



KU Leuven
Departement Computerwetenschappen

P&O: COMPUTERWETENSCHAPPEN

Tussentijdsverslag 3

Team:
Zilver

SAM GIELIS
SOPHIE MARIEN
TOON NOLTEN
NELE ROBER
GERLINDE VAN ROEY
MAXIM VAN MECHELEN

Academiejaar 2012 – 2013

Samenvatting

De robot wordt voor demo 1 nog niet voorzien van sensoren. De focus ligt vooral op de nauwkeurigheid van de besturing en op het implementeren van alle softwarecomponenten. Deze software bestaat uit twee projecten: een op de computer en een op de robot. De computersoftware bestaat uit een Grafical User Interface (GUI), enkele Communication klassen die informatie doorsturen en enkele klassen die de werking van de robot simuleren (simulator).

De sensoren worden voor demo 2 wel genstalleerd. Na calibratie kunnen ze informatie doorzenden naar de robot. Threads zorgen ervoor dat de robot tegelijkertijd sensorwaarden kan lezen doorsturen. De meetwaarden worden in de GUI weergegeven zodat een gebruiker de robot kan besturen zonder deze te zien. Bovendien is de simulator gekoppeld aan de robot. Wat de robot doet, doet de simulator ook en wordt getekend in de GUI. De simulator kan ook onafhankelijk van de robot opereren. Het is mogelijk een virtuele doolhof te laden en te simuleren dat de 'robot' zicht hierdoor beweegt. Zowel robot als simulator kunnen zich rechtzetten op een (virtuele) witte lijn).

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Bouw van de robot	2
2.1	Fysieke bouw	2
2.2	Calibratie van de motoren	3
2.2.1	Eén cm vooruit bewegen: bepalen van x	3
2.2.2	Volledig rond de as draaien: bepalen van y	4
2.3	Calibratie van de lichtsensor	5
2.4	Calibratie van de ultrasone sensor	5
3	Algoritmes	6
3.1	Het rijden van een veelhoek	6
3.2	Het rechtzetten op een witte lijn	7
4	Software	7
4.1	Software ontwerp	7
4.2	Het doorgeven van commando's	10
4.2.1	De bewerking op de integers	10
4.3	GUI	10
4.4	Bluetooth	11
4.5	Robot	12
4.6	Simulator	12
5	Besluit	12
A	Demo 1	14

1 Inleiding

In het kader van het vak 'Probleemoplossen en Ontwerpen: computerwetenschappen' wordt gewerkt rond autonome intelligente robots. Verschillende teams bouwen en programmeren een robot met behulp van LEGO Mindstorms. Deze robot moet uiteindelijk volledig autonoom een doolhof kunnen verkennen.

Op de derde demonstratie kan de robot alle taken van de vorige demonstratie nog steeds uitvoeren. De robot kan zich volledig autonoom voortbewegen. Wanneer de robot zich in een doolhof voortbeweegt, kan hij deze in kaart brengen. Bij het inlezen van barcodes voert de robot een bepaalde opdracht uit. Op het moment dat de volledige doolhof is ingelezen, bepaalt de robot de kortste weg naar zijn beginpositie en rijdt hier in hoge snelheid naartoe.

2 Bouw van de robot

LEGO Mindstorms¹ biedt een bouwpakket voor een robot aan. Een NXT-microcomputer laat toe de robot te programmeren met Java.

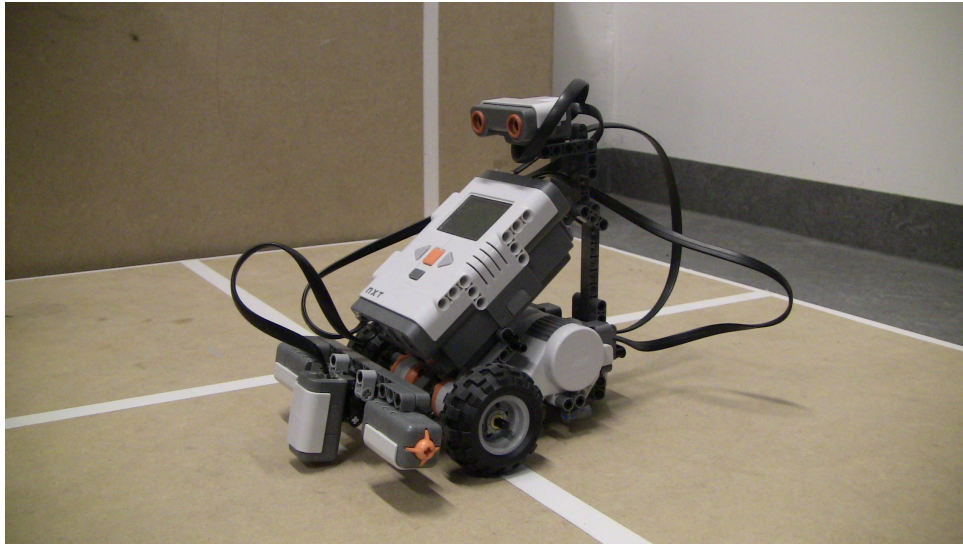
2.1 Fysieke bouw

Bij het bouwen van de robot (zie figuur 1) werd het ontwerpboekje gevolgd dat bij het bouwpakket geleverd zat. Deze compacte samenstelling leek geen directe nadelen te hebben. Twee grote wielen worden elk met hun eigen motor aangestuurd. Kleine wielen achteraan zorgen voor meer stabiliteit en worden niet aangedreven. De sensoren werden als volgt geïmplementeerd:

- *lichtsensor*: vooraan en dicht tegen de grond.
- *ultrasone sensor*: bovenaan, naar voren kijkend. De sensor staat vast gemonteerd.

