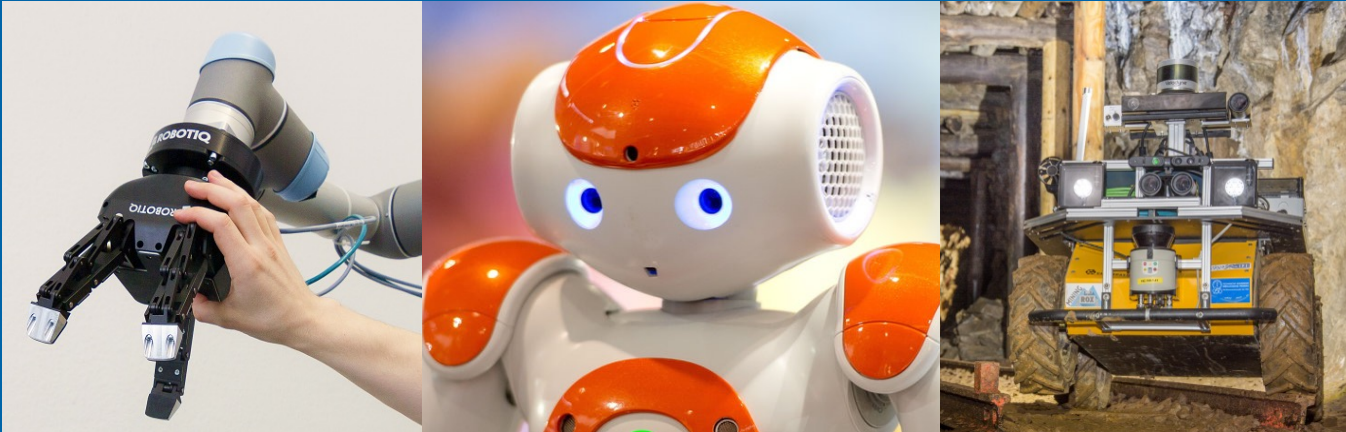


Seminar Bachelor/Master

Angewandte Informatik Robotik 2021

Ausgewählte Kapitel der Robotik



M.Sc. Robert Lösch, Prof. Bernhard Jung
Kontakt: Robert.Loesch@informatik.tu-freiberg.de

Agenda

- Inhaltliche Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit*
- Formale Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit*
- Generelle Hinweise*

* aus: Richtlinie für die Gestaltung von wissenschaftlichen Arbeiten (Studienarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) an der TU Bergakademie Freiberg (Stand 27.06.2005)

A Compilation of Robots Falling Down at the DARPA Robotics Challenge



Agenda

- Inhaltliche Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
 - Einleitung
 - Wissensstand
 - Darstellung des Lösungsweges, Planung und Durchführung der Untersuchungen, Berechnungen usw.
 - Darstellung und Diskussion der Ergebnisse
 - Zusammenfassung
 - Anhang
- Formale Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
- Generelle Hinweise

Einleitung

„Die Einleitung begründet die Themenstellung und erläutert die Abgrenzung des Gebietes das Gegenstand der Arbeit sein soll.“

- $\approx 10\%$ der Arbeit
- Motivation
- Aufgabenstellung
- (Abgrenzung)
- Struktur der Arbeit

Wissensstand

„Der Wissensstand beinhaltet die Zusammenfassung des zum Thema erforderlichen Literaturstudiums einschließlich bekannter Untersuchungsverfahren. Als Quellen sind nicht nur Fachbücher, sondern auch Fachzeitschriften, Kongressberichte und Artikelsammlungen (Proceedings) [...] heranzuziehen.“

- Bei umfangreichen Arbeiten definitiv eigenes Kapitel
- Bei kompakten Arbeiten (z.B. Paper) oft auch in Einleitung

Darstellung des Lösungsweges, Planung und Durchführung der Untersuchungen, Berechnungen usw.

„Die Beschreibung der angewandten Verfahren (Versuche, Berechnungen, Ableitungen) muss so umfangreich sein, dass sie **von einem Fachmann** nachvollzogen werden können.“

- Nicht für Laien

„Bei der Benutzung genormter Verfahren bzw. exakt beschriebener Versuchsabläufe genügt die Angabe der Quelle und eventueller Abweichungen.“

Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

„Die einzelnen Ergebnisse sind klar zu formulieren, **anschaulich unter Nutzung von Tabellen, Bildern und Diagrammen darzustellen** und mit **dem Stand der Wissenschaften zu vergleichen**. Neue Erkenntnisse, sowie die Bestätigung oder Widerlegung bisheriger Auffassungen sollten deutlich erkennbar sein.“

- Beides in ein Kapitel oder jeweils ein Kapitel möglich

Zusammenfassung

„In der Zusammenfassung sind thesenhaft die Aufgabenstellung der Lösungswege und die wesentlichen Ergebnisse darzustellen.“

- Aufgabenstellung
 - Lösungsweg
 - Ergebnisse
- } zusammenfassen
- Auch wieder $\approx 10\%$ der Arbeit
 - Keine neuen Informationen!

Anhänge

„Der wissenschaftlichen Arbeit können Anhänge beigefügt werden. Als Anhänge sind Messprotokolle, Analysendaten, Zusammensetzungen von Roh-, Hilfs- und Endstoffen, Synthesevorschriften, Rechenbeispiele oder -programme u. a. aufzunehmen, die für das Verständnis der Arbeit erforderlich sind.“

Prüfungsordnung BAI:

„Als Anlage ist ein Exemplar in einem maschinenlesbaren PDF-Format einzureichen.“

Üblicher Inhalt einer (natur-)wissenschaftl. Arbeit

- Einleitung
- Wissensstand
- (Grundlagenkapitel)
- Darstellung des Lösungsweges, Planung und Durchführung der Untersuchungen, Berechnungen usw.
- Darstellung und Diskussion der Ergebnisse
- Zusammenfassung
- Anhang

Agenda

- Inhaltliche Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
- Formale Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
 - Seitenformat
 - Schriftart
 - Textgestaltung
 - Abschnittsnummerierung
 - Tabellen und Bilder
 - Formeln, Zeichen, Einheiten
 - Quellenangaben
 - Verzeichnisse
 - Anhang
 - Eidesstattliche Erklärung
 - Danksagung
- Generelle Hinweise

Seitenformat

- weißes Papier mit Format DIN A4
- Rand: links 40 mm, oben 25 mm, unten 20 mm
- fortlaufende Seitennummerierung
- Seite 1 ist das Titelblatt (ohne Angabe der Seitennummer)

Schriftart

- möglichst 10 Zeichen je Zoll
 - z. B. Roman 10 oder Courier 10
- Schriftzeichen mit weniger als 1,7 mm Höhe sind unzulässig
 - auch in Bildern und Tabellen
- Standard bei TUBAF-LaTeX: 11pt (auch ok)

