

De robot als onderhoudsmonteur van de toekomst?

Netbeheerders zien in de toekomst mogelijkheden om onderhoudswerkzaamheden door robots te laten uitvoeren. Voor de daadwerkelijke effectieve inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur dient een aantal generieke uitdagingen te worden geadresseerd. Dit artikel laat zien wat de uitdagingen zijn, welke vragen daarbij spelen en wat dit kan betekenen voor de toekomstige bedrijfsvoering.

Rick van der Kleij, Jan Maarten Schraagen en Mark Neerincx

Een belangrijke uitdaging is het vormgeven van de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken. Een samenwerkingsvorm waarbij taken dynamisch worden toebedeeld aan onderhoudsmonteur of robot, afhankelijk van de werksituatie en de taaklast van de robot of monteur, lijkt een toekomstscenario dat het meest voor de hand ligt.

De beloften van robots

Er is sprake van een snelle ontwikkeling van de toepassing van industriële robots (Houtekamer, 2014). Robots die deels zelfstandig taken kunnen uitvoeren, zoals navigeren, objecten detecteren en deze manipuleren, veelal in een vaste werkomgeving, zoals op een vaste plek in een fabriekshal. Industriële robots kunnen in potentie veel taken beter, goedkoper en veiliger uitvoeren dan mensen. Deze robots leren ook steeds beter samenwerken met mensen, veelal met behulp van ingebouwde sensoren (Polderman, 2015; zie ook afbeelding 1). Industriële robots worden dan ook meer en meer ingezet in de werkomgeving van mensen (Kenniskamer, 2011; H2020 Call 2 ICT24, 2015). Een volgende stap is de inzet van robots in een 'vrije' werkomgeving, zoals bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken in de openbare ruimte.

Aanleg en onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken is kostbaar en schadegevoelig. Een studie uitgevoerd in opdracht van Alliander laat zien dat in 2012 tijdens 10% van de graafwerkzaamheden schade ontstond in de vorm van storingen (De Wilde Ingenieursgroep, 2013). De kosten hiervan bedroegen in 2012 157 miljoen euro. Het werk is bovendien gevaarlijk. De verbindingen tussen kabels of anderszins foutieve installaties leveren een gevaar op voor monteurs.

Een deel van het aanleg- en onderhoudswerk kan goed worden gepland en is routinematig. Netbeheerders zien



Afbeelding 1. Industriële collaboratieve robot van Rethink Robotics: de Sawyer. De Sawyer is ontwikkeld voor het uitvoeren van precisietaken, zoals het testen van elektronische circuits. Opvallend is dat de Sawyer een 'gezicht' heeft.

in de toekomst dan ook mogelijkheden om onderhoudswerkzaamheden door industriële robots te laten uitvoeren (Ruitenbeek, Van Gemert & Gentiluomo, 2015). Hierdoor kunnen bedrijfsongevallen – die nu nog leiden tot blijvende of dodelijke gevolgen voor onderhoudspersoneel – worden voorkomen. Daarnaast is de verwachting van netbeheerders dat de uitvoering van hoog-risicowerkzaamheden door of met robots kan resulteren in een constantere kwaliteit en het ontlasten van onderhoudsmonteurs door het overnemen van fysiek zwaar of cognitief belastend werk.

Robotica-ontwikkelingen binnen de netbeheersector

Binnen de netbeheersector vinden al diverse ontwikkelingen plaats. Een voorbeeld kan worden gevonden bij rioolinspectie. Rioolinspectiebedrijven gebruiken al veelal op afstand bestuurbare camera's



Afbeelding 2. De Schroder s300 riool CCTV pijpspectierobot.

