

# Interaktive Wartungs- und Inspektionsroboter

## Einsatzszenarien und Schlüsseltechnologien für die multimediale, teilautonome Steuerung

Eine wichtige Aufgabe des Personals industrieller Prozessanlagen besteht in der regelmäßigen Inspektion und Wartung der Anlagentechnik. Viele dieser Arbeiten sind einfache Routinearbeiten, die durch autonome oder teleoperierte mobile Roboter übernommen werden können. Insbesondere in für Menschen gefährlichen Umgebungen wie z. B. auf Offshore-Anlagen sowie in chemischen oder petrochemischen Produktionsanlagen kann damit nicht nur eine Senkung der Betriebskosten, sondern auch eine Verbesserung der Arbeitssicherheit erzielt werden. Durch die direkte Interaktion der Roboter mit dem Personal vor Ort, z. B. zur Instruktion neuer Aufgaben oder zur Unterstützung in Problemsituationen, kann zudem der Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften reduziert werden.

Für den sicheren Betrieb und die Akzeptanz bei den Benutzern ist eine möglichst einfache und intuitive Steuerung der eingesetzten Roboter notwendig. Ziel des Forschungsvorhabens ImRoNet war es deshalb, neue, multimediale/multimodale Nutzerschnittstellen zur intuitiven Bedienung von Robotern in diesem Einsatzfeld zu konzipieren und experimentell zu validieren. Dabei wurden sowohl Benutzerschnittstellen zur Teleoperation als auch zur direkten Interaktion der Roboter mit dem Personal vor Ort betrachtet. Für die Umsetzung entsprechender Anwendungsszenarien zur roboterbasierten Unterstützung eines Arbeiters vor Ort sowie zur teilautonomen Teleoperation wurden im Rahmen von ImRoNet zwei neue Roboterplattformen aufgebaut. Zwei der umgesetzten Szenarien und die dafür entwickelten Schlüsseltechnologien werden im Folgenden näher beschrieben (Bild 1).

### AR-unterstützte Wartung vor Ort

Bei der AR-unterstützten Wartung hat der Benutzer vor Ort die Möglichkeit, ein an einem mobilen Manipulator angebrachtes Bedienpanel zu steuern. Das Bedienpanel ist mit einer Kamera ausgestattet, deren Bild auf

den Bildschirm übertragen wird. Mittels Augmented Reality können in dieses Bild weitere Informationen wie z. B. Arbeitsanweisungen oder aktuelle Prozessparameter integriert werden. Das AR-System kommt dabei ohne externe Marker zur Referenzierung aus, da die Position des Displays und damit der Kamera im Raum jederzeit aus der Roboterposition errechnet werden kann. Über eine am Bedienpanel angebrachte 6-D-Maus können sowohl Arm- als auch Plattformbewegungen vorgegeben werden. Mit Hilfe der Sensorik des Roboters wird sichergestellt, dass dabei keine Kollisionen mit dem Benutzer oder der Umgebung auftreten.

### Teilautonome Teleoperation

Der für die teleoperierte Durchführung von Wartungs- und Inspektionsaufgaben wie z. B. dem Ablesen von Anzeigen oder Drehen von Stellrädern eingesetzte Roboter ist mit einem 3-Finger-Greifer am Roboterarm und erweiterter Sensorik zur 3-D-Umgebungserfassung und Kollisionsvermeidung ausgestattet. Mit Hilfe eines haptischen Eingabegeräts fährt der Bediener den Roboter durch die Umgebung, um mit diesem so in die Nähe der zu inspizierenden oder zu manipulierenden Objekte zu gelangen. Die graphische Benutzeroberfläche visualisiert dabei die Umgebung des Roboters sowie relevante Sensordaten. Haptische Vibrationseffekte geben Rückmeldung über drohende Kollisionen mit Hindernissen und erhöhen so die Sicherheit. Erkennt der Roboter mit Hilfe seiner Sensoren ein Stellrad oder eine Anzeige, so wird dieses in der Benutzeroberfläche angezeigt. Über das haptische Eingabegerät kann der Bediener ein Objekt auswählen und nachfolgend den automatischen Betrieb des Roboters starten. Dieser fährt zunächst zu einer für die Aufgabe geeigneten Position. Je nach Art des ausgewählten Objekts wird dann z.B. automatisch ein Stellrad gegriffen und auf- oder zuge dreht oder die Kamera auf das Zielobjekt fokussiert und das Bild auf die Benutzeroberfläche übertragen.

