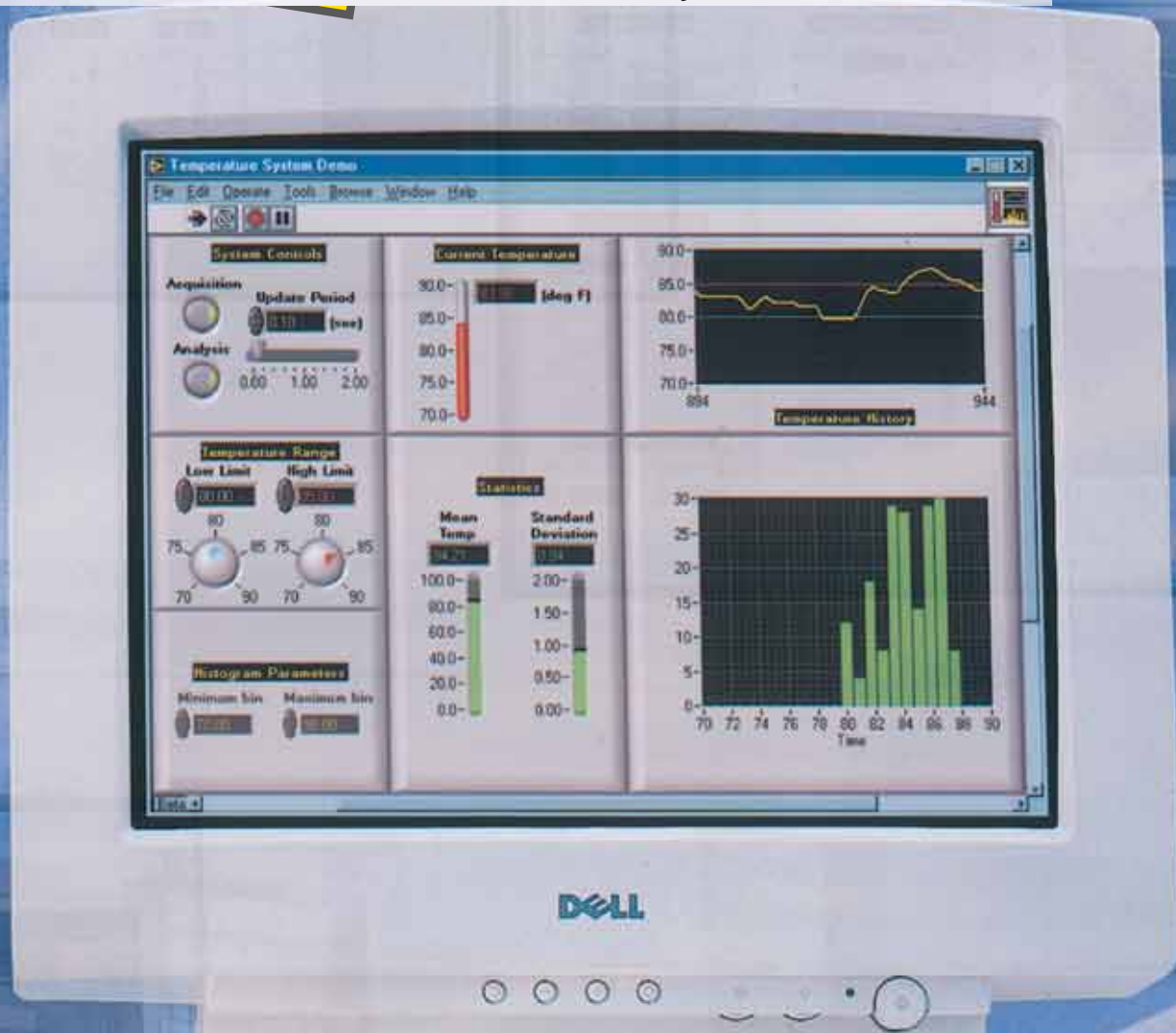


Mikroniek

VAKBLAD OVER PRECISIETECHNOLOGIE

JAARGANG 41 - NUMMER 1



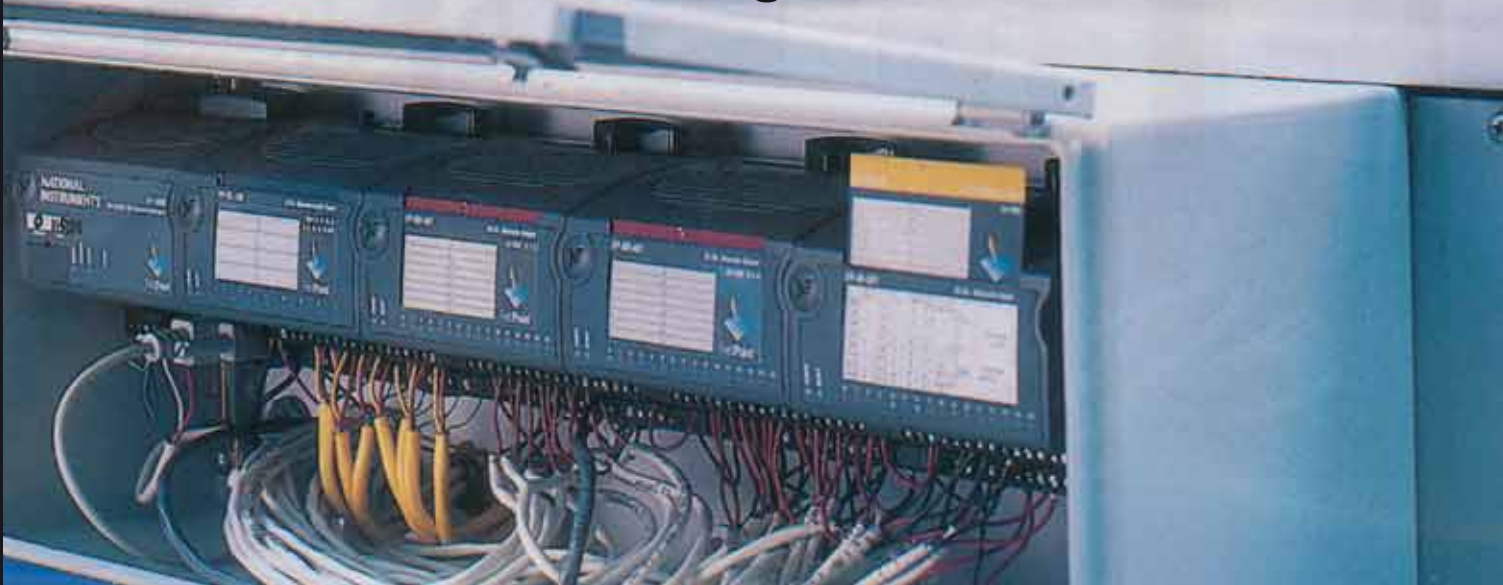
9 Precisiegericht ontwerpen

14 LabVIEW 6i

17 De nanometer

20 Wat is een cumulatief gemiddelde?

MIKRONIEK IS HET OFFICIELE ORGAAN VAN DE NVPT



In dit nummer

Vakblad voor precisietechnologie en fijnmechanische techniek en orgaan van de NVPT. Mikroniek geeft actuele informatie over technische ontwikkelingen op het gebied van mechanica, optica en elektronica. Het blad wordt gelezen door functionarissen die verantwoordelijk zijn voor ontwikkeling en fabricage van geavanceerde fijnmechanische apparatuur voor professioneel gebruik, maar ook van consumentenproducten.

Uitgave:

Twin Design bv
Postbus 317
4100 AH Culemborg
Telefoon: 0345-519525
Fax: 0345-513480
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

Uitgever:

Andries Harshagen / Renate Verschoor

Abonnementen:

Twin Design bv, Culemborg

Abonnementkosten:

Nederland: fl. 120,- per jaar ex BTW
Buitenland: fl. 150,- per jaar ex BTW

Hoofredactie

Dirk Scheper

Redactiesecretariaat/eindredactie

Mikroniek/ Renate Verschoor
Twin Design bv
E-mail: redactie@twindesign.nl

Advertentie-acquisitie:

Waterfront media
Henk van der Brugge
Tel: 06-29574666 of 078-622 7770

Secretariaat NVPT

Parallelweg 30
Postbus 70577
5201 CZ Den Bosch
Tel: 073-6233562
Fax: 073-6441949
E-mail: office@NVPT.nl

Vormgeving en realisatie:

Twin Design bv, Culemborg

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar
© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.

ISSN 0026-3699

4 Editorial

6 IOP precisietechnologie mei 2000

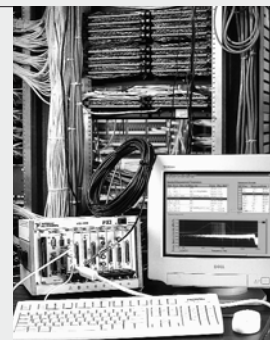
Diverse artikelen over projecten van de IOP

9 Precisiegericht ontwerpen

Het vervolg van het artikel Precisiegericht ontwerpen uit nummer 5 van Mikroniek 2000

14 LabVIEW 6i

De nieuwe versie van LabVIEW 6i van National Instruments biedt de gebruiker als extra een stuk nieuwe intelligentie voor meetapplicaties. Daarmee is de applicatie direct klaar voor gebruik in combinatie met Internet om meetgegevens en andere informatie over te zenden.



17 De nanometer

Hoewel de nanometer voor velen een bekende en regelmatig gebruikte meeteenheid is, blijft het voor de meesten een abstract begrip. Wat moet je bij een nanometer precies voorstellen? Dit artikel geeft duidelijkheid.

20 Wat is een cumulatief gemiddelde?

Als je je met statistisch onderzoek bezighoudt, zijn er vaak erg veel meetgegevens nodig om tot een betrouwbare uitspraak te komen. Als je tussendoor wat 'rommelt' met de getallen, merk je dat de conclusies veel sneller getrokken kunnen worden dan de statistici willen toestaan. In dit artikel wordt nagegaan waar mogelijkheden zouden kunnen liggen om het aantal metingen terug te brengen.

28 Productinfo

32 Actueel

34 Verenigingsnieuws

Symposium 'toekomst van de precisietechnologie'

Waar bleef nummer 6 van Mikroniek 2000?

Was het nummer misschien ergens kwijtgeraakt?

Helaas was er meer aan de hand.

Bij de komende ALV in mei ben ik twee jaar voorzitter van de Nederlandse Vereniging van Precisie-technologie. De vereniging startte toentertijd met de implementatie van het idee om de niet-vakspecifieke aspecten van de bestuurszaken uit te besteden aan een daarvoor opgesteld bedrijf. In bedrijfstermen zou men zeggen 'back to core business'. Met andere woorden: het bestuur stuurt precisie-technologie-inhoudelijk de activiteiten aan en een congresbureau doet alle aanpalende werkzaamheden.

Zo gezegd, zo begonnen. Echter in de loop van de tijd stuitten we op problemen. Het congresbureau raakte in de moeilijkheden, tot er zelfs in de maand december een faillissement op volgde.

Deze periode heeft het bestuur de nodige hoofdbrekens gekost. Het is onplezierig om te ervaren wat een faillissement voor klanten en leveranciers van een bedrijf betekent, maar (misschien klinkt het raar) ook erg leerzaam. Bergen en dalen behoren nu eenmaal toe aan het leven. Wie is ze niet tegengekomen in uitdagende projecten in de precisietechnologie?

Een belangrijk probleem was het feit dat de uitgaafrechten van het blad Mikroniek ook in het faillissement zaten. Ons bekreep de angst dat Mikroniek ten onder zou gaan. Door veel overleg en doordat velen Mikroniek een warm hart toedragen, kan ik melden dat Mikroniek weer in de lucht is. Andries Harshagen van Twin Design, uitgever van vakbladen en al jaren betrokken bij Mikroniek, heeft de taak op zich genomen om samen met de NVPT het blad te continueren. En daar hebben we samen alle vertrouwen in. Andries: we gaan ervoor!

Ook het secretariaat kwam in radiostilte: geen telefoon meer, geen e-mail en ook alle andere communicatiemiddelen lagen stil op het moment dat de curatrice de bewindvoering van het bedrijf op zich nam. Maar hulp werd geboden en wellicht vanuit een hoek die onze vereniging naar de toekomst verder kan versterken.

De Bond voor Materialen en de Vereniging voor Productietechniek (VPT) hebben de handen ineen geslagen door een gezamenlijk secretariaat in Den Bosch op te richten. De Bond en de Vereniging behouden geheel hun eigen identiteit, maar zoeken synergie in de secretariatsvoering.

Toen ze van onze problemen hoorden, hebben ze op zeer korte termijn de NVPT onderdak geboden voor het secretariaat. Daarvoor zijn we heel dankbaar, want nu zijn we weer in de lucht.

Ons adres is daarmee voorlopig geworden:
Secretariaat NVPT, Parallelweg 30, Postbus 70577, 5201 CZ Den Bosch,
Tel 073-6233562,
Fax 073-6441949, E-mail: office@NVPT.nl

Op dit moment overwegen we of de NVPT niet blijvend samen met de Bond en de VPT het secretariaat kan blijven voeren. De komende tijd kunnen we daarin ervaring opdoen. In de Algemene Ledenvergadering van de NVPT zullen we voorstellen doen ter continuering van het secretariaat op basis van deze ervaringen.

Een bewogen periode ligt achter ons, maar vertrouwen in de toekomst hebben we zeker.

Dit eerste nummer van Mikroniek kan men met recht een oorlogsuitgave noemen. Met inspanning van velen is het gepubliceerd in korte tijd. Zij willen namelijk de abonnees niet teleurstellen.

Ik dank de mensen die zo hard hebben gewerkt aan deze totstandkoming.

Hans Krikhaar
voorzitter NVPT

LET OP! REDACTIEADRES IS GEWIJZIGD

Twin Design bv, Postbus 317, 4100 AH Culemborg,
Telefoon: 0345-519525, Fax: 0345-513480,
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

IOP Precisietechno

Intelligente structurelementen ('Smart Disc')

Projectnummer: IPT00104

Achtergrond

Een machineframe heeft twee taken. Ten eerste fungeert het als meetreferentie bij het positioneren van bewegende delen in de machine. Ten tweede moet het frame krachten doorleiden. Deze krachten kunnen er voor zorgen dat het frame vervormt. Om beide taken zo goed mogelijk te kunnen vervullen is het wenselijk een frame te maken dat stijf en toch licht is. Door toepassing van de juiste constructieprincipes kan hier op passieve wijze tot op zekere hoogte aan worden voldaan. Additionele verbetering van frame-eigenschappen (nog stijver, beter gedempt en toch licht en compact) kan worden bereikt door een mechatronische aanpak via inzet van actieve ('intelligente') constructie-elementen.

Doel

Ontwikkelen van een constructie-element dat, ingebouwd in een frame, door middel van actief ingrijpen de statische en dynamische precisie van de betreffende machine sterk verbetert. Zo'n element wordt aangeduid als een 'Smart Disc'.

De innovaties die in dit project worden nagestreefd zijn:

- het *op actieve wijze*, via decentraal regelen, *verhogen van de stijfheid* en de demping in mechanische structurelementen zoals bladveren in een frequentieband van 0.1 tot 250 Hz;
- het *ruimtelijk integreren* van Ceramic Multilayer Actuators en zowel regel- als vermogenselektronica *tot een discreet, compact en autonoom mechatronisch constructie-element* dat voor een constructeur eenvoudig inzetbaar is en, door zijn zelf-instellende eigenschappen, geen diepgaande kennis vereist van de dynamica van de applicatie of van het product.

Aanpak

Het project is in twee fasen van twee jaar verdeeld.

- In de eerste fase staat het ontwerpen van het (zelf-instellende) regelsysteem centraal. Het belangrijkste probleem hierbij betreft het omzeilen van instabiliteit door goed gebruik te maken van moderne inzichten in robuust regelen en door de Smart Disc op geschikte locaties in het frame te plaatsen. De wafer stepper van ASML zal als industriële carrier worden gebruikt.
- De tweede fase betreft het ontwerpen van een verliesarme, storingsvrije versterker en de fysieke integratie van de systeemdelen. Omdat de relevante aspecten in deze fase mede bepaald worden door de resultaten uit de eerste, zal pas aan het begin van de tweede fase een industriële carrier gekozen worden. Naar verwachting zal dit een elektronen-microscoop of een ruimtevaarttoepassing betreffen.