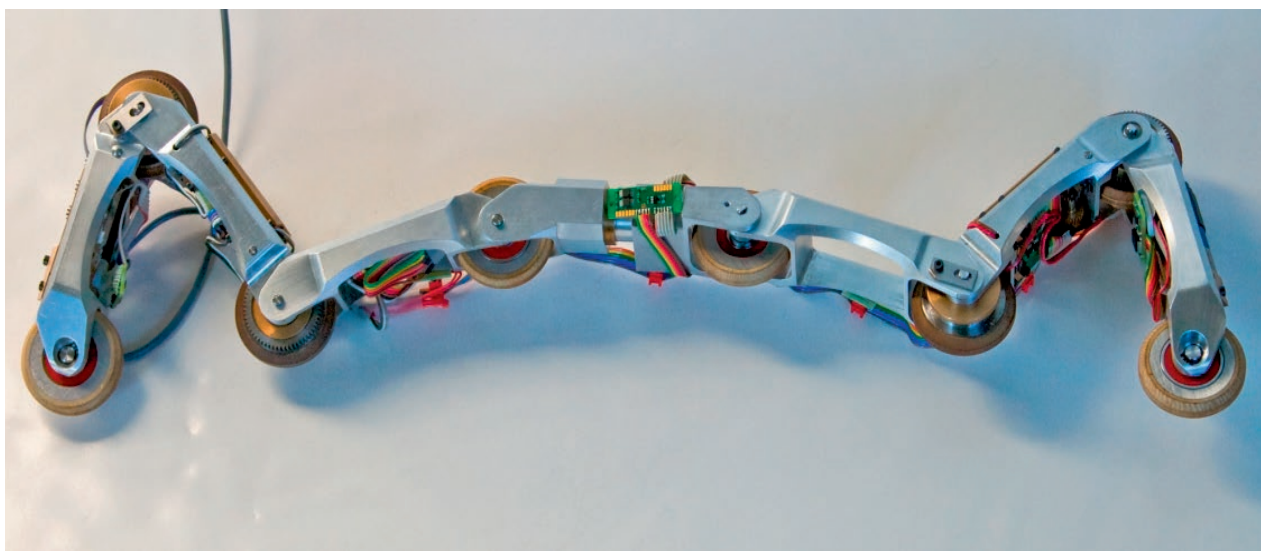
gemonteerd op rijdende robots om de toestand van ondergrondse leidingen vast te leggen, zoals wanddikte en de aanwezigheid van corrosie (afbeelding 2). Deze inspectiesystemen kunnen ook worden ingezet voor andere toepassingen dan riolering, zoals bij inspecties van moeilijk bereikbare ruimten of installaties.

Een consortium van netbeheerders en robotica-bedrijven onderzoekt al sinds 2006 of inspectierobots zelfstandig door het lagedruk gasnetwerk kunnen bewegen en op die manier de kwaliteit van het netwerk kunnen monitoren en zwakke plekken in kaart kunnen brengen (zie bijvoorbeeld Ruesink, 2009). In Nederland ligt ongeveer 100.000 km gasnetwerk in stedelijke omgeving. Van dit netwerk moet ieder segment iedere vijf jaar geïnspecteerd worden op lekkages. Op dit

moment wordt dit alleen bovengronds gedaan met sensoren die gas meten. De aanwezigheid van gas kan duiden op een lekkage. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de kwaliteit van het netwerk ondergronds en ook geen gegevens welke segmenten in de nabije toekomst voor vervanging in aanmerking komen. Gasleidingen in het lagedruknetwerk hebben doorgaans een kleine diameter en bevatten bochten, T-splitsingen en lichte hellingen. Deze factoren hebben ertoe geleid dat een soort modulaire robotslang op wielen is ontwikkeld (afbeelding 3, leorobotics.nl). De robot bevat sensoren die helpen bij het navigeren en tegelijkertijd informatie geven over de buiskwaliteit.

In het Verenigd Koninkrijk werkt de gasnetbeheerder SGN aan de Cast Iron Joint Sealing Robot (CISBOT). Het doel is om oude gasleidingen door een robot te laten repareren. CISBOT kan metalen gaspijpen repareren zonder dat de gasleiding dient te worden uitgeschakeld of er grootschalige graafwerkzaamheden dienen plaats te vinden.

