

Modulare Sicherheits- und Sensorsysteme für autonome mobile Roboter realisiert im Forschungsfahrzeug Marvin

Carsten Hillenbrand und Karsten Berns

Universität Kaiserslautern, AG Robotersysteme, D-67653 Kaiserslautern

Zusammenfassung. Fahrerlose Transportsysteme bzw. Autonome mobile Roboter werden nicht nur in der Industrie, sondern vermehrt z.B. in Büros, Krankenhäusern und Museen eingesetzt um Transport-, Handlings- oder Überwachungsaufgaben zu übernehmen. Sie agieren nicht mehr in Sicherheitszonen, sondern immer stärker direkt in der menschlichen Umgebung. Somit muss es das oberste Ziel sein durch kombinieren verschiedener Sensoren Gefahrenquellen sicher zu erkennen. In diesem Dokument wird eine Hardwarearchitektur vorgestellt, die es ermöglicht zügig, verschiedene Komponenten zusammen zu testen. Dabei wird immer eine sichere Elektromechanische Abschaltung nach bisherigem Standard garantiert.

1 Einleitung

Die Automobilindustrie entwickelt kontinuierlich immer bessere Assistenzsysteme um den Fahrer zu entlasten, jedoch bleibt die letzte Kontrolle beim Fahrer und diese Systeme sind noch weit davon entfernt, den Fahrer komplett zu ersetzen. Auf der anderen Seite wird in der Industrie der Herstellungsablauf mit Hilfe von Fließbändern, Robotern und Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) immer weiter automatisiert. Am Anfang konnten die Systeme nur stupide Arbeiten erledigen und mussten vom Menschen durch Sicherheitsbereiche abgeschirmt werden. Auch gaben z.B. Fließbänder den Takt für den Arbeiter an, so dass sich der Mensch der Maschine unterordnen muss.

Dies zeigt, dass heutzutage und in Zukunft die Maschine immer mehr der Menschlichen Umgebung anpassen und zurechtfinden muss. Sicherlich ist es schwierig für ein Assistenzsystem im Auto alle Gefahrenquelle im Straßenverkehr zu erkennen und richtig einzuschätzen und es wird noch Jahrzehnte dauern bis es eine sichere Lösung gibt. Einfacher ist es hier für mobile Roboter, die in besser strukturierter Umgebung und mit geringerer Geschwindigkeit operieren. Jedoch um viele Gefahrenquelle zu vermeiden sind aber die unterschiedlichsten Sensoren notwendig. Wie kann man vermeiden, dass auf dem Boden stehende Hindernisse nicht umgefahren werden, eine Glastür als Hindernis erkannt wird, der Roboter nicht die Treppe herunter fährt oder mit Gegenständen kollidiert, die nicht bis auf den Boden reichen wie Tische oder von der Decke hängende Gegenstände. Es ist wichtig, dass unterschiedliche Sensoren miteinander kombiniert werden, um

die verschiedenen Gefahren zu erkennen. Besonders in der Forschung stellt sich die Frage, wie können Roboter mit neuen Eigenschaften schnell und einfach aufgebaut werden. Dabei soll nicht auf eine reine Softwarelösung gebaut werden, da hier nur eine trügerische Sicherheit vorliegt. Auch ist es zu aufwendig alle Hard- und Softwarelösungen verifizieren zu lassen. In den folgenden Kapiteln wird ein Sicherheitskonzept bestehend aus einer Kombination von elektromechanischer Endabschaltung für den absoluten Notfall und einer Softwaretechnischen Kollisionsvermeidung vorgestellt. Diese vereint die Klassische Sicherheitstechnik mit einem Bussystem. Hiermit lassen sich Sensorkombinationen und Softwareansätze stets sicher testen.

