

Sichere Interaktion von Mensch und Maschine

Intelligente Personalroboter erobern immer mehr Arbeitsbereiche. Dieser Bericht erläutert, wie diese Roboter definiert sind und für welche Anwendungen sie heute einsetzbar sind. Insbesondere werden die Voraussetzungen und unterschiedlichen Aspekte für die sichere Zusammenarbeit mit dem Menschen betrachtet.



Dr. Hansruedi Früh,
Gründer von
Neuronics



Janine Deufel,
Marketing bei
Neuronics

Vom Industrieroboter zum Personalroboter

Der Karosserie-Rohbau in Autofabriken ist ein klassisches Beispiel für hocheffiziente Einsätze von Industrierobotern. In den letzten zehn Jahren hat sich jedoch ein neuer Bereich der Robotik immer mehr etabliert: Die Service-Robotik. Darunter versteht man Roboter, die Dienstleistungen erbringen. Sie sind meist auf einer fahr-

baren Plattform installiert und können dank ihrer Mobilität verschiedenste Aufgaben vom Menschen übernehmen. Diese reichen von Reinigungsaufgaben (inklusive Staub saugen, Fenster putzen und Rasen mähen) bis hin zur Betreuung von alten Menschen. Die Service-Robotik ist viel stärker abhängig von optimierter Sensorik und situativer Entscheidungsfindung als die traditionellen Industrieroboter. Die Umgebung kann sich laufend ändern, unvorhergesehene Interaktionen sind Teil des Hauptprogramms und nicht mehr allein dem Exception-Handling überlassen.

Die Entwicklung von Steuerungen für diese neuen Generationen von Robotern beruht deshalb auf ganz andern Prämissen als diejenige der Industrieroboter, die von einem fixen Koordinatensystem, konstanten Lichtverhältnissen und keinen «Störungen» durch den Menschen ausgehen konnten. Insbesondere wurden folgende Technologien stark weiterentwickelt:

- Anpassungs- und Lernfähigkeit durch Methoden der künstlichen Intelligenz



1

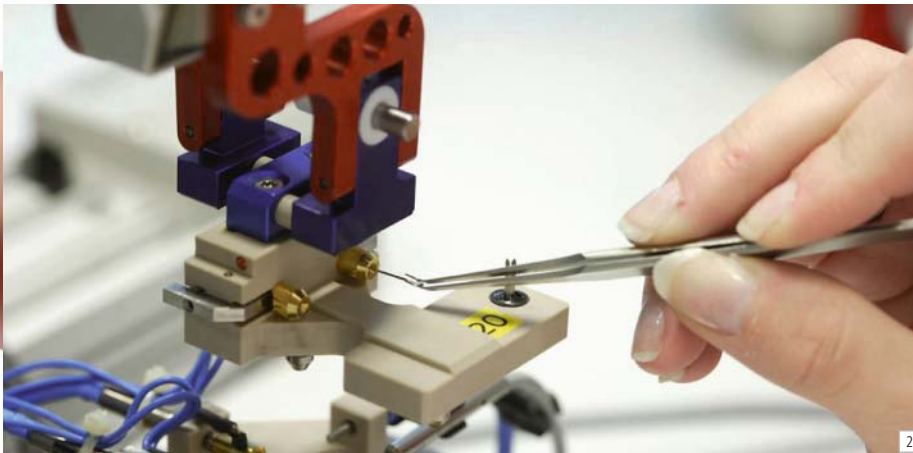


Bild 1 und 2: Direkte Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Die Aufnahme zeigt eine Montage-Mitarbeiterin der Firma Inficon AG und einen «Katana»-Roboterarm, die auf dem gleichen Arbeitstisch «Hand in Hand» zusammenarbeiten.

- Verarbeitung von bewegten Bildern
- Redundante multimodale Sensorik (beispielsweise gleichzeitige akustische und taktile Wahrnehmung)
- Interaktionsfähigkeit mit Menschen (Übergeben von Objekten et cetera)
- Neue Ansätze im Bereich der Sicherheit

