

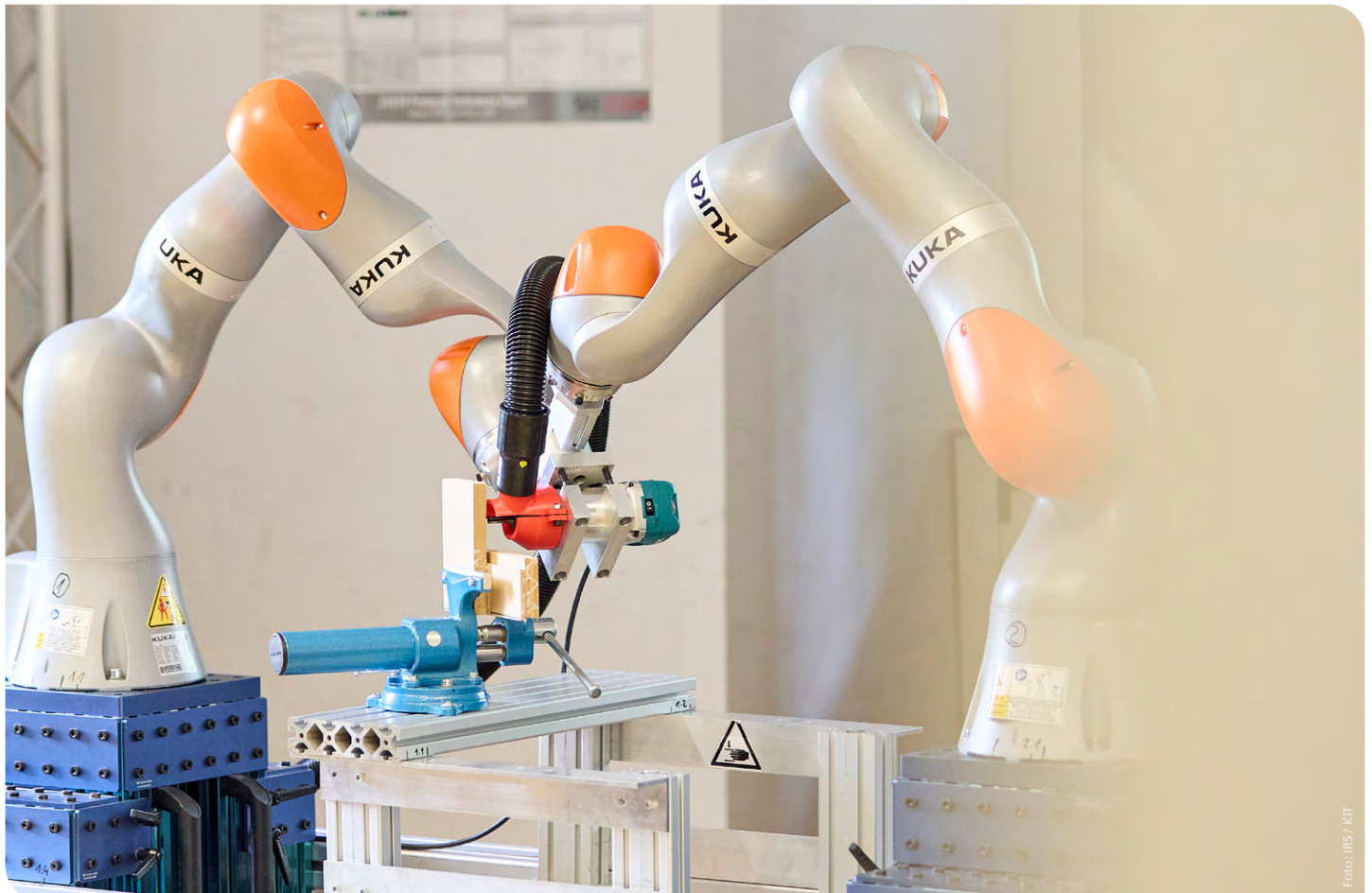
Präzise, kooperative Robotik

Intelligente Kooperation von Industrierobotern ermöglicht Flexibilität in der Produktion

