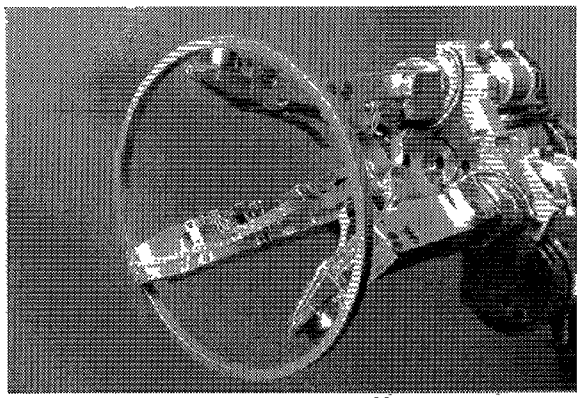
Tactiele sensoren

Edward Holweg ***Op de Technische Universiteit Delft is een nieuw type tactiele matrix sensor ontwikkeld, waarmee naast de klassieke metingen nieuwe typen metingen uitvoerbaar zijn. Hoewel oorspronkelijk voor gebruik in roboticatoepassingen, kan deze sensor gezien zijn mogelijkheden ook goed gebruikt worden in andere gebieden, zoals de medische sector. Momenteel zet Fokker Space deze tactiele matrix sensor op de markt. Hierbij een overzicht van de mogelijkheden die deze sensor biedt.***

Tactiele sensoren

Mensen gebruiken hun vingertoppen, samen met visuele informatie, om gegevens te verzamelen nodig om voorwerpen te pakken en met voorwerpen te manipuleren. Karakteristieken van het voorwerp, zoals temperatuur, vorm en wrijving kunnen worden ervaren Ook is het bijvoorbeeld mogelijk te voelen dat een voorwerp over de vingertoppen glijdt. Tegenwoordig zijn er sensoren die dergelijke metingen kunnen verrichten, maar er bestaat geen sensor die een aantal van dergelijke metingen kan combineren. In dat geval zullen verschillende sensoren gebruikt moeten worden, wat de complexiteit van het sensorsysteem sterk beinvloed Tactiele matrixsensoren, die momenteel worden gebruikt, zijn in staat het gevoel van een vingertop na te bootsen door middel van een meting van de krachtverdeling over het sensoroppervlak

Figuur 1



Echter, deze tactiele matrixsensoren bestaan vaak uit een sandwichachtige constructie, wat ze moeilijk te fabriceren en gevoelig voor storing maakt

De in dit artikel beschreven tactiele matrixsensor is robuust van constructie en kan een groot aantal metingen combineren, zoals.

- het meten van de krachtverdeling over het sensoroppervlak,
- de bepaling van de vorm, positie en orientatie van een voorwerp,
- het meten van slip van een voorwerp over de sensor,
- het meten van de tangentiale of afschuifkrachten

Teleman-18 project

De tactiele matrixsensor, zoals hier beschreven, is ontwikkeld en toegepast binnen het Teleman-18 project Dit project is uitgevoerd in EGverband en bestaat uit het ontwerpen van een behendige grijper en besturing, die operaties kan uitvoeren in gevaarlijke omgevingen, zoals bijvoorbeeld het radioactieve gedeelte van een nucleaire centrale, of chemisch verontreinigde gebieden Operaties die daar uitgevoerd moeten worden bestaan uit inspectie, onderhoud en reparatie

In figuur 1 is de grijper, de Handyman, weergegeven De grijper heeft drie vingers met elk drie graden van vrijheid en een actieve palm met twee graden van vrijheid. De grijper is deels hydraulisch, elektrisch en pneumatisch aangedreven.

De meetresultaten die met de tactiele matrixsensoren worden verkregen, worden gebruikt om een 'behavioural reflex controller' aan te sturen Deze regelaar zorgt er voor dat de vingers een bepaald gedrag vertonen, dat ertoe moet leiden dat voorwerpen goed gegrepen worden.

Nieuwe ontwikkeling

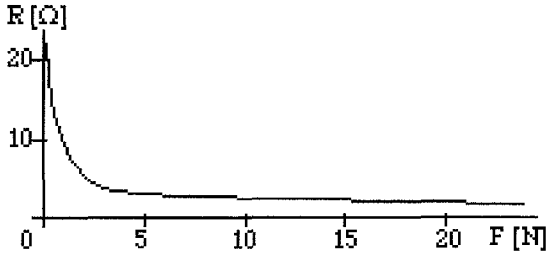
De tactiele matrixsensor is ontwikkeld op de vakgroep Elektronische Instrumentatie van de Technische Universiteit Delft. De sensor maakt gebruik van een weerstandsmeting De sensor bestaat uit twee delen· de interface-elektronica en de sensor zelf De sensor is opgebouwd uit een printplaat met een oppervlakte van ongeveer 22 x 22 mm die 16 x 16 taxels bevat, waarop een plaatje geleidend rubber wordt gemonteerd Zodra er kracht wordt uitgeoefend op het rubber, is de

elektronica in staat de weerstandafname per taxel te meten. Deze weerstandsafname is een directe maat voor de uitgeoefende kracht
Op zichzelf is het gebruik van een weerstandsmeting voor de implementatie van een tactiele matrixsensor niet nieuw
In het verleden is hier al enig onderzoek naar verricht Het nieuwe aan deze sensor is, dat de resultaten die bereikt worden erg goed zijn, waardoor een groot aantal verschillende en nauwkeurige metingen verricht kunnen worden

Werking

De tactiele matrixsensor maakt gebruik van geleidend siliconenrubber om de uitgeoefende krachten te meten. De weerstand van het rubber wordt bepaald door het aantal geleidende deeltjes in het rubber en de kracht die er op wordt uitgeoefend Het rubber dat voor deze sensor wordt gebruikt is zacht, heeft een hoge wrijvingscoefficient en maakt een goede greep met voorwerpen mogelijk Uit metingen blijkt dat de weerstand van het rubber niet alleen wordt bepaald door de afmetingen. De weerstand aan het oppervlak is hoger dan in het rubber zelf Er kan dus een verschil gemaakt worden tussen de oppervlakteweerstand en de bulkweerstand De oppervlakteweerstand varieert met de uitgeoefende kracht op het rubber, terwijl de bulkweerstand alleen door de afmetingen van het rubber wordt bepaald De respons van het rubber is niet lineair met de uitgeoefende kracht Door degradatie-effecten van het rubber varieert de overdracht ook in de tijd Door deze effecten is de tactiele matrixsensor niet direct geschikt om te gebruiken voor nauwkeurige krachtmeting.