Textgestaltung I

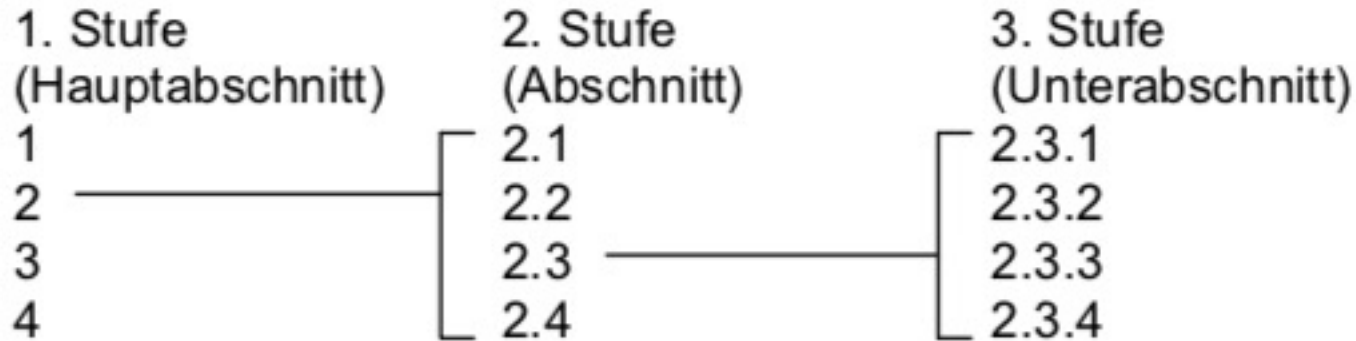
- Der Text ist mit Zeilenabstand 1,5 zu schreiben.
- Absätze beginnen stets mit einer neuen Zeile.
- Zwischen Absätzen und neuer Überschrift sind zwei Leerzeilen vorzusehen.
- Ein Hauptabschnitt beginnt immer mit einer neuen Seite.

Textgestaltung II

- Einer Überschrift müssen mindestens 3 Zeilen folgen, ansonsten ist eine neue Seite zu beginnen.
- Auf jede Überschrift folgt der Text mit 2fachem Grundzeilenabstand.
- Folgen mehrere Überschriften aufeinander, werden sie jeweils durch 2fachen Grundzeilenabstand getrennt.

Abschnittsnummerierung

Nach DIN 1421, sollte eine dreifache Untergliederung nicht überschritten werden.



Sind die Abschnitte oder Unterabschnitte sehr kurz, sollte auf Zwischenüberschriften verzichtet und Absatzmarkierungszeichen (Spiegelstriche, Anstriche) verwendet werden.

Tabellen und Bilder

- Durchgehend nummerieren
- Durchgehend mit Über- bzw. Unterschriften und Legende versehen
- Müssen ohne den begleitenden Text verständlich sein
- Möglichst in der Nähe der beschriebenen Stelle
- Können am Schluss eingeordnet werden
(in Reihenfolge der Erwähnung)
- „Die Seite, auf der sich das Bild bzw. die Tabelle befindet, wird im Text genannt.“
- Anordnung möglichst in Richtung des Textes (nicht 90°)

Tabellen

„Tabellen werden gegebenenfalls geteilt, auch wenn dadurch Wiederholungen notwendig werden.“

Bilder

- Beschriftungen: waagerecht, ohne Rahmen, in der Nähe der zu erläuternden Stelle
- Keine „gefaltete Bilder“, lieber doppelseitig, aber ohne Bindepfalz
- Fotos: nur inhaltswichtige Teile übernehmen, Skalen oder Vergleichsobjekte bekannter Größe geben den Maßstab an
- Möglichst Originalaufnahmen (oder deren Teile)
- Gegebenenfalls Urheberrechte beachten

Formeln, Zeichen, Einheiten

- Klammern sollen eindeutig klären, was eingeklammert wird
- Gleichungen durchgehend nummerieren
- Konsequent SI-Einheiten und die in Normen festgelegten Größen und Kurzzeichen anwenden (zur Not umrechnen)

Quellenangaben

- „Quellen und Zitate sind im Text mit der im Literaturverzeichnis gewählten Kurzbezeichnung oder durch eine laufende Nummer auszuweisen, z. B. (Muller, 1994d) oder (12).“
- „Jedes Zitat ist ohne Veränderung, d. h. mit allen Hervorhebungen und Fehler, in Anführungsstrichen wiederzugeben.“
- Bei mehreren Verfassern ist die Angabe des ersten Verfassers mit dem Zusatz u.a. möglich. Beispiele:
 - Von K. Mayer u.a. (Mayer 1993b) wurde bei der Untersuchung von
 - Von K. Mayer u.a. (9) wurde bei der Untersuchung von
 - Nicht zulässig ist: Von (9) wurde bei der Untersuchung von

Verzeichnisse

jeweils auf neuer Seite

- Inhaltsverzeichnis
- Verzeichnis von Sonderzeichen, Symbolen und Abkürzungen
- Verzeichnisse von Bildern und Tabellen
- Literaturverzeichnis

Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis:

- „Alle Überschriften der Gliederungspunkte und die dazugehörigen Seiten sind aufzulisten, ebenso die Verzeichnisse (außer Inhaltsverzeichnis).“

Verzeichnisse

Verzeichnis von Sonderzeichen, Symbolen und Abkürzungen:

- Sonderzeichen, Symbole, Abkürzungen usw. sind mit ihrer Erklärung sinnvoll zu ordnen (alphabetisch und nach Großbuchstaben, Kleinbuchstaben, griechischen Buchstaben und Sonderzeichen) und aufzuführen.
- Unabhängig von einem derartigen Verzeichnis sind sie im Text bei ihrem ersten Auftreten zu erläutern.

Verzeichnisse

Verzeichnisse von Bildern und Tabellen:

- Über zahlreiche Abbildungen, Tabellen u. ä. ist jeweils ein Verzeichnis, dass mit einer entsprechenden Überschrift zu versehen ist, zu erstellen.
- Die Abbildungen, Tabellen u. ä. sind nach ihrer laufenden Nummer aufzuführen und mit der Seitenzahl zu versehen, in der sie in der wissenschaftlichen Arbeit zu finden sind.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis:

- Vor dem Zitat steht einen vom Zitierenden frei gewählte Kurzbezeichnung oder eine laufende Nummer.
- Die Zitate sind bei einer frei gewählten Kurzbezeichnung alphanumerisch geordnet aufzuführen.
- Reihenfolge in Literaturverzeichnis gerne wie im Text.

Anhänge

- sind durch einen Großbuchstaben zu kennzeichnen.
- Zusätzlich zur fortlaufenden Seitenzählung werden die Seiten der Anhänge mit der Anhangsbezeichnung versehen.
- Innerhalb der Anhänge werden Abbildungen, Tabellen, Literaturhinweise usw. neu gezählt durch Hinzufügen des Großbuchstabens des betreffenden Anhangs,
 - z. B. Tabelle C2 = 2. Tabelle in Anhang C (also im 3. Anhang)
 - Tabelle 2 = 2. Tabelle im Textteil

Eidesstattliche Erklärung

Der Studienarbeit bzw. der Diplomarbeit ist auf einer gesonderten Seite eine eidesstattliche Erklärung mit folgendem Wortlaut anzufügen:

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich (versichern wir), dass ich (wir) die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe(n); die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. (Wurde die Arbeit als Gruppenarbeit angefertigt, ist der Beitrag des Einzelnen durch Angabe von Abschnitten und Seiten zu kennzeichnen.)

Ort, Abgabedatum

Unterschrift(en) des (der) Verfasser(s)

Danksagung

- kann (auf einer gesonderten Seite) erfolgen
 - sie ist denkbar, wenn Unterstützung durch Personen oder Firmen in Form von
 - Zuwendungen,
 - Durchführung von Messen / Untersuchungen / Analysen
 - Unterstützung bei der Einarbeitung
 - usw.
- erfolgte.