Haalbaarheid

Er zijn reële kansen dat de nagesteepte innovaties niet (geheel) haalbaar zijn. Dit geldt voor de gewenste frequentieband (25%), de gewenste self-tuning eigenschappen (10%), warmteproblemen in de geïntegreerde regelversterker (5%), of een te grote omvang van het eindproduct (10%).

Uitvoering

1 aio gedurende 2 jaar, 1 post-doc (2 jaar)
Totale projectkosten f 716,000

Projectteam

Dr.ir. T.J.A. de Vries, prof. M.P. Koster en dr. J. van Dijk
Cornelis J. Drebbe Instituut, Universiteit Twente.
Email: T.J.A.deVries@el.utwente.nl

logie mei 2000

Subnanometer kalibratie en laser-interferometrie

Projectnummer: IPT00202

Achtergrond

Dit onderzoek vindt zijn motivatie in de huidige ontwikkelingen in de precisie-industrie met producten als wafersteppers, digitale camera's, DVD en DVR apparatuur, HD flat panel TV en precisie-bewerkingsmachines. De precisiegrenzen naderen hier het nanometer niveau. Met name bij de wafersteppers van ASML, een van de industriële partners in dit project, zijn de grenzen van de huidige meet-apparatuur in de komende jaren ontoereikend.

Doel

De grenzen in de huidige precisie-metrologie tenderen naar het nanometer niveau. Met name de resolutie van precisiesensoren, laserinterferometers en lineaire meetsystemen bereikt nanometer-, of zelfs sub-nanometerniveau. De absolute nauwkeurigheid is veelal tenminste een factor 10 hoger, voorzover deze kan worden vastgesteld.

Primaire doelstellingen zijn:

- het ontwikkelen van een calibratiemethode die de lineariteitsafwijkingen van laserinterferometersystemen en lineaire meetsystemen eenduidig kan vaststellen;
- het optimaliseren van uitlijn- en detectiemethoden van het interferometersignaal waardoor de absolute nauwkeurigheid wordt verbeterd tot onder 1 nm;
- het verbeteren van de absolute nauwkeurigheid over langere afstanden via meting van de absolute brekingsindex van lucht.

Aanpak

De grenzen van genoemde apparatuur worden geanalyseerd en modelmatig beschreven. Essentieel hierbij zijn het

gedrag van de laserstraling in de gebruikte media, zijnde lucht of andere gassen, en de invloed van de optische componenten zoals toegepast in meet- en kalibratieprocessen.

Via een complete modelbeschrijving en simulaties moet het mogelijk worden het gedrag van laserinterferometers beter te beschrijven en de grenzen vast te stellen. Gebaseerd op deze kennis kunnen dan calibratiefaciliteiten worden ontwikkeld om de bovengenoemde nauwkeurigheid te verifiëren.

Ten behoeve van de validatie zal kalibratie-apparatuur worden ontwikkeld voor zowel totale systemen als componenten. De beoogde onnauwkeurigheidsgrens vraagt ook om nieuwe technieken om de brekingsindex van lucht te meten met een relatieve onnauwkeurigheid van $5 \cdot 10^{-9}$.

Het onderzoek bouwt voort op werk dat eerder door de TUE-sectie PE en het NMI is uitgevoerd in een nationaal programma, en zal weer worden uitgevoerd in nauwe samenwerking met het NMI. Dit biedt ook de mogelijkheden om via het internationale netwerk van het NMI aan te sluiten bij verwant onderzoek dat bij de PTB (Duitsland), NPL (Engeland) en het NIST (USA) wordt uitgevoerd.

Uitvoering

1 aio gedurende 4 jaar

Totale projectkosten f 540,000

Projectteam

Dr. H. Haitjema, prof. P.H.J. Schellekens

Precision Engineering, faculteit Werktuigbouwkunde, TU Eindhoven.

E-mail: h.haitjema@tue.nl

Contactloos meten van werkstukken

Projectnummer: IPT00201

Achtergrond

Binnen veel industrieën bestaat de mogelijkheid om op een zeer nauwkeurige manier producten te fabriceren. De huidige methode van productie bestaat uit een min of meer iteratief proces waarbij het product bewerkt wordt, daarna uit het apparaat gehaald wordt om gemeten te worden en dan indien nodig weer teruggeplaatst wordt voor een nabewerking. Deze iteratie van uit het apparaat halen, meten, en vervolgens weer terug plaatsen kost bij veel producten enorm veel tijd. De mogelijkheid van het monitoren van de productie tijdens de bewerking zou dan ook een uitkomst zijn.

Naast de wens om op het apparaat te kunnen meten zijn er ook nog producten die met de bestaande methoden in het geheel niet gemeten kunnen worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan toroidale oppervlakken (contactlenzen) of andere typen van asferen. Voor dit type producten moet een apart meetstelsel ontwikkeld worden dat niet noodzakelijkerwijs op het apparaat hoeft te functioneren. Hier is de uitdaging het mogelijk maken de producten nauwkeurig te meten.

Doel

Het doel kan omschreven worden als het ontwikkelen en implementeren van methoden voor het contactloos bepalen van de bewerkingstoestand van een werkstuk. Daar waar geëist en/of mogelijk zal dit op de machine uitgevoerd worden. Er zijn in dit project drie subdoelen te onderscheiden:

- Het ontwikkelen en implementeren van optische meetmethoden op een bewerkingsmachine. De te meten grootheden zijn de uitlijning van het werkstuk ten

opzichte van de bewerkingsmachine en de materiaalafname. Daarnaast zal er nog een meting opgezet worden voor het bepalen van de oppervlakte gesteldheid gedurende de bewerking met als voordeel dat het proces gestopt kan worden zodra de eindsituatie bereikt wordt. Deze aanvulling is met name belangrijk indien een gepolijst eindresultaat gewenst is.

- Het ontwikkelen van een nieuwe methode voor het meten van diepe asferen, aan het einde van de bewerking. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van shearografie, een bekende techniek, maar nu in combinatie van Temporal Phase Unwrapping gekoppeld aan het stapsgewijs vergroten van de shear.
- In het geval dat er gewerkt wordt met optisch transparante materialen zal er onderzocht worden hoe de recentelijk ontwikkelde methode iTIRM toegepast kan worden binnen een bewerkingsmachine. iTIRM is een methode voor het in-proces meten van de oppervlakte gesteldheid en eventuele sub-surface beschadigingen.

Uitvoering

1 aio gedurende 4 jaar.

Totale projectkosten f 625,000

Projectteam

Dr. ir. H. van Brug, prof. dr. ir. J.J.M. Braat,
Sectie Optica, Fac. der Technische Natuurwetenschappen,
TU Delft

Samenwerking met TNO-TPD

E-mail: brug@optica.tn.tudelft.nl

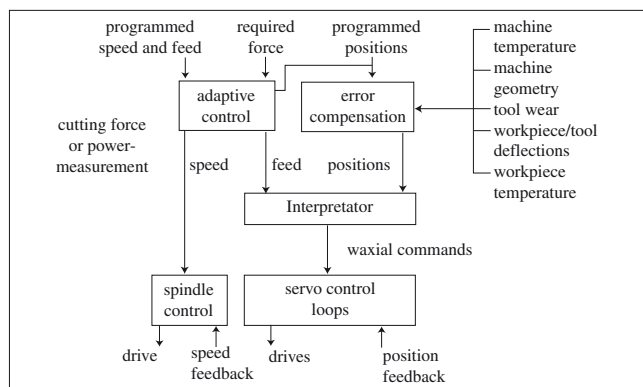
LET OP! REDACTIEADRES IS GEWIJZIGD

Twin Design bv, Postbus 317, 4100 AH Culemborg,

Telefoon: 0345-519525, Fax: 0345-513480,

E-mail: mikroniek@twindesign.nl

Precisiegericht ontwerpen



Afb. 16 De drie hiërarchische niveaus in CNC-regelsystemen.

Montage van sensoren

Voor een nauwkeurige meting is het stabiel monteren van een sensor op de juiste plaats van essentieel belang. De principes van Abbe en Bryan zijn aan het begin al genoemd. Verder is het noodzakelijk sensoren ver verwijderd te houden van trillings- en warmtebronnen. Vaak is het goedkoper verplaatsingen te meten vóór een overbrenging naar hogere resolutie, maar fouten in de overbrenging beïnvloeden dan het meetresultaat. Bij het meten van sledeverplaatsingen moeten aandrijving en verplaatsingssensor zich aan dezelfde kant van het rotatiecentrum bevinden, daar er anders een faseverschil van 180° ontstaat tussen aandrijf- en meetsignaal, met een ongunstige invloed op de stabiliteit van toe te passen regelsystemen.

Regelsystemen

Verstorings beïnvloeden op allerlei manieren de nauwkeurigheid van precisiemachines. Dat betekent dat regelsystemen onontbeerlijk zijn. Aan het begin van de jaren vijftig waren numeriek-bestuurde gereedschapmachines de eerste toepassing van teruggekoppelde regelingen. In de jaren zeventig werden zulke systemen geperfectioneerd door de introductie van CNC (Computer Numerical Control) en adaptieve regelingen. Afbeelding 16 laat drie verschillende niveaus zien in een blokschema voor CNC-regelsystemen.

Servobesturing

Servobesturingen zijn te onderscheiden in analoge en digitale systemen en hybridevormen ervan. Het functioneren

van digitale systemen kan belemmerd worden door een te lage signaal-bemonsterfrequentie. De meeste regelsystemen maken gebruik van PID-regelaars. Daarin is de proportionele actie bedoeld om de stijfheid van de regeling te vergroten, de integrerende actie om blijvende afwijkingen te elimineren en de differentiërende actie om demping te introduceren, dat laatste met het oog op verbetering van de stabiliteit. Daarvoor zijn snelheidsopnemers of het gedifferentieerde signaal van positiesensoren nodig.

De bandbreedte van de regelaar moet zo hoog zijn dat rimpelvormige afwijkingen in bijvoorbeeld het motorkoppel of het tachometersignaal of on rondheidsfouten in kogellagers afdoende worden onderdrukt. De eisen die moeten worden gesteld aan de stijfheid van het regelsysteem, hangen af van de toepassing. Voor het draaien met diamantgereedschap is een stijfheid van 10^8 tot 10^9 N/m voldoende. Maar voor het precisie-slijpen van bros materiaal is een stijfheid van 10^{10} N/m beslist noodzakelijk.

Bij het ontwerpen van regelsystemen zijn er verschillende manieren om tot een optimaal resultaat te komen. Een vuistregel is bijvoorbeeld dat voldoende stabiliteit wordt verkregen als de verhouding van de frequenties van de eerste en de tweede ongedempte eigentrilling meer dan een factor 3 en minder dan een factor 10 bedraagt. Een waardevol hulpmiddel is ook de analyse van de frequentie-responsie met Bode- en Nyquist-diagrammen. Bij contour-bewerkingen is een bezwaar van PID-regelaars dat scherpe hoeken en dergelijke minder goed worden gevolgd. Dat is te vermijden door gelijkmatig verloopende bewegingsprofielen te kiezen, zoals "scheve-sinus"-bewegingen in plaats van een trapeziumachtig verloop.

Voorwaartse regelsystemen

In een teruggekoppeld regelsysteem reageert de regelaar pas als er een afwijking wordt geconstateerd. Toepassing van voorwaartse regeling betekent dat er sneller wordt gereageerd, met als resultaat een foutenreductie van maximaal een factor 20. Voorwaartse regeling - hetzij via verplaatsing hetzij via snelheid - vereist echter kennis van het gedrag van het mechanische systeem, bijvoorbeeld inzicht in traagheids-effecten of aandrijvingsfouten.

Interpolatoren

Vooral in contoursystemen zijn interpolatoren met succes toegepast. De interpolatoren op niveau 2 in afbeelding 16 genereren stuursignalen voor ieder segment van de beschreven contour, waarbij een lineair, cirkelvormig of parabolisch verloop in rekening kan worden gebracht. Real-time-interpolatie geeft daarbij hogere precisie dan conventionele indirecte CAD/CAM-berekening.

Adaptieve regeling en compensatie

Adaptieve regeling en foutencompensatie (niveau 3 van afbeelding 16) verbeteren de prestaties van een machine, hetzij door de productiviteit - bijvoorbeeld bij ruw voordraaien - te verhogen, hetzij door de nauwkeurigheid te verbeteren - bijvoorbeeld bij nabewerking met optische oppervlaktekwaliteit. Real-time-methoden voor het compenseren van afwijkingen door variërende temperatuur, geometrische fouten en gereedschapslijtage geven de beste resultaten.

Isolatie

Precisiemachines dienen te worden beschermd tegen uitwendige storende invloeden. Al in 1890 formuleerde Maxwell dat aldus: "Bij het ontwerpen van een experimentele opstelling moeten de effecten en verschijnselen die worden bestudeerd, gescheiden worden van alle andere, zodat ze zijn te beschouwen als het zuivere onderzoekgebied. Alle andere effecten dienen zo te worden behandeld dat hun versturende invloed zo klein mogelijk is." De belangrijkste verstoringen zijn trillingen, temperatuurveranderingen, vochtigheid, geluid en elektrische en magnetische velden. Op de eerste twee zullen we nader ingaan.

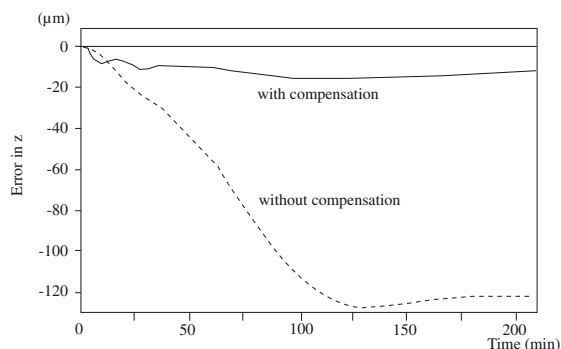
Thermische isolatie

De aandrijving is te beschouwen als een van de belangrijkste inwendige warmtebronnen. Die bron is te minimaliseren door een optimale afstemming van aandrijfsysteem en belasting. Het effect van temperatuurverschillen in een machine is kleiner naarmate de thermische uitzettingscoëfficiënt α kleiner is. De temperatuurverschillen zijn kleiner naarmate de warmtegeleidingcoëfficiënt ϕ groter is. Dus bepaalt het quotiënt α/ϕ de gevoeligheid van het materiaal voor ruimtelijke thermische gradiënten. Dat is de reden dat aluminium een gunstig materiaal is voor het construeren van precisiemachines. De firma Carl Zeiss ontwikkelde een speciale keramische oppervlaktelaag ter verbetering van de slijtvastheid van het aluminium voor haar computergestuurde meetmachines. Voor linialen past men exotische materialen met verwaarloosbare uitzettingscoëfficiënt toe, zoals invar en zerodur.

In het geval van een tijdafhankelijke temperatuurverdeling

speelt de thermische diffusiecoëfficiënt $\alpha/\phi c_p$, met σ de massadichtheid en c_p de soortelijke warmte, een belangrijke rol. Voor een snelle aanpassing aan temperatuurfluctuaties dient de waarde van deze coëfficiënt groot te zijn. Maar het gebruik van veel verschillende materialen dient te worden vermeden, aangezien dan de thermische tijdconstanten in de machine teveel verschillen.

Overbepaaldheid van een onderdeel veroorzaakt inwendige spanningen. Vanuit dat gezichtspunt is materiaal met een lage elasticiteitsmodulus te prefereren, wat weer in strijd is met de eis van een hoge stijfheid. Ook daarom zijn kinematische constructies gewenst.



Afb. 17 De afwijking in de z-richting als functie van de tijd bij het frezen van een werkstuk met en zonder foutencompensatie [3].

De invloed van veranderingen van de omgevingstemperatuur is te minimaliseren door de machine op te stellen in een temperatuurgeregelde ruimte. Ook worden nevels van temperatuurgeregelde olie toegepast.

Trillingsisolatie

Passieve trillingsisolatie houdt in dat een secundaire - grote - hulpmassa wordt afgeveerd op slappe veren. De mate van verzwakking van de trillingsamplitudes van enerzijds de passieve trillingsisolator en anderzijds het gereedschap of de meetsensor volgt uit het kwadraat van de reciproque verhouding van de eigenfrequenties.

Een goedkope methode om de machine te isoleren van uitwendige trillingsbronnen is de toepassing van rubber dempers. Ook met lucht gevulde dempers zijn effectief. Deze hebben geen last van eigen trillingsmodes, wat bij metalen schroefveren wel het geval is. Regeling van de druk in pneumatische isolatoren maakt niveauregeling mogelijk, maar zulke systemen zijn in het algemeen nogal traag. Daarom zijn er actieve dempings- en hoogteregelingen ontworpen,

waarbij de hoogte en hoekoriëntatie van de machine worden gemeten met positie- of versnellingsopnemers. In nog geavanceerdere actieve trillingsisolatiesystemen wordt de eigenfrequentie elektronisch geregeld.

