

Traagheidsaandrijving

Ian van Hees Een rechtgeleiding is in het algemeen een constructie die de zes vrijheidsgraden van een object, beperkt tot één vrijheidsgraad. Mechanische rechtgeleidingen hebben als algemeen kenmerk dat de nauwkeurigheid van $1 \mu\text{m}$ over een bereik van enkele centimeters ongeveer de grens is van wat nog haalbaar is. De problemen op het gebied van bijvoorbeeld vervorming, slijtage, beschadiging, thermische uitzetting en trillingen worden dan langzamerhand onoverkomelijk.

Figuur 1. Schematische weergave van een teruggekoppelde rechtgeleiding. Oneffenheden in de rechtgeleiding worden gecompenseerd door de positiefouten te meten ten opzichte van een referentie. Met behulp van actuatoren wordt de positie en oriëntatie van het bovenste tafeltje gecorrigeerd.

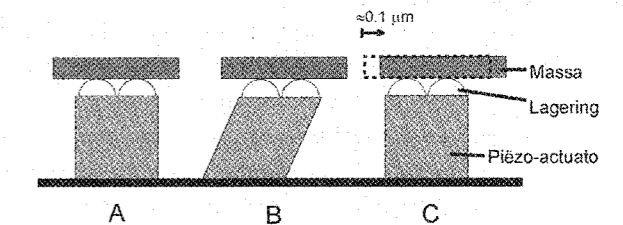
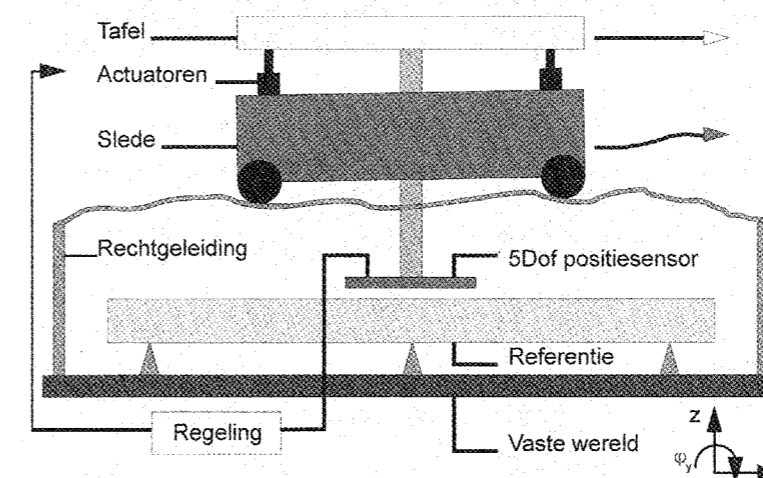
Een mogelijkheid om het gedrag van een rechtgeleiding te verbeteren is het meten van de fouten en vervolgens daarvoor te corrigeren zodat een teruggekoppelde rechtgeleiding ontstaat, zie figuur 1. De door de sensor gemeten positie- en oriëntatiefouten worden via een regeling teruggekoppeld naar de actuatoren.

Piëzo-actuatoren en ISM

Voor de aandrijving van een systeem met zes graden van vrijheid is uit de vele soorten piëzo-actuatoren gekozen voor afschuivende piëzo-actuatoren. De slag van dit type actuator ligt in de orde grootte van $0.1 \mu\text{m}$ en is alleen afhankelijk van de dikte van de piëzo-actuator en de amplitude van het elektrische (zaagtand-)signaal. Om de rechtheidsfouten in de rechtgeleiding van orde grootte $10 \mu\text{m}$ te kunnen compenseren is een slagvergroterend mechanisme toe-

gepast door slim gebruik te maken van massa traagheid en wrijving, de zogenaamde Inertial Sliding Motion.

