

# Ontwikkeling van een self- driving voertuig

**Jorik DE BRUYCKER**  
**Jonas BOLLE**

Begeleiders:  
Leenders Guus  
Crul Stijn  
Naessens Carine  
Van Der Perre Liesbeth

Industriële ingenieurswetenschappen  
Elektronica-ICT: Elektronica

Coach: Cox Bert

©Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Technologiecampus Gent, Gebroeders De Smetstraat 1, B-9000 Gent, +32 92 65 86 10 of via e-mail [iiw.gent@kuleuven.be](mailto:iiw.gent@kuleuven.be).

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

# Inhoudsopgave

<b>1 Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1 Opdrachtbeschrijving . . . . .	3
1.2 Doelstellingen . . . . .	3
1.3 Structuur . . . . .	3
<b>2 Takkverdeling</b>	<b>4</b>
<b>3 Onkosten</b>	<b>5</b>
<b>4 Toelichting hardware</b>	<b>6</b>
4.1 PCB-ontwerp . . . . .	6
4.1.1 Eagle-ontwerp . . . . .	6
4.2 Sensoren en toebehoren . . . . .	8
4.2.1 Infrarood-sensoren . . . . .	8
4.2.2 Multiplexers . . . . .	10
4.2.3 Hall-sensor en magneten . . . . .	11
4.2.4 Bluetooth-module . . . . .	11
4.2.5 RFID-reader . . . . .	11
<b>5 Toelichting software</b>	<b>12</b>
5.1 IR-sensoren inlezen . . . . .	12
5.2 Rijden en PID-regeling . . . . .	12
5.3 Custom board . . . . .	13
5.4 Snelheid meten . . . . .	13
5.5 RFID-tags inlezen . . . . .	14
5.6 Bluetooth-communicatie naar Raspberry Pi . . . . .	14
5.6.1 Arduino met HC05-module als Slave . . . . .	14
5.6.2 RaspberryPi met ingebouwde Bluetooth-adapter als Master . . . . .	14
<b>6 Problemen en moeilijkheden</b>	<b>15</b>
<b>7 Evaluatie coach</b>	<b>16</b>

**8 Besluit**

**17**

# **Hoofdstuk 1**

## **Inleiding**

### **1.1 Opdrachtbeschrijving**

Voor dit project ontwikkelen we een robot/voertuig dat autonoom zo snel mogelijk een raceparcours kan afleggen, dit parcours bestaat uit een zwarte ondergrond afgebakend door volle witte lijnen en een witte stippellijn in het midden. Het prototypen van ons voertuig voeren we uit met behulp van Arduino met een motor shield, tevens ontwikkelen we een custom board om deze Arduino in een later stadium van ons project te vervangen. We voorzien ons voertuig ook nog van enkele andere functionaliteiten. Zo zullen we een snelheidsmeter voorzien. Ten tweede zorgen we ook voor een RFID-reader waarmee ons voertuig de ID's van tags die verspreid over het parcours liggen kan inlezen. Ten slotte moeten we deze data ook allemaal draadloos kunnen verzenden, hiervoor voorzien we Bluetooth-communicatie van onze custom Arduino naar een Raspberry Pi 3.

### **1.2 Doelstellingen**

- Voertuig autonoom laten het parcours afleggen
- Custom board ontwerpen om Arduino en motorshield te vervangen
- Voorzien van een snelheidsmeter
- Voorzien van een RFID-lezer om tags uit te lezen
- Bluetooth-communicatie tussen Arduino en Raspberry Pi 3 realiseren

### **1.3 Structuur**

...

...

...