2 Das modulare Sicherheitskonzept

Ein mobiler Roboter ist nicht nur durch eigene Energieversorgung, Rechnerarchitektur und einer Funkverbindung zu einer Zentrale charakterisiert. Auch sollte ein Sicherheitssystem existieren, welche folgende Anforderungen erfüllt:

- Notstopp des Antriebs durch mehrere Sicherheitseinrichtungen
- Keine Softwarelösung im Personalcomputer (Verifizierung unmöglich)
- Einfache und erweiterbare Verkabelung
- Erfassen des Störungsverursacher in der Software
- Bestätigung durch den Benutzer nach einem Störfall

Will man auf bestehende Teilkomponenten (Sensoren), meist von verschiedenen Herstellern, zurückgreifen so ist der Aufbau eines Sicherheitssystems über einen sicheren Bus mit verifizierten Komponenten unmöglich. Eine gute Vermeidung dieses Problems ist es, auf die bekannte Verkabelung mit Relais zurückzugreifen.

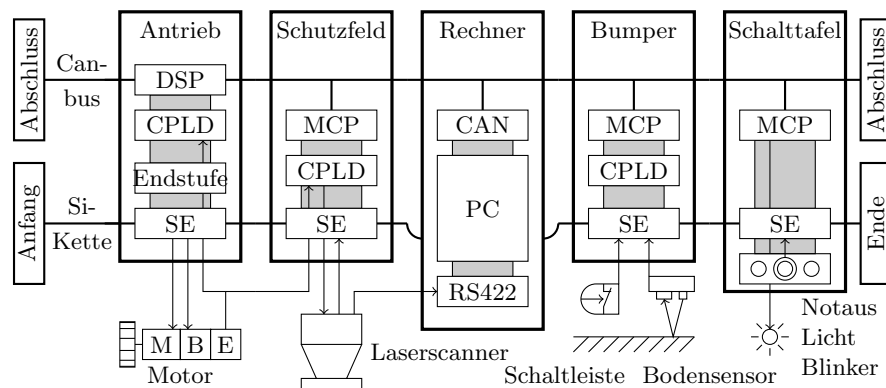


Abb. 1. Sicherheitskonzept bestehend aus Sicherheitskette kombiniert mit CanBus - Baugruppen mit Sicherheitseinrichtung (SE) sind dezentral im Roboter verteilt

Um jedoch obige Anforderung zu erfüllen ist es angebracht ein Bus durch alle Sicherheitseinrichtungen zu legen, aufgeteilt in eine Sicherheitskette und einen

Kommunikationsbus (Abb.1). Somit kann ein Notstopp von allen Teilnehmern ausgelöst werden und die Antriebe bekommen den Zustand über diese Sicherheitskette zurück. Wer der Unterbrecher ist wird separat über einen I/O Erweiterungsbaustein (MCP 25050 von Microchip) über den CanBus übermittelt. Zum Lösen der Bremsen wurde ein Schiebemodus oder Handbetrieb integriert, der über die Schalttafel eingeschaltet werden kann. Aufgrund des modularen Aufbaus, ist das System durch beliebig viele Sicherheitseinrichtungen (egal ob Sensoren und Aktoren) erweiterbar.

3 Die Hard- und Softwarearchitektur

Die standardmäßige Hardwarearchitektur der Arbeitsgruppe besteht aus Digitalen Signalprozessoren (DSP - Freescale 56F803) in deren Speicherbereich ein Logikprogrammierbarer Baustein (CPLD - Altera EPM7256AE) eingebunden ist. Diese Kombination ermöglicht es Funktionen des DSP's oder eigenen Implementierungen im CPLD flexibel an Stecker bzw. externen Bausteine zu legen. Der mit Hilfe dieser Architektur realisierte Antriebsregler steuert die SPI Schnittstelle eines D/A Wandlers an, der wiederum eine Endstufe bedient. Damit eine Regelung erfolgen kann, werden die Encoderwerte vom Motor in den DSP gespeist und gleichzeitig an eine Schutzfeldbaugruppe für den Scanner weitergegeben. Weiterhin kann der DSP aktiv die Sicherheitskette unterbrechen, Bremsen lösen und den Zustand der Kette abfragen. Der DSP wird über den CanBus mit dem Rechner verbunden und wird durch das Softwareframework MCA [1] angesteuert. Es ist möglich während des Betriebs Parameter im DSP zu ändern oder Debugnachrichten vom DSP zu bekommen.

