Multicast-Routing in mobilen Ad-hoc-Netzen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät für Informatik
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Inform.
Oliver Stanze
aus Salzgitter-Bad

Tag der mündlichen Prüfung: 30.05.2007

Erster Gutachter: Prof. Dr. M. Zitterbart

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. W. Effelsberg

Berichte aus der Telematik

Oliver Stanze

**Multicast-Routing in
mobilen Ad-hoc-Netzen**

Shaker Verlag
Aachen 2007

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., 2007

Copyright Shaker Verlag 2007

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6614-1

ISSN 0948-700X

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 zu großen Teilen während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe (TH). Mein Dank gilt allen Kollegen, Freunden und Verwandten, die mich während dieser Zeit in jeglicher Hinsicht unterstützt haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei meiner Betreuerin und erster Gutachterin Frau Prof. Dr. Martina Zitterbart bedanken, die mir die Möglichkeit zur Promotion eröffnet hat. Sie hat mich während der gesamten Dauer der Promotion hervorragend unterstützt und motiviert. Durch ihre vielfältigen Ratschläge und Anregungen hat Prof. Zitterbart meine wissenschaftliche Arbeit und meine Arbeitsweise nachhaltig geprägt. Des Weiteren ermutigte sie mich, meine Arbeit auf internationalen Konferenzen vorzustellen, was wesentlich zum Erfolg der Arbeit beigetragen hat.

Bei Herrn Prof. Dr. Wolfgang Effelsberg bedanke ich mich ganz herzlich für die Übernahme des Korreferats.

Weiterhin möchte ich mich bei allen meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Telematik für die angenehme Atmosphäre und Zusammenarbeit bedanken. Ein besonderer Dank gilt dabei Herrn Dr. Kilian Weniger, mit dem ich zu Beginn meiner Zeit am Institut für Telematik im Projekt IPonAir zusammengearbeitet habe. In zahlreichen Fachdiskussionen, die wir in dieser Zeit geführt haben, sind zahlreiche Ideen entstanden, die in diese Arbeit eingeflossen sind. Außerdem sei ihm und Herrn Dr. Erik-Oliver Blass für das Korrekturlesen dieser Arbeit gedankt. Ihre Anregungen und Verbesserungsvorschläge haben die Ausarbeitung wesentlich verbessert. Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Mark Doll und Herrn Detlev Meier. Bei Frau Astrid Natzberg und Frau Doris Weber möchte ich mich für die Unterstützung in organisatorischen Dingen und bei Herrn Gentiel Mussgnug und Herrn Frank Winter für die Unterstützung in technischen Angelegenheiten bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Studenten bedanken, die im Rahmen ihrer Studien- und Diplomarbeiten einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben. Namentlich seien an dieser Stelle Christian Bugge, Curt Cramer, Sebastian Felis, Christian Hübsch, Achim Janson, Erkan Kescin, Christian Koch, Karsten Müller, Simon Oser, Markus Ott, Christian Pampus, Christian Schäfer, Bozan Zoltan Szilveszter, Gero Volke, Christoph Werle, Nils Wietelmann, Stefan Zäpfel, Guoxing Zhang und Yanbing Zhang genannt.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und Verwandtschaft bedanken, insbesondere bei meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben. Ohne diese Unterstützung wäre die vorliegende Arbeit nie entstanden.

Stuttgart, im September 2007

Oliver Stanze

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Annahmen und Ziele	2
1.3	Gliederung	4
2	Grundlagen	5
2.1	Internet Protokoll	5
2.2	Multicast	6
2.2.1	Was ist Multicast?	7
2.2.2	Anwendungen	7
2.2.3	Multicast-Unterstützung im Schichtenmodell	8
2.3	Mobile Ad-hoc-Netze	9
2.3.1	Architektur	9
2.3.1.1	Darstellung	11
2.3.2	Anwendungen	12
2.3.3	Eigenschaften und Anforderungen	13
2.3.4	Routing	13
2.3.4.1	Kategorien für Unicast-Routingprotokolle	14
2.3.4.2	AODV	15
2.3.4.3	OLSR	16
2.4	IEEE 802.11	18
2.4.1	Architektur	18
2.4.2	Medienzugriff	18
2.5	Simulationsumgebung	20
2.5.1	GloMoSim	20
2.5.2	Verwendete Mobilitätsmodelle	21

