



1 FTF von Bär Automation mit Navigationssoftware des Fraunhofer IPA.

(Quelle: Bär Automation GmbH)

2 FTF bei BMW mit Navigationssoftware des Fraunhofer IPA. (Quelle: BMW/Günter Schmied)

## FLEXIBLE NAVIGATION AUTONOMER SYSTEME IN DYNAMISCHEN UND VERÄNDERLICHEN UMGEBUNGEN

### Ausgangssituation

Mobile Robotersysteme sind ein Schlüsselement in der Automatisierung, um die zunehmend geforderte Flexibilität für wandelbare Produktions- und Logistikanlagen zu realisieren. Gleichzeitig wachsen dabei jedoch auch die Anforderungen an die Autonomie der Robotersysteme, insbesondere im Bereich der Navigation. Eine weitere Herausforderung stellt die zunehmende Annäherung der Arbeitsräume von Mensch und Maschine dar. Denn es muss ein effizientes Operieren der Systeme in diesen dynamischen Umgebungen ermöglicht werden.

### Unsere Lösung

Das Fraunhofer IPA hat langjährige Erfahrung in der Software-Entwicklung für die Navigation autonomer Systeme. Die realisierten Softwaremodule werden dabei in unterschiedlichen Anwendungen und Umgebungen sowohl im industriellen als auch

im öffentlichen Umfeld eingesetzt. Ihre Zuverlässigkeit, Sicherheit und Effizienz in der direkten Nähe zum Menschen wurde bereits im mehrjährigen Dauerbetrieb unter Beweis gestellt.

### Lokalisierung und Kartierung

Eine robuste und präzise Lokalisierung der autonomen Systeme in den dynamischen, veränderlichen Umgebungen ist die Basis der autonomen Navigation. Dabei ist häufig die Zielsetzung, dies ohne oder mit möglichst wenig zusätzlicher Infrastruktur (Marker oder zusätzliche Sensoren) zu realisieren.

Das entwickelte Softwaremodul »Longterm-SLAM« (SLAM = Simultaneous Localization and Mapping) wird diesen Anforderungen gerecht, in dem es zunächst alle zur Verfügung stehenden Sensorinformationen zur Lokalisierung fusioniert und zusätzlich Veränderungen der Umgebung detektiert, um das interne Umgebungsmodell entsprechend zu aktualisieren. Ohne manuellen Kartierungsaufwand ist es damit in

### Fraunhofer-Institut für Produktions- technik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Stefan Dörr  
Telefon +49 711 970-1907  
stefan.doerr@ipa.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Kai Pfeiffer  
Telefon +49 711 970-1226  
kai.pfeiffer@ipa.fraunhofer.de

[www.ipa.fraunhofer.de/robotersysteme](http://www.ipa.fraunhofer.de/robotersysteme)



der Lage, auch in Langzeit-Einsätzen eine stets aktuelle Umgebungskarte zu generieren und die Lokalisierung damit auch bei Veränderungen der Umgebung ohne Einschränkungen aufrecht zu erhalten.

### Pfadplanung und -optimierung

Aufgabe der globalen Pfadplanung ist die Ermittlung des optimalen Pfades zu einem vorgegebenen Ziel unter Berücksichtigung der Geometrie des mobilen Roboters, dessen Fahrwerkskinematik sowie anwendungsspezifischen Kriterien (wie z. B. verbotenen Bereichen). Bei der Bewegungsausführung optimiert das Softwaremodul »Elastic-Band« anschließend kontinuierlich den berechneten Pfad basierend auf aktuellen 2D- und 3D-Sensorinformationen und ist damit auch in der Lage, unvorhergesehenen Hindernissen auszuweichen. Zusätzlich kann durch Verwendung der aktuellen Umgebungskarte aus dem »Longterm-SLAM« das Routennetz stetig aktualisiert und somit der veränderlichen Umgebung angepasst werden. Abhängig von der Einsatzumgebung des Roboters kann zwischen den Planungsmethoden »zielpunktorientiert« oder »flächendeckend« gewählt werden.

