

SMART SYSTEMS: EXPLORIERENDE ROBOTER IN DER LEHRE

Karsten Albers¹, Carsten Beth², Sven Frimont¹, Nicole Kaczorek²,
Wolfgang Nebel¹, Andreas Schallenberg¹, Frank Slomka¹

¹ Department für Informatik Universität Oldenburg Ammerländer Heerstraße 114-118 D-26111 Oldenburg <VORNAME.NAME>@uni-oldenburg.de	² OFFIS Escherweg 2 D-26121 Oldenburg <NAME>@offis.de
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

Zusammenfassung: Roboter zu bauen ist eine interessante Aufgabe in der Informatik. Je nach Fach kann man beim Bau des Roboters unterschiedliche Ziele verfolgen. Ist es oft das Ziel autonome Roboter mit Steuerungen mit künstlicher Intelligenz zu bauen, kann man in der technischen Informatik den Schwerpunkt auf die Hardware und die systemnahe Software legen. In diesem Aufsatz werden drei Roboterprojekte im Bereich der Eingebetteten Hardware/Software-Systeme an der Universität Oldenburg vorgestellt. In drei Projektgruppen wurden von den Studenten verschiedene Roboter und Robotersteuerungen entworfen und gebaut.

1 Einleitung

Im Informatikstudiengang an der Universität Oldenburg ist die Belegung einer Projektgruppe für die Studenten im Hauptstudium verpflichtend. Eine solche Projektgruppe umfaßt 6 bis 12 Teilnehmer und dauert ein Jahr. Ziel der Projektgruppe ist es ein umfangreicheres informationstechnisches Problem in einer Gruppe zu lösen und eine Implementierung zu erstellen. Dabei sollen die Studenten, neben der vertiefenden Anwendung der aus den Vorlesungen bekannten technischen Methoden, lernen in einem Team zusammenzuarbeiten. Aufgrund der langen Laufzeit der Projektgruppe steht jeweils ausreichend Zeit für eine detaillierte Spezifikations- und Planungsphase zur Verfügung. Wichtige nicht technische Aufgaben, wie das Projektmanagement und die Beschaffung von Bauteilen, wurden von den Studenten ebenfalls selbst durchgeführt.

Im Rahmen dieses Aufsatzes werden drei Roboterprojektgruppen aus dem Bereich der technischen Informatik vorgestellt. Zunächst wurde ein klassischer Ansatz mit einem Bausatz von Fischertechnik gewählt. Die beiden anderen Projektgruppen, die im Anschluß durchgeführt wurden, waren in der Wahl der Mittel völlig frei. Die Roboter wurden komplett selbst konstruiert. In Anlehnung an aktuelle Projekte für die zukünftige Erforschung des Mars, wurden ein Insekten- und ein vierradgetriebener Explorationsroboter (Four Weel Drive, 4WD) gebaut. Allen Robotern gemeinsam ist die Verwendung von programmierbaren Logikbausteinen (Field Programmable Gate Array, FPGA) anstelle einfacher Mikrokontroller. Während in der ersten Projektgruppe die Steuerung in Hardware auf einem speziellen Hostrechner implementiert wurde, verwenden sowohl der 4WD- und der Insektenroboter leistungstarke FPGAs, die direkt im Roboter platziert sind.

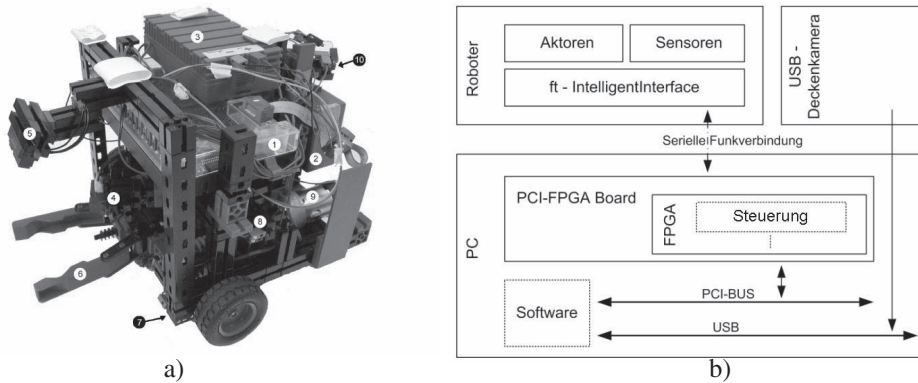


Abbildung 1: Roboter in a) Fischertechnik und b) Architektur der Systemsteuerung

Die verwendeten FPGAs ermöglichen den Entwurf eines kompletten Hardware/Software-Systems auf dem Roboter mit Hilfe eines synthetisierbaren Prozessors auf dem ein Echtzeitkernel [3] läuft.

