



Range Only Simultaneous Localization and Mapping with Ultra-Wideband

Exposé zur Bachelorarbeit

FH Aachen
Elektrotechnik und Informationstechnik
Fachgebiet Robotik

Albert Kasdorf
Matr.-Nr.: 3029294

Betreuer:
Prof. Dr. rer. nat. Alexander Ferrein

1 Problemstellung

In der Zeit vor den Navigationsgeräten wurden auf deutschen Straßen noch regelmäßig faltbare Straßenkarten von den Beifahrern verwendet um den Fahrer den Weg zu weisen. Bevor eine Straßenkarte verwendet werden kann, muss diese erstellt werden. Dieser Prozess ist unter dem Begriff Kartenerstellung (engl. Mapping) bekannt. Der Detailgrad hängt dabei stark vom Verwendungszweck ab. Der erste Schritt nach dem Entfalten der Straßenkarte bestand in der Lokalisierung (engl. Localization), also der Bestimmung der ungefähren Fahrzeugposition und dem Ziel der Reise auf der Straßenkarte. Darauf aufbauend wurde vom Beifahrer dann eine Route zwischen der aktuellen Fahrzeugposition und dem Ziel geplant und während der Fahrt weiter verfolgt, was auch als Pfad-Planung (engl. Path-Planning) bekannt ist.

Genauso wie der menschliche Agent muss auch jeder mobile Roboter für sich diese grundlegende Frage beantworten können. „Wo bin ich?“, „Wo bin ich bereits gewesen?“, „Wohin gehe ich?“ und „Welcher ist der beste Weg dahin?“[1].

Außerhalb von geschlossenen Räumlichkeiten (engl. Outdoor) erfolgt die Lokalisierung in der Regel mittels GPS, unter der Voraussetzung dass eine ungehinderte Verbindung zu den GPS-Satelliten möglich ist. Die Lokalisierung ist in diesem Fall sehr einfach, da die GPS Koordinaten eindeutig sind und das Kartenmaterial bereits im gleichen Koordinatensystem vorliegt.

Innerhalb geschlossener Räumlichkeiten (engl. Indoor), wie in öffentlichen Gebäuden, Logistikhallen oder auch in Bergwerken, ist eine Lokalisierung mittels GPS nicht mehr möglich. Erschwerend kommt dazu, dass es in der Regel zu diesen Räumlichkeiten keine öffentlich verfügbaren Karten gibt oder diese sich wie im letzten Beispiel häufig ändern. Aus diesem Problemfeld haben sich Algorithmen für die Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung (engl. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)) entwickelt.

Häufig werden SLAM Algorithmen verwendet um aus Kamerabildern oder 360° Abstandsmessungen eine Karte der Umgebung zu erstellen und sich in der gleichen zu lokalisieren. Der Fokus dieser Arbeit liegt jedoch auf den reinen Entfernungsbasierenden SLAM (engl. Range Only SLAM (RO-SLAM)) Algorithmen. Hierbei werden nur die Informationen der Eigenbewegung und die Entfernungen zu mehreren, vorher unbekannten, Basisstationen genutzt um sich selbst zu lokalisieren und eine Karte mit den Positionen der Basisstationen zu erstellen.

2 Fragestellung

- UWB
 - Welche elektrische Beschaltung ist notwendig um das DWM1000 Modul

von DecaWave in Betrieb nehmen zu können?

- Wie erfolgt die Entfernungsmessung zwischen den einzelnen UWB-Modulen?
 - Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen einem UWB-Modul und der Verarbeitungseinheit?
 - Kann über die Kalibrierung der Antennenverzögerung eine genauere Entfernungsmessung erreicht werden?
 - Wie verändert sich die Genauigkeit der Entfernungsmessung bei einer direkten Sichtverbindung (engl. Line-of-sight (LOS)) und indirekten Sichtverbindung (engl. Non-line-of-sight (NLOS))?
- RO-SLAM
 - Ist ein RO-SLAM mit den selbstgebaute UWB-Modulen möglich?
 - Welche Hardware- und Software-Konfiguration ist für ein RO-SLAM notwendig?
 - Wie genau kann der RO-SLAM die eigene Positionen und die der Basisstationen schätzen?

3 Hypothesen

- Die Kalibrierung der Antennenverzögerung verbessert die Genauigkeit der Entfernungsmessung signifikant.
- Indoor kann eine Lokalisierung mit einer Genauigkeit von 10 cm erreicht werden.
- Das Mobile Robot Programming Toolkit (MRPT) verfügt über ein Robot Operating System (ROS)-Modul, das einen RO-SLAM implementiert.
- Mit dem RO-SLAM ist es möglich sowohl die eigene Position als auch die der Basisstation mit einer Genauigkeit von 10 cm zu schätzen.

4 Forschungsstand

Einen guten Überblick über die Eigenschaften der Drahtlosen-Protokolle (engl. Wireless Protocols) Bluetooth, UWB, ZigBee und WiFi liefert die Arbeit [2] von Lee, Su und Shen.

