

Rob@work: Assistentensysteme als Helfer in der Produktion

Evert Helms, Markus Dünne, Matthias Hans, Martin Hägele,

José Hostalet Wandosell, Bertram Rohrmoser

Fraunhofer Institut für
Produktionstechnik und Automatisierung
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
helms@ipa.fhg.de

Abstract

We present a robot assistant consisting of a mobile platform and a manipulator to support manual workplaces in production environments. In this contribution we show an intelligent task planning and execution module of a man-machine-interface and a sensor system for safe man-robot-cooperation.

Zusammenfassung

Wir präsentieren ein Assistentensystem bestehend aus mobiler Plattform und Manipulator zur Unterstützung manueller Arbeitsplätze in einer Produktionsumgebung. In diesem Beitrag wird insbesondere auf die intelligente Aufgabenplanung und -ausführung der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie auf ein System zur sicheren Mensch-Roboter-Kooperation eingegangen.

Einführung

Kleine Losgrößen, unvorhersehbare Produktionszeiträume und -volumen sowie gleichzeitig steigender Kostendruck und Qualitätsanforderungen verstärken das Spannungsfeld zwischen Flexibilisierung und Automatisierung in der Produktion. Eine Lösung für dieses Problem ist der Einsatz von mobilen und stationären Assistenzsystemen.

Assistenzsysteme unterstützen das flexibelste Arbeitssystem und den manuellen Arbeitsplatz, indem Aufgaben arbeitsteilig mit dem Menschen ausgeführt werden. Die sensorischen Fähigkeiten, das Wissen und die Geschicklichkeit des Menschen werden so mit den Vorteilen des Roboters (z.B. Schnelligkeit, Kraft, Genauigkeit und Medienresistenz) zu einem aufgewerteten Arbeitssystem verknüpft. Gerade in Bereichen wie der Montage, wo viele Tätigkeiten bisher manuell ausgeführt werden, führen die Assistenzsysteme zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Das Assistentensystem rob@work steht für die Vision eines einfach zu bedienenden intelligenten Helfers am Arbeitsplatz in der Produktion. Durch die Kombination einer mobilen und selbständig navigierenden Plattform mit einem Roboterarm und einer geeigneten Arbeitsraumüberwachung soll rob@work den Menschen bei Hol- und Bringdiensten sowie Montage- oder Handhabungsaufgaben unterstützen.

Die flexible und situativ abzusprechende Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine zur wirtschaftlichen Bewältigung von Fertigungsaufgaben ist ein wesentliches Element der „Humanzentrierten Automatisierung“, wie sie vom Fraunhofer IPA derzeit ausgearbeitet und exemplarisch umgesetzt wird (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: rob@work in Interaktion mit einem Werker[4] (HMI 2001)

Im Folgenden werden diese Komponenten des Assistentensystems rob@work näher beschrieben:

- Intelligente Aufgabenplanung und -ausführung
- Mensch-Roboter-Schnittstelle
- Sicherheitssystem zur arbeitsraumübergreifenden Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter.

Intelligente Aufgabenplanung und -ausführung

Die effektive Aufgabenausführung erfordert die Eigenintelligenz des Assistentensystems und die situative Nutzung der Intelligenz bzw. der Erfahrungswerte des Bedieners. Wesentlich ist daher die Fähigkeit der Maschine, belehrbar und lernfähig zu sein. Dies umfasst das Programmieren von Einzelbewegungen oder Prozessschritten, die Anpassung vordefinierter generischer Fertigkeiten (Skills) und schließlich das Erlernen kompletter Handlungsfolgen (Makroskills), um eine Aufgabe auszuführen. Der Aufbau der Steuerungsarchitektur des rob@work ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Kommunikation zwischen Mensch und Assistentensystem erfolgt über die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die vom Assistentensystem zu erledigenden Aufträge werden von diesem zum symbolischen Planer geschickt, der eine Liste der möglichen Aktionen generiert. Das Ausführungsmodul wählt die geeignetsten Aktionen aus und übergibt diese der Robotersteuerung. Ein Weltmodell wird in einer Datenbank abgelegt, die durch

Sensorinformationen permanent aktualisiert wird. Der aktuelle Stand der Aufgabendurchführung wird mittels der Mensch-Maschine-Schnittstelle dargestellt.