Foutenreductie- en compensatie

Bij het precisiegericht ontwerpen zijn er twee wegen te bewandelen. De eerste manier is het ontwerpen met minimale positieafwijking door het zo consequent mogelijk toevoegen van de hiervoor behandelde ontwerpregels. Maar een zekere restfout blijft onvermijdelijk. De andere methode - de compensatiemethode - houdt in dat restfouten worden gecompenseerd door het verwerken van de gegevens afkomstig van geometrische kalibraties en van temperatuurmeting. In meetmachines is foutencompensatie aan het eind van het meetproces mogelijk. In precisie-bewerkingsmachines en in positioneermachines moet die compensatie echter in real-time plaatsvinden.

Foutencompensatie in meetmachines

In principe komt foutencompensatie neer op het toevoegen van een vector dP aan de uitkomst van een meetresultaat P . Beide vectoren zijn een functie van de plaatscoördinaten x , y en z . Bij dynamische fouten is de compensatievector ook nog een functie van de tijd t . Het zal duidelijk zijn dat dat laatste het compensatieproces aanzienlijk moeilijker maakt dan het compenseren van (quasi)-statische fouten.

De technieken voor foutencompensatie zijn te onderscheiden in de parametrische en de volumetrische methode. Bij de eerste methode gaat men uit van modellen die het mogelijk maken te volstaan met het direct meten van foutparameters op discrete posities in het meetinstrument. Met behulp van de modellen kunnen vervolgens de compensatievectoren vanuit de gemeten parameters worden berekend.

Bij de volumetrische methode moet men de afwijkingen daadwerkelijk meten, en wel met kalibratiemiddelen als laserinterferometer, eindmaten of speciaal gevormde kalibers. Uit deze meetgegevens worden via ingewikkelde modellen de foutparameters geschat, waarna hiermee weer de compensatievectoren worden berekend. Het voordeel van de volumetrische methode is dat de meettechnieken relatief simpel zijn, en daarom veel sneller uit te voeren dan bij de parametrische methode.

Real-time foutencompensatie in gereedschapmachines

Real-time foutencompensatie in bijvoorbeeld CNC-machines is al bekend sinds de jaren zeventig. Het gaat er daarbij om de compensatiewaarden van tevoren door kalibratie te

bepalen. Moeilijk wordt het daarbij thermomechanische fouten en afwijkingen door eindige stijfheid vast te leggen, aangezien deze tijds- en/of taakafhankelijk zijn. Voor het vaststellen van thermomechanische fouten gaat men meestal uit van de gemeten temperatuurverdeling aan de buitenzijde van de machine. Daaruit wordt dan de verplaatsing van het gereedschap berekend. Recentelijk zijn daarbij statistische rekenmethoden en neurale-netwerk-methoden erg nuttig gebleken. Afbeelding 17 laat het resultaat van geometrische en thermische foutencompensatie zien voor een gefreesd werkstuk [3].

Foutencompensatie in gereedschapmachines is nog niet zo goed ontwikkeld als die in meetinstrumenten, vooral door problemen bij het meten van de effecten van inwendige warmtebronnen in bijvoorbeeld freesmachines. Op het ogenblik is voor enkele typen gereedschapmachines eerste-orde-foutencompensatie van geometrische en ten dele thermische fouten beschikbaar. Ook zijn er resultaten bereikt bij het compenseren van fouten veroorzaakt door de snijkrachten bij hard-draaien.

Trends in het precisiegericht ontwerpen

De laatste decennia heeft precisiegericht ontwerpen zich snel ontwikkeld, met als resultaat diverse precisie-machines en -instrumenten, zoals bijvoorbeeld computergestuurde meetmachines en wafersteppers. Verbeterde inzichten hebben de aan onnauwkeurigheid en resolutie gestelde grenzen verder teruggebracht. De ontwikkeling van software voor precisiegericht ontwerpen was daarbij erg belangrijk. In dat kader moeten vooral de softwarehulpmiddelen worden genoemd die het mogelijk maakten het gedrag van machines te voorspellen en problemen te onderkennen nog voordat er echte hardware was gerealiseerd. Daarnaast leidden de integratie van uiterst nauwkeurige sensoren, de introductie van teruggekoppelde regelsystemen en de ontwikkeling van geavanceerde besturingssoftware tot apparatuur met hogere nauwkeurigheid en flexibiliteit.

Vandaag de dag vormt de ontwikkeling in de informatietechnologie de belangrijkste drijfveer voor de vooruitgang van de precisietechnologie. Het onderzoek in de IC-technologie, de ontwikkeling van steeds gedetailleerdere LCD- en plasma-displays, het transport van steeds grotere datastromen en de opslag van voortdurend grotere hoeveelheden informatie zijn daarin de drijvende krachten. Die krachten brengen de precisietechnologie - en het precisiegericht ontwerpen in het bijzonder - op een steeds hoger plan.

De vooruitgang van de IC-technologie wordt vooral geïllustreerd door de groei van de capaciteit van DRAM-geheugens van 245 kbit tot 256 Mbit van 1982 tot 1997. (En ook nu in het magische jaar 2000 is het eind van die stormachtige ontwikkeling nog niet in zicht.) De lijnbreedte en de spoorafstand zijn in dezelfde periode gereduceerd van 2 μm tot 0,2 μm . VLSI-IC's en ULSI-IC's zijn "gewoon" geworden. De diverse proces- en belichtingsstappen in het fotolithografische proces voor het maken van IC's op siliciumplakken van 12" en groter stellen ongehoorde eisen aan de besturing van positie, snelheid en versnelling. Dat uit zich in een reproduceerbaarheid van de siliciumplak-positionering van slechts enkele tientallen nanometers.

In een volgend stadium zal men in de IC-technologie zijn toevlucht moeten nemen tot röntgenlithografie ten einde het bezwaar van de verhoudingsgewijs "grote" golflengte van zichtbaar licht en UV-licht te overwinnen. Die golflengte begrenst de detailgrootte in fotolithografisch vervaardigde IC's tot 0,15 μm . Maar de extreem korte golflengte van 13 nm van zachte röntgenstraling maakt het gebruik van conventionele lenzen onmogelijk, zodat er met spiegelsystemen moet worden gewerkt bij het afbeelden van het masker op de siliciumplak. Dat betekent dat de vormnauwkeurigheid van die spiegels beter moet zijn dan 20 nm en de ruwheid kleiner dan 0,5 nm R_a . En dat bij een diameter van 200 mm! Om voldoende reflectie te verkrijgen is daarbij de toepassing van uiterst nauwkeurige meerlagige oppervlaktebedekkingen noodzakelijk. Daarom moeten er nieuwe technologieën worden ontwikkeld, niet alleen voor de waferstepper zelf, maar ook voor de machines voor het maken van de maskers en voor de instrumenten voor de procescontrole. Ook zijn er nieuwe machines nodig voor de fabricage van optische componenten met extreme precisie.

Het onderzoek en de ontwikkeling van optische-schijfgeheugens van hoge dichtheid veroorzaken een verschuiving in de grenzen die zijn gesteld aan het transport en de opslag van digitale informatie. Systemen als CD-Audio, CD-ROM, CD-Video en DVD brengen de toleranties op spoorbreedte en bitgrootte naar een steeds strengere waarde. Van deze geheugensystemen zijn inmiddels opneembare en overschrijfbaar versies verschenen. Ook hier eist men een afnemende golflengte en een toenemende openingshoek. DVD-systemen met twee en zelfs drie informatielagen bewerkstelligen een verdere toeneming van de opslagdichtheid. De schrijfprecisie van laserbundels vereist nanometer-onnauwkeurigheid van draaitafels en maskersystemen. Overschrijfbaar DVD-systemen voor de consumentenmarkt vereisen binnen niet al te lange tijd een schrijfreproduceerbaarheid van niet meer dan enkele tientallen nanometers.

Voor PC-monitoren en HDTV-apparaten zijn er nieuwe vlakke beeldschermen ontwikkeld, respectievelijk kleuren-LCD's en plasma-panelen. Die vereisen geheel nieuwe fabricagetechnieken met een uiterst hoge overlappingsprecisie van elektrodenlagen en zorgvuldig beheerste ets- en laagdepositietechnologie.

Ten slotte moeten we ook nog de ontwikkelingen in de astronomie noemen. In het komende decennium vragen geavanceerde astronomische meetsystemen om geometrische stabiliteit in het nanometer- en nanoradiaalgebied.

Het voorgaande illustreert afdoende dat precisietechnologie - en precisiegericht ontwerpen in het bijzonder - op de drempel staan van een periode met niet alleen snelle groei, maar ook met heel veel spannende uitdagingen.

Literatuur

(Zie [1] voor een completer literatuuroverzicht)

[1] P. Schellekens e.a., Design for precision: current status and trends, CIRP-Annalen, vol. 2, blz. 1-30, 1998.

[2] P.H.J. Schellekens, Status en trends in de werktuigbouwkundige precisietechnologie, Mikroniek 39, blz. 112-118, 1999.

[3] H.A.M. Spaan, Software error compensation of machine tools, Dissertatie TU Eindhoven 1995.

[4] J.B. Bryan, The Abbe principle revisited: an updated interpretation, Precision Engineering 1, blz. 129-132, 1979.

[5] W. van der Hoek, Het voorspellen van het dynamisch gedrag en de positioneringsnauwkeurigheid van constructies en mechanismen, Collegedictaten TU Eindhoven, 1962-86.

[6] M.P.Koster, Constructieprincipes voor het nauwkeurig bewegen en positioneren, Uitgeverij Universiteit Twente, 1996.

[7] C.H. Schouten, Het ontwerp van een precisie spindel voor hoge snelheden, Afstudeerscriptie TU Eindhoven, 1997, ISBN 90-5282-754-0.

[8] J. van Eijk, On the design of plate-spring mechanisms,

Dissertatie TU Delft, 1985.

[9] K. Lindsey e.a., Sub-nanometre surface texture and profile measurement with Nanosurf 2, CIRP-annalen 37/1, blz. 519-522, 1988.

[10] J.P.M.B. Vermeulen, Development of a lightweight and ultrastiff single point diamond turning machine with submicron accuracy, Dissertatie TU Eindhoven, 1996, ISBN 90-5282-702-8.

[11] H.J.J. Kraakman e.a., Een precisiedraaibank met hydrostatische lagering en aandrijving, Philips Technisch Tijdschrift 30/5, blz. 121-137, 1969.

[12] F. Al-Bender en H. van Brussel, Active aerostatic bearing through control of film geometry, Proc. of the 9th IPES-4ME, vol. 2, blz. 389-392, Braunschweig 1997.

[13] D.L. Trumper e.a., Design and analysis framework for linear permanent-magnet machines, IEEE Transactions on Industry Applications 32/2, blz. 371-379, 1996.

[14] D.M.H. Philips e.a., Design of a high precision rotary table, Proc. 8th IPES, Blz. 221-224, 1995.

[15] N. Taniguchi, Nanotechnology: integrated processing systems for ultra precision and ultrafine products, Oxford Un. Press, 1996, ISBN 0-19-8562837.

LET OP! REDACTIEADRES IS GEWIJZIGD

Twin Design bv, Postbus 317, 4100 AH Culemborg,

Telefoon: 0345-519525, Fax: 0345-513480,

E-mail: mikroniek@twindesign.nl

LabVIEW 6i

Met de nieuwe versie van LabVIEW 6i van National Instruments krijgt de gebruiker naast de bekende mogelijkheden voor meetapplicaties als extra een stuk nieuwe intelligentie voor meetapplicaties aangereikt, waarmee zijn applicatie direct klaar is voor het gebruik in combinatie met Internet om meetgegevens en andere informatie over te zenden. Bijvoorbeeld naar de eigen web-site of voor medegebruikers die daarmee gelijk aan de slag kunnen.

National Instruments is geen onbekende op het gebied van het meten met behulp van de PC. Al meer dan vijftien jaar is zij hiermee bezig. Als eerste startte zij deze zogenoemde meetrevolutie, zoals zij het zelf graag omschrijven. Vooral het automatiseren van meettaken en metingen zijn speerpunten in het programma. Met de introductie van LabVIEW versie 6i zet het bedrijf de volgende stap in PC-gebaseerd meten en automatiseren. Met deze nieuwe versie van LabVIEW wordt het besturen van een virtueel instrument (Virtueel Instrument in de regel aangegeven als een VI is een applicatie in LabVIEW) met een Web-browser heel eenvoudig, kan men meetgegevens snel verspreiden over het Internet en data distribueren door het gehele bedrijf.

Naast de mogelijkheden voor gebruik van het Internet zorgt de nieuwe ingebouwde intelligentie in het programma ervoor dat meetapplicaties in minder stappen zijn te bouwen dan in de vorige versies. Dit concept – de zogenoemde meetintelligentie - biedt de voorziening de beschikbare hardware om de metingen te realiseren automatisch wordt geconfigureerd. Het resultaat hiervan is dat gebruikers het programmeren kunnen minimaliseren en dus sneller klaar zijn met de ontwikkeling van hun applicaties.

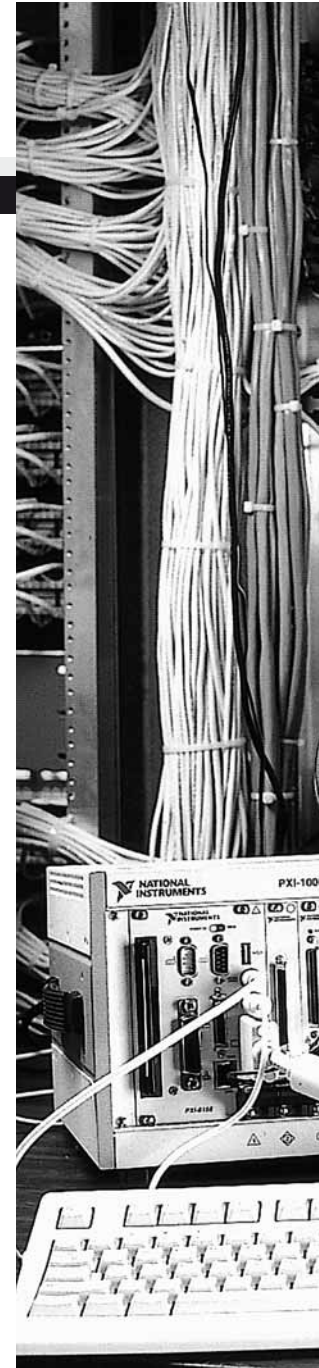
Tim Butterfield, Senior Software Engineer bij Lucent Technologies, over LabVIEW 6i: "LabVIEW 6i is the most

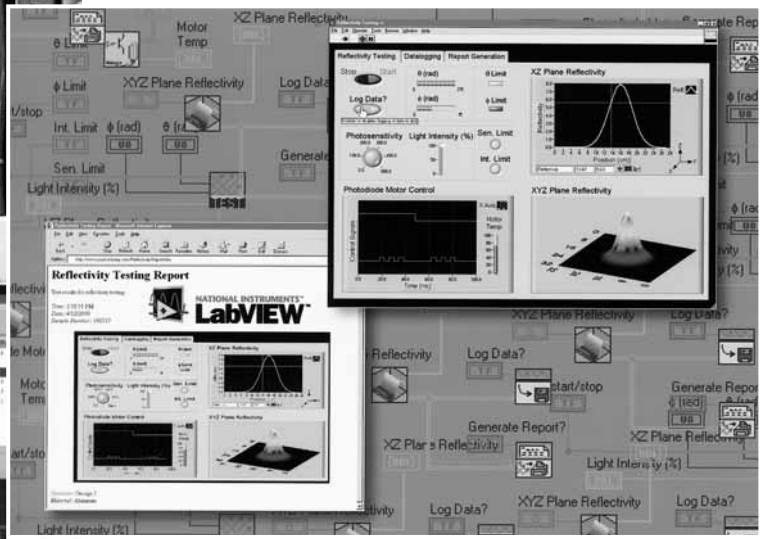
comprehensive and easy-to-use development environment yet. We foresee reduced development time of test applications with LabVIEW 6i because it provides many functions that we once had to program ourselves."

