

Informatik-Fachberichte 161

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

Peter Peinl

Synchronisation in zentralisierten Datenbanksystemen

Algorithmen, Realisierungsmöglichkeiten
und quantitative Analyse



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

Autor

Peter Peinl
Universität Stuttgart, Institut für Informatik
Azenbergstraße 12, 7000 Stuttgart

CR Subject Classifications (1987): H.2.2, I.6.3

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

Peinl, Peter:

Synchronisation in zentralisierten Datenbanksystemen : Algorithmen, Realisierungsmöglichkeiten u. quantitative Analyse / Peter Peinl. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer, 1987
(Informatik-Fachberichte ; 161)

Zugl. Kurzfassung von: Kaiserslautern, Univ., Diss.

ISBN-13: 978-3-540-18752-3 e-ISBN-13: 978-3-642-73323-9

DOI: 10.1007/978-3-642-73323-9

NE: GT

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 1987

Vorwort

Diese Arbeit umfaßt in komprimierter Form die zentralen Aspekte und Ergebnisse meiner Dissertation am Fachbereich Informatik der Universität Kaiserslautern. Während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter wirkte ich dort am Projekt "Zuverlässigkeit und Kosten von Sicherungs- und Recovery-Techniken bei integrierten DB/DC-Systemen einschließlich Konsistenzprüfung und Revisionsunterstützung" mit, insbesondere auf den Themengebieten Leistungsanalyse von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen, Leistungsmessung und -bewertung in DB/DC-Systemen, sowie Betriebssystemeinbettung von Datenbanksystemen.

Dem Leiter des Projekts, Herrn Prof. Dr. Theo Härder, möchte ich an dieser Stelle für die Anregung danken, mich mit dem Thema "Synchronisation in zentralisierten Datenbanksystemen" zu beschäftigen, sowie für viele Hinweise und Anregungen, die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Das gilt gleichermaßen für Herrn Prof. Dr. Andreas Reuter von der Universität Stuttgart, der nicht nur mit sehr viel Engagement das Korreferat der Dissertation übernommen hat, sondern mir nach meinem Wechsel an die Universität Stuttgart den nötigen Freiraum ließ, um die Niederschrift dieser Arbeit fertigzustellen.

Meinen Kollegen Peter Christmann, Horst Kinzinger, Klaus Küspert, Klaus Meyer-Wegener und Bernhard Mitschang sowie meiner Kollegin Andrea Sikeler danke ich für viele hilfreiche Gespräche und Diskussionen.

Mein Dank gilt weiterhin den Herren Volker Bohn, Wolfgang Käfer, Michael Profit und Bernd Sutter, die im Rahmen ihrer Projektarbeiten wesentliche Teile des Simulationssystems implementiert haben, und dem Regionalen Hochschulrechenzentrum Kaiserslautern, auf dessen Ressourcen ich für die Durchführung der Simulationsläufe angewiesen war.

Schließlich habe ich einer Reihe von Personen für ihre Hilfe bei der Umsetzung des Manuskripts in die druckfertige Version zu danken: Frau Andrea Schwarz und Frau Andrea Krahel haben mit viel Sorgfalt den überwiegenden Teil der Reinzeichnungen angefertigt, die restlichen haben Frau Petra Bohn und Frau Birgitt Fromkorth erledigt. Frau Agathe Rasbach hat den größten Teil der Reinschrift des Manuskriptes besorgt und auch große Mengen kurzfristig anfallenden Textes immer prompt erledigt. Ihnen allen danke ich für ihren Einsatz und die gute Zusammenarbeit.

Schließlich geht mein herzlichster Dank an alle hier Ungenannten, die mit ihrer moralischen Unterstützung entscheidend zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, insbesondere an meine Eltern.

Zusammenfassung

Synchronisation spielt eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung der Integrität in **Datenbanksystemen**. In dieser Arbeit wird der **Schwerpunkt** auf eine umfassende **Analyse** des **Einflusses** von **Synchronisationsmaßnahmen** auf das **Leistungsverhalten** von **zentralisierten Datenbanksystemen** gelegt. Nach einem knappen Abriß der konzeptuellen Aspekte der Synchronisation in Datenbanksystemen und einer Schilderung der wesentlichen Verfahren wird ausführlich auf die Aspekte der Implementierung von Synchronisationsmaßnahmen eingegangen. Neben dem Aufbau und der Realisierung der Synchronisationskomponente wird ihre Verflechtung mit anderen zentralen Komponenten eines Datenbanksystems, insbesondere der Systempufferverwaltung, genauer betrachtet. Für die Leistungsanalyse wird die bisher auf Synchronisationsverfahren nicht angewendete Methode der **Trace-getriebenen Simulation** eingesetzt. Sie wird anderen Methoden der Leistungsanalyse gegenübergestellt, und ihre Vorteile im Hinblick auf die Nachbildung des dynamischen Verhaltens von Datenbanksystemen werden deutlich gemacht.

