

Bachelorscriptie Verwerking van robot emoties, 7,5 ECTS

D.L van Haalen (5490103)

Bachelor Liberal Arts and Sciences: Kunstmatige Intelligentie UU.

Begeleider: Dr. Marnix Naber

Tweede beoordelaar: Dr. Janneke Lith

Hoofdrichting: *Cognitieve en Neurobiologische Psychologie*

Aantal woorden:7692

Datum: 13-04-2017

ABSTRACT

In dit onderzoek is getracht een bijdrage te leveren aan de discussie rondom sociale robots. De onderzoeksvraag 'In hoeverre is de gemiddelde veranderingen in hartslag, gezichtsspieractiviteit en GSR als reactie op geobserveerde emotionele expressies in de gezichten van mensen vergelijkbaar met die van in robots?' is beantwoord door middel van experiment waarbij de activiteit van de gezichtsspier zygomaticus, de gezichtsspier corrugator, de galvanische huidreactie(GSR) en de hartslag gemeten is. Participanten moesten in dit experiment de emotionele expressies angstig, verdrietig, neutraal, blij en boos op gezichten van mensen en verschillen soorten robots herkennen.

Uit het onderzoek blijkt dat emoties niet adequaat van elkaar kunnen worden onderscheiden door het meten van hartslag, GSR en gezichtsspieractiviteit. Ook blijkt dat mensen fysiologisch gezien niet anders reageren op het zien van mensengezichten als op het zien van robotgezichten en dat ze qua reactietijd niet verschillen voor de emoties angstig, verdrietig, neutraal en boos. Mensen zijn echter wel beter in het herkennen van emoties bij mensen, behalve bij de emotie angst. De resultaten uit dit onderzoek zouden kunnen impliceren dat het zinvol is om robots in ons sociale leven te impliceren, maar er is nog verder onderzoek nodig naar de precieze verwerking van robots.

Voorwoord

Voor u ligt het bacheloreindwerkstuk van Ditte van Haalen. Met dit werkstuk zal ik mijn hoofdrichting ‘Kunstmatige Intelligentie: Cognitieve en Neurobiologische Psychologie’ bij de opleiding Liberal Arts and Sciences afsluiten. Dit werkstuk is een individueel werk, maar is in nauwe samenwerking geschreven met Anne Leenders die dezelfde opleiding volgt. We hebben samen de onderwerpen besproken en veel overlegd over ons werkstuk, waarbij we elkaar inspireerden en aanvulden. De samenwerking is dan ook alleen maar goed en soepel verlopen. De experimenten en de voorbereidingen hiervoor zijn samen uitgevoerd, waarbij de taken eerlijk verdeeld waren. We hebben bij de uitvoering van het bacheloreindwerkstuk wel beiden onze eigen invalshoek gekozen, waarbij ik gekozen heb om mij meer te richten op emoties bij robots en Anne heeft gekozen om zich meer op de ‘uncanny valley’ te richten.

Het gekozen onderwerp, robots, heeft ons geen moment verveeld omdat het zo’n breed onderwerp is waar nog veel over te ontdekken valt. Het is een onderwerp dat op dit moment erg relevant is en veel verschillende invalshoeken heeft. Dit maakt dat we met veel plezier aan ons bacheloreindwerkstuk hebben gewerkt.

Tijdens het schrijven van dit bacheloreindwerkstuk hebben we ontzettend veel geleerd over het schrijven van een onderzoeksverslag, het uitvoeren van een wetenschappelijk experiment en het analyseren van data. We hebben geleerd om wetenschappelijke literatuur te zoeken, te bestuderen en te gebruiken in een wetenschappelijke context. Aan de hand hiervan hebben we geleerd hoe je een experiment kan opzetten en welke moeilijkheden hierbij komen kijken. Het was erg interessant om te leren werken met elektroden en om deze data op een computer gevisualiseerd te zien. Bij het analyseren van de data hebben we ontzettend veel geleerd over dataverwerking. We hebben nieuwe statistiek mogelijkheden ontdekt en geleerd om de resultaten te interpreteren. Ondanks af en toe frustraties maar vooral veel leermomenten, hebben we ons experiment en de analyse met tevredenheid uitgevoerd en zijn wij dan ook zeer tevreden over het resultaat.

Bij het schrijven van deze scriptie werden wij begeleid door dr. Marnix Naber, die wij via deze weg willen bedanken. Vanaf het begin af aan is de begeleiding van Marnix enthousiast, nuttig en leerzaam geweest en zijn inzet heeft ons zeker geholpen om dit werkstuk met een goed gevoel af te sluiten.

Inhoudsopgave

Inleiding	4
Methoden	8
Participanten.....	8
Meetinstrumenten, Apparaat, Stimuli	8
Meetinstrumenten.....	8
Apparaat	9
Stimuli.....	9
Procedure experiment	10
Statistiek.....	12
Resultaten.....	14
Verschillen in reactietijd per emotie	14
Verschillen in het percentage goede responsen per emotie	16
Vergelijking van fysiologische reacties voor de emoties voor GSR, zygomaticus, corrugator en hartslag.....	17
GSR.....	18
EMG Zygomatiscus.....	18
EMG Corrugator	19
Hartslag	20
Vergelijking van de fysiologische reacties van GSR, zygomatiscus, corrugator en hartslag tussen mensengezichten en robot gezichten per emotie.....	21
GSR.....	21
EMG Zygomatiscus.....	21
EMG Corrugator	21
Hartslag	21
Correlatietoetsen	22
Discussie	23
Literatuurlijst.....	27
Afbeeldingen.....	30
Appendix	31

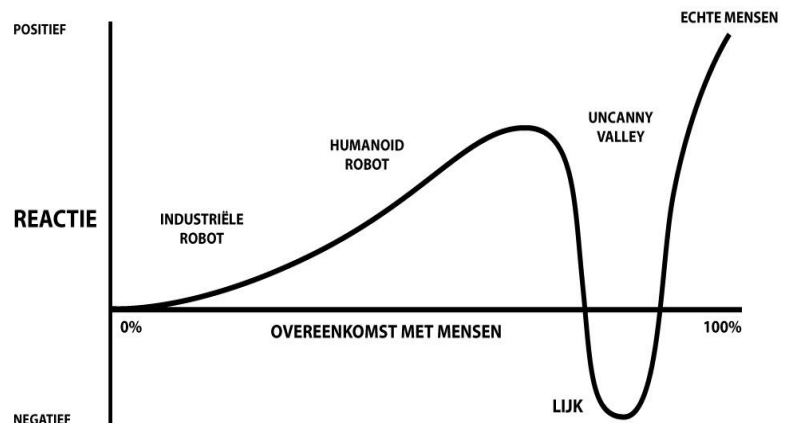
Inleiding

Binnen het vakgebied kunstmatige intelligentie is de laatste jaren grote technologische vooruitgang te zien in de ontwikkeling van sociale robots. In Japan, koploper binnen de robotica, kijkt men niet eens meer op van sociale robots. Hiroshi Ishiguro ontwikkelt hier zelfs de zogenaamde geminoid, een type robot dat wordt gemaakt naar het evenbeeld van een individu (Nishio, Ishiguro, & Hagita, 2007). In Nederland zijn sociale robots echter nog nauwelijks terug te zien in het dagelijks leven. Wel worden er al experimenten uitgevoerd die de toegevoegde waarde van het gebruik van sociale robots onderzoeken. De ouderenzorg en de behandeling van autisme bij kinderen zijn hier voorbeelden van (Gelderblom, 2014; Kim et al., 2013). Onderliggende vraagstukken die gepaard gaan met deze maatschappelijke ontwikkeling zijn onder andere: Is de mens in staat om robot-mensinteractie op dezelfde manier te verwerken als mens-mensinteractie? Kunnen mensen op dezelfde manier empathie opwekken voor robots als zij voor mensen doen? Factoren die hierbij van belang zijn, zijn de ‘uncanny valley’, emotieverwerking en empathie. Wanneer sociale robots echt een rol zouden gaan spelen in onze maatschappij, is het van belang om deze vraagstukken te beantwoorden. Sociale robots kunnen dan zo natuurlijk mogelijk opgenomen worden

in de maatschappij.

De eerdergenoemde geminoid is een voorbeeld van de trend waarin sociale robots steeds meer op mensen gaan lijken. Mori merkte echter al meer dan 45 jaar geleden op dat robots die (te) veel op mensen gaan lijken, een ‘eerie’ (in dit onderzoek vertaald als griezelig) gevoel opwekken bij mensen. Deze aanname is van invloed op eerdergenoemde vraagstukken omdat

griezeligheid een nadelige invloed zou kunnen hebben op robot-mensinteractie. De ‘uncanny valley’ wordt zichtbaar wanneer de ‘human likeness’ (in dit onderzoek vertaald als menselijkheid) uitgezet wordt tegen de affiniteit die men toont tegenover een artificieel object, de negatieve piek bevindt zich bij ongeveer 70% menselijkheid (zie figuur 1). De menselijkheid van een robot wordt door Hanson (2006) gedefinieerd als “uitziend binnen de mogelijke natuurlijk-voorkomende verschijningen van mensen” (Mori, MacDorma & Kageki, 2012).



Figuur 1 - toont de uncanny valley, de voorgestelde relatie tussen de menselijke gedaante van een personage en de affiniteit van de waarnemer hiervoor (Bulkens, 2015).

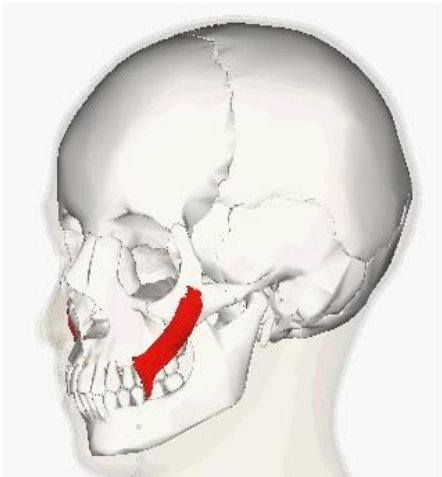
Een andere belangrijke factor in robot-mensinteractie is emotionele verwerking. Het tonen van emoties is een typische sociale eigenschap van de mens. Door onderzoek naar emotieverwerking bij mens-robotinteractie kan deze interactie natuurlijker gemaakt worden. In de literatuur zijn verschillende theorieën over emoties en emotieverwerking te vinden. Eén daarvan is de theorie van Ekman (1992), die de zes basisemoties angst, boos, verdrietig, walging, verbazing en blij erkent. Deze zes emoties zijn door hun evolutionaire oorsprong universeel in alle culturen en voor elke soort (Ekman, 1992; Ekman, Friesen & Ellsworth, 2013). Omdat elke emotie zijn eigen evolutionair doel dient, hebben zij ook hun eigen fysiologische kenmerken, geïnitieerd door het autonome zenuwstelsel (Levenson, Ekman & Friesen, 1990; Rainville, Bechara, Naqvi & Damasio, 2006).