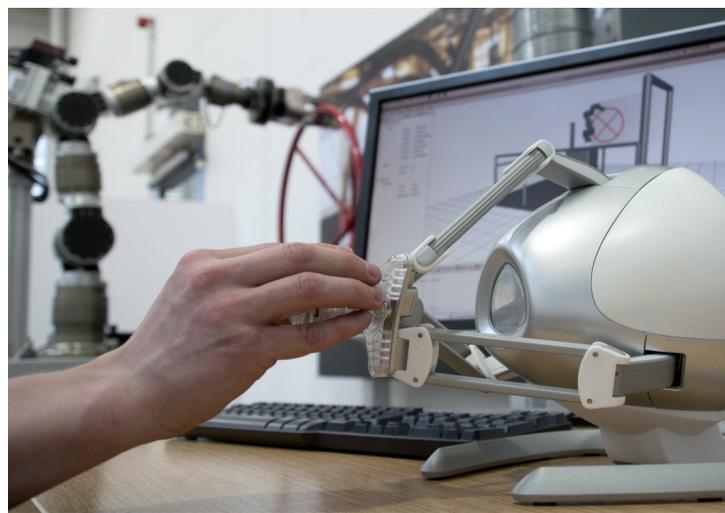


Bild 1 Demonstrator für die Unterstützung eines Arbeiters vor Ort (links), Demonstrator für die teleoperierte Instruktion und teilautonome Aufgabenausführung (Mitte), Bedienerschnittstelle mit Visualisierung und haptischem Eingabegerät (rechts).

## Schlüsseltechnologien

Die Umsetzung der Anwendungsszenarien bedingt den Einsatz vieler verschiedener Technologien. Die Aufgabe des Fraunhofer IPA in ImRoNet bestand neben der Integration der Anwendungsszenarien in der Entwicklung neuer Methoden zur Umgebungsmodellierung, anwendungsspezifischen Objekterkennung, mobilen Manipulation sowie der Umsetzung der haptischen Benutzerschnittstelle für die Teleoperation.

Als Basis für die kollisionsfreie autonome Navigation besitzt der Roboter bereits eine 2-D-Karte, welche bei der Inbetriebnahme eingelernt und auf Basis von Sensordaten ständig aktualisiert wird. Weiterhin werden von statischen Hindernissen wie Wänden, Geländern oder Maschinen 3-D-Modelle erstellt und dem Roboter zur Verfügung gestellt. Für die Manipulation in veränderlichen Umgebungen, z. B. in der Nähe von Menschen, muss diese 3-D-Umgebungskarte zudem durch dynamische 3-D-Objekte ergänzt werden. Dazu werden im Kamerabild spezielle Merkmalspunkte extrahiert und deren Position mit Hilfe eines mit der Kamera gekoppelten 3-D-Tiefensensors errechnet. Weitere Verarbeitungsschritte beinhalten die Extraktion geometrischer Formen aus den erkannten Merkmalspunkten sowie die Integration der detektierten Objekte in das globale Umgebungsmodell.

Die Objekterkennung dient der Detektion von kreisförmigen Stellrädern und Anzeigen in Position und Orientierung als Basis für die teilautonome Teleoperation. Das hier beschriebene Verfahren verwendet ebenfalls einen 3-D-Tiefensensor zur Erzeugung einer dreidimensionalen Punktwolke sowie eines zweidimensionalen Tiefenbildes der Umgebung. Für die Detektion werden zunächst im 2-D-Tiefenbild Ellipsen extrahiert und dann auf den entsprechenden 3-D-Raumkoordinaten der Ellipsen Ebenen und Kreise eingepasst. Darauf aufbauend werden dann Radius, Normalenrichtung und Position des Objekts in der extrahierten Ebene bestimmt sowie eine finale Plausibilitätsanalyse des Detektionsergebnisses durchgeführt.

Für die automatische Manipulation detektierter Stellrädern ist die Armsteuerung in der Lage, auf Basis der errechneten Stellradposition und des lokalen Umgebungsmodells einen kollisionsfreien Pfad zu einer geeigneten Greifposition zu errechnen. Nachdem das Stellrad erreicht ist, wird basierend auf dessen Parametern sowie dem Umgebungsmodell eine Armtrajektorie berechnet, um das Stellrad in vorgegebener Richtung zu bewegen. Um Ungenauigkeiten der Sensorik auszugleichen und auf das Stellrad wirkende Kräfte zu kompensieren, wird zudem auf Basis eines am Handgelenk angebrachten Kraft-Momentensensors ein überlagerter Kraftregelalgorithmus eingesetzt. Soll ein sehr großes Stellrad bewegt werden, für das der Arbeitsraum des Manipulators nicht ausreicht, wird dieser durch die Synchronisation des Arm- und des Plattformreglers entsprechend vergrößert.

Für die intuitive Teleoperation wird ein haptisches Eingabegerät verwendet, welches Krafterückkopplungen erzeugen kann. Dazu werden zunächst haptische Oberflächen und Kraftfelder definiert und den Objekten im Umgebungsmodell zugewiesen. Während der Bewegung des Cursors über das haptische Eingabegerät wird kontinuierlich geprüft, ob es zu einer Kollision mit einem Objekt kommt und ggf. der entsprechende Effekt ausgelöst.

Weitere Informationen zu ImRoNet finden Sie auf dem Serviceroboterstand der AUTOMATICA in Halle A2 Stand 530 sowie unter [www.imronet.de](http://www.imronet.de). Das Projekt ImRoNet wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01MR06002 gefördert. Weitere Projektpartner: Universität Karlsruhe, Beckhoff GmbH, metaio GmbH, GPS GmbH, Schunk GmbH & Co. KG

### Kontakt

Dr.-Ing. Dipl.-Inf. Birgit Graf  
 Telefon +49 711 970-1910  
[birgit.graf@ipa.fraunhofer.de](mailto:birgit.graf@ipa.fraunhofer.de)