

Binnen paar minuten optimale motioncontrolprestaties halen

Academici die de controltheorie van haver tot gort kennen, hebben vaak moeite om een regelaar te ontwerpen voor de industriële praktijk. Aan de andere kant ontberen veel mechatronici die met regeltechniek in aanraking komen de theoretische basis om hun systemen tot optimale prestaties te brengen. Voor beide doelgroepen biedt de training 'Motion control tuning' uitkomst. 'Als je er een keer helemaal doorheen bent gegaan, dan ontwerp je zelf binnen enkele minuten een perfect regelsysteem', zegt cursusleider Tom Oomen.

René Raaijmakers

Hoe zorg je ervoor dat een tast-microscop een sample op de juiste manier scant met zijn nanonaald? Hoe een plaatsingsmachine vliegensvlug maar wel super-nauwkeurig onderdelen plaatst op een printplaat? Of hoe een waferscanner chippatronen met hoge snelheid op de juiste positie op een silicium plak afbeeldt? Het draait allemaal om regeltechniek, om motioncontrol.

Het is kennis die in de haarvaten van de regio Brainport zit. Motioncontrol ligt aan de basis van nauwkeurigheid en hoge prestaties. Het succes van de Nederlandse hightech is dan ook mede te danken aan de hier opgebouwde regeltechniekkennis.

Technologische ontwikkelingen bij de Philips-onderdelen Natlab en Centrum voor Fabricagetechnologie (CFT) hebben in de jaren tachtig en negentig een belangrijke bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van het regeltechnisch vakgebied. Daar liepen ze echter keer op keer tegen een horde aan. Als technici bij de productdivisies ermee aan de slag gingen, bleek het nog niet zo makkelijk om de ontwikkelde technologie en theoretische principes om te zetten in industriële systemen.

Vandaar dat ze zich in de jaren negentig bij Philips realiseerden dat ze de kennis ook effectief moesten overdragen. Dat resulteerde in een cursusbouwwerk met een zeer praktische insteek. De korte opleidingen van drie tot zes dagen zijn intensief, maar als deelnemers weer terugkeren op het werk kunnen ze de kennis meteen toepassen.

'Motion control tuning' (MCT) was een van de eerste controlcursussen die in de jaren negentig bij Philips CFT werden opgezet door Maarten Steinbuch, momenteel hoogleraar aan de TU Eindhoven. Tegenwoordig ontwikkelt en onderhoudt Mechatronics Academy de MCT-training en het brengt die in samenwerking met High Tech Institute op de markt, samen met de trainingen 'Advanced motion control' en 'Advanced feedforward control'.

Twintig trainers

Tom Oomen, associate professor bij Steinbuchs groep Control Systems Technology aan de TUE-faculteit Mechanical Engineering, is een van de drijvende krachten achter deze drie trainingen. 'Het vakgebied ontwikkelt zich sterk', zegt Oomen. 'Dat betekent veel theorie, maar de basis, bijvoorbeeld hoe

je een pid-controller programmeert, is hetzelfde gebleven.'

MCT levert vele technici nog steeds een solide basis. Vaak zijn de deelnemers ontwikkelaars met gedegen kennis van de regeltheorie die die kennis willen toepassen in de praktijk, maar tegen praktische hindernissen aanlopen. Het verrassende is dat elke editie altijd wel een aantal internationale deelnemers telt. Het zegt veel over hoe de wereld tegen de Nederlandse expertise op dit vakgebied aankijkt.

MCT-cursisten zijn ruwweg onder te verdelen in twee groepen. De eerste groep bestaat uit mensen die onvoldoende technische achtergrond hebben in regeltechniek, maar die wel dagelijks met regeltechniek te maken krijgen. Ze willen de basis leren om beter met hun collega's te kunnen praten. 'Deze mensen ontwerpen wel regelaars, maar snappen de technieken daarachter niet grondig. Ze maken modellen voor een regelaar, zonder precies te weten wat een besturing kan. Dat geeft communicatieproblemen tussen systeemontwerpers en controlengineers', is Oomens ervaring.

Controlengineers ontwerpen een goede regelaar traditioneel aan de hand



Cursisten gaan aan de slag met een heel simpel veerdemperstelsel met twee massa's.

van plaatjes, de zogeheten Bode- en Nyquist-diagrammen. 'Voor doorgewinterde regeltechnici is dat gesneden koek, maar als je nooit geleerd hebt om die figuren te lezen, dan blijft het abracadabra. Dan kun je aan de knoppen draaien wat je wilt, maar dan ontwerp je nooit een goede regelaar', aldus Oomen.

