de energiebehoeften van de robot te optimaliseren.

2.5.2 MUZIEKKAART

Bij het vervangen van het hoofdbord ontstaat de mogelijkheid om een nieuwere muziekkaart te integreren. Dit biedt niet alleen verbeterde audiokwaliteit, maar ook de kans om gebruik te maken van geavanceerde communicatieprotocollen zoals I²S (Inter-IC Sound). Bijkomend, het communicatie protocol wordt simpeler in vergelijking met de huidige.

2.5.2.1 Voordelen van I²S voor een muziekkaart

I²S is een speciaal protocol dat is ontworpen voor digitale audiocommunicatie. Het wordt vaak gebruikt in combinatie met moderne muziekkaarten en microcontrollers vanwege de efficiënte en nauwkeurige manier waarop het audiodata kan overbrengen.

1. Hoge geluidskwaliteit:
I²S ondersteunt digitale audio-overdracht zonder de beperkingen van analoge signalen, zoals ruis en vervorming. Dit maakt het protocol ideaal voor hoogwaardige muziekkaarten.

2. Efficiëntie:

Het protocol werkt met een eenvoudige set datalijnen, namelijk:

- SD (Serial Data): voor het verzenden van audiogegevens.
- WS (Word Select): om onderscheid te maken tussen het linker- en rechterkanaal (stereo).
- SCK (Serial Clock): voor de timing van de gegevensoverdracht.
Dit minimaliseert de complexiteit van de verbinding en maakt integratie eenvoudiger.

3. Flexibiliteit:

Moderne muziekkaarten kunnen via I²S eenvoudig communiceren met microcontrollers zoals de ESP32 (behalve de ESP32-C6). Hierdoor is het mogelijk om audiogegevens efficiënt te verzenden en te verwerken.

2.5.2.2 Integratie met ESP32

Als een ESP32 (bijvoorbeeld de ESP32-S3) wordt gebruikt, biedt dit extra mogelijkheden voor het beheer van de muziekkaart:

- ESP32 als audio-controller: de ESP32 kan audio naar de muziekkaart sturen via I²S, waarbij de microcontroller fungeert als een audio-bron (bijvoorbeeld muziekstreaming via Bluetooth of Wi-Fi).
- DSP-mogelijkheden (Digital Signal Processing): met behulp van de rekenkracht van de ESP32 kunnen audiobewerkingen plaatsvinden vóór de overdracht naar de muziekkaart, zoals het toepassen van equalizers of filters.

2.5.2.3 Besluit

I²S is een logische keuze maar kan nu niet uitgewerkt worden omdat dit niet mogelijk is met de versie C6. Dit is de enige versie waar dit niet mogelijk is maar ik geef hier voorlopig nog de voorkeur aan omwille van de betere connectiviteit. Indien later een andere ESP32 gekozen wordt, bijvoorbeeld een versie S3 omwille van zijn grotere rekenkracht, is het te overwegen om dan de muziekkaart mee te integreren.

2.5.3 LED'S

De LED's die zich op het hoofdbord bevinden, zijn niet geïntegreerd in het hoofd van de robot. Bij een mogelijke vervanging van het hoofdbord is het te overwegen om de debug LED's aan te passen of zelfs volledig te verwijderen aangezien deze met de huidige tools minder relevant zijn. Er zijn verschillende opties die in aanmerking komen voor deze wijziging:

2.5.3.1 Verwijderen of vervangen van huidige debug LED's

Als het hoofdbord wordt vervangen, is het mogelijk om de huidige debug LED's te verwijderen of te vervangen door LED's die elders in het systeem zijn gebruikt, zoals die van LED's (zie punt 2.3.1). Door een uniforme set LED's te gebruiken, ontstaat een consistente uitstraling en functionaliteit in het gehele ontwerp.

Een voordeel van deze uniformiteit, is een vermindering van het aantal verschillende componenten, wat de onderhoudbaarheid verbetert.

2.5.3.2 Uitbreiden van indicator LED's

De indicator LED's, die belangrijke statusinformatie weergeven, zullen worden uitgebreid. Er worden extra indicator LED's toegevoegd om de functionaliteit te verbeteren.