2 Roboter in Fischertechnik

2.1 Aufgabe

Die Vision der Projektgruppe war die Erstellung einer Steuerung für Mikroroboter, die Objekte für eine spätere Untersuchung in einem Rasterelektronenmikroskop positionieren und manipulieren. Aus dieser Vision wurde die folgende Aufgabenstellung entwickelt: Ziel war es, zwei Roboter auf einem Feld zu bewegen, die durch Sensoren Gegenstände finden, welche über die Fläche des Feldes verteilt sind. Anschließend soll der jeweilige Roboter, gesteuert durch eine Deckenkamera, eine definierte Aktion mit dem Gegenstand ausführen.

2.2 Der Roboter

Die Projektgruppe entschied sich dafür die Roboter aus Fischertechnik zu konstruieren. Zum Einen gab es unter den Teilnehmern bereits Erfahrungen mit Fischertechnik, zum Anderen bietet das von Fischertechnik erhältliche Intelligent Interface (IIF) - in dem ein Mikrocontroller integriert ist - die Möglichkeit Befehle entgegenzunehmen und an bis zu vier Motoren weiterzuleiten, sowie die Möglichkeit die von Sensoren gelieferten Werte zu übermitteln. Der Datenaustausch mit der übergeordneten Steuerung erfolgt mit Hilfe eines Bluetooth-Funkmoduls. Abbildung 1b skizziert das System, das im Laufe der Projektgruppe zur Steuerung des Roboters erstellt wurde. Der Roboter wird von der auf dem FPGA-Platine implementierten Steuerung bewegt.

Abbildung 1a zeigt den innerhalb der Projektgruppe konstruierten Roboter. Erkennbar sind in dieser Abbildung u.a. das Intelligent Interface (1), die Stromversorgung durch Akkus (2/3), der Greifer (6) und der Motor (9) für den Antrieb des linken Rades. Der Roboter ist mit Sensoren ausgestattet: Abstandssensoren (4/5) sprechen auf ein gefundenes Objekt an, Randsensoren (7) melden den Rand der Fläche und Impulssensoren für die Antriebsachsen (8) geben Auskunft über die zurückgelegte Wegstrecke (in der Abbildung sind nur die Sensoren der linken Seite sichtbar).

2.3 Einsatz in Vorlesung und Übung

An der Universität Oldenburg werden im Bereich der technischen Informatik u.a. zwei aufeinander folgende Vorlesungen angeboten, die den Entwurf eingebetteter Systeme behandeln. Im Vorlesungsabschnitt über die Spezifikation auf einer hohen Abstraktionsebene wird vertiefend auf StateCharts eingegangen. Dieser Teil der Vorlesung wird begleitet durch praktische Übungen mit dem Entwurfswerkzeug STATEMATE von der Fa. I-logix. Gegen Ende dieser Übungen wird regelmäßig eine kleine Projektaufgabe gestellt: Es soll innerhalb von vier Wochen eine Steuerung mit STATEMATE spezifiziert und simuliert werden. Ein Roboter soll so gesteuert werden, dass er Objekte innerhalb einer begrenzten Fläche findet. Die Zustände im Statechart können über eine vorgegebene Anbindung - ein C-Programm, das mit der Simulation und dem Roboter kommuniziert - den Roboter ansteuern. Neben einer reinen Simulation am Rechner können die Studenten einen Testlauf mit dem Roboter durchführen. Gegenüber den bisher in der Vorlesung modellierten Systemen war das neu und trug merkbar zur Motivation der Studenten bei.

3 Projektgruppe Explorationsroboter: 4WD und Insekt

3.1 Aufgabe

Die Aufgabenstellung für den Entwurf der Roboter ist durch den RoboCupRescue Wettbewerb [4] motiviert. Da ein solcher Roboter allerdings sehr komplexe Funktionen realisieren muß wurde das Szenario abgeschwächt: Der Roboter sollte sich auf einem unbefestigten Gelände bewegen können, ohne dass es zu Kollisionen kommt. Dabei sollte mit Hilfe von Sensoren eine Karte des Geländes und der darauf befindlichen Hindernisse erstellt werden, die drahtlos zu einem Hostrechner zu übertragen war. Der Roboter sollte Instruktionen entgegennehmen können, zu welcher Position er sich zu bewegen hat. Durch einen geeigneten Algorithmus sollte er den Weg zu dieser Position planen und sich eigenständig dorthin bewegen können. Weiterhin sollte er in der Lage sein, Bilder von Gegenständen aufzunehmen und drahtlos zu übermitteln.