All diese Entwicklungen konnten nun auch für neue Roboter-Anwendungen in der Industrie in Betracht gezogen werden. Das ermöglichte die Schaffung einer neuen Roboter-Klasse, die sogenannten Personalroboter. Deren Definition ist zurzeit vorläufig, denn es wird dauern, bis diese Roboter-Typen in Reglementen und Schulbüchern einheitlich beschrieben werden. Diese zur Zusammenarbeit mit Menschen fähigen Roboter können sowohl in Industrieanwendungen wie auch im Dienstleistungsbereich wirken. Das ist keineswegs selbstverständlich, denn grundsätzlich sind Roboter gefährlich, da sie nebst der Entwicklung von hohen Geschwindigkeiten und Kräften auch unvorhergesehenes Verhalten zeigen können. Intelligente Personalroboter zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- sie sind stationär und mobil einsetzbar
- sie sind fähig, für Industrie- und Dienstleistungsanwendungen zu wirken
- sie können mit Menschen kommunizieren und zusammenarbeiten
- sie sind für Menschen ungefährlich
- sie erlauben eine intuitive, einfache Programmierung
- sie reagieren entsprechend auf veränderte Situationen
- sie lassen sich flexibel in ständig wechselnde Arbeitsprozesse integrieren

Solche Personalroboter sind bereits im Einsatz und werden stetig weiterentwickelt. Ein Beispiel sind die Leichtbau-Roboterarme des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), die zusammen mit Kuka für verschiedene

Anwendungen im Industrie- und Dienstleistungsbereich optimiert werden. Diese Roboter können von Hand geführt werden, verfügen über Drehmomentsensoren und erlauben den Einsatz auf mobilen Plattformen.

Menschliches Montage-Know-how kombiniert mit sicherer Automation

Die europäische Initiative (EUROP) will Europa zum führenden Kontinent im Bereich Personal- und Service-Robotik machen und wird von der EU in grossem Umfang gefördert. Aber auch in den USA und Asien sind gewaltige Anstrengungen im Gange, da alle Zukunftsprognosen für den Einsatz dieser Roboter hohe Potenziale voraussagen. Auch die Schweiz ist bei dieser Entwicklung führend mit dabei. Die Neuronics AG mit Sitz im Technopark Zürich hat im Jahr 2001 die erste industrielle Anwendung mit dem intelligenten Personalroboter «Katana» realisiert. Das Unternehmen nutzt die neuesten Technologien und Entwicklungen aus der interdisziplinären Forschung und lässt diese in seine intelligenten Personalroboter einfließen. Mittlerweile ist die vierte Generation der «Katana»-Familie auf dem Markt. Die Neuronics-Roboter werden heute zu über 80 Prozent ins Ausland exportiert. Die Anwendungsgebiete des Personalroboters «Katana» sind breit gefächert. Er ist mittlerweile in den Bereichen Industrie, Service-Robotik, Forschung und Didaktik zu Hause. Ein besonderes Beispiel zum Thema Interaktion zwischen Mensch und «Katana» findet sich bei der Firma Inficon AG. Für den späteren Einsatz in Pirani-Sensoren werden dort Heizwendel auf Drahtstützen montiert und dabei auf einen vorgegebenen Widerstandswert abgeglichen. Dieser zum strategischen Kerngeschäft von Inficon gehörende Prozess ist dank optimaler Kombination von menschlichem Montage-Know-how sowie flexibler und

sicherer Automation auf ein bisher unerreichtes Produktivitäts- und Qualitätsniveau angehoben worden.

Hardware- und Software-Sicherheit

Die über Jahrzehnte einzige Schutzmassnahme für den Roboter-Einsatz bestand im Bau von grossräumigen Abschränkungen, die dem Menschen den Zutritt in den Gefahrenbereich unmöglich machten. Für Personalroboter ist dies keine Lösung. Zwei unterschiedliche Konzepte, die Hardware- und die Software-Sicherheit, erlauben mittlerweile die Interaktion von Mensch und Maschine. Unter der Hardware-Sicherheit wird hier die Sicherheit des Roboters allein aufgrund der dafür genügend sicher gestalteten Mechanik, Elektronik und Dynamik verstanden. Am Beispiel des «Katana»-Roboters wird dieses Konzept im nächsten Kapitel vorgestellt.

Bei der Software-Sicherheit wird mit Hilfe von Software-Tools der Roboter auf einen bestimmten Arbeitsbereich eingestellt. Zudem hält er an oder weicht aus, wenn ein Mensch in den Arbeitsbereich eintritt. Dies kann aufgrund von komplexer Sensorik und mehrfach geführten Informationskanälen erreicht werden. Allerdings ist die Zuverlässigkeit der Software-Sicherheit heute nur für klar definierte Anwendungen gegeben und sehr kostenintensiv.