¹*Lego Mindstorms*: Een uitbreiding op de LEGO bouwstenen waarmee kleine, aanpasbare en programmeerbare robots gebouwd kunnen worden. Een centrale besturingsmodule ('the brick') kan geprogrammeerd worden met verschillende programmeertalen. In eerdere versies werd een RCX gebruikt voor de brick, nu wordt met NXT gewerkt. De brick kan enkele motoren aandrijven. Bovendien kunnen er verschillende sensoren, o.a. een ultrasone sensor en een lichtsensor, aangesloten worden. [www.lego.com] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lego-Mindstorms]





Figuur 1: Robot



(a) Ultrasonische sensor

(b) Licht- en Druksensor

- *druksensoren*: aan beide zijanten, één aan de linkerkant en één aan de rechterkant.

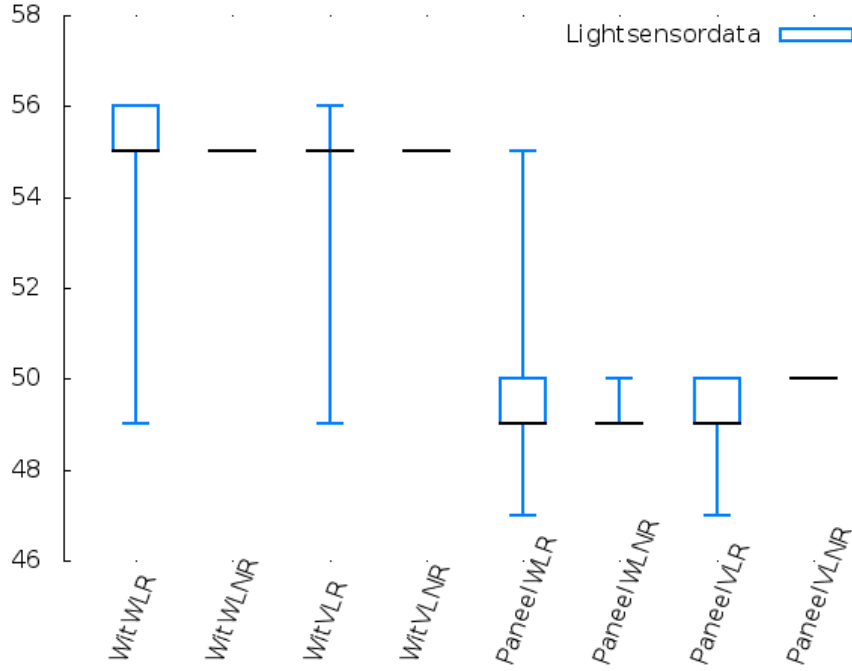
Een alternatieve opstelling bestaat erin de NXT plat te leggen met ernaast de twee grote wielen. Op deze manier kan de ultrasone sensor op een extra motor gemonteerd worden zodat onafhankelijk van de robot kan ronddraaien. Deze opstelling vraagt echter om een nieuwe calibratie. Bovendien kan deze opstelling tot extra afrondingsfouten leiden. Omdat het voorlopig niet noodzakelijk is dat de ultrasone sensor kan ronddraaien, werd niet voor deze opstelling gekozen.

2.2 Calibratie van de motoren

De robot wordt aangedreven door twee motoren, elk verbonden met één van de twee wielen. De aansturing gebeurt door te bepalen hoeveel graden de wielen moeten draaien. Beide wielen kunnen onafhankelijk ingesteld worden. De robot kan één cm vooruit bewegen (beide wielen draaien x aantal graden in dezelfde richting) en rond zijn as (beide wielen draaien y aantal graden in tegengestelde richting). De resultaten van de calibratie worden weergegeven in tabel 1. Het bepalen van parameters x en y gebeurt als volgt:

2.2.1 Eén cm vooruit bewegen: bepalen van x

Een schatting voor x via de diameter van het wiel, waarbij x voor het aantal graden staat en de diameter in centimeter:



Figuur 2: Boxplot meetwaarden motoren

$$x_0 \approx \frac{360}{\pi \cdot diameter}$$

De parameter x kan verder bepaald worden via tests. De robot rijdt naast een lintmeter tien keer tien cm af. De wielen draaien met andere woorden tien keer $10 \cdot x$ graden. De totale afwijking (in centimeter) op deze volledige meter is de som van alle afwijkingen op tien centimeter. Wanneer in één keer één meter wordt gereden is de totale afwijking kleiner.

Uit de test blijkt dat de robot een afwijking naar links heeft bij het rechtdoor rijden.

