

UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

ZOEKEN, STUREN EN BEWEGEN

Guitar Assist: Robotische assistentie voor gitaristen

Technisch Rapport
Zoeken, Sturen en Bewegen

Dries Fransen, Ko Schoemaker,
Martine Toering en Ninande Vermeer

30 juni 2017

Abstract

Het bespelen van een instrument is een menselijke activiteit. In het bereiken van het doel om uiteindelijk een menselijke robot te creëren is het van belang onderzoek te doen naar robotische assistentie bij dit soort menselijke activiteiten. Daarnaast is het mogelijk om zo meer inzicht te vergaren in menselijke interactie met robots. Het doel is om te onderzoeken in hoeverre het mogelijk is om gebruik makend van LEGO Mindstorm EV3 een muzikant te assisteren bij het bespelen van de gitaar. Mede door de beperkingen die de LEGO Mindstorms met zich mee brengen en de omvang en instabiliteit van de ontwikkelde Guitar Assist is het assisteren van een gitarist met deze constructie beperkt gebleken. De Guitar Assist heeft echter een functionele werking.

Inleiding

Robotische musici bestaan in allerlei vormen. In het vakgebied van robotica en muziek is er grofweg een onderscheid te maken tussen machines die algoritmes ontwikkelen voor de perceptie en compositie van muziek en fysieke systemen die instrumenten kunnen bespelen. (Bretan en Weinberg 2016, Kapur 2005). Een categorie binnen deze laatste toepassing wordt gevormd door robots die geschikt zijn voor het assisteren van mensen bij het maken van muziek. De gitaar is een zeer populair instrument, waarvoor deze laatste categorie van robots erg nuttig kan zijn. Assistentie bij het bespelen van de gitaar kan noodzakelijk zijn voor mensen met een lichamelijke beperking om de gitaar te kunnen bespelen. Daarnaast kunnen het ontwerp en de functionaliteit van de robotassistent dienen als leermiddel voor beginnende gitaristen.

Er bestaan verschillende robotische hulpmiddelen voor gitaristen. Zo is er een apparaat ontwikkeld, FINGER (Finger INdividuating Grasp Exercise Robot), dat vingertherapie kan geven aan patiënten die een beroerte hebben gehad. Het apparaat helpt bij het maken van natuurlijke grijpbewegingen van de individuele vingers en is vooral handig bij taken waarbij timing erg belangrijk is, zoals een instrument bespelen.

FINGER is getest op het videospel Guitar Hero, een spel waarbij men een versimpelde versie van een fysieke gitaar bespeelt (Taheri e.a. 2012). De RoboTar is een soort robohand die op een bepaalde plek vastzit aan de hals van de gitaar. RoboTar kan op die manier assisteren bij de vingerzetting die onderdeel is van gitaar spelen. Het maakt gebruik van software om met een voetpedaal een bepaald akkoord te spelen (Mack g.d.).

In de robotica en de kunstmatige intelligentie is ontwikkeling van robotische assistentie bij puur menselijke activiteiten als musiceren gewenst. Onderzoek binnen dit vakgebied levert meer inzicht in de interactie tussen mens en robot en geeft aan hoe de programmatuur van robots aangepast kan worden om de mens met een meer natuurlijk gevoel te laten werken met robots.

Het doel van dit onderzoek is om antwoord te geven op de vraag: in hoeverre is het mogelijk een muzikant bij het gitaar spelen te assisteren, gebruikmakend van LEGO Mindstorm EV3 Set? De Guitar Assist (GA) zal hiervoor worden ontwikkeld om de vingerzettingen op de hals van de gitaar uit te voeren. De GA zal zich hiervoor op de hals van de gitaar bevinden. De gitarist die wordt geassisteerd zal zelf