In diese vorhandene Architektur gliedern sich die einfachen Canbusknoten von Micochip ein. Mit deren Hilfe können die Zustände der einfacheren Sicherheitskomponenten abgefragt werden. Weiterhin werden Lichter und Blinker geschaltet und gedimmt bzw. der Benutzer wird über eine Lampe aufgefordert den Roboter zu aktivieren. Das Softwareframework wurde so erweitert, dass alle Canbusknoten beim Start nach deren Funktion gefragt werden, um automatisch Verknüpfungen zu höher liegenden Softwaremodulen herzustellen. Somit passt sich die Software beim Start neu integrierten Komponenten an.

4 Marvin ein autonomer Roboter fürs Gebäude

Der autonome mobile Roboter Marvin (Mobile Autonomous Robotic Vehicle for Indoor Navigation) der Arbeitsgruppe wurde als Basissystem zum Fahren im Gebäude konzipiert um Transport-, Handlings- Informations- und Überwachungsaufgaben in z.B. Büros, Museen oder Firmen zu übernehmen. Um den universell einsetzbaren Roboter an die verschiedenen Aufgaben anzupassen, können angepasste Sensoren und Aktoren ergänzt werden.

Die Mechanik gleicht über einen federlosen Kippmechanismus Bodenunebenheiten aus (Abb.2a), wobei die Antriebsräder bei unterschiedlichen Nutzlasten immer genügend Gripp haben. Eine Besonderheit sind die vorne und hinten

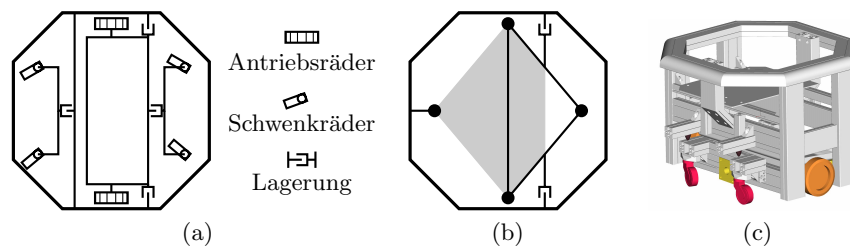


Abb. 2. (a) Kippmechanismus (b) Virtuelle Aufsetzpunkte zur Stabilitätsbetrachtung (c) Konstruktion aus Aluminiumprofilen der im Gebäude fahrenden Plattform

doppelten Schwenkräder, die über einen gelagerten Querbalken verbunden sind. Der sich ergebende Platz ist für einen in der Mitte und knapp über dem Boden liegenden Laserscanner (Laserstrahl auf einer Höhe von 12cm) vorgesehen. Hierdurch konnte ein günstiger Differentialantrieb kombiniert mit kompakten Roboterabmaßen von 72cm in Breite und Länge umgesetzt werden. Für die Stabilitätsbetrachtung (Abb.2b) können die Schwenkräder durch einen virtuellen Stützpunkt ersetzt werden und es zeigt sich, dass die Stabilitätsfläche (grau im Bild) genügend groß ist. Dies hat sich auch in der Praxis bewahrheitet, da der Roboter bei einem Notstopp eher zum Rutschen als zum Kippen, nur möglich bis zu einem Anschlag, neigt. Realisiert wurde Marvin aus leichten Aluminiumprofilen (Abb.2c), die schnell zu montieren und erweiterbar sind. Der Antrieb besteht aus zwei Motoren die jeweils 59N auf den Boden übertragen und beschleunigt die 80kg Plattform auf max. $4,7\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ($1,3\frac{\text{m}}{\text{s}}$). Hierzu liefern zwei 12V Blei-Batterien mit 60Ah , die zusätzlich mit Ihrem hohen Gewicht direkt auf die Antriebsräder drücken, die notwendige Energie.

