

Entwicklung und Evaluation eines automatisierten Prüfverfahrens zur Kalibrierung und Optimierung eines Lokalisierungssystems mittels optischem Tracking

Gel Han¹, Tilman Noelle¹, Susanne Meindl¹, Erich Wintermantel¹, Gudrun Klinker¹

¹ Technische Universität München, Boltzmannstraße 3, D-85748 Garching b. München, Deutschland

Kontakt: hang@in.tum.de

Abstract:

Lokalisierungssysteme werden in vielen Kliniken zur Patientenüberwachung oder dem Gerätemanagement eingesetzt. Sie beruhen auf verschiedenen drahtlosen sowie optischen Technologien wie WLAN, RFID oder Infrarot. Die Überprüfung auf Genauigkeit der Systeme und die Kalibrierung vor dem tatsächlichen Einsatz in der Klinik müssen von Personen durchgeführt werden und kosten daher Zeit und Geld. Zusätzlich muss der menschliche Fehler bei Tests oder Kalibriervorgängen mit berechnet werden, der sich zum Beispiel negativ auf die Wiederholbarkeit auswirkt. Um die Genauigkeit eines beliebigen Lokalisierungssystems zu prüfen, wurde ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht, automatisiert und wiederholt verschiedene Testreihen durchzuführen. Dabei kommen ein optisches Trackingsystem sowie ein programmierbarer Roboter zum Einsatz. Ergebnisse zeigen, dass durch diese Methode sowohl Wiederholbarkeit als auch die Genauigkeit sehr präzise nachgewiesen werden können.

Schlüsselworte: optisches Tracking, Genauigkeit, Lokalisierung, automatisiert, Prüfverfahren, Wiederholbarkeit, Kalibrierung

1 Problemstellung

Lokalisierungssysteme werden bereits in vielen Kliniken zum Beispiel für Gerätemanagement oder Patientenüberwachung eingesetzt. Sogenannte Echtzeit-Lokalisierungssysteme (RTLS: Real Time Location Systems) ermöglichen die Verfolgung von markierten Personen oder Gegenständen. Die Markierung erfolgt über Objekte, sogenannte Tags, die mit dem RTLS kommunizieren. Diese Tags können die Form eines Anhängers oder Aufklebers haben und von Personen getragen oder auf Geräten fixiert werden. Ein Beispiel für den Einsatz eines RTLS in der Patientenüberwachung stellen an Demenz erkrankte Personen dar [1]. Demenz-krankte Personen erfordern eine konstante Überwachung und Unterstützung – Patienten mit Tags können geortet werden und mögliche Unfälle wie Stürze können durch logische Abfragen erkannt werden. Kurz gesagt, die Suche nach Patienten oder Geräten wird durch Lokalisierungssysteme erleichtert.

Durchschnittlich 30 Minuten pro Schicht wird für die Suche nach benötigten Geräten gebraucht [2]. Ein weiterer Vorteil durch den Einsatz eines RTLS ist die effektivere Nutzung des Equipments, die Verringerung der Suchzeiten vom Personal sowie die kleinere Anzahl an Geräten, die zu geringerer Lager- und Wartungskosten führt [3, 4, 5]. Erste Studien bezüglich des wirtschaftlichen Nutzens installierter RTLS-Systeme in Krankenhäusern zeigen, dass die durchschnittliche Zeit für das Suchen von dort ermittelten 22 Minuten um 91 Prozent gesenkt werden konnte [6].

Aufgrund vieler Vorteile nimmt der Einsatz von Lokalisierungssystemen in Kliniken drastisch zu [7]. Folglich spielt die Genauigkeit solcher Systeme eine immer wichtigere Rolle. Eine angegebene Genauigkeit von mehreren Metern sagt nicht viel über die Position einer Person oder eines Gegenstandes aus, wenn es sich zum Beispiel um angrenzende Räume handelt. Je nach Anforderung kann man mit der einen oder anderen Technologie eine hohe oder geringe Genauigkeit erreichen. Punkte wie Kosten, Aufbau und Wartung spielen eine ebenfalls große Rolle in der Auswahl des RTLS.