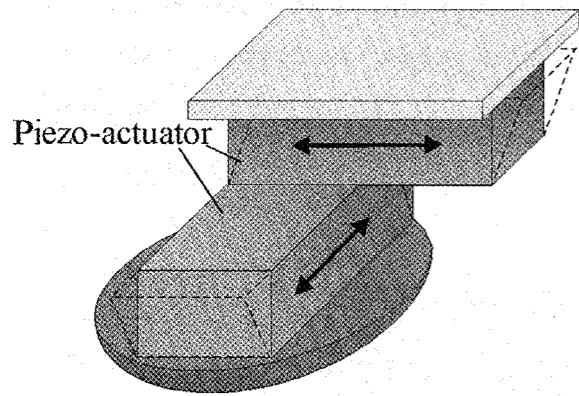
In de uitgangspositie is de piëzo-actuator onvervormd en is er een massa opgelegd op een lagerpunt, zie figuur 2. Voor het maken van een stap naar rechts wordt de piëzo-actuator relatief langzaam naar rechts uitgestuurd waarbij de massa wordt meebewogen (stick-fase). Vervolgens wordt de piëzo-actuator snel terugbewogen naar de uitgangspositie. Hierbij slijpt de lagering onder de massa door en behoudt de massa zijn positie (slip-fase). Aan het eind van de slip-fase bevindt de piëzo-actuator zich in de uitgangspositie en is de massa verplaatst. Als de slip-fase oneindig kort zou duren ontstaat een continue beweging zonder schokken. Andere parameters voor ISM zijn: bewegende massa, voorspanning, stijfheid (van de lijm) en de vorm van het gebruikte signaal.



Figuur 2. De uitgangspositie (A), stick-fase (B) en slip-fase (C) bij het uitvoeren van een stap naar rechts.

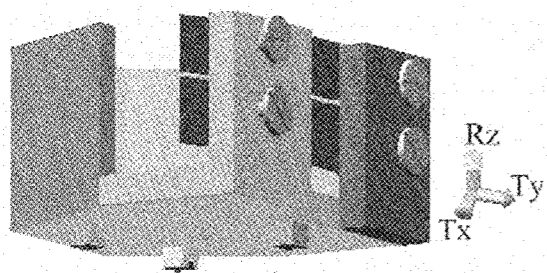
Ontwerp manipulator

Als actuator worden zowel enkele als dubbele piëzo-actuatoren gebruikt. Bij dubbele piëzo-actuatoren staan de actuatoren loodrecht op elkaar, zie figuur 3. De manipulator is dusdanig ontworpen dat er een minimum aan lagen is gebruikt, zodat de stijfheid van de totale manipulator hoog blijft en de omvang klein. Tevens is gestreefd naar een modulaire opbouw.



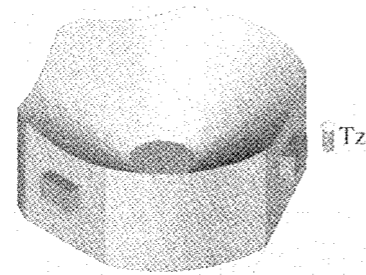
Figuur 3. Tekening van een dubbele piëzo-actuator voor verplaatsingen in x- en y-richting.

De manipulator bestaat uit drie lagen om verplaatsingen in zes vrijheidsgraden mogelijk te maken. De eerste (bodem) laag van de manipulator is geplaatst op drie paren van piëzo-actuatoren. De laag heeft drie graden van vrijheid: twee translaties en een rotatie, zie figuur 4.

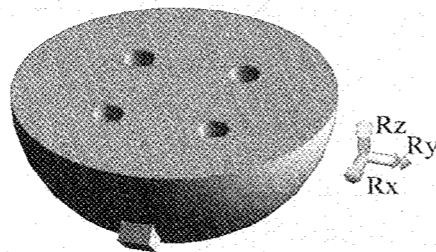


Figuur 4. De eerste laag, geplaatst op drie paar piëzo-actuatoren, heeft drie vrijheidsgraden: twee translaties en één rotatie.

De tweede laag van de manipulator heeft één graad van vrijheid, een translatie in de richting van de zwaartekracht, figuur 5. Drie enkele piëzo-actuatoren zijn rondom de tweede laag geplaatst. Door de richting van de verplaatsing zijn de piëzo-actuatoren voorgespannen met een veer bevestigd op de eerste laag. De derde laag van de manipulator is geplaatst op drie paren van piëzo-actuatoren en heeft drie graden van vrijheid: drie rotaties, zie figuur 6. De rotatie rond de verticale as is extra omdat de eerste laag ook deze rotatie kan maken.

