
Entwicklung eines autonom agierenden Roboters für den Katastropheneinsatz

DI (FH) Raimund Edlinger^a, Andreas Pölzleithner^b

^aFH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Stelzhamerstr. 23, 4600 Wels, AUSTRIA

^bFH OÖ Studienbetriebs GmbH, Stelzhamerstr. 23, 4600 Wels, AUSTRIA

ABSTRACT

Motivation: Die Entwicklung eines teleoperierenden Rettungsroboters, der in schwierigstem Terrain operieren soll, bildet eine Herausforderung in der mechanischen Konstruktion des Roboters, erfordert die Verwendung einer signifikanten Sensorik und Bildverarbeitung und die Entwicklung geeigneter Algorithmen für die Steuerung der eingesetzten Sensorik und Aktorik. Neben der Klassifizierung der befahrenen Untergründe, zählt auch die Lokalisierung verletzter Personen, das Überwinden schwieriger Hindernisse wie Treppen, Rampen, usw. zu den Hauptaufgaben.

Ergebnisse: Der entwickelte Antrieb des Rescue-Roboter ermöglicht eine hohe Steig- und Kletterfähigkeit, wobei ein guter Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Geländegängigkeit gefunden wurde. Die Verwendung eines Single Board RIOs von National Instruments beschleunigte den Aufbau des Prototyps, sodass innerhalb kürzester Zeit ein völlig neuer Roboter entwickelt werden konnte.

Schlussfolgerung: Dieser Roboter findet im Sicherheits-, Rettungs-, und Ortungsbereich einen geeigneten Anwendungsbereich.

Kontakt: raimund.edlinger@fh-wels.at

1 EINLEITUNG

Die vorgestellte Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines autonom agierenden Roboters, der in schwierigstem Gelände für Erkundungsfahrten, Sicherheitsanwendungen und Katastropheneinsätze eingesetzt werden kann. Für diese multidisziplinäre Aufgabe wurde eine verteilte Systemarchitektur implementiert. Durch eine drahtlose Kommunikation zwischen Roboter und Kontrollstation können Prozesse des Roboters ausgelagert werden, sodass die Prozessauslastung am Roboter verringert wird.

Das Forschungsgebiet der Robotik ist eine wissenschaftliche Disziplin, die heutzutage immer mehr an Bedeutung gewinnt, mit der Aufgabe, Menschen aus sicherheitstechnischen oder wirtschaftlichen Gründen zu ersetzen. Die Anwendungsbereichen sind Medizin, Katastropheneinsätze, Automatisierungstechnik, uvm.

Weiters ist die Teilnahme an dem internationalen Roboterwettbewerb „RoboCup“ geplant, bei dem die Forscher die Möglichkeit haben, im direkten internationalen Vergleich zu testen und so gemeinsam Fortschritte in den jeweiligen Fachdisziplinen zu erzielen.

2 ROBOCUP RESCUE LEAGUE

RoboCup [1] ist eine Initiative zur Förderung der Forschung in den Bereichen "künstliche Intelligenz" und "autonome mobile Roboter". Der RoboCup ist generell in vier Bereiche unterteilt: RoboCup-Fußball, RoboCup-Home, RoboCup-Rescue und RoboCup-Junior.



Abbildung 1. RoboCup Rescue League Logo

Bei der Rescue Real Robot Liga werden reale Bedingungen nachgestellt, bei der die autonomen Roboter schwierigen und unstrukturierten Szenarien ausgesetzt sind. Es werden die höchsten Anforderungen an die motorischen und sensorischen Fähigkeiten der Roboter gestellt. Auf den Robotern sind daher leistungsfähige Rechner und eine Vielzahl von Sensoren untergebracht, die ihnen grundsätzlich vollkommen autonomes Handeln erlauben.