Figuur 2

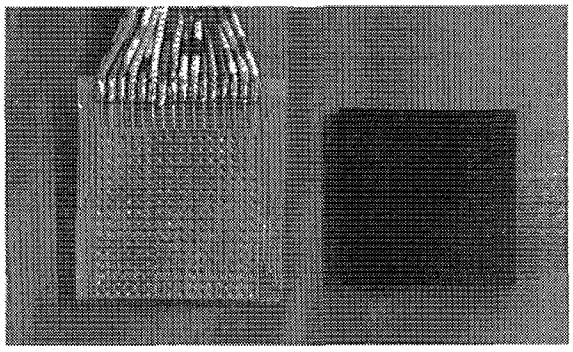


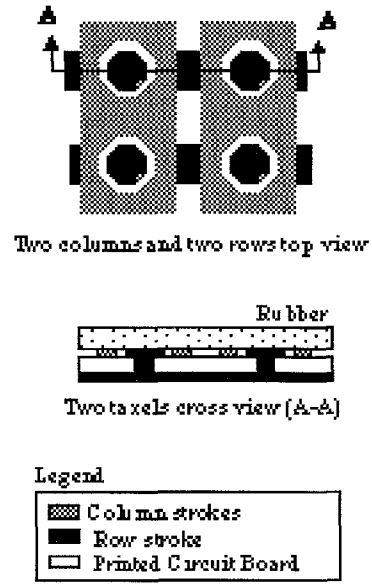
Daarentegen is de sensor zeer goed te gebruiken om de krachtverdeling over het sensoroppervlak te meten.
Deze verdeling wordt niet verstoord door de niethineare effecten. Zie figuur 2 ter illustratie van de niethineare overdracht van het rubber In deze figuur is de gemeten weerstand uitgezet tegen de uitgeoefende kracht

Constructie

Om de kracht te meten die op het rubber wordt uitgeoefend, worden twee elektroden gebruikt Tussen deze twee elektroden wordt de weerstand van het rubber gemeten Deze weerstand vertegenwoordigt de uitgeoefende kracht op het rubber Om de weerstand te bepalen, wordt een constant spanningsverschil tussen deze twee elektroden aangebracht en de stroom gemeten.

Aan een dergelijk elektrodenpaar is de naam taxel gegeven Om nu bijvoorbeeld een matrix van 16 x 16 taxels te maken, wordt een standaard printplaat gebruikt, met een afmeting van ongeveer 22 x 22 mm. Aan weerszijden van de printplaat wordt een laag even-

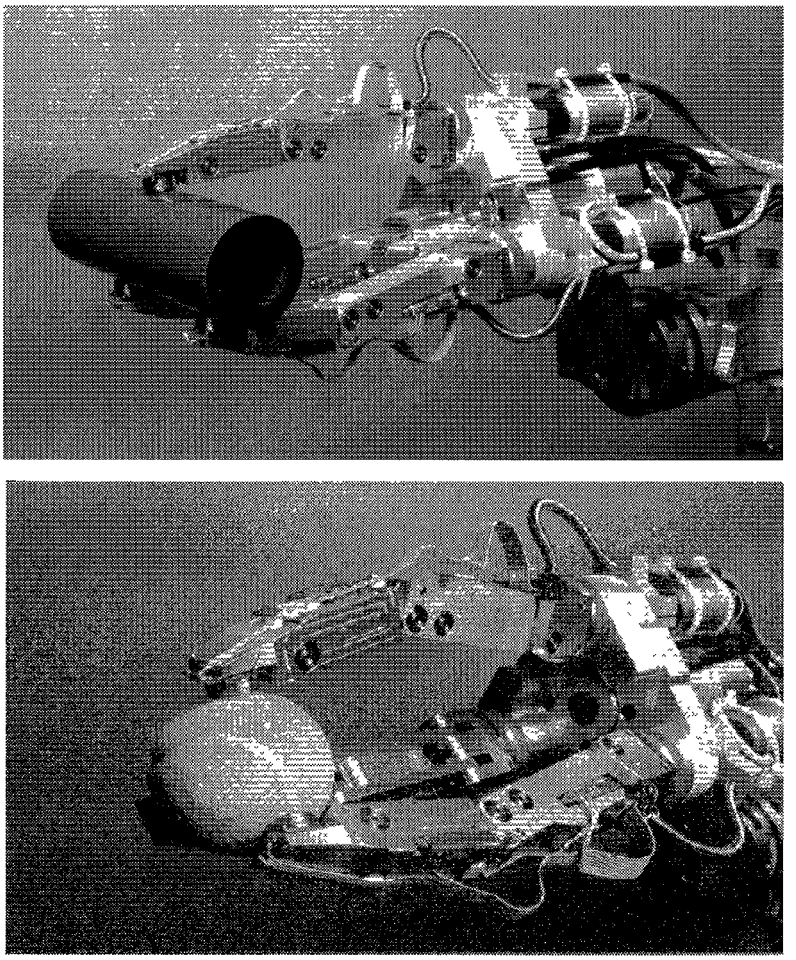




Figuur 3

wijdige kopersporen aangebracht, de lagen staan onderling haaks op elkaar
Aan de achterkant van de printplaat bevinden zich de zogenaamde rijen, aan de voorzijde de kolommen
Op elke kruispunt, van een rij en kolom, wordt een doormetallisering (doorverbinding door de print heen) gemaakt, dusdanig dat er een eiland ontstaat in de kolom. Deze doormetallisering staat in direct contact met de rij aan de andere kant van de printplaat. In figuur 3 is de printplaat weergegeven van een tactiele matrixsensor met een resolutie van 16 x 16 taxels De kolommen en eilandjes zijn duidelijk zichtbaar Naast de printplaat is een stuk rubber zichtbaar dat op deze taxels wordt geplaatst.
Door het gebruik van de 16 rijen en 16 kolommen zijn in totaal 32 draden nodig om de in totaal 256 taxels te adresseren. Om een taxel uit te lezen wordt een potentiaalverschil gelegd tussen een kolom en een rij

Voor de verlaging van de weerstand als gevolg van druk zijn twee mogelijke verklaringen.



