

Zoeken op de tast

Een onderzoek naar tactiele informatieverwerking

Als je in het donker op zoek bent naar je autosleutels, of 's ochtends probeert je wekker te vinden, ben je eigenlijk een haptische zoektaak aan het uitvoeren. In dit artikel wordt aan de hand van verschillende haptische zoekexperimenten onderzocht hoe tactiele informatie die binnenkomt op de vingers wordt verwerkt.

dr. Krista E. Overvliet

Informatie over de auteur:

Dr. Krista E. Overvliet is postdoctoraal onderzoeker bij het Laboratorium voor Experimentele Psychologie aan de K.U. Leuven. Deze aanstelling is mede mogelijk gemaakt door een Methusalem-financiering toegekend aan Johan Wagemans (METH/02/08) en een FWO Postdoctoraal Mandaat (FWO-1261011N) toegekend aan Krista Overvliet.

Correspondentieadres:

Dr. Krista E. Overvliet
Postdoctoraal Onderzoeker
Laboratorium voor Experimentele Psychologie
K.U. Leuven
Tiensestraat 102 bus 3711
3000 Leuven
+32 16 326146
Krista.Overvliet@gmail.com

Inleiding

Uit de beschreven studies blijkt dat in veel gevallen de vingers niet alle tactiele input gelijktijdig kunnen verwerken en dat er sprake is van seriële verwerking. In tegenstelling tot de vingers, kunnen de handen wel informatie gelijktijdig, in parallel, verwerken. Deze resultaten zijn niet alleen een belangrijke aanvulling op onze fundamentele kennis van het haptische perceptuele systeem, maar kunnen ook van belang zijn bij het ontwerpen van haptische en tactiele displays.

Stel je voor: je komt op straat iemand tegen en jullie staan even te praten. Jullie besluiten wat af te spreken en daarom wil je zijn of haar telefoonnummer opschrijven. Terwijl jullie doorpraten zoek je met je handen in je tas naar een pen. Zonder te kijken ga je één voor één alle voorwerpen af met je handen, en op basis van bijvoorbeeld vorm of materiaal besluit je of dat het voorwerp is waar je naar op zoek bent. Bij dit zoeken op de tast komt veel meer kijken dan je in eerste instantie zou denken. Een van die aspecten is bijvoorbeeld hoe je de tactiele informatie die waargenomen wordt door aanraking met verschillende onderdelen van de hand (met name de vingers), combineert met kennis over de stand van je vingers, handen en armen. De studies die beschreven zijn in dit artikel zijn allemaal ontworpen om kennis te vergaren over de manier waarop we objecten waarnemen en herkennen met onze handen en vingers. In deze studies onderzoeken we de manier waarop tactiele informatie van de vingertoppen en de kennis over de stand van de armen, handen en vingers (proprioceptis) wordt verwerkt en gecombineerd door gebruikt te maken van verschillende haptische¹ zoektaken (zoektaken op de tast).

¹ In dit artikel gebruik ik de term tactiel wanneer het enkel en alleen om tastinput gaat. 'Haptisch' is een term waarin naast de tastinput ook proprioceptis (de kennis over de stand van de ledematen in de ruimte en in relatie tot elkaar) wordt meegenomen.

Hoe werken de vingers samen?

Om te onderzoeken hoe het tastzintuig met tactiele informatie die is verzameld door de vingertoppen omgaat, hebben we verschillende haptische zoekexperimenten uitgevoerd. Het doel van deze studies was om te begrijpen in welke gevallen de vingers op een seriële manier (één voor één) hun tactiele input verwerken en wanneer ze dat op een parallelle manier doen (allemaal tegelijk). Ook hebben we bekeken of dit verschilt wanneer de vingers stilstaan of in beweging zijn.

Seriële of parallelle verwerking?

