

Konfigurierung verteilter, sicherheitsrelevanter Echtzeitsysteme im Kraftfahrzeug

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Elektrotechnik und Informationstechnik

der Universität Karlsruhe (TH)



genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Stephan Brummund

aus Pforzheim

Tag der mündlichen Prüfung:	26. Mai 2008
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Uwe Kiencke
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Becker

Berichte aus der Fahrzeugtechnik

Stephan Brummund

**Konfigurierung verteilter, sicherheitsrelevanter
Echtzeitsysteme im Kraftfahrzeug**

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7359-0

ISSN 0945-0742

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Informationstechnik (IIIT) der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Karlsruhe (TH).

Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Kiencke, Leiter des Instituts für Industrielle Informationstechnik, danke ich für die Initiierung und Betreuung dieser Arbeit sowie für die Übernahme des Hauptreferats. Für die Übernahme des Korreferats und das Interesse an dieser Dissertation danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Becker vom Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV) der Universität Karlsruhe (TH).

Auch den Mitarbeitern des Instituts gebührt mein Dank für das besondere Arbeitsklima. Vor allem das freundschaftliche Verhältnis zu meinen Kollegen Andreas Walter und Benedikt Merz, das während der letzten vier Jahre entstanden ist, möchte ich hervorheben. Sowohl die fachlichen als auch allgemeinbildenden Diskussionen mit ihnen haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Nicht zu vergessen sind auch die von mir betreuten Studenten, die in Form von Studien- und Diplomarbeiten durch engagierten und ideenreichen Einsatz diese Arbeit bereicherten.

Abschließend möchte ich mich bei allen Menschen in meinem persönlichen Umfeld bedanken, die mir während meiner Promotion ständiger Rückhalt waren. Besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich sowohl moralisch als auch finanziell während meiner gesamten Ausbildungszeit unterstützt hat. Ohne sie wäre diese Arbeit niemals zustande gekommen. Last but not least danke ich meiner Freundin Katharina Teske nicht nur für die kritische Durchsicht des Manuskripts, sondern vielmehr für ihr entgegengebrachtes Verständnis sowie die Unterstützung und Motivation während dieses Lebensabschnitts.

Das Doktor-Werden ist eine Konfirmation des Geistes.

Georg Christoph Lichtenberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Technik	2
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Gliederung	5
2	Grundlagen	9
2.1	Graphentheorie	9
2.2	Systemmodellierung	11
2.3	Max-Plus Algebra	16
2.3.1	Einführung in die Max-Plus Algebra	17
2.3.1.1	Matrizenoperationen	19
2.3.2	Einführung in die Min-Plus Algebra	20
2.3.2.1	Matrizenoperationen	21
2.3.3	Maximale und minimale Summenkantengewichte	23
2.3.4	Erreichbarkeit von Knoten	23
2.3.5	Erweiterte Max-Plus Algebra	24
2.3.6	Binäre Max-Plus Algebra	24
2.3.6.1	Matrizenoperationen	25
2.4	Bestimmung des kürzesten Weges in einem Netzwerk	26
2.5	Zusammenfassung	28
3	Bussysteme und Standards	31
3.1	CAN	31
3.1.1	Funktionsweise	31
3.1.2	Konfigurierung	33
3.1.3	Adaption der Prioritäten	36
3.2	FlexRay	38
3.2.1	Funktionsweise	38
3.2.2	Konfigurierung	40
3.3	AUTOSAR	45
3.4	Zusammenfassung	49

4	Zuordnung von Software auf Steuergeräte	51
4.1	Einführung	51
4.1.1	Distanzfunktionen	51
4.1.1.1	Euklidische Distanz	52
4.1.1.2	City Block (Manhattan) Distanz	52
4.1.1.3	Chebyshev Distanz	52
4.1.1.4	Minkowski Distanz	53
4.1.1.5	Pearsonscher Korrelationskoeffizient	53
4.1.1.6	Nicht-zentrierter Pearsonscher Korrelationskoeff.	54
4.1.2	Generierung der Eingangsdaten	54
4.1.2.1	Skalierung der Kommunikationskosten	55
4.1.2.2	Geometrische Matrix	58
4.2	Self-Organizing Maps	64
4.2.1	Kapazitätsbeschränkungen	70
4.3	Clusteringverfahren	72
4.3.1	K-Means	72
4.3.2	ISODATA	75
4.3.2.1	Iterationsverfahren zur Parameterbestimmung	77
4.3.3	ISODATA-Free	79
4.3.3.1	Iterationsverfahren zur Parameterbestimmung	81
4.4	Partitionierungsverfahren	83
4.4.1	Algorithmen	83
4.4.1.1	Kernighan-Lin	84
4.4.1.2	Best-Gain-First	89
4.4.1.3	Simulated Annealing	91
4.4.1.4	Fiduccia-Mattheyses	95
4.4.1.5	Ford-Fulkerson	99
4.4.1.6	Jarvis-Patrick	103
4.4.2	Multipartitionierung	106
4.4.2.1	Hierarchische Multipartitionierung	107
4.4.2.2	Kombinatorische Multipartitionierung	108
4.5	Bewertungskriterien	109
4.5.1	Davies-Bouldin Index	110
4.5.2	Min-Max-Cut	110
4.5.3	Performance	111
4.5.4	Modularization Quality Index	111
4.5.5	Silhouette	112
4.5.6	Lastausgleichseffizienz	112
4.5.7	Standardabweichung der Clusterbelastung	113
4.5.8	All-Index	114
4.6	Zusammenfassung	117

5	Neue Zuordnungsverfahren	121
5.1	Partitionierungsverfahren	121
5.1.1	Max-Link Partitionierung	122
5.1.2	Korrelationsbasierte Partitionierung	130
5.2	Parallelisierungsverfahren	143
5.2.1	Multiprozessor-Architekturen	144
5.2.2	Algorithmen	150
5.2.2.1	Gewinnbasierte Parallelisierung	151
5.2.2.2	Zeitbasierte Parallelisierung	168
5.3	Zusammenfassung	175
6	Sicherheitsrelevante Systemarchitekturen	179
6.1	Redundante Architekturen	179
6.1.1	Duplex	179
6.1.2	Duo-Duplex	180
6.1.3	Triple-Modular-Redundancy	181
6.1.4	Vergleich	182
6.2	Analytische Redundanz	183
6.2.1	Kalman-Filter	183
6.2.2	Informationsfilter	187
6.2.3	Partikelfilter	188
6.2.4	Anwendung: Zustandsschätzung im Bereich Fahrdynamik	194
6.3	Verteilte Systemarchitektur mit inhärenter Redundanz	196
6.3.1	Fehlerkompensationsalgorithmus	196
6.3.1.1	Systemmodellierung	196
6.3.1.2	Fehlerisolation	202
6.3.1.3	Funktionsverlagerung	204
6.3.1.4	Funktionssubstitution	206
6.3.2	Fehlertolerante Systemarchitektur	211
6.3.2.1	Satellitensteuergeräte	212
6.3.2.2	Zentrales Steuergerät	214
6.3.2.3	Systemrekonfigurierung im Fehlerfall	219
6.4	Zusammenfassung	221
7	Anwendung	223
7.1	Kraftfahrzeugmodell	223
7.2	Modellierung von CAN und FlexRay	232
7.2.1	CAN-Modell	232
7.2.2	FlexRay-Modell	235
7.3	Ergebnisse	238

8 Zusammenfassung	247
A Bussysteme	251
A.1 CAN	251
A.2 FlexRay	253
B Modelle	257
B.1 Kraftfahrzeugmodell	257
B.2 Nichtlineares Zweispurmodell	263
C Nomenklatur	269
C.1 Formelzeichen	269
C.2 Abkürzungsverzeichnis	281
Literaturverzeichnis	283
Relevante Veröffentlichungen	291
Betreute Arbeiten	293
Stichwortverzeichnis	295
Lebenslauf	299