Een derde cruciale factor bij het ontwikkelen van sociale robots is empathie. Onderzoek van onder andere Oberman, McCleery, Ramachandran & Pineda (2007) wijst erop dat de spiegelneuronen in mensen mogelijk actief worden bij zowel het zien van robot acties als het zien van menselijke acties. Dit is essentieel voor sociale interactie en empathie (Gazzola, Rizzolatti, Wicker, & Keysers, 2007). Een ander belangrijk aspect van empathie is het onbewust mimeren van de expressie van een ander die emotie toont, ook bij statische stimuli (Dimberg, Thunberg, & Elmehed, 2000; Lang, Greenwald, Bradley, & Hamm, 1993; Sonnyby-Borgström, 2002; Wied, Boxtel, Zaalberg, Goudena, & Matthys, 2006). Dit mimeren gebeurt snel, automatisch en grotendeels onbewust (Dimberg, Thunberg & Elmehed, 2000).

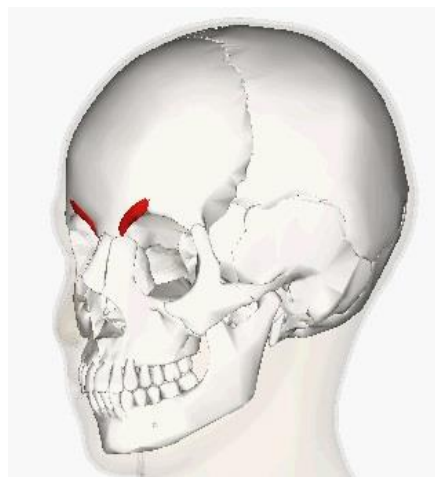
Het is dus mogelijk om objectief reacties op emoties te meten, omdat elke emotie zijn eigen patroon van reacties door het autonome zenuwstelsel kent en we onbewust expressies van anderen imiteren door empathie. In dit onderzoek is ervoor gekozen om de hartslag, ‘Galvanic Skin Response’ (GSR) te meten en een elektromyografie (EMG) van het gezicht uit te voeren. Op deze manier wordt zowel de fysiologische als de empathische reactie op emoties gemeten. De emoties angst, boos, verdrietig en blij worden onderzocht omdat deze emoties het meest gebruikelijk zijn in dit onderzoeksveld (Bos, Jap-Tjong, Spencer, & Hofman, 2016; Levenson, Ekman & Friesen, 1990; Schwartz, Weinberger & Singer, 1981).

Dimberg en Thunberg hebben in 1998 een onderzoek gedaan naar het gebruik van EMG om gezichtsuitdrukkingen te meten en concludeerden dat verschillende emotionele uitdrukkingen ook verschillende EMG resultaten lieten zien. Deze fysiologische reacties waren al meetbaar na slechts 300-400 ms na de blootstelling aan de stimuli.

De ‘*musculus zygomaticus major*’ (zie figuur 2) of grote jukspier is een aangezichtsspier die grotere activiteit vertoont bij gelukkige gezichtsexpressies dan bij boze stimuli en de ‘*musculus corrugator supercilii*’ (zie figuur 3)



Figuur 2 - *Musculus zygomaticus major*
(BodyParts3D, 2017)



Figuur 3 - *Musculus corrugator supercilii*
(BodyParts3D, 2017)

of wenkbrauw spier is een kleine, smalle piramidevormige spier in de buurt van het oog die grotere spieractiviteit vertoont in boze gezichtsuitdrukkingen.

Door middel van het meten met EMG van veranderingen in deze spierbewegingen in het gezicht kan een onderscheid gemaakt worden tussen positieve

en negatieve emoties. De sterkte en richting van de reactie van deze spieren geeft aan om welke emotie het gaat (Dimberg & Thunberg, 1998),

De hartslag is een maat die veranderingen in het autonome zenuwstelsel registreert. Uit onder andere het onderzoek van Li & Chen (2006) en Critchley, Rotshtein, Nagai, O'doherty, Mathias, & Dolan (2005) blijkt dat emoties accuraat onderscheiden kunnen worden door de hartslag te meten. De samentrekking van het hart door de tijd heen geeft een bepaald patroon. Dit patroon verschilt per emotie. De veranderingen, die volgens het James-Lange model samenhangen met de mate van arousal, in dit patroon zijn groter voor de emoties boos, angst en verdrietig dan voor de emotie blij (Collet, Vernet-Maury, Delhomme & Dittmar, 1997).

Een andere fysiologische maat om veranderingen in het autonome zenuwstelsel te registreren is de GSR. Dit is een veelgebruikte maat die geschikt is voor het meten van verschillen in arousal en de bijbehorende emoties, opgewekt door emotionele stimuli (Rosenthal-von der Pütten, Krämer, Hoffmann, Sobieraj & Eimler, 2013; Haag, Goronzy, Schaich & Williams, 2004). Uit onderzoek blijkt dat het patroon van de GSR wisselend is voor verschillende emoties. Een stijging in de GSR wordt veroorzaakt door een verhoogde mate van arousal, wat in overeenstemming is met het onderzoek van onder andere Collet et al. Dit onderzoek toont aan dat er een grotere stijging in de GSR is voor negatieve emoties dan voor positieve emoties en dat het hierbinnen vooral mogelijk is om emotie paren van elkaar te onderscheiden (Collet, Vernet-Maury, Delhomme & Dittmar, 1997).

Onderzoek met een combinatie van EMG van het gezicht, hartslagmeting, en GSR zorgt ervoor dat emotieverwerking zo breed mogelijk gemeten kan worden. De fysiologische maten vullen elkaar aan waardoor de emoties nog beter van elkaar te onderscheiden zijn. Dit is een veelgebruikte combinatie, zoals te zien is in een overzichtsstudie naar psychofysiologische signalen. Deze studie laat zien dat deze drie meetmethodes vaak en in verschillende combinaties met elkaar voorkomen (Jerritta, Murugappan, Nagarajan & Wan, 2011).¹

Zoals eerder beschreven, zijn er verschillende factoren die een rol spelen bij robot-mensinteractie. Om een bijdrage te kunnen leveren aan deze discussie wordt in dit onderzoek gekeken naar emotieverwerking en empathie. Specifiek wordt er gekeken of een robot-mensinteractie hetzelfde verwerkt wordt als een mens-mensinteractie. In dit onderzoek wordt dan ook getracht de volgende vraag te beantwoorden: *In hoeverre is de gemiddelde verandering van hartslag, gezichtsspieractiviteit en GSR als reactie op geobserveerde emotionele expressies in de gezichten van mensen vergelijkbaar met die van in robots?* De volgende hypothesen zijn gesteld:

1. Emoties kunnen adequaat onderscheiden worden door middel van het meten van hartslag, GSR en gezichtsspieractiviteit.
2. De gemiddelde veranderingen zijn vergelijkbaar voor het zien van menselijke emotionele expressies als voor het zien van emotionele expressies bij robots.

Indien de gestelde hypothesen juist blijken te zijn, heeft dit belangrijke implicaties voor verdere onderzoeken naar robot-mens interactie en het ontwikkelen van meer natuurlijke sociale robots.

¹Bovenstaande is geschreven in samenspraak met Anne Leenders

Methoden²

Participanten

Er deden 14 vrouwelijke participanten en 3 mannelijke participanten mee aan het experiment. De participanten werden geworven via de kenniskring van de onderzoekers en werden gecompenseerd met proefpersoon uren als zij hiervoor in aanmerking kwamen. De andere participanten werkten aan het onderzoek mee op vrijwillige basis. Er waren 3 participanten die niet konden worden meegenomen in het onderzoek vanwege data die niet was opgeslagen en één participant kon niet worden meegenomen in het onderzoek omdat zij tijdens het onderzoek in slaap was gevallen. Er waren dus nog 13 participanten over (leeftijd: $M = 20.941$, $SD = 1.003$, $range = 19-24$) voor de data analyse.

Meetinstrumenten, Apparatus, Stimuli

Meetinstrumenten

Om de gezichtsspieractiviteit, de hartslag en de galvanische huidreactie (GSR) te meten zijn de volgende invoermogelijkheden van Bio-Semi gebruikt.

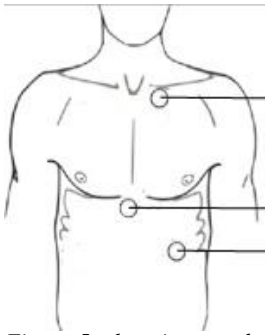
De ‘Galvanic Skin Response’ bestaat uit 2 passieve Nihon Kohden elektrodes die werden geplaatst op de linker wijs- en middelvinger zoals afgebeeld in figuur 4.



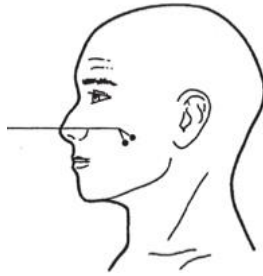
Figuur 4, plaatsing van de GSR elektrodes op de linker wijs- en middelvinger (Harmon-Jones & Beer, 2012)

De ‘Bio-Semi Flat type active-electrodes’ bestaan uit 7+2 elektrodes genaamd EX1-EX7 plus CMS/DRL. EX1-EX3 maten de hartslag van de participant op respectievelijk de ribbenkast, onder de sternum en onder het rechter sleutelbeen zoals afgebeeld in figuur 5. De gezichtsspieractiviteit is gemeten door EX4 en EX5 (bipolair) te plaatsen bij de linkerwang (zygomaticus, figuur 6a) en EX6-EX7 (bipolair) boven de linker wenkbrauw (corrugator, figuur 6b). DRL en CMS elektroden werden geplaatst op het voorhoofd.

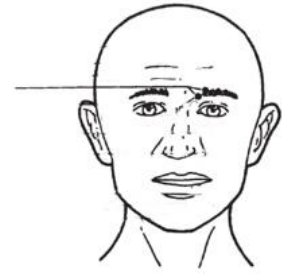
² Alle analyses zijn uitgevoerd in samenwerking met Anne Leenders en de methoden zijn geschreven in samenwerking met Anne Leenders.