Auf Hardware basierende Sicherheit

Um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, die auf der Basis einer ausführlichen Risikoanalyse erarbeitet wurden, verfügt «Katana» über diverse Komponenten, die in erster Linie Sicherheitsaspekte erfüllen. Es sind dies im Wesentlichen:

Polsterungen:

An allen exponierten Stellen wie Gelenken, Greiferbasis und Greiffingern sind Polsterungen aus Kunststoff angebracht. Der Weichheitsgrad kompensiert das vorhandene Drehmoment bei maxi-

Bild 3: Intelligente Personalroboter lassen sich vielseitig einsetzen und schaffen durch das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine eine höhere Produktivität.

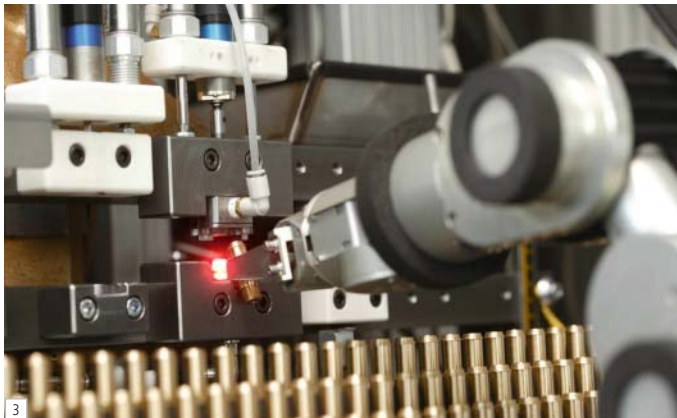
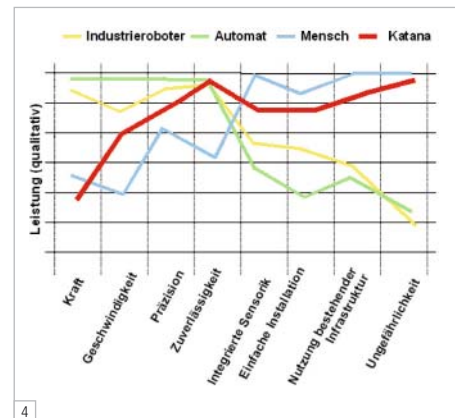


Bild 4: Traditionelle Industrieroboter und Automaten (Sondermaschinen) sind bei den Kriterien im linken Bereich der Grafik im Vorteil, Menschen bei denen im rechten Teil des Bildes. Die Personalroboter überzeugen hingegen durch die Abdeckung des Grossteils aller Bereiche.



malen Geschwindigkeit und ausgestrecktem Arm auf ein unbedenkliches Niveau.

Einklemmschutz:

Um die Gefahr von Verletzungen durch Einklemmen, zum Beispiel eines Fingers, auf ein unwahrscheinliches Niveau zu reduzieren, umschliessen Faltenbälge gefährliche Stellen bei den Gelenken. Bei den Greiffingern wird der Einklemmschutz durch weiche Innenseiten der Finger erreicht.

Reduzierte Geschwindigkeiten:

Die Geschwindigkeit pro Gelenk ist auf 90 ° pro Sekunde beschränkt. Dies ergibt in gestrecktem Zustand eine maximale Geschwindigkeit von etwa 1 m pro Sekunde, was mit der vorhandenen Polsterung keine substantielle Gefahr darstellt.

Reduzierte Kräfte:

Die Kraft des Armes ist auf das Heben von maximal 0,4 kg in gestrecktem Zustand beschränkt. Analoge Kräfte wirken bei seitlichen Bewegungen. Die aufgrund der Maximalgeschwindigkeit und der Eigenmasse entstehenden Kräfte können bei diesem Maximalgewicht durch die Polsterungen auf ein gefahrloses Level reduziert werden.

Niedrigstspannung für elektrische Sicherheit:

Die Spannung beträgt 24 V. Dadurch und dank der Verwendung geprüfter, externer Stromadapter für den Anschluss an 220-V-Steckdosen ist die elektrische Sicherheit gegeben.