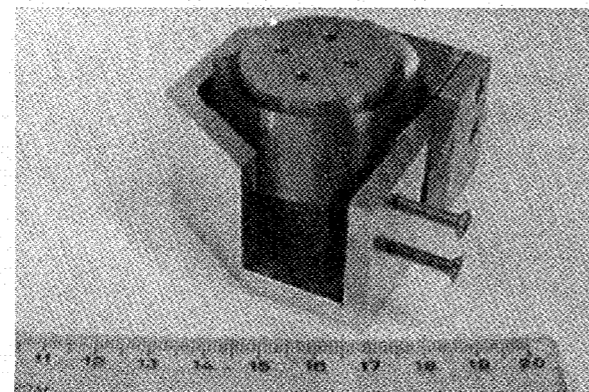


Figuur 5. De tweede laag heeft één graad van vrijheid: een translatie.



Figuur 6. De derde laag is geplaatst op drie paren piëzo-actuatoren en heeft drie graden van vrijheid: drie rotaties.

In figuur 7 is de uiteindelijke manipulator met zes vrijheidsgraden te zien bestaande uit drie lagen en vijftien piëzo-actuatoren. Het bereik van de manipulator is aangegeven in onderstaande tabel.



Figuur 7. Foto van de manipulator na assemblage van de drie lagen.

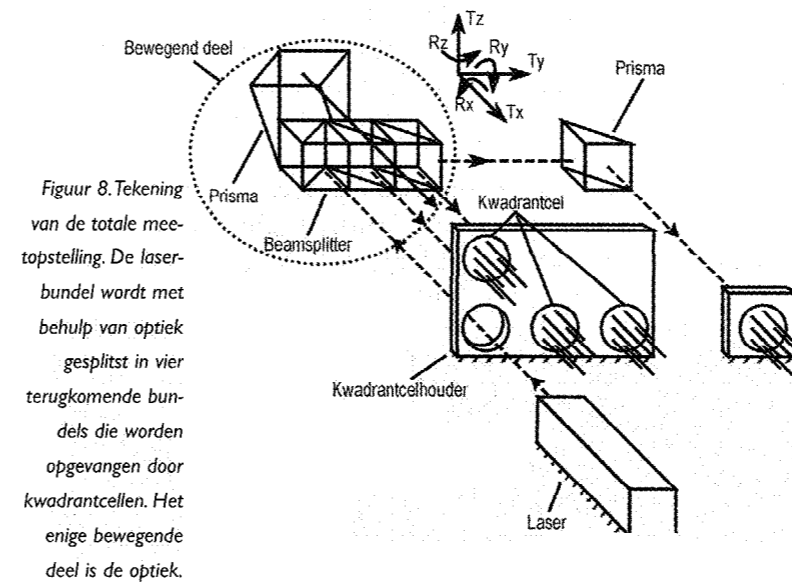
Vrijheidsgraad	Bereik
X	onbeperkt
Y	onbeperkt
Z	10 mm
ϕ_x^1	45°
ϕ_y^1	45°
ϕ_z^1	onbeperkt

Ontwerp positie-sensor

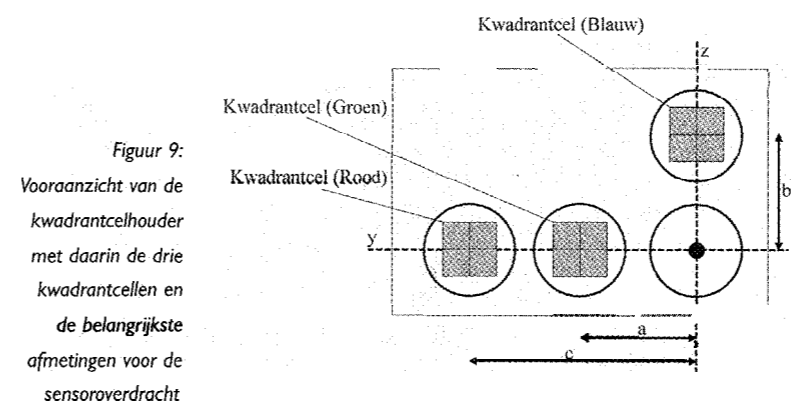
Voor het bepalen van de sensoroverdracht in een teruggekoppelde rechtgeleiding is een sensor nodig die in vijf graden van vrijheid meet. Gezien de beperkte omvang van de totale manipulator is er een compacte optische 5D-sensor ontwikkeld. In het ontwerp van de sensor is rekening gehouden met de mogelijkheden van de manipulator.