de snaren moeten aanslaan. Op grond van de waarneming dat er reeds een gitaarspelende robot is gemaakt van LEGO Mindstorm (<https://www.youtube.com/watch?v=cXgB31IvPHI>), is het vermoeden ontstaan dat het mogelijk is een gitaarassistent te creëren bestaande uit LEGO Mindstorm onderdelen. De GA zal werken via het inlezen van tabs (een manier van gitaarnotatie vergelijkbaar met notenschrift) en het spelen van losse noten door middel van een draaimechanisme. De toepassing van robots bij het bespelen van de gitaar wordt zo benaderd op een nieuwe wijze. De combinatie van zowel robotische als menselijke bijdragen om tot muziek als eindresultaat te komen is eveneens vernieuwend. Uit het onderzoek zal blijken of alleen het aanslaan van noten of ook het inlezen van tabs mogelijk is bij het assisteren van gitaristen. Dit zal men nieuwe inzichten geven in het robotisch assisteren bij muziek.

Methode

Fretten zijn langwerpige stukken metaal op een gitaar die over de breedte van de hals zijn geplaatst. Door een snaar in te drukken op een fret wordt de snaar ingekort. De GA beperkt zich tot het voortbewegen over de hals van fret 1 tot en met fret 9. De reden hiervoor is dat de hals van de gitaar dikker wordt richting de body van de gitaar en dat de GA niet verder kan rijden door de behuizing van de body.

Algoritme

Het hoofdonderdeel van de code is het schrijven van de instructies voor de EV3. Hieronder volgt de pseudocode. Bij het lezen van deze code is het belangrijk om te beseffen dat 'string' hier dient te worden geïnterpreteerd als 'snaar', en niet als een serie letters.

```
Function write_instructions(tab, bpm)
  For measure in range(total_measures):
    For count in range(counts_in_measure):
      For string in range(number_of_strings):
        If selected_tab_element != '-':
          to_fret(selected_tab_element)
          press_string(string)
          sleep(60\BPM)
        EndIf
      EndFor
    EndFor
  EndFor
  move_to_original_position()
EndFunction
```

Functies

De code die is gebruikt bevat zes functies.

1. **distance_between_frets:**

Deze functie neemt als argumenten het nummer van de huidige fret, het nummer van de volgende fret en de lengte van de eerste fret. De functie rekent de afstand tussen de huidige en de volgende fret uit door de afstand van beide fretten tot de eerste fret uit te rekenen en die afstanden vervolgens van elkaar af te trekken. De afstand van een fret naar de volgende fret kan worden uitgerekend door de lengte van de huidige fret te delen door $\sqrt{2}$. Als de lengte van de eerste fret bekend is kan met een for-loop alle daaropvolgende lengtes van fretten worden berekend.

2. move_to_fret:

Deze functie neemt dezelfde argumenten als `distance.between frets` en gebruikt die functie om de te bewegen afstand uit te rekenen. Vervolgens wordt, rekening houdend met de omtrek van de wielen van de GA, de rotatie die de motoren moeten maken uitgerekend en uitgevoerd. De motoren kunnen op drie verschillende manieren stoppen met draaien: `brake` (de motor remt en stopt dus meteen met draaien), `coast` (de motor draait uit tot hij op natuurlijke wijze tot stilstand komt) en `hold` (de motor remt en houdt de rem ingedrukt tot er nieuwe instructies komen). Bij de GA is ervoor gekozen om overal 'hold' te gebruiken, aangezien alle posities vastgehouden moeten worden totdat er een snaar aangeslagen is.

3. get_turn_rotation:

Deze functie neemt als argumenten de naam van de huidige snaar ("E" bijvoorbeeld) en de naam van de volgende snaar en rekent vervolgens met gegeven parameters uit hoeveel de GA moet draaien om de volgende snaar te selecteren.

4. press_string:

Deze functie neemt als argumenten de naam van de huidige snaar, de naam van de volgende snaar en de snelheid van het nummer in Beats Per Minute (BPM). Vervolgens roept deze functie `get_turn_rotation` aan met de huidige en de volgende snaar, waarna de functie de motoren aanstuurt. Eerst draait de motor naar de volgende snaar, dan draait de motor een stuk terug om de snaar in te drukken, en als laatste draait de motor weer om de snaar los te laten. Bij al deze rotaties wordt als manier

om te stoppen 'hold' gebruikt, omdat elke positie vastgehouden moet worden. Tussen elke draaiing van de motor zit een pauze die afhankelijk is van de BPM. Deze pauze is om de motor tijd te geven om de draaiing uit te voeren.