Bisherige Untersuchungen zur Genauigkeit eines Lokalisierungssystems zeigen, dass Tests vorwiegend durch Personen und Robotern durchgeführt werden. Bischoff et al. [8] verwenden einen Roboter um ein optisches Trackingsystem mit einem weiteren optischen Trackingsystem zu überprüfen. Gaspar et al. [9] verfolgen mittels einer Kamera einen Roboter und notieren gleichzeitig die wahre Position zur Überprüfung manuell mit. Eine andere Methode präsentieren Lim et al. [10], die in ihrer Publikation die Lokalisierung eines Roboters über RFID-Tags beschreiben. Wagner et al. [11] haben eine automatisierte Evaluation eines auf RFID basierten Lokalisierungsverfahrens vorgestellt, bei der eine Modelleisenbahn eine bestimmte Strecke auf Schienen mehrmals abfährt. Bekkelien et al. [12] haben ein Bluetooth-Lokalisierungssystem getestet, bei dem als Tag ein Bluetooth-Headset verwendet und an definierten Punkten in mehre-

ren Räumen gemessen wurde. Und Catherwood et al. [13] widmen sich in ihrer Veröffentlichung der Evaluation eines auf WLAN basierenden Ortungssystems für den Healthcare-Sektor. Es wurden über 300 manuelle Messungen von den Testpersonen vorgenommen.

Die Arbeiten zeigen, dass bereits automatisiert getestet wird aber die Prüfverfahren noch auf ein bestimmtes Lokalisierungssystem spezifiziert sind. Des Weiteren entstand bei einem Großteil der Untersuchungen, Zeitaufwand für Personen, sei es beim manuellen Messen und Notieren der Positionen oder dem Zusammentragen der Messungen beziehungsweise Kalibrierung mit dem RTLS. Diese Nachteile sollen durch eine bestimmte Kombination aus Roboter, optischem Tracking und einem beliebigen RTLS eliminiert werden. Im Folgenden wird mit der Hypothese gearbeitet, die die nachfolgenden Bedingungen an das Verfahren stellt:

- Radialer Fehler bei Messungen < 1 Meter
- Prüfsystem kann mehrere Räume abdecken
- Testen von beliebigen Lokalisierungssystemen möglich
- Automatisierung bis zur Protokollerstellung

2 Material und Methoden

In Abbildung 1 ist das entwickelte System zu sehen. Es besteht aus drei Komponenten: einem Roboter, einem optischen Trackingsystem und einem Lokalisierungssystem. Es wird der Roboter „ActivityBot“ der Firma Parallax Inc. (USA, Rocklin) verwendet, welcher programmierbar ist und durch fünf AA-Batterien (1,2 V) betrieben wird. Für die Ermittlung der echten Position werden die optischen Trackingsysteme „TRACKPACK“ und „ARTTRACK2“ der Firma Advanced Realtime Tracking GmbH (ART, Deutschland, Weilheim i. OB) verwendet. Mehrere Infrarotkameras werden im Versuchsbereich auf Stative befestigt und mit Blickrichtung zur Raummitte gedreht und geneigt. Diese Kameras senden Infrarotblitze aus, die von bestimmten Tracking Targets, retroreflektierenden Kugeln, in die gleiche Richtung zurückreflektiert und wieder von den Kameras aufgefangen werden. Durch diese Information kann eine Position im Raum berechnet werden. Um den gesamten Versuchsbereich abzudecken, waren vier Infrarotkameras für einen Raum der Größe 8 x 8 Meter notwendig.

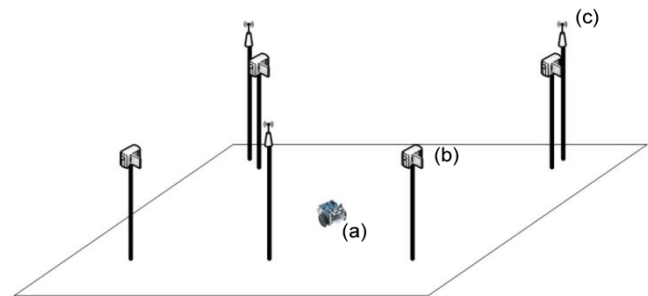


Abb. 1: Schematische Abbildung des Prüfverfahrens: (a) Roboter mit Tag für Lokalisierung, (b) Infrarotkamera von ART befestigt auf einem Stativ, (c) RTLS Empfangsmodul befestigt auf einem Stativ.

