

AUTONOME KARTENERSTELLUNG FÜR GEBÄUDERÄUME MIT EINEM MOBILEN ROBOTER

Oliver Bittel, Michael Blaich und Kay Kischlat



PROF. DR. OLIVER BITTEL
Studium der Informatik
und Technischen Kybernetik
an der Universität

Stuttgart. Assistent und Promotion an der Universität Karlsruhe am Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation. Mitarbeiter der GMD Karlsruhe im Bereich Korrekte Software und Formale Programmentwicklung. Seit 1992 Professor an der HTWG Konstanz mit den Lehrgebieten Programmiertechnik, Algorithmen und Datenstrukturen, Fuzzy-Logik, Neuronale Netze und Robotik. Durchführung mehrerer Forschungsprojekte in den Bereichen Satellitennavigation und mobile, autonome Roboter



**DIPL.-INF. (FH) MICHAEL
BLAICH** studierte an der
HTWG Konstanz Technische Informatik. Nach

seiner Diplomarbeit bei Robert Bosch Corporate Research zum Thema „Navigationsstrategien für einen autonomen Rasenmäher“ begann er im Oktober 2007 das Master-Studium im Studiengang MSI an der HTWG Konstanz.



B.SC. KAY KISCHLAT
schloss sein Bachelor-Studium in Informatik an der HfT Stuttgart im

Februar 2008 erfolgreich ab. Im Anschluss begann er das Master-Studium im Studiengang MSI an der HTWG Konstanz

1 EINLEITUNG

Mobile Roboter, die in einer beliebigen Umgebung selbstständig navigieren können, spielen eine zunehmend wichtige Rolle. Damit anspruchsvolle Aufgaben – wie beispielweise Gebäudeüberwachung und Transportaufgaben – gelöst werden können, muss der Roboter sich in der Umgebung lokalisieren. Das Anbringen von Markierungen in der Umgebung zur Unterstützung der Lokalisierung, wie es bei fahrerlosen Transportsystemen oft eingesetzt wird, ist bei Anwendungen in einem Bürogebäude wie die Hochschule Konstanz eher unerwünscht. Hier kommen stattdessen elektronische Gebäudekarten zum Einsatz.

Naheliegender wäre die Digitalisierung vorhandener Gebäudepläne, wie das Abb. 1 zeigt. Oft sind jedoch Pläne nicht verfügbar oder entsprechen nur unvollständig der Realität, zumal die Navigationswege in Räume nicht nur durch die Architektur sondern auch durch Einrichtungsgegenstände bestimmt werden. Daher werden im Be-

reich der mobilen Robotik die realen Räume durch den Roboter selbst kartiert. Üblicherweise kommen hier Belegtheitsgitter (Rasterkarten) wie in Abb. 2 zum Einsatz.

In diesem Artikel wird ein Verfahren beschrieben, mit dem ein Roboter autonom (d.h. ohne menschliche Eingriffe) eine Gebäudekarte als Belegtheitsgitter erstellt. Wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist ein 2D-Laser-Scanner, der sehr präzise Abstandsmessungen zulässt.

2 ROBOTER

Für die Kartenerstellung kommt ein Pioneer-2 Roboter zum Einsatz (Abb. 3). Der im Durchmesser etwa 50 cm große Roboter wird über zwei einzeln angetriebene Räder bewegt, so dass auch Drehungen auf der Stelle möglich sind. Mit einem Greifarm kann der Roboter Gegenstände aufnehmen und transportieren. Ein Laserscanner der Firma Sick, der die Umgebung mit einem Blickwinkel von 180 Grad bei einer Auflösung von 1 Grad abtastet, gestattet

