

Industrielle Anwendungen im 5G Living Lab

André Gehrmann¹, Uwe Heuert¹, Kevin Saalman², Dominic Seela¹

¹ Hochschule Merseburg, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften, Eberhard-Leibnitz-Str. 2, 06217 Merseburg

² exceeding solutions GmbH, Fritz-Haber-Str. 9, 06217 Merseburg

Abstract

Das 5G Living Lab widmet sich der Umsetzung industrieller 5G-Anwendungen. Es entstand im Kontext des 5G-Förderprojekts POUST und wird aktuell in diesem Rahmen betrieben. Momentan befasst sich das Team um das Living Lab unter anderem mit dem Thema des autonomen Fahrens im 5G-Kontext. Dafür wird eine Miniaturanwendung eines umgebauten Gabelstaplers betrieben. Dieser kann mittels diverser Sensorik (LIDAR, Ultraschall, RGB-Sensor) auf seine äußeren spontanen Einflüsse reagieren. Eine Positionserfassung des Fahrzeugs wird in erster Linie mit einem TDOA-Verfahren realisiert. Im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Hochschule Merseburg wird dieses Projekt von mehreren Masterstudenten unterstützt. Diese Studierenden können Teilgebiete im 5G Living Lab kooperativ mit der Firma exceeding solutions GmbH bearbeiten.

1. Das ToE (Gabelstaplermodell)

1.1 Datenverarbeitungskonzept

Durch ein Modell können reale Situationen, z.B. in Hochregallagern oder Industrieumgebungen in einer Laborumgebung, erprobt werden. Die gewonnenen Daten des Modells können über die Edge zu Kopfstellen übertragen und dort verarbeitet werden, um Entscheidungen für alle Aktoren innerhalb des Edge-Computing-Netzwerks zu treffen. Es ist von großem Mehrwert eine funkbasierte Vernetzung von Aktoren zu ermöglichen. Die Übertragungsgeschwindigkeit und -rate mithilfe von 5G unterstützt eine hohe bidirektionale Kommunikation zwischen der Edge und einzelnen Aktoren. Somit sind 5G-Campusnetze mittels Segmentierung fast beliebig skalierbar.



Abbildung 1: Autonom fahrender Modellgabelstapler

1.2 Aufbau und Umbau

Als Versuchsfahrzeug wird ein Huina 1577 Gabelstapler im Maßstab 1:10 eingesetzt. Dieser wurde mit diversen Sensoren, einem Raspberry Pi 4B (8 GB) und Funkverbindungen für Lokalisierung und Edge-Komm. ausgestattet. Des Weiteren liefern zusätzliche Powerbanks, Step-Up-Converter und ein StromPi V3 Rev 1.1 die notwendige elekt-

rische Energie. Mittels dieser Erweiterungen ist eine autonome Fahrweise nach definierten Bedingungen und Fernsteuerung, z.B. über eine CLI oder Funkfernbedienung, möglich.

2. Kopfstelle

2.1 Grid-Skalierung

Auf Basis von TDOA und den bekannten Positionen der Funktürme ist es möglich ein Grid von Wegpunkten zu definieren. Dieses wird zwischen den Funktürmen aufgespannt und dient als Referenz für die Fahrwege der autonomen Fahrzeuge. Das Grid basiert auf gleichen Abständen und Wiederholungen der Wegpunkte und ist somit beliebig erweiterbar und anpassbar. Damit diese Anpassung funktionieren kann, wird ein Basisgrid einmalig definiert. Aus diesem können weitere Sekundärgrids definiert werden, um beispielsweise Sperrflächen oder feststehende Hindernisse zu erfassen.

2.2 Soll-Ist-Auswertung

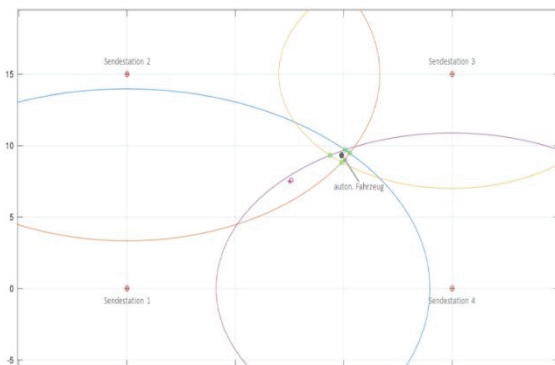


Abbildung 2: Positionsbestimmung des ToE

In realen Umgebungen, z.B. von Industrieanlagen mit Hochregallagern, müssen die Funkwellen durch inhomogene Massen wandern. Teilweise gibt es auch voll verschattete Zonen. Hier bieten bereits vorher gesammelte Informationen eine Basis für vorausberechnete Ereignisse. Somit ist es möglich Soll-Werte kontinuierlich zu berechnen und diese mit den Ist-Werten der Fahrzeugpositionen zu vergleichen. Die maßgebliche Grundlage bilden dabei die

zur Kopfstelle gesendeten Zeitstempel. Um dies mit einer möglichst schnellen Übertragung zu realisieren, wird eine auf 5G-Funkverbindung gesetzt.

