

VU Research Portal

Making sense of haptics

van Beek, F.E.

2016

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

van Beek, F. E. (2016). *Making sense of haptics: fundamentals of haptic perception and their implications for haptic device design*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Nederlandse samenvatting

Er zijn veel situaties te verzinnen waarin het niet erg praktisch is om een handeling met je eigen handen uit te voeren. Stel je bijvoorbeeld voor dat je onderhoud aan een kerncentrale moet plegen: dat doe je liever van een afstand. Een ander voorbeeld is het uitvoeren van een kijkoperatie. Hierbij is het probleem een beetje anders is, aangezien je handen in de weg zitten van waar je het liefst naar zou willen kijken. Ook zijn de bewegingen van je eigen handen vaak nogal onnauwkeurig in vergelijking met de precieze bewegingen die vereist zijn bij dit soort procedures. Een oplossing voor deze onpraktische situaties zou kunnen liggen in het domein van *tele-operatiesystemen*. Dit zijn systemen die het mogelijk maken om van een afstand handelingen uit te voeren, door een robot op de plek te plaatsen waar de handeling uitgevoerd moet worden en die robot van een afstand, bijvoorbeeld met behulp van een joystick, aan te sturen. Deze oplossing elimineert de bovengenoemde problemen, maar heeft ook een groot nadeel: doordat je de handeling niet meer met je eigen handen uitvoert, voel je niet meer wat je op een afstand aan het doen bent. Je hebt door deze aanpak dus de informatie van je tastzintuigen, ook wel *haptische* informatie genoemd, verwijderd. Je hebt dus een nieuw probleem gecreëerd!

Gelukkig is er ook een oplossing voor dit nieuwe probleem te verzinnen, namelijk het nabootsen van haptische informatie. Dit gebeurt idealiter natuurlijk op zo'n natuurgetrouwe manier, dat het lijkt alsof je de handeling wel met je eigen handen uitvoert. Om zo dicht mogelijk bij deze ideale oplossing te komen, moeten we eerst begrijpen welke informatie nodig is om natuurgetrouwe haptische informatie na te bootsen. Het doel van dit proefschrift is daarom om kenmerken van haptische waarneming te onderzoeken die belangrijk zouden kunnen zijn voor het ontwerp van haptische apparaten en haptische feedback. We gebruiken hierbij een deductieve aanpak: we onderzoeken fundamentele eigenschappen van haptische waarneming, en proberen vanuit deze fundamentele kennis adviezen te geven voor haptische toepassingen. Vaak wordt er bij het ontwerp van apparaten vanuit een inductieve aanpak gewerkt: er wordt iets ontworpen, wat vervolgens op mensen getest wordt. Als het goed werkt, wordt het apparaat in gebruik genomen en als het niet goed werkt, wordt er iets aangepast en kunnen de gebruikerstests opnieuw beginnen. Om deze trial-and-error cirkel te doorbreken, die voor elk specifiek apparaat opnieuw nodig is, proberen wij fundamentele kennis te verzamelen. Deze fundamentele kennis zou dan vervolgens in een breder scala aan apparatuur toegepast kunnen worden.

Dit proefschrift is in drie delen opgedeeld, namelijk: statische perceptie, dynamische perceptie, en toegepast onderzoek. Voor al deze secties zal nu beschreven worden wat de onderzoeksvragen en conclusies zijn. Ook zal kort aangegeven worden wat het nut van deze conclusies kan zijn voor het ontwikkelen van haptische technologie.

9.4 Deel I: Statische perceptie

In de eerste sectie worden experimenten beschreven waarin via een handvat krachten op de hand van een proefpersoon werden uitgeoefend. De taak van de proefpersoon was altijd om zijn/haar hand op dezelfde plek te houden en vervolgens een vraag over de grootte of de richting van de kracht te beantwoorden. In de experimenten in Hoofdstuk 2 is gevonden dat mensen grote richtingsafhankelijke fouten maken in het inschatten van zowel de grootte als de richting van een kracht die in het horizontale vlak wordt uitgeoefend. De fouten in de waarneming van de grootte van een kracht waren vergelijkbaar voor alle proefpersonen: een kracht die langs de verbindinglijn tussen hand en schouder werden uitgeoefend, werd als 50% kleiner waargenomen dan een kracht die loodrecht op deze lijn werd uitgeoefend. Het totale verloop van krachtswaarneming over de richtingen heen leverde dus een ellipsvormig patroon op. In Hoofdstuk 4 werd dit patroon verder onderzocht in drie dimensies. Ook werd een verklaring voor de richtingsafhankelijkheid van krachtswaarneming getest, namelijk de richtingsafhankelijke dynamica van de menselijke arm. Door de verdeling en bouw van botten, spieren, pezen en bindweefsel is de menselijke arm in sommige richtingen veel makkelijker te verstoren door er met een bepaalde kracht tegenaan te duwen dan in andere richtingen. In onze experimenten vonden we opnieuw de richtingsafhankelijkheid van de waarneming van de grootte van een kracht. In drie dimensies leek de vorm hiervan op een ellipsoïde, waarbij de richting waarin krachten het kleinst werden ervaren, opnieuw de verbindinglijn tussen hand en schouder was. De dynamica van de arm, die beschreven kan worden met de begrippen stijfheid, demping en traagheid, waren ook ellipsoïdevormig, maar kwamen niet precies overeen met de richting van de waarnemingsellipsoïde. Blijkbaar zijn dus de stijfheid, demping en traagheid van de arm op zich niet de volledige verklaring van de richtingsafhankelijkheid van krachtswaarneming. Voor haptische toepassingen betekent de consistente richtingsafhankelijkheid van de waarneming van de grootte van een kracht dat het wellicht nuttig kan zijn om de grootte van een uitgeoefende kracht aan te passen aan de richting waarin hij uitgeoefend wordt, om ervoor te zorgen dat krachten hetzelfde voelen, onafhankelijk van de richting waarin ze worden uitgeoefend.

