

# Conceptueel schaalmodel van een autonome Marsrover

Floris Kint      Selwin Konijn      Evert Leeuws  
Urban Lemmens      Jan-Uwe Lorent  
Michiel Vanschoonbeek      Vincent Vliegen      Ruben Verhulst

11 mei 2014

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Conceptkeuze en ontwerp</b>	<b>4</b>
2.1	Materialen . . . . .	4
2.2	Mechanisch . . . . .	4
2.3	Elektronisch . . . . .	4
2.4	AI . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Experimenten</b>	<b>4</b>
3.1	Rolweerstand . . . . .	4
3.2	Luchtweerstand . . . . .	4
3.3	Koppeloeverdracht . . . . .	4
3.4	Animatiefilmpje . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Resultaten demonstratie</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Teamefficiëntie en deadlines</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Besluit</b>	<b>4</b>
<b>8</b>	<b>Bijlagen</b>	<b>4</b>
8.1	Bijlage 1: Lijst van gebruikte symbolen . . . . .	4
8.2	Bijlage 2: Berekening rolweerstand . . . . .	5
8.2.1	De rolweerstand op Aarde . . . . .	5
8.2.2	De rolweerstand op Mars . . . . .	6
8.3	Bijlage 3: Berekening luchtweerstand . . . . .	6
8.3.1	Theoretische baan . . . . .	6
8.3.2	Feitelijke baan . . . . .	7
8.4	Bijlage 4: Berekening ideale overbrenging . . . . .	7
8.5	Bijlage 5: Technische tekening . . . . .	7
8.6	Bijlage 6: Programmacode . . . . .	7
8.7	Bijlage 7: Financiën . . . . .	7
8.8	Bijlage 8: Ganttchart . . . . .	7
8.9	Bijlage 9: Animatiefilmpje . . . . .	7
8.10	Bijlage 10: Poster . . . . .	7
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>7</b>

# 1 Inleiding

Bij het verkennen van de ruimte en andere hemellichamen zijn er verschillende factoren die tot problemen kunnen leiden. De grote afstand is daar één van. Op een andere planeet zou een verkenning rover hierdoor een vertraging van inkomende en uitgaande signalen ondervinden. Deze vertraging zou tot problemen kunnen leiden bij het besturen van de rover. Dit probleem kan opgelost worden door de rover voor een deel autonoom te maken. Deze kan dan zelf een veilige weg vinden en obstakels ontwijken.

De marsrover Curiosity is een voorbeeld van zo'n autonome rover. Deze bezit 17 camera's waarmee hij zijn omgeving kan aftasten. Aan de hand van de verzamelde informatie kan de Curiosity een veilig pad over het marsoppervlak vinden. Dit spaart tijd uit voor de bestuurders van de rover op aarde.[1, 2]

De specifieke opdracht bestaat uit het ontwerpen van een wagentje dat autonoom een vooraf onbekend parcours moet afleggen. Het parcours is maximaal 12 m lang, minimaal 40 cm breed en de afbakenende muren zijn 18 cm hoog. De af te leggen weg bestaat uit rechte hoeken en er zijn geen plaatsen waarin het wagentje vast kan komen te zitten (er zijn geen doodlopende zijwegen). Het wagentje moet het parcours zo snel mogelijk afleggen en bij het bereiken van de finish een visueel of auditief signaal geven. De totaalprijs van het ontwerp mag maximaal €80 bedragen.

Met behulp van een afstandssensor verzamelt de wagen informatie over de omgeving. De Arduino Uno-controller ontvangt de metingen. Daarna verwerkt deze de informatie en zendt dan weer aan de hand van computercode signalen uit naar de motoren en het stuurmechanisme zodat de wagen op de juiste baan blijft. Op deze manier kan de wagen autonoom een vooraf onbekend parcours afleggen, zoals de opdracht vereist.

In dit verslag zal in het eerste deel de definitieve conceptkeuze, met name het mechanische en elektronische ontwerp aan bod komen. Ook de materiaalkeuze voor de rover komt hier aan bod. De volgende sectie "Experimenten" bevat de ontwerpberekeningen en de uitgevoerde experimenten. Deze zijn ondersteund met informatie uit bijlagen A en B. Daarna volgt een bespreking van de resultaten van de demonstratie. Als laatste wordt het behalen van de deadlines besproken. Doorheen het verslag zullen er enkele belangrijke bevindingen aan bod komen. De theoretische optimale overbrengingsverhouding kan bijvoorbeeld niet behaald worden. De luchtweerstand is pas merkbaar bij hoge snelheden en kan dus verwaarloosd worden bij het rijden op het parcours.