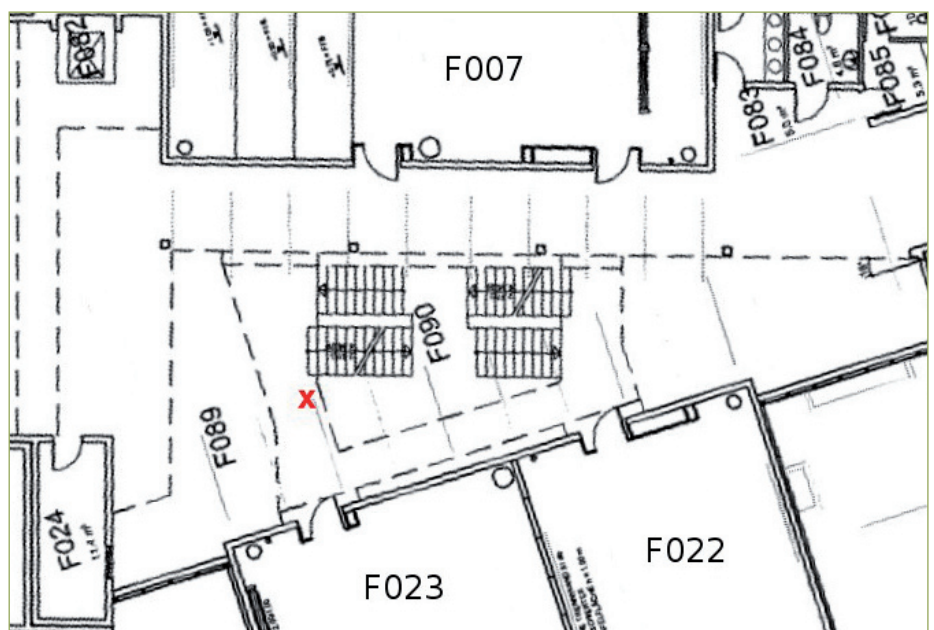


ABB. 1: PLAN DES FOYERS IM F-GEBÄUDE.

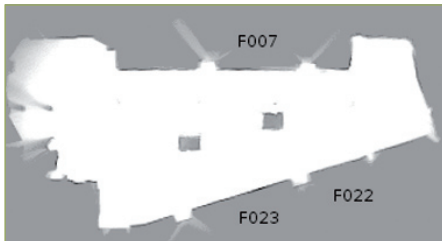


ABB. 2: BELEGTHEITSGITTER DES FOYERS IM F-GEBÄUDE. DAS GITTER BESTEHT AUS EINER MENGE VON ZELLEN MIT EINER BREITE UND HÖHE VON 10CM. WEISSE ZELLEN SIND BEFAHRBAR UND SCHWARZE SIND BELEGT (Z.B. WÄNDE). DER GRAUE BEREICH IST UNBEKANNT.



ABB. 3: PIONEER-2 ROBOTER

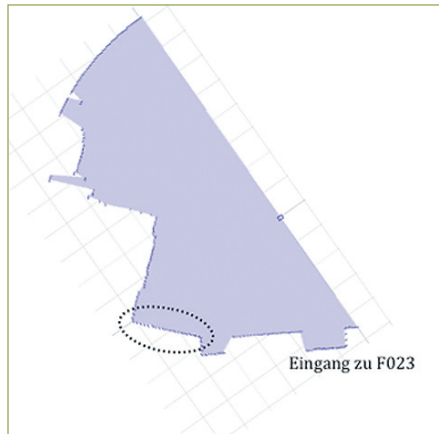


ABB. 4: AUFNAHME MIT DEM LASER-SCANNER. DIE AUFNAHME-POSITION IST DURCH DAS ROTE KREUZ IN ABB. 1 GEKENNZEICHNET. DIE GESTRICHelte LINIE ZEIGT EINE KLEINE BETONMAUER, AUF DER EINE SITZBANK MONTIERT IST. DIE BETONMAUER IST IM PLAN IN ABB. 1 NICHT VORHANDEN.



ABB. 5: DIE LINKE KARTE WURDE MIT REINER ODOMETRIE ERSTELLT. DIE VERSCHIEBUNGEN UND VERDREHUNGEN DER LASER-SCANS DURCH DEN ODOMETRIEFehler FÜHREN ZU EINER UNBRAUCHBAREN KARTE. DIE RECHTE KARTE WURDE FÜR DIE GLEICHE UMGEBUNG MIT EINEM SLAM-VERFAHREN ERSTELLT.

Abstandsmessungen zu Wänden und Hindernissen mit einer Genauigkeit von etwa 1cm (Abb. 4). Die Steuerungssoftware läuft auf einem handelsüblichen Laptop.

