

Beitrag zur Analyse von Mehrdienste Verlustsystemen mit Bandbreiten-Reservierung

Von der Gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Wolfgang Bziuk

aus: Pinneberg

eingereicht am: 07.01.2003

mündliche Prüfung am: 12.09.2003

Referent: Prof. Dr.-Ing. Harro Lothar Hartmann

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Ralf Lehnert

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Manfred Schimmler

2003

Telekommunikationsnetze

Als Institutsreihe herausgegeben

von

Prof. Dr.-Ing. H. L. Hartmann

Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze
Abteilung Parallelsysteme und Kommunikationsnetze
Technische Universität Braunschweig

Wolfgang Bziuk

Beitrag zur Analyse von Mehrdienste Verlustsystemen
mit Bandbreiten-Reservierung

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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2256-1

ISSN 1432-4423

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

Geleitwort des Herausgebers

Kommunikationsnetze werden in wachsendem Maße mehrdienstefähig. Dies betrifft vor allem den Architekturentwurf der Vermittlungen welche nicht nur unterschiedlichen Bandbreitenanforderungen sondern differierenden Belegungsformen mit dienstespezifischen Qualitätsanforderungen genügen müssen. Abseits vom Transport-Networking, bei dem die restaurationsfähige Integration verschiedener Träger voranschreitet, kommt dem Traffic Engineering der Zugangsvermittlungen bei ortsfester oder mobiler Teilnehmerumgebung besondere Bedeutung zu.

Der Verfasser analysiert Mehrdienste Verlustsysteme auf der Basis des umfänglichen Schrifttums. Wirtschaftliche 'Switching Fabrics' entstehen, wenn jeder Systemzustand sämtliche Diensteproportionen tragen kann. Das sogenannte 'complete sharing' gleicht nämlich den Diensteanforderungsdruck zu einer optimalen Füllung jedes Systemzustandes ab und löst somit in zwangloser Weise das 'stochastic knapsack' Optimierungsproblem. Dies vollzieht sich nur auf Kosten entspannter Diensteblockierungen welche um ihren Erwartungswert streuen. Diese Streuungen behindern die Switch-Dimensionierung und Netzoptimierung.

Daher wendet sich der Verfasser dem im Fachschrifttum weniger vertretenen Gebiet der Blockierungssteuerung durch spezifische Reservierungen, d.h. 'virtual partitioning' des Zustandsraumes, mit dem Ziel zu, ein vorgegebenes Blockierungs-Muster zu gewährleisten ohne das 'complete sharing' Optimum signifikant zu verletzen. Hieraus resultiert das Trunk Reservierung Optimierungsproblem, welches sich in Form von 'Connection Admission Control' Algorithmen unterschiedlicher Komplexität und Wirtktiefe näherungsweise implementieren lässt. Außer den besonderen Analyse-Ergebnissen beinhalten die Kapitel 1 bis 4 der Arbeit ein systematisches Quellenstudium.

Im Einzelnen lehrt nun das Kapitel 2 wie man von vollständiger, über schwellenorientierte und zustandsorientierte Verkehrsklassen-Reservierungen bei wachsender Komplexität fortschreitet. Algorithmen zur exakten und approximativen Lösung der globalen Zustandsgleichungen werden im Kapitel 3 entwickelt. Seine Abfassung beruht auf vertieftem Quellenstudium mit bemerkenswerten Übersichten zu den Lösungsalternativen. Das Kapitel 4 ist dem vorgenannten 'complete sharing' der Abnehmerkapazität gewidmet. Zur Inversion der wahrscheinlichkeitserzeugenden Funktionen wird die Bleistein/Mitra/Morrison Sattelpunkt-Technik verwendet und durch effiziente Näherungen hoher Genauigkeit abgerundet.

Im umfänglichsten Kapitel 5 findet sich der innovative Kern des Beitrages. Die Definition und Anwendung eines partiellen Rekursions-Theorems nebst genauen Näherungen beinhalten einen wissenschaftlich fundierten und technisch umsetzbaren Fortschritt zum kostenoptimalen Entwurf von Vermittlungen für eine große Zahl heterogener Dienste.