5 Sicherheitseinrichtungen

Die Verwendung eines Differentialantriebs ist zwar kostengünstig, aber aus sicherheitstechnischer Sicht problematisch. Denn die Steuerung kann abrupt die Fahrtrichtung ändern, weswegen normalerweise nur gelenkte Antriebsräder verwendet werden. Bei dem Forschungsroboter wurden deswegen die Encoder der Antriebsmotoren in der Schutzfeldbaugruppe vier Geschwindigkeitsklassen und fünf Kurvenfahrten zugeteilt und hieraus acht Schutzfelder im Laserscanner geschaltet. Sollten diese verletzt werden wird ein Notstopp ausgelöst. Bei Schleichfahrt ist der Scanner nicht mehr aktiv und ein Notstopp ist nur noch über Schalteleiste usw. möglich. Dies ermöglicht leichtere Türdurchfahrten. Für das freie Fahren wurden an dem Roboter acht IR Distanzsensoren angebracht um festzustellen ob der Boden nicht zu nah oder zu weit weg ist. Damit können Treppenstufen erkannt werden, die weder vom Laserscanner noch anderen Sensoren detektiert werden. Ein Ultraschallgürtel [3] wurde zwar nicht in die Sicherheitskette integriert (wäre aber möglich), aber wird von der Software ausgewertet um höher liegende Gegenstände, die nicht auf den Boden reichen, wie z.B. Tische zu erkennen. Dabei sind jeweils zehn Sensoren vorne und hinten montiert. Um

die Effektivität zu steigern, empfangen fünf nebeneinander liegende Sensoren gleichzeitig das reflektierte Akustiksignal, das vom mittleren Sensor ausgesant wurde. Somit können schrägliegende Objekte und vorallem Tischkanten besser erkannt werden.



Abb. 3. (a) Sicherheitseinrichtungen (b) Hannovermesse 2007

6 Marvin in menschlichen Umfeld

Das Konzept vom AG Roboter ist zweistufig. Zum einen kann man sich auf die Notfallabschaltung, wie oben beschrieben verlassen. Zum anderen werden die Sensoren (außer Schaltleiste und Notaus) in der Software dazu genutzt Gefahren zu meiden, bevor die Notabschaltung anschlägt. Durch eine so genannte Verhaltensbasierte Steuerung [2] versucht der Roboter ständig allen Hindernissen zu umfahren. Ziel ist es, dass immer bessere Softwarealgorithmen implementiert werden, damit er sich souverän in Menschenumgebung bewegt. Dies wurde erfolgreich auf der Hannovermesse 2007 (Abb.3b) getestet. Dabei hat er ohne Aufsicht Personen mit Hilfe des Laserscanner [4] gesucht, sie angesprochen und diese konnten Informationen interaktiv über die Arbeitsgruppe abfragen.

Literaturverzeichnis

1. K.-U. Scholl, V. Kepplin, J. Albiez and R. Dillmann. Developing Robot Prototypes with an Expandable Modular Controller Architecture. Proc. of International Conference on Intelligent.
2. M. Proetzsch, T. Luksch and K. Berns. The Behaviour-Based Control Architecture iB2C for Complex Robotic Systems. KI 2007.
3. D. Schmidt Entwicklung eines Ultraschallsensorgürtels zur Kollisionsvermeidung von mobilen Robotern. Projektarbeit 2005 - University Kaiserslautern.
4. T. Braun, K. Szentpetery and K. Berns. Detecting and Following Humans with a Mobile Robot. Proc. of Conference On Industrial Imaging and Machine Vision 2005.