Voor het controleren en, waar nodig, repareren van leidingen op de bodem van zeeën, meren en rivieren worden onderwaterrobots gebruikt (zie bijvoorbeeld Blidberg, 2001; H2020 Call 2 ICT24, 2015). Daarnaast biedt dronetechologie de mogelijkheid om inspectiewerkzaamheden in hoogspanningsmasten uit te voeren zonder dat monteurs, de zogenoemde lijnwerkers, in de masten hoeven te klimmen, wat gevaarlijk werk is. Liandon, het hoogspanningsbedrijf van Alliander, ontwikkelt Liandrone: een drone voor inspectie van hoogspanningsmasten. De camera van de drone wordt verrijkt met simulatietechnologie om de beeldkwaliteit van de camera te verhogen. Ook kunnen straks 3D-modellen van de omgeving worden gemaakt om bijvoorbeeld schade nauwgezet in kaart te brengen (zie ook: <http://www.tradr-project.eu/>).



Afbeelding 3. DE PIRATE-robot voor autonome inspectie van het lagedruk gasnetwerk.

Generieke uitdagingen

Voor de daadwerkelijke grootschalige inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur dient nog wel een aantal generieke uitdagingen te worden geadresseerd. Deze uitdagingen komen voort uit de vraag hoe de robot succesvol en duurzaam in de bedrijfsvoering kan worden ingezet. Een deel van het werk is routinematig. Maar ook uitzonderingssituaties komen voor. Hiermee zal de robot adequaat moeten kunnen omgegaan. De inzet van robots mag bovendien geen gevaar opleveren voor monteurs, klanten en eventuele voorbijgangers. Veiligheid is een basisvoorwaarde voor de inzet van robots. Conventionele industriële robots, met hun zware zwaaiende armen, werken daarom vaak afgeschermd in veiligheidskooien om incidenten te voorkomen (Polderman, 2015).

Vragen om te beantwoorden zijn: Wat is de huidige stand van de techniek? Welke vorm van robotisering is wenselijk? Is dit economisch haalbaar? Welke human factor-aspecten spelen een rol bij robotisering? Welke ethische aspecten spelen een rol bij het robotiseren van werk dat eerst door mensen werd gedaan? Ook cyberprotectie moet in ogenschouw worden genomen. De vraag is of de huidige op afstand bestuurde systemen op dit moment voldoende robuust ontworpen zijn om cyberaanvallen te weerstaan. De besturing en controle van de robot mag niet overgenomen worden door derden, waarbij de robot opdracht kan worden gegeven om kritische infrastructuur 'aan te vallen' en uit bedrijf te nemen. Cyberprotectie dient dan ook in staat te zijn om cyberaanvallen te detecteren en te pareren (TNO, 2015).

Ook robots die autonoom navigeren, dus zonder afstandsbesturing, kunnen worden aangevallen. De sensoren van een robot kunnen gevoelige gegevens verzamelen van personen en systemen in de omgeving. Via een cyberaanval kan worden geprobeerd om deze gegevens te verkrijgen. Hiermee kan bedrijfsspionage worden gepleegd. Een robot zelf kan ook een interessant doelwit zijn, bijvoorbeeld omdat de robot veel geld waard is op de zwarte markt of omdat een aanvaller een incident met een robot wil gebruiken als afpersmiddel.

Een belangrijke uitdaging ligt in het vormgeven van de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken. De onderhoudsmonteur werkt veelal in teams van ten minste twee monteurs. De manier waarop in de toekomst mens en robot *samenwerken*, ofwel de keuze voor een vorm van robotica, is van belang voor de kwaliteit van de bedrijfsvoering. Er zijn volgens ons verschillende scenario's of vormen van robotisering denkbaar bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken. Een voorbeeld is een vorm waarin de

monteur de robot (op afstand) bestuurt, zoals in het geval van de rioolinspectierobot. Een ander voorbeeld is een vorm waarbij de robot autonoom werkzaamheden uitvoert en een deel van het werk van de monteur heeft overgenomen. Denk hierbij aan het eerder beschreven voorbeeld van de PIRATE-robot die autonoom het lagedruk gasnetwerk inspecteert en zo nodig repareert. In dit voorbeeld is nauwelijks meer sprake van een samenwerking tussen monteur en robot. Hoe autonoom is echter autonoom? Er kunnen zich natuurlijk altijd situaties voordoen waar het systeem niet op is ontworpen. Ook kunnen kritieke componenten van de robot stuk gaan. De mens zal voornamelijk nodig blijven, al is het maar als back-up van de robot.