Vorwort

Für die Abfolge von Verbindungen sind die Netzelemente eines Breitbandnetzes auf der Verbindungsebene als Mehrdienste Verlustsysteme zu modellieren. Bedingt durch die Integration von Sprach- und Datendiensten mit verschiedenem Bandbreitenbedarf und Güteanforderungen erfahren die Dienste unterschiedliche Abweisungs- bzw. Blockierungswahrscheinlichkeiten, die zu einer unfairen Ressourcennutzung führen können. Verbindungsannahmeverfahren mit Bandbreiten-Reservierung ermöglichen eine gezielte Beeinflussung der Blockierung und Fairness, wobei insbesondere die Analyse der relevanten Trunk Reservierung praktisch relevante Bedeutung hat. Die heute üblichen hohen Übertragungsgeschwindigkeiten optischer Transportsysteme führen auf der Verbindungsebene zu Verlustsystemen großer Kapazität. Die resultierende hohe Anzahl von Verbindungen und Diensten erhöht die Dimensionalität des Modells und damit den erforderlichen Aufwand für dessen numerischer Lösung. Eine Leistungsbewertung in Echtzeit und Anwendungen der Netzplanung erfordern daher effiziente Näherungsverfahren, deren Entwicklung Inhalt der vorliegenden Arbeit ist.

Für das Mehrdienste Verlustsystem ohne Bandbreiten-Reservierung wird eine je Zustandwert mit $O(1)$ skalierende numerisch effiziente, sehr genaue asymptotische Approximation der Verteilung sowie der Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Mehrdienste Verkehrsmodelle mit endlicher und unendlicher Quellenzahl vorgestellt. Für das Verkehrsmodell mit unendlicher Quellenzahl transformiert eine partielle Rekursionsgleichung die Verteilung des Verlustsystems ohne Reservierung in die approximative Verteilung des gleichen Systems mit dienstspezifischer Trunk Reservierung, was eine effiziente Optimierung der Reservierungsparameter ermöglicht. Eine Kombination beider Näherungen liefert eine genaue Approximation für die Blockierungswahrscheinlichkeit des Verlustsystems mit Trunk Reservierung, deren geringe Komplexität unabhängig von der Kapazität skaliert.

Für ein Mehrdienste Verlustsystem mit Trunk Reservierung wird ebenfalls eine komplexere, auf einem Markoff-Ketten Modell beruhende asymptotische Näherung vorgestellt, die selbst im Fall stark variierender mittlerer Verbindungsauern der Dienste eine sehr gute Approximationsgüte besitzt. Dies erweitert den Anwendungsbereich bisher existierenden Näherungen, bedingt aber eine mit der Kapazität kubisch ansteigende Komplexität.

Für ein Verlustsystem mit zustandsabhängiger Trunk Reservierung wird neben effizienten Näherungsverfahren eine neue Formulierung der Durchsatzoptimierung vorgestellt, die den Fall von außerplanmäßigen Verkehrshochlasten berücksichtigt und neben den optimalen Algorithmusparametern gleichzeitig den optimalen elementaren Annahmealgorithmus liefert.

Angeregt und betreut wurde die Arbeit von Herrn Prof. Dr.-Ing. H. L. Hartmann, dem ich an dieser Stelle für seine Mühewaltung und die langjährige gute Zusammenarbeit danke. Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Lehnert danke ich für die Übernahme des Korreferats und das Interesse an meiner Arbeit. Mein besonderer Dank gilt aber meiner Familie und insbesondere meiner Frau Inge für ihr langjähriges Verständnis.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Grundlegende Verkehrsmodelle und Verbindungsannahmealgorithmen	8
2.1	Übersicht.....	8
2.1.1	Aktivitätsebenen der Kommunikation	9
2.1.2	Elementare Verkehrsmodelle.....	10
2.1.3	Verfahren der Verbindungsannahme	12
2.2	Grundlegende Verbindungsannahmealgorithmen	14
2.2.1	Verbindungsannahmealgorithmen mit konstanten Algorithmusparametern.....	16
2.2.2	Verbindungsannahmealgorithmus mit zustandsabhängiger Trunk Reservierung.....	21
2.2.3	Einfache Bewertung grundlegender Verbindungsannahmealgorithmen.....	25
2.3	Zusammenfassung.....	28
3	Zustandsbeschreibung und Lösungseigenschaften von Mehrdienste Verlustsystemen ..	29
3.1	Globale Zustandsgleichungen	29
3.2	Produktformlösung.....	30
3.3	Zustandsbeschreibung der Anzahl belegter Bandbreiten-Basiseinheiten.....	32
3.3.1	Rekursionsgleichung für den Annahmealgorithmus der vollständigen gemeinsamen Nutzung.....	35
3.3.2	Numerische Eigenschaften der Rekursionsgleichung	37
3.4	Algorithmen-Übersicht.....	38
3.4.1	Exakte Lösungsverfahren.....	38
3.4.2	Näherungsverfahren	40
3.5	Zusammenfassung.....	43
4	Approximation der Zustandsverteilung des Mehrdienste Verlustsystems mit dem Annahmealgorithmus der vollständigen gemeinsamen Nutzung	44
4.1	Grundlegende Transformationsbeziehungen	44
4.2	Asymptotische Näherung für die Verteilung der Anzahl belegter Bandbreiten-Basiseinheiten	47
4.2.1	Näherung für das MIS-Verkehrsmodell	49
4.2.2	Vereinfachte geometrische Approximation.....	52
4.2.3	Approximationseigenschaften für das MIS-Verkehrsmodell	54
4.2.4	Näherung für das MFS-Verkehrsmodell	57