5. read_tab:

De GA met tabs. Een tab wordt geschreven en verwerkt in een tekstdocument. In figuur 1 is een voorbeeld van een tab te zien die gebruikt is voor de GA.

```
|-----|-----|
|-----|-----|
|-----|-----|
|-35--365|-35-3---|
|5---5---|5----5---|
|-----|-----|
```

Figuur 1 Voorbeeld van een tab van het nummer "Smoke on the Water" van Deep Purple

Het programma verkrijgt een tekstbestand door de gebruiker te vragen om de naam van een tekstdocument waar de tab in staat. Het tekstbestand wordt geopend in Python en het wordt regel voor regel uitgelezen. Elke regel in de tab symboliseert een snaar op de gitaar. De bovenste regel staat voor de hoogste snaar en de onderste voor de laagste snaar. Alle regels worden in één lijst gezet. Vervolgens worden alle regels binnen die lijst opnieuw afzonderlijk in een lijst gezet, waarna alle regels op de ']' gesplitst worden. Het resultaat ziet er vervolgens zo uit als in figuur 2. Dit wordt door het programma omgezet in instructies voor de GA.

```
[ ['-----', '-----'],
  ['-----', '-----'],
  ['-----', '-----'],
  ['-35--365', '-35-3----'],
  ['5---5---', '5----5--'],
  ['-----', '-----'] ]
```

Figuur 2 De tab zoals die in de GA is opgeslagen

6. write_instructions:

Deze functie wordt aangeroepen om de GA te laten werken. Hij neemt als argumenten een tab en een snelheid in BPM. De functie gaat ervan uit dat de GA nu op de eerste fret en op de E-snaar staat. Vervolgens leest hij de tab uit. Als de functie een getal in de tab vindt rekent hij dat om naar instructies voor de GA die vervolgens naar de corresponderende fret en snaar gaat. Daarna wacht de functie een tijd die afhankelijk is van de BPM. Dit herhaalt zich totdat de tab uitgelezen is, waarna de GA weer terugkeert naar de eerste fret en de E-snaar. Als dit gebeurd is krijgt de gebruiker de optie om een nieuwe tab in te voeren of om het programma te sluiten.

Software en hardware

De LEGO Mindstorm werkt op EV3dev, een op linux gebaseerd besturingssysteem. Het programma is in python geschreven omdat deze taal geschikt is om te werken met LEGO Mindstorm EV3. Python heeft daarnaast onze voorkeur boven andere programmeertalen onder andere vanwege de eenvoudige syntax.

Uiteraard is gebruik gemaakt van de LEGO Mindstorm EV3 set. Het apparaat bestaat ruwweg uit twee mechanismen:

1. Het rijmechanisme (figuur 5). Dit mechanisme, bestaande uit twee grote motoren verbonden met de EV3-steen, regelt de voortbeweging van de GA over de hals van de gitaar. Het mechanisme heeft aan de bovenzijde van de hals drie kleine wielen die tussen de snaren door kunnen rijden. Aan de onderzijde zit één groot wiel voor stabiliteit en om de GA in de verticale richting strak tegen de hals te klemmen. Hiernaast zit aan beide zijkanten van de hals een paar wielen die afzonderlijk tegen de hals drukken met elastiek. Twee van deze zijwielen, namelijk de wielen het dichtste bij de body van de gitaar, zijn (indirect met raderen) aangedreven door elk een grote motor.
2. Het indrukmechanisme (figuur 6). Dit mechanisme drukt, wanneer de GA op de goede plaats op de hals staat, een snaar in. Op een as, aangedreven door een grote motor, zitten LEGO onderdelen met verschillende lengtes op verschillende afstanden van een andere constructie dat boven de snaren zweeft. Met het mechanisme is het mogelijk om afzonderlijke snaren in te drukken, gebruik makend van enkel één grote motor.