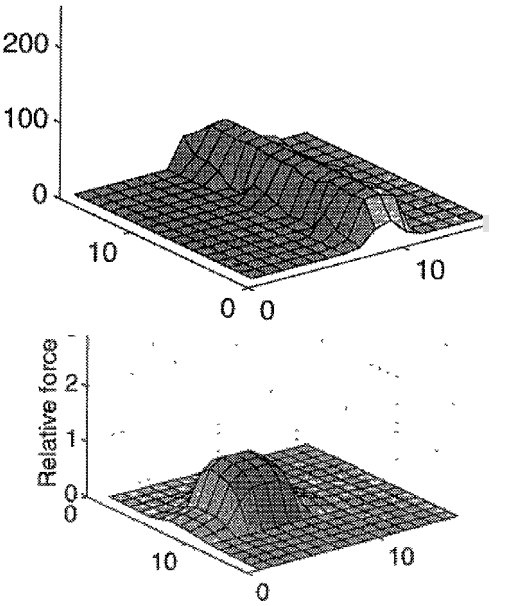
Figuur 4

- de geleidende deeltjes in het siliconenrubber komen door de uitgeoefende kracht dichter bij elkaar te liggen, waardoor de weerstand van het rubbermateriaal wordt verlaagd;
- het contact tussen het rubber en de printplaat wordt beter, waardoor een betere geleiding ontstaat met een lagere overgangsweerstand als gevolg

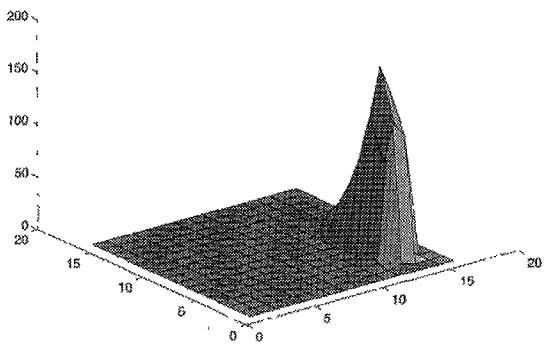
Het is aannemelijk dat het eerste effect slechts geringe invloed op de weerstand heeft, omdat de geleidende deeltjes in het siliconenrubber onder invloed van de uitgeoefende kracht zeer beperkt dichter bij elkaar kunnen komen.
Het tweede effect blijkt een veel sterkere rol te spelen Zowel de elektroden op de printplaat als het rubber zullen nooit een perfect glad oppervlak hebben. Door de elastische eigenschappen van het siliconenrubber zal onder invloed van een drukkracht het contactoppervlak toenemen, waardoor een kleinere overgangsweerstand ontstaat.
De gevoeligheid van de sensor kan sterk beinvloed worden door de materiaalkeuze Bijvoorbeeld, het gebruik van koperen elektroden in plaatst van vertinde elektroden maakt de sensor gevoeliger
Ook de toepassing van andere geleidende siliconenrubbers beinvloedt de gevoeligheid.

Tactiele impressies

Tactiele impressies van een bol en een cilinder zijn in figuur 4 weergegeven De sensor is met een kabel verbonden aan de elektronica die de sensor uitleest.
Ongeveer 4 ms is nodig om de complete sensor uit te



Figuur 5

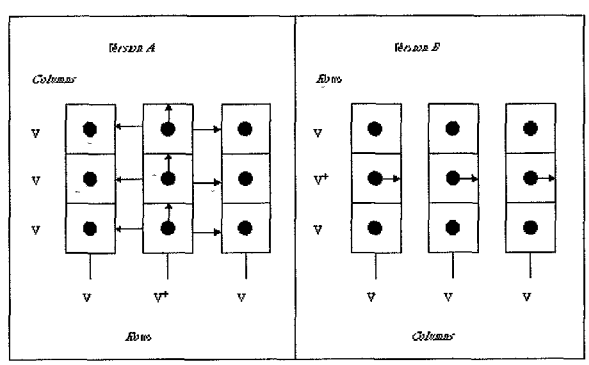


lezen als er een kabel wordt gebruikt korter dan 1 m. Indien een kabel van 5 m wordt gebruikt duurt een complete scan ongeveer 15 ms. Deze extra tijd is noodzakelijk in verband met de effecten van parasitaire storingen In dit geval is een langere wachttijd (integratietijd) nodig voordat een AD (analoog-digitaal) conversie kan plaatsvinden.
Telkens als een taxel wordt uitgelezen, worden er twee multiplexers geselecteerd, één voor de rijen en één voor de kolommen. Als binnen een rij of kolom een andere taxel wordt gelezen, zal een multiplexer schakelen. Tussen het schakelen van deze multiplexers en het converteren van de gemeten stroom zit een bepaalde wachttijd. Als deze wachttijd te kort wordt gekozen, beinvloeden de capacitieve effecten in de kabel de meting. In figuur 5 is getracht dit weer te geven door met de punt van een balpen op een taxel te drukken. Deze invloed kan omschreven worden als een uitsmering van de gemeten tactiele impressie over de sensor De uitsmering is aanwezig in de richting waarin de taxels worden uitgelezen en stopt aan het einde van een kolom of rij, afhankelijk van de richting waarin het uitlezen plaats vindt.
Op dit punt zullen de multiplexers schakelen, wat tot gevolg heeft dat de invloed van de aanwezige capaciteit verdwijnt.