Gedistribueerde meetgegevens en uitvoering van meetapplicaties

Met behulp van de nieuwe LabVIEW Player browser plug-in en LabVIEW 6i kan men, waar ook ter wereld, over het Internet toegang krijgen tot LabVIEW-applicaties. De gebruiker bouwt een VI en publiceert deze op het Internet. Collega's of klanten kunnen vervolgens deze VI openen en uitvoeren met behulp van de LabVIEW Player in hun Web-browser. Deze Player is gratis van de website te downloaden. Het Internetadres hiervoor is www.ni.com/labview.

Naast het gemeenschappelijke gebruik van VI's kunnen





gebruikers ook op eenvoudige wijze testresultaten en meetgegevens verspreiden naar collega's binnen en buiten het bedrijf door gebruik te maken van de meegeleverde Internetfuncties. Het is nu mogelijk om continu data te schrijven en te lezen van het netwerk, zonder te programmeren. Een voorbeeld: gebruikers kunnen met één muisklik data van een willekeurig object op de gebruikersinterface distribueren naar het Internet of andere applicaties.

Een ander voorbeeld is de gedistribueerde uitvoering van applicaties over een netwerk. Een computer ergens op de werkvloer wordt door een applicatie gebruikt om meetgegevens te vergaren, vervolgens gebruikt dezelfde applicatie een krachtig werkstation om de resultaten te analyseren en publiceert daarna de informatie afkomstig van deze applicatie over het Internet.

Meetintelligentie genereert direct resultaten

Met LabVIEW 6i wordt ook het concept van meetintelli-

gentie geïntroduceerd. Dit wil zeggen dat door integratie van hardware voor het uitvoeren van de gewenste metingen, sensoren en software de beschikbare componenten in een meetsysteem niet alleen automatisch worden herkend, maar tevens worden geconfigureerd. Dit betekent kortweg dat deze zogenoemde meetintelligentie het mogelijk maakt om met minder stappen een applicatie te maken, waardoor gebruikers minder moeten programmeren en dus ontwikkeltijd uitsparen. Het programma biedt de programmeur standaard een grote hoeveelheid meetfuncties voor data-acquisitie en instrumentbesturing. Bovendien zijn er ook nieuwe bibliotheken voor image acquisition en aandrijftechniek beschikbaar.

Interessant is dat binnen deze meetintelligentie in het programma, de gebruiker ook over een nieuw type variabele, speciaal ontworpen voor signalen, beschikt. Deze variabele bevat informatie over de namen, eenheden en frequentie-eigenschappen van de bemonsterde signalen. De signaalvariabele wordt toegepast in nieuwe meetfuncties, bestaande uit één icoon, waarmee signalen onder andere kunnen worden gegenereerd, bewerkt en gelogd naar bijvoorbeeld spreadsheet-bestanden. De nieuwe signaalvariabele bevat ook DC/RMS-metingen, toondetectie en metingen aan vervormingen, gemiddelde frequentie-analyse, limietentesten en DTMF-testen (dual tone multifrequency).



de nieuwe versie duurt dit nog maar 25 ms. Dit is 27 keer sneller dan voorheen. Veel applicaties die in het verleden zijn gemaakt zijn 20 % kleiner geworden en verbruiken 20 % minder geheugen met LabVIEW 6i. Zo is bijvoorbeeld enkelpunts data-acquisitie nu 4,7 keer sneller geworden. (Voor meer informatie over de benchmarks verwijzen wij naar "LabVIEW Version 6i – Internet-Ready Measurement Applications".)

Een nieuwe 'look' en andere opties voor de gebruikersinterface

In de nieuwe versie is gebruik gemaakt van geavanceerde grafische technologie om driedimensionale objecten voor de gebruikersinterface te ontwerpen. Hiermee kunnen professionele en eenvoudig te bedienen meetsystemen worden ontwikkeld. Ook zijn er nieuwe mogelijkheden voor grafische weergave, zoals grafieken met meerdere assen en een grafiek voor discrete signalen, waarin timing data en digitale patronen weergegeven kunnen worden. In het programma zijn ook meer objecten toegevoegd met een Microsoft Windows-achtige stijl, zoals property velden, een listbox met meerdere kolommen en tip strips die de gebruikersinterface objecten beschrijven.

LabVIEW versie 6i is beschikbaar voor de platformen Windows 2000/NT/9x, Mac OS, Linux, Solaris en HP-UX.

Dynamic Link Libraries (DLL's) maken

Om ervoor te zorgen dat LabVIEW-code gemakkelijk is te integreren met verschillende programmeertalen en managementpakketten kan een standaard VI nu ook in een dynamic link library (DLL) of shared library worden omgezet. Hierdoor kunnen gebruikers hun bestaande code hergebruiken in ontwikkelomgevingen als Microsoft Visual Basic, Visual C++ of National Instruments Measurement Studio.

Verbeterde snelheid

Meetapplicaties vereisen vaak een optimaal geheugenmanagement en hoge uitvoeringssnelheid om de grote hoeveelheden data te kunnen verwerken en analyseren. In het programma zijn wat betreft uitvoeringssnelheid, geheugenbereik en filegrootte sterke verbeteringen doorgevoerd. Bijvoorbeeld, een FFT-analyse van 10.000 punten werd in voorgaande versies van het pakket in 693 ms berekend. In



De nanometer,

een veelgebruikt maar abstract begrip, onder de loep!

Vaak komt u in de literatuur en documentatie het begrip 'nanometer' tegen. Het is voor velen een bekende en regelmatig gebruikte meeteenheid, maar voor de meesten blijft het een abstract begrip: wat moet je je bij een nanometer precies voorstellen?

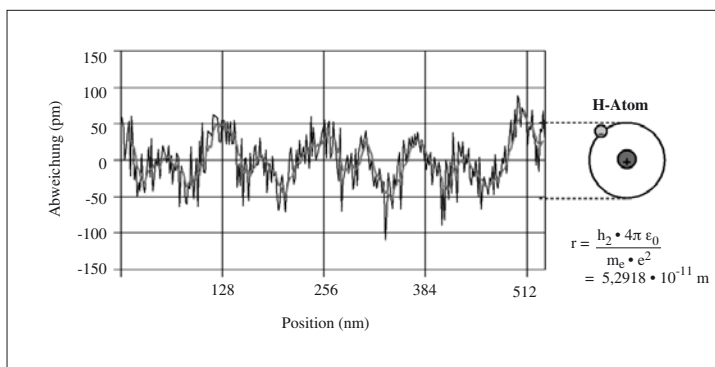
Het woordenboek geeft aan dat het voorvoegsel 'nano-' afkomstig is van het Grieks-Latijnse woord nanos, dat 'dwerg' betekent. Een nanometer is dan dus een 'dwergenmeter'. 'Nano' wordt gebruikt als voorvoegsel bij natuurkundige eenheden, en geeft het tienvoudige (een miljardste deel) van de betreffende eenheid aan; 1 nanometer (nm) = 0,000 000 001 meter.

Velen onder ons lezers zullen het begrip 'nanometer' dagelijks verschillende keren uitspreken en aan het begrip gewend zijn geraakt zonder te weten wat zij zich er daadwerkelijk bij moeten voorstellen.

Voor het geval dat het voorstellingsvermogen het laat afweten, noemen wij hieronder enkele voorbeelden bij de maten (zie ook tabel 1):

- 1 millimeter (1 mm) is eenieder bekend van een liniaal of duimstok.
- De dikte van kopieerpapier is ongeveer een tiende millimeter (0,1 mm).
- Een menselijke haar heeft een diameter van ongeveer 50 tot 80 micrometer (m).
- Huishoudelijk vershoudfolie heeft een dikte van ca. 10 micrometer (m).
- De standaard signaalperioden van Heidenhain-meetsystemen worden weergegeven in micrometers (m): 40 m, 20 m, 8 m, 4 m of 2 m.
- De golflengte van zichtbaar licht bedraagt ongeveer 0,5 micrometer (m), wat ook bij benadering de schaalverdelingsperiode van bijvoorbeeld ons meetsysteem LIP 382 aangeeft (zie afbeelding 2). Tot zover is het nog mogelijk de maat met aanschouwelijke praktijkvoorbeelden te ondersteunen.

- Een nanometer ten slotte is 1/1000 micrometer of ongeveer het tienvoudige van de doorsnede van een atoom, en dat is voor veel lezers een toch wel moeilijk voor te stellen 'grootheid'.



Afbeelding 1: Gemeten afwijking binnen een signaalperiode bij de LIP382

Zebrapad als vergelijking

Ter verduidelijking geven wij nog twee voorbeelden van de maatverhoudingen. Als eerste voorbeeld het lengtemeetsysteem LIP 382. Dit instrument heeft over de lengte van de schaalverdeling van 300 mm bijna 600.000 strepen (dus 2000 strepen per millimeter). Wanneer zo'n streep vergroot zou worden tot de afmeting van de strepen van een zebrapad, dan zou er een zebrapad moeten worden geschilderd van Amsterdam tot aan Berlijn, waarbij de strepen over de gehele lengte tot aan Berlijn niet meer dan 10 mm van de gewenste positie mogen afwijken. Een oplossend vermogen van 1 nanometer komt hierbij overeen met 2 mm. Erg indrukwekkend is ook dit voorbeeld: als onze aarde, met zijn diameter van 12.756 km, zou krimpen tot de grootte van

een erwt, en alle mensen krimpen mee, dan heeft elk mens tamelijk precies de afmeting van een nanometer.

We kunnen ons bij de gegeven afmetingsvergelijkingen slechts een vage voorstelling maken van hoe onbeduidend klein een nanometer wel niet is. Ondanks de nietigheid waarmee we worden geconfronteerd, zijn er binnen de firma Heidenhain enkele afdelingen die in hun dagelijks werk veel met nanometers omgaan. In de productie van schaalverdelingen worden bijvoorbeeld lagen van enkele nanometers dik op substraten opgedampt.

Op de afdeling 'Ontwikkeling' van de schaalverdelingen worden met behulp van elektronenstraallithografie reproduceerbaarheden van enkele nanometers bereikt (zie ook de eerder genoemde zebra-afmeting), die in het meet- en testcentrum resp. DICD-laboratorium op meetmachines met een maximale onzekerheid van circa 20 nm gemeten worden. Met elektronenmicroscopen kunnen structuren van kleiner dan 1 nm gemeten worden. Op de afdeling 'Voorontwikkeling' en in het meetlaboratorium wordt een

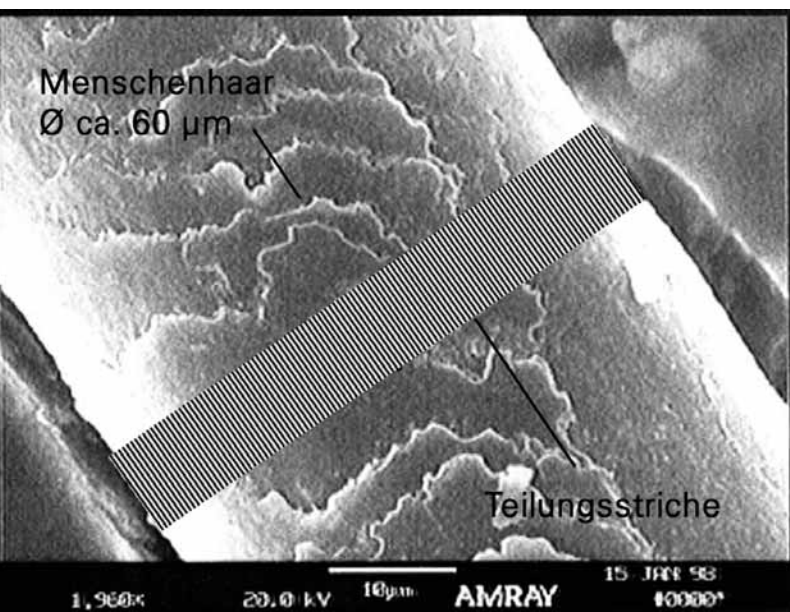
nanocomparator gebouwd, die een nauwkeurigheid van 1 nanometer op een meetlengte van 600 mm zal hebben.

Supernauwkeurig

Bij het meetsysteem LIP 382 kunnen we een afwijking binnen de signaalperiode van ongeveer 50 picometer meten, wat overeenkomt met de diameter van een waterstofatoom (zie figuur 1). Last but not least heeft de laserinterferometer ILM 101 een oplossend vermogen van 0,1 nm, alsmede een afwijking binnen een signaalperiode van minder dan 0,5 nm.

Toepassingen

Vele lezers zullen zich afvragen wie een oplossend vermogen van een nanometer nodig heeft, en waarvoor. Als eerste noemen wij de optische en magnetische opslagmedia, zoals bijvoorbeeld harde schijven, cd's, en dvd's. Daar leiden inspanningen tot miniaturisering (bijvoorbeeld een inbouwdrive in digitale camcorders). Tegelijkertijd wordt tegemoetgekomen aan de eisen van een hogere geheugencapaciteit door te werken aan kleinere spoorafstanden voor digitale informatie op het opslagmedium.



Afbeelding 2: Vergelijking van de afmeting van de schaalverdeling van de LIP 382 met een mensenhaar. Voor de positiebepaling wordt de streepafstand nog eens 512 keer zo nauwkeurig bepaald, om ten slotte op de meetstap van een nanometer te komen.



Afbeelding 3: De CD als voorbeeld voor kleine afmetingen.

Halfgeleiderindustrie

Nog hogere eisen gelden in de halfgeleiderindustrie, waar op een silicium wafer structuurbreedtes van 150 nm worden gefabriceerd. Omdat de wafer tijdens de fabricage tussen de 20 en 25 keer belicht wordt, mag de toegestane overlappingsfout tussen de verschillende belichtingsfasen maximaal 30 nm bedragen, wat uiteraard ook eisen op nanomeetniveau aan het meetsysteem stelt.



Afbeelding 4 Het productieproces van chips vraagt om zeer effectieve maatregelen om iedere vorm van stof of verontreinigen tegen te gaan. Ook hier wordt gewerkt met extreem kleine afmetingen.

Ultraprecisie

Op het gebied van de ultraprecisiebewerking worden op dit moment spiegelende oppervlakken met een oppervlakteruwheid in het nanometergebied vervaardigd op diamant-



Afbeelding 5 Speciale aandacht vragen ook ooglenzen.

draaimachines. Dit zijn bijvoorbeeld spiegels voor de laser-materiaalbewerking, niet-rotatiesymmetrische optieken, maar ook contactlenzen. Periodische fouten, ook als ze in het gebied van minder dan 10 t/m 100 nanometer liggen, buigen het licht af en worden door het oog waargenomen.

Hopelijk heeft dit artikel een indruk gegeven van de 'grootte' van de nanometer. Het zal u duidelijk zijn dat de nauwkeurigste HEIDENHAIN-meetsystemen tot in het bereik van een nanometer werken. Indien een leek ons vraagt wat een nanometer dan wel is, antwoorden wij eenvoudigweg: "Een nanometer is zoveel als een vingernagel in een seconde groeit." Vaak vertellen wij erbij dat een haar zelfs circa 5 nanometer per seconde uit de huid schiet! Onvoorstelbaar, niet?

Met dank aan de firma Heidenhain, die de basistekst en de afbeeldingen heeft verzorgd.

Het cumulatief gemiddelde of wat hebben ze nu

Wat is een cumul

Wie zich wel eens met statistisch onderzoek heeft beziggehouden zal gemerkt hebben dat er wel erg veel meetgegevens nodig zijn om tot betrouwbare uitspraken te komen. Velen van u zullen, net als ik, wel eens tussendoor wat hebben zitten rommelen met de getallen. Je merkt dan al snel dat de conclusies veel sneller getrokken kunnen worden dan de statistici willen toestaan. De indruk ontstaat dat de statistiek erg veel redundantie bevat, waardoor die grote aantallen metingen nodig zijn. In dit stuk willen we nagaan waar mogelijkheden zouden kunnen liggen om het aantal metingen terug te brengen.

W

We starten met te laten zien wat een cumulatief gemiddelde (CG) is. In formulevorm ziet het er als volgt uit:

$$CG = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i x_j$$

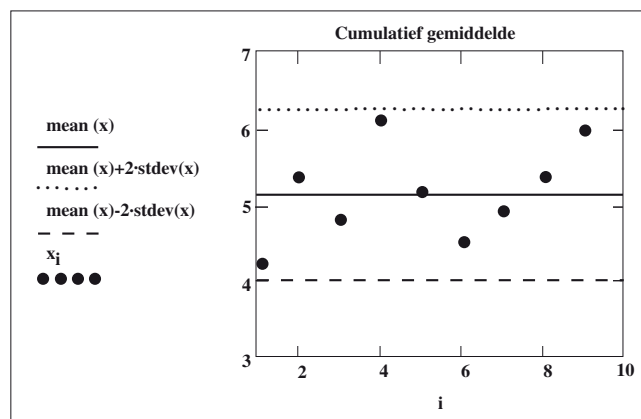
Dus we tellen de eerste i getallen op en delen door i , dat is alles. We zullen aan de hand van het voorbeeld op de volgende pagina laten zien hoe dat uitpakt.

