

RFID-basierte Navigation auf Grundlage unterschiedlicher Messgrößen

Andreas Wille, Mathäus Muzalewski und Susanne Winter

Institut für Neuroinformatik, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland
Kontakt: andreas.wille@ini.rub.de

Einleitung

Medizinische Navigationssysteme werden seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt, wenn bei Operationen eine besonders hohe Genauigkeit in der Ausführung gefordert ist. Aktuell erhältliche professionelle Navigationssysteme verwenden in der Regel ein optisches Tracking der Instrumente mit Stereokameras. Das optische Tracking ist allerdings entscheidend von einer ununterbrochenen Sichtverbindung zwischen Kamera und Operationsgebiet abhängig.

Als Alternative, um diesen Nachteil in Zukunft überwinden zu können, wird seit 2009 von amedo STS GmbH ein funkbasiertes Trackingsystem auf Basis der RFID-Technologie für einen medizinischen Einsatz entwickelt. RFID (Radio Frequency Identification) bezeichnet ursprünglich die Verwendung einer Detektion und Identifikation von Waren per Funk und wird seit kurzem auch für eine Warenortung im Gebäudeinneren mit einer Genauigkeit von bis zu 0,2 m verwendet (z. B. [1]). Für ein chirurgisch sinnvoll einsetzbares Produkt muss diese Genauigkeit auf ungefähr 1,0 mm verbessert werden. Das Funksignal selbst kann dazu auf unterschiedliche Arten verarbeitet und für eine Auswertung genutzt werden. Drei Varianten dieser Signalnutzung wurden im Rahmen dieser Arbeit auf ihre Eignung hin untersucht und verglichen.

Methoden und Materialien

Versuchssystem

Der Prototyp des von amedo entwickelten Navigationssystems besteht aus einem einzelnen RFID-Lesegerät (Reader), acht Empfangsantennen und einer Auswerteeinheit. Die Systemkomponenten verwenden die Funkfrequenz von 868 MHz, die in Deutschland für RFID-Nutzung reserviert ist. Die Auswerteeinheit war durch den frühen Entwicklungsstand auf eine zeitliche bzw. räumliche Auflösung von 1 s und 1,0 mm beschränkt und verfolgte lediglich einen einzelnen Marker (Tag).

Sämtliche Versuche wurden in einem ca. 100 dm³ großen Plexiglasbassin durchgeführt, an dessen Wänden die Empfangsantennen befestigt waren. In diesem wurde mit einer CNC-Steuerung (mit 0,1 mm Genauigkeit) der Tag auf einem zuvor festgelegten Pfad schrittweise bewegt. Zwischen den Bewegungen wurden Messungen mit dem System durchgeführt.

Eine übliche Messgröße für die RFID-Ortung stellt die Signalstärke der Tag-Antwort dar. Theoretisch sinkt sie quadratisch mit dem Abstand zwischen Tag und Empfangsantenne [1] und kann bei Vernachlässigung von Störungen und Reflexionen direkt zur Distanzberechnung benutzt

werden. Über Trilateration kann aus diesen Distanzen dann die Position des Tags bestimmt werden. Für viele praktische Anwendungen ist dies allerdings nicht vollständig umsetzbar. Zudem haben Hekimian-Williams et al. gezeigt, dass die Phasendifferenz zwischen den von zwei Antennen empfangenen Signalen derselben Tag-Antwort ein robusteres Messsignal sein könnte [2].