## Hoofdstuk 2

### Taakverdeling

Groepslid Periode		Bolle Jonas	De Bruycker Jorik
1/feb	11/feb	Voorbereidend opzoekwerk	
12/feb	25/feb	Ontwerp IR-sensorarrays	
26/feb	11/mrt	Custom Arduino: Eagle schematic	Start software sensoren en bijsturen
12/mrt	25/mrt	Custom Arduino: Eagle routing	Software PID-regeling
21/mrt		Eerste statusupdate	
26/mrt	1/apr	Custom Arduino: etsen	Snelheidsmeter voorzien
2/apr	15/apr	Custom Arduino: bestukken, solderen en testen	Bluetooth-communicatie met RPi3, RFID-lezer voorzien
16/apr	27/apr	Verslag schrijven	
18/apr		Demonstratie/race	
27/apr		Verslag indienen	
28/apr	8/mei	Presentatie voorbereiden	
9/mei		Presentatie	

**Tabel 2.1:** Planning en taakverdeling

## **Hoofdstuk 3**

### **Onkosten**

...  
...  
...

# **Hoofdstuk 4**

## **Toelichting hardware**

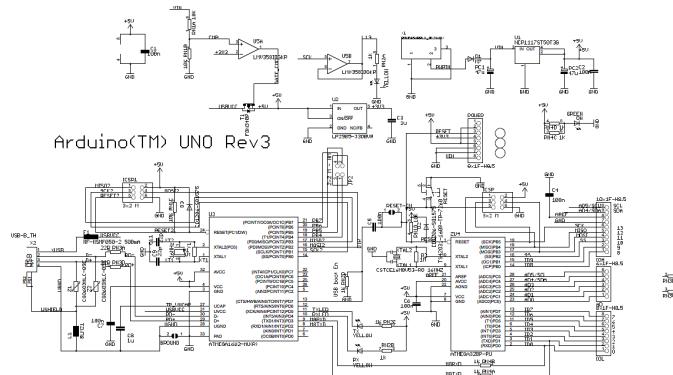
### **4.1 PCB-ontwerp**

Voor het ontwerp van de custom Arduino PCB hebben we gewerkt met Eagle. Vertrekkende van de officiële schematic van de Arduino Uno maken we onze eigen versie hiervan. Na de ontwerp fase kunnen we de PCB etsen, boren, bestukken en solderen. Als dit allemaal achter de rug is, testen we onze custom Arduino en lossen we nog eventuele problemen op.

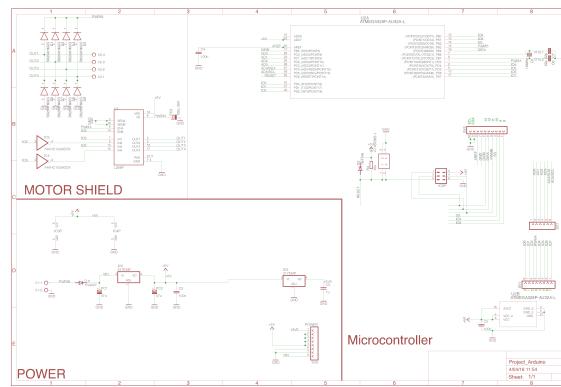
#### **4.1.1 Eagle-ontwerp**

##### **Schematic**

Om te beginnen hebben we het officiële schema nodig van de Arduino Uno, welke makkelijk online te vinden is (zie figuur 4.1 op de volgende pagina). Om te weten wat we effectief nodig hebben en wat weggelegd mag worden, bestuderen we het schema grondig. Hierdoor zien we in dat er veel weg kan vallen uit het originele ontwerp, zoals de USB to serial interface. Aangezien we beslissen om onze custom Arduino te programmeren via de ICSP-pinnen, is de aanwezigheid van een USB-connectie overbodig. Dit zorgt ervoor dat de ATMEGA16U2 chip en al zijn connecties niet nodig zijn op onze eigen PCB. Ook onze voedingslijn wordt hierdoor minder complex: we hoeven ons geen zorgen te maken om de batterijspanning af te koppelen eens we een USB-connectie zouden gebruiken van onze computer. Vervolgens zijn ook alle LED's uit het officiële ontwerp gehaald, zodat nog een IC (die twee opamps bevat), enkele weerstanden en een ontkoppelcondensator kunnen weggelegd worden. Ten slotte integreren we de Arduino Motorshield in ons ontwerp. De hoofdcomponent van dit gedeelte bestaat uit de L298P dual full-bridge driver en bevat de nodige afschermdiodes voor de motor outputs. Het resultaat is onze vereenvoudigde versie van de Arduino Uno (zie figuur 4.2 op de pagina hierna) dat we vervolgens kunnen gaan boarden.



