

Een methode om continu Modelgebaseerde

Redouane Hallouzi



Dr.ir. Redouane Hallouzi (hallouzi@reliacon.nl) is oprichter van ReliaCon, Rotterdamseweg 145, 2628AL Delft

Stilstand en uitval in industriële processen door storingen zijn de nachtmerrie van menig onderhoudsingenieur. Modelgebaseerde conditiebewaking biedt de mogelijkheid om dit zoveel mogelijk te beperken door continu te waken over het proces en door efficiënt en doelgericht onderhoud mogelijk te maken.

Regelsystemen komen voor in vele toepassingen, uiteenlopend van vliegtuigen tot procesinstallaties. Omdat we in toenemende mate afhankelijk zijn van deze regelsystemen, worden veiligheid en betrouwbaarheid van deze systemen ook steeds belangrijker [1]. In veiligheidskritische toepassingen zoals vliegtuigen kan het uitvallen of niet correct functioneren van een component van het regelsysteem leiden tot een catastrofale situatie. Een recent voorbeeld hiervan is een fout in de hoogtewaarneming van een Boeing 737-800 van Turkish Airlines die er uiteindelijk toe heeft geleid dat het vliegtuig op een akker nabij vliegveld Schiphol is gecrasht [2]. Het niet correct functioneren van componenten van regelsystemen kan ook minder catastrofale, maar nog wel ongewenste situaties opleveren. In grote procesinstallaties bijvoorbeeld kan uitval van een component aanzienlijke verliezen opleveren door productiestilstand.

Manieren voor conditiebewaking

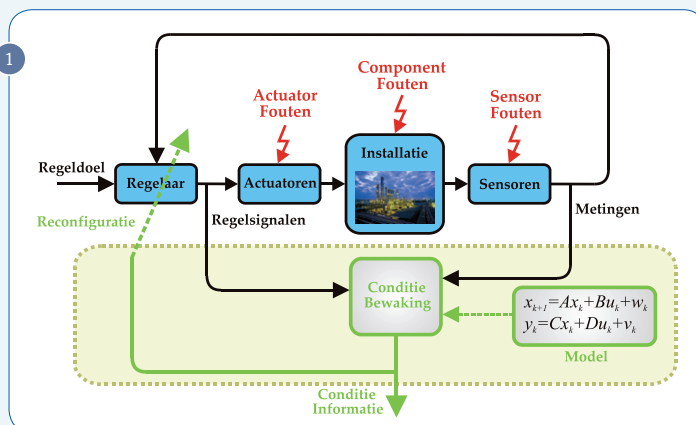
Conditiebewaking kan worden toegepast om veiligheid en betrouwbaarheid van regelsystemen te verhogen. Onder conditiebewaking wordt het bepalen van de actuele bedrijfstoestand van het geregelde proces verstaan. De bedrijfstoestand omvat de slijtagetoestand van de diverse componenten. Verder omvat deze ook fouten en storingen. Een mogelijke aanpak voor conditiebewaking maakt gebruik van extra metingen aan het proces. Een voorbeeld hiervan zijn trillingsmetingen om te bepalen of lagers nog in orde zijn. Een ander voorbeeld zijn metingen van de kwaliteit van smeerolie om te bepalen of verversing noodzakelijk is. De genoemde metingen

worden dus gebruikt om nauwkeurig een specifieke diagnose te kunnen stellen. Nadelen van deze aanpak zijn echter dat het gebruik van extra sensoren de kosten en onderhoudsvereisten doet toenemen. Een alternatieve aanpak die de genoemde nadelen kan ondervangen maakt gebruik van wiskundige modellen van het proces. In plaats van te vertrouwen op extra metingen wordt bij deze aanpak zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande metingen. De conditie van het proces kan worden herleid door op basis van het model conditiegerelateerde parameters te bepalen en analyseren. Dit type conditiebewaking wordt daarom ook modelgebaseerde conditiebewaking genoemd. Een belangrijk voordeel van modelgebaseerde conditiebewaking is dat er rekening wordt gehouden met gemodelleerde afhankelijkheden tussen de verschillende procesparameters.