Beide mechanismen zijn samengevoegd in een ontwerp waarin ook de EV3-steen geplaatst kan worden.

Procedure

Allereerst is het rijmechanisme ontwikkeld. Voor deze constructie is gekozen omdat dit voor de meest compacte structuur kan zorgen. Dit is niet het geval wanneer er een rails gebruikt wordt voor de verplaatsing van de GA. Vervolgens is de mogelijkheid tot indrukken van de snaren gerealiseerd. Een draaiende molen is gebouwd om afzonderlijk elke snaar te kunnen indrukken. Een positieve draaiingshoek zorgt voor het indrukken van een snaar. Een negatieve draaiing heeft geen gevolg voor de snaren. Op deze wijze kan elke snaar naar keuze ingedrukt worden.

Data-analyse

Snaren

De parameters voor het draaien van het draai-mechanisme om de snaren in te drukken (tabel 1) zijn berekend en via trial-and-error handmatig aangepast. De "snaarrotatie" is de rotatie in graden die het draai-mechanisme moet draaien vanaf de E-snaar om in de juiste positie te komen om de snaar vervolgens aan te slaan. De "indrukrotatie", de enige positieve draaiing, zorgt er vervolgens voor dat de snaar wordt ingedrukt. De "loslaatrotatie" zorgt er vervolgens voor dat het draai-mechanisme naar de standaardpositie draait voor de desbetreffende snaar. Dit is de positie vlak voor het onderdeel van het indruk-mechanisme.

Snaar	Snaarrotatie	Indrukrotatie	Loslaatrotatie
E	0	150	-45
A	-240	145	-40
D	-120	131	-26
G	-300	131	-26
B	-180	138	-33
e	-80	155	-50

Tabel 1 Rotaties bij verschillende snaren in graden

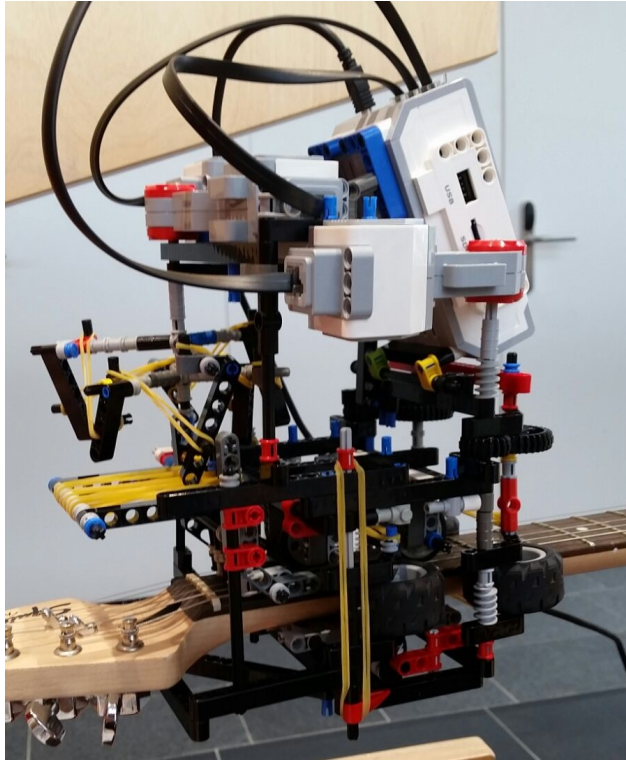
Fretbord

Voor het rijmechanisme zijn twee onderdelen van belang: de afstand tussen de fretten en de omtrek van de zijwaartse wielen. Voor de omtrek wordt de formule $omtrek = \pi \times diameter$ gebruikt. De diameter van de zijwaartse wielen bedraagt 4 centimeter.

Vanuit de gegeven afstand tot de eerste fret, kan de afstand tot elke andere fret berekend worden. De afstand tot de eerste fret bedraagt 3.7 centimeter. Verder wordt de formule $\frac{lengte_vorige_fret}{\sqrt{2}}$ gebruikt.