Elektrische aansluiting

Om de weerstand van een taxel te meten, zal de interface-elektronica de spanning op de geselecteerde rij hoger zetten dan de spanning op alle andere rijen en kolommen. Op deze wijze zal er stroom lopen van het eilandje via de rij naar de kolom. Door de stroom te meten die tussen rij en kolom loopt, kan de weerstand bepaald worden als maat voor de kracht die op dit stuk van de sensor wordt uitgeoefend. In figuur 6 is het elektrisch schema van een taxel weergegeven.
Als gevolg van de spanning over een taxel loopt een stroom van rij naar kolom. Deze stroom wordt beinvloed door de weerstand aangeduid met R_{tact}, die afhankelijk is van de uitgeoefende kracht. Deze stroom veroorzaakt een spanningsverschil U_{ADC} over de referentieweerstand R_{ref} De spanning U_{ADC} is dus een maat voor de uitgeoefende kracht en wordt aangeboden aan een 8-bit AD omzetter Voordat de spanning U_{ADC} aan de AD-omzetter wordt aangeboden wordt deze eerst door een programmeerbare versterker gestuurd, om de gevoeligheid van de sensor te kunnen beinvloeden. De gebruikte programmeerbare versterker heeft acht verschillende versterkingen, die op willekeurige waarden ingesteld kunnen worden, bijvoorbeeld 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 en 128, en kan door software worden aangestuurd

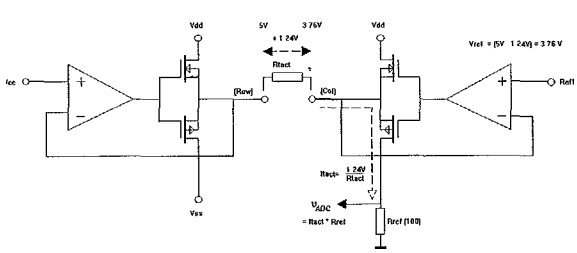
Er zijn twee manieren waarop de sensor kan worden aangesloten die in figuur 7 zijn weergegeven
In de variant A zijn de rijen aangesloten op de eilandjes en de kolommen op de voorkant van de sensor. In de figuur is de middelste rij geselecteerd en de spanning



Figuur 7

hoog gezet (aangegeven met V+). De pijlen in de figuur geven aan hoe de stroom zal gaan lopen. Zoals is te zien, zal de stroom niet alleen tussen de twee elektroden van de taxel lopen, maar ook naar elektroden van andere taxels. Dit verschijnsel kan gezien worden als overspraak tussen de taxels en beinvloedt de meting sterk.
In variant B is een oplossing voor dit probleem gegeven, eenvoudigweg door de rijen en de kolommen om te wisselen. Nu wordt wederom de middelste rij gese-

Figuur 6

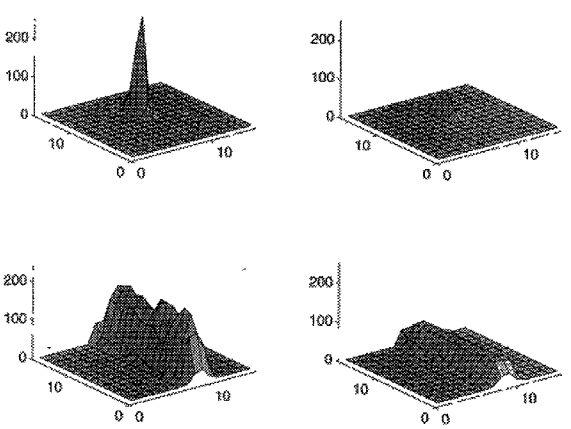


lecteerd door de spanning te verhogen. De stroom zal nu direct van het eilandje, of de rij, naar de kolom lopen. Er treedt nu geen overspraak op tussen de rijen en kolommen. Methode B geeft aanzienlijk scherpere tactiele beelden te zien, met name door de afwezigheid van overspraak.

Filtering van de tactiele beelden

Door de niet-lineaire effecten van het rubber en de contacteigenschappen van het rubber en de elektroden, geeft een kleine uitgeoefende kracht een grote verandering in de gemeten weerstand Als de kracht hierna wordt opgevoerd zal de gemeten weerstand minder sterk afnemen, zie figuur 2 De informatie (drukverdeling) die opgeslagen zit in een tactiel beeld is dus niet evenredig met de kracht Om het beeld een meer waarheidsgetrouw karakter te geven kan het worden gefilterd De filterkarakteristiek is de inverse van die van de uitgeoefende kracht en de gemeten weerstand en lijkt sterk op een arctangens functie Door met dit filter de gemeten waarden te corrigeren ontstaat een waarheidsgetrouw tactiel beeld van de uitgeoefende krachtsverdeling.
In figuur 8 is het effect te zien van filtering van ruwe tactiele beelden. In deze figuur zijn een balpenpunt en een cilinder gefilterd. Het is duidelijk te zien dat het

Figuur 8



resultaat beter lijkt op het voorwerp waarmee kracht wordt uitgeoefend.