Figuur 5, plaatsing van de elektroden voor het meten van de hartslag op de ribbenkast, onder het sternum en onder het linker sleutelbeen (aangepast van Harmon-Jones & Beer, 2012)



Figuur 6a, plaatsing van de elektroden bij de zygomaticus (aangepast van Harmon-Jones & Beer, 2012)



Figuur 6b, plaatsing van de elektroden bij de corrugator (aangepast van Harmon-Jones & Beer, 2012)

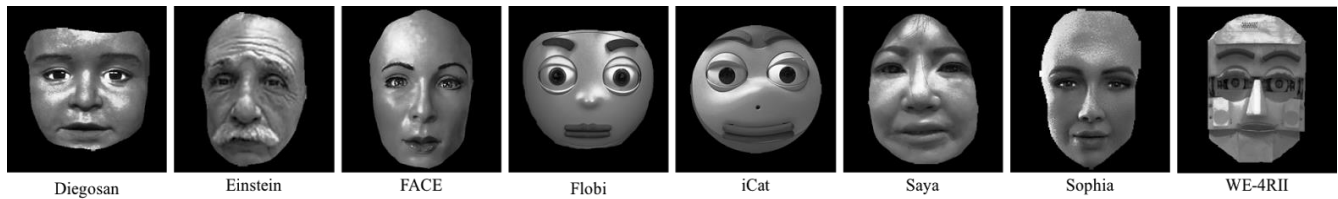
Apparatus

Het Active Two Biosemi apparaat (256 channel AD-box met batterij en Flat-Type Active-electrodes) is gebruikt om de gezichtsspieractiviteit, de hartslag en de galvanische huidreactie (GSR) gelijktijdig te kunnen meten.

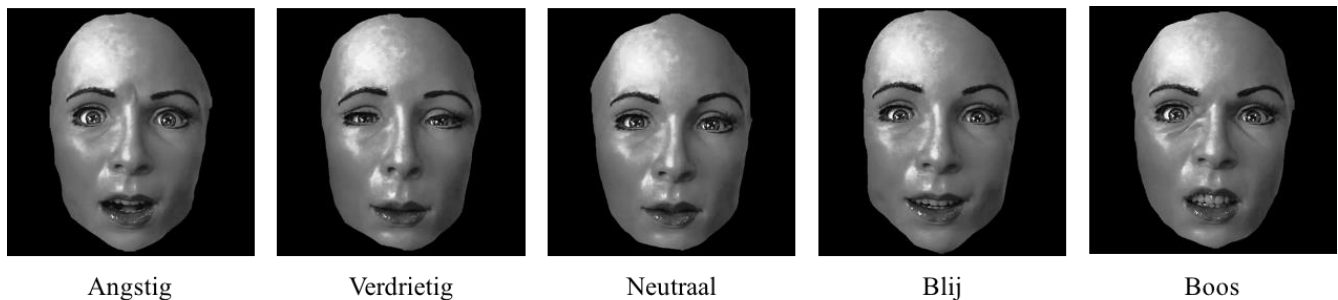
Het beeldscherm (ASUS, 27 inch) dat werd gebruikt om de stimuli op te tonen heeft een schermresolutie van 2560x1440 en een vernieuwingsnelheid van 59Hz. Het experiment is geprogrammeerd in Matlab door Marnix Naber. Het numpad van het toetsenbord werd gebruikt om een reactie te geven. De participanten moesten hun hoofd op een hoofdsteun leggen, zodat ze niet zouden bewegen.

Stimuli

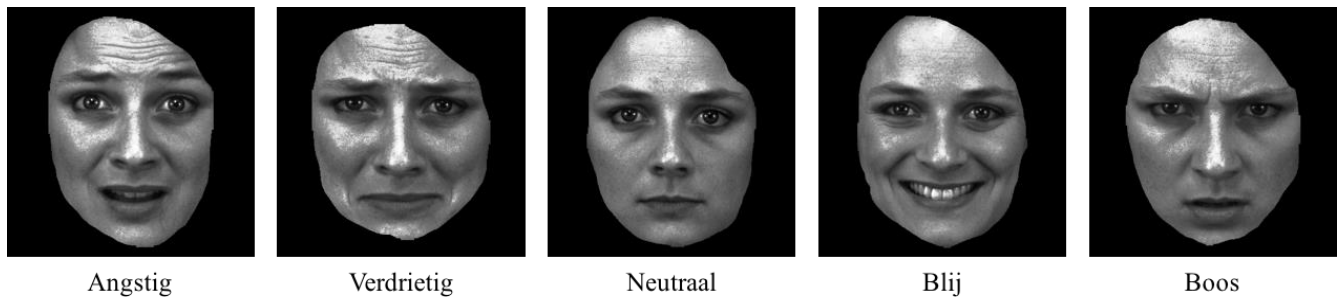
Er zijn 8 statische afbeeldingen van robot gezichten gebruikt in dit experiment waarvan de oren en het haar zijn weggewerkt. De gebruikte robots in dit onderzoek zijn: Diegosan, Einstein, FACE, Flobi, iCat, Saya, Sophia en WE-4RII (zie figuur 7). Hetzelfde aantal menselijke gezichten (vier mannelijke en vier vrouwelijke) is gebruikt waarvan ook de oren en het haar zijn weggewerkt. De gezichten toonden een angstige, verdrietige, neutrale, blijde of boze uitdrukking (zie figuur 8 en 9). Niet elke robot beschikte over alle gezichtsuitdrukkingen. In tabel 1 in de appendix staat een overzicht van de gebruikte emotionele expressies per robot. De gebruikte stimuli zijn afkomstig uit de dataset van overkoepelend onderzoek van Dr. Marnix Naber. De afbeeldingen zijn gecorrigeerd voor verschillen in luminantie en resolutie, met behulp van histogram egalisatie is dit uitgevoerd in Matlab. De afmetingen van alle afbeeldingen zijn aangepast tot 800 x 800 pixels en de achtergrondkleur van het beeldscherm was [116 116 116].



Figuur 7, alle verschillende robots met een neutrale gezichtsuitdrukking. De namen van de robots zijn afgebeeld onder elk individueel karakter



Figuur 8, de robot FACE met de gezichtsuitdrukkingen angstig, verdrietig, neutraal, blij en boos



Figuur 9, één van de mensenkarakters met de gezichtsuitdrukkingen angstig, verdrietig, neutraal, blij en boos

Procedure experiment

Alle participanten gingen voorafgaand aan het experiment akkoord met de ‘informed consent’ en wisten van te voren niets over het specifieke doel van het experiment. Hierbij werd ook verteld dat ze tijdens het experiment niet mochten bewegen. Ze moesten met hun hoofd steunen in een ‘chinrest’ en hun linkerhand moest rusten op een daarvoor bestemd kussentje. Wanneer een participant vroeg wat er gemeten werd, werd verteld dat er hersenactiviteit gemeten werd om te voorkomen dat de gezichtsspieractiviteit van de participant werd beïnvloed. De participanten werden individueel getest in een laboratorium op de Universiteit Utrecht. In dit laboratorium werden zoals boven beschreven de elektroden op het gereinigde gezicht, de vingers en de romp aangebracht.

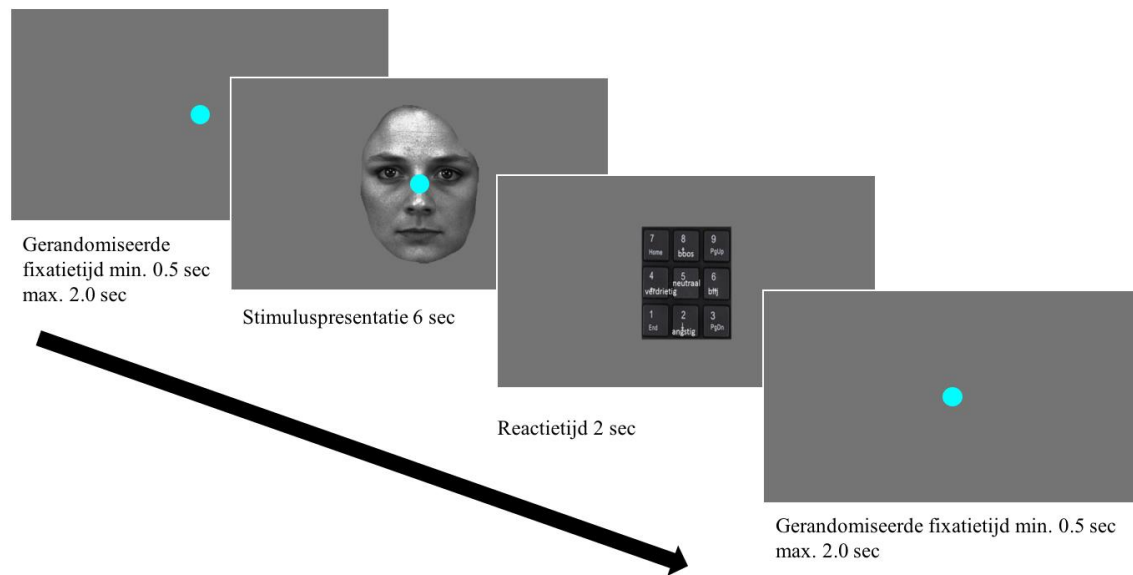
De participanten kregen eerst tien test-stimuli te zien om aan het experiment te wennen, waarbij zij ook feedback kregen op hun respons. Deze testtrials werden wel meegenomen in de dataverwerking. Eerst werd een fixatiepunt getoond gedurende een gerandomiseerde tijd tussen 0.5 seconde en 2 seconden. Daarna werd de stimulus 6 seconden getoond. Vervolgens had de participant 2 seconden de tijd om aan te geven welke emotie hij gezien had door op een toets op het numpad te drukken. De emoties waren als volgt ingedeeld op het numpad: 2 - *angst*; 4 - *verdrietig*; 5 - *neutraal*; 6 - *blij*; 8 – *boos* (zie figuur 10). Hierna werd weer een fixatiepunt getoond waarmee de cyclus opnieuw begon (zie figuur 11). Elke stimulus werd 3 keer herhaald, zodat er in totaal 228 trials inclusief testtrials waren. De stimuli werden in gerandomiseerde volgorde getoond zodat de volgorde geen invloed kon hebben op de reactie.