Resultaten

In figuur 3 is de Guitar Assist te zien. Het apparaat geeft de mogelijkheid om verschillende liederen te spelen door de tabs in te voeren. De GA geeft de gitarist de kans om in een bepaalde tijd de snaren aan te slaan. Deze tijd wordt bepaald door een variabele die BPM, 'Beats Per Minute' heet. Deze variabele wordt vervolgens verwerkt door de GA na het uitvoeren van bepaalde acties te laten wachten. Er is voor gezorgd dat de totale lengte van iedere actie ongeveer 60/BPM seconden duurt.



Figuur 3 De voltooide Guitar Assist waarbij de verschillende componenten inclusief de motoren zijn samengevoegd

Discussie

De GA assisteert een muzikant door middel van het uitvoeren van tabs. De GA heeft een functionaliteit in lijn met onze verwachting. Ondanks dat de GA werkt is er niet gehele tevredenheid over bepaalde aspecten. Ten eerste heeft de GA tijdens het verplaatsen over de hals geen hoge snelheid. Om een hogere snelheid te bereiken moet de GA meer stabiliteit hebben. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de grote motoren aan de onderzijde van de GA te monteren in plaats van de bovenzijde.

Ten tweede is de GA een grote en zware constructie wat ervoor zorgt dat de mobiliteit afneemt. Dit zorgt er ook voor dat de GA niet normaal omgedaan kan worden om de gitaar maar altijd plat op een oppervlak moet liggen om te functioneren.

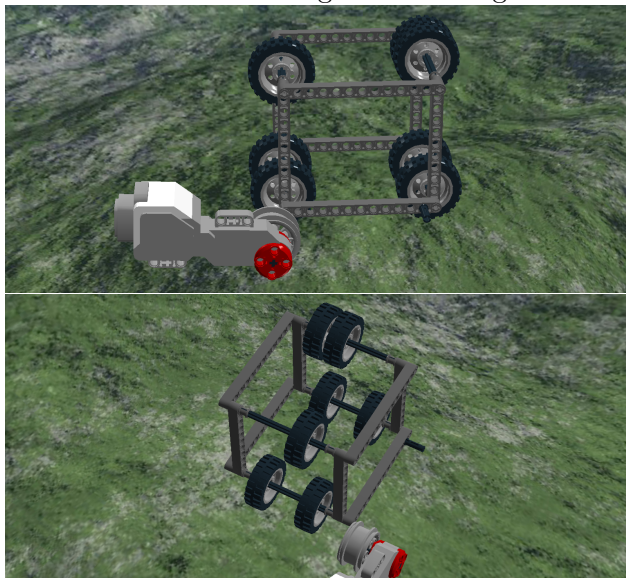
Dit probleem met stabiliteit is iets lastiger op te lossen, aangezien er een zeer goede gewichtsverdeling moet zijn om de gitaar normaal te kunnen dragen. Waarschijnlijk zou deze verdeling al beter zijn als de zware werkende onderdelen (de motoren en de EV3-steen) dichter bij de hals geplaatst worden. De wielen aan weerszijden van de hals moeten daarnaast ook strakker afgesteld worden voor meer stabiliteit. Dit leidt er echter toe dat de motoren meer kracht moeten leveren voor de voortbeweging over de hals.

Een ander probleem was een bijgeluid bij het bewegen over de hals. De snaren werden lichtelijk aangeraakt door het indrukmechanisme en dit resulteerde in een ongewenst geluid. Dit kan verholpen worden door het indrukmechanisme hoger te plaatsen. Dit heeft als gevolg dat er grotere kracht moet worden uitgeoefend op de constructie die boven de snaren hangt. Daarnaast laat de huidige constructie van de GA het niet toe om de hoogte van het indrukmechanisme te verhogen (wel verder verlagen overigens). Met een iets ander ontwerp van de robot is dit echter wel mogelijk en kan een bijgeluid worden voorkomen.

