

Informatik-Fachberichte 175

Herausgegeben von W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Springer-Verlag
Geschäftsbibliothek - Heidelberg

Jürgen Hülsemann

Funktioneller Test der Auflösung von Zugriffskonflikten in Mehrrechnersystemen



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

Autor

Jürgen Hülsemann
Institut für Rechnerentwurf und Fehlertoleranz,
Universität Karlsruhe

Neue Adresse:

Siemens AG, Abt. GWK-TPR 3
Östl. Rheinbrückenstraße 50, 7500 Karlsruhe 21

CR Subject Classifications (1987): B.1.3, B.4.5, D.4.5

ISBN 978-3-540-50114-5

ISBN 978-3-642-73952-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-73952-1

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1988

Vorwort

In fehlertoleranten Systemen, deren Fehlertoleranzeigenschaften auf einer Kombination von Rekonfiguration und Fehlerbehebung beruhen, fällt der Systemdiagnose eine zentrale Rolle zu. Die Systemdiagnose setzt sich aus zwei Teilen, der Fehlererkennung und der Fehlerlokalisierung, zusammen. Mit den dabei ermittelten Informationen ist in der darauf folgenden Rekonfiguration eine Ausgliederung der fehlerhaften Einheit und eine Neuverteilung der vom Ausfall betroffenen Aufgaben möglich. Bei der anschließenden Fehlerbehebung werden die Daten in einen konsistenten Zustand gebracht und die durch den Ausfall betroffenen Aufgaben fortgesetzt.

Übliche Systemdiagnoseverfahren bestehen aus mehreren aufeinander aufbauenden Teiltests; dabei erfolgt zuerst der Prozessorselbsttest, dann der Festwert- sowie der Schreib-/Lesespeichertest und schließlich der Test der Ein-/Ausgabe. In Mehrrechnersystemen wird danach das Kommunikationssystem getestet und zuletzt die Systemdiagnoseinformation als Grundlage für die Rekonfiguration gebildet.

In dieser Arbeit wird ein funktionelles Testverfahren vorgestellt, mit dem bekannte Testverfahren für Kommunikationssysteme um den Teilaspekt des Tests von Zugriffsverabeeinheiten unter spezieller Berücksichtigung von Zugriffskonflikten erweitert werden können. Bei Zugriffskonflikten stellt sich folgende prinzipielle Problematik: Fehler bei der Auflösung von Zugriffskonflikten erscheinen transient, da sie selten und nur zufällig auftreten, und zwar nur bei gleichzeitigem Zugriff mehrerer Rechner. Das Auftreten der Zugriffskonflikte kann dabei im Betrieb in der Regel nicht erkannt werden.

Nach der Einführung unterschiedlicher Zugriffskonflikttypen wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem diese Zugriffskonflikttypen systematisch erzeugt werden können. Die Fehlererkennung wird dabei durch einen Vergleich der bei der Zugriffskonflikterzeugung transferierten Testdaten mit Sollmustern erreicht. Die Zugriffskonflikte werden durch schrittweises Verschieben der Zeitpunkte der Zugriffswunschanmeldung gezielt erzeugt.

Der Nachweis der Wirksamkeit des vorgestellten Verfahrens wurde durch die Implementierung in einer Mehrrechnerumgebung erbracht. Weitere Einsatzbereiche des Testverfahrens liegen neben der

Systemdiagnose in der Prototypentestphase und der Inbetriebnahme-
phase von Mehrrechnersystemen.

Das vorliegende Buch gibt meine von der Fakultät für Informatik
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe genehmigte Dissertation
wieder. Sie entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaft-
licher Mitarbeiter am Institut für Rechnerentwurf und Fehlerto-
leranz der Universität Karlsruhe in der Forschungsgruppe von
Prof. Dr.-Ing. W. Görke.

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir bei der
Durchführung dieser Arbeit geholfen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. W. Görke für
die Anregung zu dieser Arbeit, für seine stete Diskussionsbereit-
schaft und seine jederzeit konstruktive Kritik.

Herrn Professor Dr.-Ing. G. Färber, Lehrstuhl für Prozeßrechner
der Technischen Universität München, danke ich für die Übernahme
des Korreferats sowie für wertvolle Hinweise.