Die empirische Analyse des Leistungsverhaltens von Synchronisationsverfahren fußt auf einem eigens entwickelten **Simulationssystem**, dessen **Detaillierungsgrad** hinsichtlich sowohl der statischen Struktur von als auch der dynamischen Abläufe in Datenbanksystemen bisherige Ansätze weit übersteigt. Neben der vollständigen Implementierung einer Reihe wichtiger Synchronisationsverfahren schließt dieses unter anderem die Systempufferverwaltung und eine Externspeicherverwaltung ein. Mit dem Modell läßt sich eine Fülle von Informationen über das Ablaufverhalten von Datenbanksystemen gewinnen, insbesondere eine Reihe zentraler Kosten- und Leistungsmaße zur Charakterisierung des Verhaltens der untersuchten Synchronisationsverfahren.

Im letzten Teil werden die durch systematische Variation einiger wesentlicher Parameter wie Ablaufparallelität und Systempuffergröße mit dem Simulationsmodell erzielten **quantitativen Ergebnisse** dargestellt und sorgfältig analysiert und daran die Tauglichkeit einiger neuartiger Synchronisationsverfahren für den Einsatz in Datenbanksystemen beurteilt.

Abstract

Synchronization (concurrency control) plays a key role in the preservation of integrity in database systems. This monograph gives a comprehensive **analysis** of the **impact of concurrency control** on the **performance of centralized database systems**. A short outline of the conceptual aspects of synchronization in database systems and a description of the relevant algorithms is followed by a thorough discussion of the implementational aspects of synchronization. Structure and implementation of the synchronization component in database systems as well as the interdependence between it and other important components, in particular buffer management, are investigated in detail. In this context, performance analysis rests on **trace-driven simulation**, a technique not previously applied to evaluating synchronization algorithms. By contrasting this performance analysis technique with others, the advantages of trace-driven simulation in the emulation of the dynamic behaviour of database systems are demonstrated.

A **simulation system** specifically designed to evaluate the performance of database concurrency control algorithms is used in the empirical analysis. The **level of detail** reached in the model, for the static structure as well as the dynamic behaviour of database systems, goes far beyond comparable approaches. In addition to the complete implementation of a number of promising concurrency control algorithms, the model also incorporates system buffer management and device management. Moreover, it yields a lot of information about the dynamic operation of database systems, in particular a number of key cost and performance measures characterizing the concurrency control algorithms investigated.

In the final part of this book, the **quantitative results** obtained through systematic variation of essential parameters, such as parallelism and system buffer size, are compiled. An elaborate analysis of the simulation results leads to an assessment of the applicability of several novel concurrency control algorithms to database systems.

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung	1
1.	Einleitung	1
II.	Konzepte der Synchronisation in Datenbanksystemen	8
2.	Synchronisation in parallelverarbeitenden Systemen und ihre speziellen Aspekte bei Datenbanksystemen	8
2.1	Synchronisation in Programmiersprachen und Betriebssystemen und historischer Abriß der Entwicklung auf dem Gebiet der Datenbanksysteme	8
2.2	Implementierungsformen von Datenbanksystemen	11
3.	Klassifikation von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	13
3.1	Probleme der und Ansätze zur Klassifikation von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	13
3.2	Methoden zur Isolation von Objekten	14
3.3	Methoden zur Feststellung und Gewährleistung der Serialisierbarkeit	18
3.3.1	Überprüfung der Serialisierbarkeit während der BOT-Verarbeitung	18
3.3.2	Überprüfung der Serialisierbarkeit während der Verarbeitungsphase	19
3.3.3	Überprüfung der Serialisierbarkeit durch Sperren	20
3.3.4	Überprüfung der Serialisierbarkeit durch Zeitmarken	22
3.3.5	Überprüfung der Serialisierbarkeit während der EOT-Verarbeitung	23
3.3.6	Verteilung der Überprüfung der Serialisierbarkeit auf die Verarbeitungsphase und die EOT-Verarbeitung	23
4.	Synchronisationsverfahren ohne Berücksichtigung einer Objektstruktur	25
4.1	Synchronisation unter der Kontrolle von Sperrverfahren	25
4.1.1	Das RX-Sperrverfahren	26
4.1.2	Die RA-Sperrverfahren	26
4.1.3	Das RAX-Sperrverfahren	27
4.1.4	Das RAC-Sperrverfahren	30
4.1.5	Das RAC _n -Sperrverfahren	31
4.2	Synchronisation unter der Kontrolle optimistischer Verfahren	33
4.2.1	Die BOCC-Verfahren	34
4.2.2	Die FOCC-Verfahren	36
4.3	Synchronisation unter der Kontrolle von Zeitmarken-Verfahren	37
4.4	Das Verhältnis von Zeitmarken-Verfahren zu Sperrverfahren und optimistischen Verfahren	39
III.	Implementierungsaspekte der Synchronisation in Datenbanksystemen	43
5.	Implementierungsaspekte der Synchronisationskomponente	44
5.1	Aufgaben und Aufbau der Synchronisationskomponente	44
5.1.1	Anforderungen an die Synchronisationskomponente und deren Aufgaben	44