We berekenen van kolom 2 het gemiddelde en de spreiding en vinden:

gemiddelde = 5.117 en de
standaarddeviatie = 0.563

We zetten dit in een grafiek samen met de gevonden meetpunten (zie grafiek 1).

Wat opvalt is dat de 2-s grenzen buiten de meetpunten lopen, en dat is de eerste redundantie die wordt toegelaten.



Grafiek 1

We gaan nu kijken naar het cumulatieve gemiddelde. Hierbij moeten we er rekening mee houden dat de steekproefdeviatie is afgenomen met $\frac{1}{\sqrt{i}}$ bij de i -de meting. Dat is ook

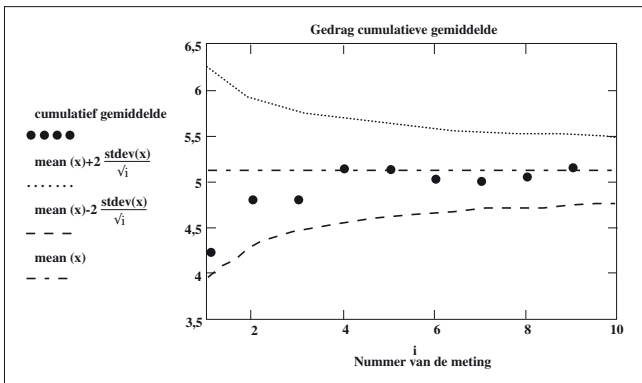
logisch, na meer metingen is het gemiddelde beter in te perken. We zetten dat weer in een grafiek (grafiek 2):

weer verzonnen

atief gemiddelde

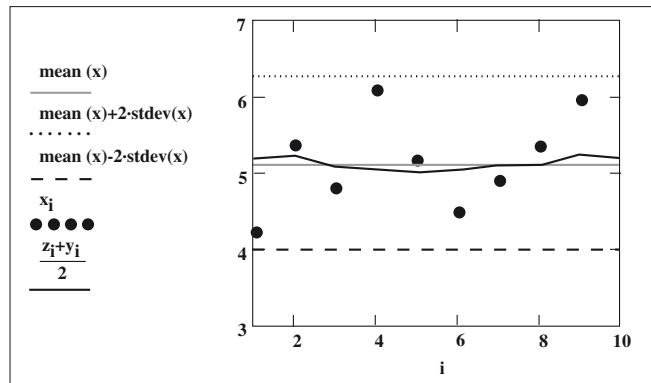
Voorbeeld

nummer	meting M	CG	Meting oplopend A	Meting aflopend B	(A + B)/2
1	4.25	4.25	4.25	6.10	5.175
2	5.37	4.81	4.48	5.95	5.215
3	4.80	4.81	4.80	5.37	5.085
4	6.10	5.13	4.81	5.35	5.08
5	5.15	5.13	4.91	5.15	5.03
6	4.48	5.02	5.15	4.91	5.03
7	4.91	5.01	5.35	4.81	5.08
8	5.35	5.05	5.37	4.80	5.085
9	5.95	5.15	5.95	4.48	5.215
10	4.81	5.12	6.10	4.25	5.175



Grafiek 2

Dat is natuurlijk mooi, we zien de punten heel snel naar het gemiddelde gaan en het valt op dat ze ver binnen de 2-s grenzen blijven. Door dit in een groot aantal praktijkgevallen toe te passen blijkt dat dat altijd zo is en pak je de 3-s grenzen dan wordt dat natuurlijk nog veel opvallender. Keren we terug naar het voorbeeld dan ziet u dat de metingen in de kolommen 4 en 5 in gesorteerde volgorde staan (oplopend en aflopend). In kolom 6 staat het gemiddelde van de twee voorgaande kolommen en we zien dat deze cijfers heel dicht bij het gemiddelde liggen. Hoe dicht laat grafiek 3 zien.



Grafiek 3

We zien de lijn die zich mooi om het gemiddelde kronkelt. De vraag die nu opkomt is of dit altijd opgaat en het antwoord is ja, als de cijfers tenminste uit een meting komen. Natuurlijk ben ook ik in staat om een set cijfers te construeren die zich op dit punt misdraagt. Maar dit soort setjes blijkt in de praktijk niet voor te komen bij reële verschijnselen.

In de praktijk is een groot aantal metingen op een dergelijke manier bekeken (150) en in geen enkel geval ging het mis. Uit het gedrag van het cumulatieve gemiddelde zien we dat na 5 à 6 metingen er een soort gemiddelde wordt bereikt

waarmee men prima kan werken, we komen daar nog op terug.

De luieriken onder ons kunnen nu het verder lezen staken want in de rest wordt aannemelijk gemaakt waarom dat zo is. Zij hoeven alleen maar te onthouden dat ook bij een klein aantal metingen het gemiddelde bruikbaar is en waarschijnlijk werkt u zo ook al, dus er is niets nieuws onder de zon.

Ik hoop echter dat er een voldoende aantal lezers verder leest, want er komen leuke dingen aan de orde die u in de toekomst van dienst zouden kunnen zijn.

Kritisch geluid

1 In de statistiek praat men over twee soorten gegevens namelijk het populatiegemiddelde en -spreiding (μ , σ) en het steekproefgemiddelde en -spreiding (\bar{x} , s). Men gaat er dan van uit dat er een hele grote populatie van dingen is die een eigen gemiddelde en spreiding hebben. Uit een steekproef uit deze populatie probeert men dan een schatting te vinden van μ en σ . Statistisch gesproken is dit een prima procedure en met zekerheid bestaan er ook van deze populaties (denk b.v. aan de bevolking van Nederland). Maar hoe zit dat met nieuwe ontwikkelde dingen? Dan is het niet zo waarschijnlijk dat er een dergelijke populatie bestaat.

Nu moeten we met dit laatste voorzichtig zijn. De grote vraag is of nieuwe dingen ontdekt worden of dat ze worden uitgevonden. Er is een behoorlijke groep mathematici die van het eerste uitgaan (b.v. Erdős, toch niet de minste). Als dat waar is dan bestaan de objecten eigenlijk al, wij hebben ze slechts ontdekt. Als voorbeeld kunt u denken aan de Mandelbrot-verzameling, bestond die al voor de definitie of niet? Helaas kunnen we niet verder ingaan op deze boeiende discussie.

De statistiek haalt vaak, als voorbeeld, de dingen aan die in massa vervaardigd worden om over populaties te praten. Nu heb ik in het verleden op grote schaal kunnen testen wat er in de massafabricage optreedt en steeds is gebleken dat het populatieconcept niet vruchtbaar is. Als er überhaupt al gereageerd wordt op de gegevens uit het statistisch onderzoek dan blijkt steeds dat men het beste uit kan gaan van de steekproefgrootheden, b.v. om machines bij te stellen enz.

2 De statistiek maakt slecht gebruik van de informatie die reeds over een te meten grootheid bestaat. Twee voorbeelden:

De leeftijdsopbouw van medewerkers in een organisatie. De leeftijden liggen dan niet tussen $-\infty$ en $+\infty$ maar tussen 18 jaar en 65 jaar. Een anekdote:

In een organisatie was een onderzoek geweest naar o.a. de opbouw van de leeftijden. De statisticus rapporteerde dat de gemiddelde leeftijd 40 jaar was en de spreiding s bedroeg 15 jaar. Voor alle duidelijkheid vermeldde hij er nog bij dat 95% van de waarnemingen nu lagen tussen de $\pm 2s$ grenzen. Rekenen we dit uit dan zien we dat de leeftijden dan liggen tussen de 10 en de 70 jaar. Dus op papier was er sprake van kinderarbeid en ouderenuitbuiting.

U zult opmerken dat dit een uitzondering is, maar daar vergist u zich in. Het is eerder regelmaat let u er maar eens op.

Het tweede voorbeeld heeft te maken met het meten van procenten. Uiteraard is het duidelijk dat de gemeten grootheden dan tussen de 0 en 100% moeten liggen. Maar vaak is het mogelijk om dit veel meer in te perken, b.v. men weet dat het percentage hoger moet zijn dan 95%. En ook nu mogen de 2-s grenzen de 100% niet overschrijden. Van deze kennis maakt de statistiek over het algemeen geen gebruik. En als de 2-s grens nu de 100% overschrijdt dan kan men vaststellen dat die 2-s grens helemaal niets zegt over de uitgebreidheid van de grootheid.

Overigens is het ook nog zo dat men vaak van een populatie het gemiddelde en spreiding opgeeft, maar men verzuimt om erbij te zetten welke verdeling de grootheid heeft. Men blijft er kennelijk van uitgaan dat alle verdelingen normaal zijn.

Tot slot van dit hoofdstuk nog een onverkwikkelijke episode uit februari van het vorige jaar. In de pers wordt melding gemaakt van de medewerker van het RIVM dr. ir. de Kwaadsteniet die zijn schorsing voor rechtbank in Utrecht aanvecht. In de pers zag ik hoe de Kwaadsteniet uitlegde dat men bij metingen vaak 'vergat' om de betrouwbaarheid op te geven, en tevens begreep ik dat een hoop gegevens niet eens gemeten werden, maar het resultaten waren van simulatieprogramma's. Nu is dat grosso modo ook mijn ervaring met statistisch onderzoek, dus wachtte ik met meer dan gewone belangstelling de reactie af van de leiding van het RIVM. Nou, die was om van te huilen. In een onfrisse scheldkanonnade, zonder een inhoudelijk argument, werd de arme medewerker de grond in geboord. Wat was het toch eenvoudig geweest om aan de hand van controleerbare gegevens te laten zien dat de medewerker fout was geweest. Dat deed men echter niet (waarom niet?) zodat er nu maar

een conclusie mogelijk is. Het is niet duidelijk of het RIVM betrouwbare gegevens produceert, maar wel is duidelijk dat het RIVM oncontroleerbaar is. En dat jammer voor al die goedwillende medewerkers van het instituut. En we zien dat je gedonder krijgt als je wel de betrouwbaarheid vermeldt, maar het geeft ook gedonder als je het niet doet.

Een nuttige transformatie

Waarschijnlijk is het duidelijk geworden dat er in de praktijk van een stochastische grootheid de statistische verdeling zelden bekend is. Dit is zeker zo als men metingen doet in de onderzoekssfeer, maar meestal is dat ook zo bij de mas-safabricage. We weten dan helemaal niets van de statistische grootheid en de gemeten getalletjes kunnen qua grootte overal liggen. We laten nu een transformatie uit de lucht vallen die vaak nut oplevert.

Stel x is een stochastische variabele met kansdichtheid $f(x)$, dan is de bedoelde transformatie:

$$y = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

We zien dat als $x_i = x_{\min}$ dan wordt $y = 0$ en als $x_i = x_{\max}$ dan wordt $y = 1$, dus ligt y tussen 0 en 1.

Wil men hiermee statistiek bedrijven dan moeten we in de gaten houden dat y geen kansverdeling is, dat is wel $2 \times y$. Bij integratie tussen 0 en 1 levert $2y$ het getal 1 op zoals het hoort. We zullen er niet verder op ingaan.

Passen we deze transformatie toe op een uniforme (recht-hoekige, homogene) verdeling dan wordt deze getransfor-meerd in de standaard rechthoekige verdeling waarbij y tus-sen 0 en 1 ligt en de kansdichtheid $f(y) = 1$ is.

Nu kan men in principe elke willekeurige verdeling trans-formeren in de standaard rechthoekige verdeling met de transformatie:

$$y = F(x), \text{ waarbij } F(x) \text{ de cumulatieve verdeling is van } f(x)$$

Aan deze wijsheid heb je natuurlijk geen pest als je de ver-delung niet kent. Ook in het algemene geval van een trans-formatie kan men uitspraken doen over de verdeling van $f(y)$ als men de verdeling van $f(x)$ kent, maar helaas zoals gezegd, kennen we die niet. We zullen dus een list moeten verzinnen, we komen er nog op terug.

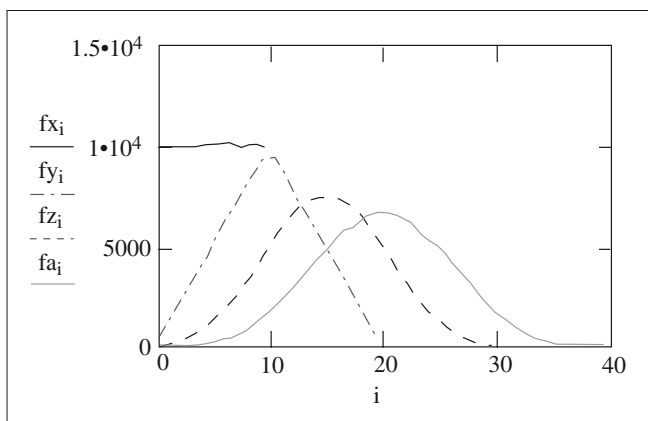
Kijken we nog eens goed naar de voorgestelde transforma-tie, en slaan we er een statistiekboekje op na, dan zien we dat dit precies de cumulatieve verdeling is van de rechthoe-kige verdeling.

Optellen van statistische grootheden

Een behoorlijk deel van de statistiek gaat over het optellen van statistische grootheden. Het kost echter heel wat moei-te om uit te vinden wat men daar dan wel onder verstaat. Het blijkt dat men het volgende bedoelt.

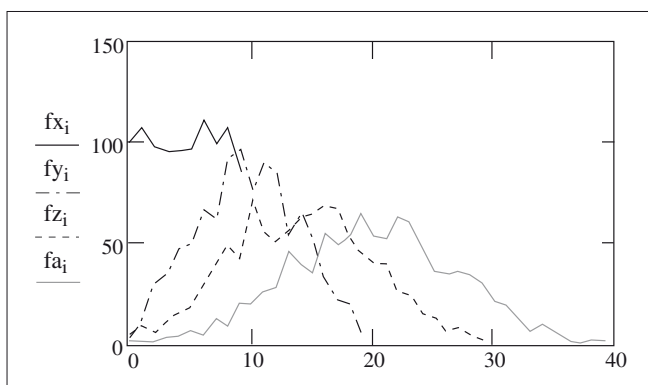
Stel we hebben een stochastiek $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ en een twee-de stochastiek $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ dan bedoelt men met het optellen dat men kijkt naar: $x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3 \dots$ enz. Mijns inziens zou het woord samenvoegen beter op zijn plaats zijn geweest, maar we zullen niet zeuren.

Stel nu verder dat we een aantal stochastieken hebben die komen uit een uniforme verdeling waarbij de getallen liggen tussen 0 en 10. In onderstaande figuur kunt u zien wat optel-len dan oplevert.



Grafiek 4

In grafiek 4 zien we links de uitgangsverdeling, dus de rechthoekige verdeling, dan de eerste rechts ervan, is een driehoekige verdeling en dat is de som van twee rechthoe-kige. Daar weer rechts van zien we twee mooie klokvormen en dat zijn respectievelijk de som van drie en de som van vier rechthoekige verdelingen. Om deze mooie vormen te krijgen heb ik 100.000 trekkingen moeten doen (uiteraard met de computer). Nemen we er honderd of duizend van



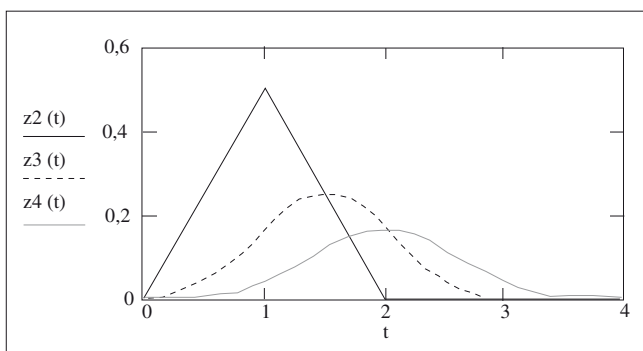
Grafiek 5

dan zijn de vormen nauwelijks te onderkennen en hier zien we weer hoe traag de statistiek eigenlijk reageert, zie grafiek 5 (1000 trekkingen).