De sensor bestaat uit een prisma dat een laserbundel op een plaatsgevoelige (vierkwadranten) diode weerspiegelt. Elke positieverandering van het prisma weerspiegelt in een positieverandering van de laserbundel op de fotodiode en in de spanning die hij afgeeft. Door een slimme keuze van de stand van de prisma's kunnen de fotodiodes voor vier assenast elkaar geplaatst worden.

Een extra prisma is toegevoegd aan de sensor voor het meten van de redundante rotatie rond de z-as. Voor gebruik in een teruggekoppelde rechtgeleiding is een nulpuntssensor voldoende zodat gekozen is voor kwadrantcellen, zie figuur 8.



Figuur 8. Tekening van de totale meetopstelling. De laserbundel wordt met behulp van optiek gesplitst in vier terugkomende bundels die worden opgevangen door kwadrantcellen. Het enige bewegende deel is de optiek.



Figuur 9. Vooraanzicht van de kwadrantcelhouder met daarin de drie kwadrantcellen en de belangrijkste afmetingen voor de sensoroverdracht

Bij het bepalen van de sensoroverdracht zijn de vier kwadranten van een kwadrantcel omgerekend tot een horizontale (H_{kleur}) en een verticale (V_{kleur}). De tussen haakjes geplaatste delen geven een alternatieve sensoroverdracht aan. Opgemerkt moet worden

$$T_y = \frac{1}{2} H_{groen} (= \frac{1}{2} H_{rood})$$

$$T_z = \frac{1}{2} V_{blauw}$$

$$R_x = \frac{V_{groen}}{a} (= \frac{V_{rood}}{c})$$

$$R_y = \frac{V_{rood}}{x_{manipulator}} (= \frac{V_{groen}}{x_{manipulator}})$$

$$R_z = \frac{H_{blauw}}{x_{manipulator}}$$

dat voor het bepalen van de rotaties rond de y- en z-as gebruik wordt gemaakt van de positie van de manipulator in de x-richting. In een teruggekoppelde rechtgeleiding wordt een nulpuntsregeling gebruikt zodat niet de exacte positie van de manipulator in de x-richting nodig is. Er kan volstaan worden met een benadering.

Door het gebruik van de sensor wordt het bereik van de manipulator als teruggekoppelde rechtgeleiding beperkt tot:

Vrijheidsgraad	Bereik
X	Onbeperkt
Y	1.5 mm
Z	1.5 mm
ϕ_x^1	15°
ϕ_y^2	3°
ϕ_z^2	3°

¹ Bij a = 10 mm en een effectieve kwadrantceldiameter.
² Bij $x_{manipulator} = 50$ mm. Waarde is afhankelijk van de x-positie van de manipulator.

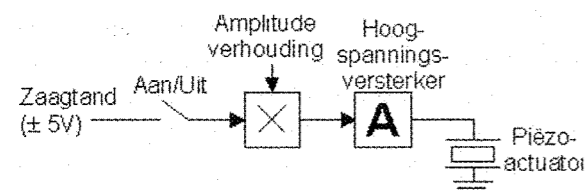
Deze waarden zijn onder andere afhankelijk van de gebruikte kwadrantcellen. Er is gebruik gemaakt van kwadrantcellen met een effectieve celdiameter van 3 mm.