3 SIMULTANE LOKALISIERUNG UND KARTENERSTELLUNG

Ist eine Umgebungskarte (Belegtheitsgitter) vorhanden, dann lässt sich die Selbstlokalisierung durch ein Scan-Matching-Verfahren umsetzen. Hierzu bestimmt der Roboter durch Messung der Radumdrehungen seine ungefähre Position. Dieses auch Odometrie genannte Verfahren ist zwar einfach und preiswert, führt aber durch Summierung von vielen kleinen Messfehlern über einen längeren Zeitraum zu sehr ungenauen Positionsmessungen. Nach Bestimmung der ungefähren Position wird ein aufgenommener Laser-Scan (Abb. 4) in die Karte der Umgebung (Abb. 2) eingepasst. Dadurch lässt sich auf die wahrscheinlichste Position schließen.

Ist der Roboter in der Lage sich zu lokalisieren, dann ist die Erstellung einer Umgebungskarte vergleichsweise einfach. Der Roboter fährt systematisch das Gebäude ab, bestimmt dabei seine Position und nimmt Laser-Scans auf, die dann in eine Umgebungskarte eingetragen werden.

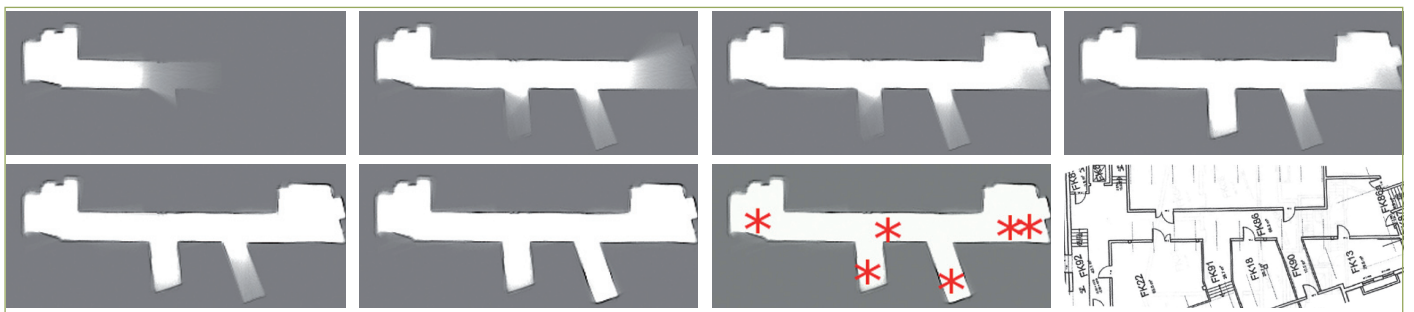


ABB. 6: AUTONOM ERSTELLTE KARTE EINES FLÜGELS IM UG DES F-GEBÄUDES. NACH JEDER LOKALEN EXPLORATIONSPHASE IST EINE KARTE DARGESTELLT. IN DER ENDGÜLTIGEN KARTE SIND ALLE PUNKTE EINGEZEICHNET, AN DENEN EINE STERNFAHRT DURCHGEFÜHRT WURDE. ZUM VERGLEICH IST RECHTS UNTEN DER GEBÄUDEPLAN ABGEBILDET.

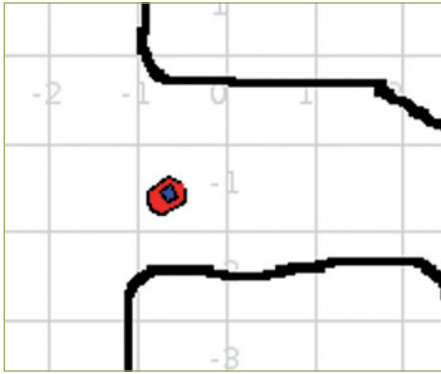


ABB. 7: STAGE-SIMULATOR MIT PIONEER-2 UND LASER-SCANNER

Damit hat man ein typisches Henne-Ei-Problem: die Selbstlokalisierung benötigt eine Umgebungskarte und die Kartenerstellung benötigt eine funktionierende Selbstlokalisierung. Gelöst wird das Problem durch eines der in der Literatur bekannten SLAM-Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping) [1]. In dem hier verwendeten Verfahren kommen zwei Techniken zum Einsatz. Zum einen wird die Odometrie verbessert, indem laufend aufgenommene Scans gegeneinander abgeglichen werden [2]. Zum anderen werden mehrere Belegtheitsgitter simultan erstellt, die sich durch unterschiedliche Odometriefehlerannahmen unterscheiden. Durch Zyklen bei den Roboterwegen ergeben sich zusätzliche Konsistenzbedingungen,