Figuur 10, het numpad met bijbehorende emoties

Na het tonen van de 228 stimuli werden subjectieve vragen gesteld in het 2e deel van het experiment. Eerst werden vragen gesteld over alle personages, daarna alleen over de robots. De participanten konden antwoord geven op deze vragen door middel van een 100-puntsschaal. De vragen die de participanten moesten beantwoorden over alle personages zijn: *Ik vind het gezicht onaantrekkelijk - aantrekkelijk; ik vind het gezicht kunstmatig - natuurlijk; ik vind het gezicht griezelig - geruststellend; ik vind het gezicht onmenselijk - menselijk.*

De vragen die de participanten moesten beantwoorden over alleen de robots waren: *Ik zou het comfortabel vinden als deze robot mij helpt in het huishouden; ik zou het comfortabel vinden als deze robot mij op de hoogte brengt van informatie zoals nieuwsberichten; ik zou het comfortabel vinden als deze robot mijn gesprekspartner is; ik zou het comfortabel vinden als deze robot mij helpt bij het studeren; ik zou het comfortabel vinden als deze robot mijn financiën en administratie bijhoudt.*



Figuur 11, een voorbeeld van de procedure van het experiment

Statistiek

Voor de analyse van de resultaten werden Matlab (Mathworks, Natick, MA, USA), IBM SPSS Statistics versie 22.0 (2013) en Microsoft Excel gebruikt. De gestandaardiseerde scores van de gemiddelde verandering van hartslag (tijdsplaat van 1-6 seconden), GSR (tijdsplaat van 6-8 sec), zygomaticus (tijdsplaat van 1-6 seconden), en corrugator (tijdsplaat van 1-6 seconden) werden gebruikt voor de analyses, omdat er een grote spreiding was. De metingen werden gefilterd voor ruis met een *low-pass* en een *high-pass* filter. Er werd gekeken naar de responsemotie van de participant in plaats van naar de getoonde emotie omdat verwacht werd dat de fysiologische reactie van de participant gebaseerd is op de perceptie van de getoonde emotie. Alle trials waarbij geen respons is gegeven zijn niet meegenomen in de data.

Om een algemeen beeld te krijgen van de resultaten werden de reactietijden en percentages goede responsen bekeken. Hoewel dit experiment geen test was om de reactietijd en accuraatheid van de participanten te meten, zou dit beiden iets kunnen zeggen over de verwerking van stimuli. Het is daarom van belang om deze informatie ook mee te nemen in het onderzoek. Er zijn niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentests van Wilcoxon uitgevoerd tussen de verschillende reactietijden voor mensengezichten en voor robot gezichten.

Hiernaast werden er niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoetsen van Wilcoxon uitgevoerd tussen de reactietijden voor robotstimuli en mensenstimuli per emotie. Ook werd het percentage aantal goede antwoorden bij robotgezichten vergeleken met het percentage aantal goede antwoorden bij mensengezichten door middel van een gepaarde t-test. Dit werd ook per emotie gedaan.

Om de eerste hypothese, 'Emoties kunnen adequaat onderscheiden worden door middel van het meten van hartslag, GSR en gezichtsspieractiviteit,' te toetsen werd een herhaalde metingen éénweg ANOVA gedaan met Emotie als factor. Dit werd uitgevoerd voor elke fysiologische maat apart en alleen voor de menselijke stimuli, omdat het aannemelijk is dat als er bij de mensen al geen verschil waar te nemen is, dit bij de robots ook niet zo zou zijn.

Om de tweede hypothese, 'De gevonden gemiddelde veranderingen zijn vergelijkbaar voor het zien van menselijke emotionele expressies als voor het zien van emotionele expressies bij robots,' te toetsen werden gepaarde t-testen uitgevoerd per fysiologische maat en per emotie tussen robot en mens. Omdat de data van de GSR niet normaal verdeeld was, werd hier een niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoets van Wilcoxon uitgevoerd.

Aanvullend hierop werd met behulp van correlatietesten getoetst of er een correlatie bestond tussen de fysiologische reactie op dezelfde emotie bij mensen als bij robots. Er werd hierbij naar de Spearmancorrelatie gekeken, omdat de data niet goed lineair verdeeld was.

Resultaten⁴

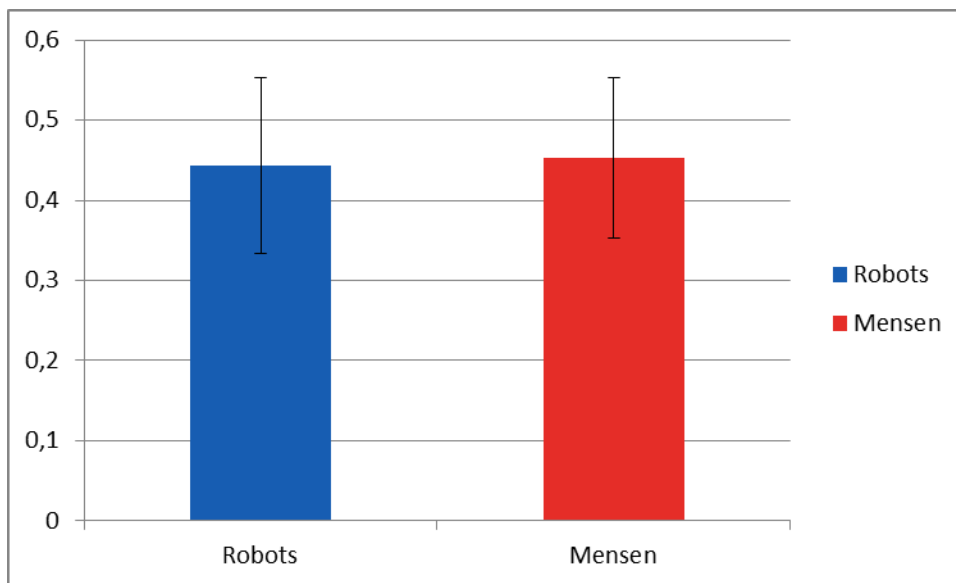
Verschillen in reactietijd per emotie

Om te onderzoeken of mensen hetzelfde reageren op robots als op mensen, zijn de reactietijden met elkaar vergeleken. De mediaan van de reactietijd voor mensenstimuli was 0.453 (IQR = 0.220) seconden en de mediaan van de reactietijd voor robotstimuli was 0.443 (IQR = 0.200) seconden (zie grafiek 1). Een niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoets van Wilcoxon toonde aan dat deze tijden niet significant van elkaar verschilden, waarbij $Z = -0.489$ en $p = 0.625$.

Daarnaast zijn er ook niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoetsen van Wilcoxon uitgevoerd tussen de reactietijden voor robotstimuli en mensenstimuli per emotie om te onderzoeken of hier een verschil tussen zat. Hieruit bleek dat blij gezichten een significant langere reactietijd hadden bij robots (MDN = 0.398, IQR = 0.431) dan bij mensen (MDN = 0.116, IQR = 0.253), waarbij $Z = -2.481$ en $p = 0.013$. Bij de emoties angstig, neutraal en boos waren er geen significante verschillen in de reactietijd (zie grafiek 2 hieronder en tabel 3, appendix). Uit deze testen bleek dus dat mensen over het algemeen niet sneller of langzamer reageerden op robotstimuli dan op mensenstimuli, alleen bij de emotie blij hadden robots een langere reactie tijd en bij de emotie verdrietig hadden mensen een langere reactietijd.

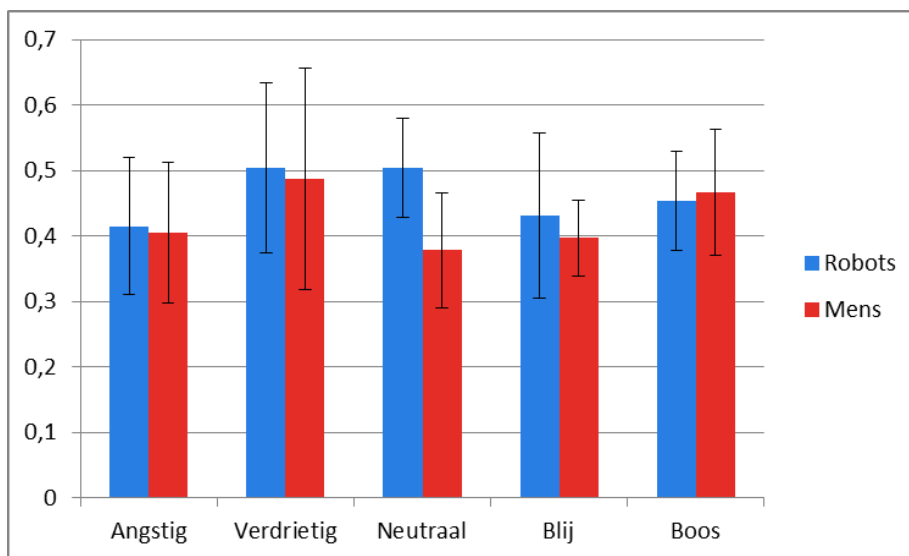
⁴ Alle resultaten zijn verkregen en verwerkt in samenwerking met Anne Leenders

Mediaan reactietijden voor robots en mensen



Grafiek 1, mediaan reactietijden voor robotstimuli en voor mensenstimuli

Mediaan reactietijden voor robots en mensen per emotie



Grafiek 2, mediaan reactietijden per emotie voor mensen en robots

Verschillen in het percentage goede responsen per emotie

Om verder te onderzoeken of mensen hetzelfde reageren op robots als op mensen, is het percentage goede responsen vergeleken. Het gemiddelde percentage goede responsen voor mensenstimuli was 87,628 % (SD = 4.102) en het gemiddelde percentage goede responsen voor robotstimuli was 70.584% (SD = 7.419) (zie grafiek 3). Door middel van een gepaarde t-toets is aangetoond dat deze gemiddeldes significant van elkaar verschilden, waarbij $t(12) = -7.327$, $p < 0.001$ en $d = -2.936$.

Daarnaast werden er ook gepaarde t-toetsen uitgevoerd om het percentage goede responsen tussen mensenstimuli en robotstimuli te vergelijken per emotie. Het bleek dat de participanten de robotgezichten significant slechter herkenden dan de mensengezichten voor de emoties verdrietig, neutraal, blij en boos (zie tabel 2 voor de bijbehorende t-waarden en p-waarden en grafiek 4 voor een grafische weergave). Voor de emotie angstig bleek er geen verschil te zitten in het percentage goede responsen (zie tabellen 1 en 2 hieronder). Uit deze resultaten bleek dus dat mensen over het algemeen slechter zijn in het herkennen van emoties op robotgezichten dan op mensengezichten en dat dit ook per emotie geldt, behalve bij de emotie angstig.