Aansturing

Piëzo-actuatoren worden via een hoogspanningsversterker aangestuurd met een zaagtand-sig-naal van

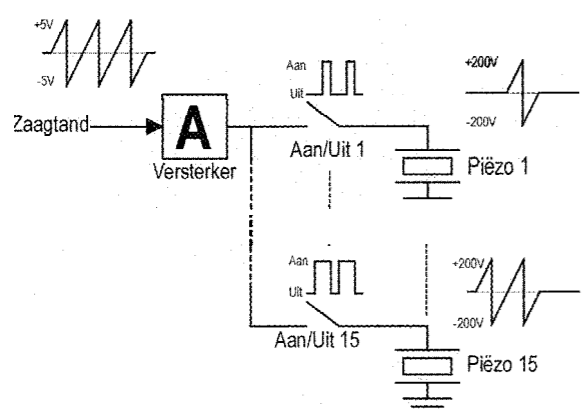
Traagheidsaandrijving

Figuur 10.
Elektrisch schema voor de aansturing van één piëzo-actuator.

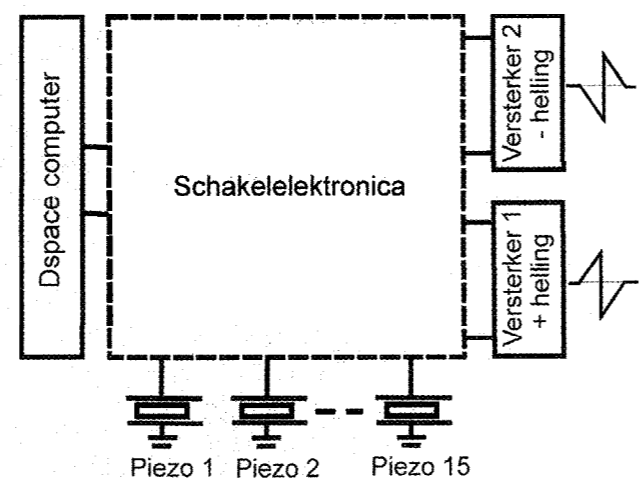
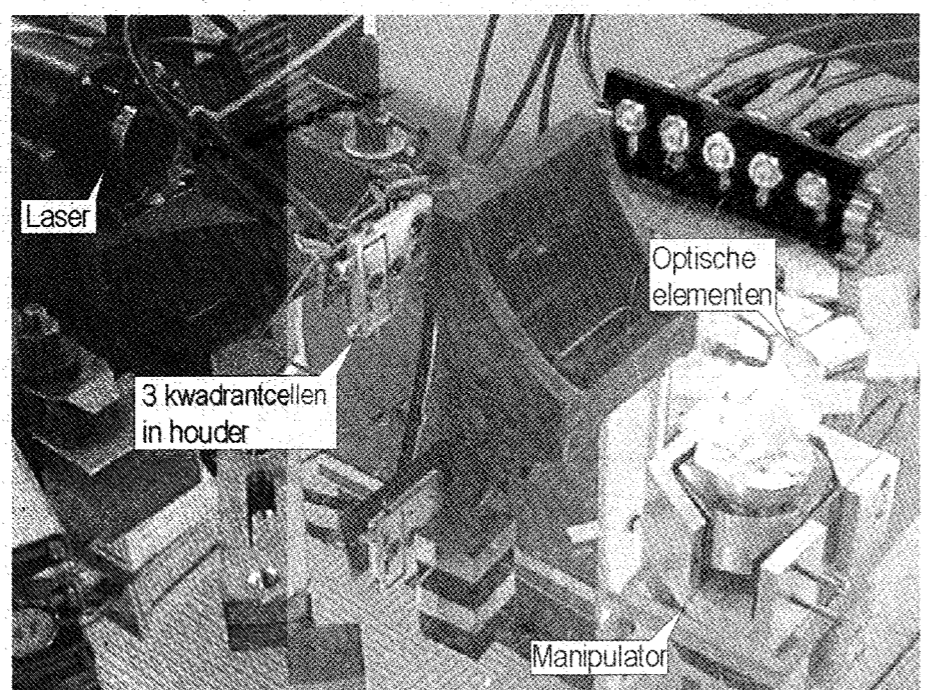