Nützlich waren zahlreiche Diskussionen, die ich mit meinen Kollen-
gen führen konnte; insbesondere Herrn Dr. rer. nat. Klaus Echtele
und Herrn Dr.-Ing. Zoltan Benyo sei für ihre kritische Durchsicht
des Manuskripts und viele hilfreiche Gespräche gedankt.

Den Herren cand. inform. Martin Greiner, Dipl.-Ing. Martin Jae-
nicke, Dipl.-Ing. Reinhard Siegfarth, cand. inform. Ralf Strei-
cher und cand. inform. Thomas Strohmaier gilt mein Dank für ihre
Unterstützung der Arbeit durch Diplom- und Studienarbeiten oder
langjährige Hilfsassistententätigkeit. Herrn Ralf Streicher sei
auch für die saubere Anfertigung der Zeichnungen gedankt.

Meiner Frau Juliane danke ich herzlich für ihre Hilfe bei der
Erstellung des Textes sowie ihr Verständnis und ihre Geduld auch
in schwierigen Phasen der Arbeit.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die die Arbeiten im Rahmen
des Forschungsprojektes "Mikrorechnerfehlerdiagnose" unter dem
Aktenzeichen Go 347/4 gefördert hat, und dem BMFT sowie den Fir-
men Nixdorf und Siemens, die mit dem Verbundprojekt TESUS den
Abschluß dieser Arbeit ermöglicht haben, sei für ihre Unterstüt-
zung gedankt.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Motivation	3
1.2.	Übersicht.	5
2.	Zugriffskonflikte in Rechensystemen.	7
2.1.	Beispiele für das Auftreten von Zugriffskonflikten .	8
2.2.	Eingrenzung der zu untersuchenden Zugriffskonflikte.	10
2.3.	Zusammenfassung.	15
3.	Stand der Forschung.	17
3.1.	Systemtestverfahren.	18
3.1.1.	Funktionelle Testverfahren für Rechereinheiten. .	18
3.1.2.	Systemdiagnoseverfahren.	22
3.2.	Alternative Lösungsverfahren	24
3.2.1.	Strukturtest	24
3.2.2.	Protokolltester.	26
3.3.	Zusammenfassung und Bewertung.	29
4.	Grundlagen des Testverfahrens.	31
4.1.	Begriffsdefinitionen	31
4.2.	Modell des Kommunikationssystems	32
4.3.	Klassifikation der Zugriffskonflikte	36
4.4.	Fehlermodell des Kommunikationssystems	37
4.5.	Teststrategie.	43
4.6.	Systematisches Herbeiführen von Zugriffskonflikten .	45
4.7.	Prinzip der Zugriffssynchronisation.	46
4.8.	Einbettung des Testverfahrens in den Systemtest. . .	49
4.9.	Zusammenfassung.	51
5.	Testverfahren für Zugriffskonflikte.	53
5.1.	Das Zugriffssynchronisationsverfahren.	53
5.1.1.	Beschreibung des Verfahrens.	56
5.1.2.	Formeln zur Berechnung der notwendigen Zeiten . .	62
5.1.3.	Einfluß von Zugriffsverlängerungen	66
5.2.	Testverfahren	80
5.2.1.	Test der Fehler ohne Zugriffskonflikte	81
5.2.2.	Test der Fehler mit Zugriffskonflikten	84
5.2.3.	Reduktion der Anzahl der Testfälle	91
5.2.3.1.	Zugriffsvergabeestrategien.	91
5.2.3.2.	Zugriffszuteilungsverfahren.	92
5.2.3.3.	Mehrprozessorfähige Bussysteme	96
5.3.	Grenzen der erreichbaren Zeitauflösung	100
5.4.	Zusammenfassung.	106

6.	Die Drift der Takte der aktiven Einheiten.	108
6.1.	Meßverfahren	109
6.2.	Einfluß von unterschiedlichem Meß- und Testzeitpunkt	116
6.3.	Erzeugung des Zugriffskonflikttyps 2	120
6.4.	Zusammenfassung.	129
7.	Anwendung des Verfahrens	131
7.1.	Das experimentelle Mehrrechnersystem	131
7.2.	Test des Kommunikationssystems	136
7.2.1.	Test ohne Zugriffskonflikte.	136
7.2.2.	Test mit Zugriffskonflikten.	138
7.3.	Fehlerexperimente.	157
7.4.	Vergleich des Testverfahrens mit Zufallstests. . . .	160
7.5.	Zusammenfassung.	163
8.	Zusammenfassung und Ausblick	165
	Literaturverzeichnis	169
	Anhang: Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	178