Physisch gekoppelte Industrieroboter ermöglichen durch Kooperation in der Produktion anspruchsvolle Fertigungsprozesse, wie sie sich bisher nur mit klassischen Werkzeugmaschinen realisieren ließen. Noch erschweren die geringe Steifigkeit der einzelnen Roboter sowie Schwierigkeiten bei der Lastverteilung zwischen gekoppelten Robotern das Erreichen hoher Fertigungsgenauigkeiten. Die Komplexität der Roboterprogrammierung stellt eine weitere Herausforderung dar. Forschende am Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme (IRS) des KIT haben in Kooperation mit dem FZI Forschungszentrum Informatik ein neuartiges Regelungssystem entwickelt, das mit zwei gekoppelten Industrierobotern das Fräsen und Biegen von Metallteilen ermöglicht. Komplettiert wird das System durch eine Benutzerschnittstelle, über die Bedienende die gewünschte Bearbeitung in natürlicher Sprache an den Roboter übermitteln.

Herausforderung in der modernen Fertigung

Viele Fertigungsbetriebe stehen vor der Herausforderung, zunehmend individualisierte Produkte in kleinen Serien bei hoher Qualität zu fertigen. Konventionelle Werkzeugmaschinen liefern zwar höchste Präzision, sind aber teuer und auf klar definierte Aufgaben zugeschnitten; zudem erfordert ihre Bedienung geschultes Personal. Industrieroboter hingegen sind vergleichsweise kostengünstig und vielseitig einsetzbar. Sie stoßen jedoch bei anspruchsvollen Zerspan- und Umformprozessen an ihre Grenzen. Einzelne Roboter weisen eine zu geringe Steifigkeit auf, was unter hohen Prozesskräften zu Ungenauigkeiten führt. Zudem erschweren Sicherheitsanforderungen und fehlende Konzepte für eine intuitive Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter die Nutzung in mittelständischen Betrieben und Handwerksunternehmen.



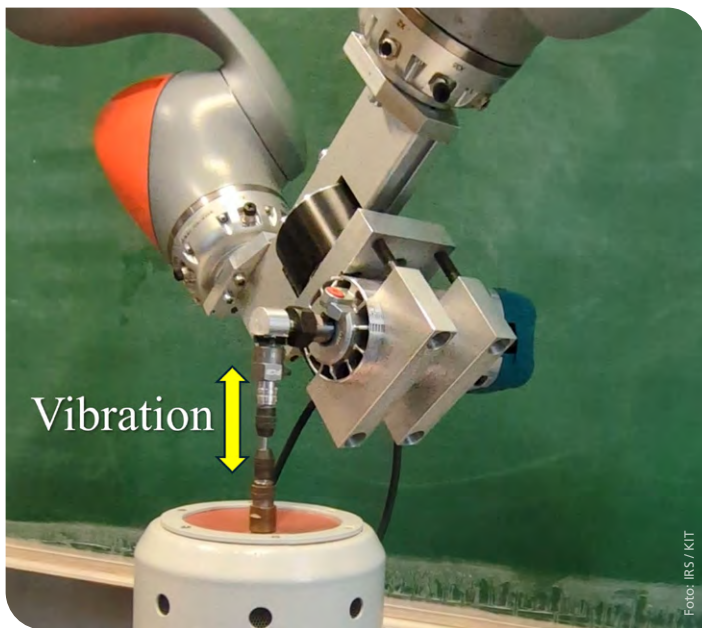
Flexible Bearbeitung einer hochpräzisen Fertigungsaufgabe mit zwei kooperierenden Robotern

Kooperative Manipulation mit zwei Robotern

Wenn die Fähigkeiten eines einzelnen Roboters nicht ausreichen, kann die kooperative Manipulation mit mehreren Robotern eine Lösung sein. Ein neuentwickeltes Regelungssystem der Forschenden vom IRS und FZI ermöglicht, Industrieroboter als echte Alternative zu klassischen Werkzeugmaschinen einzusetzen. Der Ansatz koppelt zwei Industrieroboter zu einem Gesamtsystem, das die für eine Fertigungsaufgabe benötigten Kräfte optimal verteilt und interne Verspannungen reguliert, sodass sich hohe Fertigungsgenauigkeiten erzielen lassen. Ein Demonstrator zeigt, wie zwei Roboterarme mit einem Werkzeugwechselsystem ein Werkstück biegen und einen Fräsvorgang anhand von Bewegungsabläufen demonstrieren.