- Functies van Indicator LED's:
 - Statusaanduiding: van bijvoorbeeld de voeding (de enige die er al zijn), verbindingen (I²C, I²S, UART), of foutmeldingen.
 - Gebruikersfeedback: zoals het tonen van de werking van sensoren, de werking van de muziekkaart, of de laadstatus van de batterij.
- Mogelijke Uitbreidingen:
 - Extra kleuren of RGB-LED's om meer informatie visueel te communiceren.
 - Dynamische patronen (bijvoorbeeld knipperen of dimmen) om de status duidelijker te maken.

2.5.3.3 Waarom LED's aanpassen?

Door het vervangen van de LED's of het aanpassen van hun functionaliteit, kan het ontwerp beter afgestemd worden op de noden van de gebruiker en het project:

- LED's die niet essentieel zijn, kunnen worden verwijderd om het ontwerp te vereenvoudigen.
- Indicator LED's zorgen ervoor dat belangrijke systeeminformatie zichtbaar blijft, wat vooral nuttig is bij het testen of bedienen van de robot.

3 PROBLEEMOPLOSSING

Hieronder bespreek ik de grote problemen die ik al ben tegengekomen bij deze studie, met de gevonden oplossing.

3.1 USB UART-brug

Ik heb nog maar eens een probleem ondervonden met een USB to UART-brug. Dit keer was het de "CP210n" die voor problemen zorgde. Er bestaan wel drivers voor, zelfs op Windows 11 maar je hebt er admin privileges voor nodig. Hierdoor maak ik gebruik van een externe FTDI-adapter die wel werkt.

3.2 Gebruik maken van native USB

De ESP32-C6 is uitgerust met een ingebouwde USB 2.0-connector (12 D-, 13 D+), maar tijdens mijn pogingen om een verbinding tot stand te brengen, ondervond ik problemen. Na nader onderzoek bleek de oorzaak te liggen in de instellingen van de Arduino IDE, waar ik de optie "Tools > USB CDC On Boot" niet had geactiveerd. Het inschakelen van deze instelling loste het probleem op en maakte de verbinding mogelijk. Dit biedt een aanzienlijk voordeel, vooral wanneer ik van plan ben om een bord te ontwikkelen voor gebruik in de Elector Proton Robot. In dat geval is slechts één enkele verbinding vereist, wat het ontwerp eenvoudiger en efficiënter maakt.

3.3 Kapotte batterij

Doordat de loodaccu van de oude robot te lang inactief was, is deze gedegradеerd en was er maar 0,428V in plaats van 12V. Nu gebruik ik een externe voeding via stopcontact, maar daardoor kan hij niet (ver) rijden wat moeilijk is om hem uitgebreid te testen voor lijnsensoren en localisatiebepaling.

3.4 Overleaf (LaTeX)

Tijdens het maken van deze en vorige studie gebruikte ik LaTeX (een taal om PDF te maken) in Overleaf (IDE: Integrated Development Environment) maar toen ik de laatste puntjes op de i wou zetten en aan de slag gaan met de feedback van vorige studie begon ik mij nog meer te ergeren aan Overleaf en daarom ben in overgestapt naar word. De reden waardoor ik dit heb gedaan is omdat ik 2 foto's naast elkaar wou zetten maar dat lukte niet (dit was de finale reden).

4 BESLUIT

Ik heb inmiddels een duidelijk beeld van hoe ik de robot theoretisch kan moderniseren en hoop dit voor het einde van het jaar ook praktisch te realiseren. In deze graadproef heb ik de theoretische basis gelegd voor het moderniseren van de Proton robot, waarbij ik technologieën zoals de microcontroller, GPIO, ADC, UART en I²C protocol heb besproken. Deze vormen de basis voor de geplande updates, waarmee de robot in staat zal zijn om nieuwe sensoren aan te sturen en te communiceren met andere systemen. De voordelen zijn verbeterde prestaties, flexibiliteit en de mogelijkheid om de robot geschikt te maken voor moderne toepassingen.