Wat we nu met een simulatie hebben gedaan kunnen we ook theoretisch natrekken. We kunnen in de statistiekboekjes vinden dat voor de som van twee stochastieken (f en g) geldt dat de verdeling de bekende convolutie $f * g$ is. Ook kan worden bewezen dat voor Laplace-getransformeerden geldt:

$$L(f * g) = L(f) \cdot L(g).$$

Meestal laat men het bij het vermelden van deze heugelijke feiten en als je probeert om dat na te rekenen snap je ook waarom. Je rekent je namelijk te blubber. Echter onze slaaf de computer kan ons nu weer van nut zijn. De berekeningen zijn uitgevoerd met Mathcad, we zullen er niet op ingaan en alleen het resultaat als grafiek 6 weergeven.



Grafiek 6

We zien gelukkig dezelfde figuren terug als bij de simulatie, de rechthoek heb ik maar weggelaten.

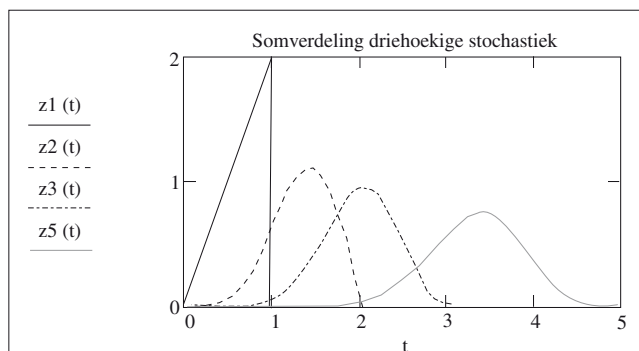
Ter illustratie geven we de kromme voor $z3(t)$ in formulevorm weer. In deze formule is b.v. $\Phi(t-2)$ de Heaviside stapfunctie (voor $t < 2$ is de functie 0 en voor $t \geq 2$ is hij 1 en blijft hij 1)

$$z3(t) := \frac{1}{2} \cdot t^2 - \frac{3}{2} \cdot \Phi(t-1) \cdot (t-1)^2 + \frac{3}{2} \cdot \Phi(t-2) \cdot (t-2)^2 - \frac{1}{2} \cdot \Phi(t-3) \cdot (t-3)^2$$

Zonder commentaar laten we nog zien hoe de som van stochastieken eruitziet als ze afkomstig zijn van een driehoekige asymmetrische verdeling (grafiek 7).

Wat hebben we nu eigenlijk uit dit hoofdstuk geleerd? Ja, eigenlijk niet zo heel veel. Het is echter zo dat de meeste technici wiskundige formules best leuk vinden, maar nog leuker vinden ze het als ze in grafiekvorm kunnen zien hoe het werkt en dat was de achtergrond van dit hoofdstuk.

Technici willen nu eenmaal overal het vingertje achter krijgen. Je kan denken met het hoofd maar het gaat ook heel goed met de handen en technici denken met beide, vandaar.



Grafiek 7

Over het gedrag van het cumulatieve gemiddelde

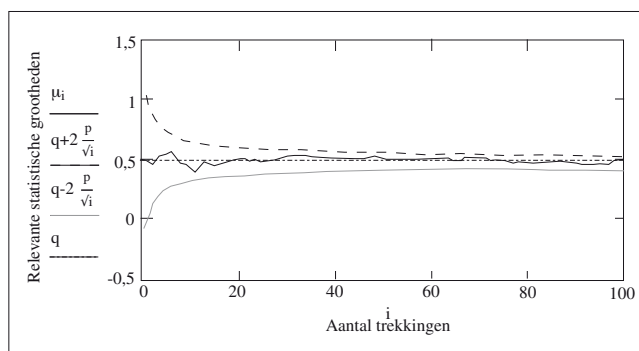
In het eerste hoofdstuk hebben we aan de hand van een klein voorbeeld laten zien wat een cumulatief gemiddelde is en hoe het zich gedraagt. Met de hiervoor ontwikkelde inzichten zouden we nu theoretisch kunnen nagaan hoe het een en ander werkt. Dit leidt echter tot niets. Al spoedig worden de formules onoverzichtelijk groot en ook de computer houdt ermee op.

Bovendien valt niet te verwachten dat we iets anders zullen vinden dan datgene wat de klassieke statistiek ons biedt. Statistiek is een goed gefundeerde wetenschap, laat daar geen misverstand over ontstaan.

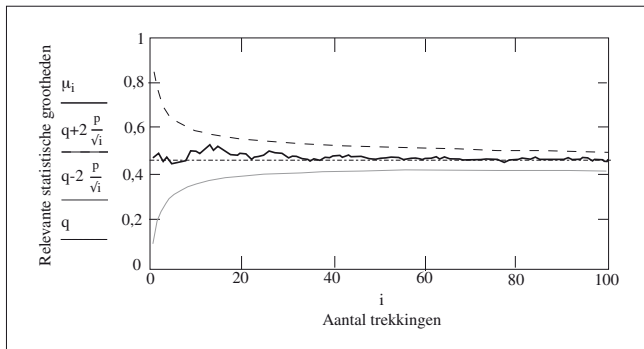
Wat we echter wel kunnen doen is het gedrag praktisch simuleren. In dat geval doen we een groot aantal aselechte trekkingen uit een gekozen statistische verdeling en laten de computer de relevante grootheden uitrekenen en in een grafiek zetten. Dat is wel een rotklus, maar het leert ons erg veel. Het blijkt dat het gedrag van de output erg wordt beïnvloed door de eerste trekking die wordt gedaan. Als die binnen de trekking groot of klein is duurt het wat lang om naar het gemiddelde te kruipen. Hier kunnen we iets aan doen door als eerste waarde altijd het steekproefgemiddelde te nemen.

Hierdoor wordt het gemiddelde niet beïnvloed, en naar de spreiding kijken we even niet.

Alle bekende verdelingen zijn op een dergelijke manier bewerkt en beoordeeld. Voor de goede orde laat ik een tweetal grafieken zien.

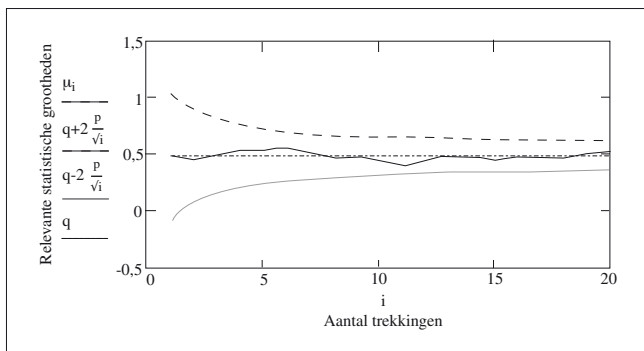


Trekkingen uit een uniforme verdeling

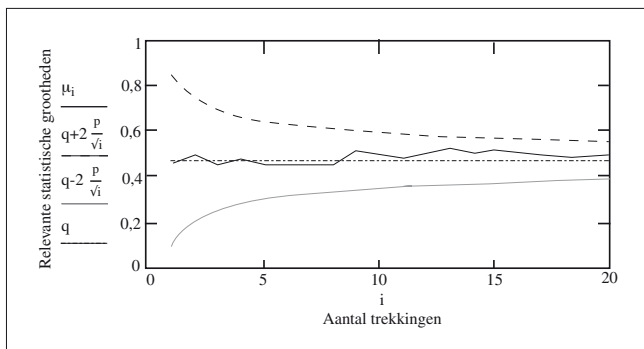


Trekkingen uit een normale verdeling

We zien de μ steeds op het gemiddelde q starten (hebben we zelf zo ingesteld) en zich mooi binnen de $2s$ grenzen bewegen. Heel soms loopt het gemiddelde wel eens tegen de $2s$ grenzen aan, maar echt overschrijden doet hij niet. Nu laten we hier het aantal trekkingen doorlopen tot 100, maar eigenlijk zijn we geïnteresseerd in het gedrag voor een klein aantal trekkingen. Daarom nogmaals twee grafieken maar nu voor maximaal 20 trekkingen.



Trekkingen uit een uniforme verdeling



Trekkingen uit een normale verdeling

We hebben in de grafieken een paar fraaie uitkomsten laten zien. Gaat men langer met de getallen experimenteren dan ziet men de gemiddeldelij (μ) wel naar de $2s$ grenzen lopen, maar zoals reeds voren aangegeven, het herstelt zich

steeds weer. Wat we ons goed moeten realiseren is dat we in werkelijkheid het gemiddelde q en de spreiding p niet kennen. We hebben dan alleen de μ -lijn, en wat we beoordelen is het gedrag van deze lijn als functie van het aantal trekkingen i dat we gedaan hebben. Als dat tendeert naar stabiliseren, dan gaan we met het steekproefgemiddelde verder als goede schatting.

Bij het experimenteren met de verschillende verdelingen komt een ding prominent naar voren. Als we kijken naar de histogrammen van een klein aantal trekkingen (<40) dan valt op dat die in de verste verte niet lijken op de verdeling waar ze uit zijn ontstaan. Door ze te vergelijken met random getallen tussen 0 en 1 (natuurlijk eerst op dezelfde schaal gebracht) dan blijkt dat er geen principieel onderscheid zichtbaar is. Echter random getallen tussen 0 en 1 genereren is precies hetzelfde als aselect trekkingen doen uit een uniforme verdeling tussen 0 en 1.

Met de voorgestelde transformatie kunnen we nu alle verdelingen tussen 0 en 1 leggen, en als de aantallen klein zijn kunnen we net doen alsof deze getallen afkomstig zijn uit een uniforme verdeling. Waarom dat zo is zal wel samenhangen met de opmerking gemaakt in hoofdstuk 2. Ontdekken we de verdeling (die dus eigenlijk al lang bestaat), of hebben we hem uitgevonden. Aangezien we in de techniek niet geloven in bovennatuurlijke verschijnselen gaan we van het laatste uit. En in dat geval kunnen de eerste getallen die gegenereerd worden niet 'weten' waar ze vandaan komen, er is nog geen verdeling. Als er meer metingen komen dan kan zich een verdeling gaan ontwikkelen die we, via het maken van histogrammen, kunnen opsporen.

Tot slot nog het volgende: Men gaat er in de statistiek heel vaak van uit dat men te maken heeft met normale verdelingen. Door het bovenstaande consequent toe te passen blijkt dat dat niet zó vaak het geval is. Uniforme verdelingen, weibull-verdelingen en beta-verdelingen komen heel vaak voor. Door dit te negeren worden er, b.v. bij steekproefkeuringen, economische verliezen geleden en dat is jammer.

Het sorteren van getallen

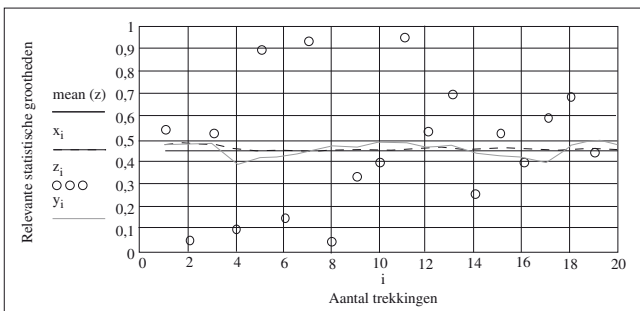
In hoofdstuk 1 hebben we kennisgemaakt met het sorteren van de meetgegevens. Nu was het in de oudheid al bekend dat met het sorteren van getallen soms tot mooie resultaten te komen is. Zo wist b.v. Archimedes via deze methode sommen van reeksen te berekenen. Helaas past men het in de praktijk niet vaak toe.

Aangezien we in het voorgaande gezien hebben dat de uniforme verdeling best bruikbaar is zullen we eerst met een

simulatie nagaan wat het sorteren (oplopend en aflopend) te bieden heeft.

In de volgende grafiek zijn 20 aselechte trekkingen uit een standaard uniforme verdeling (0,1) uitgezet. Dit zijn de o's. De lijn z_i geeft het gemiddelde van de twee gesorteerde reeksen, en om het feest compleet te maken hebben we van z_i nog het cumulatieve gemiddelde x_i berekend.

Mean(z) is het gemiddelde van de oorspronkelijke trekkingen en we zien dat dit steekproefgemiddelde niet samenvalt met het populatiegemiddelde (0.5).



Gedrag van gesorteerde reeksen

We zien dat zowel de lijn x als z heel dicht om het gemiddelde 'mean(z)' kronkelen zoals ook te verwachten was.

In de mathematische statistiek komen we hoofdstukken tegen die zich bezighouden met de statistiek van gesorteerde getallen. Men noemt dat de statistiek van de geordende waarnemingen (order statistics). Dat is prachtig materiaal, maar het is niet zo eenvoudig toegankelijk en dat zal dan ook wel de reden zijn dat we het niet in de toegepaste statistiek, laat staan, in de techniek tegenkomen. Persoonlijk heb ik het nooit zien toepassen en dat zal ook niet lukken als de resultaten niet verder uitgewerkt worden. We zullen in het volgende alleen kijken naar de geordende statistiek van de standaard uniforme verdeling.

Stel x_1, \dots, x_n zijn de aselechte getallen getrokken uit een continue verdeling $f(x)$ en $f(x)$ is de standaard uniforme verdeling (0,1). Stel verder dat y_1, \dots, y_n dezelfde getalletjes zijn maar nu oplopend geordend.

Voor de kansdichtheid vinden we dan:

$$f(y_i) = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} \cdot y_i^{i-1} \cdot (1-y_i)^{n-i} \quad (1)$$

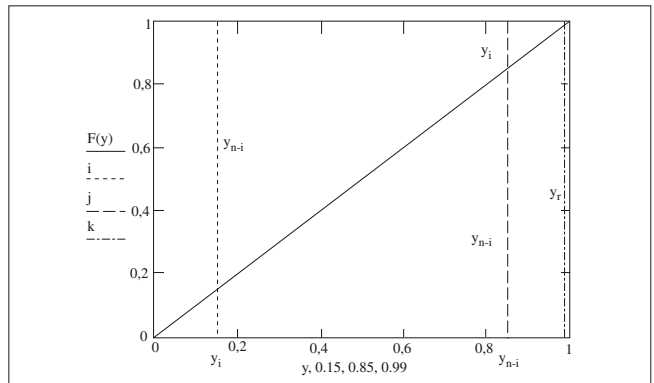
Nu zeg je tegen dit soort verdelingen alleen maar ó, nooit ha, wat moet je ermee. Voor de liefhebbers deel ik zonder uitleg mee dat dit een beta-verdeling is met de parameters $(n-i)$ en $(i-1)$.

Door naar de simultane verdeling te kijken van y_1 en y_n en wat mathematisch gegoochel kunnen we de verdeling voor de range r vinden $r=y_n-y_1$.

Voor de standaard uniforme verdeling (0,1) vinden we dan:

$$f(r) = n \cdot (n-1) \cdot r^{n-2} \cdot (1-r) \quad (2)$$

We komen hier zo op terug, we gaan eerst nog eens wat nader kijken naar formule (1). Het optellen van de twee gesorteerde verdelingen kunnen we vervangen door het optellen van (y_1+y_{n-i+1}) . Voor $i=1$ staat er y_1+y_n , voor $i=2$ y_2+y_{n-1} enz. En zoals we al in het numerieke voorbeeld zagen zijn dit schattingen voor '2 maal het gemiddelde' dus de range. We kijken nog eens wat beter naar het optellen van de grootheden via de cumulatieve verdeling $F(y_i)$. Voor een uniforme standaardverdeling is dat gewoon een rechte lijn onder 45°.



We zien inderdaad dat $y_1+y_{n-i} \sim y_i$, dat geldt overigens ook voor $F(y)$ omdat de lijn onder 45° loopt.

Substitueren we dat in formule 1 met $i=n$, dan vinden we:

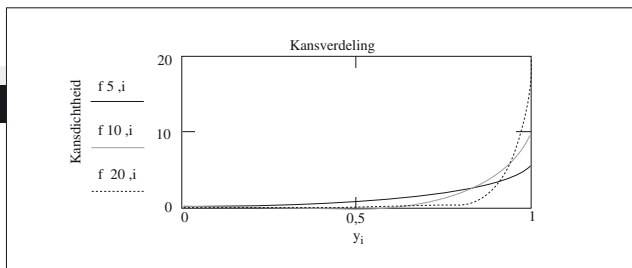
$$f(y_n) = \frac{n!}{(n-1)!(n-n)!} \cdot y_n^{n-1} \cdot (1-y_n)^{n-n}$$

en dit vereenvoudigt tot:

$$f(y_n) = n \cdot y_n^{n-1}$$

Dit is voor elke n een kansverdeling omdat integreren tussen 0 en 1 voor y de waarde 1 oplevert zoals dat hoort. We zullen voor een aantal waarden van n de kansdichtheid in grafiek 8 laten zien.