Agenda

- Inhaltliche Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
- Formale Gestaltung der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit
- Generelle Hinweise

Daten

- „Sämtliche Urdaten (Einwaagen, Messwerte, Messdiagramme, Analysen, Beobachtungen, Daten u.a.) sind in einem Laborheft mit nummerierten Seiten einzutragen und auf Anforderung dem betreuenden Hochschullehrer vorzulegen.
- Laborhefte, Analysekarten, Eichkurven, Schriftwechsel, Rechnerauszüge, noch aufzubewahrende Materialien (Datenträger, Filme, Fotoplatten, Proben, Untersuchungsmaterial u.a.) sind nach Abgabe der Arbeit dem betreuenden Hochschullehrer zu übergeben.“

Sprache

- Nicht:
 - Umgangssprache
 - Personalpronomen (kein “ich“, ...)
- Vermeiden:
 - Passiv
 - Schachtelsätze

Beispiele aus alten Seminararbeiten

2.2.3 Observation

Nun müssen durch den Roboter einige Beobachtungen $z_j(k+1)$ der verschiedenen Landmarken durchgeführt werden. Die Differenz zwischen Beobachtung und Schätzung ist:

$$\begin{aligned} v_{ij}(k+1) &= [z_j(k+1) - \hat{z}_i(k+1)] \\ &= [z_j(k+1) - h_i(p_i, \hat{x}k+1k)] \end{aligned} \quad (7)$$

Der Vektor v_{ij} wird Innovation genannt. Die Kovarianz dieser Innovation kann durch Linearisierung von (2) über die Vorhersage gefunden werden.

$$\begin{aligned} S_{ij}(k+1) &\equiv E[v_{ij}(k+1)v_{ij}^t(k+1)] \\ &= [z_j(k+1) - h_i(p_i, \hat{x}k+1k)] \end{aligned} \quad (8)$$

2.2.3 Observation

Nun müssen durch den Roboter einige Beobachtungen $z_j(k+1)$ der verschiedenen Landmarken durchgeführt werden. Die Differenz zwischen Beobachtung und Schätzung ist [2]:

$$\begin{aligned} v_{ij}(k+1) &= [z_j(k+1) - \hat{z}_i(k+1)] \\ &= [z_j(k+1) - h_i(p_i, \hat{x}k+1k)] \end{aligned} \quad (7)$$

Der Vektor v_{ij} wird Innovation genannt. Die Kovarianz dieser Innovation kann durch Linearisierung von (2) über die Vorhersage gefunden werden (siehe Gleichung 8).

$$\begin{aligned} S_{ij}(k+1) &\equiv E[v_{ij}(k+1)v_{ij}^t(k+1)] \\ &= [z_j(k+1) - h_i(p_i, \hat{x}k+1k)] \end{aligned} \quad (8)$$

3 Ausrüstung

3.1 Hardware und Verfahren

Die für die Kartierung der Northparkes Mine verwendete Sensorplattform basiert auf einem rotierenden Laserscanner SICK LMS 291, der in Abbildung 1 dargestellt ist.



Abb. 1: Fahrzeug mit Sensorplatte

3 Ausrüstung

3.1 Hardware und Verfahren

Die für die Kartierung der Northparkes Mine verwendete Sensorplattform basiert auf einem rotierenden Laserscanner SICK LMS 291, der in Abbildung 1 dargestellt ist.



Abb. 1: Rotierender Laserscanner SICK LMS 291 montiert auf Fahrzeug. In Anlehnung an: [1].

1 Einleitung

Die Kartierung von sowohl großflächigen, unterirdischen Umgebungen als auch von schwer zugänglichen Industrieanlagen wird in der heutigen Zeit immer wichtiger.

Aspekte wie Sicherheit Untertage, Kosteneffektivität beim Transport oder Neukonstruierung von Objekten treten zunehmend in den Vordergrund. Eine alternative Methode zu den herkömmlichen Methoden der Kartierung von Objekten und Umgebungen bietet die Efficient Large-scale Three-dimensional Mobile Mapping, welche durch Robert Zlot und Michael Bosse für die Kartografierung von Untergrundminen für die spezifischen Anforderungen entwickelt wurde. Zlot und Bosse erschlossen durch die Veränderung von Parametern Möglichkeiten der weiteren Nutzung.

1 Einleitung

Die Kartierung von sowohl großflächigen, unterirdischen Umgebungen als auch von schwer zugänglichen Industrieanlagen wird in der heutigen Zeit immer wichtiger. Aspekte wie Sicherheit Untertage, Kosteneffektivität beim Transport oder Neukonstruierung von Objekten treten zunehmend in den Vordergrund. Eine alternative Methode zu den herkömmlichen Methoden der Kartierung von Objekten und Umgebungen bietet die Efficient Large-scale Three-dimensional Mobile Mapping, welche durch Robert Zlot und Michael Bosse für die Kartografierung von Untergrundminen für die spezifischen Anforderungen entwickelt wurde [1]. Zlot und Bosse erschlossen durch die Veränderung von Parametern Möglichkeiten der weiteren Nutzung.

Zum einen gibt es die zeitlich benachbarten Kanten zwischen aufeinanderfolgenden Orten und zum anderen die aus der Ortserkennung abgeleiteten Kanten.

Eine robuste Pose-Graph-Optimierungsmethode ist erforderlich, da viele der Stellenerkennungskanten fehlerhaft sein können. Diese fehlerhaften Kanten kommen vor allem durch eine fehlerhafte Aufnahme der Punkte vor dem Ortserkennungsalgorithmus zustande.

Die zeitnahen Kanten werden nicht angenommen, obwohl sie den Graphen möglicherweise nicht vollständig verbinden, wenn mehrere disjunkte Datensätze verwendet werden.

Das Pose-Diagramm \mathcal{G} kann wie folgt definiert werden:

$$\mathcal{G} = (\mathcal{N}, \mathcal{E}) \quad (7)$$

$$\mathcal{N}_i = T_W^I \equiv T_i \equiv (t_i, r_i) \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{ij} = T_I^J \equiv T_{ij} \quad (9)$$

Zum einen gibt es die zeitlich benachbarten Kanten zwischen aufeinanderfolgenden Orten und zum anderen die aus der Ortserkennung abgeleiteten Kanten. Eine robuste Pose-Graph-Optimierungsmethode ist erforderlich, da viele der Stellenerkennungskanten fehlerhaft sein können. Diese fehlerhaften Kanten kommen vor allem durch eine fehlerhafte Aufnahme der Punkte vor dem Ortserkennungsalgorithmus zustande. Die zeitnahen Kanten werden nicht angenommen, obwohl sie den Graphen möglicherweise nicht vollständig verbinden, wenn mehrere disjunkte Datensätze verwendet werden. Das Pose-Diagramm \mathcal{G} kann wie folgt definiert werden [9]:

$$\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{E}) \quad (7)$$

$$\mathcal{N}_i = T_W^I \equiv T_i \equiv (t_i, r_i) \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{ij} = T_I^J \equiv T_{ij} \quad (9)$$

1 Einleitung

Die Kartierung von sowohl großflächigen, unterirdischen Umgebungen als auch von schwer zugänglichen Industrieanlagen wird in der heutigen Zeit immer wichtiger. Aspekte wie Sicherheit Untertage, Kosteneffektivität beim Transport oder Neukonstruktion von Objekten treten zunehmend in den Vordergrund. Eine alternative Methode zu den herkömmlichen Methoden der Kartierung von Objekten und Umgebungen bietet die Efficient Large-scale Three-dimensional Mobile Mapping, welche durch Robert Zlot und Michael Bosse für die Kartografierung von Untergundminen für die spezifischen Anforderungen entwickelt wurde. Zlot und Bosse erschlossen durch die Veränderung von Parametern Möglichkeiten der weiteren Nutzung.