Die Vielseitigkeit und der praktische Bezug der gewählten Aufgabenstellung hat bei den Studierenden zu einer sehr guten Resonanz geführt, so dass letztlich zwei parallele Projektgruppen mit je 11 Teilnehmern durchgeführt wurden. Dies ermöglichte es zwei unterschiedliche mechanische Konstruktionen zu verfolgen und später miteinander zu vergleichen: Einen allradgetriebenen (4WD) und einen insektenartig laufenden Roboter.

3.2 Die Roboter

Das Chassis des 4WD Roboters wurde aus Plexiglas gefertigt. Eine Metallkonstruktion wurde aus Gewichtsgründen verworfen. Jedes Rad des Roboters wird einzeln mit einem elektronisch geregelten Gleichstrommotor angetrieben. Da die Reibungskräfte bei einem Fahrzeug mit den gewählten Dimensionen zu hoch sind, wurde eine aktive Lenkung eingebaut. Der Roboter ist mit einer selbstentwickelten Steuerungsplatine mit einem FPGA der Fa. Altera vom Typ CYCLON [2] ausgestattet. Zur Wahrnehmung der Umgebung sind Ultraschallsensoren und zur Kartenerstellung und Navigation ein Laserdistanzsensor sowie ein GPS-Empfänger eingebaut.

Beim Insektenroboter handelt es sich um eine sechsbeinige Gehmaschine. Jedes Bein wird dabei von je zwei handelsüblichen Miniservos angetrieben. Der Insektenroboter kann mit Hilfe eines Ultraschallsensors oder eines Infrarotsensors die Distanz zu Hindernissen ausmessen und ggf. selbständig stoppen. Auf der Platine befinden sich Schaltun-

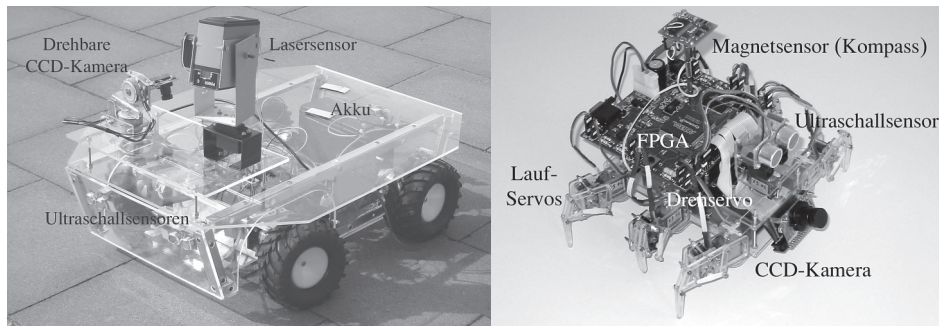


Abbildung 2: Vierradroboter mit Allradantrieb (4WD) und Insektenroboter

gen, die die Stromaufnahme eines jedes einzelnen Servos messen. Mit Hilfe der Strommessung kann nun bestimmt werden, ob das Bein auf dem Boden aufsetzt. Setzt das Bein nicht auf, wird der Roboter automatisch angehalten. Um festzustellen in welche Richtung der Roboter geht, befindet sich auf einem Turm ein elektronischer Kompass. Beide Roboter sind mit einer CCD-Kamera ausgestattet. Wie bei Robotern, die ferne Welten erkunden, dient die Kamera nicht der autonomen Navigation.

3.3 Durchführung der Projektgruppe

Die Entwicklungsphasen waren für die beiden Teilgruppen zur Entwicklung des Insekten- und 4WD-Roboters nahezu identisch. Grob gliederte sich der Entwicklungsprozess in eine Seminar-, Entwurfs-, Implementierungs- und Integrationsphase. Für die Seminarphase sind Kleingruppen aus je zwei Studenten gebildet worden, die sich in Spezialgebiete wie Hardwarebeschreibungssprachen (Hardware Description Language, HDL), Aktorik, Sensorik, die FPGA-Architektur, Entwicklung von gedruckten Schaltungen (Printed Circuit Board, PCB) u.s.w. eingearbeitet haben. Diese Phase wurde mit Vorträgen und Ausarbeitungen der Themenbereiche abgeschlossen.

Die daran anschließende Entwurfsphase diente zunächst zur Verfeinerung der nur grob vorgegebenen Aufgabenstellung. Die Ergebnisse der Entwurfsphase - Spezifikation des Systems als Ganzes, seiner Teilsysteme und ihrer Schnittstellen - wurden in einem Entwurfsdokument festgehalten. Zusätzlich wurden die vertieften Kenntnisse der Studenten wieder in Form von Vorträgen und Ausarbeitungen aufbereitet und so der gesamten Projektgruppe kommuniziert. Den Studenten standen für die Implementierung des Systems zwei mit STRATIX-FPGAs ausgestattete Entwicklungsplatinen, sowie die für die Hardware-synthese und zur Konfiguration des NIOS Softcore-Prozessors [1] erforderlichen Entwicklungswerkzeuge QUARTUS II und der System Builder von Altera zur Verfügung. Daher konnten große Teile der Implementierung parallel durchgeführt werden.