2.5.2.1	Random Waypoint	21
2.5.2.2	Random Direction	23
2.5.3	Standardszenario	24
2.5.4	Verwendete Metriken	25
3	Stand der Forschung	27
3.1	Kategorien von Multicast-Routingprotokollen	27
3.2	Auf der Weiterleitung basierende Klassifizierungsmerkmale	28
3.2.1	Unicast- und broadcastbasierte Weiterleitung	28
3.2.1.1	Bewertung	29
3.2.2	Zustandslose und zustandsbasierte Weiterleitung	29
3.2.2.1	Bewertung	29
3.2.3	Gruppenspezifische und gruppenneutrale Weiterleitung	30
3.2.3.1	Bewertung	30
3.2.4	Knotenbasierte und strukturbasierte Weiterleitung	30
3.2.4.1	Bewertung	32
3.3	Auf der Verteilstruktur basierende Klassifizierungsmerkmale	32
3.3.1	Form der Verteilstruktur	32
3.3.1.1	Senderbasierter Baum	32
3.3.1.2	Gemeinsamer Baum	32
3.3.1.3	Gitter	33
3.3.1.4	Bewertung	33
3.3.2	Aufbau der Verteilstruktur	34
3.3.2.1	Bewertung	34
3.3.3	Beitritt zur Verteilstruktur	34
3.3.3.1	Bewertung	36
3.3.4	Wartung der der Verteilstruktur	36
3.3.4.1	Bewertung	37
3.4	Multicast-Routingprotokolle für MANETs	38
3.4.1	Überblick	38
3.4.1.1	Overlaybasierte Multicast-Routingprotokolle	38
3.4.1.2	Gruppenneutrale Multicast-Routingprotokolle	40
3.4.1.3	Knotenbasierte Multicast-Routingprotokolle	41

3.4.1.4	Strukturbasierte Multicast-Routingprotokolle	42
3.4.2	Detaillierte Beschreibung ausgewählter Protokolle	43
3.4.2.1	Simplified Multicast Forwarding	43
3.4.2.2	On-Demand Multicast Routing Protokoll	45
3.4.2.3	Adaptive Demand-Driven Multicast Routing	45
3.4.2.4	Differential Destination Multicast	46
3.5	Zusammenfassung	47
4	Analyse	49
4.1	Einfluss der Gruppendichte	49
4.1.1	Auswirkungen auf die Größe der Verteilstruktur	50
4.1.2	Auswirkungen auf den Kontrollaufwand	53
4.1.3	Auswirkungen auf die Effizienz	56
4.1.4	Anforderung an Multicast-Routingprotokolle	58
4.2	Auswirkungen der Mobilität	58
4.2.1	Auswirkungen auf Wartungsmechanismen	58
4.2.1.1	Proaktive Wartung	59
4.2.1.2	Reaktive Wartung	61
4.2.2	Redundanz	61
4.2.3	Anforderung an Multicast-Routingprotokolle	64
4.3	Lokal optimierte Gruppenbeitritte	64
4.3.1	Senderbasierter Gruppenbeitritt	66
4.3.2	Empfängerbasierter Gruppenbeitritt	67
4.3.3	Anforderung an Multicast-Routingprotokolle	70
4.4	Erfüllung der Anforderungen durch Multicast-Routingprotokolle	71
4.5	Adaptive Multicast for Mobile Ad hoc Networks (ADAMA)	73
4.5.1	Entwurfsentscheidungen	73
4.5.2	Architektur	75
4.6	Zusammenfassung	76

5	ADAMA-SM	77
5.1	Modifizierter senderbasierter Gruppenbeitritt	77
5.1.1	Generisches Konzept	77
5.1.2	Request Delaying	79
5.1.3	Evaluation	83
5.1.3.1	Beispielszenario	83
5.1.3.2	Standardszenario	85
5.2	Protokollbeschreibung	86
5.2.1	Aufbau der Verteilstruktur	86
5.2.2	Datenweiterleitung	89
5.2.3	Wartung der Verteilstruktur	90
5.3	Evaluation	92
5.3.1	Auswirkungen der Mobilität	92
5.3.2	Auswirkungen der Gruppendichte	94
5.4	Zusammenfassung	96
6	ADAMA-DM	99
6.1	Anforderungen an gruppenneutralen Multicast	99
6.2	Fluten in mobilen Ad-hoc-Netzen	100
6.2.1	Multipoint Relaying Flooding	102
6.2.2	MPR-CDS	103
6.2.3	ECDS	104
6.2.4	Passive Clustering	105
6.2.5	Evaluation	106
6.3	Protokollbeschreibung	109
6.3.1	Erweiterungen von MPRF	109
6.3.2	Weiterleitung von Multicast-Datenpaketen	111
6.3.3	Versenden von NADV-Paketen	112
6.4	Evaluation	117
6.4.1	Reaktives Verhalten	117
6.4.2	Einfluss der Mobilität	119
6.4.3	Einfluss der Gruppendichte	120
6.5	Zusammenfassung	122

