

# LOFT – Lokalisierung von fahrerlosen Transportfahrzeugen mit nanoLOC-Funktechnologie

## Projektleitung

Prof. Dr. Christof Röhrig

## Wiss. Mitarbeit

Julian Lategahn

Marcel Müller

Lars Telle

## Zeitraum

2009–2011

## Förderung

FH-EXTRA 2009

## Partner

Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik  
Nanotron Technologies GmbH

## Kontakt

Prof. Dr. Christof Röhrig  
Fachbereich Informatik  
Fachhochschule  
Dortmund  
Emil-Figge-Str. 42  
44227 Dortmund  
Tel.: 0231 755-6778  
E-Mail: christof.roehrig@fh-dortmund.de

## Kurzfassung

Die Erhöhung des Automatisierungsgrades im innerbetrieblichen Materialfluss, sowie immer kürzer werdende Produktionszyklen, erfordern die Entwicklung neuer, flexibler und kleiner Transportfahrzeuge. Diese Anforderungen können durch eine Gruppe kompakter, kostengünstiger und autonom agierender Fahrerloser Transportfahrzeuge (FTF), ein so genannter FTF-Schwarm, erfüllt werden [1].

Um die kollisionsfreie und routenoptimierte autonome Navigation zu ermöglichen, müssen die FTF zu jedem Zeitpunkt ihre eigene Position kennen. Im Rahmen des gemeinsam mit dem Dortmunder Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML) und dem Berliner Unternehmen Nanotron Technologies durchgeführten Forschungsprojektes „LOFT“, wurde die Eignung des nanoLOC-Funklokalisierungsverfahrens für die Lokalisierung eines FTF-Schwarms untersucht. Darüber hinaus wurde ein echtzeitfähiges Kommunikations- und Roamingprotokoll entwickelt, welches die gleichzeitige Lokalisation und Kommunikation für bis zu 50 FTF im 2,4 GHz Band ermöglicht [2].

## Hintergrund und Zielsetzung

Fahrerlose Transportfahrzeuge gelten in der Automatisierung des innerbetrieblichen Materialflusses als die Technologie, die dem Anwender bzw. Betreiber ein Höchstmaß an Flexibilität bietet. FTF können sich unabhängig von einem physischen Transportnetz bewegen und Güter transportieren. Sie bieten die Möglichkeit, Systeme mit geringem Aufwand an neue, veränderte oder erweiterte Aufgabenstellungen und Umgebungsbedingungen anzupassen [1].

Das Fraunhofer IML hat zur Erforschung dieser Technologie ein Demonstrationszentrum für ein zelluläres Transportsystem aufgebaut, welches den gleichzeitigen Einsatz von bis zu 50 FTF ermöglicht. Realisiert wird dies durch ein dezentrales Multi-Agenten-Steuerungskonzept, welches die einzelnen Fahrzeuge zu autonom agierenden Transporteinheiten macht. Die echtzeitnahe, dezentrale Steuerung und adhoc-Disposition erfolgt dabei auf Ebene der Fahrzeugrechner.

Um die autonome Navigation von FTF zu ermöglichen, ist es erforderlich, dass jedes Fahrzeug Kenntnis über seine aktuelle Position besitzt. Außerdem müssen alle FTF untereinander, sowie zu externen Systemen kommunizieren können. Das Forschungsprojekt LOFT untersucht die Eignung der nanoLOC-Funktechnologie für die Aufgabenstellung der Lokalisation und Kommunikation.



Abbildung 1: ZFT-Halle des Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (Foto: Fraunhofer IML).

Das auf dem IEEE 802.15.4a Standard basierende nanoLOC-System ermöglicht den Aufbau eines drahtlosen Sensornetzwerkes, welches neben der Lokalisierung einzelner Knoten ebenfalls zur Funkkommunikation genutzt werden kann. Die von Nanotron angegebene Lokalisierungsgenauigkeit von zwei Metern im Innenbereich ist für Applikationen in der Intralogistik jedoch nicht ausreichend.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, probabilistische Filteralgorithmen zur Fusion von Fahrzeugsensorik und Funklaufzeitmessungen des nanoLOC-Systems zu nutzen, um die für die zuverlässige Navigation von FTF erforderliche Genauigkeit zu erreichen. Weiterhin soll eine echtzeitfähige (kollisionsfreie) Kommunikationsstruktur zur Lokalisierung und Datenübertragung für bis zu 50 FTF entwickelt werden.

## Ergebnisse

### Lokalisierung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei unterschiedliche Ansätze probabilistischer Filteralgorithmen, das Erweiterte Kalman Filter (EKF) und das Monte-Carlo Partikelfilter (MCPF), untersucht. Insbesondere ging es darum, die Messdaten verschiedenartiger Sensortypen, die Funklaufzeitmessungen des nanoLOC-Systems, sowie Odometrie und Lasersensorik, mittels der genannten Filteralgorithmen zu fusionieren. Dieses Vorgehen bietet sich an, da die Kombination verschiedenartiger Sensorik zu einer insgesamt genaueren Positionsschätzung führt.