## 2 Conceptkeuze en ontwerp

### 2.1 Materialen

### 2.2 Mechanisch

### 2.3 Elektronisch

### 2.4 AI

## 3 Experimenten

### 3.1 Rolweerstand

### 3.2 Luchtweerstand

### 3.3 Koppeloeverdracht

### 3.4 Animatiefilmpje

## 4 Resultaten demonstratie

## 5 Teamefficiëntie en deadlines

## 6 Discussie

## 7 Besluit

test 2

## 8 Bijlagen

### 8.1 Bijlage 1: Lijst van gebruikte symbolen

$m$  = massa

$g$  = valversnelling

$G$  = universele gravitatieconstante ( $6.6754 * 10^{-11} \frac{m^3}{s^2 * kg}$ )

$v$  = snelheid

$x$  = verplaatsing

$a$  = versnelling

$\mu$  = rolweerstandscoefficiënt

$Cd$  = luchtweerstandscoefficiënt

$F_{motor}$  = voortdrijvende kracht door motor

$F_{rol}$  = rolweerstand

$F_{lucht}$  = luchtweerstand

$\theta$  = hoek

$A$  = oppervlakte

$\rho$  = dichtheid

$\eta$  = overbrenging

$\omega$  = hoeksnelheid

$R$  = straal  
 $T$  = koppel van motor

## 8.2 Bijlage 2: Berekening rolweerstand

### 8.2.1 De rolweerstand op Aarde

Een belangrijke eigenschap van de Rover is de rolweerstand. Dit heeft een grote invloed in de efficiëntie van het rijden. Met een grote rolweerstand komt de wagen veel sneller tot stilstand dan bij een kleine rolweerstand. Het bepalen van de rolweerstand is niet moeilijk. Met behulp van een schuine plank is het mogelijk het verband te zoeken tussen de hoogte van waarop de wagen is losgelaten en de afstand die de wagen heeft afgelegd nadat het van de plank reed.

Wanneer de wagen boven op de plank staat, heeft het door de zwaartekracht een zekere potentiële energie.

$$E_{pot} = m * g * h \quad (1)$$

Wanneer de wagen naar beneden rolt, zet het die potentiële energie om in kinetische energie.

$$E_{kin} = \frac{m * v^2}{2} \quad (2)$$

Aan de onderkant van de helling is alles omgezet in kinetische energie. De snelheid  $v$  is nu te berekenen door de vorige 2 formules aan elkaar gelijk te stellen. Voor het berekenen van deze snelheid wordt de wrijving met de grond tijdens het rijden op de helling verwaarloosd. Dit is echter een redelijke veronderstelling doordat de wrijving zeer klein is ten opzichte van de zwaartekracht.

Terwijl de wagen verder rolt, verliest het deze energie door de wrijving met de grond. Uit de bewegingsvergelijking hieronder kan de versnelling  $a$  berekend worden.<sup>1</sup>

$$x = \frac{1}{2} * \left( \frac{-v}{a} \right)^2 + v * \left( \frac{-v}{a} \right) \quad (3)$$

Terwijl de wagen verder rolt, spelen er drie krachten op in. Dit zijn de zwaartekracht, de normaalkracht en de wrijvingskracht. Aangezien de wagen horizontaal rijdt, heeft alleen de wrijvingskracht invloed op de versnelling. Met behulp van het 2<sup>de</sup> Postulaat van Newton kan de rolweerstand bepaald worden.

$$F_{rol} = F_{res} = m * a \quad (4)$$

Ten slotte wordt de wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  bepaald met behulp van de definitie van de rolweerstand.

$$\mu = \frac{F_{rol}}{F_{normaal}} = \frac{F_{rol}}{m * g} \quad (5)$$

Om de onnauwkeurigheid van meetresultaten zo goed mogelijk te beperken, werd dit experiment zes keren herhaald. De definitieve wrijvingscoëfficiënt is het gemiddelde van de zes bekomen coëfficiënten. deze waarde bedraagt:

$$\mu = 0.067$$

---

<sup>1</sup>Deze vergelijking werd afgeleid door team 208 in P&O opdracht 3

### 8.2.2 De rolweerstand op Mars

Het vinden van de rolweerstand op Mars gebeurt op een zeer gelijkaardige manier als het vinden van de rolweerstand op Aarde. Het enige verschil is de gravitatieconstante  $g$ . Om de gravitatieconstante van Mars te berekenen, bestaat de volgende formule.