2.2.2 Volledig rond de as draaien: bepalen van y

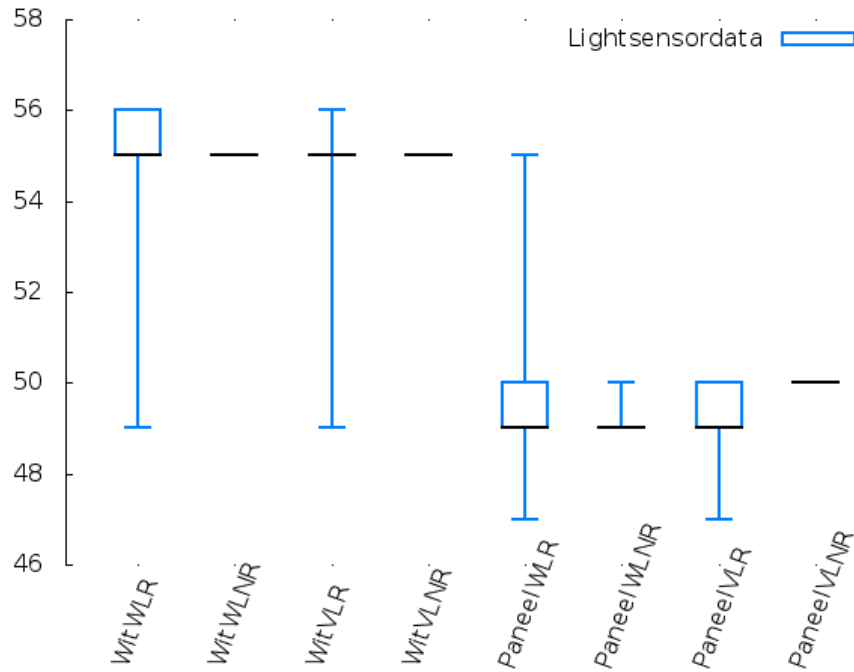
Een schatting voor y via de diameter van het wiel, met y in aantal graden en de as (afstand tussen beide wielen) en de diameter in centimeter:

$$y_0 \approx \frac{(2 \cdot \pi) \cdot (as_{robot}/2)}{diameter_{wiel}/2}$$

Om de robot om zijn as te laten draaien, bewegen de beide wielen in tegengestelde richting. De robot wordt naast een lijn geplaatst. De parameter wordt aangepast tot de robot na het draaien opnieuw precies naast de lijn uitkomt.

	linkerwiel	rechterwiel	aantal graden
1 cm vooruit	voor	voor	20,8°
1 cm achteruit	achter	achter	20,8°
180° draaien linksom	achter	linker	701°
180° draaien rechtsom	voor	achter	701°

Tabel 1: Resultaten calibratie motoren



Figuur 3: Boxplot meetwaarden lichtsensor

2.3 Calibratie van de lichtsensor

De lichtsensor meet de lichtintensiteit van de omgeving. De sensor kan zelf ook een rood licht uitsturen. Hoe meer dit licht geabsorbeerd wordt door de omgeving, hoe donkerder de omgeving. Op deze manier kunnen de meetwaarden geïnterpreteerd worden als witte of zwarte lijnen.

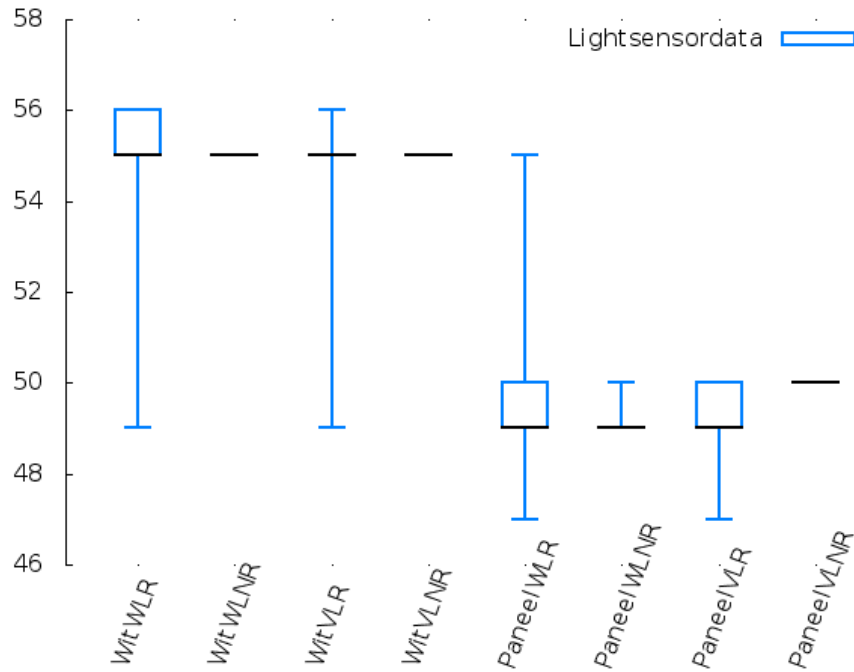
De lichtsensor wordt in verschillende omstandigheden getest: bij direct kunstlicht (VL - veel licht), in de schaduw (WL - weinig licht), terwijl de robot rijdt (R - rijdend) en terwijl hij stilstaat (NR - niet rijdend). Dit voor alle soorten ondergrond: een paneel, een witte lijn of een zwarte lijn. De resultaten van deze metingen laten toe de lichtsensorwaarden te interpreteren en te simuleren. Een boxplot wordt weergegeven in figuur 3. Deze toont dat het gemiddelde weinig afhangt van de omstandigheden. De afwijking wordt echter sterk bepaald door het feit of de robot rijdt of stilstaat.