Gemiddeld aantal goede responsen en de SD

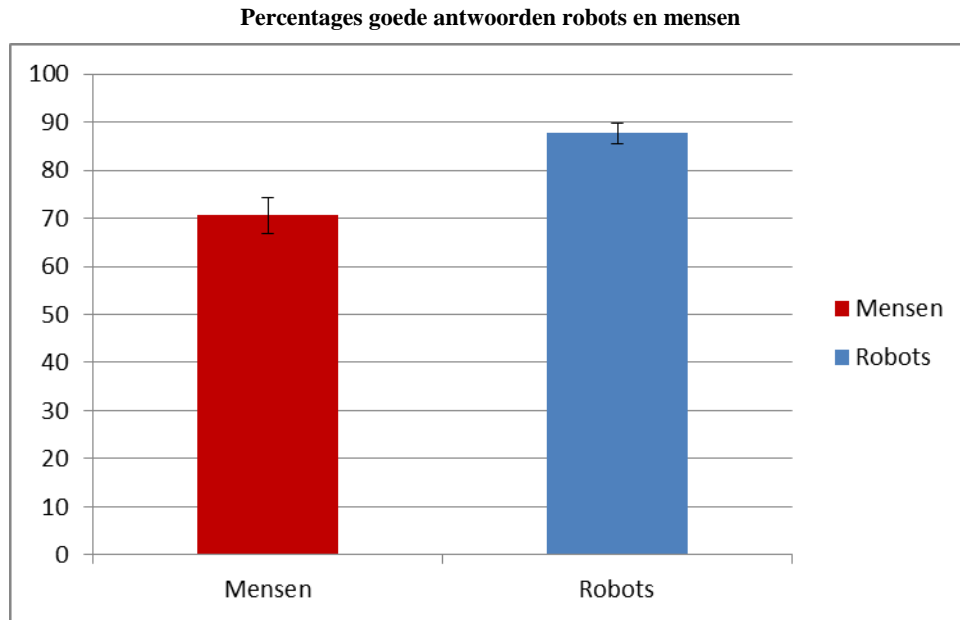
Stimulus type	Emotie	<i>n</i>	<i>M</i> (in %)	<i>SD</i> (in %)
Robot	Alle	13	70.584	7.419
Mens	Alle	13	87.628	4.192
Robot	Angstig	13	81.319	14.478
Mens	Angstig	13	76.923	10.433
Robot	Verdrietig	13	73.28	11.663
Mens	Verdrietig	13	89.103	6.918
Robot	Neutraal	13	60.577	16.282
Mens	Neutraal	13	89.103	13.665
Robot	Blij	13	71.474	14.216
Mens	Blij	13	98.397	2.110
Robot	Boos	13	64.469	20.813
Mens	Boos	13	64.615	7.294

Tabel 1, percentage aantal goede responsen en de standaard deviatie daarvan voor robots en mensen per emotie

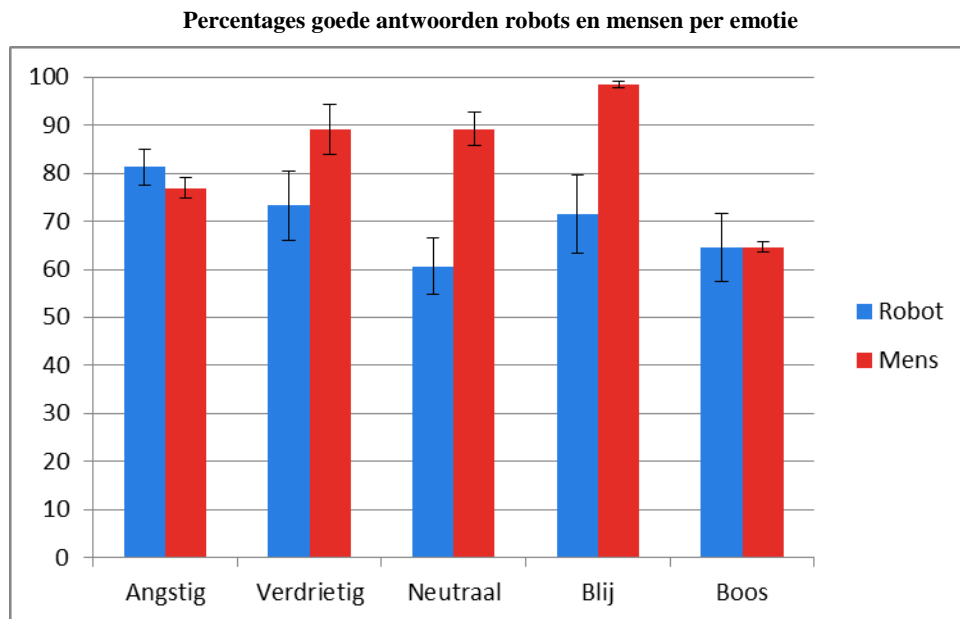
Resultaat t-toetsen tussen robot- en mensenstimuli per emotie

Emotie	<i>df</i>	t-waarde	p-waarde	<i>d</i>
Angstig	12	0.988	0.342	-
Verdrietig	12	-3.956	0.002	-1.703
Neutraal	12	-6.564	0.001	-1.905
Blij	12	-6.562	0.001	-3.298
Boos	12	-3.41	0.005	-1.434

Tabel 2, df. t-waarden, bijbehorende p-waarden en indien significant bijbehorende d voor de gepaarde t-toetsen tussen robotstimuli en mensenstimuli per emotie



Grafiek 3, de percentages goede antwoorden voor robots en mensen



Grafiek 4, de percentages goede antwoorden voor robots en mensen per emotie

Vergelijking van fysiologische reacties voor de emoties voor GSR, zygomaticus, corrugator en hartslag

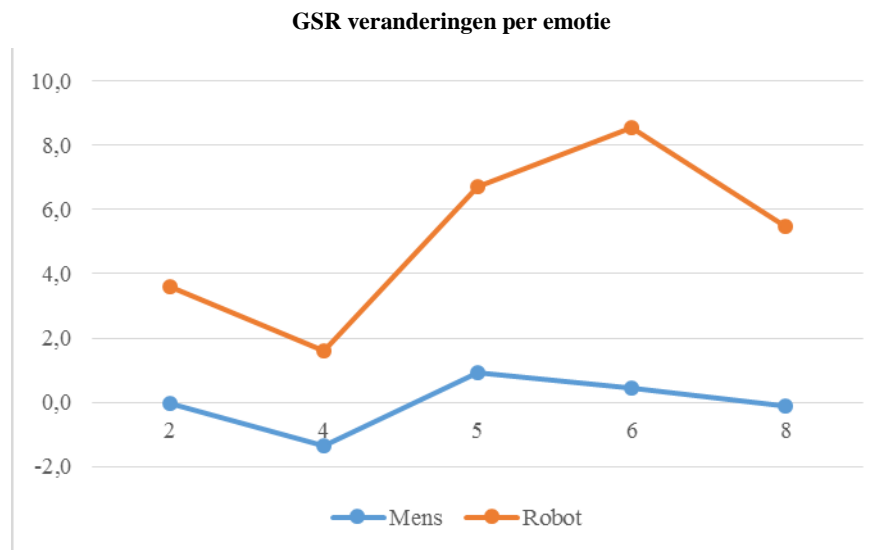
Om de eerste hypothese, ‘Emoties kunnen adequaat onderscheiden worden door middel van het meten van hartslag, GSR en gezichtsspieractiviteit’ te toetsen werd een herhaalde metingen éénweg ANOVA

uitgevoerd per fysiologische maat. Dit werd gedaan voor de metingen van de mensenstimuli. Hiermee werd getoetst of er een verschil zat tussen de fysiologische reacties voor de verschillende emoties angst, verdrietig, neutraal, blij en boos. In de appendix (tabel 4) zijn alle fysiologische maten opgenomen.

GSR

Boxplots en Shapiro-Wilk statistiek toonden dat de assumptie van normaliteit geschonden was; de homogeniteit van varianties was aangetoond, $F_{\max} = 4.505$. Volgens Mauchly's test kon sphericity niet worden aangenomen, de Huynh-Felch aanpassing werd vervolgens gebruikt.

De ANOVA toonde aan dat er geen significant verschil was in de verandering van de GSR reactie voor de verschillende emoties, waarbij $F(2.388, 28.085) = 1.320$ en $p = 0,285$. Het bleek dus dat emoties niet adequaat onderscheiden konden worden van elkaar door middel van het meten van de GSR (zie grafiek 5).



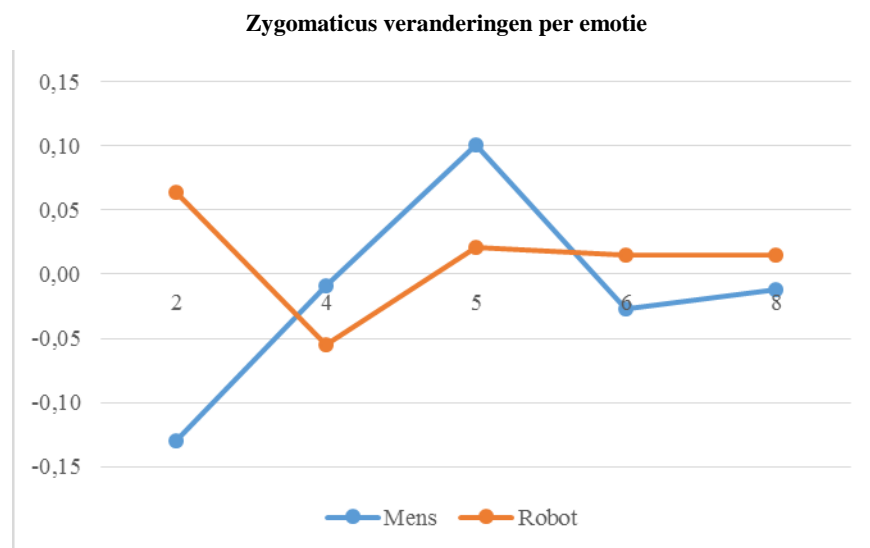
Grafiek 5, de verandering in reactie van de Galvanic Skin Response per emotie voor mensenstimuli en voor robotstimuli, waarbij 2 = angstig, 4 = verdrietig, 5 = neutraal, 6 = blij en 8 = boos

EMG Zygomaticus

Boxplots en Shapiro-Wilk statistiek toonden dat de assumptie van normaliteit geschonden was, de afwijking van normaliteit bleek echter niet groot te zijn. De homogeniteit van varianties was aangetoond, $F_{\max} = 2.784$; volgens Mauchly's test kon sphericity worden aangenomen, er was dus geen aanpassing in de analyse nodig.