$$g = \frac{G * m_{Mars}}{(r_{Mars})^2} \quad (6)$$

Wanneer deze nieuwe gravitatieconstante ingevuld wordt in de vorige vergelijkingen, wordt de nieuwe rolweerstand

$$F_{rol} = 0.12N$$

## 8.3 Bijlage 3: Berekening luchtweerstand

Een ander belangrijke eigenschap van de rover is de luchtweerstand. Deze heeft maar weinig invloed bij lage snelheden, maar begint zeker mee te tellen zodra de snelheid stijgt. Het bepalen van de luchtweerstand gebeurt in twee stappen. Eerst wordt met behulp van een krachtenevenwicht een differentiaalvergelijking opgesteld en opgelost. Hiermee wordt de theoretische baan van de wagen berekend. Dit staat wel nog altijd in functie van een onbekende  $Cd$ , de luchtweerstandscoefficiënt.

Vervolgens wordt met behulp van video-analyse de feitelijke baan opgemeten. De werkelijke baan en de theoretische baan worden met elkaar vergeleken. Ten slotte wordt er een kleinste-kwadratische oplossing gezocht in voor  $Cd$ .

### 8.3.1 Theoretische baan

Wanneer de rover naar beneden rolt, werken er vier krachten op in, namelijk de zwaartekracht, de normaalkracht, de rolweerstand en de luchtweerstand. Voor het opstellen van de bewegingsvergelijking wordt de x-as evenwijdig met de helling gelegd. Zo is de versnelling alleen maar in de x-richting en moeten alleen maar de x-componenten van de krachten beschouwd worden.

$$F_{rol} = -\mu * m * g * \cos(\theta) \quad (7)$$

$$F_{lucht} = -\frac{1}{2} * \rho_{lucht} * A * Cd * \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \quad (8)$$

$$F_{zwaartekracht} = m * g * \sin(\theta) \quad (9)$$

De bewegingsvergelijking wordt dus

$$F_{zwaartekracht} - F_{rol} - F_{lucht} = m * \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) \quad (10)$$

Deze vergelijking kan opgelost worden in functie van  $Cd$ .

### 8.3.2 Feitelijke baan

## 8.4 Bijlage 4: Berekening ideale overbrenging

Wanneer de rover in beweging is, werken er in totaal drie krachten op in. Deze krachten zijn de voortedrijvende kracht door de motor, de wrijvingskracht door de rolweerstand en de wrijvingskracht door de luchtweerstand. De bewegingsvergelijking is dus:

$$F_{motor} - F_{rol} - F_{lucht} = m * a \quad (11)$$

De wrijvingskracht door de rolweerstand wordt bepaald met behulp van de volgende vergelijking.

$$F_{rol} = \mu * m * g \quad (12)$$

De wrijvingskracht door de luchtweerstand wordt bepaald met behulp van deze vergelijking.

$$F_{lucht} = \frac{1}{2} * \rho_{lucht} * C_d * A * v^2 \quad (13)$$

De aandrijvende kracht van de motor wordt verkregen met behulp van de volgende formule.

$$F_{motor} = \frac{\eta}{R_{wiel}} * \frac{T_{max} - (T_{max} * \frac{dx}{dt})}{\omega_{max} * R_{wiel}} \quad (14)$$

Door vergelijkingen 12, 13 en 14 in te vullen in vergelijking 11 kan de vergelijking volledig opgelost worden. Als beginvoorwaarden wordt de snelheid en de plaats van de wagen op tijdstip 0 gelijk gesteld aan 0. De oplossing van de vergelijking is een vergelijking met de tijd in functie van de onbekende  $\eta$ . Deze wordt geoptimaliseerd voor een minimale tijd om 2.5 meter af te leggen. De optimale overbrengingsverhouding blijkt na numeriek in te vullen gelijk te zijn aan  $\frac{1}{18}$

## 8.5 Bijlage 5: Technische tekening

## 8.6 Bijlage 6: Programmacode

## 8.7 Bijlage 7: Financiën

## 8.8 Bijlage 8: Ganttchart

## 8.9 Bijlage 9: Animatiefilmpje

## 8.10 Bijlage 10: Poster

# 9 Referenties

- [1] NASA. (3333) Nasa curiosity. Raadpleging: 2014-04-29. [Online]. Available: <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/interactives/learncuriosity/index-2.html>
- [2] ——. (2222) Nasa curiosity news. Raadpleging: 2014-04-29. [Online]. Available: <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-259>