

# 'Lerend regelen verbetert de prestaties van motionsystemen met een factor tien'

Met lerende technieken zijn de prestaties van motionsystemen formidabel te verbeteren. Vaak kan het zelfs tien keer beter. De aanpak is echter principiële anders dan bestaande feedback- en feedforwardtechnieken. Toepassen vereist dan ook een grondig begrip van de onderliggende lerende mechanismes. De training 'Advanced feedforward control' levert echter de bagage waarmee regeltechnici lerende technieken kunnen doorgronden en direct kunnen toepassen.

René Raaijmakers

Ook regelexperts uit de industrie staan hiervan te kijken, zegt Tom Oomen, van de Control Systems Technology-groep (TU Eindhoven). Hij laat het stuurmechanisme zien van een desktopprinter die door een lab-assistent is omgebouwd tot experimentele opstelling. 'Dit is een eenvoudige opstelling van pakweg honderd euro met heel veel wrijving en goedkope mechanica', zegt Oomen. 'Maar ondanks die beperkingen kunnen we daarmee toch een perfecte performance halen met lerend regelen. De meetnauwkeurigheid van de printkop is 42 micrometer en met onze lerende aansturing blijven we binnen die grens.' Hij kan zijn enthousiasme moeilijk onderdrukken: 'Dat is gewoon gaaf. Ook echte motionspecialisten vragen zich af hoe dat kan. Deelnemers aan de cursus 'Advanced feedforward control' gaan ook met deze printer aan de slag.'

Control Systems Technology van Maarten Steinbuch heeft een lange traditie van samenwerken met hightechbedrijven. Met ASML, CCM, NXP, Océ, Philips Innovation Services en Philips Healthcare werken onderzoekers daar aan control op basis van lerend regelen. Ook het High Tech Systems Center (HTSC) speelt daarbij een rol. De hightechbedrijven implementeren en valideren de ontwikkelde algoritmes direct op hun systemen.

Oomen: 'Ze willen eigenlijk allemaal lerende regeltechnieken toepassen, want je kunt daarmee de prestaties aanzienlijk verbeteren. De een wil nanometernauwkeurigheid bereiken, de andere een hogere productiviteit of juist goedkopere sensoren, actuatoren of mechanica gaan toepassen. Want lerend regelen is qua implementatie gewoon heel erg goedkoop. De oplossing verschuift van dure meetinstrumenten en aandrijvingen naar software en slimme algoritmes. Ons uitgangspunt

is dat meetdata heel erg goedkoop zijn en dat we volledig kunnen compenseren wat reproduceerbaar is in de meetdata.'

## ilc

Terugkoppeling of feedback kent iedereen in de besturingswereld van de pid-regelaars. Die koppelen een gemaakte servofout terug aan de besturing. Het is een correctie achteraf. Pid-regelaars zijn populair, omdat het systeem 'in gesloten lus is' en daardoor ongevoelig is voor veranderingen. Ander pluspunt is dat ontwikkelaars er aan de hand van vuistregels heel intuïtief mee kunnen werken.

De prestaties van deze traditionele regelsystemen zijn aanzienlijk te verbeteren door er feedforwardtechnologie aan toe te voegen. Feedback regelen is immers een beetje mosterd na de maaltijd: de corrigerende actie volgt na de fout. Met

feedforward anticipeert het systeem op verstoringen in de toekomst. Als de baan vlak van tevoren bekend is, dan kan de besturing deze kennis gebruiken om de volgfouten significant te verkleinen. 'Dat leidt typisch tot tien keer betere prestaties', zegt Oomen. Het is dan ook niet verbazingwekkend dat vrijwel iedereen intussen feedforward toepast.

Maar het kan nog beter. Door gebruik te maken van het repeterende karakter waarmee veel mechatronische systemen werken, zijn besturingen in staat om van eerdere volgfouten te leren. Het resultaat is nogmaals een forse stap in performance. Oomen: 'Ten opzichte van gecombineerde feedback-feedforward-ontwerpen is de volgfout nogmaals met een factor tien te verbeteren.' Dit is het basisidee achter *iterative learning control* (ilc), oftewel lerend regelen bij repeterende bewegingen.

> Tom Oomen met het stuurmechanisme van een desktopprinter die ondanks talrijke beperkingen met een lerende regeling tot verbazingwekkende prestaties is gebracht





> Tom Oomen, docent en cursusleider van de training 'Advanced feedforward control'

### Eindhovense aanpak

Lerende technieken staan centraal in de driedaagse training 'Advanced feedforward control', waarvan Oomen een van de docenten en cursusleiders is. 'Op de eerste dag beginnen we met pid-regelaars en brengen we cursisten bij waarom je daar maar beperkte prestaties mee kunt halen. Feedforward scheelt meer, omdat je de gewenste baan aan je regelaar geeft en daarmee voor een deel in de toekomst kijkt. Het idee van lerend regelen is eenvoudig: elke keer als je dezelfde taak doet, weet je wat er in de toekomst gaat gebeuren. Met een goede lerende regelaar kun je perfecte performance halen. Dat is ook wat mijn vakgebied zegt: alles wat reproduceerbaar is, kun je perfect compenseren.'