Optische Trackingsysteme gelten als eine der genauesten Technologien zur Ermittlung der Position eines Objektes. Für das RTLS wurden vorwiegend drahtlose Technologien, wie zum Beispiel WLAN und Bluetooth, eingesetzt. Ein RTLS besteht aus drei Komponenten: einem Tag, welches das zu ortende Objekt markiert, einem oder mehreren Empfangsmodulen, auch Anker genannt, und einer Lokalisierungssoftware zur Umrechnung der Messungen in eine tatsächliche Position. Die Aufgabe der Anker ist es, die Informationen der Tags aufzunehmen und dem Computer mit der Lokalisierungssoftware zuzuschicken. Es gibt verschiedene Methoden, die für die Umrechnung in eine Position eingesetzt werden können. Für Bluetooth wurde eine abstands-basierte Variante gewählt: die Trilateration. Die Trilateration beschreibt die Berechnung von Abständen zwischen mindestens drei Anker und einem Tag. Im Anschluss wird durch die berechneten Abstände beziehungsweise Radien ein Schnittpunkt ermittelt. Für WLAN wurde ein abstands-unabhängiges Prinzip getestet: das Fingerprinting. Fingerprinting besteht aus zwei Phasen: einer Offline-Phase, in der Signalstärken an mehreren Positionen gemessen und gespeichert werden und einer Online-Phase, bei der die aktuell gemessenen Signalstärken mit den gespeicherten verglichen werden. Durch den Vergleich kann auf eine Position zurückgeschlossen werden. Sowohl bei der Trilateration als auch beim Fingerprinting werden mindestens drei Anker benötigt. Bei all diesen Methoden können mehrere Filter zur Glättung des Signals oder der Gewichtung eingesetzt werden. Bluetooth arbeitet auf dem 2,4 GHz-Frequenzband und wird in Lokalisierungssystemen vor allem aufgrund der geringen Kosten sehr häufig eingesetzt. WLAN arbeitet auf derselben Frequenz und bietet vor allem den Vorteil einer höheren Datendurchsatzrate und Empfangsreichweite gegenüber Bluetooth.

Zum einfachen Testen wurde eine Benutzeroberfläche programmiert, die es dem Benutzer ermöglicht, eine Strecke auf einer Karte zu zeichnen und diese dem Roboter aufzuspielen. Es kann zwischen den zwei Lokalisierungstechnologien WLAN und Bluetooth gewechselt werden und alle Einstellungen werden direkt über das Programm geändert. Während

den Tests werden die Messungen vom optischen Tracking und Lokalisierungssystem in eine Datenbank (Microsoft SQL Server) geschrieben. Ist ein Testdurchlauf zu Ende, wird ein dementsprechendes Testprotokoll aus den gespeicherten Werten der Datenbank erstellt.

Es wurden verschiedene Szenarien mit beiden Lokalisierungssystemen getestet: mit dem Bluetooth-Lokalisierungssystem und der Methode Trilateration wurde vorwiegend ein Raum getestet. In einem zweiten Szenario mit einem WLAN-Lokalisierungssysteme und Fingerprinting wurde das Verlassen und Betreten einer Person in einen zweiten Raum mit dem Roboter simuliert. Für die Trilateration ist die Untersuchung auf Subraum-Genauigkeit interessant (Genauigkeit in cm) während für Fingerprinting die Raumgenauigkeit (Prozent Trefferquote für den richtigen Raum) von Interesse war. Für Bluetooth wurde am gleichen Tag eine Kalibrierung durchgeführt, alle Parameter sind in Tabelle 1 zu sehen. Für WLAN wurde eine Sammlung von Fingerprints aus einer alten Datenbank verwendet. Die gemessenen Fingerprints sind in Abbildung 2 (grüne Quadrate: erste Fingerprints, blaue Quadrate: Verfeinerung der Fingerprint-Karte um weitere Messungen) zu sehen.

	Modul B1	Modul B2	Modul B3
Position (x, y, z in m)	1 x 1 x 3	4 x 7 x 3	7 x 1 x 3
Referenzmessung (dbm)	-92	-93	-87

Tabelle 1: Kalibrierung für das Bluetooth-Trilaterationssystem vor Versuchsstart.

3 Ergebnisse

Es wurden zwei Szenarien betrachtet: In Szenario 1 wurde nur ein Raum betrachtet, während in Szenario 2 das Wechseln zwischen Räumen berücksichtigt wurde. In Szenario 1 wurde das Bluetooth-Trilaterationssystem nach Genauigkeit geprüft, in Szenario 2 das WLAN-Fingerprintingsystem.