4.2.5	Näherung der Überschreitungswahrscheinlichkeit für das MFS-Verkehrsmodell	59
4.3	Numerische Ergebnisse	63
4.3.1	Verteilung der aggregierten Zustände für das MIS-Verkehrsmodell	63
4.3.2	Approximationsgenauigkeit im Fall des MIS-Verkehrsmodells	66
4.3.3	Verteilung der aggregierten Zustände für das MFS-Verkehrsmodell	69
4.3.4	Überschreitungswahrscheinlichkeit des MFS-Verkehrsmodells	69
4.4	Zusammenfassung	71
5	Approximative Leistungsbewertung von Mehrdienste Verlustsystemen mit dienstspezifischer Bandbreiten-Reservierung	73
5.1	Neue Rekursionsgleichungen für Verlustsysteme mit Trunk Reservierung	73
5.1.1	Zustandsbeschreibung und Approximation von Roberts	73
5.1.2	Eine effiziente partielle Rekursionsgleichung	75
5.1.3	Eine numerisch stabile Rekursionsgleichung	79
5.1.4	Numerische Ergebnisse	83
5.1.5	Zusammenfassung	85
5.2	Approximation der Verteilung aggregierter Zustände des Verlustsystems mit Trunk Reservierung mittels Markoff-Ketten	86
5.2.1	Asymptotische Eigenschaften des Prozesses belegter Bandbreiten-Basiseinheiten	90
5.2.2	Approximation mit variablen zustandsabhängigen Bedienraten	93
5.2.3	Approximation mittels transienter Markoff-Ketten	108
5.2.4	Numerische Beispiele	118
5.2.5	Zusammenfassung und Bewertung	132
5.3	Mehrdienste Verlustsysteme mit zustandsabhängiger Trunk Reservierung	134
5.3.1	Zustandsbeschreibung	134
5.3.2	Einfluss der Algorithmusparameter auf den Verbindungsannahmealgorithmus VP	136
5.3.3	Näherungsverfahren	138
5.3.4	Ein effizienter Algorithmus für das Verfahren mit der Approximation von Roberts	142
5.3.5	Zusammenfassung	145
5.4	Durchsatzoptimierung eines Mehrdienste Verlustsystems	145
5.4.1	Optimierende Wahl der Parameter des Verbindungsannahmealgorithmus TR	147
5.4.2	Optimierende Wahl der Parameter des Verbindungsannahmealgorithmus VP	149
5.4.3	Numerische Ergebnisse	152
5.4.4	Zusammenfassung	161
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	162

7	Quellenverzeichnis	167
8	Anhang	173
8.1	Beweis der Gleichung (2.15).....	173
8.2	Beweise des Kapitels 3	173
8.2.1	Beweis des Lemmas 3.1	173
8.2.2	Beweis des Lemmas 3.2.....	174
8.3	Beweise des Kapitels 4.....	175
8.3.1	Ableitung der Gleichung (4.2)	175
8.3.2	Beweis des Lemmas 4.1	176
8.3.3	Beweis des Lemmas 4.2.....	176
8.3.4	Approximation der Normierungskonstante nach Mitra und Morrison.....	178
8.3.5	Beweis des Lemmas 4.3.....	180
8.3.6	Beweis des Theorems 4.1.....	180
8.3.7	Sattelpunkt Kontur für das MIS-Verkehrsmodell.....	183
8.3.8	Hilfsfunktionen der Sattelpunkt Methode für das MFS-Verkehrsmodell	184
8.3.9	Modifizierte Chernoff-Schranke für das TSFF-Verkehrsquellenmodell	185
8.4	Beweise des Kapitels 5	186
8.4.1	Beweis des Lemmas 5.1	186
8.4.2	Beweis des Lemmas 5.2.....	187
8.4.3	Elemente der Matrix (7.48).....	187
8.4.4	Jacobische Matrix des Gleichungssystems (7.62) der Approximation PMKA.....	188
8.4.5	Kapazitäts- und Angebotsskalierung	192
8.4.6	Umwandlung der Approximation PMKA in ein Optimierungsproblem.....	193
8.4.7	Algorithmus zur suboptimalen Lösung des Optimierungsproblems VP-ÜL.....	195
9	Symbolverzeichnis, Abkürzungen und Index	197
9.1	Symbolverzeichnis	197
9.2	Abkürzungen	202
9.3	Index	203