5.1.2	Schnittstellen der Synchronisationskomponente zu anderen Komponenten des Datenbanksystems	45
5.2	Speicherungsstrukturen zur Darstellung der synchronisationsrelevanten Information	47
5.2.1	Datenstrukturen zur Verwaltung von Sperren	48
5.2.2	Speicherungsstrukturen zur effizienten Verwaltung von Sperren	49
5.2.3	Speicherungsstrukturen zur Unterstützung optimistischer Synchronisationsverfahren	54
5.3	Aufbau und Funktionsweise einer verfahrensunabhängigen Sperrkomponente mit dynamisch veränderbaren Sperrprotokollen	60
5.3.1	Vorteile und prinzipieller Aufbau einer verfahrensunabhängigen Sperrkomponente	60
5.3.2	Grundlegende Konzepte bei Sperrprotokollen, Basisoperationen und prinzipielle Funktionsweise des Protokollinterpreters	62
5.3.3	Ein Beispiel zur Spezifikation des RX-Verfahrens für den verfahrensunabhängigen Protokollinterpreter	65
5.4	Aufwandsbetrachtungen für unterschiedliche Implementierungen des Validierungsalgorithmus bei optimistischen Synchronisationsverfahren	66
5.4.1	Quantitative Abschätzung einer euphorischen Variante optimistischer Synchronisationsverfahren	66
5.4.2	Quantitative Abschätzung des Validierungsaufwandes der grundlegenden Varianten optimistischer Synchronisationsverfahren	69
5.4.3	Grobe Abschätzung des Rechenzeitaufwandes zur Pflege der Speicherungsstrukturen zur Darstellung synchronisationsrelevanter Information bei Sperrverfahren versus optimistische Verfahren	71
6.	Systempufferverwaltung unter Berücksichtigung von Versionen und temporären Kopien	76
6.1	Grundsätzliche Probleme der Systempufferverwaltung bei erweiterten Objektmodellen	76
6.1.1	Die Rolle erweiterter Objektmodelle im Zusammenspiel von Systempufferverwaltung und Synchronisationsverfahren	76
6.1.2	Konsequenzen des erweiterten Objektmodells für die physische Datenhaltung auf externen Speichermedien	78
6.1.3	Strukturierung der Systempufferverwaltung unter Berücksichtigung erweiterter Objektmodelle	79
6.2	Die Rahmenverwaltung oder die Systempufferverwaltung im herkömmlichen Sinne	81
6.2.1	Die Freispeicherverwaltung innerhalb der Rahmenverwaltung	82
6.2.2	Die Implementierung des Ersetzungsalgorithmus innerhalb der Rahmenverwaltung	83
6.3	Die Seiteninkarnationen-Verwaltung	84
6.3.1	Die Realisierung privater Transaktionspuffer auf einem globalen Systempuffer	84
6.3.2	Hilfsstrukturen und Schnittstelle der Seiteninkarnationen-Verwaltung	88