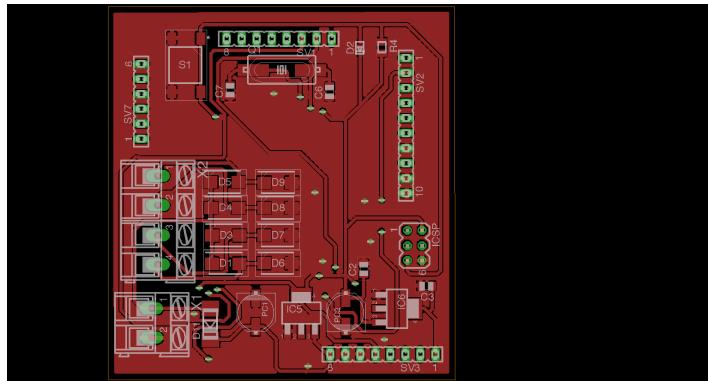
Figuur 4.1: Officiële schema van de Arduino Uno



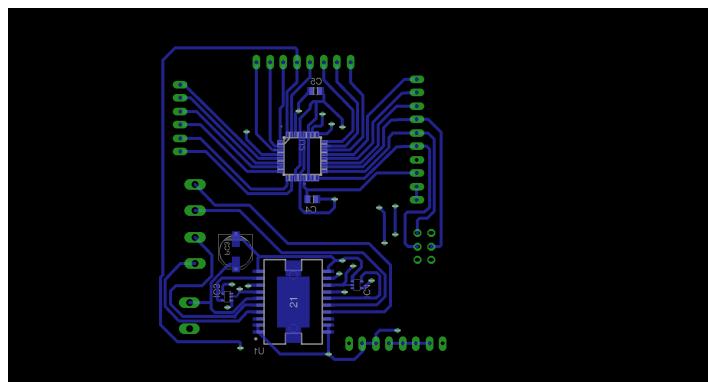
Figuur 4.2: Eigen schema van de Arduino Uno

## Board

Nu onze eigen schematic afgerond is, kunnen we beginnen boarden. We trachten de PCB zo klein mogelijk te maken door de componenten zowel op de top- als de bottom-layer te plaatsen. We hebben ervoor gekozen de twee chips (de ATMEGA328P en de L298P) op de bottom-layer te plaatsen samen met de nodige ontkoppelcondensatoren. De andere componenten staan op de top-layer. Na het routing proces bestaat onze PCB uit 20 via's. De top- en bottom-layer van de PCB kan u vinden in respectievelijk figuur 4.3 op de volgende pagina en figuur 4.4 op de pagina hierna.



**Figuur 4.3:** Eigen schema van de Arduino Uno



**Figuur 4.4:** Eigen schema van de Arduino Uno

## 4.2 Sensoren en toebehoren

#### 4.2.1 Infrarood-sensoren

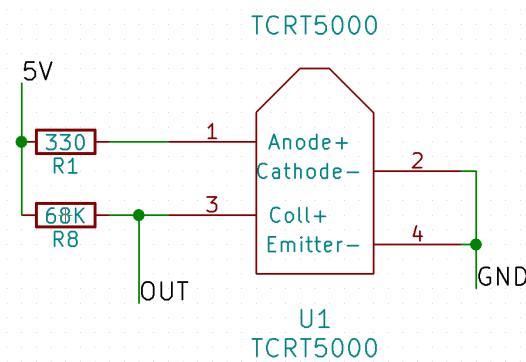
Zoals we reeds vermeldden is het de bedoeling dat ons voertuig een parcours autonoom kan afleggen dat afgebakend wordt door twee volle witte lijnen op een zwarte ondergrond met een witte stippelijn tussen beide. Om dergelijk parcours te kunnen navigeren zullen we onderscheid moeten kunnen maken tussen de witte en zwarte ondergrond. Voor dergelijke toepassing kiezen we voor infrarood-sensoren. We zullen hiervoor gebruik maken van de TCRT-5000-sensor, zoals u ziet in figuur 4.5 op de volgende pagina.



