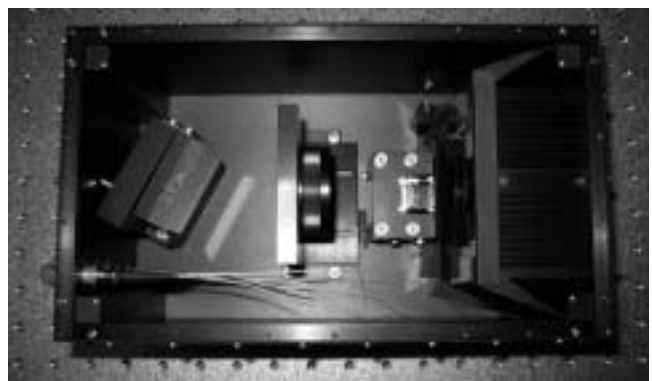


Optisch rekstrookje extreem stabiel in dun blik

Meten met een glasvezel (fiber optic sensing) biedt in vergelijking met conventionele elektronische meettechnieken ongekende mogelijkheden. Dit vooral dankzij het golfkarakter van licht; denk aan aspecten als scheidend vermogen en multiplexing. Een goed voorbeeld is het 'optisch rekstrookje'. TNO Industrie en Techniek ontwikkelde het principe voor een hoogfrequent meerkanaalsmeetsysteem op basis van Fiber Bragg Grating. Daarmee is elke grootte te meten die kan worden vertaald naar een thermische en/of mechanische belasting van de fiber. Technobis Optronics in Eindhoven maakt er nu een marktrijp product van, de Fiber Bragg Grating Interrogator. De grootste uitdaging is erin gelegen het systeem een extreem hoge stabiliteit te geven.

• *Pim Kat, Harrie Kessels, Jan-Chris van Osnabrugge, Piet van Rens en Hans van Eerden* •

Bij TNO Industrie en Techniek ontstond tijdens een project de behoefte aan een meetsysteem voor glasvezelsensoren dat meerdere kanalen parallel en met hoge snelheid kan uitlezen. Dat was de aanzet tot de ontwikkeling van DeMinSys (Demultiplexing Interrogation System). Een huidig commercieel verkrijgbaar systeem bevat slechts één kanaal en gaat tot 1 kHz. Daarmee vergeleken is TNO's functionele model van DeMinSys uniek in de wereld: dat heeft een bandbreedte van 20 kHz en bevat in totaal 32 sensoren (vier kanalen met elk acht sensoren); zie Afbeelding 1. Uit marketingonderzoek bleek belangstelling uit de hoek

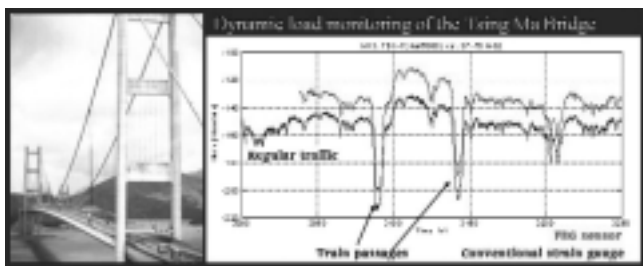


Afbeelding 1. Inkijk in het functionele model van DeMinSys van TNO. Met van links naar rechts een tralie met daaronder vier fiberingangen, een lens, een spectrometer en een lijnscamera.

van onder meer luchtvaart-, medische, offshore-, maritieme en ruimtevaartindustrie. Om van functioneel model tot een werkend product te komen, besloot TNO productontwikkeling door een externe partij te laten doen. Na enige verkenning werd daarvoor Technobis geselecteerd, een bedrijf met de nodige ervaring in opto-mechanica en in het marktrijp maken van functionele modellen. Technobis Mechatronics bestaat tien jaar, is gevestigd in Uitgeest en heeft sinds kort in Eindhoven een zusterbedrijf, Technobis Optronics.

Fiber Bragg Grating

De techniek van Fiber Bragg Grating (FBG) is geschikt voor het meten van elke grootte waarvan een verandering vertaald kan worden in een variatie in de rek van een glasvezel. Zoals temperatuur, druk en akoestische trillingen, maar ook concentraties (door een deuteriumlaagje op de vezel aan te brengen dat uitzet bij opname van waterstof, is een H₂-detector gecreëerd) of de EM-velden van krachtstromen. Zo kunnen met vezels van tientallen of honderden meters lengte de belastingen worden gemeten in de vleugel van een JSF-gevechtsvliegtuig tijdens testvluchten. Ook kunnen de belastingen van de wieken van windmolens continu worden gemonitord om overbelasting of vermoeiing tijdig te kunnen detecteren. Idem voor een brug; zie Afbeelding 2.