In het visuele domein is veel bekend over welke primaire kenmerken belangrijk zijn voor het waarnemen van een object, denk hierbij bijvoorbeeld aan kleur, oriëntatie en grootte van een object. Deze kenmerken veroorzaken over het algemeen een 'pop-out' in een visuele zoektaak. Dit houdt in dat het niet uitmaakt hoeveel andere objecten er gepresenteerd worden, de tijd die het kost om een doel te detecteren blijft gelijk (dit wordt ook wel parallelle verwerking of een parallel zoekpatroon genoemd). De andere mogelijkheid is een serieel zoekpatroon: hoe meer items er in de display zijn, hoe langer het zoeken duurt: de items moeten één voor één worden bekeken totdat het doel wordt gevonden. Dit komt voornamelijk voor wanneer doel en afleiders in mindere mate van elkaar verschillen. In de haptische modaliteit zou dit wel eens anders kunnen zijn: er zijn immers legio verschillen tussen de twee modaliteiten op te noemen. Neem bijvoorbeeld het aantal sensoren dat de input kan verwerken: in de visuele modaliteit zijn er twee, en in de haptische vijf per hand. Ook is de haptische modaliteit meer interactief met de omgeving dan de visuele modaliteit: je raakt immers met de tactiele sensoren (bijvoorbeeld vingertoppen) direct het te exploreren object aan. Ook is het bereik van de haptische modaliteit vele malen kleiner dan het bereik in de visuele modaliteit.

In een eerste studie hebben wij onderzocht of er binnen de haptische modaliteit parallel zoeken zou kunnen bestaan. Wij hebben daarvoor een zoektaak ontwikkeld die vergelijkbaar is met een visuele zoektaak. Een haptisch display met één doel en één of meerdere afleiders werd aangeboden aan de vingertoppen van gezonde proefpersonen (zie afbeelding 1 voor de gebruikte experimentele opstelling). Ze gaven aan waar het doel zich bevond door de desbetreffende vinger op te tillen. Als het doel niet aanwezig was, tilden zij alle vingers op. In één experiment was het doel een kruis en de afleiders cirkels. Deze stimuli zijn gemaakt met zogenoemd zwelpapier: dit is papier waarop je voelbare lijnen kunt maken (ZY®-TEX2: Zychem Ltd., Cheshire, England). In een ander experiment was het doel een verticale lijn en waren de afleiders horizontale lijnen. In beide gevallen vonden we een serieel zoekpatroon, terwijl vergelijkbare stimuli in de visuele modaliteit een parallel zoekpatroon opleveren. We zouden dus kunnen stellen dat stimuli die in een vergelijkbare studie in het visuele domein wel een parallel zoekpatroon veroorzaken (bijvoorbeeld Treisman & Gelade, 1980), dat niet doen in de haptische modaliteit. Maar: in een laatste experiment van die studie was het doel een horizontale lijn en waren de afleiders oppervlaktes zonder lijn. In dit experiment vonden we wel een parallel zoekpatroon (Overvliet, Smeets, & Brenner, 2007a). Het is dus wel degelijk mogelijk, onder bepaalde omstandigheden, om



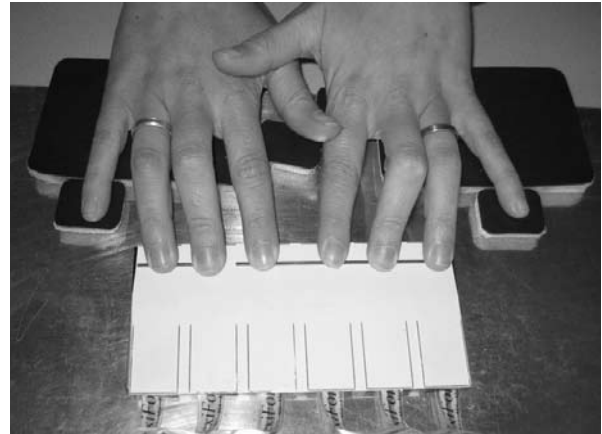
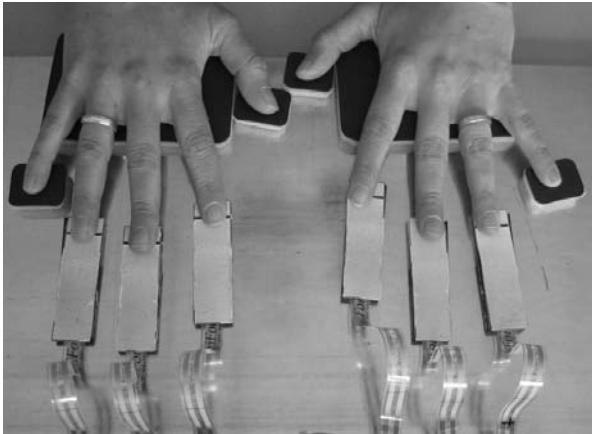
Afbeelding 1. Opstelling die gebruikt is om haptische zoektijden te meten in een statische haptische zoektaak. Onder de vingers van de proefpersoon bevinden zich de stimuli, welke zijn gemaakt van zwelpapier. De sensoren die zich hier weer onder bevinden kunnen de tijd dat de vingers zich op de stimuli bevinden meten.