Zoals hierboven al genoemd, vonden we in Hoofdstuk 2 ook richtingsafhankelijke fouten in de waarneming van de richting van krachten. In tegenstelling tot de waarneming van de grootte van krachten, waren de fouten in het waarnemen van de richting van krachten erg verschillend tussen proefpersonen. Wel maakten vrijwel alle proefpersonen voor enkele richtingen grote fouten, variërend tussen de -30° en 60° . Om te achterhalen wat hier nu precies aan de hand was, doken we in Hoofdstuk 3 dieper in dit vraagstuk. Eerst onderzochten we of de gevonden foutenpatronen binnen dezelfde proefpersoon wel bij herhaling hetzelfde waren. Een kleine groep proefpersonen werd getest, en vervolgens 1 dag, 1 week en 1 maand later opnieuw getest. Hieruit bleek dat de foutenpatronen van

de meerderheid van de proefpersonen consistent waren over de verschillende metingen heen. De patronen waren dus niet het gevolg van toevalligheden, maar wel sterk proefpersoonafhankelijk. In het vervolggexperiment maten we bij een grotere groep proefpersonen de foutenpatronen en probeerden dit te correleren aan algemene gegevens van die proefpersonen, zoals armlengte, maximale kracht van de arm, etc. Als er een correlatie zou zijn, zouden we een mogelijke verklaring voor de patronen hebben kunnen vinden, maar er was geen correlatie te vinden voor de simpele parameters die wij gekozen hadden. Opnieuw lijkt het verhaal dus ingewikkelder te zijn dan eerst gedacht, maar we weten wel dat mensen grote individuele fouten maken in het inschatten van de richting van een kracht. Deze kennis zou voor haptische toepassingen kunnen betekenen dat correctie van de richting van een kracht op individuele basis nuttig kan zijn.

9.5 Deel II: Dynamische perceptie

In het tweede deel is gekeken naar wat er gebeurt met je perceptie wanneer je je handen gaat bewegen. De vraag die we in Hoofdstuk 5 stelden, was: hoe goed ben je in staat om in te schatten hoe ver je je handen bewogen hebt? Hierbij varieerden we de bewegingsrichting, de bewegingslengte, de manier van bewegen (de proefpersoon bewoog een haptisch apparaat of het apparaat bewoog de arm van de proefpersoon). Ook varieerden we het type sensorische informatie wat aangeboden werd, door het bewegen met een haptisch apparaat met een beweging over een echt oppervlak te vergelijken. Hieruit bleek dat een armbeweging minstens 11% langer of korter moet zijn om met een (redelijke) zekerheid te kunnen waarnemen dat hij niet dezelfde lengte heeft. De enige manipulaties met een waarneembaar effect op de precisie waren de bewegingslengte: wanneer de hand van een proefpersoon wordt bewogen, presteert hij slechter dan wanneer hij/zij zelf de beweging maakt. Dit experiment laat zien dat het waarschijnlijk niet nodig is om haptische apparaten te bouwen die in staat zijn om een positieresolutie te behalen die kleiner is dan 11% van de je gebruikelijke bewegingslengte, omdat de gebruiker die verschillen toch niet zal waarnemen.

De volgende vraag ging over het doel van je bewegingen, die vaak bedoeld zijn om iets te doen met een object in je omgeving. De vraag was nu: wat is het effect van hoe je omgeving is opgebouwd op hoe je objecten in die omgeving waarneemt? Hierbij keken we in Hoofdstuk 6 naar het effect van verschillende componenten die je kunt gebruiken om een omgeving haptisch na te bootsen. Om harde objecten na te bootsen worden vaak virtuele veren gebruikt. Haptische apparaten hebben echter de neiging om onder sommige omstandigheden instabiel te worden, vooral wanneer er van ze gevraagd wordt om harde objecten te simuleren. Om dit te voorkomen, wordt er vaak demping toegevoegd, zodat de apparaten langer stabiel blijven. Onze vraag was of er een effect is van deze