De ANOVA resultaten toonden aan dat er een verschil in zygomaticus reactie was voor de verschillende emoties, waarbij $F(4,48) = 3.576$ en $p = 0.012$, partial $\eta = 0.23$. Paren vergelijking toonde aan dat er een grotere reactie was op neutrale gezichten ($M = 0.101$, $SD = 0.209$) dan op angstige gezichten ($M = -0.130$, $SD = 0.213$), waarbij het verschil in gemiddeldes = 0.231 en $p = 0.019$ en een grotere reactie op neutrale gezichten dan op blij gezichten ($M = -0.027$, $SD = 0.133$), waarbij het verschil in gemiddeldes = 0.128 en $p = 0.049$. In de appendix (tabel 5) zijn de p-waardes opgenomen van de niet significante paren.

Het bleek dus dat slechts de emoties neutraal, angstig en blij van elkaar konden worden onderscheiden door middel van het meten van zygomaticus. De andere emoties verschilden niet significant van elkaar (zie grafiek 6).



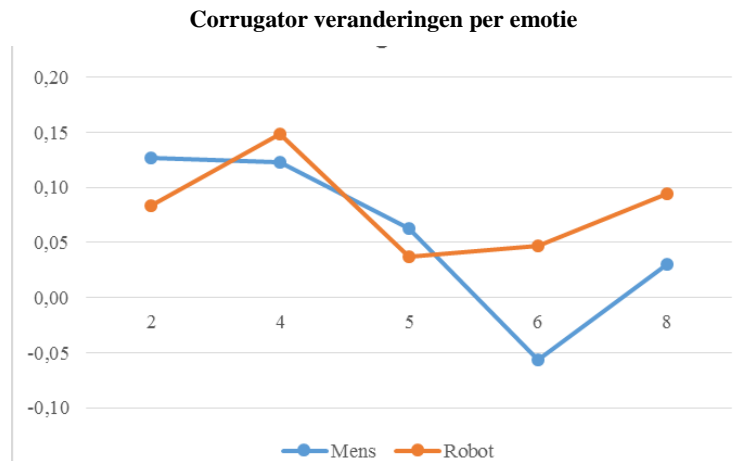
Grafiek 6, de verandering in reactie van de zygomaticus per emotie voor mensenstimuli en voor robotstimuli waarbij 2 = angstig, 4 = verdrietig, 5 = neutraal, 6 = blij en 8 = boos

EMG Corrugator

Boxplots en Shapiro-Wilk statistiek toonden dat de assumptie van normaliteit bijna aangenomen werd, slechts emotie 5 (verdrietig) was net niet normaal verdeeld. De homogeniteit van varianties was aangetoond, $F_{\max} = 2.870$. Volgens Mauchly's test kon sphericity worden aangenomen, er was dus geen aanpassing in de analyse nodig.

De ANOVA toonde aan dat er geen significant verschil was in de verandering van de reactie van de corrugator voor de verschillende emoties, waarbij $F(4, 48) = 2.551$ en $p = 0.051$.

Het bleek dus dat emoties niet adequaat van elkaar onderscheiden konden worden door middel van het meten van de corrugator (zie grafiek 7).



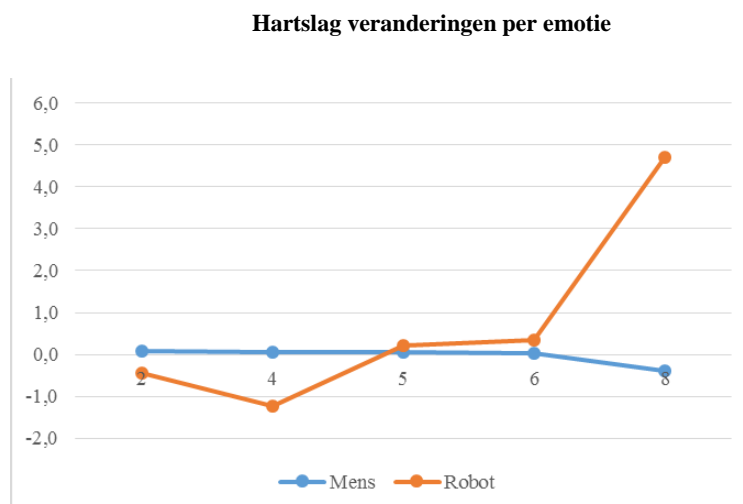
Grafiek 7, de verandering in reactie van de corrugator per emotie voor mensenstimuli en voor robotstimuli waarbij 2 = angstig, 4 = verdrietig, 5 = neutraal, 6 = blij en 8 = boos

Hartslag

Boxplots en Shapiro-Wilk statistiek toonden dat de assumptie van normaliteit aangenomen kan worden; De homogeniteit van varianties was aangetoond, $F_{\max} = 1.313$. Volgens Mauchly's test kon sphericity worden aangenomen, er was dus geen aanpassing in de analyse nodig.

De ANOVA toonde aan dat er geen significant verschil was in de verandering van de reactie van de hartslag voor de verschillende emoties, waarbij $F(4,48) = 0.231$ en $p = 0.920$.

Het bleek dus dat emoties niet adequaat van elkaar onderscheiden konden worden door middel van het meten van de hartslag (zie grafiek 8).



Grafiek 8, verandering in reactie van de hartslag per emotie voor mensenstimuli en voor robotstimuli waarbij 2 = angstig, 4 = verdrietig, 5 = neutraal, 6 = blij en 8 = boos

Vergelijking van de fysiologische reacties van GSR, zygomaticus, corrugator en hartslag tussen mensgezichten en robot gezichten per emotie

Om de tweede hypothese, ‘De gemiddelde veranderingen zijn vergelijkbaar voor het zien van menselijke emotionele expressies als voor het zien van emotionele expressies bij robots’ te toetsen zijn er niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoetsen van Wilcoxon voor de GSR en gepaarde t-testen voor de corrugator, zygomaticus en hartslag, tussen de fysiologische reacties op mensgezichten en op robotgezichten uitgevoerd per emotie.

GSR

De GSR-metingen waren voor zowel de mensenstimuli als de robotstimuli niet normaal verdeeld, de differentiatiescores ook niet. De niet-parametrische herhaalde metingen rangtekentoetsen van Wilcoxon toonden aan dat er voor geen enkele emotie een verschil zat in de verandering van de reactie van GSR (zie tabel 7 in de appendix voor de Z-waarden en p-waarden).

EMG Zygomaticus

De zygomaticusmetingen waren voor zowel de mensenstimuli als de robotstimuli niet normaal verdeeld, maar de differentiatiescores wel. De gepaarde t-toetsen toonden aan dat er een sterkere reactie was van de zygomaticus voor mensenstimuli ($M = 0.027$, $SD = 1.110$) dan voor robotstimuli ($M = -0.130$, $SD = 0.213$) bij de emotie angst, waarbij $t(12) = 2.625$, $p = 0.022$ en $d = 0.239$ (zie tabel 6 in de appendix voor de overige t-waarden en p-waarden van de zygomaticus).

EMG Corrugator

De corrugatormetingen voor de mensenstimuli waren bijna normaal verdeeld, voor de robotstimuli en de differentiatiescores waren ze normaal verdeeld. De gepaarde t-testen toonden aan dat er voor geen enkele emotie een verschil zat in de verandering van de reactie van de corrugator (zie tabel 6 in de appendix voor de t-waarden en p-waarden).

Hartslag

De hartslagmetingen waren voor zowel de mensenstimuli als de robotstimuli en de differentiatiescores normaal verdeeld. De gepaarde t-toetsen toonden aan dat er voor geen enkele emotie een verschil zat in de verandering van de reactie van hartslag (zie tabel 6 in de appendix voor de t-waarden en p-waarden).

Uit deze toetsen bleek dus dat de participanten fysiologisch niet anders reageerden op robotstimuli dan op mensenstimuli, behalve in hun reactie van de zygomaticus voor de emotie angst.

Correlatietoetsen

Om deze tweede hypothese te toetsen werden er ook correlatietoetsen uitgevoerd om te onderzoeken of er correlaties bestonden in de fysiologische reactie tussen mensengezichten en robotgezichten. Deze correlatietoetsen werden uitgevoerd per emotie en per fysiologische maat. Het bleek dat er slechts bij de corrugator een correlatie waar te nemen was voor de emotie boos, waarbij Spearman's $\rho = 0.698$ en $p = 0.008$. Bij de andere fysiologische maten bestonden er geen correlaties tussen de reactie voor mensengezichten als voor robotgezichten. In tabel 8 in de appendix zijn alle correlaties en bijbehorende p-waardes opgenomen. Uit deze resultaten bleek dus dat er geen correlaties zijn in fysiologische reacties tussen mensengezichten en robotgezichten, slechts voor de emotie boos bij de corrugator is een correlatie waar te nemen.

Discussie⁵

In dit onderzoek is getracht een bijdrage te leveren aan de discussie rondom sociale robots en de verwerking van emotionele expressies hiervan. De centrale vraag in dit onderzoek, ‘In hoeverre is de gemiddelde verandering van hartslag, gezichtsspieractiviteit en GSR als reactie op geobserveerde emotionele expressies in de gezichten van mensen vergelijkbaar met die van in robots?’ is beantwoord door middel van een experiment waarbij hartslag, EMG en GSR metingen met elektrodes gedaan zijn. Hoewel er al veel onderzoek gedaan is naar emotieverwerking en sociale robots, is er nog weinig onderzoek gedaan dat deze factoren combineert. Dit explorierend onderzoek tracht hier een begin mee te maken.

De hypothesen in dit onderzoek zijn:

- 1) Emoties kunnen adequaat onderscheiden worden door middel van het meten van hartslag, GSR en gezichtsspieractiviteit.
- 2) De gemiddelde veranderingen zijn vergelijkbaar voor het zien van menselijke emotionele expressies als voor het zien van emotionele expressies bij robots.

In dit onderzoek zijn uiteindelijk slechts 13 metingen meegenomen in de analyse. Vanwege de korte duur van dit bachelorproject was het niet mogelijk om meer tijd te besteden aan het uitvoeren van het experiment. Voor de analyses die zijn uitgevoerd zijn eigenlijk een veel hoger aantal metingen nodig om tot goede, betrouwbare resultaten te leiden. Een poweranalyse wijst uit dat er een minimum aantal van 40 participanten nodig is voor significante resultaten. De kans dat de verkregen resultaten in dit onderzoek op toeval berusten is dan ook erg groot. Dit kan verklaren waarom sommige resultaten elkaar tegenspreken.

De gemiddelde reactietijd voor robotgezichten verschilt niet significant van de gemiddelde reactietijd voor mensengezichten bij de emoties angst, neutraal, verdrietig en boos. Opvallend is dat het blij gezicht een langere reactietijd had bij robots. Als er gekeken wordt naar het aantal goede antwoorden dat gegeven is, scoren participanten bij de emotie angst ook even goed voor robots en voor mensen. Bij de andere vier emoties scoren ze echter beter bij mensengezichten dan bij robotgezichten.