tactiele stimuli die tegelijkertijd aan de vingers worden aangeboden ook tegelijkertijd te verwerken.

In een zoektaak zoals hiervoor beschreven, wordt per vingertop een item aangeboden. De tijd die nodig is om een specifiek item te vinden hangt over het algemeen af van de hoeveelheid items die wordt aangeboden, en daarom dus ook van de hoeveelheid vingers die wordt gebruikt. Is het het aantal vingers of het aantal items dat de doorslag geeft in de gevonden zoektijd in eerdergenoemde studie? In een tweede studie werden horizontale-lijnstimuli aangeboden aan twee, vier of zes vingertoppen. De taak van de proefpersoon was het optillen van de vinger waaronder ze geen lijnstuk voelden. In een van de condities werden losse, niet uitgelijnde, lijnstukjes aangeboden, zodat het aantal aangeboden lijnstukjes hetzelfde was als het aantal vingers dat moest worden gebruikt. In een andere conditie moesten de proefpersonen een gat in een rechte lijn vinden. De vingers waren zodanig op de lijn geplaatst dat dit gat precies onder een vinger lag (zie afbeelding 2 voor het verschil tussen deze twee condities). Als alleen het aantal lijnstukken belangrijk zou zijn voor de zoektijden, zouden deze hoger worden naarmate je meer vingers gebruikt in de eerste conditie met de losse lijnstukjes, maar dit zou niet het geval zijn in de andere conditie. We vonden dat de zoektijd in beide condities steeg naarmate er meer vingers werden gebruikt. Echter, deze stijging van de zoektijd was kleiner in de conditie waarin de stimuli op één rechte lijn stonden. Dus het aantal vingers bepaalt de zoektijd, maar het zoeken wordt efficiënter wanneer de stimulus kan worden geïnterpreteerd als één object (Overvliet, Mayer, Smeets, & Brenner, 2008).

Stilstaan of bewegen

In een volgende studie werd de invloed van beweging van de vingertoppen op de waarneming van taststimuli bestudeerd. Twee haptische seriële zoektaken werden gebruikt om te onderzoeken hoe de afstand tussen de items en het aantal vingers dat gebruikt werd om ze te scannen, de zoektijden en zoekstrategieën beïnvloedde.



Afbeelding 2a en 2b. De twee condities gebruikt in het zoekexperiment. In afbeelding 2a ziet men de vingers-gespreid-conditie, en in afbeelding 2b ziet men de vingers-op-één-lijn-conditie.

vloeden. De hypothese was dat de tijd die je spendeert om van het ene naar het andere item te bewegen, gebruikt wordt om de net opgepikte tactiele input te verwerken. Derhalve zou de afstand tussen de items weinig invloed moeten hebben op de zoektijden. In beide taken moesten de proefpersonen zoeken naar een doel (een kruisje) tussen afleiders (cirkels). De items werden op een rechte lijn geplaatst. De positie van het doel werd gevarieerd tussen de verschillende trials en de afstand tussen de items werd gevarieerd tussen de blokken trials (zie afbeelding 3 voor de stimuli). In het eerste experiment gebruikten de proefpersonen hun wijsvinger om de rij met items te scannen en zodra ze het doel detecteerden tilden ze hun vinger op. Zoals verwacht hing de zoektijd af van de doelpositie, maar tegen de verwachting in ook van de inter-item-afstand. Voor de grotere inter-item afstand waren de bewegingen van de vinger van de proefpersoon schokkerig, overeenkomend met 'saccades' en 'fixaties' bij oogbewegingen, terwijl bij de kortere afstand de snelheid van de beweging constant was. Wanneer we de tijd dat de vingertop niet in aanraking was met een item aftrekken van de totale zoektijd, dan zijn de zoektijden hetzelfde voor alle afstanden tussen de items. Ook gingen proefpersonen nooit aan het doel voorbij, de vingers bleven stilstaan op het doel. Deze resultaten suggereren dat de proefpersonen de tijd tussen de items niet gebruikten om informatie over deze items te verwerken.