Regelsysteem met conditiebewaking

In Figuur 1 is een regelsysteem met modelgebaseerde conditiebewaking schematisch weergegeven. Het geregelde proces is opgesplitst in drie onderdelen: actuatoren, sensoren en overige componenten van de installatie (bijvoorbeeld leidingen, vaten, etc.). In elk van deze drie onderdelen kunnen fouten en/of storingen optreden. In het gedeelte afgebeeld onder het regelsysteem vindt de conditiebewaking plaats. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van regesignalen, metingen aan het proces en een wiskundig model. In Fig. 1 is tevens te zien dat er een reconfiguratie signaal uit het conditiebewakings-systeem komt. Dit signaal wordt gebruikt door fouttolerante regelsystemen. Deze hebben de eigenschap dat er automatisch een aanpassing plaatsvindt aan gewijzigde bedrijfstoestanden op basis van conditie-informatie.

Fig. 1 schematische weergave van een regelsysteem met conditiebewaking.



Conditiebewaking voor inplannen onderhoud

In de procesindustrie is informatie over de conditie erg nuttig om onderhoud efficiënt in te kunnen plannen. Drie manieren waarop onderhoud kan worden uitgevoerd zijn storingsonderhoud (“breakdown maintenance”), preventief onderhoud (“preventive maintenance”) en voorspellend onderhoud (“predictive maintenance”). Storingsonderhoud gebeurt nadat een storing is geconstateerd. Een groot nadeel hiervan is dat

te kunnen waken over procesinstallaties conditiebewaking

dit zorgt voor een ongeplande ontregeling van het proces die erg kostbaar kan zijn. Preventief onderhoud gebeurt volgens een vooraf opgesteld schema. Een nadeel hiervan is dat dit soms onnodig is doordat (het betreffende gedeelte van) het proces nog niet aan onderhoud toe is. Dit soort onderhoud leidt daarom tot onnodige stilstand en kosten. Voorspellend onderhoud gebeurt op basis van de voorspelde (of actuele) conditie van de installatie. Dit onderhoud wordt alleen uitgevoerd indien noodzakelijk. De genoemde nadelen van de twee eerder genoemde onderhoudsschema's worden dus ondervangen door voorspellend onderhoud. Een vereiste hiervoor is echter wel de aanwezigheid van een conditiebewakings-systeem.

Industriële actuator benchmark

Om het potentieel van modelgebaseerde conditiebewaking in de context van de procesindustrie aan te tonen is de DAMADICS benchmark [3] ontwikkeld. In deze benchmark, afgebeeld in Fig. 2, is een regelklep gemodelleerd, die vloeistof toevoert naar een tank regelt. Hiervoor wordt de gewenste kleppositie CV gemanipuleerd door het regelsysteem. Deze kleppositie wordt in de regelklep bestuurd door een pneumatische servomotor. Naast CV zijn er 5 andere metingen beschikbaar, namelijk de vloeistoftemperatuur (T), de vloeistofdruk voor (P1) en na (P2) de regelklep, de flow rate (F) en de gemeten positie van de klep (X). In Fig. 2 zijn er tevens drie handmatig bedienbare kleppen te zien die kunnen worden gebruikt als de regelklep defect raakt. Voor de DAMADICS benchmark is een wiskundig model opgesteld waarbij X en F als functie van P1, P2, CV en T zijn beschreven. Tevens zijn er 19 verschillende foutcondities gemodelleerd die daadwerkelijk zijn opgetreden of redelijkerwijs te verwachten zijn. Enkele fouten zijn het vastzitten van de klep, erosie van de klep, lekkages (door lekkende rubbers), servomotor fouten en sensorfouten.