**Figuur 4.5:** TCRT5000 infrarood sensor

### Sensor-cel

De TCRT5000 bestaat uit 2 belangrijke onderdelen: ten eerste hebben we een IR-led , deze led wordt aangestuurd met een voorschakelweerstand van  $330\Omega$ . Ten tweede heeft de TCRT5000 een transistor die zich in essentie als infrarood-gevoelige weerstand gedraagt, samen met een serieweerstand van  $68k\Omega$  vormt dit een spanningsdeler. De IR-led zal infraroodgolven uitstralen, naargelang de ondergrond waar dit op invalt worden deze golven quasi volledig of amper gerefleecteerd. Bij een witte ondergrond zal de reflectie groot zijn en de weerstand tussen collector en emitter bijgevolg zeer klein zijn, omgekeerd hebben we bij een zwarte ondergrond een grote weerstand. De uitgangsspanning bij de spanningsdeler met de weerstand en de TCRT5000-pinnen zoals u ziet in figuur 4.6 geeft dus een maat voor de reflectiecoëfficient van het oppervlak onder de sensor. De waarde van deze spanning wordt door een analoge pin ingelezen, uit deze inlezing kan dus afgeleid worden of de sensor zich boven een witte of een zwarte ondergrond bevindt. Bij een witte ondergrond bedraagt deze waarde ongeveer 30 tot 50 terwijl een zwarte ondergrond in een waarde tussen de 600 en 800 resulteert.

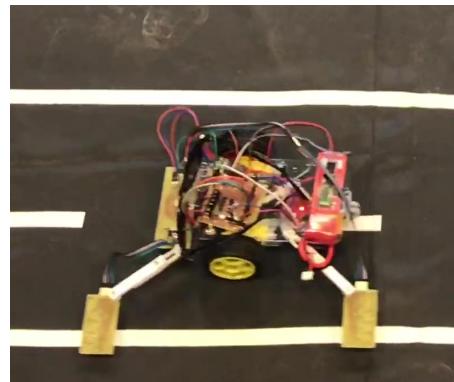


**Figuur 4.6:** Sensor-cel met TCRT 5000

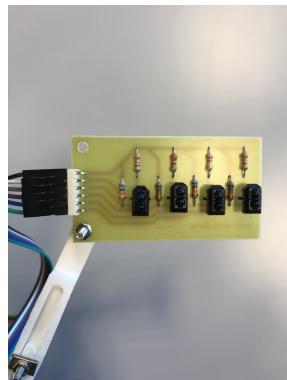
### Sensor-arrays

Om de positie van ons voertuig te detecteren ten opzichte van een witte zijlijn maakten we twee sensor-arrays van elk vier sensoren die via een multiplexer op een aparte printplaat ingelezen

worden in één analoge pin. De positionering van deze sensoren ziet u in figuur 4.7. In figuren 4.8 en 4.9 ziet u de twee verschillende sensorarrays.



**Figuur 4.7:** Sensorarray op het wagentje ten opzichte van de zijlijn



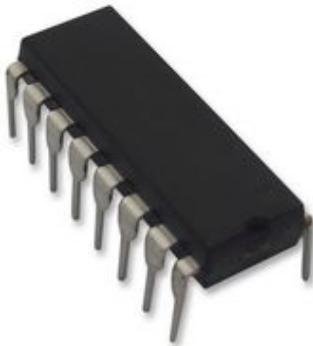
**Figuur 4.8:** Sensorarray linksvooraan



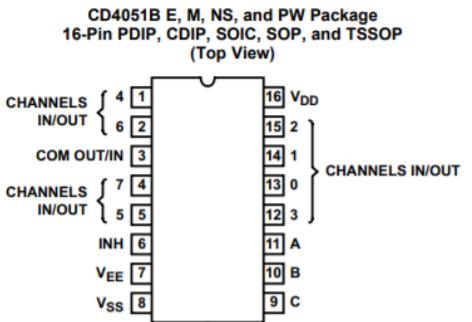
**Figuur 4.9:** Sensorarray linksachteraan