Die Datenbank enthält alle benötigten Informationen über die Umwelt des Assistentensystems. Hierzu gehören die Umgebungskarte sowie Informationen über enthaltene Objekte, wie Name, Eigenschaften (offen/geschlossen), Beziehungen (Teil von, liegt auf, ...), geometrische Eigenschaften (Oberfläche, Größe, ...), spezifische Informationen zum Identifizieren und Greifen des Objekts sowie Möglichkeiten zur Darstellung in der grafischen Benutzerschnittstelle.

Der symbolische Planer generiert eine Aktionsliste, um die Ziele, die der/die Benutzer festgelegt hat/haben, umzusetzen. Im Assistentensystem rob@work wird der FF-Planer [5] verwendet, der auf ADL (Action Description Language [15]) basiert. Der FF-Planer verwendet die standardisierte Planning Domain Description Language (PDDL[10]). Der symbolische Planer hat ferner die Möglichkeit, auf die Objekte in der Umgebungs-Datenbank zuzugreifen und die Information in PDDL-Format abzurufen.

Die vom symbolischen Planer generierten Pläne werden von sog. JAM Agents [6] ausgeführt. JAM ist eine BDI-Agentenarchitektur (Believe Desire Intention), die auf einem verfahrensorientierten Schlussfolgerungssystem (PSR, Procedural Reasoning System) von SRI International basiert. Nachdem Fakten (Beliefs), Ziele (Desires) und Fähigkeiten (Pläne und Einzelaktionen) von der Datenbank und dem symbolischen Planer definiert wurden, wird die Umsetzung während der Laufzeit von JAM-Agents ausgeführt und überwacht. Der Fortschritt der Ausführung wird über die Mensch-Maschine-Schnittstelle dargestellt und kann ggf. vom Benutzer geändert werden.

Mensch-Roboter-Schnittstelle

Eine wichtige Komponente des Assistentensystems ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Diese Komponente hat die Aufgaben verschiedene Eingabemöglichkeiten (Sprache, Zeigen, Auswählen, etc.) und Ausgabenformen (3D Weltmodell, Sensorinformationen, geplante Tätigkeiten, etc.) zu vereinen. Aus diesem Grund wurde für das Assistentensystem rob@work eine Software-Systemarchitektur für Bediensysteme in JAVA entwickelt (siehe Abbildung 3). Eine desktop-ähnliche Oberfläche bietet die Möglichkeit, verschiedene Ein- und Ausgabemodule über die Konfiguration laden zu können.

Der Benutzer kann dabei den Dialogverlauf über Desktop-Eigenschaften an sein Verhalten anpassen. Ein kontextabhängiges Hilfesystem ist in der Systemarchitektur implementiert, das über eine einfache Bedienung aktiviert werden kann.

Die Kommunikationsverbindungen zwischen den Bedienmodulen und dem Robotersystem werden mittels der Kommunikationstechnologie CORBA ermöglicht.