Slim samenwerken

Een kansrijk scenario lijkt ons te liggen in de vorm waarin mens en robot(s) *slim samenwerken* bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken. Robots zijn in dit scenario in de eerste plaats een aanvulling op de competenties van de monteur. Zoals we hebben laten zien in dit paper stellen robots de onderhoudsmonteur in staat om werk te doen dat voorheen niet of nauwelijks mogelijk was, zoals inspectie vanuit de lucht van hoogspanningskabels of juist ondergronds van gasnetwerken. Ook kunnen robots hoog-risicotaken overnemen van monteurs: taken die een risico vormen voor de veiligheid van de monteur, zoals werk op grote hoogte of aan hoogspanningsinstallaties. Slim samenwerken verwijst hierbij in onze optiek naar de manier waarop taken dynamisch toebedeeld worden aan onderhoudsmonteur of robot. Taken worden toegevoegd of verwijderd van de takenlijst afhankelijk van de situatie en de toestand van de robot, monteur of omgeving. Bij gevaarlijke taken neemt de robot het initiatief, of als de monteur druk is. Dit wordt ook wel adaptieve automatisering genoemd. In deze situatie lijkt ons de naam *adaptieve robotica* meer toepasselijk.

Het scenario van slim samenwerken laat toe dat op transparante wijze werkafspraken worden gemaakt over de toewijzing van (deel)taken aan de robot (van tevoren en gedurende het werk). Zowel de monteur als de robot kan met een voorstel komen. Monteurs kunnen hierbij bijvoorbeeld de condities opgeven waaronder een robot autonoom mag navigeren (bijvoorbeeld de afwezigheid van mensen in de nabijheid) en de condities waaronder de robot de controle over moet geven aan de monteur. Een uitdaging is hoe de communicatie bij het maken van werkafspraken binnen monteur-robot-teams moet worden vormgegeven (zie ook Neerincx, Van Diggelen & Van Breda, 2016).

Over de tijd kunnen de mens en robot leren wat effectieve afspraken zijn in bepaalde omstandigheden

en zodoende leren om goed in te spelen op nieuwe situaties. Doordat mens en robot samenwerken en elkaar aanvullen, kunnen ze omgaan met wisselende omstandigheden en elkaars (tijdelijke) tekortkomingen. Een belangrijk voordeel van adaptieve robotica is dat de monteur actief onderdeel blijft uitmaken van de gezamenlijke taakuitvoering, waardoor de potentie voor 'human' error van zowel monteur als robot tot een minimum wordt beperkt (zie ook Endsley & Kiris, 1995).