Afbeelding 2. Een voorbeeld van de gevoeligheid van een FBG-sensor: monitoring van de dynamische belasting van de Tsing Ma-brug in Hong Kong. Het optisch rekstrookje vergeleken met zijn conventionele pendant.

Optisch versus conventioneel rekstrookje

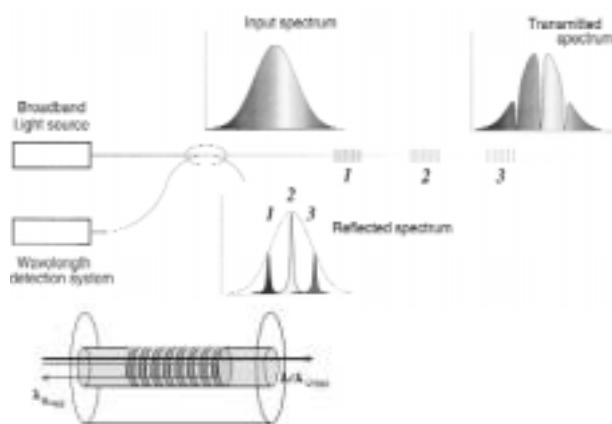
Eerste voordeel van het vervangen van elektrisch meten door optisch meten is dat het intrinsiek veilig is: er is geen explosiegevaar als gevolg van vonken (relevant in bijvoorbeeld de offshore olie- en gaswinning). Bovendien is er geen probleem met elektromagnetische compatibiliteit. Met optische technieken is het voorts eenvoudig multiplexen. Zo kunnen in principe met één glasvezel tot wel 250 metingen worden uitgevoerd. Conventioneel zouden daarvoor 250 rekstrookjes met elk vier draadjes nodig zijn, oftewel een complete kabelboom.

De respons van rekstrookjes reikt tot 100 Hz; daarboven gaat de lijmverbinding tussen rekstrookje en te meten object kruipen. De optische rekstrook kan tot wel 20-80 kHz meten. Daardoor kunnen niet alleen trage variaties, bijvoorbeeld als gevolg van temperatuurschommelingen, worden gemeten. Ook akoestische trillingen, bijvoorbeeld onder water (walvissen, onderzeërs) of in een MRI-apparaat, voor communicatie met de patiënt, waar een gewone elektrische microfoon niet werkt, komen binnen bereik. Tsunami-waarschuwingen komen in de toekomst van een glasvezelgebaseerd sensornetwerk. De hoge bandbreedte maakt een FBG-systeem bij uitstek geschikt voor het bestuderen van het dynamisch gedrag van motion control-systemen zoals stages of luchtlagers.

Tot over een afstand van 10-20 km is meten mogelijk zonder significant vermogens- en dus signaalverlies; daarna is er altijd nog de mogelijkheid van versterking door 'optisch bijpompen'. Tot slot is er sprake van redundantie: bij een enkele kabelbreuk kan er nog tot aan de breuk worden gemeten of zelfs tot aan beide kanten van de breuk (oftewel in de gehele kabel) in geval van een loop.

Principe

Het principe van Fibre Bragg Grating is weergegeven in Afbeelding 3. Breedbandig licht (typisch $\Delta\lambda = 40 \sim 80$ nm) gaat de glasvezel in. Op een aantal plaatsen is een tralie ('grating') aangebracht, een longitudinale periodieke variatie in de brekingsindex van de kern van de vezel. Elk tralie heeft een unieke periode (spacing), die de golflengte bepaalt welke door het tralie wordt gereflecteerd en vervol-



Afbeelding 3. Het principe van Fiber Bragg Grating. Specifieke golflengtes (1, 2 en 3) worden door onderscheiden tralies gereflecteerd. Onder is in detail weergegeven hoe de golflengte die voldoet aan de Bragg-conditie wordt gereflecteerd en andere golflengtes worden doorgelaten bij een tralie.