Szenario 1:

In Abbildung 3 rechts sind die zurückgelegten Strecken des Roboters bei drei Versuchen zu sehen. Das Lokalisierungssystem wurde mit verschiedenen Filtern in vier verschiedenen Konfigurationen jeweils drei Mal getestet. Die Messungen wurden dann über alle drei Versuche je Konfiguration gemittelt. Als Kalibrationswerte wurden die Werte von Tabelle 1 verwendet. Die Abweichungen zur vorgegebenen Strecke betragen im besten Fall 36,63 cm und im schlechtesten Fall 50,69 cm. Die Genauigkeit des Bluetooth-Trilaterationssystems beträgt im besten Fall 187,37 cm und im schlechtesten Fall 251,40 cm.

Szenario 2:

In Abbildung 4 rechts sind zwei Versuchsdurchläufe über mehrere Räume hinweg zu sehen. Der Roboter startet wie in Abbildung 4 zu sehen beim roten Quadrat in Raum 1. Die Soll-Positionen des Roboters wurden mit einer Genauigkeit von durchschnittlich 37,03 cm ($\pm 10,79$ cm) getroffen. Ähnliche Werte wurden bei weiteren Versuchen erreicht.

Bei WLAN-Fingerprinting wurde im besten Fall eine durchschnittliche Gesamttrefferquote von 48% und im schlechtesten Fall sogar 18% erreicht. Dabei sind die Gesamttrefferquoten von den einzelnen Raumtrefferquoten zu unterscheiden. Die Trefferquote von Raum 1 war im besten Fall 70% und im schlechtesten Fall 20%, von Raum 2 lag sie bestenfalls bei 84% und im schlechtesten Fall bei 0%.

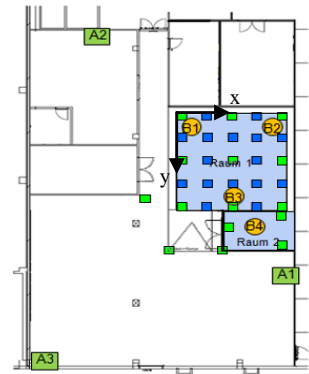


Abb. 2: [A1, A2, A3]: WLAN Access Points als Anker. [B1, B2, B3]: Bluetooth-Empfangsmodule als Anker. Grüne und blaue Quadrate: Fingerprints für WLAN.

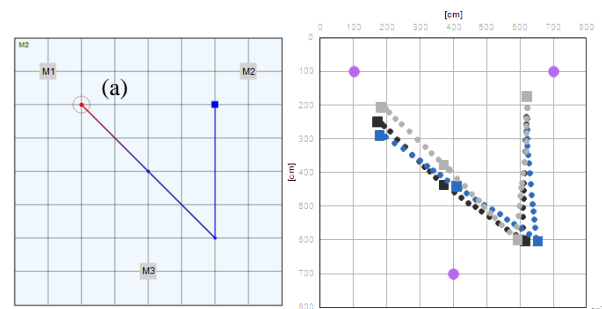


Abb. 3: Links: Strecke, die dem Roboter vorgegeben wird. Rechts: Erfasste Positionen des Roboters durch das optische Trackingsystem. Start bei (a).

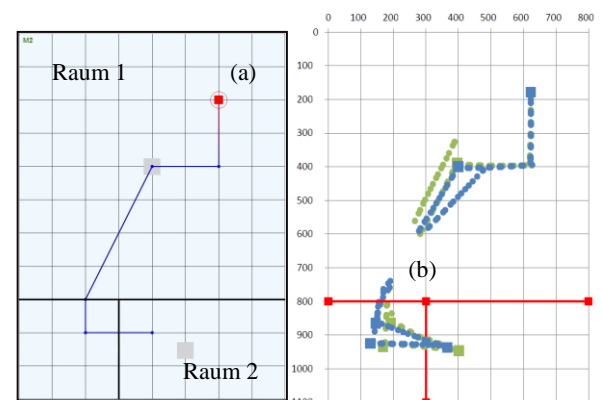


Abb. 4: Links: Strecke von Raum 1 zu Raum 2, die der Roboter abfahren soll. Rechts: Positionen des Roboters ermittelt durch das optische Trackingsystem. Start bei (a). Bei (b) war der Roboter außerhalb des Sichtbereiches der vier installierten Kameras in Raum 1.

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass das entwickelte Prüfverfahren den Anforderungen der Hypothese entspricht und eine automatisierte Wiederholbarkeit garantieren (radialer Fehler < 1 Meter). Auch das optische Tracking über zwei Räume hinweg hat sehr gute Werte geliefert. Für das Testen muss keine Person anwesend sein, die Tests können also ohne Beaufsichtigung durchgeführt werden.