We zien hier het typische gedrag van een beta-functie. Indien we de kansdichtheid van een stochastiek te pakken hebben kunnen we via het eerste en tweede moment het gemiddelde en de spreiding bepalen.

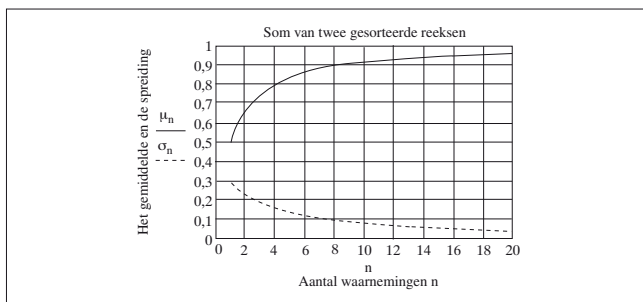


Grafiek 8

Hieronder ziet u de gevonden formules:

$$\mu_n := \frac{n}{(1+n)} \quad \sigma_n := \sqrt{\frac{n}{[(2+n) \cdot (1+n)^2]}}$$

We laten deze grootheden ook nog even in een grafiek zien:



Uit de grafiek lezen we af dat we al na 8 trekkingen op 90 % van het verwachte maximum van 1 zitten.

Maar meer opmerkelijk is het dat in het gemiddelde en de spreiding de waarden van de individuele metingen niet meer voorkomen. Kennelijk bepaalt n het hele gedrag.

Als we met de transformatie gewerkt hebben moeten we de hier gevonden waarden natuurlijk terugtransformeren met $x_i = y(x_{\max} - x_{\min}) + x_{\min}$ naar de oorspronkelijke waarden.

Dus bij de metingen hoeven we alleen nog maar te kijken naar het aantal metingen n en de grootste gemeten waarde. Het gemiddelde is dan gewoon deze 'grootste gemeten waarde gedeeld door 2'. Zonder verder commentaar geef ik nog een handige formule.

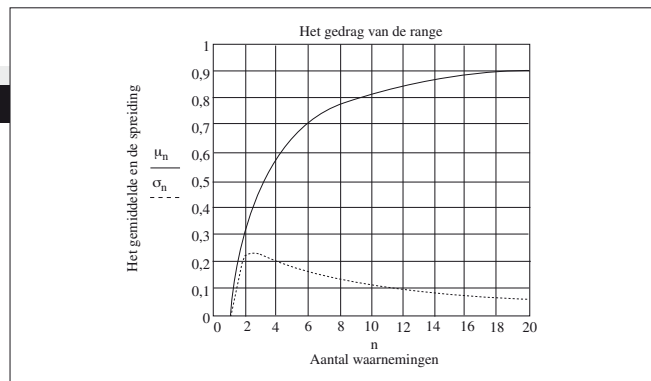
Als men n metingen heeft gedaan is de kans dat men een waarde vindt die groter is dan de reeds gevonden grootste waarde:

$$\frac{1}{n+1}$$

We kunnen dezelfde exercitie natuurlijk ook uithalen met formule 2 van pagina 12 waarin de kansdichtheid staat van de range. We vinden dan:

$$\mu_n := \frac{(n-1)}{(n+1)} \quad \sigma_n := \sqrt{\frac{(2 \cdot n - 2)}{[(2+n) \cdot (n+1)^2]}}$$

We zien weer hetzelfde, namelijk het gemiddelde en de spreiding worden alleen beheerst door het aantal metingen n dat is uitgevoerd (zie voren). We laten ook dit in grafiekvorm zien:



Het gedrag van de range

Vergelijken we dit met de vorige grafiek dan zien we dat het werken met de range minder efficiënt is, bij 8 waarnemingen zitten we op 80 %, maar dit is nog altijd heel mooi.

Als er nu meer metingen beschikbaar komen is het mogelijk om, via histogrammen, na te gaan of er zich een statistische verdeling ontwikkelt die niet uniform is. Als deze verdeling symmetrisch is heeft dat geen consequenties voor het gemiddelde. Is de verdeling niet symmetrisch dan zien we dat en moet er natuurlijk worden bijgestuurd.

Ir. F. Doorschot, Eindhoven

Conclusies

- 1 Het cumulatief gemiddelde levert zeer snel (binnen 5 à 6 metingen) een bruikbaar gemiddelde.
- 2 Het toepassen van gesorteerde reeksen heeft hetzelfde effect.
- 3 Het combineren van deze twee methoden is eenvoudig en levert een optimaal resultaat.
- 4 Met de gegevens uit de statistiek zijn deze conclusies zeer goed te onderbouwen.
- 5 In de statistiek van de geordende waarnemingen zitten zeer veel mogelijkheden die helaas niet goed gebruikt worden.
- 6 Het populatie-concept is vaak niet houdbaar.
- 7 De statistiek maakt nauwelijks gebruik van informatie die al bekend is via andere wegen.
- 8 De normale verdeling komt minder vaak voor dan vaak wordt verondersteld.
- 9 De voorgestelde transformatie is bruikbaar.
- 10 De eerste metingen bij onderzoek gedragen zich als aselechte getallen.
- 11 Deze studie is overal toe te passen, maar vooral bruikbaar bij research/onderzoek, marketing en bij onderzoeken die erg duur zijn.

De Modacq DC universele motion controller

Modacq Industrial uit Hengelo introduceerde de Modacq DC. Deze universele motion controller is compact gebouwd en bevat de laatste software, waarmee eenvoudig is af te stemmen op iedere denkbare toepassing van motorsturingen tot 30 volt. Alle functies zoals snelheid- en positieregeling, encoder interface, IxR-regeling, en extra I/O-functies zijn reeds in de software voorgeprogrammeerd. Vervolgens kan de gebruiker deze instelwaarden door middel van een PC of instelterminal naar eigen wens configureren.



De zwarte doos die de motion controller bevat en een willekeurige DC-motor.

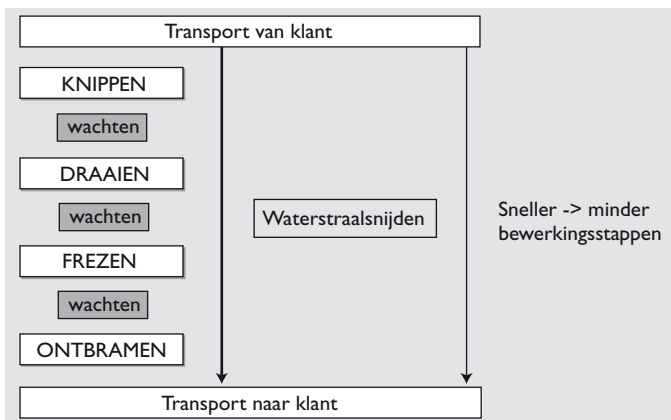
Een van de meest aansprekende toepassingen van deze controller is de Click 'n Go, waardoor het koppelingspedaal in personenauto's gemakkelijk te bedienen is met een knop op de versnellingspook. In dit systeem regelt de controller het bewegen van het koppelingspedaal, afhankelijk van parameters zoals het toerental van de auto, het remsignaal en de pookknop. Uiteraard is in het systeem een variabele aangebracht waarmee voor de optrekcyclus een andere 'curve' gemaakt kan worden dan bij het doorschakelen van de derde naar de vierde versnelling.



De koppelingsautomaat in beeld gebracht.

Waterstraalsnijden bespaart kosten

Het bedrijf Kinkelder Lasertechniek heeft een kostenreductie van 40% gerealiseerd door gebruik te maken van waterstraalsnijden. Deze besparing is verkregen door conventionele technieken zoals knippen, draaien, frezen en ontbramen van de aluminium frameplaten te vervangen door het eerder genoemde waterstraalsnijden. Volgens Roland van den Broeck, verkoopleider, is een besparing die oploopt tot 50% van de traditionele kosten mogelijk. De totale besparing is daarbij afhankelijk van de geometrie van het product, de materiaalsoort en de plaatdikte.



De traditionele bewerkingen versus het waterstraalsnijden.

Het eindproduct heeft dezelfde kwaliteit als met de oorspronkelijke bewerkingen en bij serieproductie is de kwaliteit zelfs constanter dan bij de traditionele werkwijze. De haalbare tolerantie bedraagt 0,1 mm per plaatdikte van 10 mm.

Ook in de logistiek kent het waterstraalsnijden voordelen. De reductie in het aantal bewerkingstappen, waarbij de wachttijden tussen deze stappen een substantieel deel uitmaken van de doorlooptijd, zorgt voor zeer korte levertijden.

Veilige werkplaatsstoelen

Weld-Equip (Helmond) heeft een serie ESD-veilige werkplaatsstoelen uitgebracht. Deze serie voldoet aan de Europese ESD-normen EN 100 015-1 en alle door de ARBO gestelde eisen. De lijn is ontwikkeld in samenwerking met AMG (ARBO Management Groep), waarbij rekening is gehouden met de wensen van de eindgebruiker op het gebied van ergonomie en veiligheid. De BIMOS-lijn wordt in verschillende designs geleverd, waarbij de delen eenvoudig

uitwisselbaar zijn. Een voorbeeld van een verbetering in overleg is de versmalde rugleuning die meer bewegingsvrijheid van schouderblad en arm van de gebruiker waarborgt. De onderzijde van de rugleuning is bovendien enigszins uitgezet, hetgeen extra steun geeft aan de lende en daarmee voorkomt dat er lichamelijke klachten bij langdurig zitten ontstaan.



Voorbeeld van een ESD-veilige werkplaatsstoel.

Eenvijfde nanometer per kilo

In deze variant wordt de kracht gemeten met een condensator. De meest eenvoudige uitvoering bestaat uit twee platen waarvan er één kan bewegen. Komt de ene plaat dicht bij de andere, doordat er een gewicht op rust, dan verandert de capaciteit. Meting van deze verandering geeft meteen een maat voor het gewicht. Om het gewicht te verdelen en tegelijk een verend element aan te brengen, hebben Robert Zwijze en Remco Wiegierink een constructie bedacht waarin de condensator wordt verdeeld in 1600 kleine condensatoren op één vierkante centimeter. Veertig bij veertig minuscule pilaren, geëtsd in silicium, torsen het gewicht. De condensatorplaten hebben een onderlinge afstand van één micrometer. Vervolgens komen de platen bij belasting 0.2 nanometer per aangebrachte kilogram naar elkaar toe.

Hydraulisch

Zwijze heeft ook een variant bedacht waarin het gewicht niet direct op de chip rust, maar op een vloeistoffilm. Dit is een extra beveiliging, om te voorkomen dat de chip breekt. Het blijkt dat deze 'indirecte' meting van de kracht geen noemenswaardig verlies van nauwkeurigheid oplevert. De nauwkeurigheid van deze load cell is binnen 0.03 procent van de 'volle uitslag'. Dat is drie ons op een ton, en dat is zeker concurrerend met conventionele loadcellen.

Rekstroken

Een goedkoper alternatief is meten via rekstroken van polysilicium of mono-kristallijn silicium. De weerstand van deze stroken verandert als ze worden samengedrukt door een kracht. Een tweede rekstrook compenseert invloeden van bijvoorbeeld de temperatuur. Een load cell die werkt met deze rekstroken is goedkoper, maar ook minder nauwkeurig. Voor minder veeleisende toepassingen kan het echter een alternatief zijn. Zwijze heeft zijn onderzoek gedaan binnen het onderzoeksinstituut MESA+ van de Universiteit Twente.

Handspuitpistool

Technospray (Moerdijk) levert nu ook de Airmix MX LT. Hierbij staat LT voor Light Trigger, waarbij de trekker van het spuitpistool bijzonder licht is te bedienen. Deze lichte bediening levert vooral bij langer spuiten meer comfort en voorkomt daarbij een te zware belasting van de armspieren bij spuiters. Het pistool maakt gebruik van een lagere druk dan bij normaal verfspuitwerk. De werkdruk ligt tussen de 20 en 80 bar. De snelheid waarmee de verf wordt gespoten ligt op circa 0,7 m/s. Het resultaat hiervan is dat er minder overspray aanwezig is en er minder zogenoemde bounce-back effecten optreden. Dit is een effect waarbij de deeltjes in de nevel door de hoge snelheid van het te spuiten object weer terugstuiteren en daarmee verloren gaan. Het uiteindelijk resultaat is dat er een rendement wordt gehaald van circa 78 %.



De LT, een verfspuitpistool met een zeer lichte bediening.

Regenwater veilig benutten

Eind 2000 zijn de SPARC regenwatersystemen uitgebracht. PipeLife is daarmee de eerste leverancier van regenwatersystemen met een tweede generatie suppletiesysteem. Het betreft hier de zogenoemde AXON. Het gaat hierbij om een volledig automatische regenwatercentrale voor comfortabele en bedrijfszekere werking. In combinatie met betonnen en/of kunststof tanks bouwt men een regenwaterinstallatie voor gebruikersdoeleinden zoals toilet, wasmachine en tuinbesproeiing. Een van de belangrijkste punten in het suppletiesysteem is de veiligheidsvoorziening in de drinkwatertoevoer naar de suppletiebreektank. Bij langdurig gebruik van regenwater zal een permanente controller zorg dragen dat minimaal één keer per 24 uur de drinkwatertoevoer drie seconde wordt geopend om stilstand in de drinkwaterleiding te voorkomen. Hiermee wordt verhinderd dat bij langdurige stilstand van het drinkwater een bacteriologische vervuiling in het drinkwater net plaatsvindt.



Het veilig benutten van regenwater via het regenwatersysteem.

Interpolatie-eenheid

Anorad Europe (De Dintel) heeft elektronica ontwikkeld voor het interpoleren van het signaal van analoge encoders. De eenheid die geschikt is voor 1024x is beschikbaar voor verschillende systemen, waaronder de CC-2000 en de eigen besturingen. Een mogelijkheid voor het aansluiten op besturingen van derden behoort tot de mogelijkheden. De elektronica biedt resoluties van 4 nm in combinatie met snelheden tot 4,5 m/s. Het systeem is daarmee ook geschikt voor halfgeleidertoeepassingen. Het vormt bovendien een alternatief voor bijvoorbeeld laserinterferometer-systemen.



De 1024x-elektronica is een eenheid om het signaal van analoge encoders te verwerken.

Chip voor het zware werk Een ton op een postzegel

Geschikt voor het zware werk en toch maar een vierkante centimeter groot: de nieuwe 'load cell', een krachtsensor die aan de Universiteit Twente is ontwikkeld, is een silicium chip die gewichten tot 1000 kilo kan wegen, met een weegnauwkeurigheid van een paar ons. De silicium load cell bestaat uit een ingenieuze constructie met 1600 miniatuur pilaren die het gewicht torsen. Vergeleken met staal, het conventionele materiaal voor load cells, heeft silicium onder meer het voordeel dat het niet buigt. Ir. Robert Zwijze promoveerde op 27 oktober 2000 op het onderzoek naar deze krachtchip, aan de faculteit Elektrotechniek van de UT.

Met het materiaal silicium zijn de prestaties van krachtsensoren aanzienlijk te verbeteren, aldus Zwijze. Niet alleen is het mogelijk om met dit materiaal een kleine en lichte sensor te maken, ook zijn de eigenschappen van silicium beter dan die van staal, tot nu toe het materiaal dat voor load cellen wordt gebruikt. In tegenstelling tot staal komt silicium na belasting exact weer in de oorspron-

T-sensor met integrale koppeling.



R-sensor met integrale koppeling.



kelijke uitgangspositie terug.

Een 'load cell' is bedoeld voor grote gewichten, bijvoorbeeld in weegbruggen. Om een silicium chip daaraan te kunnen blootstellen zijn wel speciale voorzorgen nodig. Een verend element is noodzakelijk, anders kan de chip breken. Zwijze heeft voor een silicium load cell verschillende varianten onderzocht: een piezoresistieve, een capacitieve en een hydraulische load cell. De hydraulische load cell is het nauwkeurigst, maar ook kostbaar. In de afweging tussen kosten en nauwkeurigheid komt de capacitieve load cell als beste uit de bus.