2 Ansatz des Verfahrens

In diesem Kapitel gehe ich auf das Verfahren ein, welches Zlot und Bosse entwickelt haben, um die Zeitdauer der Kartierung einer Umgebung zu minimieren. Dabei haben sie sich zuerst auf die Ausgangssituation konzentriert und Messwerte, einzelne Punkte mit Umgebungseigenschaften, aufgenommen.

Ziel ist es dabei, dass das Verfahren exakt funktioniert und mögliche Probleme, die in den einzelnen Bereichen des Verfahrens auftreten können, zu erfassen und zu beheben. Sie haben vier große Problempunkte eruiert, deren Lösung eine mögliche Zeitersparnis in den Verfahren bieten könnte.

Einer dieser Punkte ist die Registrierung der Umgebungspunkte für die spätere Darstellung. Dabei besteht das Problem, in welchem Abstand Messwerte aufgenommen werden sollen. Eine größere Menge an Messwerten würde eine Steigerung der Zeitdauer für die Kartierung bedeuten. Eine zu niedrige Anzahl von Messpunkten kann hingegen zu einer ungenaueren Darstellung der Umgebung führen.

Ein weiterer Punkt ist die Kalibrierung der Sensoren für die Datenaufnahme. Durch eine fehlerhafte Kalibrierung der Sensoren am Beginn der Aufnahme der Messpunkte oder durch eine Störung während der Messung können Fehler entstehen. Somit ist es möglich, dass die gesamte Aufnahme der Messpunkte oder ein Teil dieser Punkte fehlerbehaftet sind, ohne erkannt zu werden. Deswegen muss eine Bewertung dieser Messpunkte oder eine Kompensation möglicher Fehlerwerte eingebaut werden.

Ein weiteres Problem ist die Lokalisierung der gemessenen Punkte. Das System besitzt keinen Bezugspunkt und somit ist unklar, wo sich einzelne Punkte befinden. Diese Zuweisung wird im ersten Schritt lokal realisiert, um Zeit zu sparen. Im zweiten Schritt wird für diesen Zwischenschritt ein für alle Messpunkte relevanter Bezugspunkt gesucht, der dann später für die Kartierung der Umgebung notwendig ist.

In den weiteren Kapiteln wird auf die einzelnen Problempunkte eingegangen und die Lösungsstrategien dargestellt.

2.1 Kartenregistrierung

Aufgrund der ständigen Bewegung der Sensorplatte ist eine Modellierung der Trajektorie nötig. Dabei können zwei unterschiedliche Systeme genutzt werden. Zum einen gibt es eine Modellierung, die starr ist, und zum anderen ein nicht starres System.

Bei dem starren System wird das „Nearest-Neighbor-Algorithmus“ verwendet, um einzelne Punkte durch Vergleiche mit anderen Punkten in einen regionalen Bezug zu bringen.

Bei einem nicht starren System wird eine zeitveränderliche Funktion genutzt, die im Bezug auf

1 Einleitung

Die Kartierung von sowohl großflächigen, unterirdischen Umgebungen als auch von schwer zugänglichen Industrieanlagen wird in der heutigen Zeit immer wichtiger. Aspekte wie Sicherheit Untertage, Kosteneffektivität beim Transport oder Neukonstruierung von Objekten treten zunehmend in den Vordergrund. Eine alternative Methode zu den herkömmlichen Methoden der Kartierung von Objekten und Umgebungen bietet die Efficient Large-scale Three-dimensional Mobile Mapping, welche durch Robert Zlot und Michael Bosse für die Kartografierung von Untergrundminen für die spezifischen Anforderungen entwickelt wurde [1]. Zlot und Bosse erschlossen durch die Veränderung von Parametern Möglichkeiten der weiteren Nutzung.

2 Ansatz des Verfahrens

In diesem Kapitel gehe ich auf das Verfahren ein, welches Zlot und Bosse entwickelt haben, um die Zeitdauer der Kartierung einer Umgebung zu minimieren.

Dabei haben sie sich zuerst auf die Ausgangssituation konzentriert und Messwerte, einzelne Punkte mit Umgebungseigenschaften, aufgenommen.

Ziel ist es dabei, dass das Verfahren exakt funktioniert und mögliche Probleme, die in den einzelnen Bereichen des Verfahrens auftreten können, zu erfassen und zu beheben.

Sie haben vier große Problempunkte eruiert, deren Lösung eine mögliche Zeitersparnis in den Verfahren bieten könnte.

Einer dieser Punkte ist die Registrierung der Umgebungspunkte für die spätere Darstellung. Dabei besteht das Problem, in welchem Abstand Messwerte aufgenommen werden sollen. Eine größere Menge an Messwerten würde eine Steigerung der Zeitdauer für die Kartierung bedeuten. Eine zu niedrige Anzahl von Messpunkten kann hingegen zu einer ungenaueren Darstellung der Umgebung führen.

Ein weiterer Punkt ist die Kalibrierung der Sensoren für die Datenaufnahme. Durch eine fehlerhafte Kalibrierung der Sensoren am Beginn der Aufnahme der Messpunkte oder durch eine Störung während der Messung können Fehler entstehen. Somit ist es möglich, dass die gesamte Aufnahme der Messpunkte oder ein Teil dieser Punkte fehlerbehaftet sind, ohne erkannt zu werden. Deswegen muss eine Bewertung dieser Messpunkte oder eine Kompensation möglicher Fehlerwerte eingebaut werden.

Ein weiteres Problem ist die Lokalisierung der gemessenen Punkte. Das System besitzt keinen Bezugspunkt und somit ist unklar, wo sich einzelne Punkte befinden. Diese Zuweisung wird im ersten Schritt lokal realisiert, um Zeit zu sparen. Im zweiten Schritt wird für diesen Zwischenschritt ein für alle Messpunkte relevanter Bezugspunkt gesucht, der dann später für die Kartierung der Umgebung notwendig ist.

In den weiteren Kapiteln wird auf die einzelnen Problempunkte eingegangen und die Lösungsstrategien dargestellt.

2.1 Kartenregistrierung

Aufgrund der ständigen Bewegung der Sensorplatte ist eine Modellierung der Trajektorie nötig. Dabei können zwei unterschiedliche Systeme genutzt werden. Zum einen gibt es eine Modellierung, die starr ist, und zum anderen ein nicht starrs System.

Bei dem starren System wird das „Nearest-Neighbor-Algorithmus“ verwendet, um einzelne Punkte durch Vergleiche mit anderen Punkten in einen regionalen Bezug zu bringen.