Intelligente Regelung und Automatisierungsarchitektur

Beide Industrieroboter verfügen über integrierte Aktoren sowie Positions- und Drehmomentsensoren in den Gelenken. Die Forschenden haben eine Automatisierungsarchitektur aufgebaut, in der eine zentrale Recheneinheit alle Messdaten zusammenführt und



Evaluation der Steifigkeit und Stabilität des Systems anhand einer Schwingprüfanlage in einem breiten Frequenzband.

koordinierte Stellgrößen berechnet, die von dezentralen Robotersteuerungen umgesetzt werden. Zentrale Komponente des zugrundeliegenden Regelungskonzepts ist die Trajektorienplanung, welche die Bewegungsabläufe der Roboter plant. Dabei wird die Konfiguration beider Roboter so gewählt, dass die Nachgiebigkeit gegenüber Prozesskräften gering ist und somit die Pfadgenauigkeit hoch bleibt. Eine modellprädiktive Regelung sorgt in Echtzeit dafür, dass die Prozesskräfte kontrolliert auf das Werkstück wirken. Zusätzlich ist ein Aufgabenplaner integriert, der die Befehle von Menschen in für das System verständliche Aufgaben umwandelt und die entsprechenden Fertigungsprozesse sequenziert. Die Methoden sind auf unterschiedliche Robotertypen und höhere Roboterzahlen übertragbar, sofern geeignete Schnittstellen und Sensoren vorhanden sind.

Intuitive Aufgabenplanung mit Sprachmodell

Um die Bedienung der kooperativen Roboter intuitiv und flexibel zu gestalten, entwickelt das IRS neben der regelungstechnischen Methodik auch eine Bedienschnittstelle basierend auf künstlicher Intelligenz (KI). Die KI-Schnittstelle kann auf Basis von Informationsmodellen des technischen Systems und Text- oder Spracheingaben einer bedienenden Person, wie Angaben zu Material, Biegewinkel oder Fräsweg, aufgabenspezifische Regelungsparameter für die Roboter und Werkzeuge extrahieren. Mithilfe der extrahierten Information erledigt das KI-System anschließend die Aufgabenplanung und führt diese nach Bedarf selbstständig durch. Dadurch können Nutzende ohne spezielle Robotik- oder Programmierexpertise das System konfigurieren und für unterschiedliche Fertigungsschritte einsetzen.

Funktionale Absicherung im Einsatz

Ziel der Forschenden ist, kooperative Industrieroboter für eine breite Palette von Fertigungsprozessen einsetzbar zu machen. Besonders interessant ist dies für Unternehmen, die anstelle spezialisierter Maschinen auf flexible Roboterzellen setzen möchten, um unterschiedliche Bauteile und Prozesse auf derselben Hardware abzubilden. Langfristig streben die Forschenden am IRS an, Sicherheitsgarantien bereits in der Methodik der Regelung und Steuerung zu verankern, sodass Roboter ohne Schutzräume enger mit Menschen zusammenarbeiten können.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme (IRS) –
Functional Safety Control

Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann
Wilhelm-Jordan-Weg
76131 Karlsruhe
E-Mail: soeren.hohmann@kit.edu
Telefon: +49 721 608-43180
Web: <https://www.irs.kit.edu/955.php>

Xin Ye
Wilhelm-Jordan-Weg
76131 Karlsruhe
E-Mail: xin.ye2@kit.edu
Telefon: +49 721 9654-181
Web: https://www.irs.kit.edu/People_3320.php



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe