Konzeption und Umsetzung einer echtzeitfähigen Verteilungsplattform für eingebettete Systeme

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Informatiker
Stefan Lankes
aus Nettetal, Niederrhein

Berichter: Universitätsprofessor Dr. habil. Th. Bemmerl
Universitätsprofessor Dr.-Ing. K.-F. Kraiss

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Oktober 2003

Technische Informatik

Stefan Lankes

Konzeption und Umsetzung einer echtzeitfähigen Verteilungsplattform für eingebettete Systeme

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2003

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003

ISBN 3-8322-2205-7
ISSN 1436-882X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Kurzfassung

Moderne Verteilungsplattformen können die Stabilität und die Zuverlässigkeit eines Programms durch die Abstraktion von Implementierungsdetails deutlich erhöhen und somit die Entwicklungszeit sowie Entwicklungskosten reduzieren. Diese Vorteile sind für eingebettete, echtzeitfähige Systeme ebenfalls erwünscht, da diese einem starken Kosten- und Qualitätsdruck unterliegen. Doch wurden Verteilungsplattformen in solchen Systemen bis heute kaum eingesetzt, da sie den Ressourcenbeschränkungen und den Echtzeit-Anforderungen nicht genügen. Mit verschiedenen Ansätzen wurde in den vergangenen Jahren mit bescheidenem Erfolg versucht, dieses Problem zu lösen und spezielle Verteilungsplattformen für eingebettete, echtzeitfähige Systeme zu entwickeln.

In dieser Arbeit wird der Entwurf und die Implementierung einer echtzeitfähigen Verteilungsplattform, die auf dem Real-Time CORBA-Standard basiert, für eingebettete Systeme vorgestellt. Durch den verwendeten, komponentenbasierten Ansatz wird die entwickelte Verteilungsplattform in äußerst kleine Komponenten unterteilt, so dass nur die von der Anwendung benötigten Komponenten vom System geladen werden. Dieser Ansatz ähnelt dem bewährten Aufbau einer Mikrokern-Architektur eines Betriebssystems und stellt die ressourcenschonendste Implementierungsmöglichkeit dar.

Damit Real-Time CORBA große Verbreitung erreicht, müssen traditionelle, echtzeitfähige Netzwerkarchitekturen unterstützt werden. Zum Beispiel stellt das *Controller Area Network* (CAN) eines der populärsten Netzwerkarchitekturen für eingebettete, echtzeitfähige Systeme dar. Doch leider werden solche Netzwerkarchitekturen nicht ausreichend vom CORBA-Standard unterstützt, so dass CORBA kaum für eingebettete, echtzeitfähige Systeme eingesetzt wird. Die Entwicklung eines neuartigen Protokolls für die Interaktion von Real-Time CORBA-Anwendungen, das auf dem CAN-Bus basiert und seine Überlegenheit gegenüber anderen Netzwerkarchitekturen ausnutzt, behebt dieses Problem.

Ethernet stellt durch seine geringen Kosten eine attraktive Alternative für eingebettete Systeme dar und verdrängt immer mehr traditionelle Feldbus-Technologien. Doch das Medienzugriffsverfahren von Ethernet genügt nicht den Bedürfnissen einer Echtzeit-Anwendung. Aus diesem Grund wurde ein neuartiges, zeitgesteuertes Medienzugriffsverfahren durch Modifikationen eines Netzwerkkarten-Treibers entworfen und in die Verteilungsplattform integriert. Die Ergebnisse zeigen, dass die entwickelte Verteilungsplattform und die Integration der neuartigen Protokolle eine äußerst gute Basis für verteilte, echtzeitfähige Anwendungen in eingebettete Systeme darstellen.

Abstract

The stability and the reliability of programs can be increased by using modern middleware architectures due to the abstraction of implementation details. Furthermore, the development time as well as the development costs can be reduced. These advantages are likewise desired for embedded real-time systems, since they are subject to strong cost and quality pressure. However, until now, middlewares were scarcely used in such systems, because they need too many resources and do not meet the real-time requirements. For this reason, several projects are currently developing special middleware architectures for embedded real-time systems.

This work presents the design and implementation of a real-time middleware for embedded systems, which is based on the Real-Time CORBA standard. Using a component-based approach, the developed middleware is divided into extremely small components, so that only the necessary elements are loaded into the system. This approach resembles the proven structure of a microkernel architecture for an operating system and is the best possibility to create a resource-conscious implementation.

In order to achieve a broad establishment, Real-Time CORBA must support traditional real-time networks. For instance, the *controller area network* (CAN) represents one of the most popular network architectures for embedded systems. Unfortunately, such network architectures are not sufficiently supported by the CORBA standard, one more reason CORBA is hardly used for embedded real-time systems. Therefore, this work presents a new protocol for the interaction between Real-Time CORBA applications, which is based on the CAN-bus and utilises the CAN-bus' advantages.

Ethernet, by its low costs, represents an attractive alternative for embedded systems and replaces more and more traditional fieldbus technologies. The media access protocol of ethernet, however, does not meet the requirements of a real-time application. For this reason, a new time-triggered media access protocol was

developed, by modifying the network driver, and integrated into the new middleware architecture. The achieved results show that the developed middleware and the integration of the new protocols represent an excellent base for developing distributed real-time applications for embedded systems.

Danksagung

Diese Arbeit ist während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Betriebssysteme der RWTH Aachen entstanden. Während dieser Arbeit haben zahlreiche Menschen durch fachliche und persönliche Gespräche, Diskussionen und Beiträge Einfluss auf meine Arbeit genommen. Mein Dank gilt insbesondere:

- Univ.-Prof. Dr. habil. Thomas Bemmerl, der die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte und mich in allen Belangen unterstützte;
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Friedrich Kraiss für das Interesse an dieser Arbeit und die Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen;
- meinen Kollegen aus dem Lehrstuhl für Betriebssysteme, Andreas Jabs, Martin Pöppe, Silke Schuch, Rainer Finocchiaro, Marcus Dormanns, Michael Pfeiffer, Karsten Scholtyssik, Joachim Worringen, Andreas Schaaf, Torsten Platzbecker, Nicolas Berr, Nina Groß, Marianne Runge und Heijo Ehlen;
- den studentischen Hilfskräften und Diplomanden Oliver Specht, Christian Benien, Xinghan Yu und Michael Reke;
- meinen Eltern, meinem Bruder und meiner Freundin Annette

Inhaltsverzeichnis