Dé manier om mensen met onvoldoende theoretische achtergrond de essentie van het vak bij te brengen, is ze er één keer helemaal doorheen te slepen, zegt Gert Witvoet, werkzaam bij TNO, deeltijd universitair docent aan de TUE en een van de twintig trainers en begeleiders die betrokken zijn bij de MCT-training. 'Ze moeten leren hoe je dergelijke diagrammen leest. Snappen wat ze precies betekenen. Met deze training leer je echt hoe controlengineers in de industrie regelaars ontwerpen, en wat de mogelijkheden en de beperkingen zijn van feedback.'

De andere doelgroep bestaat uit technici die theoretisch wel beslagen ten ijs komen. Zij zijn juist opgeleid in theoretische regeltechniek en hebben een goede achtergrond, inclusief kennis van de onderliggende wiskunde. De meesten van hen zijn internationale deelnemers, die speciaal voor de

motioncontroltraining naar Nederland komen. 'Deze mensen zijn van de academische wereld in de industrie beland, maar hebben vaak nog nooit een regelaar ontworpen voor een industrieel systeem. Het lukt ze niet om met moderne tools een goede performance te halen en de handigheid om klassieke pid-regelaars te tunen, ontbreekt vaak', constateert Oomen. Witvoet: 'In onze cursus leren ze de echte industriële praktijk: hoe je met een motionsysteem omgaat en stap voor stap tot een goed ontwerp komt.'

Oomen zegt dat hij met een 'theoretische bril' kijkt. Witvoet is meer van de toepassing. Beiden vinden het gaaf om technici te leren hoe ze de kennis uit state-of-the-art onderzoek in de praktijk kunnen brengen en overdragen.

De academische wereld en de industrie werken op heel verschillende manieren, al is hun uitgangspunt hetzelfde, namelijk een model. Daarbij kiezen onderzoekers en ingenieurs ieder een verschillende aanpak. Academics gebruiken vaak fysische modellen inclusief onderliggende wiskunde, differentiaalvergelijkingen en dat soort zaken. Maar in de praktijk werken technici met zogenaamde niet-parametrische mo-

dellen zoals frequentieresponsfuncties. 'Dat is heel anders dan waarmee we in de wetenschappelijke wereld werken en daar gaan we in de training mee aan de slag', stelt Oomen.

Feedbackontwerp

Een frequentieresponsfunctie is makkelijk en snel te verkrijgen. MCT-cursisten gaan er op de eerste dag mee aan de slag. Doel is een feedbackregelaar te ontwerpen. Ze meten de eigenschappen en karakteristieken van een bestaand mechatronisch systeem. 'Uit die metingen volgt een frequentieresponsfunctie, waaraan je kunt zien hoe de machine zich gedraagt', legt Oomen uit. 'Daar rolt vervolgens een model uit, waarmee je een regelaar kunt ontwerpen voor dat systeem.'

In tegenstelling tot deze snel verkregen en zeer nauwkeurige frequentieresponsmodellen hebben veel technieken uit de academische wereld een parametrisch model nodig, dus gedetailleerde informatie over massa's, veren, stijfheid, dempers, enzovoorts. In de praktijk is dat veel te tijdrovend. Het is moeilijk om alle parameters precies te weten.

Maar als je over een bestaand systeem beschikt, dan is een frequentie-



respons een goed alternatief. 'Je biedt een geschikt signaal aan en meet gewoon hoe het systeem reageert', verklaart Witvoet. 'Zo krijg je in enkele minuten een supergoede frequentieresponsfunctie van het input-output-gedrag op basis waarvan je al een goede regelaar kunt ontwerpen. Als je vervolgens ook weet hoe je zo'n ding moet tunen, dan kun je binnen een paar minuten, stapje voor stapje, de beste regelaar voor jouw systeem maken.'

Cursisten gaan aan de slag met een heel simpel veerdempersysteem met twee massa's. De ene massa is direct aan de motor bevestigd, de tweede massa (de last) zit met een as verbonden aan de eerste. Het systeem heeft zowel positiesensoren bij de motor als bij de last. De uitdaging is een regelaar te ontwerpen die de tweede massa nauwkeurig bestuurt. Niet makkelijk, want de as vertoont torsie.