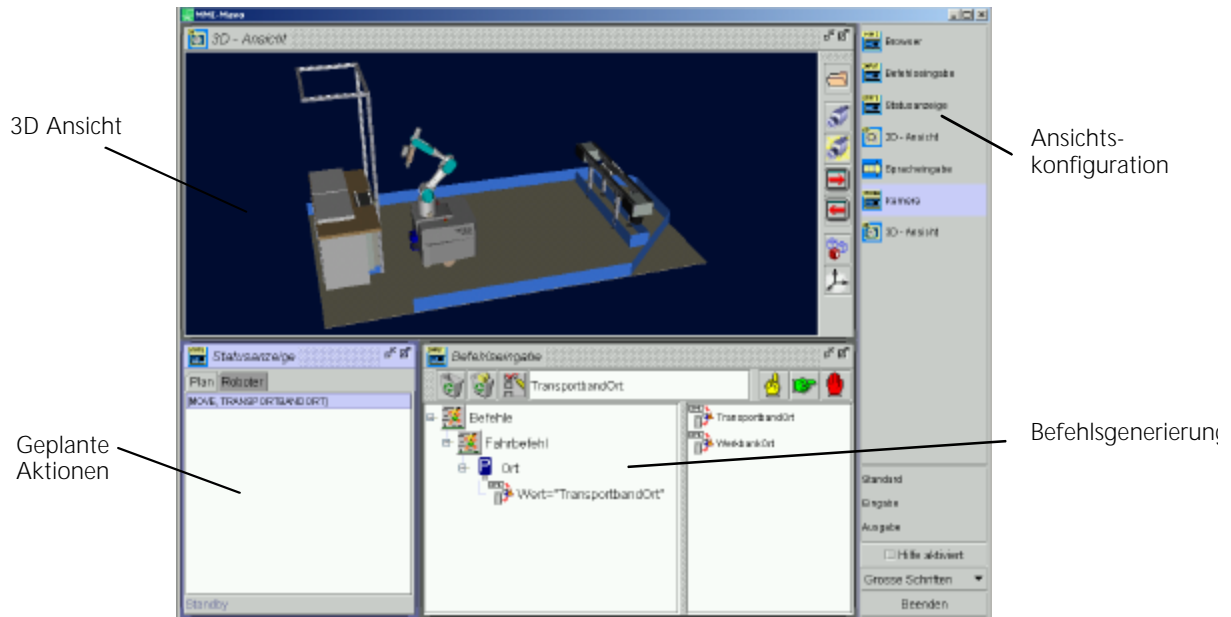


Abbildung 2: Bedienoberfläche des rob@work

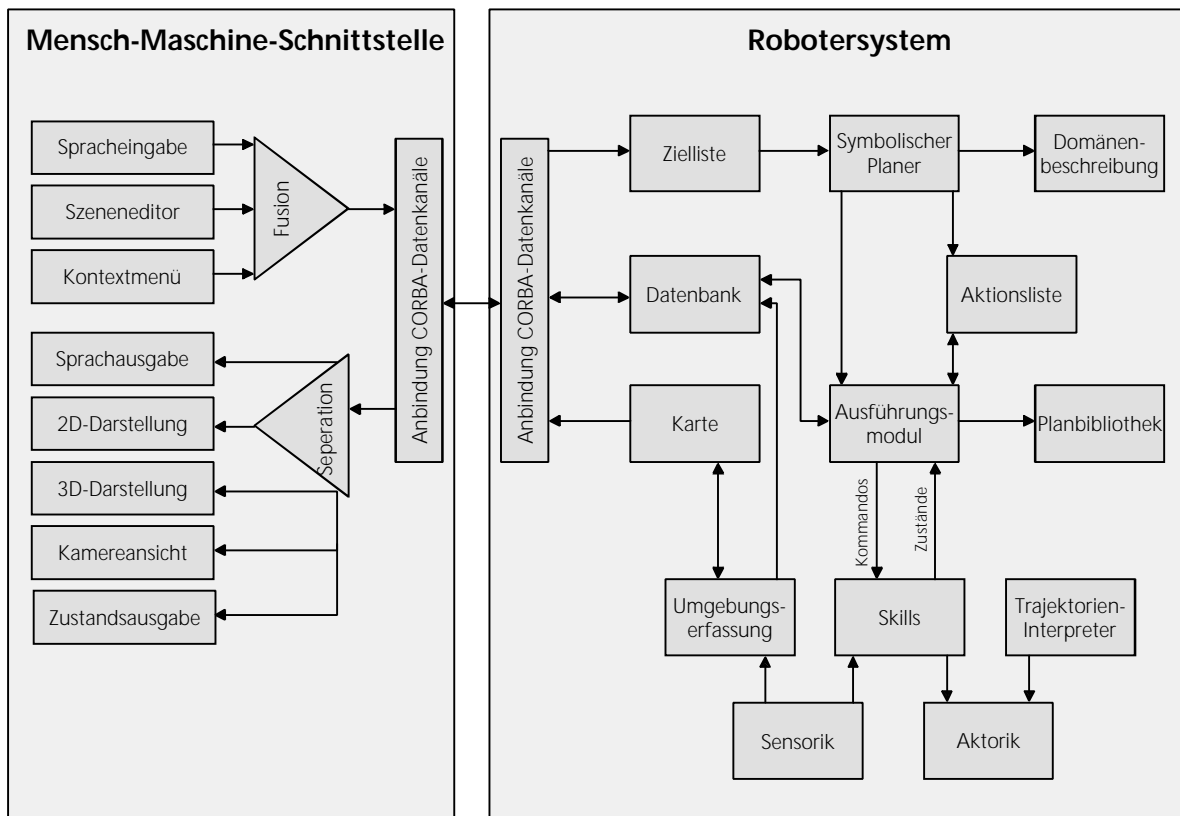


Abbildung 3: Systemarchitektur von Mensch-Maschine-Schnittstelle und belehrbarer Aufgabenausführung

Ein zentraler Dienst hat dabei die Rolle, Datenkanäle zu vermitteln und zu verwalten. Das Verbindungs-Management wird hierbei sehr vereinfacht mit dem zusätzlichen Vorteil, dass

eine Bedienung des Robotersystems über mehrere angekoppelte Bedienoberflächen jederzeit möglich wird.