### 4.2.2 Multiplexers

Aangezien we slechts over een beperkt aantal analoge ingangen beschikken zullen we de verschillende sensoren moeten multiplexen, hiervoor maken we gebruik van een CD4051BE-multiplexer in figuur 4.10 op de pagina hierna, de pinout van deze IC vindt u in figuur 4.11 op de volgende pagina. We gebruiken deze multiplexer om acht sensoren in te kunnen lezen op één analoge pin, hiervoor gebruiken we drie digitale pinnen die de bit selects van de multiplexer aansturen.



Figuur 4.10: CD4051BE multiplexer



Figuur 4.11: CD4051BE multiplexer pinout

#### 4.2.3 Hall-sensor en magneten

Voor het meten van de snelheid zullen we moeten bepalen hoeveel rotaties de wielen maken gedurende een bepaalde periode. Uit dit aantal rotaties kunnen we vervolgens de afgelegde weg en dus ook de snelheid berekenen. We hebben dus een manier nodig om te detecteren wanneer en hoeveel keer het wiel een rotatie maakt, daarvoor kozen we voor het gebruik van een Hall-sensor die het passeren van magneten gemonteerd in de wielas detecteert. De gebruikte Hall-sensor is een SS41 digitale Hall-sensor van Honeywell die gevoed wordt op 5 V. In figuur 4.12 ziet u de magneten die binnen in de wielas gemonteerd werden, merk op dat deze magneten een tegengestelde polarisatie hebben. In figuur 4.13 ziet u hoe de Hall-sensor bij het wiel gemonteerd is.



Figuur 4.12: Magneten gemonteerd in wielas

Figuur 4.13: Hall-sensor naast wiel gemonteerd

#### 4.2.4 Bluetooth-module

#### 4.2.5 RFID-reader

# Hoofdstuk 5

## Toelichting software

### 5.1 IR-sensoren inlezen

Voor het inlezen van de sensoren wordt gebruik gemaakt van één analoge pin, met deze pin lezen we de waardes van alle acht sensoren in via een multiplexer. Deze multiplexer wordt aangestuurd aan de hand van drie digitale pinnen die dienst doen als bit select. Om de tijdsduur voor het inlezen van de infrarood-sensoren via de multiplexer te minimaliseren lezen we deze in aan de hand van Gray-code. De volgorde van inlezen wordt verduidelijkt in tabel 5.1. De ingelezen waarden worden opgeslagen in een array van acht integers. De waardes in de array worden vervolgens gedigitaliseerd aan de hand van een grenswaarde, hiervoor hebben we de waarde 300 gekozen. Indien de sensorwaarde onder deze grens ligt ziet de sensor een witte ondergrond en krijgt dit digitaal een waarde '1', als de waarde boven de grens ligt komt dit overeen met een zwarte ondergrond en een digitale waarde '0'.

#	Bit Select 2	Bit Select 1	Bit Select 0	MUX-pin	Sensor
0	0	0	0	13	Vooraan 2
1	0	0	1	14	Vooraan 3
3	0	1	1	12	Vooraan 1
2	0	1	0	15	Vooraan 4
6	1	1	0	2	Achteraan 3
7	1	1	1	7	Achteraan 2
5	1	0	1	5	Achteraan 1
4	1	0	0	7	Achteraan 1

Tabel 5.1: Inlezen van sensoren aan de hand van Grey-code

### 5.2 Rijden en PID-regeling

Nu de sensoren ingelezen kunnen worden is het mogelijk om aan de hand hiervan de positie van het wagentje ten opzichte van de zijlijn te bepalen. Hiermee kan vervolgens het wagentje correct bijgestuurd worden om deze lijn te volgen. Om dit te realiseren wordt PID-regeling toegepast. Deze PID-regeling gebeurt aan de hand van een foutwaarde die afgeleid wordt uit de ingelezen sensorwaarden, aan elke sensor wordt dus een gewicht toegekend die een maat geeft voor de

afwijking ten opzichte van de witte lijn. Deze gewichten vindt u in tabel 5.2.