Abbildungsverzeichnis

2-1	Zugriffsverhalten von Kommunikationssystemen	12
2-2	Zeitverhalten der Quittungsverfahren (nach /THU72/). .	14
4-1	Modell für Mehrrechnersysteme.	33
4-2	Automatengraph der Zugriffsvergabeeinheit.	34
4-3	Abfolge der Phasen bei Zugriffen der aktiven Einheiten	35
4-4	Symbolische Darstellung der drei Zugriffskonflikttypen	37
4-5	Zeitverhalten bei Fehlertyp a.	39
4-6	Zeitverhalten bei Fehlertyp b.	39
4-7	Zeitverhalten bei Fehlertyp c.	40
4-8	Zeitverhalten bei Fehlertyp d.	41
4-9	Zeitverhalten bei Fehlertyp e.	41
4-10	Zeitverhalten bei Fehlertyp f.	42
4-11	Zeitverhalten bei Fehlertyp g.	42
4-12	Zugriffsverhalten aktiver Einheiten bei $T_{Diff} > T_{ZGB}$.	47
4-13	Zugriffsverhalten aktiver Einheiten bei $T_{Diff} < T_Z$. .	48
5-1	Verschiedene Zeiten bei der Zugriffssynchronisation. .	55
5-2	Gesamtübersicht des Zugriffssynchronisationsverfahrens	57
5-3	Zugriffsverhalten der aktiven Einheiten in Phase 1 . .	58
5-4	Notwendigkeit der Verschiebung des Zugriffsfensters. .	59
5-5	Zugriffsfensterverschiebung der aktiven Einheit 4. . .	60
5-6	Zugriffsverhalten in der Phase 4	62
5-7	Auf verlängerte Zugriffe folgen minimale	70
5-8	Auf minimale Zugriffe folgen verlängerte	71
5-9	Zeitverhalten nach erster Modifikation des Verfahrens.	72
5-10	Zeitverhalten nach zweiter Modifikation des Verfahrens	74
5-11	Verfahren mit Zuteilungsverkettung /FAER84/.	93
5-12	Das Parallel-Abfrage-Verfahren /FAER84/.	94
5-13	Zuteilungsverfahren mit Stichleitungen /FAER84/. . . .	95
5-14	Prioritätslogik des Multibus II /INT85/.	98
5-15	Zeitfenster bei zwei unabhängigen Takten	101
5-16	Zeitfenster bei Vergabetakt und zwei unabh. Takten . .	102
5-17	Zeitfenster bei Schleifenlängendifferenz 2 PT.	103
5-18	Zeitfenster bei Zugriffsverlängerungen	103
6-1	Ablauf des Meßprogramms zur Relativdriftermittlung . .	110
6-2	Frequenz-/Zeitverhalten in der Einschaltphase /STR86/.	119
6-3	Erzeugung des Zugriffskonflikttyps 2	122
6-4	Verschiedene Wahrscheinlichkeiten $P_A(ZK2)$	126

7-1	Systemstruktur des fehlertoleranten Mehrrechnersystems	132
7-2	Struktur der Koppelmodule.	133
7-3	Zeitverhalten bei der Erzeugung der Zugriffskonflikte.	152

Tabellenverzeichnis

5-1	Anzahl der Testfälle	89
5-2	Speicherzugriffszeiten und Schleifenlängendifferenzen.	104
6-1	Beispielzahlen zur Relativdriftermittlung.	115
6-2	Ausführungszeiten der Zählschleifen /STR86/.	116
6-3	Herleitung der Einzelwahrscheinlichkeiten	123
7-1	Kombinationen der Kommunikationszugriffe	134
7-2	Testmuster	137
7-3	Wartetakte bei den verschiedenen Zugriffen	141
7-4	Befehlsausführungszeiten	142
7-5	Zugriffszeiten aus der Sicht der Koppelmodule.	143
7-6	Zeiten der Zugriffsvergabe- und der Zugriffsphase.	145
7-7	Wahrscheinlichkeiten P_T für die Zugriffszeiten	146