2.4 Calibratie van de ultrasone sensor

Een ultrasone sensor zendt ultrasone geluidsgolven uit. De golven weerkaatsen op een object dat zich binnen het bereik bevindt. Bij ontvangst van zijn eigen geluidsgolven, weet de robot dat er een object in de buurt is.

In het kader van een doolhof, kan een robot muren tegenkomen als objecten. Maar ook de paaltjes, die de muren omhoog houden, worden als object gedetecteerd. Om een onderscheid te maken tussen de paaltjes en de muren, dient de meetwaarde pas geïnterpreteerd worden wanneer de sensor aangeeft dat hij zich op 20 cm van een object bevindt. In dat geval kan het object veilig als muur genterpreteerd worden. Deze veiligheidsmarge werd vastgelegd op basis van testen.

De afwijking van de ultrasone sensor wordt gemeten door de robot op 30 cm van een muur te zetten en de bekomen meetwaarden te interpreteren. De robot staat in eerste instantie loodrecht ten opzichte van de muur en vervolgens met een afwijking van 20° van deze loodrecht stand. Een boxplot van de meetwaarden wordt weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Boxplot meetwaarden ultrasone sensor

3 Algoritmes

Verschillende algoritmes zorgen ervoor dat de robot alle opdrachten kan uitvoeren.

3.1 Het rijden van een veelhoek

De robot en de simulator kunnen beiden een veelhoek rijden. Het aantal hoeken en de lengte van de zijden kunnen via de GUI ingesteld worden. De robot en de simulator rijden een afstand, draaien een bepaald aantal graden rond hun as, rijden weer dezelfde afstand,... Tot de volledige veelhoek gereden is. Enkele parameters zijn van belang:

- *aantal keer dat de stappen moeten worden uitgevoerd*, *amtOfAngles*: aantal hoeken van de veelhoek.
- *afstand per stap*, *lengthInCM*: zijde van de veelhoek.
- *aantal graden per stap*, *angle*: 360 gedeeld door het aantal hoeken van de veelhoek.

Om een stap uit te voeren wordt een commando gestuurd naar de *CommandToUnit*. Dit is een integer bestaande uit twee delen. De eenheden staan voor het soort commando. De tientallen en de honderdtallen geven aan hoeveel centimeter de robot vooruit moet bewegen of hoeveel graden hij moet draaien.

Listing 1: Veelhoek algoritme (pseudocode)

```

1 AmtOfAngles
2 LengthInCM
3
4 Angle = (360.0/amtOfAngles)*100
5 Voor i van 0 tot amtOfAngles
6     Beweeg lengthInCM vooruit
7     Draai angle

```

3.2 Het rechtzetten op een witte lijn

De robot en de simulator kunnen zich loodrecht oriënteren op een witte lijn. Het algoritme kan gebruikt worden wanneer de robot vlak bij een witte lijn staat (wanneer hij volledig rond zijn as draait zou hij de witte lijn moeten passeren). Het idee achter het algoritme (in pseudocode)

Listing 2: Witte Lijn algoritme (pseudocode)

```
1 AngleTurned = 0
2 WheelAngle = 5
3
4 Draai naar rechts (wielen draaien WheelAngle graden).
5 Als op witte lijn: naar volgende stap.
6 Anders: naar vorige stap.
7
8 Draai naar links (wielen draaien WheelAngle graden)
9     en verhoog AngleTurned met WheelAngle.
10 Als op witte lijn: naar volgende stap.
11 Anders: naar vorige stap.
12
13 Draai AngleTurned/2 naar rechts.
```

4 Software

De software bestaat uit twee delen: een project dat op de NXT van de robot loopt en een project dat op de computer loopt. Alles wordt aangestuurd via de Graphical User Interface (GUI). Deze toepassing laat toe de robot te besturen (via bluetooth) en de reacties van de robot te simuleren met de simulator. Een Communication-pakket stuurt de commando's van de GUI door naar de juiste unit. De simulator kan gebruikt worden om de software op te testen zonder telkens op de robot te moeten wachten.

4.1 Software ontwerp

Zoals reeds vermeld bestaat de software uit twee projecten: één draait op een computer en één draait op de NXT-Brick. Figuren 4 en 5 tonen een klassendiagram.