In [3] wird das grundlegende Prinzip erklärt um aus mehreren bekannten Sensoren die Position eines beweglichen Empfängers zu berechnen.

Der theoretische Hintergrund des SLAM-Verfahrens wird in [4] vorgestellt. Zusätzlich wird bewiesen dass die Unsicherheit bei der Kartenerstellung und Lokalisierung eine untere Schranke erreicht.

Kantor und Singh stellen in Ihrer Arbeit [5] ein Lokalisierungsverfahren vor, welches die Roboterposition anhand von Entfernungsmessungen zu vorher bekannten Landmarken bestimmen kann. Im letzten Abschnitt wird SLAM-Verfahren vorgestellt, welches über einen Kalman-Filter die Unsicherheit der Landmarkenposition modellieren kann.

Die Autoren Blanco, González und Fernández-Madrigal gehen in ihren Arbeiten [6, 7] einen Schritt weiter und bestimmen die unbekannte Roboterposition sowie die unbekannten Landmarkenpositionen. Hierzu nutzen Sie im ersten Schritt einen Partikelfilter (engl. Particle Filter) bis die Schätzung eine ausreichende Genauigkeit erreicht hat um dann im zweiten Schritt über einen Kalman-Filter ein Positionsverfolgung (engl. Position Tracking) durchzuführen.

Die Arbeit [8] von Ledergerber, Hamer und D’Andrea gehen auf die Roboterlokalisierung unter Verwendung einer One-Way Ultra-Wideband Kommunikation ein. Dieses hat den Vorteil, das mit sehr wenigen Landmarken eine große Anzahl von Roboter lokalisiert werden kann.

5 Methodische Herangehensweise

Der Überblick und Vergleich der verschiedenen Abstandsbestimmungsverfahren erfolgt über eine klassische Literatursuche, siehe [2, 9, 10].

Vor der Herstellung der UWB-Module werden die Produktspezifikationen des Herstellers untersucht um aus diesen die notwendige Beschaltung herzuleiten, siehe [11, 12]. Zusätzlich werden Erfahrungsberichte aus dem Internet ausgewertet um die Beschaltung weiter zu verfeinern, siehe [13–15].

Der initiale Aufbau erfolgt zu Evaluationszwecken auf einem Steckboard und zusätzlich auf einer separaten Lochstreifenplatine um das Zusammenspiel zweier UWB-Module zu testen. Nach dem erfolgreichen Systemtest wird aus dem erstellten Schaltplan, ein PCB-Layout erstellt, mehrere PCB-Boards bestellt und nach der Lieferung zusammengebaut und noch mal getestet.

Das Verfahren zur Entfernungsmessung wird der Hersteller-Dokumentation entnommen und mit der Software-Implementierung verglichen, siehe [13, 16, 17].

Das Verfahren zur Kalibrierung der Antennenverzögerung kann ebenfalls der Hersteller-Dokumentation entnommen werden, siehe [18]. Hierfür muss ein Versuchsaufbau erstellt werden. Zusätzlich wird eine Anpassung der Steuer-/Auswerte-Software notwendig, um die Verzögerung zu berechnen.

Die Genauigkeitsbestimmung der Entfernungsmessung mit LOS und NLOS wird über einen Versuchsaufbau realisiert. Hierfür werden mehrere Messreihen in verschiedenen Abständen aufgenommen und mit der tatsächlichen Entfernung verglichen.

Wie Qualität der Positionsschätzung des RO-SLAM wird über einen Versuchsaufbau geklärt. Hierfür werden mehrere Basisstationen in einem Rechteck angeordnet. Der Roboter fährt nun innerhalb des Rechtecks eine vorher abgemessene Strecke ab. Hierdurch kann ermittelt werden, wie groß die Abweichungen der Schätzung von der tatsächlichen Position ist.

6 Gliederungsentwurf

1. Einführung
 - (a) Aufgabenstellung
 - (b) Motivation
 - (c) Zielsetzung
 - (d) Gliederung
2. Grundlagen
 - (a) Verfahren für die Reichweiten-Bestimmung
 - (b) Wahrscheinlichkeitstheorie
 - (c) Bayes/Kalman/Partikel Filter
 - (d) SLAM
 - (e) ROS
3. Stand der Forschung und Technik
4. Ultra-Wideband
 - (a) Historie
 - (b) Alternative Technologien
 - (c) Gegenüberstellung
 - (d) Erstelle Hardware
 - i. Elektrischer Aufbau
 - ii. Platinendesign
 - iii. Steuersoftware

- iv. Entfernungsmessung und Auswertung
- v. Kalibrierung
- 5. RO-SLAM
 - (a) Roboterplattform
 - (b) Softwarearchitektur
 - i. ROS Module
 - ii. MRPT Module
- 6. Evaluation
 - (a) Versuchsaufbau
 - (b) Ergebnisse und Auswertung
- 7. Zusammenfassung und Ausblick

7 Zeitplan

Der vorgegebene zeitliche Rahmen für die Bachelorarbeit beträgt ca. 10 Wochen. Die folgenden Wochenangaben beziehen sich auf die Zeit ab der Anmeldung.