Auf Software basierende Sicherheit

Durch die Weiterentwicklung der passiven Sicherheit, wie etwa elastische Gelenke, weitere Gewichtsreduktion und noch bessere Polsterungen kann der Anwendungsbereich von Robotern mit Hardware-Sicherheit künftig weiter erhöht werden. In Bezug auf Entwicklung von Software-Sicherheit ist zurzeit weltweit ein enormer Aufwand im Gange. Forschungsinstitute und Roboterfirmen arbeiten an neuen Technologien in Informatik, Sensorik und

Schnittstellen-Standards, um eine so hohe Sicherheit zu erreichen, dass Menschen auch durch Roboter mit hohen Kräften nicht verletzt werden können. Trotz vieler Rückschläge sind aber grosse Fortschritte gemacht worden, die auf Software-Sicherheit basierende Anwendungen für Teilbereiche bereits ermöglichen. Sogenannte Safety-Controller überwachen basierend auf dem Kinematikmodell alle Achsbewegungen des Roboters im Raum, das heisst, sie sind in der Lage, auch das Zusammenspiel mehrerer Achsen zu erfassen. Auf diese Weise können zum Beispiel an Knickarm-Robotern sogenannte kartesische Nocken definiert werden. Bei diesen handelt es sich um virtuelle Arbeitsbereiche beliebiger Geometrie, innerhalb derer sich die Roboterachsen oder das Roboterwerkzeug bewegen dürfen. So werden bislang mechanische Sicherheitsfunktionen auf die Steuerungsebene verlagert. Sobald der Roboterarm den zulässigen Arbeitsbereich verlässt, wird die Maschine abgeschaltet. Der Roboter kontrolliert sich somit selbst. Es ist sicherheitstechnisch ausgeschlossen, dass er die erlaubten, in der Steuerung hinterlegten Zonen verlässt und den Bediener gefährdet: Die Software ist zweikanalig aufgebaut und erfüllt die Anforderungen der Steuerungskategorie 3 nach DIN EN 954-1.

Der Safety-Controller verhindert zwar, dass der Roboter seinen Arbeitsbereich verlässt. Er kann den Menschen aber nicht daran hindern, in den Arbeitsbereich des Roboters einzudringen. Um hier eine Gefährdung auszuschliessen, ist ein Nachgeben der Gelenke aufgrund von Kraftreglern notwendig, die in Echtzeit einwirkende Aussenkräfte erkennen. Diese Technik ist beispielsweise bei DLR-Robotern gut etabliert. In der Praxis ist es aber nicht immer einfach, zwischen Krafteinwirkungen zu unterscheiden, die von Menschen beziehungsweise dem zu bewegendem Objekt oder dem Widerstand beim Bearbeiten oder Absetzen des Objektes aus-

gelöst werden. Ein weiteres Sicherheitstool ist die Unterbrechung des Programmablaufes zur Freigabe eines Arbeitsschrittes an den Menschen. Solche Anwendungen sind bereits realistisch. Der Roboter wurde nicht per Notstopp ausgeschaltet (wie das beim Eintritt in den Schutzbereich von Industrierobotern erfolgt), sondern das Programm wartet die Manipulation durch den Menschen ab. So kann ein Bearbeitungs- oder Andockungsvorgang im Greifbereich vom Menschen durchgeführt werden. Beispielsweise kann ein Roboter ein Teil halten, während ein Bediener es bearbeitet. Nachdem dieser aus der Gefahrenzone ausgetreten ist, setzt der Roboter das Programm fort. Eine weitere Möglichkeit ist die Reduktion der Geschwindigkeit oder ein Programmstopp beim Eintritt einer Person in den Arbeitsbereich des Roboters. Mittels Wahrnehmung durch mehrere Kameras sowie weiterer Sensoren wird der Zutritt von Personen in den Arbeitsbereich des Roboters erkannt und ohne Unterbrechung der Produktion ermöglicht. Dies ist beim Programmieren des Roboters sinnvoll: Der Bediener kann unmittelbar den Prozess beobachten. Darüber hinaus schafft diese Art der Sicherheitssteuerung die Voraussetzungen für die Zusammenarbeit mit dem Menschen auch für Roboter mit hohen Kräften. Diese Systeme werden aber noch lange nicht vollkommen gefahrlos sein. Denn die eindeutige und zuverlässige Erkennung von Menschen unterschiedlicher Grösse, Lage, Kleidung et cetera erfordert enorme Leistungen der Sensorik, Datenverarbeitung und IT-Sicherheit. Trotzdem werden immer mehr Möglichkeiten durch Software-Sicherheit erreicht, insbesondere dann, wenn sie mit den vorher beschriebenen Möglichkeiten der Hardware-Sicherheit sowie weiteren anwendungsbezogenen Vorsichtsmassnahmen optimal kombiniert werden. ■

Neuronics AG, www.neuronics.ch