Rubber

Het rubber dat gebruikt wordt is een industrieel geleidend siliconenrubber Ervaring met een aantal rubbers is grotendeels gebaseerd op experimenten Verder onderzoek naar het gedrag tussen het rubber en de taxels onder invloed van een uitgeoefende kracht zal zeker moeten worden uitgevoerd. De gevoeligheid van de sensor wordt grotendeels bepaald door de hoeveelheid geleidende deeltjes in het rubber.
Hierdoor zal de contactweerstand tussen het rubber en de taxel sneller afnemen bij een contant uitgeoefende kracht Tijdens het onderzoek, in het Teleman-18 project, is rubber gebruikt met verschillende diktes. In het algemeen kan gesteld worden dat rubber met een dikte van 2 tot 4 mm een goede contacteigenschap vertoonde met de voorwerpen. Het dikkere rubber is zacht en door de hoge wrijvingscoefficient is het contact met het te grijpen voorwerp goed. Door de mechanische spreiding van de krachten door het dikkere rubber zijn de tactiele beelden uitgevlekt. Een puntcontact bijvoorbeeld, levert een tactiel beeld op van een aantal taxels. Het tactiele beeld geeft wel zeer duidelijk de vorm van het voorwerp weer De generaliteit van het gemeten beeld wordt niet aangetast, wat zeer belangrijk is in bijvoorbeeld het herkennen van te grijpen voorwerpen. Rubber met een dikte tot 2 mm heeft minder goede contacteigenschappen Dit heeft met name te maken met de geringere invering van het rubber en de daardoor verminderde wrijving tussen de sensor en het voorwerp. Daarentegen geeft het een scherper tactiel beeld te zien dan bij het gebruik van dikker rubber

Sensormat

De sensormat kan verschillende vormen hebben. Het principe van de tactiele matrixsensor is gebaseerd op een groepering van verschillende taxels. De wijze waarop de taxels verdeeld worden over een oppervlak en de afmeting van elke taxel is vrij te definieren Hierdoor is het eenvoudig mogelijk verschillende soorten sensormatten te maken, die zowel verschillen in vorm als in resolutie Bij roboticatoepassingen zal behoefte zijn aan platte en kleine tactiele matrixsensoren, die bijvoorbeeld op een tweevingerige parallelle grijper gemonteerd kunnen worden
Een compleet andere toepassing kan gevonden worden bij de ontwikkeling van revalidatietechnieken. Om te bepalen hoe een voet in een schoen staat, kunnen tactiele sensoren in de zool geplaatst worden. De zool kan dan bestaan uit een flexibele print waarop enkele taxels zijn geplaatst ter hoogte van de hiel en de voorvoet Afhankelijk van het type metingen kunnen enkele grote of een anntal kleine taxels geplaatst worden
De tactiele matrixsensortechnologie kan ook gebruikt worden tijdens slaapregistratie. Voor een dergelijke toepassing zal de tactiele matrixsensor de afmetingen van een matras hebben met een resolutie van bijvoorbeeld 16 x 32 taxels De taxels kunnen dan ongeveer 5 x 5 cm groot zijn

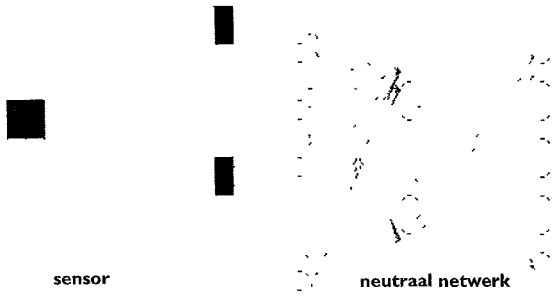
Voor elk van deze toepassingen is het mogelijk dezelfde elektronica-interface te gebruiken Dit maakt het mogelijk verschillende sensorvarianten te ontwikkelen, zonder de elektronica te hoeven aanpassen.

Voorwerpherkenning

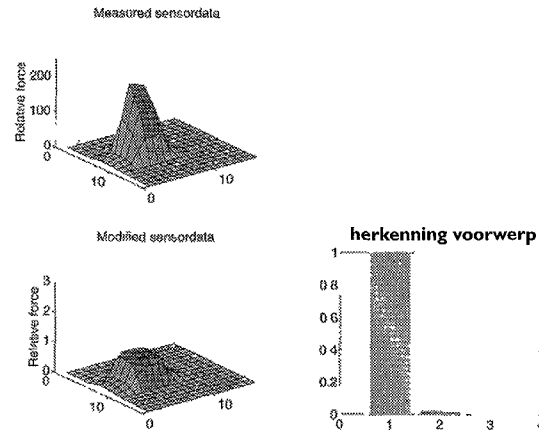
Tijdens het grijpen van een voorwerp kunnen met behulp van het tactiele beeld bepaalde karakteristieken van het voorwerp bepaald worden De volgende karakteristieken kunnen worden bepaald· vorm, positie en orientatie.
Bij het herkennen van de vorm van een voorwerp is het van belang dat de vorm en niet het voorwerp wordt herkend De afmetingen van het voorwerp mogen niet bepalend zijn in de vormherkenning.
Binnen gestructureerde omgevingen (de vorm van de voorwerpen is bekend) kunnen klassieke methoden gebruikt worden, zoals een contour algoritme, om het voorwerp te herkennen
De verkregen contouren kunnen stand- (rotatie) en grootte onafhankelijk gemaakt worden en vergeleken worden met van te voren opgeslagen data uit een database Zodra in een ongestructureerde omgeving gewerkt wordt, en dus niet alle voorwerpen van te voren bekend zijn, zal naar een andere oplossing gezocht moeten worden. Niet een precieze omschrijving van het voorwerp is gewenst, maar een classificatie naar een type voorwerp dat een bepaalde gemeenschappelijke karakteristiek heeft. Het idee is een mapping te maken van een tactiel beeld naar een set van verwante karakteristieke vormen

Een neuraal netwerk kan een dergelijke mapping aangeleerd worden Tactiele beelden die niet geleerd zijn, moeten echter wel resulteren in een juiste classificatie In dit geval kan gebruik gemaakt worden van een feedforward error back-propagation neuraal netwerk (EBP). Voor elk niet geleerd tactiel beeld zal een classificatie gemaakt worden die zo dicht mogelijk ligt bij de aangeleerde tactiele beelden. De implementatie bestaat uit