Wanneer we deze resultaten vergelijken met de resultaten van de eerdergenoemde studie waarin de proefpersonen hun vingers stil moesten houden op meerdere items tegelijkertijd, waren de zoektijden in dit experiment iets sneller. Om uit te zoeken of dit effect wordt veroorzaakt door de beweging van de vinger of door het gebruik van maar één vinger in plaats van meerdere, vroegen we de proefpersonen de wijs-, middel- en ringvinger op één lijn te plaatsen en ze gezamenlijk te gebruiken om de items te scannen. In vergelijking met het eerste experiment is de tijd in contact met de items langer. Dit toont aan dat het gebruik van meerdere vingers de zoektijd vertraagt. Het was dus het gebruik van slechts één vinger dat de zoektijden in dit bewegende zoekexperiment sneller maakte dan het eerste (statische zoek)experiment, waar ook meerdere vingers tegelijk gebruikt werden. De oorzaak hier-

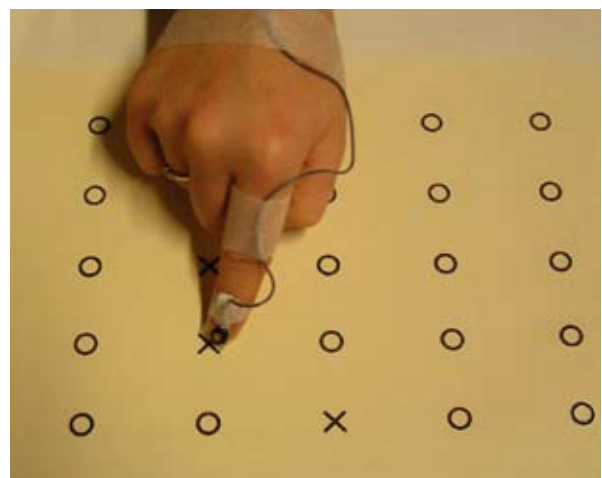
van zouden we kunnen zoeken in de tijd die het kost om van de ene naar de andere vinger 'over te schakelen', wanneer we iets kleins met meer dan één vinger aanraken (Overvliet, Smeets, & Brenner, 2007b).

Hoe werken de handen samen?

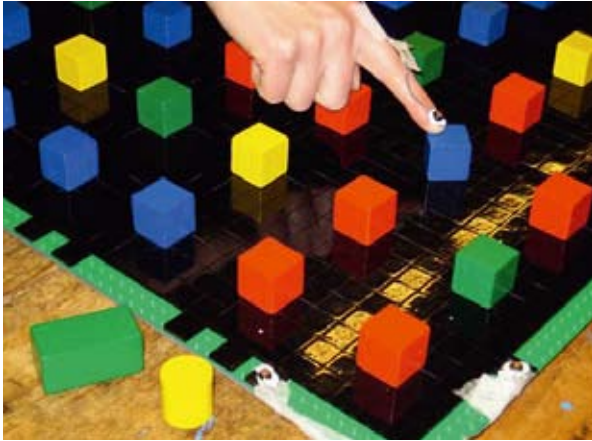
We hebben nu een beeld gekregen van hoe de vingers tactiele stimuli verwerken die aan de vingertoppen worden aangeboden. De vraag die nog steeds open staat, is hoe de handen tactiele informatie oppakken en verwerken.

Vingers van één hand versus vingers van twee handen

Uit genoemde statische zoekexperimenten wordt niet duidelijk of het seriële zoekpatroon wordt veroorzaakt doordat alle zes vingers serieel hun input verwerken. Een alternatieve hypothese is dat vingers van twee verschillende handen wel informatie in



Afbeelding 3. De stimuli die zijn gebruikt in het bewegende zoekexperiment. Op elke regel met stimuli (eveneens gemaakt van zwelpapier) is één doel te vinden. De bewegingen van de vinger werden gemeten met een Optotrak bewegingstracking systeem.