Das Prototypensystem bietet neben einer direkt gemessenen Phasendifferenz zwischen 16 Paaren der Empfangsantennen als zusätzliche Ausgabe noch eine interne hardwareseitig weiterverarbeitete Version dieser Phasendifferenz, die u.a. eine bessere Normierung aufweist. Insgesamt wurden daher die folgenden drei Messgrößen auf ihre Eignung für eine Positionsbestimmung getestet:

1. Signalstärke (S)
2. unverarbeitete Phasendifferenz (P_u)
3. verarbeitete Phasendifferenz (P_v)

Experimente

Die Untersuchungen erfolgten zweistufig mit einer Datenaufnahme entlang unterschiedlicher Pfade. Auf jedem dieser Pfade wurden im Abstand von einem Millimeter jeweils 20 – 30 Messungen durchgeführt. Über die Positionen der Messreihe wurden Gitternetze mit Rastergrößen von 5 – 15 mm gelegt, anhand derer unterschiedliche Mengen von Trainingspositionen bestimmt wurden. Mit Support Vector Regression [3] wurde darüber eine Abbildung aus dem Raum der Messdaten auf die Positionen geschätzt. Zur Genauigkeitsbestimmung wurden dann alle aufgezeichneten Messdaten mit dieser Funktion abgebildet und die Ergebnisse mit den tatsächlichen Positionen verglichen.

Der erste Pfad wurde in Form eines von innen wachsenden Kubus angelegt. Dabei wurden an 34.700 verschiedenen Positionen insgesamt 877.393 Einzelmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurden vier verschiedene Geraden ausgewählt und gemeinsam als zweiter Messpfad definiert. Dies ergab 19.389 Messungen an 792 unterschiedlichen Positionen.

Ergebnisse

Die Abweichungen zwischen geschätzter und tatsächlicher Position stiegen für alle drei Berechnungen nicht-linear mit der Rastergröße der Trainingsdaten (siehe Tab.1). Während Berechnungen mit der verarbeiteten Phasendifferenz oder der Signalstärke als Grundlage Abweichungen im Bereich zwischen 1,0 und 4,2 mm ergaben, lieferte die direkte Verwendung der unverarbeiteten Phasendifferenz Abweichungen, die um einen Faktor 1,5 bis 2 höher lagen. In Abb. 1 sind beispielhaft für alle drei Messgrößen die Abweichun-

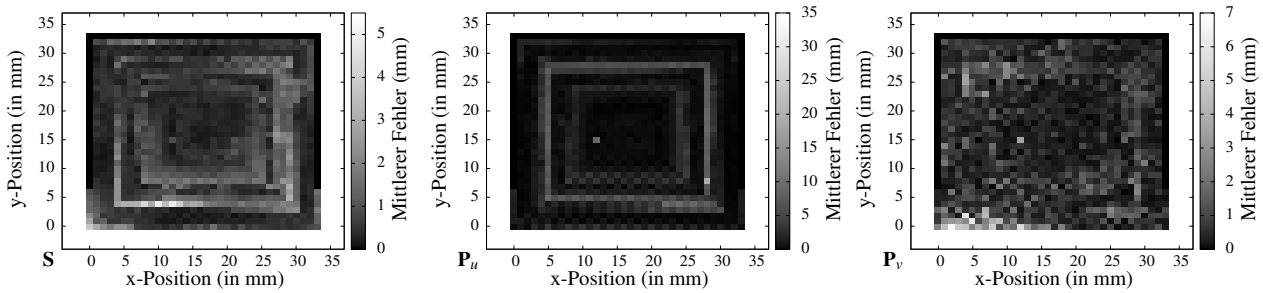


Abb. 1: Positionsabweichungen für eine Bestimmung auf Basis der Messgrößen S , P_u und P_v . Dargestellt ist ein mittlerer Querschnitt durch das kubusförmige Messvolumen nach Training anhand eines 8 mm-Gitters.