Figuur 9



een kunstmatig neuraal netwerk met 256 ingangen: één voor elke taxel, 3 neuronen in de verborgen laag en 3 uitgangen Met deze drie uitgangen kunnen in totaal drie classificaties gemaakt worden. bolvormig, cilindervorming of vlak Elke cel heeft een uitgang tussen 0 en1 Deze waarde geeft een percentage aan in hoeverre het tactiele beeld wordt geclassificeerd naar de bijbehorende vorm In figuur 9 is deze opzet weergegeven. Het neurale netwerk wordt getraind met behulp van gemeten tactiele beelden.
Deze beelden worden eerst gefilterd voordat ze aan het neurale netwerk worden doorgegeven Zoals eerder vermeld is deze filtering noodzakelijk om meer waarheidsgetrouw tactiel beeld te krijgen Het neurale netwerk is ook in staat om direct met ruwe tactiele beelden te werken en dus ook deze filtering aan te leren Echter, uit experimenten blijkt het resultaat minder goed te zijn
De herkenning van drie typen voorwerpen – bolvormig, cilindervormig en vlak – wordt getraind door een set voorwerpen met willekeurige positie, grootte en orientatie te meten Deze leer-set bestaat uit ongeveer 60 voorwerpen en wordt gebruikt om het neurale netwerk te leren
In figuur 10 is het resultaat te zien van het getrainde neurale netwerk wanneer een bolvormig voorwerp wordt aangeboden Dit resultaat is onafhankelijk van



Figuur 10

Resultaat van het neutraal netwerk Een bolvormig voorwerp wordt aangeboden

positie en grootte van de bol De bepaling van positie en orientatie aan de hand van tactiele beelden geschiedt op eenzelfde wijze. Aan de hand van gemeten voorwerpen kan een verzameling worden geconstrueerd waarmee het neurale netwerk geleerd kan worden
Voor de orientatie is één uitgangscel nodig Deze geeft

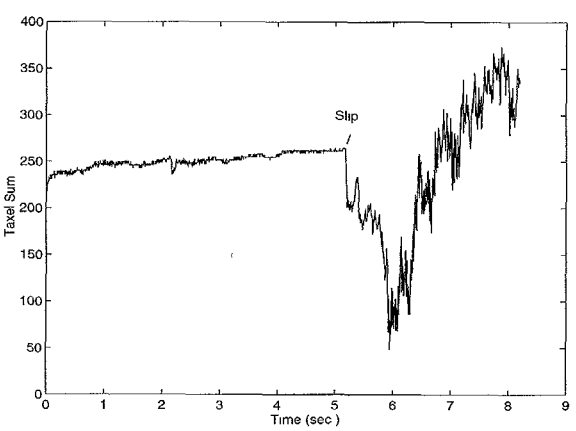
de oriëntatie aan tussen 0 en 1, oftewel tussen 0° en 360° Voor de bepaling van de positie kan de sensor in verschillende vlakken verdeeld worden. Voor elk vlak kan een uitgangscel worden gereserveerd. De waarde van deze cel geeft het percentage aan waarover het voorwerp dit vlak bedekt.

Slipmeting

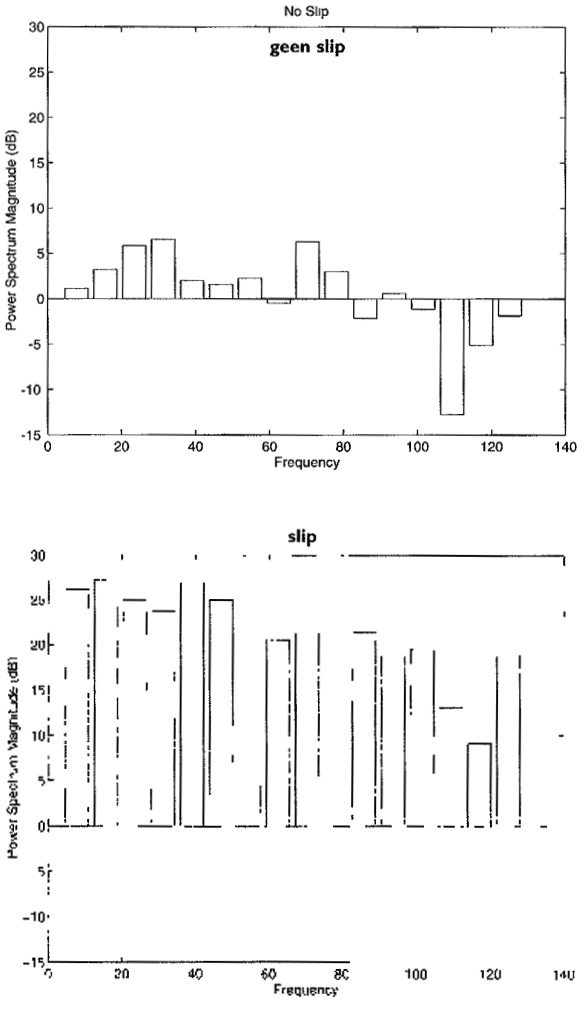
Bij het grijpen en manipuleren van voorwerpen is het meten van slip van het voorwerp in de robotgrijper belangrijk Als een dergelijke situatie zich voordoet kan de grijper bijvoorbeeld krachtiger in het voorwerp proberen te knijpen om slippen te voorkomen Dit zal niet altijd tot een juiste situatie leiden. denk hierbij aan het steeds harder knijpen in een stuk zeep. Dit zal uiteindelijk resulteren in het wegschieten van het stuk zeep. Eenvoudig harder knijpen voldoet dus niet altijd in het oplossen van een uit de grijper slippend voorwerp.
Een eenvoudige methode om slip van het voorwerp te bepalen, bij het gebruik van tactiele matrixsensoren, is het volgen van het massamiddelpunt Als een bal wordt gegrepen en deze slipt uit de grijper, dan zal de positie van de bal veranderen De beweging (verandering van positie) van dit massamiddelpunt kan dus gebruikt worden in de bepaling van slip