Lerend regelen zorgt ervoor dat de prestaties stap voor stap verbeteren. Bij elk experiment, elke cyclus, verzamelt het systeem meetdata en daarna kijkt de lerende regelaar: heb ik het nu beter gedaan? Als het perfect is, dan behoudt de besturing het aanstuursignaal. Als er nog steeds een fout is, volgt er weer een kleine correctie voor een nog beter stuursignaal. 'Met een goed ontwerp zie je na een vijftal iteraties een bijna perfecte uitvoering.'

De methodes in de training sluiten heel goed aan bij de ontwerptechnieken die de

Nederlandse hightechindustrie kent. Ze maken het mogelijk om motionsystemen met leren heel snel te laten convergeren. 'Dat is echt anders dan in de rest van de wereld', stelt Oomen. 'Je ziet heel veel academische technieken die honderden of duizenden iteraties kosten om te convergeren.'

De unieke Eindhovense aanpak berust op zeer nauwkeurige modellen voor mechatronische systemen. Oomen: 'De basis daarvoor werd al in de jaren zeventig, tachtig en negentig gelegd op het Matlab van Philips, onder meer bij de ontwikkeling van de compactdiscspelers. Zaken die daaruit voortkomen, zoals loop-shaping, notchfilters en frequentieresponsfuncties, zitten nu in de basiscursus 'Motion control tuning' om pid-regelaars te tunen. In de vervolgtraining 'Advanced feedforward control' bouwen we de lerende regeltechniek de eerste dag vanuit dezelfde filosofie op, zodat cursisten op dag een al in staat zijn zelf een lerende regelaar te ontwerpen en te implementeren die na enkele iteraties nagenoeg perfecte prestaties geeft.'

### Theorie

De tweede trainingsdag bevat veel theorie. Het doel is om deelnemers een compleet beeld te geven van wat er in de wereld op het gebied van learning control te koop is. Oomen: 'Zoek op internet

naar 'learning control' en je vindt bergen informatie. Heel veel verschillende wiskunde, meestal vanuit een sterk academische blik. Nieuwsgierige technici vragen zich dan automatisch af: waarom passen we dit niet toe?'

De alternatieve wiskundige beschrijvingen vormen een wereld van verschil met de technieken die cursisten op de eerste dag voorgeschoteld krijgen. Waarom dan toch die zware kost? 'We willen cursisten nadrukkelijk laten ervaren hoe alternatieve werkwijzen wiskundig in elkaar steken', zegt Oomen. 'Dat is voor de meeste cursisten inderdaad best zwaar, want ze moeten de onderliggende wiskunde vaak weer opfrissen. Toch confronteren we ze ermee en slepen ze er bewust doorheen, zodat ze die andere aanpakken ook begrijpen en kunnen plaatsen. Daarmee krijgen ze het gevoel dat ze het hele vakgebied van learning control kunnen overzien. Zeker als ze zich er verder in willen verdiepen.'

### Je zegt dat je deelnemers door die theorie en wiskunde heen moet slepen. Lukt dat altijd?

'Dat lukt eigenlijk altijd. En als je dat eenmaal hebt gezien, kun je later vrij goed plaatsen wat voor technieken allemaal beschikbaar zijn. Het gaat niet om het reproduceren van formules, maar cursisten moeten wel weten wat erachter steekt, wat de basisideeën zijn en hoe ze het kunnen gebruiken. Aan het einde van dat stuk blijkt het eigenlijk heel makkelijk te zijn. Iets dat ze in twee regels Matlab-code kunnen implementeren. Maar het belangrijkste is dat ze kunnen beargumenteren wat de voor- en nadelen zijn van specifieke technieken. Ook is het prettige bagage voor dag drie, waar we ingaan op recente ontwikkelingen en *automated feedforward tuning* toepassen.'

### Hoeveel ervaring in besturingstechniek hebben deelnemers nodig?

'Mensen met ervaring in het ontwerpen van regelaars en motionsystemen kunnen automatisch naar deze training. Dat geldt voor de meeste mensen die in de regio Eindhoven feedbackregelaars ontwerpen. Die weten hoe je een pid-regelaars ontwerpt en ook wat state-space, loop-shaping en filtertechnieken zijn en hoe je inspelt op het frequentiedomein. Een beetje Matlab-kennis is overigens erg handig.'

*De driedaagse training 'Advanced feedforward control' van High Tech Institute en Mechatronics Academy start op 21 maart 2018.*