2.3 Fahrweg

Der aktuelle Positionspunkt und der Zielpunkt im 5G-Funk-Grid bilden die grundlegenden Punkte für die Wegfindung des autonomen Fahrzeuges. Zusätzlich ist es durch einen aktuellen Richtungsvektor möglich, der Kopfstelle einen Überschleifradius (ausgehend vom nächsten Wegpunkt) vorzugeben, welchem das Fahrzeug versucht zu folgen. Durch einen Überschleifradius ist ein Einschwingverhalten auf eine exakte Wegstrecke effektiver umsetzbar als ein „stetiges Pendeln“. Die Eigenschaften, wie Wenderadius oder Geschwindigkeit, sind der Kopfstelle aus den Fahreigenschaften bekannt.

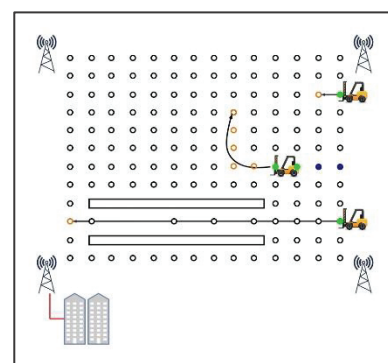


Abbildung 3: Griddefinition und Fahrwege

Im Fahrweg können Bereiche vorkommen, in denen die Funkverbindung zu mindestens einem Funkturm nicht mehr möglich ist. Auf Grundlage von approximierten Fahrwerten kann dafür ein Ausgleich geschaffen werden. Ist ein Fahrzeug aufgrund eines unbekannten Hindernisses nicht in der Lage sein Ziel zu erreichen und besteht keine aktive

Verbindung zur 5G-Edge, wechselt das Fahrzeug unter bestimmten Bedingungen in den Wegfindungs-Modus bzw. führt eine Orientierung auf Grundlage seiner Sensorik durch.

3. Indoor-Funksystem

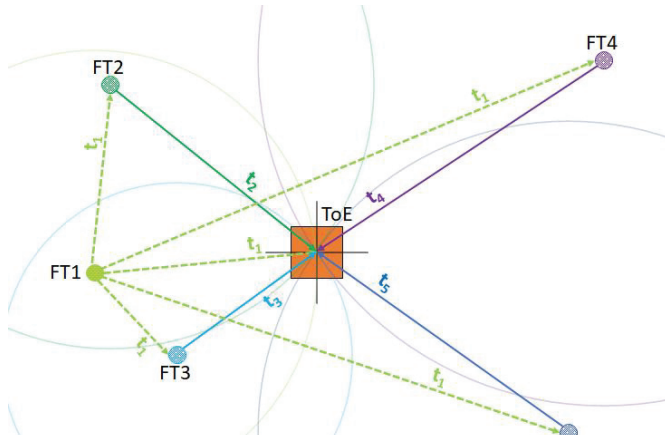


Abbildung 4: Signalstrecken

Die Basis für die Indoor-Lokalisierung eines Objektes bildet hier ein TDOA-Verfahren (Time Difference of Arrival).

Abbildung 4 zeigt dabei einen konzeptionellen Aufbau eines Funknetzes in dem sich ein ToE bewegt. Zur Lokalisierung ist eine Mindestanzahl von 3 Funkturmeinheiten notwendig und je nach Einsatzzweck beliebig erweiterbar.

Abbildung 5 beschreibt den Aufbau zur Bestimmung der Signallaufzeiten, bestehend aus Mastersendeinheit (FT1), Funkturm (FT2) und dem ToE. Das Prinzip besteht im Wesentlichen aus 2 Schritten. Im ersten Schritt (Abb. 6) wird ein Initialimpuls, ausgehend vom Master (FT1), an das ToE gesendet. Das Eintreffen des Signals wird mit einem Zeitstempel ($TS_{ToE,1}$) versehen (B). Infolgedessen sendet das ToE ein Signal an den Master zurück, woraufhin vom Master erneut ein Signal an das ToE gesendet wird. Das zweite Signal erhält ebenfalls einen Zeitstempel ($TS_{ToE,2}$) und bildet den zeitlichen Nullpunkt des Systems. Mit Hilfe der konstanten Rechenzeit des Masters $t_{FT1,RZ}$ kann die Signallaufzeit vom Master zum Objekt errechnet werden ($(TS_{ToE,2} - TS_{ToE,1})/2 - t_{RZ,M} = t_{FT1,ToE}$). Weiterhin wird das zweite Signal vom ToE an alle weiteren Funktürme gesendet. Dies bildet ihren Initialschritt zum Aussenden ihrer Funksignale, welche an den ToE adressiert sind und von ihm den Zeitstempel erhalten.

