

Range Only Simultaneous Localization and Mapping with Ultra-Wideband

Bachelorarbeit

Fachhochschule Aachen
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Ingenieur-Informatik

Albert Kasdorf
geb. am 29.12.1984 in Pawlodar
Matr.-Nr.: 3029294

Gutachter:
Prof. Dr. rer. nat. Alexander Ferrein
Prof. Dipl.-Inf. Ingrid Scholl
Prof. Dr.-Ing. Thorsten Ringbeck

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Aachen, 7. Dezember 2017

Ort, Datum

Albert Kasdorf

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
1. Einführung	1
1.1. Aufgabenstellung	2
1.2. Motivation	2
1.3. Zielsetzung	2
1.4. Gliederung	2
1.5. ???Problemstellung??	2
2. Grundlagen	5
2.1. Verfahren für die Reichweiten-Bestimmung	5
2.2. Wahrscheinlichkeitstheorie	5
2.3. Bayes/Kalman/Partikel Filter	5
2.4. SLAM	5
2.5. ROS	5
3. Stand der Forschung und Technik	7
4. Ultrabreitband	9
4.1. Historie	9
4.2. Alternative Technologien	9
4.3. Gegenüberstellung	9
4.4. Erstelle Hardware	9
4.4.1. Elektrischer Aufbau	9
4.4.2. Platinendesign	9
4.4.3. Steuersoftware	9

4.4.4. Entfernungsmessung und Auswertung	9
4.4.5. Kalibrierung	9
5. RO-SLAM	11
5.1. Roboterplattform	11
5.2. Softwarearchitektur	11
5.2.1. ROS Module	11
5.2.2. MRPT Module	11
6. Evaluation	13
6.1. Versuchsaufbau	13
6.2. Ergebnisse und Auswertung	13
7. Zusammenfassung und Ausblick	15
7.1. Zusammenfassung	15
7.2. Ausblick	15
Literaturverzeichnis	17
Anhang	19
A. Blindtext Kapitel	21
A.1. Blindtext Abschnitt	21

Abkürzungsverzeichnis

SPI Serial Peripheral Interface	1
--	---

Abbildungsverzeichnis

1.1. a nice plot	1
----------------------------	---

Tabellenverzeichnis

1.1. Table to test captions and labels	2
--	---

Einführung

Mit dem vorliegenden Artikel sollen die Einsatzmöglichkeiten der seriellen Kommunikation mit Peripheriegeräten mittels Serial Peripheral Interface (SPI) verdeutlicht werden.

Das SPI ist ein in den frühen 1980er Jahren von Motorola entwickeltes Bus-System mit einem „lockeren“ Standard für einen synchronen seriellen Datenbus (Synchronous Serial Port), mit dem digitale Schaltungen nach dem Master-Slave-Prinzip miteinander verbunden werden können.

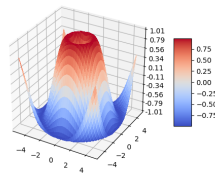


Abbildung 1.1.: a nice plot

As you can see in the figure 1.1, the function grows near 0. Also, in the page 1 is the same example.

The table 1.1 is an example of referenced \LaTeX elements.

Col1	Col2	Col2	Col3
1	6	87837	787
2	7	78	5415
3	545	778	7507
4	545	18744	7560
5	88	788	6344

Tabelle 1.1.: Table to test captions and labels

1.1. Aufgabenstellung

1.2. Motivation

1.3. Zielsetzung

1.4. Gliederung

1.5. ???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 Straßenkarten 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 Straßenkarten 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 das 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 Kartenerstellen (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.

Grundlagen

2.1. Verfahren für die Reichweiten-Bestimmung

2.2. Wahrscheinlichkeitstheorie

2.3. Bayes/Kalman/Partikel Filter

2.4. SLAM

2.5. ROS

3.

Stand der Forschung und Technik

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 das 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.

- The Cartesian EKF described above operates in the Cartesian space, we formulate our problem in polar coordinates. - The use of this parameterization derives motivation from the polar coordinate system, where annuli, crescents and other ringlike shapes can

be easily modeled. This parameterization is called Relative Over Parameterized (ROP) because it over parameterizes the state relative to an origin.

- EKF -> Polar EKF -> Multi-Hypothesis Filter - Partikel Filter

4.

Ultrabreitband

4.1. Historie

4.2. Alternative Technologien

4.3. Gegenüberstellung

4.4. Erstelle Hardware

4.4.1. Elektrischer Aufbau

4.4.2. Platinendesign

4.4.3. Steuersoftware

4.4.4. Entfernungsmessung und Auswertung

4.4.5. Kalibrierung

5.

RO-SLAM

5.1. Roboterplattform

5.2. Softwarearchitektur

5.2.1. ROS Module

5.2.2. MRPT Module

6.

Evaluation

6.1. Versuchsaufbau

6.2. Ergebnisse und Auswertung

7.

Zusammenfassung und Ausblick

7.1. Zusammenfassung

7.2. Ausblick

Literaturverzeichnis

- [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] Ciaran McElroy, Dries Neiryck 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Hugh Durrant-Whyte und Tim Bailey. „Simultaneous localization and mapping: part I“. In: *IEEE robotics & automation magazine* 13.2 (2006), S. 99–110.
- [13] Sebastian Thrun, Wolfram Burgard und Dieter Fox. *Probabilistic robotics*. MIT press, 2005.
- [14] 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.
- [15] 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.

Anhang



Blindtext Kapitel

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

A.1. Blindtext Abschnitt

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informa-

tionen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.