Bei einem nicht starren System wird eine zeitveränderliche Funktion genutzt, die im Bezug auf den Weltreferenzrahmen steht. Dabei werden die Punkte nicht, wie bei dem starren System, lokal ausgewertet und später erst in den Weltreferenzrahmen gesetzt, sondern jeder einzelne Punkt wird in Bezug auf das Gesamtsystem gesetzt. Durch direkte Bezugnahme und einmalige Bewertung der Punkte des nicht starren Systems wird eine Zeiteinsparung gegenüber dem

Die betroffene Unsicherheit wird fälschlicherweise oft auch als Rauschen bezeichnet. Im Gegensatz zu diesem sind die hier relevanten physischen und umweltbezogenen Betriebsbedingungen jedoch selten zufällig, resultieren aber dennoch in fehlenden, falschen oder irrelevanten Informationen. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist eine passierende Person, deren Bewegung die Sensoren des Roboters registrieren und aufzeichnen. Zwar handelt es sich dabei um eine korrekte Messung, diese ist aber nicht relevant zwecks der Lokalisierung. Der Algorithmus muss sich dafür optimalerweise an statischen, unveränderten Objekten orientieren, um Fehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden und ein möglichst korrektes Bild der Position des Roboters in Relation zu dessen Umgebung zu erzeugen. Kurzzeitig auftauchende, sich bewegende und verschwindende Objekte sind dabei irreführend und können zu erheblichen Fehlern im Prozess führen. Der Algorithmus muss daher die Fähigkeit besitzen, diese zu identifizieren und aus den Daten, die zur Positionsbestimmung verwendet werden, zu eliminieren.

Aus diesen aufgeführten Fehlerursachen ergeben sich zwei Hauptproblematiken, die bezüglich der Kartierung und Lokalisierung betrachtet werden müssen. Zum einen handelt es sich dabei um das akkurate Modellieren des Sensorrauschens, zum anderen muss es möglich sein, die Ungewissheit wiederzugeben, ob die Position und Form eines Objekts bestätigt oder nur vermutet werden kann und eventuell mit welcher Wahrscheinlichkeit diese Vermutung der Realität entspricht.

2 Lokalisierungsprozess

Die Lokalisierung beschreibt einen auf dem Kalman-Filter basierenden Ansatz zur Positionsschätzung eines mobilen Roboters. Die Navigation erfolgt als ein Prozess des Trackings geometrischer Merkmale, welche Beacons genannt werden. Diese Beacons sind spezielle Objekte, die zuverlässig in aufeinander folgenden Messungen beobachtet und akkurat beschrieben werden können, bezüglich einer genauen geometrischen Erfassung.

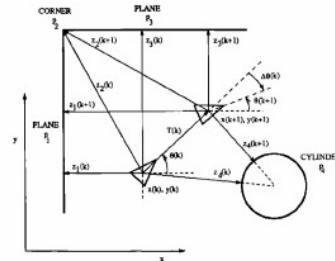


Abb. 1: Die Fahrzeugposition beschreibt sich in Abhängigkeit vom Zeitpunkt durch den Vektor $x(k)$. Aus ihr ergeben sich Beobachtungen z_i diverser geometrischer Beacons (hier: p_1 bis p_4). [7, Fig.1]

Position und Ausrichtung des Fahrzeugs zum beliebigen Zeitpunkt k werden durch die

Neues Hauptkapitel = neue Seite; Schusterjunge/ Hurenkind



Die betroffene Unsicherheit wird fälschlicherweise oft auch als Rauschen bezeichnet. Im Gegensatz zu diesem sind die hier relevanten physischen und umweltbezogenen Betriebsbedingungen jedoch selten zufällig, resultieren aber dennoch in fehlenden, falschen oder irrelevanten Informationen. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist eine passierende Person, deren Bewegung die Sensoren des Roboters registrieren und aufzeichnen. Zwar handelt es sich dabei um eine korrekte Messung, diese ist aber nicht relevant zwecks der Lokalisierung. Der Algorithmus muss sich dafür optimalerweise an statischen, unveränderten Objekten orientieren, um Fehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden und ein möglichst korrektes Bild der Position des Roboters in Relation zu dessen Umgebung zu erzeugen. Kurzzeitig auftauchende, sich bewegende und verschwindende Objekte sind dabei irreführend und können zu erheblichen Fehlern im Prozess führen. Der Algorithmus muss daher die Fähigkeit besitzen, diese zu identifizieren und aus den Daten, die zur Positionsbestimmung verwendet werden, zu eliminieren.

Aus diesen aufgeführten Fehlerursachen ergeben sich zwei Hauptproblematiken, die bezüglich der Kartierung und Lokalisierung betrachtet werden müssen. Zum einen handelt es sich dabei um das akkurate Modellieren des Sensorrauschens, zum anderen muss es möglich sein, die Ungewissheit wiederzugeben, ob die Position und Form eines Objekts bestätigt oder nur vermutet werden kann und eventuell mit welcher Wahrscheinlichkeit diese Vermutung der Realität entspricht.

2 Lokalisierungsprozess

Die Lokalisierung beschreibt einen auf dem Kalman-Filter basierenden Ansatz zur Positionsschätzung eines mobilen Roboters. Die Navigation erfolgt als ein Prozess des Trackings geometrischer Merkmale, welche Beacons genannt werden. Diese Beacons sind spezielle Objekte, die zuverlässig in aufeinander folgenden Messungen beobachtet und akkurat beschrieben werden können, bezüglich einer genauen geometrischen Erfassung.

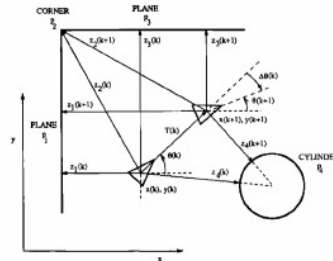


Abb. 1: Die Fahrzeugposition beschreibt sich in Abhängigkeit vom Zeitpunkt durch den Vektor $x(k)$. Aus ihr ergeben sich Beobachtungen z_i diverser geometrischer Beacons (hier: p_1 bis p_4). [7, Fig.1]



Position und Ausrichtung des Fahrzeugs zum beliebigen Zeitpunkt k werden durch die

Das Einsetzen der Werte jeder Sensor Observation in diese Gleichung dient der Überprüfung, ob eine Messung Teil eines solchen Validierungsbereichs ist. Falls dies der Fall ist, liegt ein erfolgreiches Match vor. Für ein negatives Ergebnis erfolgt ein Ignorieren der Messung im Lokalisierungsprozess.

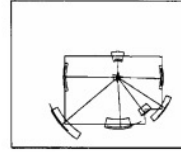


Abb. 4: Bsp.: Matches zwischen Prognosen und Messungen, die in deren Validierungsbereich verortet wurden. [5, Fig. 4d]

In komplexeren Szenarien kann eine Messung zwei verschiedenen Validierungszonen zugeordnet werden. Solche Beobachtungen sollte der Algorithmus hier auch ignorieren, da das Verwerfen von Ausreißern zwingend notwendig für die Lokalisierung ist.

2.4 Estimation

Der letzte Schritt, die Estimation, ist die Berechnung der aktualisierten Positionsschätzung $\hat{x}(k+1|k+1)$ unter Verwendung der vorherig erfolgreich gemachten Prognosen und Beobachtungen.