Bedeutend ist aber auch, wie beweglich die Rettungsroboter sind und wie gut sie verschiedenste Hindernisse bewältigen können: Sie operieren in so genannten Testarenen mit unterschiedlichen Schwierigkeitszonen, die Katastrophenszenarien, wie etwa nach einem Erdbeben oder einem Gebäudeeinsturz nachstellen. [2]

2.1 Testarenen

Damit Roboter bei einer echten Katastrophe auch eine echte Entlastung sind, müssen sie aber noch erheblich mehr können. Die Testarenen sind in drei unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen eingeteilt und repräsentieren verschiedene Szenarien, die bei der RoboCup Rescue League an die teilnehmenden Teams gestellt werden. Die Exploration auf schwer zugänglichem Terrain, das Hindernisse wie Paletten, Rampen oder Stufen beinhaltet, gilt als sehr anspruchsvolle Aufgabe. Im Vergleich zu Umgebungen wie z.B. Schotter oder Gras, die ebenfalls auch erhöhte Anforderungen an die Mobilität des Roboters stellen, ist es bei sehr steilen Strukturen nicht mehr möglich nur zwischen befahrbar und Hindernis zu unterscheiden und das Vorankommen des Roboters durch ein einziges Verhalten zu gestalten.

3 RESCUE-ROBOTER DER FH OÖ FORSCHUNGS & ENTWICKLUNGS GMBH

3.1 Mechanische Konstruktion

Für die Konstruktion des Roboters wurden modernste Entwicklungswerkzeuge wie das Konstruktionsprogramm *CATIA* und das Simulationsprogramm *Ansys* verwendet. Dies ermöglichte die Entwicklung eines Roboters, der sowohl sehr robust als auch eine leichte Bauweise aufweist. Der Roboter besteht grundlegend aus einem verschraubten Aluminiumrahmen und Standardteilen. Zur Gewichtsreduzierung wurden Kohlefaserplatten, die zusätzlich zu den topologieoptimierten Ausfräsungen am Chassis vorgenommen wurden, verwendet. Die Materialauswahl und die mechanische Fertigung der Einzelteile wurden vom *Leichtmetall-Kompetenzzentrum (LKR) Ranshofen* durchgeführt.

Das Antriebssystem des Rescue-Roboters verfügt über vier aktive Flipper, die jeweils getrennt voneinander angesteuert werden können. Diese Konstruktion hat den Vorteil, dass sich der Roboter dem Gelände anpassen kann und sowohl bei unwegsamen Gebieten oder höheren Abstufungen nach eingeschlossenen Opfern suchen kann. Zusätzlich besitzt der Roboter einen Arm mit sechs Freiheitsgraden für die Aufnahme einer Wärmebildkamera und diversen anderen Sensoren. Dieser Arm ermöglicht einen Blick in exponierte Lagen bis zu einem Meter Höhe. Zusätzlich kann der Arm mit einem Greifer ausgestattet werden. Für die Konstruktion des Arms wurde besonders auf Leichtbauweise geachtet, indem Materialien wie Karbonrohre, Alu für die Hauptgelenke und Magnesium für das Drehgelenk am Armkopf verwendet wurde. Durch ein kinematisches bzw. inverses-kinematisches Modell kann die Position des Endpunktes ermittelt werden. Die Gelenke werden durch Gleichstrommotoren über ein Schneckengetriebe angetrieben. Durch die selbsthemmende Wirkung der Schneckengetriebe ist es im Ruhezustand nicht nötig, dass die Motoren die Position regeln. Dadurch wird der Energieverbrauch niedrig gehalten. Bei der Entwicklung des Roboterarmes wurde auch darauf Wert gelegt, dass das System modular ist. Durch einheitliche Gelenke kann der Roboterarm beliebig konfiguriert werden. Zusätzlich kann die Länge der Armsegmente begrenzt verändert werden, da die Verbindung zwischen den Gelenkteilen lediglich Kohlefaserrohre sind. Jeder der insgesamt 15 Gleichstrommotoren wird mit einem speziellen Motortreiber angesteuert. Für die Regelung der Motoren hat jeder Motortreiber einen integrierten DSP (Digital Signal Processor). Die einzelnen Motortreiber sind über einen CAN-Bus mit dem Hauptprozessorboard vernetzt. Diese verteilte Lösung bietet den Vorteil der guten Skalierbarkeit.