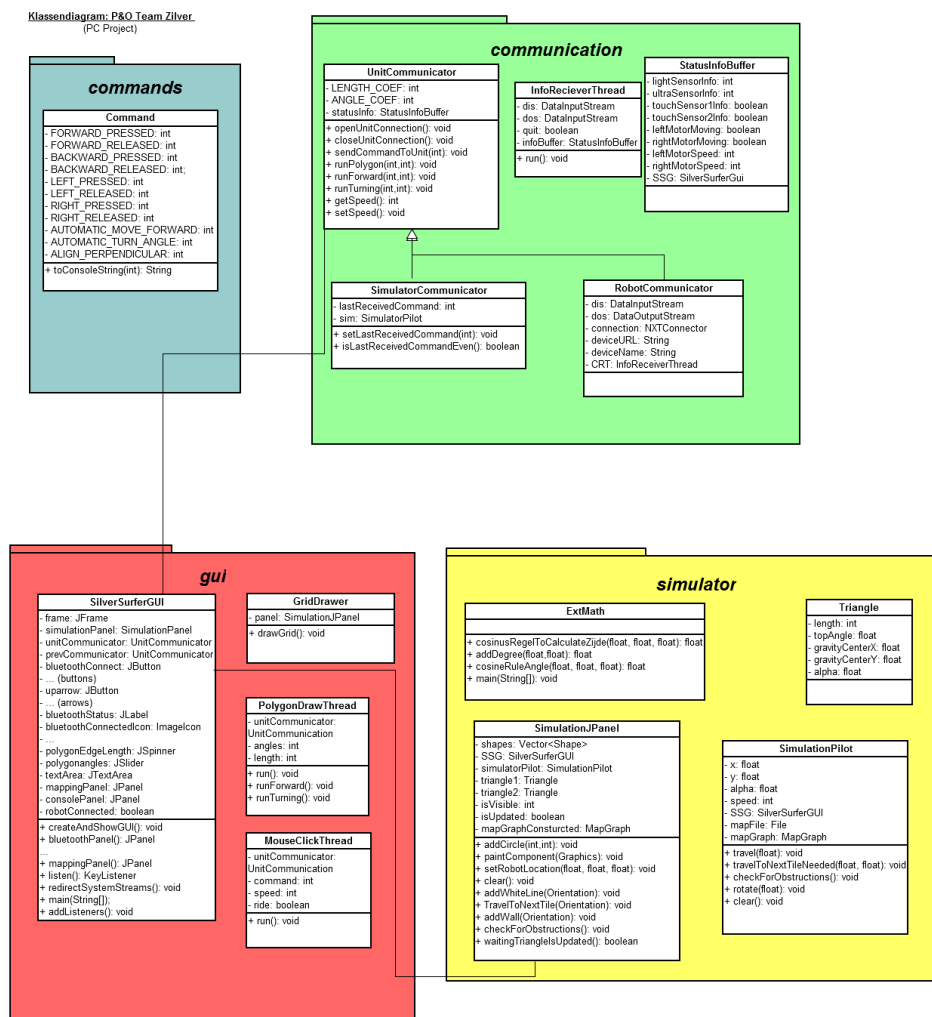
Beide projecten hebben een identiek package *commands* met één klasse *Command*. Hierin staan de final static integers die met de mogelijke bluetoothsignalen overeenkomen. Een verdere beschrijving van de software op de NXT-brick wordt in de sectie robot gegeven.

Het computerproject heeft nog 4 andere packages: *communication*, *gui*, *simulator* en *mapping*. De klasse *SilverSurferGUI* uit de package *gui* implementeert de GUI. De GUI communiceert met de simulator of de robot via de klassen in het package *communication* door een object van de superklasse *UnitCommunicator* bij te houden. Aan deze *UnitCommunicator* is een object van de subklassen *RobotCommunicator* of *SimulatorCommunicator* toegekend. Zo worden de commands dynamisch naar de juiste unit gestuurd: de *RobotCommunicator* communiceert met het NXT-Project, de *SimulatorCommunicator* met de simulator klassen.

Andere klassen van de package *gui* zijn: *MouseClickedThread*, *PolygonDrawThread*, *RunForwardThread* en *TurnAngleThread*. De vier Threads zorgen ervoor dat het tekenen van de baan van de robot de rest van het programma niet stillegt.

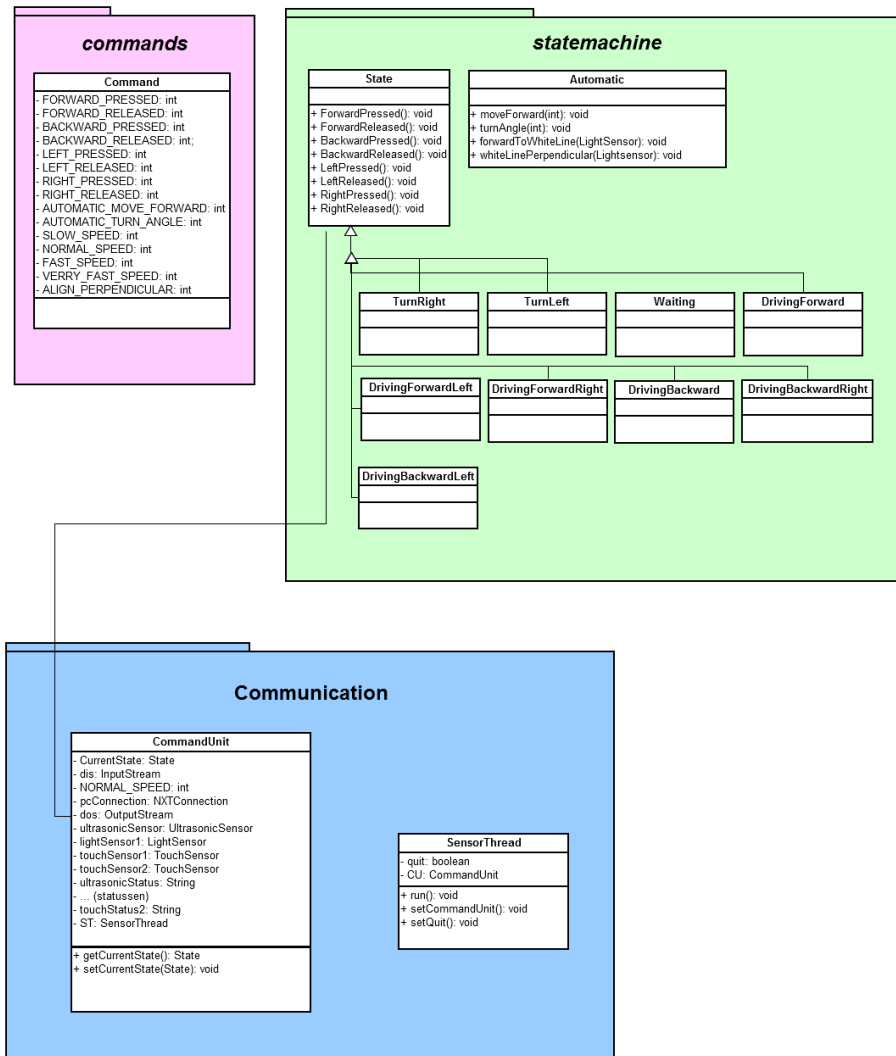
Het package *simulator* implementeert de functionaliteit van de simulator.