Zunächst werden dafür alle validierten Messungen $z_j(k+1)$ im Vektor $z(k+1)$ zusammengefasst und die zusammengefasste Innovation $\nu(k+1)$ definiert. Auch die Jacobi-Matrizen ∇h_i werden in ∇h gebündelt. Das gesammelte Rauschen $R(k+1) = \text{diag}[R_j(k+1)]$ dient der Berechnung der zusammengefassten Kovarianz $S(k+1)$.

Es folgt das Anwenden des Standardergebnisses, als welches der Kalman-Filter geschrieben werden kann:

$$W(k+1) = P(k+1|k)\nabla h^T S^{-1}(k+1) \quad (9)$$

Auf Grundlage dieser Variablen kann man schließlich die aktualisierte Fahrzeugpositionsschätzung berechnen:

$$\hat{x}(k+1|k+1) = P(k+1|k) - W(k+1)S(k+1)W^T(k+1) \quad (10)$$

Der Algorithmus nutzt einen gerichteten Erfassungsansatz, dass heißt er nutzt Erwartungen, wo sinnvolle Beacon-Informationen gefunden werden können, um die Sensoren des Fahrzeugs auf diese Stellen auszurichten. Es kann passieren, dass die gemachten Messungen Beobachtungen nicht unterstützen, obwohl diese vorausgesagt wurden. Oder Messungen sind unerwartet, das sie vorher nicht prognostiziert werden konnten. In beiden Fällen ist es wünschenswert die Karte zu aktualisieren.

3 Kartenerstellung und -verwaltung

Die bisher beschriebene Lokalisierungsmethode ging von einer verfügbaren a-priori Karte aus. Dieser Vorzug besteht jedoch nicht für alle Situationen in der realen Welt. Viele Gebäude

Neues Hauptkapitel =
neue Seite;
Einer Überschrift
müssen mindestens 3
Zeilen folgen,
ansonsten neue Seite.

Das Einsetzen der Werte jeder Sensor Observation in diese Gleichung dient der Überprüfung, ob eine Messung Teil eines solchen Validierungsbereichs ist. Falls dies der Fall ist, liegt ein erfolgreiches Match vor. Für ein negatives Ergebnis erfolgt ein Ignorieren der Messung im Lokalisierungsprozess.

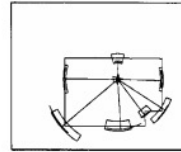


Abb. 4: Bsp.: Matches zwischen Prognosen und Messungen, die in deren Validierungsbereich verortet wurden. [5, Fig. 4d]

In komplexeren Szenarien kann eine Messung zwei verschiedenen Validierungszonen zugeordnet werden. Solche Beobachtungen sollte der Algorithmus hier auch ignorieren, da das Verwerfen von Ausreißern zwingend notwendig für die Lokalisierung ist.

2.4 Estimation

Der letzte Schritt, die Estimation, ist die Berechnung der aktualisierten Positionsschätzung $\hat{x}(k+1|k+1)$ unter Verwendung der vorherig erfolgreich gemachten Prognosen und Beobachtungen.

Zunächst werden dafür alle validierten Messungen $z_j(k+1)$ im Vektor $z(k+1)$ zusammengefasst und die zusammengefasste Innovation $\nu(k+1)$ definiert. Auch die Jacobi-Matrizen ∇h_i werden in ∇h gebündelt. Das gesammelte Rauschen $R(k+1) = \text{diag}[R_j(k+1)]$ dient der Berechnung der zusammengefassten Kovarianz $S(k+1)$.

Es folgt das Anwenden des Standardergebnisses, als welches der Kalman-Filter geschrieben werden kann:

$$W(k+1) = P(k+1|k)\nabla h^T S^{-1}(k+1) \quad (9)$$

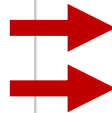
Auf Grundlage dieser Variablen kann man schließlich die aktualisierte Fahrzeugpositionsschätzung berechnen:

$$\hat{x}(k+1|k+1) = P(k+1|k) - W(k+1)S(k+1)W^T(k+1) \quad (10)$$

Der Algorithmus nutzt einen gerichteten Erfassungsansatz, dass heißt er nutzt Erwartungen, wo sinnvolle Beacon-Informationen gefunden werden können, um die Sensoren des Fahrzeugs auf diese Stellen auszurichten. Es kann passieren, dass die gemachten Messungen Beobachtungen nicht unterstützen, obwohl diese vorausgesagt wurden. Oder Messungen sind unerwartet, das sie vorher nicht prognostiziert werden konnten. In beiden Fällen ist es wünschenswert die Karte zu aktualisieren.

3 Kartenerstellung und -verwaltung

Die bisher beschriebene Lokalisierungsmethode ging von einer verfügbaren a-priori Karte aus. Dieser Vorzug besteht jedoch nicht für alle Situationen in der realen Welt. Viele Gebäude



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
1 Motivation	4
2 Equipment und Versuchsaufbau	4
3 Herangehensweise	6
3.1 Trajektorie und Kartenregistrierung	6
3.2 Ortserkennung	7
4 Datenverarbeitung und Ergebnisse	8
4.1 Trajektorienerschätzung in einer offenen Schleife	8
4.2 Geschlossene Schleife	8
4.3 Punktvergleich	9
4.4 Oberflächenrekonstruktion	10
5 Diskussion	11
6 Zusammenfassung	12
Nachwort	12

Abbildungsverzeichnis

1	Das Fahrzeug mit dem Versuchsaufbau innerhalb des Bergwerkes	4
2	Aufnahmebild der beiden Sensorenkonfiguration. Links: Sensor auf rotierender um 65 Grad angewinkelter Plattform. Rechts: 2 Sensoren mit vertikaler Rücken an Rücken Positionierung in 'Pushbroom' Konfigurierung	5
3	Geschwindigkeit des Fahrzeugs während der Datenerfassung. Die zwei schwarzen Kreise zeigen zwei 25 sekündige Lücken in der Datenerfassung wo ein Ethernet Kabel temporär getrennt wurde	6
4	(a) Eine Visualisierung der Verbindungen, welche nach der Überprüfung der geometrischen Konsistenz beibehalten wurden. (b) Ergebnis des Optimierungsalgorithmus nach künstlicher Erzeugung von 46.2% falsch-positiver Übereinstimmungen	9
5	Eine Visualisierung zurückgewonnener Verbindung nach einer Überprüfung der geometrischen Konsistenz. Die falsch-positiven Übereinstimmung wurden rot gefärbt und die wahr-positiven grün.	10
6	Zwei Ansichten des rekonstruierten Oberflächenmodells. Zu sehen in beiden ist der Tote Winkel, welcher nicht erfasst werden konnte, jeweils oben und unten im Bild. Rechts: Großflächige Dreiecke entlang der Tür an denen die Oberfläche offenbar parallel zur Scannebene verläuft.	11

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Vorwort	5
1 Motivation	5
2 Equipment und Versuchsaufbau	5
3 Herangehensweise	7
3.1 Trajektorie und Kartenregistrierung	7
3.2 Ortserkennung	8
4 Datenverarbeitung und Ergebnisse	9
4.1 Trajektorienschätzung in einer offenen Schleife	9
4.2 Geschlossene Schleife	9
4.3 Punktvergleich	10
4.4 Oberflächenrekonstruktion	11
5 Diskussion	12
6 Zusammenfassung	13
Nachwort	13