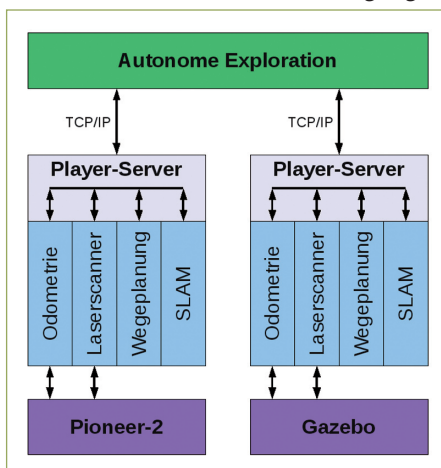


ABB. 9: PLAYER-ARCHITEKTUR

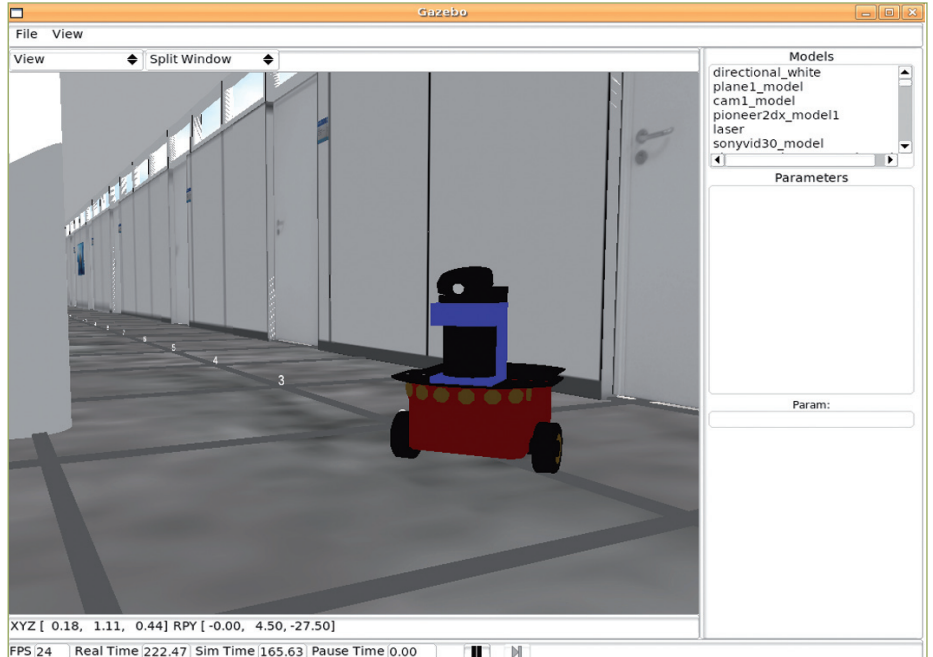


ABB. 8: GAZEBO SIMULATOR MIT PIONEER-2, LASER-SCANNER UND KAMERA

die zur Selektion des wahrscheinlichsten Belegtheitsgitters dienen. Abb. 5 zeigt die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

4 AUTONOME KARTENERSTELLUNG

Die autonome Kartenerstellung ist unterteilt in lokale und globale Explorationsphasen. In der lokalen Explorationsphase erkundet der Roboter seine unmittelbare Umgebung. Dies geschieht mit einer sogenannten Sternfahrt, bei der der Roboter mehrere Richtungen abfährt. Diese Richtungen werden durch den Laser-Scan bestimmt. Somit erforscht der Roboter seine unmittelbare Umgebung bis zu einem Umkreis von ca. acht Metern.