Weiterhin wurden Komponenten zur Fusion und Separation der Daten entwickelt. Die Daten der Eingabemodule werden über einen internen Datenkanal an das Fusionsmodul weitergeleitet und schließlich nach semantischer Zusammenführung über CORBA gesendet. Das Separationsmodul verteilt eingehende Informationen an die beteiligten Module

Sicherheitssystem zur arbeitsraumübergreifenden Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter

Zur Arbeitsraumabsicherung des Assistentensystems werden verschiedene Sensorsysteme eingesetzt. Anhand der ermittelten Anforderungen wurden folgende Überwachungsbereiche definiert:

- Überwachung der fahrenden Plattform bei unbewegtem Arm (Transportaufgaben). Ein Laserscanner erkennt Hindernisse in Fahrtrichtung und ermöglicht Ausweichstrategien
- Überwachung des Aktionsradius des Arms zur Gewährleistung der Sicherheit unbeteiligter Passanten bei Arbeiten des Assistentensystems am Arbeitsplatz und an Be- und Entladestationen.

Betreten Menschen den Überwachungsbereich, wird der Manipulator entsprechend reagieren. Das Überwachungssystem wird stationär an entsprechende Stationen angebracht. Im Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPK wird derzeit ein Kamerasystem entwickelt, das, an der Decke angebracht, die Position von Mensch und Roboter erfasst. Abhängig von der Position von Mensch und Roboter sowie der aktuellen Manipulatoreaufgabe wird die Geschwindigkeit des Manipulators so adaptiert, dass eine Kollision zwischen Mensch und Roboter nicht möglich ist.

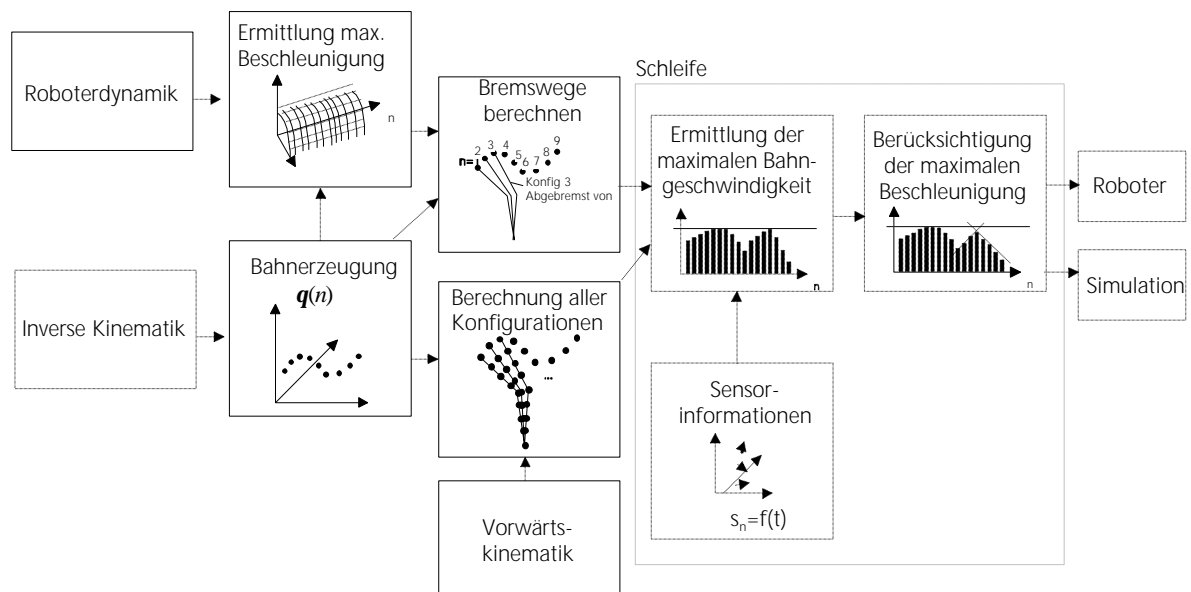


Abbildung 4: Vorgehensweise zur Bestimmung der sicheren Manipulatorgeschwindigkeit