Oomen: 'In de praktijk meten systemen altijd op de last. Kijk maar naar een printer. Ergens zit een motor die via een band de slede beweegt. Omdat je precies wilt weten waar de inkt op het papier komt, meet je de positie van de slede. Als je op de motor meet, weet je dat nooit zeker, want de overbrenging tussen motor en slede is flexibel.'

Zelfs doorgewinterde onderzoekers in de regeltechniek hebben nog wel eens moeite om de weerbarstige praktijk te doorgronden. In hun beleving valt alles tot in detail te modelleren, ook de overbrenging tussen motor en last. Bij bezoeken aan internationale topgroepen laat Oomen de experimentele opstelling uit de MCT-training regelmatig zien aan theoretici. 'Ik vraag ze dan of het iets uitmaakt waar ik meet, bij de motor of de last. Uitgaande van theoretische concepten als regelbaarheid en observeerbaarheid antwoorden ze dan meestal dat het geen bal uitmaakt.'

In de MCT-cursus laten de trainers echter zien dat het van essentieel belang is waar je meet. 'Als je over de motor meet, dan geldt: the sky is the limit qua performance. Alles is mogelijk. Storingen zijn tot elke frequentie te onderdrukken. Maar als je – zoals altijd in de praktijk – over de last meet, dan ben je heel erg beperkt, want je hebt te ma-

ken met onvoorspelbaar gedrag door flexibele onderdelen. Dan zijn er forse beperkingen voor regellussen en de performance die je daadwerkelijk kunt halen. Als je onder die omstandigheden een stabiliserende regelaar wilt maken, dan moet je heel erg oppassen. Je krijgt heel makkelijk instabiel gedrag. Als je precies wilt weten hoe dat zit, dan moet je naar de cursus komen', lacht Oomen.

Henry Nyquist en Hendrik Bode

Om een motioncontroller stabiliteit te geven, zijn klassieke concepten noodzakelijk. Die zijn bedacht door Henry Nyquist en Hendrik Bode. Oomen: 'Nyquist bedacht in de eerste helft van de vorige eeuw al principes om de stabiliteit van zo'n regellus te garanderen. Ik heb laatst nog een boek uit 1947 gelezen waarin hij dat beschreef. Dat gebruiken we nu nog dagelijks, in combinatie met

'Als je eenmaal ervaren bent, kun je binnen enkele minuten bijna de optimale performance uit het systeem halen'

die frequentieresponsfuncties. Beide zijn diep met elkaar verweven. Daarmee garanderen we de stabiliteit van regellussen.'

Zeg Nyquist en je hebt het ook over Fourier- en Laplace-transformaties. Klinkt ingewikkeld, maar om in de praktijk met die wiskunde te werken, is geen diep begrip nodig: 'Deze concepten leggen we uit op een heel intuïtieve manier die voor iedereen toegankelijk is', zegt Oomen. 'Hun rol in het regelontwerp vormt de basis. Regeltechnici komen ze hoe dan ook tegen in hun werk. We vinden het belangrijk dat mensen ze echt kennen, maar het is echt niet nodig om daarvoor diep de wiskunde in te gaan.'

Na de basisconcepten maakt de training de stap naar stabiliteit. Witvoet: 'De deelnemers leren een goede basis te leggen met een plaatje, een Nyquist-diagram. Daarmee kunnen ze de stabiliteit van hun systeem testen. Alle mystiek is dan verdwenen, want ze weten dan wat eronder steekt en hoe ze het moeten gebruiken. Cursisten zijn dan in staat om aan de knoppen te draaien en te checken of de gesloten regellus stabiel is.'

Daarna volgt de stap naar een daadwerkelijk ontwerp. De eerste vereiste van zo'n ontwerp mag dan stabiliteit zijn, uiteindelijk draait het om prestaties. Daarvoor krijgen de cursisten een heel palet aan motioncontrolgereedschappen zoals notch-, lead- en lag-filters en pid-regelaars. 'Dat zit allemaal in de toolbox van de regelingenieur en dat vormt de opmaat naar een van de leukste middagen van de cursus, de loop shaping-game. Daarin gaan cursisten zo goed mogelijk de regelaar tunen en de performance uitknijpen. Als ze dat weten, dan hebben ze onder de knie hoe een feedbackregelaar werkt.'

Feedforwardontwerp

Naast de feedbackregelaar voor stabiliteit en storingsonderdrukking heeft elk motionsysteem ook een feedforwardregelaar. Die vertelt het systeem hoe het zijn baan moet volgen van a naar b. Dit heet ook wel referentietracking. 'Dat stuur je met de feedforwardregelaar aan', licht Oomen toe. 'Het belangrijkste deel van de systeemprestaties komt uit de feedforwardaansturing. Ook hier gaan we heel even de theorie in en dan gaan we meteen experimenteren. Het is een heel systematische en intuïtieve aanpak. Als je het eenmaal een keer hebt gedaan, kun je het meteen toepassen.'

Door het daadwerkelijk toe te passen, leren deelnemers aan de MCT-training hoe zaken als massa-feedforward en wrijvings-feedforward werken. 'Het is een heel systematische aanpak waarmee je de parameters een voor een op een optimale manier kunt tunen', zegt Oomen. 'Als je die techniek beheerst, dan kun je in enkele minuten, door iteratieve experimenten te doen, de beste feedforwardregelaar tunen voor je systeem.'



Tom Oomen:
'De motion control
concepten leggen
we uit op een heel
intuïtieve manier
die voor iedereen
toegankelijk is.'

Als je eenmaal weet hoe je een frequentieresponsfunctie kunt meten en een feedback- en feedforwardregeling moet designen, dan kun je ontzettend snel regelaars ontwerpen. Oomen: 'Tijd is natuurlijk geld en dat is de reden waarom de hele Nederlandse hightech-industrie het op deze manier doet. Je vindt het in Venlo bij Canon Production Printing en in Best bij Philips Healthcare. Ook de kleinere mechatronische bedrijven regelen op deze manier. Bij ASML in Veldhoven worden bijna alle motioncontrollers in waferscanners op deze manier getuned. Als je eenmaal een beetje ervaren bent, dan kun je bijna de optimale performance uit het sys-

teem halen. Binnen enkele minuten en dat is natuurlijk gaaf.'

100 procent praktijk

Gevraagd naar de verhouding theorie-praktijk zegt Oomen lachend dat de MCT-training '100 procent praktijk' is. 'Alle theorie die we doen, is essentieel voor de praktijk', vult Witvoet aan. 'We lichten een aantal theoretische concepten toe, maar dat doen we aan de hand van een applicatie. Het gaat echt om het tunen, het is echt een designcursus en gaandeweg leren de deelnemers wat theorie. Elke middag zijn we met dat systeem bezig, met het maken van frequentieresponsfuncties en daarna het

finetunen. Feedforward, feedback, het is elke dag met de handen uit de mouwen en met de voeten in de modder, omdat je de theorie meteen toepast.'

Na vijf dagen zijn deelnemers in staat om zelfstandig een feedback- en feedforwardregelaar te ontwikkelen. De MCT-training telt daarna nog een zesde dag waarin verschillende trainers ingaan op de ontwikkelingen binnen hun vakgebied. Oomen: 'Binnen de eerste vijf dagen slagen deelnemers erin om regelaars te maken met één ingang en één uitgang, maar veel industriële systemen hebben meerdere in- en uitgangen. Dat blijkt toch wel consequenties te hebben voor het tunen.' Witvoet: 'We laten zien



Gert Witvoet:
'De training is
100 procent
praktijk, elke dag
met de vóeten in
de modder.'

waar de gevaren liggen. Wanneer er dingen mis kunnen gaan en als het misgaat, hoe je er dan mee kunt omgaan.'

Om regelsystemen voor meerdere in- en uitgangen te ontwerpen, hebben motioncontrolengineers een sterkere theoretische basis nodig. Die kennis over multivariabele systemen komt aan bod in de vijfdaagse training 'Advanced motion control'. 'Daarin leren deelnemers met veel detail hoe je regelsystemen met meerdere in- en uitgangen

maakt', aldus Oomen. 'We volgen daarbij dezelfde filosofie en gedachtegang als in de MCT-training.'

Die laatste dag komt ook het gebruik van data aan bod, een trend die momenteel een hoge vlucht neemt binnen het controlvakgebied. 'De nieuwste generaties controlesystemen kunnen leren van fouten uit het verleden en deze tegelijk ook corrigeren', vertelt Oomen. 'Daarbij maken we gebruik van grote hoeveelheden gegevens die sensoren

in machines produceren. We zijn daarmee al in staat om machinefouten binnen enkele iteraties te corrigeren. Dat maakt de weg vrij voor nieuwe revolutionaire machineontwerpen die lichtgewicht, nauwkeuriger, goedkoper en veelzijdiger zijn, maar ook bestaande machines zijn op die manier te upgraden. Op de laatste dag van MCT vertel ik er een uur over, maar in de training 'Advanced feedforward control' trekken we er drie dagen voor uit.' ❖