Ziel der globalen Explorationsphase ist die Erkundung unbekannter Gebiete. D.h. der Roboter soll zu Bereichen in der Karte navigiert werden, die noch nicht oder nur teilweise erkundet wurden. Dies geschieht mit einer gierigen Strategie: der Roboter fährt immer den Bereich mit der höchsten Ungewissheit an, der ohne Kollision erreich-

bar ist. Dazu werden die Graufächen in der aktuellen Karte analysiert und ein Wegeplanungsverfahren eingesetzt.

Beide Explorationsphasen werden ständig alternierend durchgeführt. In Abb. 6 sind verschiedene Karten dargestellt, die jeweils den Übergang von der lokalen zur globalen Exploration zeigen.

5 PLAYER/STAGE

Player/Stage ist eine Roboter-Entwicklungsumgebung, die es einem Entwickler erleichtert, Software für einen mobilen Roboter zu erstellen. Sie bietet mehrere Komponenten an. Zum einen wird mit Stage ein 2D-Simulator zur Verfügung gestellt. Mit diesem können einfache Navigationsaufgaben getestet werden (Abb. 7). Zum anderen gibt es Gazebo, einen 3D-Simulator, der eine komplette Physik-Engine besitzt, wodurch aufwändige Simulationen möglich sind (Abb 8).



ABB: 10: ALLE EBENERDIGEN TÜREN IM FLÜGEL DES UG WURDEN ERKANNT (GRÜNE LINIEN)

Eine weitere Komponente ist Player, eine Software die sich aus mehreren kleinen Modulen und dem Player-Server zusammensetzt (Abb 9). Der Player-Server regelt die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen und der Anwendungssoftware. Die eigentliche Arbeit wird von den Modulen übernommen. So gibt es zum Beispiel Module wie Odometrie oder Laser-Scanner, die die Roboterhardware abstrahieren. Dadurch kann Software losgelöst von roboterspezifischer Hardware entwickelt werden. Weitere Module wie die Wegeplanung oder das Scan-Matching übernehmen kleine Aufgaben und stellen ihre Ergebnisse anderen Modulen und der Anwendungssoftware zur Verfügung.

Durch den Einsatz von Simulatoren wird die Entwicklung neuer Software für mobile Roboter deutlich erleichtert. Nach ausführlichen Tests der Anwendung kann durch die Flexibilität von Player die Simulation durch den realen Roboter ersetzt werden.

Ein weiterer Vorteil von Player ist die einfache Entwicklung neuer Module, um dem Gesamtsystem weitere Funktionalität hinzuzufügen. So wurden in der hier beschriebenen Arbeit ein Modul entwickelt um die Odometrie mit Hilfe von Scan-Matching-Verfahren zu verbessern.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das hier vorgestellte autonome Kartierungsverfahren wurde in einem einjähri-

gen Masterprojekt realisiert [3]. Mit dem Verfahren lassen sich zuverlässig Gebäudeteile kartieren, was für eine funktionierende Selbstlokalisierung eine wichtige Voraussetzung ist. Die erstellten Karten lassen sich außerdem sehr gut für Wegeplanungen einsetzen (wie kommt der Roboter am besten von Punkt A nach Punkt B).

In einem Gebäude sind Türen wichtige Elemente, die Einfluss auf Navigationswege haben. In einer kürzlich beendeten Bachelorarbeit wurde ein bildbasiertes Erkennungsverfahren von Türen erstellt [4]. Das Verfahren setzt ein Ada-Boost-Klassifikator ein und erkennt Türen mit einer sehr hohen Genauigkeit. In Abb. 10 ist die Karte aus Abb. 6 um die mit diesem Verfahren erkannten Türen ergänzt. Das Verfahren soll noch um eine Türschilderkennung (Zimmernummer) erweitert und in die autonome Kartenerstellung integriert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Thrun, Burgard and Fox, Probabilistic Robotics, MIT Press, 2005
- [2] Siegwart and Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2004
- [3] Gekeler und Kischlat, Autonome Exploration, MSI-Projektbereich, Fakultät Informatik Konstanz, 2009
- [4] Hensler, Bildbasierte Objekterkennung am Beispiel von Türen mit einem mobilen Roboter, Bachelorarbeit, Fakultät Informatik Konstanz, 2009