Abbildungsverzeichnis

1	Das Fahrzeug mit dem Versuchsaufbau innerhalb des Bergwerkes	5
2	Aufnahmebild der beiden Sensorenkonfiguration. Links: Sensor auf rotierender um 65 Grad angewinkelter Plattform. Rechts: 2 Sensoren mit vertikaler Rücken an Rücken Positionierung in 'Pushbroom' Konfigurierung	6
3	Geschwindigkeit des Fahrzeugs während der Datenerfassung. Die zwei schwarzen Kreise zeigen zwei 25 sekündige Lücken in der Datenerfassung wo ein Ethernet Kabel temporär getrennt wurde	7
4	(a) Eine Visualisierung der Verbindungen, welche nach der Überprüfung der geometrischen Konsistenz beibehalten wurden. (b) Ergebnis des Optimierungsalgorithmus nach künstlicher Erzeugung von 46.2% falsch-positiver Übereinstimmungen	10
5	Eine Visualisierung zurückgewonnener Verbindung nach einer Überprüfung der geometrischen Konsistenz. Die falsch-positiven Übereinstimmung wurden rot gefärbt und die wahr-positiven grün.	11
6	Zwei Ansichten des rekonstruierten Oberflächenmodells. Zu sehen in beiden ist der Tote Winkel, welcher nicht erfasst werden konnte, jeweils oben und unten im Bild. Rechts: Großflächige Dreiecke entlang der Tür an denen die Oberfläche offenbar parallel zur Scannebene verläuft.	12

Abbildungsverzeichnis nicht im Inhaltsverzeichnis und nicht auf separater Seite

7 Quellen und Referenzen

Literatur:

- [1] St. Grehl, D. Vogt, M. Sastuba, J. Toth, B. Jung, „Efficient Pixel-wise Image Annotation with Photogrammetry“, 2018
- [2] St. R. Richter, V. Vineet, St. Roth, Vl. Koltun, „Playing for Data: Ground Truth from Computer Games“, 2016
- [3] H. Durrant-Whyte, T. Baily, „Simultaneous Localization and Mapping“, 2006

Bildquellen:

- [Abb. 1] entnommen aus [1], Seite 1
- [Abb. 2] entnommen aus [2], Seite 2
- [Abb. 3] entnommen aus [3], Seite 2
- [Abb. 4] <https://www.statworx.com/de/blog/deep-learning-teil-1-einfuehrung/>
- [Abb. 5] <https://www.researchgate.net/figure/>
- [Abb. 6] entnommen aus [1], Seite 2
- [Abb. 7] entnommen aus [1], Seite 3
- [Abb. 8] <http://www.silberbergwerk-freiberg.de/bergwerk/wp-content/uploads/2017/>
- [Abb. 9] entnommen aus [1], Seite 2
- [Abb. 10] entnommen aus [1], Seite 6

7 Quellen und Referenzen

Literatur:

- [1] St. Grehl, D. Vogt, M. Sastuba, J. Toth, B. Jung, „Efficient Pixel-wise Image Annotation with Photogrammetry“, 2018
- [2] St. R. Richter, V. Vineet, St. Roth, Vl. Koltun, „Playing for Data: Ground Truth from Computer Games“, 2016
- [3] H. Durrant-Whyte, T. Baily, „Simultaneous Localization and Mapping“, 2006

Abbildungen müssen direkt zitiert werden und die Quelle **vollständig** im Literaturverzeichnis enthalten sein

3 Experiment

Dieser Abschnitt behandelt 2 Experimente von [cite:1, cite:2], wobei die in Kapitel 2 vorgestellten Algorithmen zum Einsatz kommen.

3.1 Beispiel 1 - Localization

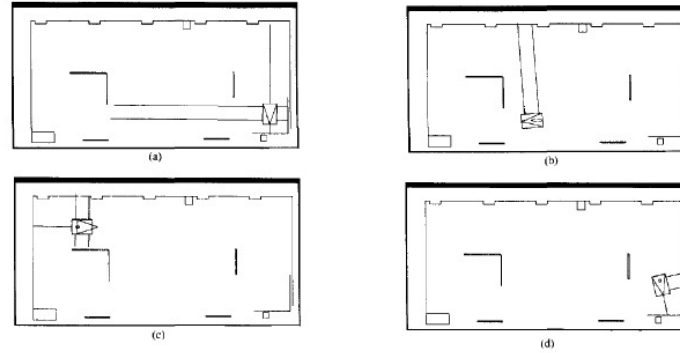


Abb. 6: Localization Experiment Roboter mit Sechs Sonaren [cite:2]

Das Experiment wurde anhand eines mobilen Roboters durchgeführt, der mit sechs, ringförmig justierten, Sonaren bestückt war. In Abb. 6 (a) ist die Startposition des Roboters zu sehen. Er wurde in der unteren rechten Ecke initialisiert. Das Dreieck steht für die a-priori Position. Das Rechteck hingegen steht für die a-posteriori Schätzung. Der Roboter bewegte sich, kontinuierlich, mit ca. 30 cm/s durch den Raum. Dabei bewegt sich der Roboter auf einer geraden Linie und dreht sich auf dem Punkt um eine neue Richtung einzuschlagen. Jedes Mal nachdem die sechs Sonare eine Messung vorgenommen haben nutzt der Roboter die Daten um eine Vorhersage über seine Position zu treffen. Danach werden Vorhersagen über die Entfernung zu Landmarken berechnet. Diese Vorhersagen werden mit den Beobachtungen der Sonare verglichen. Die zwei Linien in Abb. 6 (b) zeigen, dass in dieser Position nur zwei von sechs Entfernung-Vorhersagen zu deren Messwerten passen. Von 798 Messwerten erzielten ca. 30 Prozent ein Match mit ihren Vorhersagen. Diese werden dann genutzt um eine aktualisierte Vorhersage über die Position des Roboters zu treffen. Sonar Messungen konnten nur dann ein Match erzielen, wenn das Sonar nahezu Senkrecht auf eine Wand gerichtet war. Ist dass nicht der Fall kann wie in der längeren, oberen Strecke in Abb. 7 keine Vorhersagen getroffen, keine Matches erzielt und somit keine Aktualisierung seiner Position vornehmen. Er fängt sich jedoch wieder als er der rechten Wand näher kommt. Dieses Problem ist umgänglich indem man mehrere, bewegliche Sensoren anbringt. Abb. 7 zeigt einen kompletten Umlauf des Experiments.

3 Experiment

Dieser Abschnitt behandelt 2 Experimente von [cite:1, cite:2], wobei die in Kapitel 2 vorgestellten Algorithmen zum Einsatz kommen.