Tot besluit

We begonnen dit paper met de opmerking dat voor de daadwerkelijke inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur er een aantal generieke vraagstukken dient te worden geadresseerd. Deze uitdagingen komen voort uit de vraag hoe de robot succesvol in de bedrijfsvoering kan worden ingepast. Een van deze uitdagingen betreft veiligheid. Zowel de veiligheid van het besturingssysteem van de robot tegen aanvallen van buiten, als de veiligheid van de monteur, klanten en voorbijgangers. Een andere belangrijke uitdaging is de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken om een effectieve bedrijfsuitvoering te realiseren. Hoe stuurt de monteur de robot aan? Hoe vertelt de robot de monteur dat hij taken wil overnemen? De monteur moet bovendien kunnen zien wat de toestand is van de robot: wat doet de robot? Wat is de status van het werk? Het is noodzakelijk dat de robot op zijn beurt de werkbelasting van de monteur kan vaststellen. Het vaststellen van hoge werkbelasting kan de robot dan doen besluiten dat de monteur het werk niet meer aankan. Is dat wenselijk? Hoe dient dan de werkbelasting te worden bepaald? Is dit een taak van de monteur zelf? Of levert dit alleen maar extra werklust op en kunnen beter meer objectieve fysiologische maten worden gebruikt, zoals via hartslagvariabiliteit (zie Stuiver & Mulder, 2015)? Betekent dit dan dat de robot de fysiologische toestand van de monteur moet kunnen vaststellen? Bijvoorbeeld via sensoren die de monteur op of in zijn of haar lichaam draagt? De vraag is of de monteur dit wel wil. Want wat als deze gegevens in 'verkeerde' handen vallen en straks niet alleen de robot maar ook de baas de beschikking heeft over deze data. Mag de baas dan deze gegevens gebruiken om te bepalen hoe fit zijn monteurs zijn? Al met al een hoop vragen waar nog geen duidelijk antwoord op is. Het mag duidelijk zijn dat Human Factors-experts een belangrijke rol kunnen spelen bij het beantwoorden van deze vragen.

Referenties

- Blidberg, D.R. (2001). The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs); A Brief Summary, ICRA.
- De Wilde Ingenieursgroep (2013). Graafschade aan kabels en leidingen voorkomen. Verkregen op 26 juni 2016, van : <https://www.dewildegroep.nl/ingenieursgroep/in-het-wild/item/12-graafschade-aan-kabels-en-leidingen-voorkomen>.
- Endsley, M.R., & Kiris, E.O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(2), 381-394.
- H2020 Call 2 ICT24 (2015). Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe. Horizon 2020. Release B 06/02/2015.
- Houtekamer, C. (2014). Robotrevolutie. NRC.nl. verkregen op 26 juni 2016, van : <http://www.nrc.nl/next/van/2014/september/20/robotrevolutie-1419518>.
- Kenniskamer (2011). Intelligente Robots: Feiten, fabels en ficties. Publicatienr.: j-9163. Pagina 45-49. Den Haag: Ministerie van Veiligheid en Justitie.
- Neerincx, M.A., Diggelen, J. van, en Breda, L. van (2016). Interaction Design Patterns for Adaptive Human-Agent-Robot Teamwork in High-Risk Domains. In: *13th Conference on Engineering Psychology & Cognitive Ergonomics. Lecture Notes in Computer Science*. Springer Link.
- Polderman, L. (2015). De nieuwe robot leert steeds beter samenwerken met de mens. Management Team. Verkregen op 24 juni 2016, van : <http://www.mt.nl/673/88341/made-in-nl-smart-industry/de-nieuwe-robot-leert-steeds-beter-samenwerken-met-de-mens.html>.
- Ruesink, J. (2009). Robot Pirate snuffelt straks in leidingen naar gaslek. *Tubantia* 10/11/2009.
- Ruitenbeek, E., Gemert, I. van, & Gentiluomo, F. (2015). Monteur van de toekomst. Interne presentatie Alliander NV.
- Stuiver, A., & Mulder, B. (2015). Cardiovascular state changes in simulated work environments. *Frontiers in Neuroscience*, 256-267.
- TNO (2015). Veilige robotica voor onderhoud aan het energienetwerk. Projectvoorstel.

Over de auteurs



Dr. R. van der Kleij
Senior onderzoeker
National Security & Crisismanagement
TNO Soesterberg
rick.vanderKleij@TNO.NL



Prof. dr. J.M. Schraagen
Principal Scientist
TNO Soesterberg
Hoogleraar Toegepaste Functieleer
Vakgroep Cognitieve psychologie en
Ergonomie
Universiteit Twente



Prof. dr. M.A. Neerincx
Principle Scientist
TNO Soesterberg
Hoogleraar Human-Centered
Computing
Technische Universiteit Delft