Het *mapping-package* heeft klassen zoals *Tile*, *Edge*, *Obstruction*, *Barcode*, ... die elementen uit de wereld van een robot voorstellen. Een tile stemt overeen met één tegel van het doolhof en heeft vier edges: één voor elke zijde. Die edges houden de twee aanliggende tegels bij en eventueel een Obstruction, bijvoorbeeld een muur. De klasse *MapGraph* brengt al deze elementen samen. Het houdt een begin-tegel bij en een huidige-tegel. Het biedt functionaliteiten aan om van de huidige tegel naar de tegel Noord, Oost, Zuid of West ervan te reizen en de map dynamisch uit te breiden. Zo wordt impliciet een hele graaf bijgehouden die dynamisch kan aangevuld worden. De klasse *MapReader* kan uit een bepaalde textfile een MapGraph opstellen die overeenkomt met het doolhof dat in het bestand gedefinieerd wordt.



Figuur 5: Klassendiagram van de software die op de PC loopt

Klassendiagram: P&O Team Zilver
(PC Project)



Figuur 6: Klassendiagram van de software die op de robot loopt

4.2 Het doorgeven van commando's

De GUI zet een actie van de gebruiker om in een commando. Dit commando wordt gerepresenteerd door een integer dat naar de *UnitCommunicator* wordt gestuurd. Twee van de commando's hebben echter extra informatie nodig: *automatic move x cm forward* en *rotate x degrees*. Deze informatie wordt toegevoegd aan de integer door de integer uit te breiden met extra cijfers (dit wordt in de volgende sectie in detail beschreven).

De *UnitCommunicator* stuurt de bekomen integer door naar ofwel de *RobotCommunicator* ofwel de *SimulatorCommunicator*. Deze zetten de integer weer om in de juiste actie van respectievelijk de robot en de simulator. De wijze waarop dit gebeurt, verschilt licht voor beide gevallen. Zo stuurt de *RobotCommunicator* zijn commando's via Bluetooth door naar de NXT-brick, terwijl de *SimulatorCommunicator* zo'n verbinding niet nodig heeft.

4.2.1 De bewerking op de integers

Integers stellen de commando's voor. In twee gevallen is echter meer informatie nodig: om de robot een bepaalde afstand te laten afleggen en om de robot een bepaald aantal graden te laten draaien. Deze afstand en dit aantal graden moet mee doorgegeven worden met de integer. De eenheden waarin de afstand en de hoek worden doorgestuurd zijn respectievelijk cm en graden.

De doorgegeven integer wordt als volgt opgebouwd:

- de waarde van de afstand (hoek) wordt vermenigvuldigd met 1000.
- de integer die het commando representeert, wordt hierbij opgeteld.

Om de bekomen resultaten terug op te splitsen in de twee oorspronkelijke gegevens worden volgende stappen gevolgd:

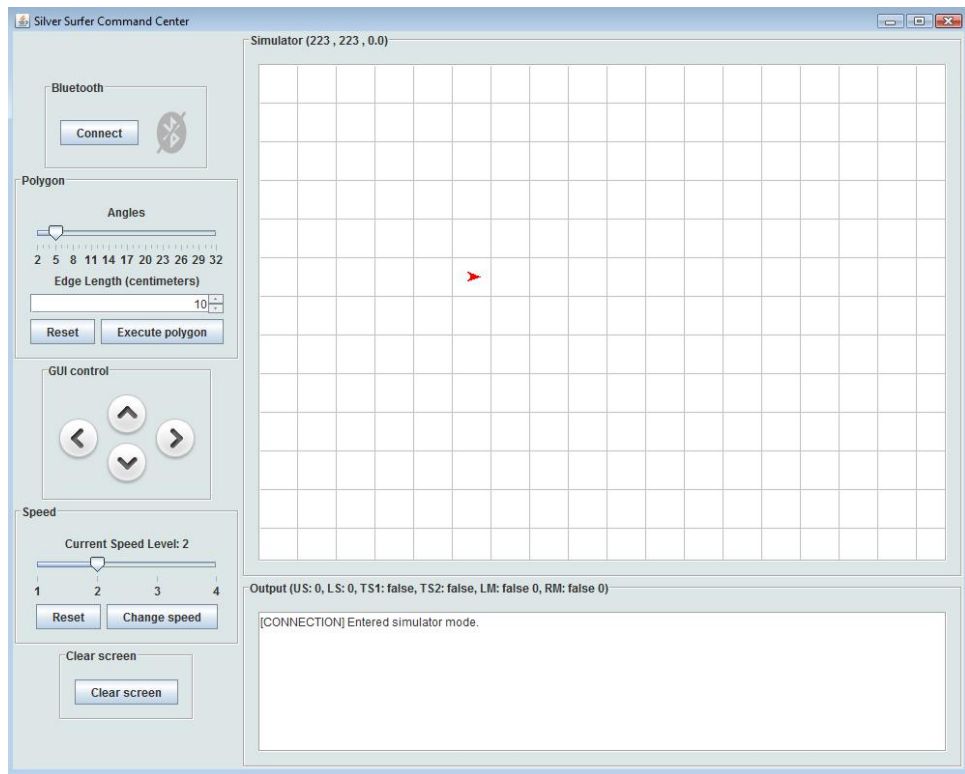
- een modulo-operatie van tien geeft het laatste cijfer terug. Dit stelt het soort commando voor.
- dit getal wordt van de integer terug afgetrokken.
- de oorspronkelijke afstand (hoek) wordt bekomen door de integer door 1000 te delen.