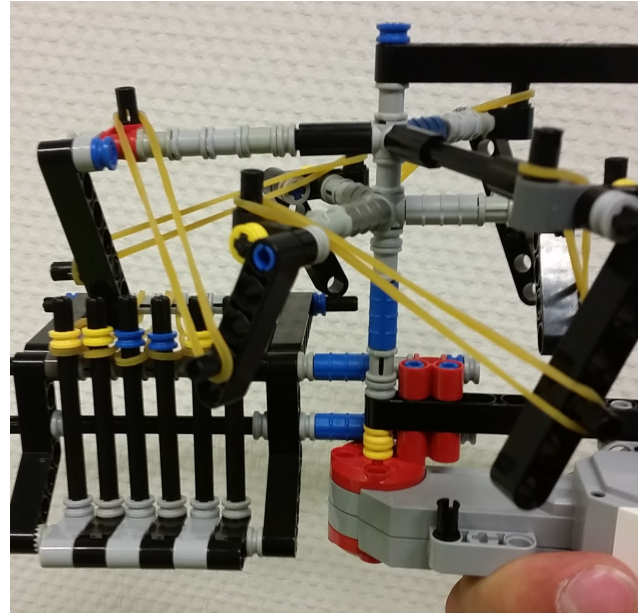
Design

De overgang van de conceptafbeeldingen uit het onderzoeksvorstel gemaakt in LEGO Digital Designer (figuur 4) naar het uiteindelijke prototype van de GA (figuur 3) is vooral gebaseerd op trial-and-error. Het onderzoek heeft vanaf hier twee verschillende uitwerkingen. Het oorspronkelijke idee was om met de GA enkel powerakkoorden in te drukken met onderdelen die zich op een vaste plek in de constructie bevonden (figuur 6). Dit concept is vrij snel gerealiseerd. Voor deze uitwerking is niet gekozen vanwege het verschil in de afstanden tussen de fretten op gitaren. De tweede invulling van het onderzoek

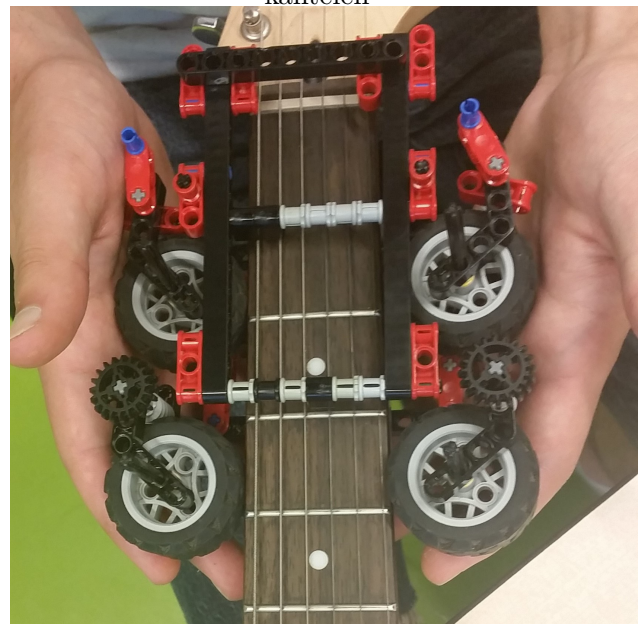
is om met een extra motor individuele snaren in te drukken op een variabele hoogte op de hals. Dit idee is een geavanceerde versie van de eerste uitwerking en maakt gebruik van het reeds ontwikkelde rijmechanisme. Toegevoegd zijn hier het indrukmechanisme aan de achterzijde en het bovenste plateau om de motoren en de EV3 steen te huizen. Om het oorspronkelijke idee te laten varen is een goede beslissing geweest. Op deze manier is er meer techniek aan te pas gekomen en meer programmeren waardoor de GA van hoger niveau is geworden.