Deze methode werkt echter niet altijd, wat een groot nadeel is. Als het voorwerp de complete sensor bedekt, of als door de slipbeweging het middelpunt niet verandert, zoals een cilinder die in de lengterichting over de sensor glijdt, dan zal deze methode geen slip detecteren Daarom is een andere methode ontwikkeld die ook onder dit soort omstandigheden slip detecteert. Bij deze nieuwe methode is gekeken naar de wijze waarop de mens met de vingertoppen slip ervaart. Als met de vingertop over een voorwerp wordt gegleden, dan zullen de ribbeltjes op de huid gaan trillen Deze frequentie ligt rond de 200 tot 250 Hz Deze trilling wordt ervaren als slip
Als een voorwerp over de tactiele matrixsensor glijdt, dan zal het rubber gaan bewegen. Deze beweging wordt veroorzaakt doordat het rubber, door de hoge wrijving, aan het voorwerp blijft plakken Hierdoor beweegt het mee inde richting van het voorwerp en zal uiteindelijk terugschieten (slip-stick) Deze, zeer kleine, bewegingen hebben als resultaat dat de gemeten normaalkracht fluctueert In figuur 11 is dit weergegeven
Een voorwerp wordt met een constante kracht vastgegrepen Een optelling van een aantal rijen laat een relatief constante meting zien Er is geen fluctuatie te zien Zodra het voorwerp over de sensor glijdt, ontstaat er slip, daalt de kracht sterk en is er een ruissignaal op de gemeten taxelkrachten aanwezig Dit ruissignaal is nu bepalend in de detectie van slip. Door een FFT (Fase Fourier Transformatie) los te laten over deze meting kan een power spectrum (PSD) verkregen worden Deze PSD's worden verkregen door elke 4 ms een aantal rijen of kolommen in te lezen en de taxelwaarden bij elkaar op te tellen. In totaal worden 32 samples gemeten, waar een FFT van wordt bepaald Dit betekend dat in dit geval elke 128 ms een uitspraak gedaan wordt of er al of niet slip aanwezig is. De frequentie van de PSD's liggen tussen de 10 en 125 Hz.

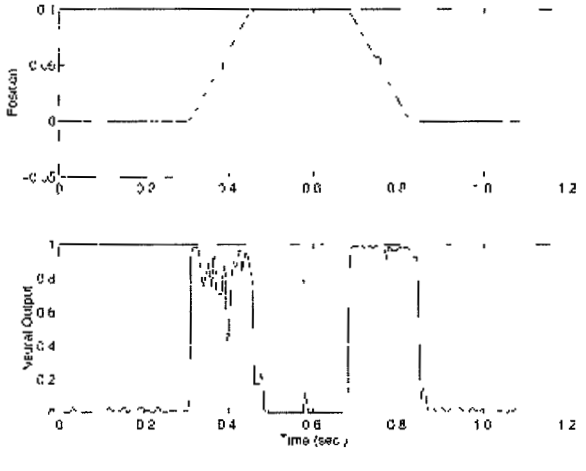
In figuur 12 zijn twee PSD's weergegeven De bovenste PSD geeft een statische situatie weer, zonder slip De onderste PSD geeft de situatie weer wanneer slip optreed Het verschil is duidelijk te zien.
De discriminatie tussen slip en geen slip PSD's kan eenvoudig gedaan worden door een drempelwaarde aan te leggen. Als de waarden van de PSD elementenhoger zijn dan een bepaalde drempelwaarde treedt slip op, anders niet Praktisch blijkt dat elke PSD element zijn eigen drempelwaarde heeft. Deze drempelwaarde kan eenvoudig aangeleerd worden door een neuraal netwerk met 16 ingangcellen en 1 uitgangscel. De waarden van de PSD elementen wordt aangesloten op de 16 ingangen en de uitgang van het neurale netwerk geeft een gradatie aan in de optredende slip.
Figuur 13 geeft het resultaat weer van een experiment waarbij de robotvinger, en dus tactiele sensor, over een plat oppervlak heen en weer wordt geschoven De afstand die afgelegd wordt is 0 1 m. In de bovenste grafiek is de positie van de vinger tegen de



Figuur 11
Meting ter illustratie van het verschil tussen slip en geen slip



Figuur 12 Frequentie weergave van FFI-resultaat tijdens slip en geen slip



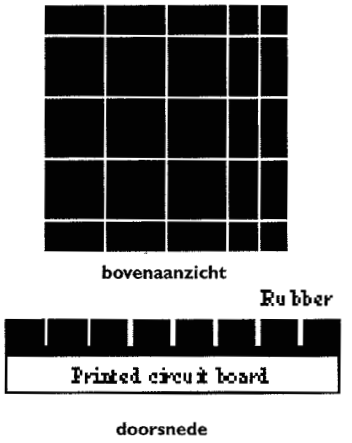
Figuur 13 Slip van de robotvinger over een oppervlak Tijdens de beweging wordt slip gedetecteerd Zodra de beweging stopt wordt geen slip gemeten

tijd uitgezet. De onderste grafiek geeft de uitgang van het neurale netwerk weer. Het is duidelijk te zien dat tijdens de beweging slip wordt gedetecteerd Deze techniek van slip detectie is momenteel gepatenteerd.

Meting afschuifkrachten

Zodra een voorwerp begint te slippen, is het eigenlijk te laat om nog goede correcties uit te voeren. Alleen een noodingreep kan ervoor zorgen dat het voorwerp nog vastgehouden kan worden Beter is het om te voorspellen wanneer slip op zal treden. De bepaling van de afschuifkrachten spelen hierin een belangrijke rol In een situatie waar slip ontstaat vindt eerst een opbouw van afschuifkrachten plaats totdat de wrijvingskracht overschreden wordt Door deze afschuifkrachten in de gaten te houden kan slip voorkomen worden

Door middel van een aanpassing van het rubber kan deze afschuifkracht gemeten worden. In het rubber worden zeven horizontale en zeven verticale zaagsneden aangebracht, zoals te zien is in figuur 14.