gens aan het begin van de fiber kan worden gedetecteerd. Thermische of mechanische belasting zorgt voor rek(variaties) in de glasvezel; de variaties vertalen zich in een variërende periode en daarmee in een variatie in de gereflecteerde golflengte. Dit volgens de Bragg-conditie, die uit behoud van energie en behoud van impuls wordt berekend:

$$\lambda_B = 2L n_{eff}$$

waarin L de periode van het tralie is en n_{eff} de effectieve brekingsindex. De gemeten golflengte varieert lineair met temperatuur en/of rek. Door elk tralie een eigen periode en daarmee een uniek te meten reflectiegolflengte te geven, is elke meetpositie op de fiber in het detectieproces te onderscheiden. Dit is een van de eigenschappen die multiplexen eenvoudig maakt.

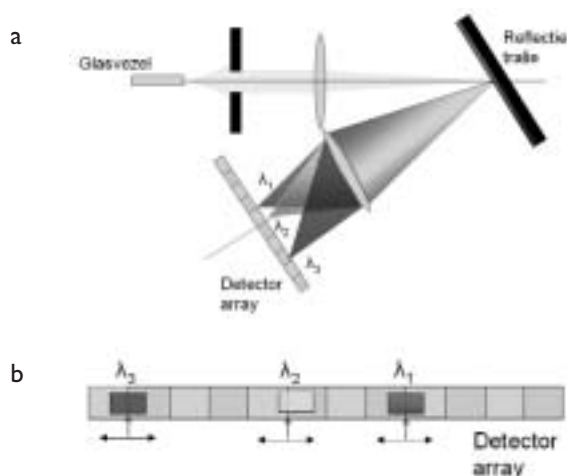
Detectie

De uitredende, gereflecteerde bundel is een samenstelling van de reflecties aan de FBG's in de glasvezel. Omdat elke reflectie een eigen golflengte (kleur) heeft, kunnen de signalen worden gescheiden met behulp van een reflectietralie. zie Afbeelding 4. Deze projecteert de signalen ruimtelijk gescheiden op een CCD-array van 256 pixels. Elk signaal is een spot die valt op twee aangrenzende pixels, die als het ware een duo-detectiecel vormen. Uit de relatieve signalen van die twee pixels valt de exacte positie van de spot te bepalen, met een resolutie van 50 nm. Dit komt overeen met 1 pm golflengteresolutie. De verschuiving van een spot op de twee pixels is een maat voor de geïnduceerde rek op de bijbehorende FBG.

De hoge bandbreedte van het systeem, oftewel een hoge samplefrequentie voor het uitlezen van het CCD-array en het vervolgens berekenen van een meetwaarde, is te danken aan een 'truc': na een initialisatie worden alleen de bitjes c.q. pixels gemeten waarop licht van een spot valt. Door de hoge frequentie is het niet mogelijk om tussen twee samples een spot 'kwijt te raken'.

Voor het scheiden van de spots op het array wordt een golflengteverschil (lees periodeverschil) tussen opeenvolgende FBG's van 4 nm aangehouden. Hier is sprake van een trade-off tussen het aantal sensoren, c.q. FBG's, en de verschuiving van het signaal op het array (meetbereik). Hoe groter de te meten signalen (dus grote verschuivingen), des te verder moeten de spots uit elkaar liggen (een groter periodeverschil), des te minder spots passen er op het array. Het detectiesysteem kan, voorzien van een geheugen, stand-alone opereren. Dit wordt onder meer toegepast voor metingen aan crash-test dummies (meetpoppen voor botsproeven met bijvoorbeeld auto's). De gegevens worden dan

later naar de 'vaste wereld' gehaald. In de meeste gevallen zal het systeem echter direct aan een pc worden gekoppeld voor desgewenst continu meten.



Afbeelding 4. Het detectieprincipe.

(a) Met de stralengang ingetekend: lenzen, tralie voor het scheiden van de diverse reflectiesignalen, de CCD-array.

(b) Spots op het CCD-array.