Tab. 1: Durchschnittliche Abweichungen zwischen geschätzten und tatsächlichen Positionen, abhängig von der Rastergröße des Trainingsgitters

Raster	Abweichungen (in mm)					
	Kubus			Geraden		
	S	P_u	P_v	S	P_u	P_v
15 mm	3,8	6,8	4,2	4,0	6,3	2,5
10 mm	2,3	3,7	1,9	3,1	4,3	2,5
8 mm	1,3	2,3	1,3	2,6	3,9	1,9
5 mm	1,0	1,9	1,0	1,7	2,8	1,5

gen aller Positionen innerhalb einer Schicht des Kubus abgebildet. Während die Abweichungen der Positionsbestimmung mittels Signalstärke und unverarbeiteter Phasendifferenz regelmäßige quadratische Strukturen zeigten, folgten die Abweichungen bei Verwendung der verarbeiteten Phasendifferenz eher einer statistischen Verteilung. Bei Messung entlang der Geraden zeigte eine Berechnung über die Signalstärke Variationen im Bereich von 1,7 – 4,0 mm, wohingegen die Resultate bei Verwendung der hardwareseitig vorverarbeiteten Phasendifferenz im Bereich zwischen 1,5 und 2,5 mm lagen.

Diskussion

Ein Zusammenhang der Abweichungen mit der Größe der Rastergitter wurde in vorausgegangenen Arbeiten bereits untersucht [4]. Sie basiert zum einen auf einer größeren Überschneidung zwischen Trainings- und Testmengen bei kleinen Gittergrößen und zum anderen auf einer verbesserten Interpolation bei einer dichteren Raumabdeckung mit Trainingspositionen.

Der Vergleich der Abbildungsqualität bei Einsatz der unterschiedlichen Messsignale zeigte zudem eine starke Veränderung durch die Verarbeitung der Phasendifferenz im System. Auch wenn die Unterschiede bei größeren Rastergrößen sinken, so stellt eine Verbesserung um 50% im Kontext der medizinischen Positionsbestimmung einen erheblichen Fortschritt dar. Erfolgte der Einsatz von Signalstärke und verarbeiteter Phasendifferenz auf kleiner Skala in den ersten Messungen (Kubus) noch ohne signifikanten Unterschied im Ergebnis, so wurde bei der ergänzenden zweiten Messreihe (Geraden) des Weiteren deutlich, dass die ver-

arbeitete Phasendifferenz auf längeren Strecken allgemein erheblich besser interpolierbar war.

Die Positionsbestimmung anhand der verschiedenen Messgrößen zeigte sich außerdem unterschiedlich stark abhängig von der Lage der Position zum Trainingsgitter (siehe Abb.1). Die Ergebnisse beim Einsatz der verarbeiteten Phasendifferenz wiesen im Gegensatz zu den anderen beiden Messgrößen keinen systematischen Interpolationsfehler in den Bereichen zwischen den Trainingspositionen auf.

Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass weder die Signalstärke noch die direkt gemessene Phasendifferenz gute universelle Messgrößen für ein RFID-Tracking sind. Erst die hardwareseitige Signalverarbeitung im Prototypensystem nahm eine genügende Stabilisierung vor, sodass eine zuverlässige großflächige Positionsbestimmung für die Zukunft möglich erscheint. Inwieweit die gewählte Hardware-Zusammenstellung des Systems bei diesem Effekt eine Rolle spielt, müssen weitere Messungen belegen.

Literatur

- [1] ZHOU, Junyi ; SHI, Jing: RFID localization algorithms and applications - a review. In: *Journal of Intelligent Manufacturing* 20 (2008), August, Nr. 6, S. 695–707
- [2] HEKIMIAN-WILLIAMS, C. ; GRANT, B. ; KUMAR, P.: Accurate localization of RFID tags using phase difference. In: *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on RFID*. Orlando, FL, USA, April 2010, S. 89–96
- [3] SMOLA, A. J. ; SCHÖLKOPF, B.: A tutorial on support vector regression. In: *Statistics and Computing* 14 (2004), Nr. 3, S. 199–222
- [4] WILLE, A. ; WINTER, S.: Phase difference based RFID navigation for medical applications. In: *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on RFID*. Orlando, FL, USA, April 2011, S. 162–169

Danksagung

Diese Arbeit wurde in Kooperation mit amedo STS GmbH durchgeführt. Sie ist Teil eines vom Bundesland NRW und der EU geförderten Forschungsprojektes aus dem „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ im Rahmen des Ziel2-Programms.