	Vooraan 1	Vooraan 2	Vooraan 3	Vooraan 4
Foutwaarde	-3	-1	1	3

	Achteraan 1	Achteraan 2	Achteraan 3	Achteraan 4
Foutwaarde	3	1	-1	-3

**Tabel 5.2:** Gewichten van sensoren

De foutwaarde van de voorste sensoren wordt nu berekend met volgende formule:

$$E_{vooraan} = \frac{\sum_{i=1}^4 S_{vooraan,i} \cdot G_{vooraan,i}}{\sum_{i=1}^4 S_{vooraan,i}}$$

Analoog wordt de foutwaarde voor de achterste sensoren gegeven door:

$$E_{achteraan} = \frac{\sum_{i=1}^4 S_{achteraan,i} \cdot G_{achteraan,i}}{\sum_{i=1}^4 S_{achteraan,i}}$$

Hierin is  $S_i$  de digitale waarde in de array, zoals reeds vermeld is deze gelijk aan 1 indien sensor  $i$  een witte ondergrond ziet en 0 wanneer de ondergrond zwart is.  $G_i$  is het gewicht van de sensor in kwestie.

De totale foutwaarde wordt dan bepaald door beide foutwaarden op te tellen. Deze foutwaarde zal negatief zijn wanneer het wagentje teveel naar rechts afwijkt ten opzichte van de zijlijn, omgekeerd is deze fout positief als het wagentje te veel naar links rijdt. Als het wagentje perfect rechtdoor rijdt zullen de sensorwaardes elkaar compenseren zodat de foutwaarde 0 wordt. In het geval dat de voorste sensorarray teveel van de baan afwijkt wordt afgestapt van werkelijke PID-regeling en wordt er overgeschakeld naar een soort pseudo PID-regeling waarbij de foutwaarde aan de hand van de laatst bepaalde foutwaarde steeds geïncrementeerd wordt. Wanneer de voorste sensorarray zich opnieuw boven de lijn bevindt hervat de normale PID-regeling terug.

### 5.3 Custom board

### 5.4 Snelheid meten

In sectie 4.2.3 op pagina 11 bespraken we reeds op welke manier we twee magneten bevestigden in de wielas die passeren bij een SS41 Hall-sensor. Deze twee magneten zorgen door de tegengestelde polarisatie dat de output van de SS41 omschakelt van hoog (5 V) naar laag (0 V) en vice versa bij het passeren van één van de magneten. Binnen een tijdsinterval  $\Delta t$  tellen we het aantal keer  $C$  dat deze omschakeling optreedt. Het aantal rotaties in dit interval is dan de helft van het aantal keer dat de sensoroutput omschakelde. Wetende dat de diameter  $D$  van het wiel 7 cm bedraagt kunnen we de snelheid  $v$  als volgt berekenen:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\frac{C}{2} \cdot \pi \cdot D}{\Delta t}$$

## 5.5 RFID-tags inlezen

## 5.6 Bluetooth-communicatie naar Raspberry Pi

### 5.6.1 Arduino met HC05-module als Slave

### 5.6.2 RaspberryPi met ingebouwde Bluetooth-adapter als Master

## **Hoofdstuk 6**

### **Problemen en moeilijkheden**

...  
...  
...  
...

## **Hoofdstuk 7**

### **Evaluatie coach**

...

...

...

## **Hoofdstuk 8**

### **Besluit**

...  
...  
...

FACULTEIT INDUSTRIELE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT  
Gebroeders De Smetstraat 1  
9000 GENT, België  
tel. + 32 92 65 86 10  
fax + 32 92 25 62 69  
[iiw.gent@kuleuven.be](mailto:iiw.gent@kuleuven.be)  
[www.iiw.kuleuven.be](http://www.iiw.kuleuven.be)



LID VAN  
**ASSOCIATIE  
KU LEUVEN**