Constructie

De grootste uitdaging bij de realisatie van een marktrijp product is het ontwerp van de constructie te optimaliseren. De stabiliteit, oftewel ongevoeligheid voor invloeden van buitenaf, moet groot zijn. Voor de crash-test metingen moet het systeem zelfs bestand zijn tegen 200 g. Bij het functionele model van TNO was daar nog absoluut geen sprake van: een klop, een stem, de airco, alles was terug te zien in het signaal, omdat die verstoringen leidden tot kleine verplaatsingen van de optische componenten. De uiteindelijke constructie kan niet in detail worden getoond. Het komt aan op onder meer statisch bepaald construeren, de vrijheidsgraden correct vastleggen, zoveel mogelijk (rotatie)symmetrie vasthouden en een thermische centrum introduceren. Hierdoor stijgt de stijfheid en stabiliteit in de constructie tot op een niveau dat versnellingen van 200 g geen merkbare relatieve verplaatsingen van de optische componenten meer veroorzaken.

Ook is het belangrijk om de materialen goed te kiezen zodat de uitzettingscoëfficiënten matchen en daarbij slim te werken met dun plaatmateriaal. Dat zorgt aan de ene kant voor een hoge stijfheid van de basisstructuur (de binnenkoker) terwijl het aan de andere kant de mogelijkheid biedt om loodrecht op het plaatvlak uitzettingsverschillen tussen de ingebouwde componenten op te vangen. Het concept is ontleend aan de ideeën van prof.ir. W. van der Hoek

die in de periode 1962-1984 de basis legde voor de wijze van denken zoals opgetekend in [1].

Stijfheid

Het detectiesysteem zelf is ondergebracht in een dunwandige doos van $25 \times 25 \times 100 \text{ mm}^3$. Deze vormt de basiskoker strak rond de optica; zie Afbeelding 5. Deze dunwandige koker draagt zorg voor een hoge intrinsieke stijfheid. De maximale belasting bij 200 g is door de geringe massa van de optische delen heel beperkt. De rechthoekig basiskoker wordt pas stijf nadat aan de uiteinden stijve delen de vorm van de doorsnede van de koker voorschrijven. In de constructie is hierin voorzien middels stijve optische delen die de rechthoekige doorsnede van de koker rechthoekig houden. Het is nodig om vier vrijheidsgraden in de omtreksrichting van de koker vast te leggen (zie [1]). Hetzelfde geldt voor de buitenkoker. Aardig is dat de rechthoekige buitenkoker de stijfheid aan de uiteinden ontleent aan de basiskoker (één vrijheidsgraad aan een uiteinde van de koker) en anderzijds gebruik maakt van de vier schroefverbindingen aan de vaste wereld om het andere uiteinde vast te leggen. Er zijn zeven vrijheidsgraden nodig om de positie van de nu stijve basiskoker vast te leggen in de buitenkoker. Bovendien wordt een vrijheidsgraad extra vastgelegd om de buitenkoker aan een uiteinde vormvast te maken als vaste rechthoek. De zeven vastgelegde vrijheidsgraden tussen de basiskoker en de afschermkoker worden overgedragen door lipjes die door de buitenkoker steken. Hierdoor wordt de verbinding eenvoudig en wordt vermeden dat er onnodig spanningen in de basiskoker worden ingeleid.