⁵ In samenwerking met Anne Leenders is het algemene deel van de discussie geschreven, de structuur is ook samen opgezet. De rest van de discussie is eigen werk.

Ook blijkt het dat de emotie boos over het algemeen het slechts herkend wordt, dit is wellicht te verklaren door het feit dat de boze stimuli veel op neutrale stimuli lijken. Uit deze resultaten blijkt dus dat robotgezichten voor de emoties blij langzamer herkend worden en dat de emoties boos, verdrietig, neutraal en blij een slechtere herkenningsswaarde hebben. Dit kan erop wijzen dat we alle emoties, behalve blij, even snel verwerken bij robots als mensen, maar dat we deze emoties, behalve angst, wel minder goed verwerken. Zoals eerder genoemd, is er nog vrij weinig literatuur over dit onderwerp gepubliceerd zodat noch bevestigd noch tegengesproken kan worden dat deze resultaten op toeval berusten.

Het blijkt niet mogelijk om adequaat emoties van elkaar te kunnen onderscheiden door te kijken naar de GSR, hartslag of corrugator. Slechts bij de zygomaticus zijn er enkele verschillen te zien: neutrale emoties riepen een sterkere reactie op dan de emoties angst en blij, waarbij angst een iets grotere reactie oproept dan blij. Hoewel er in dit onderzoek dus enkele kleine verschillen waar te nemen zijn, is de kans groot dat deze resultaten op toeval berusten. Dit is vooral ook omdat het aan de hand van de literatuur logischer zou zijn als juist de emotie blij een sterkere reactie zou oproepen. Als er een grotere steekproef was geweest, waren er wellicht meer significante waarden uitgekomen. Zoals al eerder genoemd is deze kans door het geringe aantal participanten erg aannemelijk. Ook zijn de resultaten in strijd met die van de onderzoeken genoemd in de inleiding, waarin aangetoond is dat emoties wel adequaat van elkaar kunnen worden onderscheiden door te kijken naar de GSR, hartslag, corrugator of zygomaticus (Bos, Jap-Tjong, Spencer, & Hofman, 2016; Levenson, Ekman & Friesen, 1990; Schwartz, Weinberger & Singer, 1981; Dimberg & Thunberg, 1998; Li & Chen, 2006; Critchley, Rotshtein, Nagai, O'doherty, Mathias, & Dolan 2005; Collet, Vernet-Maury, Delhomme & Dittmar, 1997; Rosenthal-von der Pütten, Krämer, Hoffmann, Sobieraj & Eimler, 2013; Haag, Goronzy, Schaich & Williams, 2004). Daarnaast is het voor de experimentleiders de eerste keer dat zij een experiment met elektroden uitvoeren, dit kan een negatieve invloed hebben op de betrouwbaarheid van de data. Hoewel in dit onderzoek drie emoties wel van elkaar te onderscheiden zijn door de zygomaticus, kan de eerste hypothese mede door de kans op toeval niet worden aangenomen.

Ondanks dat emoties onderling niet adequaat kunnen worden onderscheiden door een fysiologische maat, is er wel gekeken of de fysiologische reacties voor mensen en voor robots hetzelfde zijn. Hiermee kan de tweede hypothese verworpen worden of aangenomen worden.. Er is slechts voor één emotie, de emotie angst, een verschil waar te nemen in de reactie op mensen- of robotgezicht. Op angstige mensengezichten wordt sterker gereageerd dan op angstige robotgezichten. Dit is alleen te

zien bij de zygomaticus. Een mogelijke empathische verklaring hiervoor is dat we ons minder identificeren met angstige robots dan met angstige mensen en dat we daarom minder snel de angst van een robot overnemen. Angst is belangrijk om te overleven en dit evolutionaire aspect zou de sterkere reacties voor angstige mensengezichten kunnen verklaren. Dit is echter niet te zien bij de andere fysiologische maten en de voorgaande reactietijden en herkenningwaarden spreken dit tegen. Het is dus niet duidelijk in hoeverre deze verklaring relevant is. De overige resultaten tonen aan dat mensen over het algemeen niet significant verschillend reageren op robotgezichten als op mensengezichten. Dit kan dus betekenen dat mensen over het algemeen robotgezichten hetzelfde verwerken als mensengezichten. Er zijn echter geen significante correlaties te vinden tussen de reactie op mensen en de reactie op robots bij dezelfde emotie. De tweede hypothese kan dan dus wel bevestigd worden, hoewel de kans op een type 2 fout aanwezig is door de geringe omvang van de steekproef en de tegenstrijdige resultaten.

Bij het experiment zelf kunnen ook nog enkele kanttekeningen gezet worden. De gebruikte robotstimuli zijn af en toe onduidelijk voor de participanten of ze roepen associaties op die niets te maken hebben met de robots. De robot Einstein wordt door participanten betrouwbaarder gevonden omdat Einstein geassocieerd wordt met een slim, betrouwbaar persoon. Niet iedereen herkent Einstein echter als Einstein en ook niet als robot. De robot Diegosan, een kind, roept juist een minder vertrouwd gevoel op omdat mensen het een kind vinden. Een aantal robots, zoals de robots FACE en Saya, worden door mensen als griezelig ervaren. Niet alle stimuli zijn even duidelijk en sommige robots lijken op elkaar. De robots iCat en Flobi lijken zoveel op elkaar, dat veel participanten ze niet uit elkaar kunnen houden. Deze factoren kunnen, mede doordat er gekeken is naar het gemiddelde van alle robots samen, ervoor zorgen dat de herkenningwaarde bij robots slechter zijn. Ook kan dit de fysiologische reacties beïnvloeden. In dit onderzoek is het echter door de geringe tijdsduur en door het weinige aantal participanten niet mogelijk om een analyse uit te voeren waarbij de verschillende robots als factor worden meegenomen.

Het experiment zelf duurt ook erg lang: de participanten moeten een half uur stilzitten. De meeste participanten gaven aan erg slaperig te worden, één van de participanten is zelfs in slaap gevallen en deze gegevens hebben we dus niet mee kunnen nemen. Deze slaapverwekkendheid van het experiment kan de resultaten ook beïnvloeden.

Voor vervolgonderzoek kunnen al deze factoren meegenomen worden. Het belangrijkste is dat vervolgonderzoek meer participanten test, waardoor de resultaten beter met elkaar vergeleken kunnen

worden, en dat vervolgonderzoek zich of toespitst op minder verschillende robots of een analyse uitvoert waarbij deze verschillen in robotkarakters worden meegenomen. Hiermee kan er een duidelijker resultaat behaald worden.

De onderzoeksvraag *‘In hoeverre is de gemiddelde veranderingen in hartslag, gezichtsspieractiviteit en GSR als reactie op geobserveerde emotionele expressies in de gezichten van mensen vergelijkbaar met die van in robots?’* is dus als volgt te beantwoorden: De gemiddelde verandering in hartslag, gezichtsspieractiviteit en GSR verschillen niet significant tussen robots en mensen, maar er is ook geen correlatie te vinden. Mensen reageren dus in bepaalde mate fysiologisch hetzelfde op robots als op mensen. Hier moet wel de kanttekening bij gezet worden dat als we naar andere metingen kijken, het erop lijkt dat mensen robots niet even goed verwerken als mensen. De reactietijd is voor de emotie blij langer voor robots dan voor mensen. Ook herkennen mensen alle emoties, behalve angst, beter bij mensen dan bij robots. Deze resultaten zouden kunnen betekenen dat robots die geïmplementeerd worden in het sociale leven over het algemeen dezelfde gevoelens kunnen opwekken als mensen en dat wij empathie voor robots kunnen opbrengen, maar dat het soms nog lastig is om de juiste emotie te herkennen. Ook verwerken wij robots wellicht niet helemaal op dezelfde manier als mensen. Sociale robots zouden dan dus zeker een bijdrage kunnen leveren aan het sociale leven van mensen. Naar precieze verwerking van robots is echter nog meer uitgebreid onderzoek nodig om een sluitend antwoord te geven op deze vraag. Hoewel er dus geen eenduidig antwoord op de hoofdvraag gegeven kan worden, zijn in dit explorerend onderzoek vast de eerste valkuilen ontdekt en hopelijk is hiermee de weg vrij gemaakt voor verder onderzoek.

Literatuurlijst

- Bos, P. A., Jap-Tjong, N., Spencer, H., & Hofman, D. (2016). Social Context Modulates Facial Imitation of Children's Emotional Expressions. *PloS one*, *11*(12), e0167991.
- Collet, C., Vernet-Maury, E., Delhomme, G., & Dittmar, A. (1997). Autonomic nervous system response patterns specificity to basic emotions. *Journal of the autonomic nervous system*, *62*(1), 45-57.
- Critchley, H. D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O'doherty, J., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage*, *24*(3), 751-762.
- Dimberg, U., & Thunberg, M. (1998). Rapid facial reactions to emotional facial expressions. *Scandinavian journal of psychology*, *39*(1), 39-45.
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychological science*, *11*(1), 86-89.
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review*, *99*, (3), 550-553.
- Ekman, P., Friesen, W. V., & Ellsworth, P. (2013). *Emotion in the human face: Guidelines for research and an integration of findings*. Elsevier.
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *Neuroimage*, *35*(4), 1674-1684.
Gaat ook over het mirrorsysteem dat reageert op robot acties.
- Gelderblom, G. J. (2014). *Zorgrobotica*. In *Het verpleeghuis van de toekomst is (een) thuis* (pp. 75-77). Bohn Stafleu van Loghum.

- Haag, A., Goronzy, S., Schaich, P., & Williams, J. (2004, June). Emotion recognition using biosensors: First steps towards an automatic system. In *Tutorial and research workshop on affective dialogue systems* (pp. 36-48). Springer Berlin Heidelberg.
- Hanson, D. (2006, July). Exploring the aesthetic range for humanoid robots. In *Proceedings of the ICCS/CogSci-2006 long symposium: Toward social mechanisms of android science* (pp. 39-42).
- Hanson, D., Olney, A., Prilliman, S., Mathews, E., Zielke, M., Hammons, D., ... & Stephanou, H. (2005, July). Upping the uncanny valley. In *Proceedings of the national conference on artificial intelligence* (Vol. 20, No. 4, p. 1728). Menlo Park, CA; Cambridge, MA; London; AAI Press; MIT Press; 1999.
- Jerritta, S., Murugappan, M., Nagarajan, R., & Wan, K. (2011, March). Physiological signals based human emotion recognition: a review. In *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2011 IEEE 7th International Colloquium on* (pp. 410-415). IEEE.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of neuroscience*, 17(11), 4302-4311.
- Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., & Scassellati, B. (2013). Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(5), 1038-1049.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273.
- Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27(4), 363-384.
- Li, L., & Chen, J. H. (2006). Emotion recognition using physiological signals. In *Advances in artificial reality and tele-existence* (pp. 437-446). Springer Berlin Heidelberg.

Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2), 98-100.

Nishio, S., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2007). Geminoid: Teleoperated android of an existing person (pp. 343-352). Vienna: INTECH Open Access Publisher.

Oberman, L. M., McCleery, J. P., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*, 70(13), 2194-2203.

Rainville, P., Bechara, A., Naqvi, N., & Damasio, A. R. (2006). Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. *International journal of psychophysiology*, 61(1), 5-18.

Rosenthal-von der Pütten, A. M., Krämer, N. C., Hoffmann, L., Sobieraj, S., & Eimler, S. C. (2013). An experimental study on emotional reactions towards a robot. *International Journal of Social Robotics*, 5(1), 17-34.

Schwartz, G. E., Weinberger, D. A., & Singer, J. A. (1981). Cardiovascular Differentiation of Happiness, Sadness, Anger, and Fear Following Imagery and Exercise¹. *Psychosomatic Medicine*, 43(4), 343-364.

Seyama, J. I., & Nagayama, R. S. (2007). The uncanny valley: Effect of realism on the impression of artificial human faces. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 16(4), 337-351.

Sonnby-Borgström, M. (2002). Automatic mimicry reactions as related to differences in emotional empathy. *Scandinavian journal of psychology*, 43(5), 433-443.

Wied, M. de, Boxtel, A. van, Zaalberg, R., Goudena, P. P., & Matthys, W. (2006). Facial EMG responses to dynamic emotional facial expressions in boys with disruptive behavior disorders. *Journal of Psychiatric research*, 40(2), 112-121.

Afbeeldingen

Bulkens, B. (2015, 23 December). Uncanny Valley Nederlands De Animatier [Illustratie]. Geraadpleegd op 16 Februari 2017 van <http://www.animatier.nl/kerstfilms-en-de-uncanny-valley/>

"BodyParts3D, © The Database Center for Life Science licensed under CC Attribution-Share Alike 2.1 Japan." Geraadpleegd op 16 Februari 2017

Harmon-Jones, E., & Beer, J. S. (Eds.). (2012). *Methods in social neuroscience*. Guilford Press. Geraadpleegd op 28 Februari 2017.

Appendix

De verschillende robots met hun bijbehorende beschikbare emoties

	Angstig	Verdrietig	Neutraal	Blij	Boos
Diegosan	x	x	x	x	
Einstein	x		x	x	x
FACE	x	x	x	x	x
Flobi	x	x	x	x	x
iCat	x		x	x	x
Saya		x	x	x	x
Sophia	x	x	x	x	x
WE-4RII	x	x	x	x	x

Tabel 1, een overzicht van de robots Diegosan, Einstein, FACE, Flobi, iCat, Saya, Sophia, WE-4RII en hun bijbehorende beschikbare emoties

Reactietijden per emotie voor robotstimuli en mensenstimuli

Stimulustype	Emotie	<i>n</i>	<i>MDN</i>	<i>IQR</i>
Mens	Alle	13	0.453	0.220
Robot	Alle	13	0.443	0.200
Mens	Angstig	13	0.405	0.214
Robot	Angstig	13	0.415	0.209
Mens	Verdrietig	13	0.487	0.339
Robot	Verdrietig	13	0.504	0.258
Mens	Neutraal	13	0.378	0.176
Robot	Neutraal	13	0.388	0.153
Mens	Blij	13	0.398	0.116
Robot	Blij	13	0.431	0.253
Mens	Boos	13	0.467	0.193
Robot	Boos	13	0.454	0.152

Tabel 2, een overzicht van de mediaan en *IQR*-afstand voor de reactietijden op mensenstimuli en robotstimuli per emotie, voor alle mensen samen en voor alle robotssamen

De resultaten van de Wilcoxon-toets voor de reactietijden per emotie

Emotie	<i>n</i>	<i>Z</i> -waarde	<i>p</i> -waarde
Angstig	13	0.594	0.552
Verdrietig	13	-1.572	0.116
Neutraal	13	-0.839	0.402
Blij	13	-2.481	0.013*
Boos	13	-1.643	0.100

Tabel 3, een overzicht van de *Z*-waarden en *p*-waarden van de Wilcoxon-toets om de verschillen in reactietijd tussen mensenstimuli en robotstimuli te testen per emotie. * is significant bij $\alpha = 0.05$

De gemiddelde veranderingen in de fysiologische maten per emotie, voor robots en mensen apart

Fysiologische maat	Stimulustype	Emotie	<i>M</i>	<i>SD</i>
GSR	Robot	Angstig	0.528	3.048
		Verdrietig	0.284	2.162
		Neutraal	0.656	2.102
		Blij	0.949	1.896
		Boos	0.557	2.305
GSR	Mens	Angstig	-0.046	2.406
		Verdrietig	-1.360	3.295
		Neutraal	0.927	2.448
		Blij	0.442	1.552
		Boos	-0.135	2.888
Zygomaticus	Robot	Angstig	0.028	0.110
		Verdrietig	-0.058	0.137
		Neutraal	0.031	0.121
		Blij	0.035	0.207
		Boos	0.008	0.060
Zygomaticus	Mens	Angstig	-0.130	0.213
		Verdrietig	-0.01	0.127
		Neutraal	0.101	0.209
		Blij	-0.027	0.133
		Boos	-0.013	0.131
Corrugator	Robot	Angstig	0.074	0.312
		Verdrietig	0.036	0.276
		Neutraal	0.039	0.216
		Blij	0.001	0.292
		Boos	0.006	0.189
Corrugator	Mens	Angstig	0.127	0.276
		Verdrietig	0.123	0.209
		Neutraal	0.062	0.201
		Blij	-0.056	0.163
		Boos	0.030	0.263
Hartslag	Robot	Angstig	-0.084	0.184
		Verdrietig	-0.061	0.217
		Neutraal	-0.007	0.189
		Blij	0.079	0.247
		Boos	0.072	0.356
Hartslag	Mens	Angstig	0.070	0.196
		Verdrietig	0.049	0.187
		Neutraal	0.064	0.199
		Blij	0.037	0.204
		Boos	0.008	0.214

Tabel 4, een overzicht van de gemiddelde verandering en SD in GSR, zygomaticus, corrugator en hartslag per emotie, voor mensen en voor robots

Resultaten van de parenvergelijking van de ANOVA van de zygomaticus		
Emotiepaar	Verskil in gemiddeldes	p-waarde
Angstig - Verdrietig	-0.121	0.087
Angstig - Neutraal	-0,231	0.019*
Angstig - Blij	-0.103	0.125
Angstig - Boos	-0.118	0.078
Verdrietig - Neutraal	-0.110	0.146
Verdrietig - Blij	0.017	0.677
Verdrietig - Boos	0.003	0.948
Neutraal - Blij	0.128	0.049*
Neutraal - Boos	0.113	0.115
Blij - Boos	-0.014	0.742

Tabel 5, een overzicht van de verschillen in gemiddeldes tussen twee emotieparen en de bijbehorende p-waarden voor de metingen van de zygomaticus bij mensenstimuli

De resultaten van de gepaarde t-toetsen tussen mensenstimuli en robotstimuli per emotie en per fysiologische maat				
Fysiologische maat	Emotie	t-waarde	df	p-waarde
Zygomaticus	Angstig	2.624	12	0.022*
Zygomaticus	Verdrietig	-0.899	12	0.387
Zygomaticus	Neutraal	-0.957	12	0.357
Zygomaticus	Blij	1.121	12	0.284
Zygomaticus	Boos	0.576	12	0.575
Corrugator	Angstig	-0.725	12	0.482
Corrugator	Verdrietig	-1.514	12	0.156
Corrugator	Neutraal	-0.323	12	0.752
Corrugator	Blij	0.728	12	0.480
Corrugator	Boos	-0.451	12	0.660
Hartslag	Angstig	-1.734	12	0.108
Hartslag	Verdrietig	-1.480	12	0.165
Hartslag	Neutraal	-0.953	12	0.360
Hartslag	Blij	0.596	12	0.562
Hartslag	Boos	0.551	12	0.592

Tabel 6, een overzicht van de t-waardes, df en p-waardes van gepaarde t-toetsen tussen mensenstimuli en robotstimuli per emotie voor de fysiologische maten zygomaticus, corrugator en hartslag

De resultaten van de Wilcoxon-toets tussen mensenstimuli en robotstimuli per emotie voor de GSR

Fysiologische maat	Emotie	<i>n</i>	Z-waarde	p-waarde
GSR	Angstig	12	-0.105	0.917
GSR	Verdrietig	12	-0.314	0.753
GSR	Neutraal	12	-0.594	0.550
GSR	Blij	12	-0.804	0.422
GSR	Boos	12	-1.363	0.173

Tabel 7, een overzicht van de Z-waardes en p-waardes van de Wilcoxon-toets tussen mensenstimuli en robotstimuli per emotie voor de GSR

Resultaten van de correlatietoetsen tussen mensenstimuli en robotstimuli per emotie en per fysiologische maat

Fysiologische maat	Emotie	Spearman's ρ	p-waarde
GSR	Angstig	0.027	0.929
GSR	Verdrietig	0.082	0.789
GSR	Neutraal	0.033	0.915
GSR	Blij	0.484	0.094
GSR	Boos	0.093	0.762
Zygomaticus	Angstig	0.269	0.374
Zygomaticus	Verdrietig	-0.0495	0.873
Zygomaticus	Neutraal	-0.258	0.394
Zygomaticus	Blij	0.452	0.122
Zygomaticus	Boos	0.258	0.394
Corrugator	Angstig	0.412	0.216
Corrugator	Verdrietig	0.505	0.078
Corrugator	Neutraal	0.358	0.394
Corrugator	Blij	0.374	0.209
Corrugator	Boos	0.698	0.008
Hartslag	Angstig	-0.500	0.082
Hartslag	Verdrietig	0.049	0.873
Hartslag	Neutraal	0.159	0.603
Hartslag	Blij	0.374	0.209
Hartslag	Boos	-0.600	0.845

Tabel 8, een overzicht van Spearman's ρ en de bijbehorende p-waarden voor de uitgevoerde correlatietoetsen tussen mensenstimuli en robotstimuli voor de GSR, zygomaticus, corrugator en hartslag per emotie