Das EKF ermöglicht eine ressourcenschonende und simple Implementierung eines Bayes-Filters, sowie eine effiziente Berechnung der Positionsschätzungen. Nachteilig ist, dass wahrschein-

lichkeitstheoretische Approximierungen unter gewissen Umständen zu Einbußen in der Genauigkeit führen können. Der zweite untersuchte Filteralgorithmus, das MCPF, führt in diesen Fällen zu einer genaueren Positionsschätzung, erfordert jedoch auch einen deutlich höheren Berechnungsaufwand.

Um die Eignung des nanoLOC-Systems für das Anwendungsszenario zu evaluieren, wurden zunächst Untersuchungen bezüglich der Genauigkeit der Abstandsmesswerte des nanoLOC-Systems durchgeführt. Hierbei wurde auch der Einfluss von Antennen unterschiedlicher Charakteristik geprüft. Die umfangreichen Tests konnten die Eignung der gewählten Technologie in Verbindung mit einer auf Richt- und Patchantennen basierenden Antennenkonfiguration bestätigen.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass sich beide Filteralgorithmen dazu eignen, die Messdaten der verschiedenen verwendeten Sensortypen zu fusionieren. Die Anforderungen an die Positionsgenauigkeit konnten unter Laborbedingungen mit beiden Ansätzen erfüllt werden. Aufgrund der höheren Robustheit des MCPF gegenüber dem EKF wurde ersteres auf den FTF integriert [4]. Ein abschließender Test im Anwendungsszenario des IML steht hingegen noch aus.

#### **Echtzeit Kommunikations- und Roamingprotokoll**

Weiterhin konnte der Entwurf und die Implementierung des Echtzeit Kommunikations- und Roamingprotokolls auf Basis des IEEE 802.15.4a Netzwerkes erfolgreich abgeschlossen werden. Aufgrund der geringen Bandbreite im 2,4 GHz Band war es nötig, Zeit- (TDMA) und Frequenzmultiplexverfahren (FDMA), sowie eine intelligente Roamingstrategie zu entwickeln. Bei einer großen Anzahl von Fahrzeugen, im Anwendungsszenario bis zu 50, ist eine kollisionsfreie und echtzeitfähige Datenübertragung ansonsten nicht möglich. Konkret wurde das zur Verfügung stehende Frequenzband von 80 MHz per FDMA in drei Kanäle zu 22 MHz unterteilt. In Anlehnung an die GSM-Technologie definiert ein Kanal eine räumliche Zelle, in der sich eine begrenzte Anzahl FTF gleichzeitig aufhalten können. Ein Zeitschlitzverfahren regelt pro Kanal bzw. Zelle den exklusiven Zugriff auf das Kommunikationsmedium zu festen Zeitpunkten für jedes FTF. Durch die Aufteilung in mehrere Zellen, wurde es erforderlich, den Übergang zwischen den Zellen (Roaming) zu steuern. Ebenfalls musste die Startzelle, in der sich jedes FTF bei Inbetriebnahme des Systems befindet, korrekt identifiziert werden.

Die durchgeführten Messungen mit einem realen FTF zeigen, dass das implementierte Protokoll die Anforderungen des Anwendungsszenarios erfüllt. Datenübertragungen innerhalb des Sensornetzwerkes werden in angemessener Zeit abgeschlossen und erlauben somit eine kontinuierliche Lokalisation jedes Fahrzeuges.

#### **Wissens- und Know-how-Transfer zum Nutzen der Wirtschaft**

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Projektes wird das erarbeitete Know-how durch die Integration in das Demonstrationszentrum des IML kleinen und mittelständischen Unternehmen zu Verfügung gestellt, die damit ihre Konkurrenzfähigkeit verbessern können. Das erarbeitete Know-how kann dabei nicht nur zur Lokalisierung von FTF genutzt werden, sondern hat einen Nutzen in einem weiten Bereich der Intralogistik. Ergebnisse der Forschungsarbeiten wurden bereits auf nationalen und internationalen Konferenzen veröffentlicht [2 - 4].

#### **Literatur**

- [1] ten Hompel, M; Nagel, L: Zellulare Transportsysteme - Den Dingen Beine machen im „Internet der Dinge“. In: it-Information Technology, 1/2008, S. 59-65
- [2] Röhrig, C.; Telle, L.: Real-Time Communication and Localization for a Swarm of Mobile Robots Using IEEE 802.15.4a CSS. In: Proceedings of the 74th Vehicular Technology Conference, San Francisco, September 2011
- [3] Röhrig, C.; Müller, M.: Indoor Location Tracking in Non-line-of-Sight Environments Using a IEEE 802.15.4a Wireless Network. In: Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), 2009, S. 552-557
- [4] Röhrig, C.; Büchter, H.; Kirsch, C.: Monte Carlo Lokalisierung Fahrerloser Transportfahrzeuge mit drahtlosen Sensornetzwerken. In: Tagungsband 21. Fachgespräch Autonome Mobile Systeme, 2009, S. 161-168