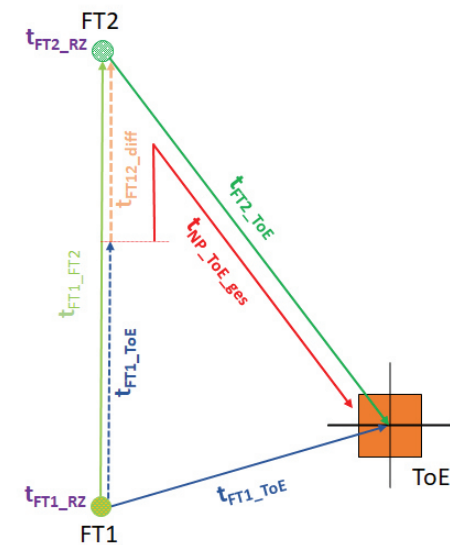


Abbildung 5: Funktionsausschnitt FT1-FT2-ToE

Das zweite Signal erhält ebenfalls einen Zeitstempel ($TS_{ToE,2}$) und bildet den zeitlichen Nullpunkt des Systems. Mit Hilfe der konstanten Rechenzeit des Masters $t_{FT1,RZ}$ kann die Signallaufzeit vom Master zum Objekt errechnet werden ($(TS_{ToE,2} - TS_{ToE,1})/2 - t_{RZ,M} = t_{FT1,ToE}$). Weiterhin wird das zweite Signal vom ToE an alle weiteren Funktürme gesendet. Dies bildet ihren Initialschritt zum Aussenden ihrer Funksignale, welche an den ToE adressiert sind und von ihm den Zeitstempel erhalten.

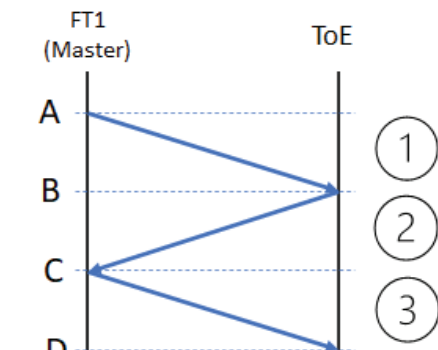


Abbildung 6: Zeitlicher Nullpunkt des Systems

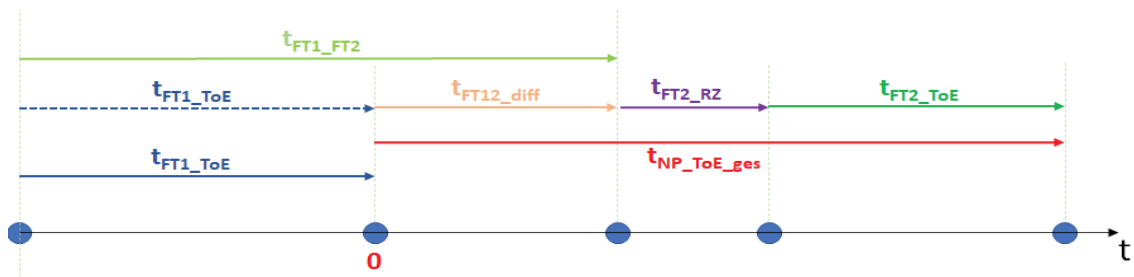


Abbildung 5: Schematische Darstellung der zeitl. Informationskomponenten

Abbildung 7 stellt eine zeitliche und logische Aufreihung der einzelnen Signalkomponenten aus Abbildung 5 dar und steht für den zweiten Schritt der Kommunikationsvariante. Die ausschlaggebende Komponente für einen Ortungsradius um die Funkeinheit FT2 ist hier t_{FT2_ToE} . Aufgrund der bekannten Positionen der Funktürme und Schritt 1, lässt sich diese Variable ermitteln. Die letztendliche Lokalisierung wird mittels Kreisschnittpunkten erzielt, wobei ein Kreisradius die Signallaufzeit eines Funkturms bedeutet. Zur Positionsbestimmung wird ein kartesisches Koordinatensystem hinterlegt. Die Funkkommunikation der Einheiten basiert auf einem DWM1000 UWB-Transceiver. Das hier gezeigte Prinzip kann auf alle Funkkommunikationsarten angewendet werden.

4. Ausblick

Unter Berücksichtigung verschiedener Aufwände und auch erster Fehlschläge ist es möglich, mittels 5G und TDOA ein Funkgrid aufzubauen, welches für eine exakte Positionsbestimmung mit kleinen Abweichungen nutzbar ist. Dabei ist die Anwendung von 5G-Campusnetzen für unterschiedliche Use-Cases denkbar und realisierbar. Der Laboraufbau mittels UWB und TDOA zeigt Lösungsansätze für die Realisierung. Diese werden später auch mit 5G-PCIe-Karten erprobt.

Literatur

- [1] D. Pan, Y. Yu, „Indoor Position System Based in Improved TDOA Algorithm”, IOP Conference, (2019)
- [2] P. Grasso, M. S. Innocente, J. J. Tai, O. Haas, A. M. Dizqah, „Evaluation of 5G Positioning Performance Bases on UTD0A, AoA and Base-Station Selective Exclusion”, MDPI, (2022)