Durch das automatisierte Prüfverfahren wird ein Problem beim Testen der zwei Lokalisierungssysteme erkenntlich: die Ergebnisse zeigen, dass sowohl das WLAN- als auch das Bluetooth-Lokalisierungssystem von Umgebungseinflüssen gestört werden. Je nachdem, wann Kalibrierungen vorgenommen werden, können diese durch Änderungen in der Umgebung beeinträchtigt werden.

Für einen schnellen ersten Versuch wurde ein optisches Trackingsystem der Firma ART verwendet, welches Out-of-the-Box sehr einfach aufzubauen und in Betrieb zu nehmen war. Zwar eignet sich bei Tests zur Subraumgenauigkeit das Trackingsystem von ART sehr gut, aber bei Versuchen zur Überprüfung der Raumgenauigkeit würde ein einfacheres System genügen, da keine Millimeter-Genauigkeit gefordert ist. Je nach Testfall sollte man hier die passenden optischen Kameras auswählen. Zudem kann der gemessene radiale Fehler durch die Auswahl eines anderen Testroboters verringert werden. Die großen aber dünnen Räder und die Umrechnung von Ticks der Servomotoren in eine Strecke waren beim ActivityBot-Roboter die Hauptursachen für die Abweichungen zu der vorgegebenen Strecke.

5 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Prüfverfahren können sehr genaue Aussagen zur Genauigkeit eines Lokalisierungssystems gemacht werden. In mehreren Versuchen können verschiedene Parameter geändert und so Optimierung vorgenommen werden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der Roboter von der vorgegebenen Strecke mit einem radialen Fehler kleiner 1 Meter abweicht. Zusätzlich kann ein beliebiges Lokalisierungssystem, welches leichte und batteriebetriebene Tags zur Verfügung stellt, getestet werden. Anhand von zwei drahtlosen Lokalisierungssystemen wurde gezeigt, dass genaue Aussagen sowohl über die Raumgenauigkeit (in %) als auch über die Subraumgenauigkeit (in cm) gemacht werden können. Vorteile bietet das System vor allem durch die dynamische Programmierung der Versuchsstrecke sowie dem automatisierten Testen eines RTLS.

6 Referenzen

- [1] Díaz-Ramírez, A., Murrieta, F.N., *Non-intrusive Tracking of Patients with Dementia Using a Wireless Sensor Network*, IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 460-465 (2013)
- [2] Glabmann, M., *Room for Tracking. RFID Technology finds the way*, Mater Manag Health Care, 2004
- [3] Carrasco, V.N., Jackson, S.S., *Real Time Location Systems and Asset Tracking: New Horizons for Hospitals*, Biomedical Instrumentation & Technology, 318-323 (2010)
- [4] Kamel Boulos, M.N., Berry, G., *Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer*, International Journal of Health Geographics, 25 (2012)
- [5] Kumar, S., *Stage Implementation of RFID in hospitals*, Technology and Health Care, 31-46 (2010)
- [6] GenesisHealthSystem, *AeroScout Lösungen zur Echtzeitortung im Gesundheitswesen*, Stanley Healthcare, Tuttingen (2013)
- [7] Research and Markets, *Hospital Asset Management Market - Pharmaceutical (Wi-Fi RTLS, RFID, IR, Ultrasound, Equipment & Patient Tracking, Staff Safety, Temperature & Humidity Monitoring, Drug Counterfeit) - Global Forecast to 2017* (2013)
- [8] Bischoff, B., Duy, N.-T., *Fusing vision and odometry for accurate indoor robot localization*, Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 12th International Conference on, Guangzhou, China, 2012
- [9] Gaspar, T., Oliveira, P., *Single Pan and Tilt Camera Indoor Positioning and Tracking System*, European Journal of Control, 414-428 (2011)
- [10] Lim, H., Choi, B., *An Efficient Localization Algorithm for Mobile Robots based on RFID System*, SICE-ICASE, International Joint Conference (2006)
- [11] Wagner, S., Smeets, H., *Automated Evaluation of RF-based Indoor Localization Systems*, In proceeding of: 4th International Workshop on Networks of Cooperating Objects for Smart Cities, 42-57 (2013)
- [12] Bekkelien, A., Deriaz, M., *Bluetooth Indoor Positioning*, Institute of Services Science, University of Geneva, Geneva (2012)
- [13] Catherwood, P.A., Zech, T., *Cost-effective RSSI Wi-Fi positioning solution for ambulatory patient monitoring devices*, Antennas and Propagation Conference (LAPC), Loughborough (2010)