Deze werkwijze brengt een beperking met zich mee: de waarde van de afstand (hoek) kan slechts tot 2 cijfer(s) na de komma doorgegeven worden. De robot kan niet nauwkeuriger dan 0,1 cm aangestuurd worden. Hierdoor is het niet nodig de afstand nauwkeuriger door te geven. De nauwkeurigheid van de hoek is gevoeliger. De veelhoek stapelt immers veel afrondingsfouten op naarmate de lengte van de zijde en/of het aantal hoeken stijgt. Doordat de begin- en eindpunten niet samen vallen is te zien dat de som van de berekende hoeken samen geen 360 graden vormt.

4.3 GUI

De GUI bestaat uit twee vensters, enkele knoppen, een menubar en enkele instelmogelijkheden: zie figuur 7. Deze knoppen besturen ofwel de robot en de simulator ofwel enkel de simulator, naargelang de bluetooth verbinding aan staat. In deze sectie wordt verder enkel de robot vermeld. Dezelfde functionaliteiten gelden echter ook voor de simulator.

- *onderste venster*: debuginformatie van de robot.
- *bovenste venster*: tekent de baan van de robot. In latere demo's geeft dit venster ook de doolhof weer.
- *bluetooth connectieknop*: zet de verbinding aan of uit. Het icoontje ernaast verandert naargelang de status van de verbinding.
- *veelhoekinstellingen*: stellen de parameters van de veelhoek in. De 'Execute'-knop doet de robot een veelhoek rijden.



Figuur 7: Grafische User Interface

- *pijltjestoetsen*: besturen de robot manueel.
- *snelheidsinstellingen*: hiermee kan de snelheid van de robot aangepast worden.
- *clearknop*: wist de baan van de robot.
- *moveknop*: rij een bepaalde afstand vooruit of achteruit.
- *turnknop*: draai 90 graden naar rechts.
- *menubar*: submenu 'File' biedt de mogelijkheid om een doolhof-bestand te selecteren en in te lezen. Submenu 'Bluetooth' heeft dezelfde functionaliteit als de bluetooth-knop.

Twee parameters bepalen de veelhoek die de robot rijdt: het aantal hoeken van de figuur en de lengte van de zijden. Een JSlider laat toe het aantal hoeken in te geven. Dit geeft de mogelijkheden overzichtelijk weer. Bovendien kan zo het bereik beperkt worden tot 30. Bij een groter aantal hoeken, streeft een veelhoek immers naar een cirkel. Het bereik van de lengte van de zijden is groter: van één centimeter tot een onbeperkte grootte. Hierdoor is het een betere optie om voor JSpinner te kiezen. Met de clearknop kan men het venster weer leeg maken. Hierbij wordt de positie van de robot behouden. Voor de moveknop is er een Jslider voorzien net zoals voor de polygonDraw. Hiermee kan de afstand ingesteld worden dat de robot naar achter of naar voor moet rijden.

4.4 Bluetooth

De communicatie tussen robot en computer gebeurt volledig via bluetooth. De GUI voorziet een knop om deze verbinding te maken en geeft de status van de verbinding weer. De GUI stuurt commando's door naar de robot via de klassen *UnitCommunicator* en *RobotCommunicator*.

De leJOS-API² voorziet de *NXTConnector* klasse. De methode *connectTo*((*String*, *String*, *int*, *int*) zet de bluetoothverbinding tussen computer en brick op. De belangrijkste argumenten hiervoor zijn de naam van de NXT-Brick en zijn *DeviceUrl* - in het geval van de gebruikte NXT: 'Silver' en '00:16:53:0A:04:5A'.

4.5 Robot

Een *Finite State Machine* geeft de robot een concreet uitvoeringsschema. Een object van de klasse *CommandUnit* houdt een *currentState* bij - een object van de superklasse *State*. Negen subklassen verzorgen het nodige onderscheid: *Waiting*, *DrivingBackward*, *TurnLeft*, *DrivingRightForward*, en één speciale toestand: de klasse *Automatic*. De *CommandUnit* ontvangt commando's via bluetooth. De *CommandUnit* wijzigt de *currentState* naar een nieuw object van een *State*-subklasse. De constructoren van elke subklasse passen het gedrag van de motoren aan bij de overgang naar de bepaalde state. Bijvoorbeeld: De robot staat stil en zijn *currentState* is *Waiting*. Als de gebruiker de robot voorwaarts wil laten gaan, drukt hij de up-toets in. De *CommandUnit* wijzigt de *currentState* van de robot naar *currentState.ForwardPressed()*. Dit levert een *currentState* van het type *DrivingForward* op. De robot beweegt voorwaarts. Tot slot is er de klasse *Automatic*. Deze heeft vier methoden: *turnAngle(int)*, *driveForward(int)*, *forwardToWhiteLine(LightSensor)* en *whiteLinePerpendicular(LightSensor)*. De *CommandUnit* roept deze methoden op met argumenten die hij geparsed heeft uit de informatie van de ontvangen signalen, zoals beschreven in sectie 4.2.