Woche	KW	Aufgabe
01	48	Anmeldung zur Bachelorarbeit; Stand der Forschung und Technik
02	49	Beschreibung; Stand der Forschung und Technik
03	50	UWB Historie, Gegenüberstellung, Aufbau
04	51	UWB Entfernungsmessung, Kalibrierung und Auswertung
05	52	RO-SLAM Architektur
06	01	RO-SLAM Auswertung der Versuchsergebnisse
07	02	Einführung und Zusammenfassung
08	03	Grundlagen
09	04	Grundlagen
10	05	Korrektur lesen und Überarbeitung der Bachelorarbeit
11	06	Drucken und Abgabe der Bachelorarbeit
12	07	Puffer
13	08	Kolloquium

Tabelle 1: Zeitplan

8 Literatur

- [1] Robin Murphy. *Introduction to AI robotics*. MIT press, 2000.
- [2] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su und Chung-Chou Shen. „A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi“. In: *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE*. Ieee. 2007, S. 46–51.
- [3] Julius Smith und Jonathan Abel. „Closed-form least-squares source location estimation from range-difference measurements“. In: *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* 35.12 (1987), S. 1661–1669.
- [4] MWM Gamini Dissanayake u. a. „A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem“. In: *IEEE Transactions on robotics and automation* 17.3 (2001), S. 229–241.
- [5] George Kantor und Sanjiv Singh. „Preliminary results in range-only localization and mapping“. In: *Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA'02. IEEE International Conference on*. Bd. 2. Ieee. 2002, S. 1818–1823.
- [6] Jose-Luis Blanco, Javier González und Juan-Antonio Fernández-Madrigal. „A pure probabilistic approach to range-only SLAM“. In: *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on*. IEEE. 2008, S. 1436–1441.
- [7] Jose-Luis Blanco, Juan-Antonio Fernández-Madrigal und Javier González. „Efficient probabilistic range-only SLAM“. In: *Intelligent Robots and Systems, 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE. 2008, S. 1017–1022.
- [8] Anton Ledergerber, Michael Hamer und Raffaello D’Andrea. „A robot self-localization system using one-way ultra-wideband communication“. In: *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE. 2015, S. 3131–3137.
- [9] F Herranz u. a. „Studying of WiFi range-only sensor and its application to localization and mapping systems“. In: *IEEE ICRA*. 2010, S. 115–120.
- [10] Reza Zekavat und R Michael Buehrer. *Handbook of position location: Theory, practice and advances*. Bd. 27. John Wiley & Sons, 2011.
- [11] *DWM1000 Datasheet*. Version 1.6. DecaWave Limited, 2016.
- [12] *DW1000 power source selection guide*. Version 1.10. DecaWave Limited, 2013.

- [13] Thomas Trojer. *thotro/arduino-dw1000. A library that offers functionality to use Decawave's DW1000 chips/modules with Arduino*. 2015. URL: <https://github.com/thotro/arduino-dw1000>.
- [14] Wayne Holder. *UWB Ranging with the DecaWave DWM1000*. 2016. URL: <https://sites.google.com/site/wayneholder/uwb-ranging-with-the-decawave-dwm1000>.
- [15] Wayne Holder. *UWB Ranging with the DecaWave DWM1000 - Part II*. 2016. URL: <https://sites.google.com/site/wayneholder/uwb-ranging-with-the-decawave-dwm1000---part-ii>.
- [16] *The implementation of two-way ranging with the DW1000*. Version 2.2. DecaWave Limited, 2015.
- [17] *Sources of error In DW1000 based two-way ranging schemes*. Version 1.0. DecaWave Limited, 2014.
- [18] *Antenna delay calibration of DW1000-based products and systems*. Version 1.01. DecaWave Limited, 2014.
- [19] Ciaran McElroy, Dries Neiryneck und Michael McLaughlin. „Comparison of wireless clock synchronization algorithms for indoor location systems“. In: *Communications Workshops (ICC), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE. 2014, S. 157–162.
- [20] Fernando Herranz u. a. „A comparison of slam algorithms with range only sensors“. In: *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE. 2014, S. 4606–4611.
- [21] Javier González u. a. „Mobile robot localization based on ultra-wide-band ranging: A particle filter approach“. In: *Robotics and autonomous systems* 57.5 (2009), S. 496–507.
- [22] Hugh Durrant-Whyte und Tim Bailey. „Simultaneous localization and mapping: part I“. In: *IEEE robotics & automation magazine* 13.2 (2006), S. 99–110.
- [23] Sebastian Thrun, Wolfram Burgard und Dieter Fox. *Probabilistic robotics*. MIT press, 2005.
- [24] Jens Schroeder, Stefan Galler und Kyandoghere Kyamakya. „A low-cost experimental ultra-wideband positioning system“. In: *Ultra-Wideband, 2005. ICU 2005. 2005 IEEE International Conference on*. IEEE. 2005, S. 632–637.
- [25] Adam Smith u. a. „Tracking moving devices with the cricket location system“. In: *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM. 2004, S. 190–202.