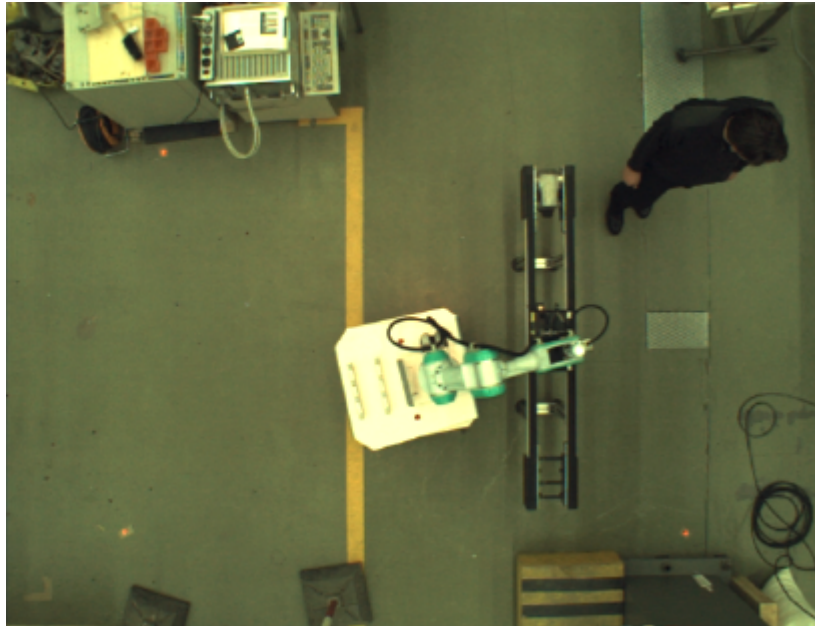


Abbildung 5: Deckenkamera zur Überwachung des Arbeitsraums

Zur Ermittlung der maximalen, sicheren Manipulatorgeschwindigkeit wird zunächst die maximale Bremsbeschleunigung in der aktuellen Konfiguration und Winkelgeschwindigkeit berechnet. Abhängig von dieser Beschleunigung ergibt sich der Bremsweg des Manipulators. Durch die vom Sensorsystem ermittelte Position des/der Menschen und dem Bremsweg des Roboters kann die Geschwindigkeit des Manipulators so angepasst werden, dass die unter Sicherheitsgesichtspunkten maximale Bahngeschwindigkeit des Manipulators erreicht werden kann (Abbildung 4).

Literatur

- [1] Genrob Homepage: <http://www.genrob.de>, 2001.
- [2] Graf, B.; Schraft, R. D.; Neugebauer, J.: "A Mobile Robot Platform for Assistance and Entertainment." In: *Proceedings of ISR-2000*, Montreal, S. 252-253.
- [3] Hägele M., Schraft, R.D.; Neugebauer, J.: "From Robots to Robot Assistants". In: *Proceedings of ISR 2001*, 2001, S. 404-409.
- [4] Helms, E.; Hägele, M.: "rob@work – the helping hand". Topic 4. In: *Research News No. 4-2001*, Fraunhofer Gesellschaft, München, 2001.
- [5] Hoffmann, J.; Nebel, B.: "The FF Planning System: Fast Plan Generation Through Heuristic Search". In: *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol. 14 (2001) S. 253-302.
- [6] Huber, M. J.: "JAM Agents in a Nutshell", Version 0.61 + 0.79i.
- [7] *International Conference on Artificial Intelligence Planning & Scheduling Systems*, <http://www.isi.edu/aips>, 2001.
- [8] "MORPHA – intelligente anthropomorphe Assistenzsysteme", <http://www.morpha.de>, 2001.

- [9] Pednault, E. P. D.: "ADL: Exploring the middle ground between STRIPS and the situation calculus". In: *Proceedings of the International Conference on Principles of Knowledge Representation (KR-98)*, 1989, S. 324-332.
- [10] PDDL-manual: <http://www.informatik.uni-freiburg.de/~koehler/aips/PDDL-MANUAL.ps.gz> or <ftp://ftp.cs.yale.edu/pub/mcdermott/software/pddl.tar.gz>.
- [11] Schaeffer, C.; May, T: "Care-O-bot: A System for Assisting Elderly or Disabled Persons in Home Environments". In: *Proceedings of AAATE-99*, Düsseldorf, 1999, S. 340-345.
- [12] Schraft, R. D.; Graf, B.; Traub, A.; John, D.: „A Mobile Robot Platform for Assistance and Entertainment". In: *Industrial Robot Journal*, Vol. 28, 2001, S. 29-34.
- [13] Traub, A.; Schraft, R. D.: "An Object-Oriented Realtime Framework for Distributed Control Systems". In: *Proceedings of ICRA-99*, 1999, S. 3115-3121.