Verschiedende onderzoekingsinstellingen hebben methoden ontwikkeld om de gemodelleerde foutcondities te kunnen identificeren. De meeste methoden zijn gebaseerd op het principe van het genereren van verschillende residu's die elk gevoelig zijn voor één of meerdere foutcondities. Deze residu's zijn gebaseerd op (een gedeelte van) het model en hebben in de nominale situatie (geen fouten) een waarde van nagenoeg 0. Als er een foutconditie optreedt waar het residu gevoelig voor is, zal de waarde ervan boven een vooraf ingestelde grenswaarde komen. In dat geval wordt aan dit residu de symbolische waarde "1" toegekend. Blijft het residu onder de grenswaarde dan heeft het waarde "0". Indien er een reeks foutcondities f_1, f_2, \dots, f_N moet kunnen worden

geïdentificeerd, dan moet er een reeks residu's r_1, r_2, \dots, r_M worden gegenereerd met de eigenschap dat iedere foutconditie een uniek foutprofiel heeft. Het foutprofiel is de set met waarden ("0" of "1") die door de set met residu's wordt aangenomen als een specifieke foutconditie optreedt. In Fig. 3 is de matrix afgebeeld die de foutprofielen voor een set foutcondities bevat.

Het beschreven principe zal worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld dat gebaseerd is op het systeem voor foutidentificatie uit [4]. Twee van de fouten die moeten worden geïdentificeerd zijn een fout in de veer van de servomotor (f_{veer}) en een uitwendig lek (f_{lek}). Deze fouten kunnen worden geïdentificeerd door het genereren van twee residu's. Het eerste residu is het verschil tussen de gemeten en geschatte waarde (op basis van het model) van de kleppositie. Het tweede residu is het verschil tussen de gemeten en geschatte waarde van de flow rate. Doordat het eerste residu gevoelig is voor f_{veer} en niet voor f_{lek} en doordat het tweede residu gevoelig is voor f_{lek} en niet voor f_{veer} zijn de twee fouten van elkaar te onderscheiden.

Naar aanleiding van de studies gerelateerd aan de DAMADICS benchmark kan worden geconcludeerd dat modelgebaseerde conditiebewaking technisch haalbaar is voor toepassing in industriële processen en vele voordelen kan bieden. Een trend die de toepassing van modelgebaseerde conditiebewaking in de procesindustrie kan versnellen is de toepassing van APC ("Advanced Process Control") systemen. Naast het feit dat deze trend aantoont dat de procesindustrie steeds meer open staat voor nieuwe ontwikkelingen, kunnen modellen uit APC systemen en dan met name de modellen op componentniveau, ook worden gebruikt voor conditiebewaking.

Conclusie

Met modelgebaseerde conditiebewaking kan de conditie van een industrieel proces in de gaten worden gehouden door gebruik te maken van een wiskundig model en bestaande metingen. Hierdoor wordt het proces veiliger en betrouwbaarder. Modelgebaseerde conditiebewaking maakt het tevens mogelijk om efficiënt en doelgericht onderhoud te plegen op basis van de actuele of voorspelde conditie. Een recente studie heeft aangetoond dat toepassing in de procesindustrie technisch haalbaar is. ●

Voor referenties zie www.npt.nl bij Inhoudsopgaven.

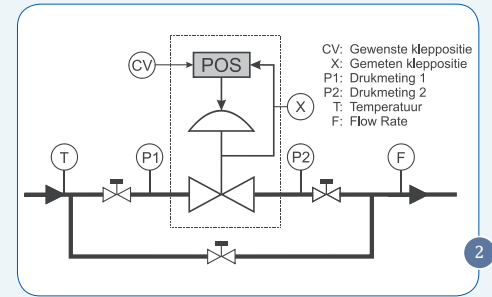


Fig. 2 Structuur van de DAMADICS benchmark

		Fout-Profiel			
		f_1	f_2	\dots	f_N
r_1		1	0	\dots	0
r_2		1	1	\dots	0
\vdots		\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
r_M		0	1	\dots	1

Fig. 3 Een foutprofiel-matrix

2

3