PrecisionPrint met Modacq AC

Modacq Motion Control en TSI Netherlands uit Hengelo hebben Modacq AC-motorsturing met succes toegepast in het gezamenlijk ontwikkelde PrecisionPrint-systeem voor rotatie-filmdruk machines. Met het systeem wordt elk druksjabloon aangedreven door een eigen AC-motor. Door deze individuele, elektronisch gesynchroniseerde aandrijving wordt een zeer hoge gelijkloop-nauwkeurigheid verkregen en worden de insteltijden van de drukmachine verkort. Met deze methode kan elke bestaande rotatiedruk machine weer geheel aan de stand der techniek worden aangepast zonder dat hiervoor grote investeringen noodzakelijk zijn. De ombouw kan tijdens een uitgebreide revisie worden uitgevoerd. De techniek kan tot 24 druksjablonen synchroon laten lopen in een snelheidsbereik van 4 tot 80 meter per minuut. Binnen het gehele snelheidsbereik is de maximale onderlinge positiefout in het drukbeeld minder dan 0,15 mm. De volgsnelheid van de druksjablonen ten opzichte van het te bedrukken substraat kan met een stapgrootte van 0,05 pro mille geva-

rieerd worden, zodat een optimaal drukresultaat bereikt wordt. Een CANbus-systeem zorgt voor de onderlinge communicatie tussen de verschillende Slavemodules en de zogenaamde Mastermodule. Belangrijk winstpunt is ook dat eenmaal ingestelde waarden in een computer worden opgeslagen, zodat de drukmachine in geval van herhalingsopdrachten automatisch weer in de juiste stand kan worden teruggezet.



Het PrecisionPrint-systeem

Model voor het ontwerp van zuinigere roterende ovens

In de industrie gebruikt men rotatie-ovens voor het uitvoeren van reacties of voor het verhitten en mengen van grote hoeveelheden materialen. Voor de productie van cement bijvoorbeeld wordt in zo'n oven kalk bij circa 1000 graden Celsius verhit, waarna de gebrande kalkdeeltjes met onder andere zand en alumina worden gemengd. Een roterende oven bestaat uit een lange buis van soms wel 150 meter lang, die licht hellend staat opgesteld. De buis draait langzaam rond zijn lengteaas, zodat de vaste deeltjes in beweging blijven. Door de roterende beweging van de oven beweegt het vaste materiaal langzaam door de pijp en komt het in contact met de (vaak hete) gasen, die veelal van onder naar boven door de buis stromen. Uiteindelijk valt het vaste materiaal aan de onderzijde uit de oven waarna het wordt gekoeld en afgevoerd.

Door het enorme oppervlak van roterende ovens treden er doorgaans grote warmteverliezen op. Het is dus zaak de ovens zo compact mogelijk te ontwerpen. Wat voor het ontwerpen van een energiezuinige oven tot nog toe ontbrak, is een goede theoretische onderbouwing van de processen die in een roterende oven optreden. Het gaat daarbij vooral om stof- en warmtetransport. Door karakterisering van deze mechanismen kan worden bepaald hoe snel de vaste stof wordt opgewarmd en omgezet. Heydenrych richtte zijn onderzoek op het transport van gas naar de vaste stof binnen in de oven. Op basis van reactorkundige principes maakte hij een goed werkend model, waarmee relatief gemakkelijk roterende ovens te ontwerpen zijn. Zijn werk is de basis voor verder toekomstig onderzoek naar met name warmtetransport in dergelijke ovens.

(promotie ir. M.D. Heydenrych, faculteit Chemische Technologie: 'Modelling of rotary kilns')

Digitale technologie toegepast in de nieuwste transmitter van micro motion

Wereldwijd wordt de digitale technologie steeds meer toegepast in de industriële procescommunicatie. Micro Motion's **MVD**-technologie, toegepast in de nieuwste transmitters, biedt nu ook de voordelen van digitale signaalverwerking. De toegepaste **MVD**-technologie maakt de transmitter flexibel, krachtig en zij biedt een oplossing voor massameting die haar weergave niet kent. De technologie vertaalt de onbewerkte meetwaarden van de Coriolis sensor rechtstreeks in digitale informatie, een eventuele analoge omzetting wordt hierdoor vermeden. Deze methodiek resulteert in een stabiel signaal met aanzienlijk minder ruis, terwijl ook de responsetijd sterk is verbeterd. De toepassing van multivariabele digitale technologie stelt de transmitter nog beter in staat aan de eisen van haar klanten te voldoen. De transmitter is voorzien van een breed scala aan diagnose-informatie die de gebruiker in staat stelt zijn procesvoering te optimaliseren en procesonderbrekingen te



De separate transmitter.

minimaliseren. De productlijn, die is voorzien van de eerder genoemde technologie, maakt gebruik van transmittermodules waarbij gebruikers de keuze hebben uit een basisuitvoering voor het meten van één variabele, of een uitgebreidere versie waarbij vier variabelen tegelijk kunnen worden gemeten. Een andere noviteit is de compacte digitale signaalprocessor die rechtstreeks op de Micro Motion-sensor gemonteerd wordt, een "intelligente sensor". De door de gebruiker gekozen transmittermodule kan integraal op de sensor worden gemonteerd. Ook is het mogelijk de transmittermodule via een kabel op afstand van de sensor te monteren.

Hiervoor gebruikt men een standaard vieraderige kabel; dit in tegenstelling tot de speciale negenaderige kabel die voorheen moest worden gebruikt. Door gebruik te

maken van deze standaardkabel bespaart men aan installatiekosten.

De serie 1000- en 2000-modulen biedt de gebruiker:

- een compacte behuizing, plaatsbaar in praktisch iedere ruimte;
- voor het op afstand monteren van de transmitter, een gemakkelijke en kostenbesparende montage door het gebruik van een standaard 4-aderige kabel;
- een groot scala aan diagnosemogelijkheden;
- een standaard display, geschikt voor Zone I toepassing, voor weergave van meetwaarden, diagnose-informatie en tellerstanden. Tevens heeft men via de uitlezing de beschikking over opstartfuncties, signaalsimulatie en toegangsbeveiliging;
- eenvoudig in werking te stellen, geen speciale programmering vereist;
- transmitter en display zijn beide in stappen van 90° draaibaar.

De serie 1000 transmittermodule is uitermate geschikt voor toepassingen waarbij slechts één variabele moet worden gemeten. De variabele is beschikbaar via de mA- en frequentie-uitgang. De variabele is bovendien beschikbaar via een digitale communicatie-uitgang waarbij het Hart of Modbus communicatieprotocol wordt ondersteund. De gebruikers van de serie 1000 transmitter kunnen per meting één variabele kiezen. Veelal zijn dit applicaties waarin voorheen volumetrische meetmethoden werden toegepast. Voor de gebruikers van de serie 2000 transmitter zijn alle vier de meetvariabelen gelijktijdig toegankelijk. Hiervoor beschikken de transmitters over een mA- en/of frequentie-uitgang en een digitale communicatie-uitgang. De volgende communicatieprotocollen worden ondersteund: FOUNDATION TM fieldbus, Modbus en Profibus PA.



T-sensor met remote mount.

Alternatief voor elektrolyse technisch en economisch haalbaar

In de industrie gebruikt men voor de splitting van watermoleculen en de productie van zuren en logen doorgaans elektrolyse met metalen elektrodes. Friedrich Wilhelm onderzocht een alternatieve methode die gebruikmaakt van elektrodialyse met bipolaire membranen. Net als bij de gangbare elektrolyse wordt het water in een bipolaire membraan gesplitst in hydroxide en waterstofionen als het membraan in een elektrisch veld wordt geplaatst. Maar bij elektrodialyse komt in tegenstelling tot de elektrolyse geen gas vrij. Bovendien is er minder energie nodig en kan het proces onder mildere omstandigheden plaatsvinden.

Om elektrodialyse met bipolaire membranen technisch en economisch haalbaar te maken, is het noodzakelijk ongewenste reacties te onderdrukken. Wilhelm geeft een model om de selectiviteit van bipolaire membranen en de energie-efficiëntie van de processen te verhogen. Hierbij wordt het verband in kaart gebracht tussen de materiaaleigenschappen en membraanstructuren en de massatransportprocessen in de twee lagen van het bipolaire membraan. Wilhelm onderzocht drie aspecten die de karakteristieken van het bipolaire membraan bepalen: de grondstoffen voor het membraan, het ionentransport en de energieconsumptie. De experimenten die hij uitvoerde, worden ondersteund door modellen die op fenomenologische transportbeschrijvingen gebaseerd zijn.

(promotie dipl.ing. Friedrich G. Wilhelm (M.Sc.), faculteit Chemische Technologie: 'Bipolar Membrane Electrodialysis – Membrane Development and Transport Characteristics')

Themadag Statische Elektriciteit

Statische elektriciteit kan bij vrijwel alle industriële processen, waarin vaste stoffen, poeders, vloeistoffen, foliën en kunststoffen worden geproduceerd, ontstaan. Vooral op het moment dat er een vorm van transport aanwezig is, kan statische elektriciteit een bron van hinder en gevaar zijn. Op dat moment worden mensen aan gevaarlijke situaties blootgesteld en moeten processen worden vertraagd of zelfs worden stilgelegd. Als de bron van het probleem bekend is, kan er echter wel wat worden gedaan. Dit in tegenstelling tot het feit dat men vaak zegt dat er niets aan kan worden gedaan. De themadag Statische Elektriciteit op 19 april 2001 te Utrecht is bedoeld om basiskennis van alle facetten van de statische elektriciteit onder de aandacht te brengen. Informatie is beschikbaar bij PAON te Leiden (tel. 071-5214155).

Nominaties Mechatronics Trophy bekend

De federatie van technologiebranches FHI heeft bekendgemaakt welke vier producten zijn genomineerd voor het winnen van de Mechatronics Trophy 2001. Het zijn The Wheel, ontwikkeld door de firma A&J Partners, een nieuw aandrijfsysteem; het TraXis Reader Systeem gerealiseerd door Dutch Vision Systems, een leessysteem voor laboratoriummonsters; Drilling Dotcodes, een door Koese Engineering ontwikkeld mechatronisch boorsysteem voor het aanbrengen van slijtvaste codes; OnStream Drives, een geavanceerd opslagsysteem voor PC-netwerken van de firma OnStream. De vier in Nederland ontwikkelde mechatronische producten zijn geselecteerd uit enkele tientallen kandidaat-ontwikkelingen. De mate van originaliteit, voorbeeldwaarde voor andere bedrijven en marktpotentie waren voor de jury bepalende selectiecriteria. De trophy wordt tweejaarlijks georganiseerd door de FHI en financieel wordt ondersteund door de Stichting Firato.

Uitnodiging oud-leerlingen LiS

AANKONDIGING REÛNIE LEIDSE INSTRUMENTMAKERS SCHOOL

De Leidse instrumentmakers School bestaat 1 april a.s. honderd jaar. Om dat heugelijke feit luister bij te zetten, willen we graag met de ons dierbare relaties een feestelijke reünie houden! Als oud-leerling/ (oud-) bestuurslid/ (oud-) medewerker of stagebegeleider bent u van harte welkom om met uw partner de feestelijke bijeenkomst, die we daarvoor op zaterdag 31 maart a.s. op locatie van de huidige behuizing van de LiS organiseren, bij te wonen. Naast een ontvangst in - en bezichtiging van - het nieuwe schoolgebouw en, desgewenst, het Kamerlingh Onnes Laboratorium wordt u een koud buffet en een met muziek omlijst samenzijn aangeboden.

Als u hiervoor belangstelling heeft kunt u zich aanmelden op onderstaand adres. Als herinnering aan het jubileum is een gedenkboek samengesteld en een das ontworpen.

U kunt nu reeds een exemplaar van het boek zowel als de das reserveren.

PROGRAMMA

15.00 uur	Ontvangst met thee/ koffie op de LiS
15.30 uur	Welkomstwoord van de voorzitter van het bestuur
15.45 uur	Aanbieden gedenkboek "Een Eeuw Precies"
16.00 uur	Bezichtiging LiS en Kamerlingh Onnes laboratorium
17.00 uur	Aperitief
18.30 uur	Koud buffet
20.00 uur	Muziek
23.00 uur	Afsluiting

Aan het bijwonen van de reünie zijn geen kosten verbonden.

Dr. A.J. van Duyneveldt
Voorzitter bestuur van de vereniging tot bevordering van de opleiding tot instrumentmaker

Adres voor aanmelding reünie en bestellen das en gedenkboek:

ADRESGEGEVENS

Leidse instrumentmakers School
t.a.v. J. Gonggrijp, directeur
Einsteinweg 61
2333 CC Leiden
tel : 071 5681168
fax : 071 5681160
e-mail : info@lis-mbo.nl
website : www.lis-mbo.nl

Meester Instrumentmaker – C-examens

Sinds de oprichting van de Leidse instrumentmakers School (LiS) bestaat de mogelijkheid om de zogenoemde meesterproef af te leggen. In de volksmond beter bekend als het C-examen. Deze meesterproef, die al sinds de oprichting van de LiS kan worden afgelegd, wordt afgenomen door de Vereniging tot bevordering van de opleiding tot Instrumentmaker.

De voorbereidingen van dit examen zijn dusdanig van aard, onder meer door de bewerkelijkheid, dat examenkandidaten zich in een vroeg stadium voor dit examen moeten aanmelden. De aanmelding moet dan ook vanaf heden in het jaar voorafgaande aan de uitvoering hiervan plaatsvinden. Praktisch betekent dit dat zij die voor 1 april 2001 zich voor dit examen aanmelden, dit examen pas in de maand juni van 2002 kunnen afleggen.

Wilt u meer informatie, dan kunt u zich tot de heer J. Gonggrijp, secretaris van de examencommissie wenden.

ADRESGEGEVENS

J. Gonggrijp, secretaris examencommissie Vereniging tot bevordering van de opleiding tot instrumentmaker
Einsteinweg 61
2333 CC Leiden
Tel. 071-5681168
Fax. 071-5681160
E-mail: gonggrijp@lis-mbo.nl

*Symposium***“toekomst van de precisietechnologie”**

Als vervolg op de vorig jaar gehouden enquête “Promotie Vakgebied - PT” organiseert de NVPT een symposium “Toekomst van de Precisietechnologie”. Tijdens het symposium wordt tevens aandacht geschonken aan het 100-jarig bestaan van de Leidse instrumentmakers School.

Datum : 4 april 2001

Plaats : Universiteit Leiden, Oortgebouw
Niels Bohrweg 2
2333 CA Leiden

Voor informatie: J. Gonggrijp, tel. 071-5681168, e-mail: gonggrijp@lis-mbo.nl

“Hoe kan de belangstelling voor precisietechnologie worden vergroot?”

Op de drempel van de 21^e eeuw staat de precisietechnologie midden in een aantal ingrijpende ontwikkelingen. Inhoudelijk hebben we te maken met vernieuwde technologieën, zoals mechatronica en nanotechnologie, die op korte of lange termijn de precisietechnologie sterk zullen veranderen. Terwijl de vraag naar technologie nog steeds groeit, neemt zowel het “aanbod” van technisch geschoolden als de algemene interesse voor techniek duidelijk af.

Het symposium werpt een blik in de toekomst van de precisietechnologie, de rol die hierin door Nederland gespeeld kan worden en

de actie die zal moeten worden ondernomen om de belangstelling voor de moderne precisietechnologie te laten toenemen.

Het symposium zal onder andere bestaan uit een aantal korte presentaties, discussies over deelonderwerpen en, voor geïnteresseerden, een bezoek aan de Leidse instrumentmakers School (LiS) en aan het nieuwe Kamerlingh Onnes Laboratorium (KOL).

SPREKERS

Dagvoorzitter

Dr. ir. J.W.M. Krikhaar, voorzitter NVPT

Ir. G.D.H. de Haan, Philips Lightning

“Mini x Maxi = Macht “

(miniaturisatie in de massafabricage is macht in de toekomst)

Prof. dr. J.W.M. Frenken, Interface Physics UL

“Hoe klein kan je gaan”

N. Grootenboer, BIHCA Precision

“Gaat het om de muziek of om het publiek”

Mr. drs. A.A.H. Teunissen

Directoraat Generaal Innovatie

Man. Team Markt & Innovatie

“Precisietechnologie geeft de maat aan”

LET OP! REDACTIEADRES IS GEWIJZIGD

Twin Design bv, Postbus 317, 4100 AH Culemborg,
Telefoon: 0345-519525, Fax: 0345-513480,
E-mail: mikroniek@twindesign.nl