±200 V. Totaal zijn vijftien piëzo-actuatoren gebruikt in de manipulator, welke onafhankelijk aangestuurd dienen te worden. In figuur 10 is de aansturing van een enkele piëzo-actuator weergegeven. Het op deze manier van aansturen van de manipulator zou resul-

Figuur 11.
Elektrisch schema voor de aansturing van de piëzo-actuatoren met een versterker waarbij de aanstuurverhouding van de piëzo-actuatoren met gepulseerd schakelen wordt gerealiseerd.



teren in vijftien hoogspanningsversterkers. Om de kosten en het aantal versterkers te reduceren is er elektronica ontwikkeld die de piëzo-actuatoren schakelt met schakelaars (multiplexen). De benodigde amplitudeverhouding wordt nu gerealiseerd door aanpassing van de duty cycle van de schakelaar, zie figuur 11. In de figuur is weergegeven hoe piëzo-actuator 15 twee keer zoveel zaagtanden krijgt in dezelfde periode als piëzo-actuator 1 door het opleggen van een verschillend schakelpatroon van de schakelaars. Met de ontwikkelde schakelektronica worden slechts twee hoogspanningsversterkers



Figuur 12.
Blokdiagram van de elektrische aansluitingen bij gebruik van twee hoogspanningsversterkers.

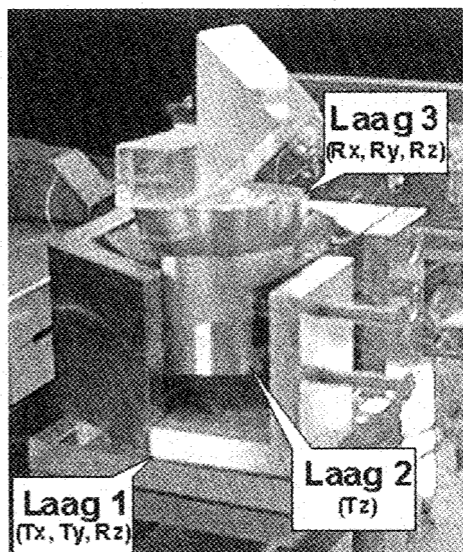
gebruikt voor de aansturing van vijftien piëzo-actuatoren, figuur 12. Regelbaar is de tijd, bij constante frequentie en amplitude, dat een piëzo-actuator het zaagtand signaal ontvangt. Er worden geen pulsen geteld.

Teruggekoppelde rechtgeleiding

Combinatie van manipulator, schakelektronica en sensor levert tenslotte de teruggekoppelde rechtgelei-

Traagheidsaandrijving

Figuur 14.
Close-up van de manipulator met daarop het optische deel van de sensor.



ding, zie figuur 13 en 14. De laserbundel vormt hierbij de referentie voor de rechtgeleiding. Met de teruggekoppelde rechtgeleiding zijn de positiefouten geminimaliseerd tot de sensorresolutie met een maximale snelheid van de manipulator in de richting van de lange slag van 15 mm/s.

Noot

Dit artikel is ontstaan naar aanleiding van het afstudeerwerk 'Ontwerp van een teruggekoppelde rechtgeleiding gebaseerd op piëzo inertial sliding motion' van de heer I.J.B. van Hees, verricht aan de Technische Universiteit Delft bij de sectie Micro-Techniek onder leiding van prof. dr. ir. H.F. van Beek. Jan van Hees is nu TWAIO Mechatronica aan het Stan Ackermans Instituut van de Technische Universiteit Eindhoven.

V.H.M. Eënsnijders
Uw leverancier van V.H.M. Spie-vingerfren.
Alle soorten V.H.M. Graveerbeitels en H.M. Stilfren.
Tevens het slijpen van alle soorten speciaal gereedschap in H.M. & H.S.S.

• kavra tools v.o.f.
Oude Eibergseweg 4a, 7161 RN Neede
Tel.: 0545 - 294945 Fax: 0545 - 295117

Alles uit voorraad leverbaar.
Vraagt u vrijblijvend informatie.

Meldt u nu aan als lid.

Bel NVPT secretariaat
tel.nr. 030 2531710