toegevoegde demping op hoe de hardheid van een object (gemaakt van een virtuele veer) wordt waargenomen. We vonden een erg groot effect van demping op waargenomen hardheid. Bovendien was dit effect taakafhankelijk: wanneer proefpersonen de hardheid moesten waarnemen door te beginnen op het oppervlak van het object en het alleen maar in te duwen, zorgde de demping voor een kleine toename van waargenomen hardheid. Wanneer ze echter hardheid moesten waarnemen door vanaf een afstandje met een aanloopje tegen het object aan te botsen en het dan in te deuken, zorgde de demping voor een erg grote afname van de waargenomen hardheid. Deze resultaten laten zien dat het toevoegen van demping iets is wat zorgvuldig en het liefst met mate gedaan moet worden, omdat het grote effecten kan hebben op de waarneming van de gebruikers.

9.6 Deel III: Toepassingen

In het laatste deel is geprobeerd om fundamentele informatie te koppelen aan haptische toepassingen. De eerste vraag daarbij ging over het waarnemen van een krachtenveld. In haptische apparaten kan een krachtenveld gebruikt worden om gebruikers extra informatie over hun taak te geven, door de kracht op de gewenste positie 0 te maken en de gebruiker zo naar die plek toe te begeleiden. We noemen dit in de rest van deze samenvatting ‘haptische begeleiding’. In Hoofdstuk 7 bekeken we hoe mensen eigenlijk weten wanneer de kracht 0 is, aangezien de kracht al een tijdje voordat het nulpunt bereikt is, zo klein wordt dat hij niet meer waarneembaar is. We hadden hierbij twee hypothesen. De eerste hypothese stelde dat mensen het verloop van positie en kracht in het gebied waar de kracht wel groot genoeg is gebruiken om op basis hiervan te extrapoleren waar het nulpunt zal liggen. De andere hypothese stelde dat mensen die informatie niet gebruiken, maar simpelweg het punt waar de kracht zo klein wordt dat ze hem niet meer kunnen waarnemen aanwijzen als de plek waar het nulpunt ligt. Deze laatste hypothese lijkt, gezien onze resultaten, het meest waarschijnlijk. Het zou dus slim kunnen zijn om bij haptische begeleiding het krachtenveld zo te positioneren dat niet het nulpunt op de gewenste positie ligt, maar de plek in het krachtenveld waar de kracht zo klein wordt, dat je hem niet meer kunt voelen.

In het laatste experiment werd opnieuw naar haptische begeleiding gekeken, maar nu was de vraag: als we corrigeren voor fouten in menselijke waarneming, waarvan we door fundamenteel onderzoek weten dat ze aanwezig zijn, presteren gebruikers dan beter? We gebruikten hiervoor een bekend fenomeen in perceptueel onderzoek, namelijk: wanneer je proefpersonen vraagt hun hand naar een stip bewegen, zonder dat ze hun hand kunnen zien, komen ze consistent niet op de stip uit. Waar ze precies uitkomen is verschillend voor elke proefpersoon, maar dezelfde proefpersoon maakt wel altijd ongeveer dezelfde fout. Dit is dus weer een voorbeeld van een individuele fout in menselijk perceptie, net

als in ons richtingsexperiment in Hoofdstuk 2 en 3. Deze visueel-haptische fout roept een vraag op over haptische begeleiding, namelijk: als mensen naar een punt begeleid worden, zonder dat ze hun hand zien, hebben ze dan wel het gevoel dat ze op dat punt uitkomen? In Hoofdstuk 8 hebben we deze vraag getest, door de haptische begeleiding te richten naar het fysieke punt in de ruimte waar de stip zich bevindt en dit te vergelijken met begeleiding naar de plek waar proefpersonen natuurlijkerwijs zouden uitkomen als ze hun hand ongezien naar een stip zouden bewegen. Deze natuurlijke positie was eerst per proefpersoon gemeten, dus de aanpassing werd op individueel niveau gedaan. De individuele aanpassing leverde een reductie op in de fout die proefpersonen maakten in het aanwijzen van de stip. Het verminderde ook de hoeveelheid conflict tussen de begeleiding en de proefpersoon. Het lijkt er dus op dat het individualiseren van haptische begeleiding bij kan dragen aan het verbeteren van de samenwerking tussen mens en haptisch apparaat.

Samenvattend kunnen we dus zeggen dat de fysieke eigenschappen van de wereld en de menselijke haptische waarneming van deze eigenschappen niet altijd overeenkomen, en vaak consistente verstoringen laten zien. Wanneer we op de hoogte zijn van deze verstoringen, kunnen we hiermee rekening houden tijdens het ontwerp van haptische apparaten. Het gebruiken van deze fundamentele kennis over menselijk waarnemen is dan ook een logische en misschien zelfs noodzakelijke stap richting het ontwerpen van gebruiksvriendelijke haptische toepassingen waarbij mens en machine op een intuïtieve manier samenwerken.