### Cloud-basierte Navigation

Klassische Navigationssysteme für mobile Roboter berechnen die Lokalisierung und Pfadplanung bzw. -optimierung basierend auf den Sensorinformationen der eigenen Bordsensorik und haben damit einen beschränkten Sicht- bzw. Informationshorizont. Durch Vernetzung der einzelnen mobilen Systeme kann diese Beschränkung überwunden und dadurch zusätzliche Navigationsintelligenz und -effizienz für die ganze Flotte realisiert werden.

Die »Cloud-Navigation« des Fraunhofer IPA macht sich diesen Vernetzungsaspekt zunutze. Zusätzlich können rechenaufwändige Navigationsalgorithmen auf externe Rechenressourcen des (privaten) Cloud-Servers ausgelagert werden. Auf Seiten der Lokalisierung wird damit das »Longterm-SLAM« zu einem »Collaborative Longterm-SLAM«, in dem alle mobilen Systeme sowie auch weitere Sensoren in der Umgebung kollaborativ an der Aktualisierung der Umgebungskarte arbeiten, sich gegenseitig detektieren und Lokalisierungsinformationen austauschen können.

Für die Pfadplanungsaufgabe ergibt sich der Vorteil, dass die Flotte optimal unter Berücksichtigung des kollaborativ erzeugten Umgebungsmodells koordiniert werden kann. Darüber hinaus sorgt das kollaborative Navigieren, insbesondere an Engstellen und in Kreuzungssituationen, für eine zeit- und energieeffizientere Zielerreichung.

Abgesehen davon lassen sich mit den Daten, die die »Cloud-Navigation« zusammenträgt, Materialflüsse in Echtzeit simulieren, die dem Anwender über Augmented-Reality-Brillen intuitiv zugänglich gemacht werden.

### Referenzprojekte

#### Fahrerlose Transportsysteme

Zusammen mit der Bär Automation GmbH hat das Fraunhofer IPA ein fahrerloses Transportsystem für die Automobilproduktion realisiert. Die einzelnen Fahrzeuge navigieren frei und zugleich millimetergenau. Auch nach Inbetriebnahme der Anlage ist es leicht möglich, bestehende Pfade zu ändern oder neue

hinzufügen, sodass die Produktion wandlungsfähig wird.

#### Autonome Outdoor-Logistik

Die flexible Navigation autonomer Systeme bereichert inzwischen auch die Outdoor-Logistik. Zusammen mit Partnern aus der Industrie entwickelte das Fraunhofer IPA fahrerlose Transportfahrzeuge, die auf dem Werksgelände Container umpositionieren. Gemeinsam mit der Firma TeleRetail Aitonomi entstand außerdem ein autonomer Rover, der Botengänge und Einkäufe erledigen kann.

### Unser Leistungsangebot

Das Fraunhofer IPA unterstützt Sie als unabhängiger Technologiepartner in allen Phasen der Entwicklung Ihrer individuellen Navigationssoftware:

- Beratung bei der Konzeption und Auswahl von Navigationsverfahren
- Lizenzierung bzw. Weiter- oder Neuentwicklung von Navigationsmodulen
- Integration neuer Navigationsmodule in vorhandene Fahrzeugsteuerungen
- Individuelle Entwicklung Ihrer kompletten Fahrzeugsteuerung
- Automatisierungspotenzialanalyse

**3** Care-O-bot® 4 navigiert Kunden bei Saturn zum gewünschten Produkt. (Quelle: Saturn)

**4** Autonomer Rover von TeleRetail Aitonomi mit Navigationssoftware vom Fraunhofer IPA. (Quelle: TeleRetail Aitonomi)

**5** Mobiler Roboter rob@work mit IPA-Navigationssoftware. (Quelle: Fraunhofer IPA/ Universität Stuttgart, Foto: Rainer Bez)