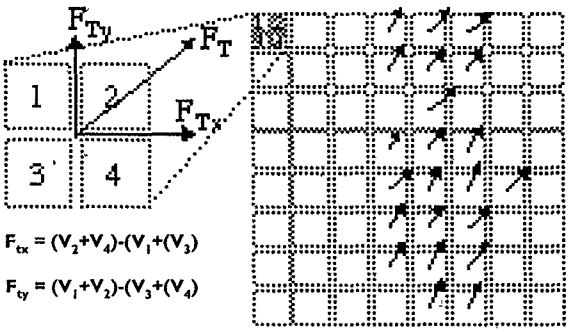
Figuur 14

De zaagsneden zijn zo geplaatst dat de blokjes zich precies boven een oppervlak van twee bij twee taxels bevinden.

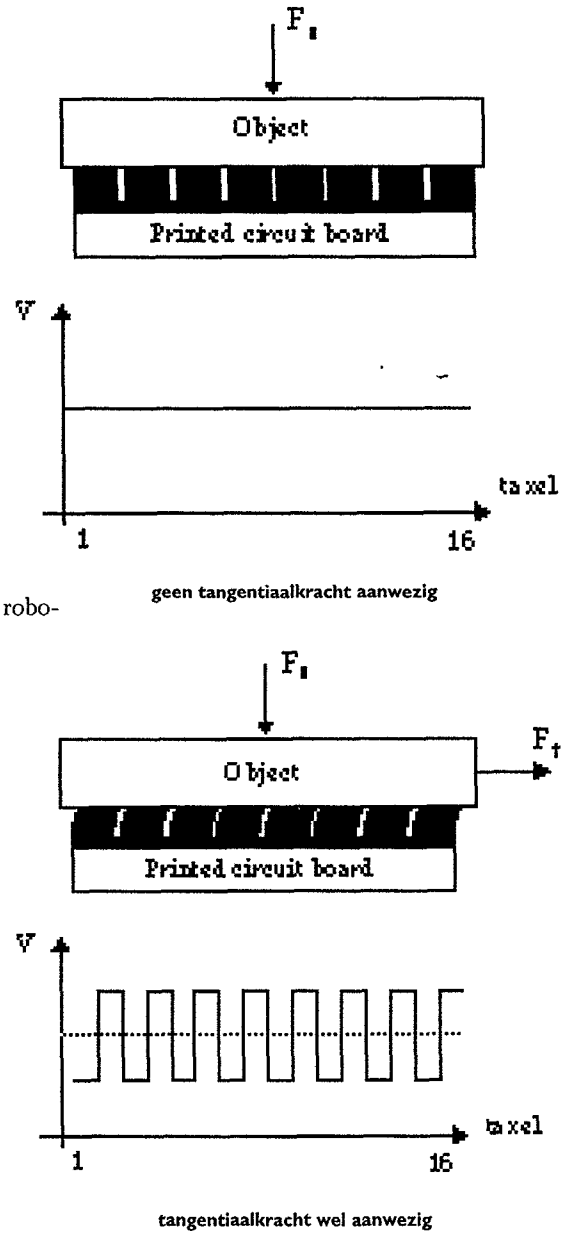
Als zich een voorwerp op de sensor bevindt, en er treed een afschuifkracht op, dan zullen deze blokjes meebuigen in de richting van deze schuifkracht. Dit is in de figuur 15 weergegeven

In het linker gedeelte van figuur 15 is geen afschuifkracht aanwezig en zijn de taxelwaarden over een kolom gezien constant. In het rechter gedeelte is de schuifkracht wel aanwezig en is een verschil in het meetsignaal te zien tussen twee taxels van hetzelfde

Figuur 15



blok. Dit komt omdat de schuifkracht het blok wil doen kantelen waardoor de normaalkracht aan de linkerkant van het rubber blokje minder wordt en aan de rechterkant toeneemt.
Nu kan voor elk rubber blokje, bestaande uit 2 x 2 taxels, bepaald worden hoe de lokale afschuifkracht is door de som van de linker twee taxels af te trekken van de som van de rechter twee taxels. Dit levert de grootte van de afschuifkracht op in horizontale richting. Hetzelfde kan uitgevoerd worden in de verticale richting. In figuur 16 is dit weergegeven voor de complete sensor waar bijvoorbeeld met een cilinder op geduwd wordt. De sommatie van alle lokale vectoren levert de resultante afschuifkrachtvector op
Bij de bepaling van deze afschuifkracht mogen alleen die blokjes mee doen, die geheel bedekt zijn door het voorwerp. Gedeeltelijk bedekte blokjes verstoren deze berekening. Met behulp van de metingen van krachten in drie richtingen, kan ook het koppel in drie richtingen bepaald worden.
De techniek om de afschuifkrachten te bepalen is momenteel gepatenteerd.



Figuur 16

Conclusie

De tactiele matrixsensor, zoals die in dit artikel is beschreven kan gebruikt worden als een generieke kracht/koppel-sensor met 6 vrijheidsgraden. Naast het meten van de krachten in de x, y en z richting en de bepaling van de drie koppels om deze assen, kan ook slip en voorwerpherkenning uitgevoerd worden
Door het gebruik van een dergelijke sensor kan een groot aantal metingen worden uitgevoerd met één en dezelfde sensor. Dit maakt het sensorsysteem eenvoudiger en meer robuust. In dit artikel is vooral nadruk gelegd op het gebruik van deze sensor binnen de robotica. Het blijkt echter dat de beschreven technieken ook goed in andere technische disciplines gebruikt kunnen worden, waaronder medische toepassingen.

Auteursnoot

Dr. ir. Edward G.M. Holweg is werkzaam bij de afdeling robotica van FokkerSpace B.V. te Leiden.
Telefoon: 071-5245702
Fax: 071-524725
E-mail: e.holweg@fokkerspace.nl
WWW: www.fokkerspace.nl