Abbildung 2. CAD-Modell des Rescue Roboters

3.2 Steuerungssystem

Vor allem sind intelligente Steuerprogramme eine grundlegende Herausforderung in diesem Arbeitsgebiet. Der Roboter wird von einem NI-Single-Board-RIO (NI-SBRIO) [3] von National Instruments gesteuert, das einen Embedded-Echtzeitprozessor, einen leistungsstarken FPGA sowie integrierte Analog- und Digital-I/O auf einer einzigen Karte umfasst. Aufgrund der offenen Embedded-Architektur, geringen Abmessungen, extremen Robustheit und Flexibilität des Systems, hat sich diese Hardware als sehr benutzerfreundliche Hardware-Plattform für die Entwicklung des Roboters bewährt.

3.3 Sensorik

Neben dem Bewegungsapparat beinhaltet der Rescue-Roboter ein Bildverarbeitungssystem, eine Entfernungsmessung und eine drahtlose Kommunikation, die notwendig sind, damit der Roboter auch in der Lage ist, ohne Teleoperator aktiv zu sein. Drei Fire-Wire-Kameras in Kombination einer leistungsfähigen Bildverarbeitung (NI Compact Vision CVS, [4]) ermöglichen es, Objekte zu lokalisieren.

Für die Wegplanung und Kartenerstellung wird ein Laser Range Finder (Hokuyo UBG-LX04, [5]) verwendet, der bei ungewisser Umgebung fundamentale Erkenntnisse für die Kartenerstellung (Mapping) geben kann. Die gewonnenen Informationen sollen soweit verarbeitet und optimiert werden damit eine Raumkarte der Umgebung erstellt werden kann und diese die räumlichen Gegebenheiten als Grundrissdarstellung widerspiegelt. Diese Obliegenheit ist auch unter der Bezeichnung SLAM (Simultaneous Localization and Mapping Problem) bekannt.

Für die Wegplanung wird zusätzlich noch ein Positionserkennungssystem verwendet, das die Position des Roboters in einem drei dimensional kartesischen Koordinatensystem sowie die Lage des Roboters wider gibt. Diese Inertial Measurement Unit (IMU) [6] besteht auch aus drei Beschleunigungssensoren, drei Drehratensensoren sowie drei Magnetfeldsensoren. Diese Magnetfeldsensoren können die Richtung des Erdmagnetfeldes messen und somit dem Sensor eine Referenzrichtung angeben. Weiters muss der Roboter selbstständig Opfer sowie Gefahren erkennen. Dabei werden unter anderem auch spezielle Sensoren wie CO₂-Messgeräte zum Erkennen von Atemluft oder Wärmebildkamera auf dem Roboter eingesetzt.

3.4 Systemarchitektur

Die Programmierung des Roboters mit *LabVIEW* ermöglichte es, sich auf die wesentlichen Aufgaben des Vorhabens zu konzentrieren. Dank der hohen Produktivität der grafischen Programmierung konnten in einem begrenzten Zeitfenster mehr Funktionen implementiert werden, als ursprünglich vorgesehen war. Die Kombination der Applikationssoftware und des Embedded Systems ermöglichte eine hohe Systemabstraktion, grafisches Debuggen und grafisches Multitasking mit Echtzeitfähigkeit.

Diese Vielfalt an Aufgaben erfordert eine verteilte Systemarchitektur, bei der unterschiedliche Bussysteme zum Einsatz kommen. Der Vorteil dieser Architektur ist die Verteilung der Rechenleistung und der modulare bzw. flexible Systemaufbau. Wesentliche Objekte wie Motoren oder Sensoren werden durch funktionelle, globale Variablen in *LabVIEW* repräsentiert. Das wesentliche Applikationsframework besteht aus mehreren Aufgaben:

- Die übergeordnete „*Mainroutine*“ der NI-SBRIO plant die Hauptaktionen und stellt die Verbindung zu den anderen Tasks wie z.B. des Bildverarbeitungssystems her.
- Der „*Motiontask*“, ebenfalls in der SBRIO implementiert, ist für die Gelenksteuerung und Bewegungsmuster des Roboters zuständig und beobachtet den jeweiligen Status und die Position der Motoren.
- Der „*Kommunikationstask*“ hält die drahtlose Verbindung zur Kontrollstation aufrecht.
- Der „*Visiontask*“ ist für die Bildverarbeitung der NI-CVS verantwortlich.
- Der „*Controltask*“ auf der Kontrollstation ermöglicht das Eingreifen des Operators, durch Wechsel vom autonomen Modus in den ferngesteuerten Modus.
- Der „*Mappingtask*“ ist für die Kartenerstellung zuständig, bei der die Sensordaten des Laser Range Finders per drahtlose Kommunikation zur Kontrollstation gesendet und ausgewertet werden.