4.6 Simulator

De simulator bootst de werking van de robot virtueel na. Hij kan dezelfde commando's uitvoeren als de werkelijke robot. De GUI stuurt de simulator aan via de klassen *UnitCommunicator* en *SimulatorCommunicator*. Deze ontvangen de uit te voeren commando's, analyseren ze en sturen ze door naar de simulator.

De simulator zelf bestaat uit vier klassen:

- *SimulationPilot*: houdt de positie en de richting van de 'robot' bij.
- *SimulationPanel*: tekent de baan van de 'robot' in het tekenpaneel.
- *GridDrawer*: zet het grid op.
- *Triangle*: berekent de hoekpunten van de driehoek die de 'robot' voorstelt.
- *ExtMath*: doet enkele berekeningen.

Het opzetten van het tekenpaneel gebeurt in de klasse *SilverSurferGUI*. De klasse *GridDrawer* voegt hier een grid aan toe. De roosters hebben dezelfde afmetingen als de secties van de panelen. Zo kan een muur enkel op een lijn van het grid staan. Wanneer de 'robot' een pad aflegt, tekent de simulator dit in het tekenpaneel als een rode lijn (herschaald: één cm = één pixel). De lijn bestaat uit verschillende cirkels die elkaar gedeeltelijk overlappen. Het *SimulationPanel* houdt alle bezochte coördinaten bij. De klasse bevat een methode die deze cirkels één na één tekent. Dit zorgt ervoor dat de lijn continu bijgewerkt wordt. De huidige positie en de huidige orientatie van de 'robot' wordt bovenaan het simulatorpaneel in de GUI weergegeven.

5 Besluit

De uiteindelijke fysieke bouw van de robot bestaat uit de NXT, de wielen met aandrijvingen, een ultrasone sensor, een lichtsensor en twee druksensoren. De calibratie van de robot zorgt ervoor dat hij precies aangestuurd kan worden en dat de sensoren waarden teruggeven die overeenkomen met de werkelijkheid. De GUI gebruikt een eenvoudige interface en bevat knoppen waarmee de robot handmatig bestuurd kan worden. Door het ingeven van parameters in de GUI kan de robot een willekeurige veelhoek rijden.

²*leJOS*: Een kleine Java Virtuele Machine die toelaat de NXT-brick te programmeren. leJOS voorziet verschillende klassen die o.a. de motoren aansturen en een bluetoothverbinding opzetten. [<http://lejos.sourceforge.net/>]

De uitleeswaarden van de sensoren vertellen de gebruiker wat de robot 'ziet'. Op deze manier krijgt de gebruiker een idee over de doolhof waar de robot in rijdt. Bovendien kan de robot zich loodrecht oriënteren op een witte lijn. De simulator is ook verbonden aan de GUI. Deze voert dezelfde opdracht uit als de robot. Het is mogelijk een virtueel doolhof te laten en de simulator hier in te laten 'rijden'. De simulator is handig om testen op uit te voeren, zonder steeds op de robot te moeten wachten.

A Demo 1

De robot wordt voor demo 1 nog niet voorzien van sensoren. De focus ligt vooral op de nauwkeurigheid van de besturing en op het implementeren van alle softwarecomponenten. Deze software bestaat uit twee projecten: een op de computer en een op de robot. De computersoftware bestaat uit een Grafical User Interface (GUI), enkele Communication klassen die informatie doorsturen en enkele klassen die de werking van de robot simuleren (simulator).

A.1 Resultaten

Bij het rijden van de veelhoek had de robot een kleine afwijking. De afwijking werd groter bij grotere veelhoeken en meerdere hoeken om wille van de geaggregeerde fout.

A.2 Conclusies

Calibratie moet meer getest worden. De GUI kan gebruiksvriendelijker, ook moet het scherm van de simulator herschaald worden, zodat de lijn van simulator nog wordt weergegeven als de simulator van de robot uit het scherm gaat.

A.3 Oplijsting aanpassingen verslag

Volgende secties werden aangepast ten opzichte van de eerste demonstratie:

- *2.1 Fysieke bouw:* de sensoren werden toegevoegd.
- *2.2 Calibratie van de motoren:* opnieuw gedaan.
- *2.3 Calibratie van de lichtsensoren:* nieuwe sectie.
- *2.4 Calibratie van de ultrasone sensor:* nieuwe sectie.
- *3.1 Het rijden van een veelhoek:* nieuwe sectie.
- *3.2 Het rechtzetten op een witte lijn:* nieuwe sectie.
- *4.1 Software ontwerp:* enkele nieuwe klassen en mapping-package.
- *4.3 GUI:* enkele nieuwe functionaliteiten.
- *4.6 Simulator:* grid en triangle, virtuele doolhof.