Afbeelding 4. De stimuli die zijn gebruikt in het zoekexperiment met reële objecten. Op de voorgrond en onder de vinger staan de verschillende doelen. Ook hier werden de bewegingen van de vinger en hand gemeten met een Optotrak.

parallel zouden kunnen verwerken, maar dat vingers binnen één hand alleen maar serieel zouden kunnen verwerken. We kunnen dit niet concluderen aan de hand van de resultaten van de eerste experimenten die eerder besproken werden in dit artikel.

Om deze vraag te beantwoorden hebben we een experiment uitgevoerd waarin de taak voor de proefpersoon wederom de detectie van een kruisje tussen rondjes en het optillen van de bijbehorende vinger was. Dit maal varieerden we de vingers die gebruikt werden: ofwel twee vingers van één hand ofwel twee vingers van de twee verschillende handen. We vonden dat twee vingers van één hand een serieel zoekpatroon lieten zien en dat twee vingers van twee handen een parallel zoekpatroon lieten zien. We kunnen nu dus stellen dat de resultaten van genoemde experimenten veroorzaakt werden door het parallel verwerken van informatie van twee vingers van twee handen en het serieel verwerken van informatie tussen de vingers van één hand (Overvliet, Smeets, & Brenner, 2010).

Zoeken naar 3D-objecten

Tot nu toe zijn alleen stimuli van zwelppapier gebruikt om de processen van verwerking van tactiele input te onderzoeken, maar 'echte' objecten hebben we nog niet bekeken. In de laatste studie die beschreven wordt in dit artikel is gekeken naar handbewegingen en zoektijden in zoekexperiment in een haptisch display met 'echte' blokken. Het doel van deze studie was om te onderzoeken hoe goed mensen tactiele informatie met proprioceptis kunnen combineren. Een tweede doel van deze studie was het kijken naar verschillen in het waarnemen van de objecten met één enkele vinger, de gehele hand of twee handen. We voerden een haptisch zoekexperiment uit, waarin proefpersonen moesten zoeken naar een cilinder, rechthoek of een gedraaide kubus in een grit met kubussen (zie afbeelding 4 voor de experimentele opstelling en de verschillende doelen).

De eerste conditie die gemeten werd, was het zoeken met één vinger. Om een cilinder te herkennen is alleen tactiele informatie nodig (de ronding van de rand van de cilinder, in vergelijking

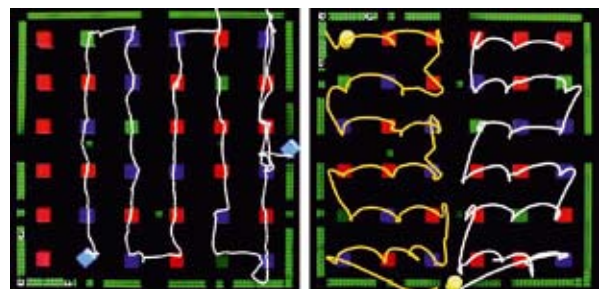
met de rechte rand van de afleiders). Voor het herkennen van een gedraaide kubus is tactiele informatie alleen niet genoeg, je hebt ook statische proprioceptis nodig (stand van de vinger in de ruimte). Om de rechthoek te herkennen heb je dynamische proprioceptis nodig (de afstand en richting van de beweging van je vinger). De rechthoek was het moeilijkst om te vinden, de zoektijden waren veel hoger dan in de andere twee condities. De gedraaide kubus had gelijksoortige zoektijden als de cilinder, maar er werden meer fouten gemaakt. Dit suggereert dat het combineren van statische proprioceptis met tast geen extra tijd kost, maar wel resulteert in meer fouten.

In een tweede conditie konden de proefpersonen hun hele hand gebruiken. De exploratietijd voor de rechthoek en de gedraaide kubus was korter dan wanneer er maar één vinger gebruikt mocht worden. Voor de cilinder waren de tijden hetzelfde als in de één vinger conditie en bovendien waren de zoektijden nu hetzelfde voor de verschillende vormen. Het aantal fouten was lager in de één-enkele-hand-conditie dan in de één-vinger-conditie. Deze resultaten laten zien dat wanneer je een object kunt omvatten met je hand, proprioceptis van de hand zelf geen belangrijke factor meer is.