3.1 Beispiel 1 - Localization

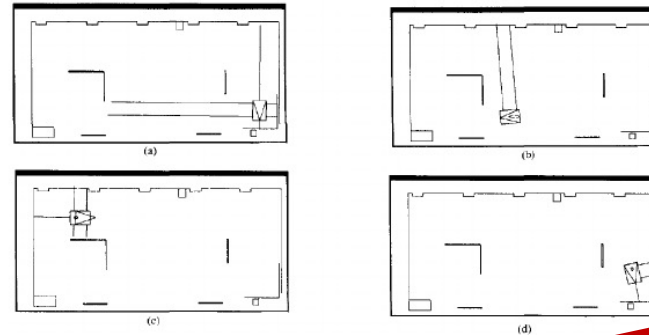


Abb. 6: Localization Experiment Roboter mit Sechsen [cite:2]

Das Experiment wurde anhand eines mobilen Roboters durchgeführt, der mit sechs, ringförmig justierten, Sonaren bestückt war. In Abb. 6 (a) ist die Startposition des Roboters zu sehen. Er wurde in der unteren rechten Ecke initialisiert. Das Dreieck steht für die a-priori Position. Das Rechteck hingegen steht für die a-posteriori Schätzung. Der Roboter bewegte sich, kontinuierlich, mit ca. 30 cm/s durch den Raum. Dabei bewegt sich der Roboter auf einer geraden Linie und dreht sich auf dem Punkt um eine neue Richtung einzuschlagen. Jedes Mal nachdem die sechs Sonare eine Messung vorgenommen haben nutzt der Roboter die Daten um eine Vorhersage über seine Position zu treffen. Danach werden Vorhersagen über die Entfernung zu Landmarken berechnet. Diese Vorhersagen werden mit den Beobachtungen der Sonare verglichen. Die zwei Linien in Abb. 6 (b) zeigen, dass in dieser Position nur zwei von sechs Entfernungsvorhersagen zu deren Messwerten passen. Von 798 Messwerten erzielten ca. 30 Prozent ein Match mit ihren Vorhersagen. Diese werden dann genutzt um eine aktualisierte Vorhersage über die Position des Roboters zu treffen. Sonar Messungen konnten nur dann ein Match erzielen, wenn das Sonar nahezu Senkrecht auf eine Wand gerichtet war. Ist dass nicht der Fall kann wie in der längeren, oberen Strecke in Abb. 7 keine Vorhersagen getroffen, keine Matches erzielt und somit keine Aktualisierung seiner Position vornehmen. Er fängt sich jedoch wieder als er der rechten Wand näher kommt. Dieses Problem ist ungänglich indem man mehrere, bewegliche Sensoren anbringt. Abb. 7 zeigt einen kompletten Umlauf des Experiments.

Bild ragt über
Seitenrand










Literatur

- [1] Chanin Joochim. *Autonomous navigation and mapping of mobile robots based on 2D/3D cameras combination*. eng. 2011. URL: <http://dokumentix.ub.uni-siegen.de/opus/volltexte/2011/533>.
- [2] Alois Knoll und Thomas Christaller. „Robotik“. In: S. Fischer Verlag, 2016. URL: <http://archive.wvw6.in.tum.de/wvw6/Main/Publications/Knoll2003g.pdf>.
- [3] John J Leonard und Hugh F Durrant-Whyte. „Mobile robot localization by tracking geometric beacons“. In: *IEEE Transactions on robotics and Automation* 7.3 (1991), S. 376–382. URL: http://www-cgi.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/Web/People/motionplanning/papers/sbp_papers/1/leonard_ieetroa19.pdf.
- [4] John Leonard, Hugh Durrant-Whyte und Ingemar J Cox. „Dynamic map building for autonomous mobile robot“. In: *Intelligent Robots and Systems' 90. Towards a New Frontier of Applications, Proceedings, IROS'90. IEEE International Workshop on*. IEEE, 1990, S. 89–96. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.917.6815&rep=rep1&type=pdf>.
- [5] Dan Simon. „Kalman filtering“. In: *Embedded systems programming* 14.6 (2001), S. 72–79. URL: http://abel.math.harvard.edu/archive/116_fall_03/handouts/kalman.pdf.
- [6] Volker Sommer. „Lokalisierung und Kartenbildung für autonome mobile Roboter basierend auf der Korrelation von Entfernungsprofilen an Referenzpositionen“. In: (). URL: <http://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/prof/sommer/Forschung/Forschungsbericht05.pdf>.
- [7] Sebastian Thrun. „Robotic Mapping: A Survey“. In: (März 2002). URL: <http://robots.stanford.edu/papers/thrun.mapping-tr.pdf>.
- [8] Kai M. Wurm. „Robustes Lernen von Umgebungskarten durch Integration verschiedener Repräsentationen“. In German. Masterarb. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, Juli 2007. URL: <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/publications/papers/wurm07da.pdf>.

Literaturverzeichnis / Text ragt über Rand

Literatur

- [1] Chanin Jochim. *Autonomous navigation and mapping of mobile robots based on 2D/3D cameras combination*. eng. 2011. URL: <http://dokumentix.ub.uni-siegen.de/opus/volltexte/2011/533>.
- [2] Alois Knoll und Thomas Christaller. „Robotik“. In: S. Fischer Verlag. 2016. URL: <http://archive.wvw6.in.tum.de/www6/Main/Publications/Knoll12003g.pdf>.
- [3] John J Leonard und Hugh F Durrant-Whyte. „Mobile robot localization by tracking geometric beacons“. In: *IEEE Transactions on robotics and Automation* 7.3 (1991), S. 376-382. URL: http://www-cgi.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/Web/People/motionplanning/papers/abp_papers/1/leonard_iceetroa19.pdf.
- [4] John Leonard, Hugh Durrant-Whyte und Ingemar J Cox. „Dynamic map building for autonomous mobile robot“. In: *Intelligent Robots and Systems' 90. Towards a New Frontier of Applications, Proceedings. IROS'90. IEEE International Workshop on. IEEE*. 1990, S. 89-96. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.917.6815&rep=rep1&type=pdf>.
- [5] Dan Simon. „Kalman filtering“. In: *Embedded systems programming* 14.6 (2001), S. 72-79. URL: http://abel.math.harvard.edu/archive/116_fall_03/handouts/kalman.pdf.
- [6] Volker Sommer. „Lokalisierung und Kartenbildung für autonome mobile Roboter basierend auf der Korrelation von Entfernungsprofilen an Referenzpositionen“. In: (). URL: <http://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/prof/sommer/Forschung/Forschungsbbericht05.pdf>.
- [7] Sebastian Thrun. „Robotic Mapping: A Survey“. In: (März 2002). URL: <http://robots.stanford.edu/papers/thrun.mapping-tr.pdf>.
- [8] Kai M. Wurm. „Robustes Lernen von Umgebungskarten durch Integration verschiedener Repräsentationen“. In German. Masterarb. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, Juli 2007. URL: <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/publications/papers/wurm07da.pdf>.

	Bergwerksfahrt.png
	false-links.png
	false-positiv.png
	rendered-walls.png
	Seminararbeit.pdf
	Seminararbeit.tex
	Sensoren.png
	true-positiv.png
	Versuchsaufbau.png

Kein Muss, aber ich mag es strukturiert.



Am besten noch ein Ordner „chapter“ mit tex-Dateien der einzelnen Kapitel und mit `\input` oder `\include` einfügen.

Quellen

- Richtlinie für die Gestaltung von wissenschaftlichen Arbeiten (Studienarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) an der TU Bergakademie Freiberg (Stand 27.06.2005)
- Prüfungs- und Studienordnung für den Bachelorstudiengang Angewandte Informatik (Stand 24. September 2014)
- Alte Seminararbeiten

A Compilation of Robots Falling Down at the DARPA Robotics Challenge



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=g0TaYhjpOfo>