De volgende stap is de praktische uitwerking, waarbij de hardware van de robot aangepast zal worden, nieuwe componenten geïntegreerd en de microcontroller geprogrammeerd moet worden om de gewenste functionaliteit te bereiken. Het grootste uitdagende moment zal zijn om de theoretische concepten om te zetten naar de praktijk, waarbij technische obstakels overwonnen moeten worden.

De komende fase zal zich richten op het implementeren en testen van de hardware-upgrades en het schrijven van de benodigde software om de robot operationeel te maken met de nieuwe technologieën. Ik wil graag samen met de leerkrachten bepalen welke verbeteringen ik verder zal uitwerken, zowel vanuit technisch oogpunt als om de robot werkbaar te maken voor andere leerlingen, zodat zij ermee verder kunnen werken.

5 BIBLIOGRAFIE

- ams. (sd). AS7343L. Premstaetten, Stiermaken, oostenrijk. Opgehaald van https://www.mouser.com/datasheet/2/588/asset_pdf_25493217-3474412.pdf?srltid=AfmBOooLJi5KnMM8dLXWEzzmF8qni0yyqUngqfIDh6eZg4TMjSiNq_U5
- ATtiny microcontroller comparison chart*. (sd). Opgehaald van Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/ATtiny_microcontroller_comparison_chart
- Ceva. (sd). BNO08X Data Sheet. Opgehaald van https://www.mouser.be/datasheet/2/1480/BNO080_085_Datasheet-3196201.pdf
- Diodes. (sd). Low-Voltage Translating 16-bit I2C-bus I/O Expander. Opgehaald van <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/PI4IOE5V6416.pdf>
- Electronics, Mouser. (sd). *Mouser*. Opgehaald van Mouser: <https://www.mouser.be/>
- Elektor. (2011, april 3). Programming Manual Elektor Proton Robot. Opgehaald van https://e2cre8.be/wp-content/uploads/2015/12/Elektor-proton-robot-programming-guide-V1_1-.pdf
- Invensense. (2021, april 15). Opgehaald van https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/sensor/motion-inertial/imu/data_sheet/ds-000451-icm-42670-p.pdf
- Kingbright. (2024, oktober 24). APS3227SP1C-P22. Opgehaald van https://www.mouser.be/datasheet/2/216/APS3227SP1C_P22-1313967.pdf
- Melexis. (2020, september 15). MLX90395 Triaxis® Magnetometer Node. Opgehaald van <https://media.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/MLX90395-datasheet-melexis.pdf>
- Memsic. (sd). MC3479 3-Axis Accelerometer. Opgehaald van <https://www.mouser.be/datasheet/2/821/20200827164636363-1900743.pdf>
- Omnivision. (sd). https://www.uctronics.com/download/cam_module/OV2640DS.pdf. Opgehaald van https://www.uctronics.com/download/cam_module/OV2640DS.pdf
- ROHM. (sd). Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. Opgehaald van https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf?srltid=AfmBOopyneSRd283rneYo2pzAJYl4mhRUO_7Ovqs1wSh22voZAKH49yZ
- Systems, Espressif. (sd). *ESP Product Selector*. Opgehaald van Espressif: <https://products.espressif.com/#/product->

selector?names=&filter=%7B%22Products%22%3A%5B%22Module%22%5D,%22Status%22%3A%5B%22Mass%20Production%22%5D%7D

Systems, Espressif. (sd). ESP32-C6-WROOM-1. Shanghai, Shanghai, China. Opgehaald van https://espressif.com/documentation/esp32-c6-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf

Systems, Espressif. (sd). ESP32-S3-WROOM-1. Shanghai, Shanghai, China. Opgehaald van https://www.espressif.com/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf

Texas, Instruments. (sd). ADS111x-Q1 Automotive, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs. Dallas, Texas, VS. Opgehaald van https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115-q1.pdf?ts=1737106415435&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.be%252F

Texas, Instruments. (sd). TLV757P 1A, Low IQ, Small-Size, Low-Dropout Regulator. Dallas, Texas, VS. Opgehaald van https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv757p.pdf?ts=1737221852811&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.de%252F

Worldsemi. (sd). WS2812B. Opgehaald van <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>