6.3.3	Die Funktionsweise der von der Seiteninkarnationen-Verwaltung exportierten Operationen	90
6.4.	Abhängigkeiten zwischen der Synchronisationskomponente und anderen zentralen Komponenten eines Datenbanksystems am Beispiel der Pufferbedienung	94
6.4.1	Die Pufferbedienung beim RX-Sperrverfahren	95
6.4.2	Die Pufferbedienung bei optimistischen Synchronisationsverfahren	96
IV.	Leistungsanalyse von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	98
7.	Methoden zur Untersuchung des Einflusses von Synchronisationsmaßnahmen auf das Leistungsverhalten von Datenbanksystemen	98
7.1	Implementierung und Integration in ein reales Datenbanksystem	100
7.2	Modellierung von Komponenten des Datenbanksystems	101
7.2.1	Analytische Modelle zur Beschreibung des Einflusses von Synchronisationsverfahren auf das Leistungsverhalten von Datenbanksystemen	101
7.2.2	Modellierung von Komponenten des Datenbanksystems durch Simulation	103
7.3	Kosten- und Leistungsmaße für die Bewertung von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	105
8.	Ein detailliertes Simulationsmodell zur Leistungsanalyse von Synchronisationsverfahren in zentralisierten Datenbanksystemen (DBSS)	109
8.1	Ziele des Simulationsansatzes	109
8.2	Die empirischen Lasten zum Treiben des Datenbanksystem-Simulators	110
8.3	Grobstruktur des implementierten DBSS	112
8.4	Detailaufbau des implementierten DBSS	118
8.4.1	MAIN-MODULE	118
8.4.2	SCHEDULER	118
8.4.3	STRING-MANAGER	121
8.4.4	LOGFILE-MANAGER	124
8.4.5	Die unteren Abbildungsebenen	124
8.4.6	DEVICE-MANAGER	125
8.4.7	GWS-MANAGER	129
8.5	Spezielle Überlegungen zur Synchronisation auf FPA- und DBTT-Seiten und ihre Behandlung im DBSS	129
8.5.1	Eigenarten der Synchronisation auf FPA-Seiten	130
8.5.2	Eigenarten der Synchronisation auf DBTT-Seiten	132
8.5.3	Die Behandlung von FPA- und DBTT-Seiten im DBSS	133
8.6	Zusammenfassender Überblick über das entwickelte DBSS	133
V.	Empirische Untersuchung des Leistungsverhaltens von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	138
9.	Empirische Untersuchung des Leistungsverhaltens von Synchronisationsverfahren in Datenbanksystemen	138

9.1	Darstellung der charakteristischen Eigenschaften der logischen Seitenreferenz-Strings	138
9.1.1	Globale statistische Kenngrößen der logischen Seitenreferenz-Strings	138
9.1.2	Typisierung von Transaktionen als Mittel zur Charakterisierung des Lastprofils in den logischen Seitenreferenz-Strings	140
9.1.3	Spezielle Eigenarten der logischen Seitenreferenz-Strings	143
9.2	Überblick über die Instrumentierung, Parametrisierung und die Auswertungsmöglichkeiten des Simulationsmodells	146
9.2.1	Klassifikation der Parameter des Simulationsmodells	147
9.2.2	Systematik und Parametrisierung der durchgeführten Leistungsanalyse von Synchronisationsverfahren	150
9.2.3	Parametrisierung des Scheduling-Modells	153
9.2.4	Überblick über die Auswertungsmöglichkeiten des Simulationsmodells	155
9.3	Grundsätzliches zur Leistungsuntersuchung der Synchronisationsverfahren	159
9.3.1	Die implementierten Verfahrensvarianten der simulierten Synchronisationsverfahren	159
9.3.2	Der Speicherbedarf der Synchronisationsverfahren	160
9.3.3	Grundsätzliche Probleme bei der Interpretation der quantitativen Resultate der empirischen Leistungsanalyse	162
9.4	Zentrale Maße zur Charakterisierung des Leistungsverhaltens der simulierten Synchronisationsverfahren	165
9.4.1	Durchschnittliche Parallelität und der Einfluß der Lastbalancierung auf das Leistungsverhalten von Datenbanksystemen	165
9.4.2	Der Wiederholungsfaktor	170
9.4.3	Die effektive Parallelität	174
9.5	Die Durchlaufzeit als das zentrale Maß des Simulationsmodells	179
9.5.1	Grundsätzliche Bedeutung und Bestimmungsfaktoren der Durchlaufzeit	179
9.5.2	Die Durchlaufzeit bei Lastprofilen mit sehr langen Transaktionen und hohem Änderungsanteil am Beispiel des logischen Seitenreferenz-Strings MIX40	185
9.5.3	Die Durchlaufzeit bei ausgeglichenen Lastprofilen am Beispiel der logischen Seitenreferenz-Strings DOD, KD, WSOD und TER	190
9.6	Die Bedeutung von Rücksetzungen und ihr Einfluß auf die Leistungsfähigkeit von Datenbanksystemen	194
9.6.1	Der Einfluß von Puffergröße, Sollparallelität und Synchronisationsverfahren auf die Häufigkeit von Rücksetzungen	194
9.6.2	Ursachen und Häufigkeiten von Rücksetzungen bei Sperrverfahren	198
9.6.3	Die Bedeutung von Lese-Schreib-Konversionen und Ansätze zur Reduktion der Rücksetzungshäufigkeit	206
9.7	Die Lokalität des Zugriffsverhaltens auf der physischen Datenbank	210
VI.	Resümee	213
10.	Resümee	213
	Literaturverzeichnis	219