Als laatste conditie konden proefpersonen beide handen gebruiken. Hierbij vonden we dat de zoektijden ongeveer gehalveerd werden, wat er net als in de vorige paragraaf weer op wijst dat informatieverwerking parallel kan zijn over de twee handen (Overvliet, Smeets, & Brenner, 2008). Een goede illustratie hiervan is te zien in afbeelding 5, waar typische scantrajecten van zowel de conditie met één hand als de conditie met twee handen te zien zijn. Deze scantrajecten laten zien dat de proefpersoon het grit systematisch afgaat en als hij dat met twee handen doet, gebruikt hij vaak een symmetrische strategie, waarbij beide handen tegelijkertijd het display aftasten.

Conclusie

De verwerking van tactiele informatie kan op zowel een seriële als een parallelle manier plaatsvinden. Seriële zoektijden worden bepaald door het gebruik van meerdere vingers. Óf je moet van de ene naar de andere vinger overschakelen terwijl je je vingers over een kleine tactiele stimulus beweegt, óf je moet wachten tot alle vingers klaar zijn met het verwerken van informatie wanneer je meerdere kleine tactiele stimuli aan elke vingertop aangebo-



Afbeelding 5. Bewegingstrajecten in de conditie met één hand (links) en trajecten in de conditie met twee handen (rechts). De trajecten van de verschillende handen zijn in twee verschillende kleuren aangegeven: geel voor de linkerhand en wit voor de rechterhand.

den krijgt. Dit geldt echter niet wanneer deze vingers tot verschillende handen behoren: de handen kunnen namelijk tactiele informatie in parallel verwerken. De resultaten van deze studies kunnen gebruikt worden in het ontwikkelen en ontwerpen van tactiele of haptische displays die een interface hebben waar de vingertoppen mee moeten interacteren.

Om terug te keren naar het voorbeeld van zoeken naar je pen in je tas: volgens de eerste studies die besproken zijn in dit artikel is het moeilijk om meerdere objecten die je tegelijkertijd met meerdere vingers aanraakt in parallel te verwerken. Het aanraken van meer dan één object met één hand kan in die zin het zoekproces een stuk gecompliceerder maken. Aan de andere kant, wanneer je één pen met meerdere vingers aanraakt, versnelt dit het herkenningsproces. Wanneer er genoeg ruimte is in je tas om je vingers over de pen te bewegen, helpt het je om informatie te krijgen over de vorm van het object. Echter, het versnelt niet perse het verwerken van ruimtelijke eigenschappen van een object. Wanneer je je hele hand gebruikt zodat je de pen kunt omvatten, dan hoeft je geen rekening te houden met proprioceptis van je hand en kun je de vorm op tast voelen. Als je twee keer zo snel wilt zijn dan wanneer je één hand gebruikt, kan je het best met twee handen in je tas zoeken.

Referenties

- Overvliet, K.E., Mayer, K., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2008). Haptic search is more efficient when the stimulus can be interpreted as consisting of fewer items. *Acta Psychologica*, 127(1), 51-56.
- Overvliet, K.E., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2007a). Parallel and serial search in haptics. *Perception @ Psychophysics*, 69(7), 1059-69.
- Overvliet, K.E., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2007b). Haptic search with finger movements: using more fingers does not necessarily reduce search times. *Experimental Brain Research*, 182(3), 427-34.
- Overvliet, K.E., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2008). The use of proprioception and tactile information in haptic search. *Acta Psychologica*, 129(1), 83-90.
- Overvliet, K.E., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2010). Serial search for fingers of the same hand but not for fingers of different hands. *Experimental Brain Research*, 202(1), 261-264.
- Treisman, A.M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.

Abstract

When you are looking for your car keys in the dark, or trying to find your alarm clock in the morning, you are actually performing a haptic search task. In the current article, I describe a series of haptic search experiments that aim to investigate how tactile information, picked up by your fingertips, is processed. The studies show that in many cases haptic input on your fingertips cannot be processed simultaneously, but is processed serially in a finger-by-finger manner. However, the hands, opposite to the fingers, are able to process information simultaneously, in parallel. These results are not only an important addition to the fundamental knowledge of the haptic perceptual system, but also important when developing and designing a haptic or tactile display.