Bedingt durch die Echtzeitanforderungen der Sensoren, der Kamera und der Motorregelungen war es notwendig Teile des Systems in Hardware zu implementieren. Die Hardware wurde dabei in der Hardwarebeschreibungssprache VHDL spezifiziert und mittels Synthesewerkzeugen in die entsprechenden Logikschaltungen synthetisiert. Durch das modulare Buskonzept konnte diese dann einfach mit dem NIOS Prozessor und schließlich der Software integriert werden. Im Folgenden wird auf eins dieser Module näher eingegangen: Eine Aufgabe der Roboter ist es Einzelbilder mit einem Kameramodul aufzunehmen und über die Bluetooth-Schnittstelle auf das Hostsystem zu übertragen. Es erwies

sich als problematisch, dass die Bildpunkte einzeln aus der Kamera ausgelesen werden mußten. Eine direkte Ansteuerung mit dem NIOS Prozessor war somit aus Performanzgründen nicht möglich. Sie hätte den Prozessor insbesondere in Hinblick auf die sonstigen auf ihm realisierten Aufgaben überlastet. Daher wurde ein Hardwaremodul zum Auslesen der Bildpunkte realisiert. Dieses war in der Lage, die Bildpunkte zu sammeln und dann blockweise über einen DMA-Controller direkt in den Speicher des Prozessors zu schreiben. Bis zur Integrationsphase gänzlich unabhängig von der funktionalen Entwicklung der Hard- und Softwarearchitektur der Steuerung lief die Entwicklung des PCB mit Hilfe des Werkzeuges CADSTAR.

Die Entwicklung der Mechanik konnte unabhängig von der Entwicklung der Elektronik durchgeführt werden. Dieser Teil wurde zunächst als der kritische im Verlauf der Projektgruppe angesehen, da Mechanik nicht zu den Kernkompetenzen der beteiligten Studenten gehört. Mit Hilfe von fertigen Bauplänen und der Unterstützung von Experten aus den technischen Werkstätten der Universität Oldenburg wurde diese Herausforderung aber gut bewältigt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Aufsatz beschreibt drei studentische Projektgruppen in denen Explorationsroboter gebaut und programmiert wurden. Ziel der Arbeiten war es den Studenten im Rahmen einer interessanten und anschaulichen Anwendung die Möglichkeit zu geben, zuvor erlernte Konzepte der technischen Informatik zu erproben. Dabei sollte sowohl die Hardware als auch die Software des Systems selbst gebaut werden. Zum Einsatz kamen dabei moderne programmierbare Logikbausteine (FPGAs) auf denen ein RISC-Prozessor mit Peripherie implementiert werden kann. Der Einsatz von FPGAs als Hardwareplattform hat sich als vorteilhaft erwiesen. Zum Einen ist es möglich in frühen Entwicklungsstadien, wenn noch nicht absehbar ist, wieviele Logikgatter benötigt werden, leistungsstarke FPGAs des gleichen Herstellers zu benutzen und die einzelnen Funktionen prototypisch zu implementieren. Später können diese dann optimiert und einfach auf die Zielhardware portiert werden. Zum anderen können Entwurfsfehler flexibel ausgeglichen werden, ohne das Layout des PCB-Designs zu ändern.

Eine derartige Projektgruppe kann einen wichtigen Beitrag zum Studium leisten. Die Studenten lernen zunächst einmal wie wichtig eine sorgfältige Planungs- und Spezifikationsphase ist und wie ein sorgfältiger Projektplan die Implementierung derartig komplexer Systeme erst ermöglicht. Weiterhin zeigte sich sehr deutlich, dass die meisten Probleme in einem Projekt derartiger Größe nicht technischer Natur sind. Oft wurden Bauteile nicht rechtzeitig geliefert, manchmal sogar zu spät bestellt. Auch zeigte sich, dass die sozialen Aspekte in derartigen Projekten zu sehr vernachlässigt werden und den Projekterfolg gefährden.

5 Literatur

- [1] Altera. Nios Embedded Processor Programmers Reference Manual. www.altera.com.
- [2] Altera. Nios Development Board Reference Manual. www.altera.com.
- [3] Jean Labrosse. MicroC/OS-II, The Real-Time Kernel. CMP Books; 2nd edition, 2002.
- [4] <http://www.rescuesystem.org/robocuprescue/>
- [5] Karl Williams. Insectronics. Build Your Own Walking Robot. McGraw-Hill. 2003.