Figuur 4 Conceptafbeeldingen van het ontwerp van de GA



Figuur 5 Het draaimechanisme geeft keuze in welke snaar wordt ingedrukt doordat een negatieve draaiing geen enkel onderdeel laat kantelen



Figuur 6 Een beginversie van het rijmechanisme waarbij met de zwarte LEGO onderdelen een powerakkoord kan worden ingedrukt

Conclusie

De Guitar Assist blijkt een werkende assistent voor een gitarist. De GA loopt tijdens het assisteren wel tegen enige problemen aan. De vraag in hoeverre de GA een significant verschil kan maken voor een gitarist is niet simpel te beantwoorden. De GA is in staat om mensen te assisteren door middel van langzame verplaatsingen en het indrukken van de snaren. Helaas is de GA niet in staat om het standaardtempo van

veel muziek uit te voeren, omdat dat tempo vaak te hoog ligt voor de GA. De GA is daarnaast te instabiel en niet snel en compact genoeg voor de meeste toepassingen. Wanneer alle beperkingen van het huidige prototype van de GA in acht worden genomen blijkt dat de GA functioneert maar te beperkt is in het assisteren van gitaristen. De vraag in hoeverre het mogelijk is om een muzikant bij het gitaar spelen te assisteren alleen gebruik makend van LEGO Mindstorms is daarmee beantwoord.

Referenties

- Bretan, Mason en Gil Weinberg (2016). “A survey of robotic musicianship”. In: *Communications of the ACM* 59.5, p. 100–109.
- Kapur, Ajay (2005). “A History of robotic Musical Instruments.” In: *ICMC*.
- Mack, Eric (g.d.). URL: <http://newatlas.com/robotic-chord-hand-guitar-robotar/32429/>.
- Taheri, Hossein e.a. (2012). “Robot-assisted guitar hero for finger rehabilitation after stroke”. In: *Engineering in medicine and biology society (EMBC), 2012 annual international conference of the IEEE*. IEEE, p. 3911–3917.

Appendices

A Voortgangsrapportage

Wo 21 juni:

- Er zal geen rails gebruikt worden voor het voortbewegen van de GA over de hals. De reden hiervoor is dat er vrij waarschijnlijk een grote stelling nodig is naast de gitaar. In plaats daarvan gaan we een rijmechanisme ontwikkelen. (**ontwerpbeslissing**)
- Bij de eerste pogingen bleek dat het rijmechanisme van de zijkant van de hals af kon bewegen tijdens het rijden. Het rijmechanisme zat daarnaast te los om de hals. Als oplossing worden er drie wielen toegevoegd. Hiervan zal er één onder de hals bevinden en twee steunwielen aan de zijkant geplaatst worden.

Do 22 juni

- Python werkend gekregen op de computer
- Er wordt gewerkt aan een uitbreiding waarbij de verschillende snaren apart aangeslagen kunnen worden. Met de vaste powerakkoorden zien we problemen vanwege de variabele afstand tussen de fretten van de gitaar. (**ontwerpbeslissing**)

Vr 23 juni

- Met tabs wordt onthouden in welke positie de GA zich zal bevinden. Vanuit die positie wordt de hoek die hij normaal moet draaien gebruikt om de juiste hoek te berekenen.

Za 24 juni

- Het rijden over de hals is werkend, maar het indrukmechanisme is nog niet bevestigd aan de het rijmechanisme.

Zo 25 juni

- Het eerste prototype voor de robot is afgerond. Het rijmechanisme en het indrukmechanisme zijn samengevoegd. De motoren en de Mindstorm EV3 steen zijn ook in de constructie verwerkt.

Ma 26 juni

- Deze dag staat in het teken van het programmeren en testen van de GA. Begin gemaakt met het uitzoeken van de juiste parameters voor het gebruik van het prototype op de gitaar. De Mindstorm werkt nu met Python bestanden.

Di 27 juni

- De tabs in een tekstbestand worden omgezet naar instructies.

Wo 28 juni

- De GA kan de instructies van het verplaatsen uitvoeren.

Do 29 juni

- Werken aan technisch rapport
- Parameters die nodig zijn voor het indrukmechanisme meten en berekenen
- Het indrukmechanisme werkend gekregen. Indrukmechanisme en rijmechanisme verbonden, opdat beide mechanismen samen kunnen werken.

Vr 30 juni

- De GA een lied laten spelen
- Laatste verbeteringen aan parameters aanbrengen
- Technisch rapport afmaken