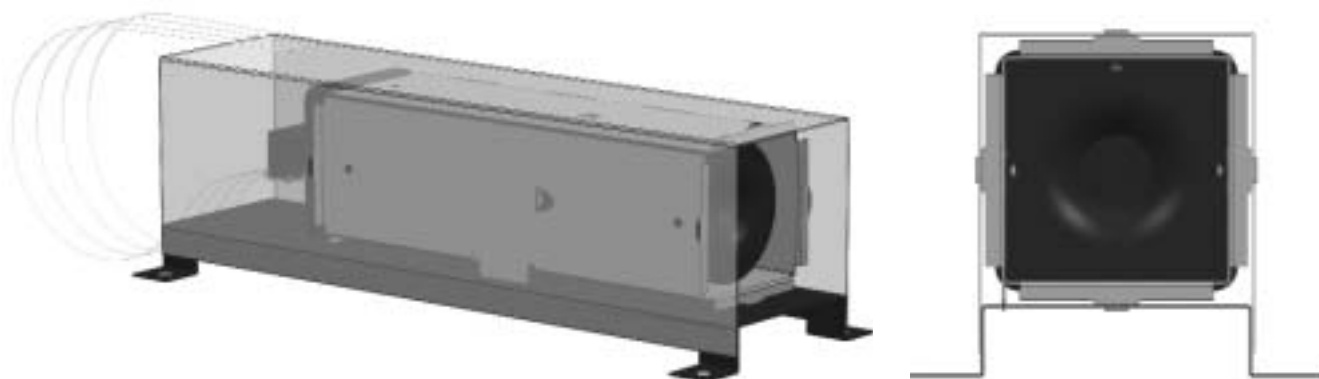
Isolatie

De optische componenten zitten vast in het midden van de dunne plaatvlakken van de koker. Het verschillend uitzetten van optische componenten ten opzichte van de koker leidt ertoe dat lokaal een deel van het plaatvlak enkele micrometers naar binnen of naar buiten wordt gedwongen. Echter het midden van de componenten blijft ten opzichte van het hart van de koker in het midden liggen, terwijl het uitzettingsgedrag van de optische componenten de vorm van de basiskoker niet méér beïnvloedt dan dat ter plekke van de component de plaatwanden iets naar buiten worden gedrukt.

Het optisch ontwerp is zo gekozen dat het niet erg gevoelig is voor lengteverandering van de basiskoker. De tweede koker, die om de basiskoker heen zit, zal lokale thermische aanstraling van de basiskoker verhinderen. Omdat het temperatuurverschil tussen de kokers zeer beperkt is, zal de stralingsoverdracht van warmte gering zijn terwijl de geleiding relatief heel veel beter is. Zodoende zorgt de buitenste koker naast de functie van ophanging van de basiskoker en trekontlasting voor de fibers, ook voor thermisch en mechanisch isolatie van de binnenkoker. Bovendien voorkomt deze koker ook nog dat ongewenste externe krachten rechtstreeks op de basiskoker kunnen inwerken.

Verbindingstechniek

Als verbindingstechniek is vooral gekozen voor puntlassen van de plaatdelen. Vooral voor de gevoelige basiskoker is een hysteresisvrije verbinding belangrijk; [1]. Het is immers niet de bedoeling dat de versnellingskrachten bij vallen of stoten een blijvende vervorming achterlaten. Puntlasverbindingen blijken veel minder hysteresis te vertonen dan bouten of nieten.



Afbeelding 5. De constructie in zij- en vooraanzicht.

De glazen componenten zijn in de koker verlijmd. De krimp in de lijm zorgt voor een geringe voorspanning van de glazen componenten tegen kleine uitstulpingen in de kokerwand. De krachtleidingen in het plaatvlak van de basiskoker zijn zorgvuldig geconstrueerd, [1], om de ophangstijfheid voldoende hoog te houden. Als krachten niet netjes in het plaatvlak worden ingeleid, is er heel snel sprake van een lagere stijfheid. Immers de plaatvlakken krijgen heel snel momenten uit het vlak en deze momenten leiden bij dunne plaat tot grote vervormingen. Uiteraard zijn in het ontwerp een aantal maatregelen voorzien die 'vals licht' uit het systeem houden. Ook hiervoor helpt het omsluiten van de optiek met een koker.

Business

Dit najaar moet het prototype van DeMinSys klaar zijn. Vervolgens kan Technobis systemen gaan bouwen; daar komt verder geen bijzondere hightech bij kijken. Afbeelding 6 toont een ontwerp voor de behuizing. Eerste bestellingen zijn inmiddels ontvangen. Mocht het storm gaan lopen, dan zal Technobis een oplossing in de vorm van productie elders gaan zoeken. TNO en Technobis hebben een licentieovereenkomst afgesloten over de toepassing van TNO's kennis door Technobis. Opbrengsten daaruit investeert TNO in nieuw onderzoek naar optical sensing technologie, onder meer om aanvullende vragen van Technobis en/of zijn klanten te kunnen beantwoorden.

Auteursnoot

Pim Kat is directeur van Technobis Mechatronics in Uitgeest en Technobis Optronics in Eindhoven, Harrie Kessels is systeem engineer bij Vision Dynamics in Eindhoven en gedetacheerd bij Technobis Optronics, Jan-Chris van Osnabrugge is business developer bij TNO Industrie en Techniek, Piet van Rens is senior mechatronics consultant bij TNO en Hans van Eerden is eindredacteur van Mikroniek.

Referentie

[1] M.P. Koster, Constructieprincipes voor het nauwkeurig bewegen en positioneren, editie 2005, ISBN 90-78249-01-3. Uitgeverij PrintPartners Ipskamp, Enschede. Met name V1.3.10 en V6.3.



Afbeelding 6. Ontwerp van de behuizing.

Informatie

www.technobis.nl

www.tno.nl