7	Adaptive Moduswahl	125
7.1	Motivation	125
7.2	Anforderungen	126
7.3	Konzept	127
7.3.1	GDM	127
7.3.1.1	Sparse Mode	128
7.3.1.2	Dense Mode	132
7.3.1.3	Eigenschaften	134
7.3.2	Modusadaption	137
7.3.2.1	Grenzwerte für Hysterese Mechanismus	138
7.4	Evaluation	141
7.4.1	Bestimmung des am besten geeigneten Weiterleitungsmodus	141
7.4.2	Geringer Ressourcenverbrauch	141
7.4.3	Gruppenspezifisch	143
7.4.4	Anpassung an Änderungen	144
7.4.5	Szenariounabhängigkeit	146
7.4.5.1	Einfluss der Knotenanzahl	146
7.4.5.2	Einfluss der Knotendichte	147
7.4.5.3	Einfluss der Form des Simulationsfeldes	148
7.4.5.4	Einfluss der Senderate	149
7.4.5.5	Einfluss der Knotengeschwindigkeit	150
7.4.5.6	Einfluss des Mobilitätsmodells	150
7.5	Zusammenfassung	151
8	Mobilitätsadaptive Selbstparametrisierung	153
8.1	Anforderungen	154
8.2	Stand der Forschung	155
8.3	Konzept	158
8.3.1	MARVIN	158
8.3.1.1	Evaluation von MARVIN	163
8.3.2	MASP-Funktion	173
8.3.2.1	Bestimmung einer MASP-Funktion	173
8.3.2.2	MASP-Funktion für ADAMA-DM	174

8.3.2.3	MASP-Funktion für ADAMA-SM	176
8.3.3	MASP-Funktionen für beliebige Routingprotokolle	179
8.4	Evaluation	180
8.4.1	Bestimmung zur Mobilität passender Protokollparameter	180
8.4.1.1	ADAMA-DM	180
8.4.1.2	ADAMA-SM	184
8.4.2	Anpassung an Änderungen	186
8.4.3	Eigenständige Komponente zur Erfassung der Mobilität	186
8.4.4	Szenariounabhängigkeit	186
8.5	Zusammenfassung	187
9	Evaluation	189
9.1	Untersuchte Multicast-Routingprotokolle	189
9.2	Einfluss der Gruppendichte	190
9.3	Einfluss der Mobilität	196
9.4	Einfluss des Datenverkehrs	200
9.5	Einfluss der Knotendichte	203
9.6	Zusammenfassung	206
10	Zusammenfassung und Ausblick	207
10.1	Ergebnisse der Arbeit	207
10.2	Vergleich mit existierenden Ansätzen	209
10.3	Weiterführende Arbeiten	209
A	Weitere Simulationsergebnisse	211
A.1	Adaptive Moduswahl	211
A.1.1	Einfluss der Knotenanzahl	211
A.1.2	Einfluss der Knotendichte	212
A.1.3	Einfluss der Form des Simulationsfeldes	216
A.1.4	Einfluss der Senderate	216
A.1.5	Einfluss der Geschwindigkeit	219
A.2	Mobilitätsadaptive Selbstparametrisierung	221
A.2.1	ADAMA-DM	221
A.2.2	ADAMA-DM	224

A.2.3	ADAMA-SM	225
A.2.4	OLSR	227
A.3	Evaluation	230
A.3.1	Einfluss des Datenverkehrs	230
A.3.2	Knotendichte	234
B	On-Demand Overlay Multicast Protocol	237
B.1	Simulative Evaluation	238
B.1.1	Einfluss der Gruppendichte	238
B.1.2	Einfluss der Mobilität	241
B.2	Evaluation im Testbett	242
C	Paket- und Optionsformate	245
C.1	ADAMA-JREQ-Paket	245
C.2	ADAMA-JREP-Paket	246
C.3	ADAMA-NADV-Paket	247
C.4	ADAMA-JREQ-Option	248
C.5	ADAMA-Datenoption	249
	Abkürzungsverzeichnis	249
	Literaturverzeichnis	255