Nach der Auswertung wird die Wegplanung durchgeführt und entsprechende Befehle für die Bewegung des Roboters an die „*Maintask*“ gesendet.



Abbildung 3: Testlauf in der eigenen Testumgebung

3.5 Kommunikation

Für die Kommunikation zwischen Roboter und Kontrollstation (HOST) wird eine WLAN-Verbindung permanent aufrechterhalten, mit der folgende Funktionen zur Verfügung stehen:

- Monitoring der Live-Bilder von den Fire-Wire-Kameras bzw. Wärmebildkamera
- Grafische Anzeige aller Sensordaten
- 2D-Mapping und Lokalisierung der Opfer
- Kritische Statusinformationen wie Motorstatus oder Akku-Kapazität
- Möglichkeit zwischen Teleoperator oder Autonomie zu wechseln

4 DISKUSSION

Basierend auf der sehr robusten und modularen Einplatinenlösung mit integriertem Embedded-Echtzeitprozessor, einem leistungsstarken FPGA und grafischen Entwicklungsumgebung von *LabVIEW*, konnte innerhalb kürzester Zeit die Entwicklung eines autonomen Rescue-Roboters beschleunigt werden. Sowohl die Anbindung der Antriebsmotoren, als auch die Datenerfassung verschiedener Sensoren konnte mit der bedienerfreundlichen Entwicklungsumgebung verhältnismäßig einfach integriert werden. Die Anforderungen für umfangreiches Equipment wurden schon bei der

Entwicklungsphase des Roboters berücksichtigt, so dass die Abmessungen des Roboters klein gehalten werden konnten. Die Fortbewegung des mobilen Roboters im Außenbereich stellt verschiedenste Anforderungen an das System. Zum einen muss der Roboter schnell und agil sein, zum anderen soll ein solches System auf rauem Gelände zu Recht kommen, wie z.B. mit Geröll, Kies oder Treppen. Dieser Roboter besitzt durch das Vierkettenlaufwerk eine hohe Kletter- bzw. Steigfähigkeit, wobei ein guter Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Geländegängigkeit gefunden wurde.

Die Demonstration der Qualität bzw. die Methode der topologischen Karte, die in Kohärenz mit der realen Welt stehen muss, sollte in Zukunft so erweitert werden, dass die Abweichungen noch geringer gehalten werden. Mit der Erstellung eines 3D-Mapping könnte der Roboter für ein noch besseres Vorstellungsvermögen von der Umgebung sorgen. Künftige leistungsfähigere Bildverarbeitungsalgorithmen, etwa um den geometrischen Schwerpunkt oder verbesserte Bild-, Muster- und Kantenerkennung sollen dafür sorgen, dass die Autonomie des Roboters verbessert wird.

5 DANKSAGUNG

Die Autoren möchten sich für die Unterstützung der *FH OÖ*, *National Instruments* und *LKR-Ranshofen* bedanken, ohne sie wäre die Realisierung des Roboters nicht möglich gewesen.

REFERENZEN

- [1] RoboCup Official Site.: <http://www.robocup.org> - Online Resource (February 2009)
- [2] National Institute of Standards and Technology. <http://robotarenas.nist.gov/arenas.htm> - Online Resource (February 2009)
- [3] National Instruments Ltd.: SBRIO User Guide and Specifications. <http://www.ni.com/pdf/manuals/375052a.pdf> – Online Resource (February 2009)
- [4] National Instruments Ltd.: CVS-1450 Series. <http://www.ni.com/pdf/manuals/372290a.pdf> – Online Resource (November 2008)
- [5] Hokuyo Automation CO. Ltd.: LRF UBG-04LX-F01 Specifications. http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/ubg_04lx_f01.html – Online Resource (December 2008)
- [6] XSens Technologies B.V.: MTi Development Kit http://www.xsens.com/Static/Documents/UserUpload/Xleaflets/leaflet_MTi.pdf – Online Resource (January 2009)