

Prädiktive Middleware-basierte Mobilitätsunterstützung für multikriterielle Handover

Florian Evers



Universitätsverlag Ilmenau
2011

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Diese Arbeit hat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 30. September 2010

1. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. (habil.) Jochen Seitz
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Mitschele-Thiel
(Technische Universität Ilmenau)

3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Schiller
(Freie Universität Berlin)

Tag der Verteidigung: 8. April 2011

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-939473-99-2 (Druckausgabe)

URN [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2011000091](http://nbn:de:gbv:ilm1-2011000091)

Titelfoto: photocase.com | AlexFlint

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielstellungen und wissenschaftliche Leistungen	3
1.3	Gliederung der Dissertation	5
2	Mobilitätsunterstützungen	7
2.1	Definition von Anforderungen	7
2.2	Aktueller Stand der Forschung	12
2.2.1	Konzepte auf der Netzzugangsschicht	12
2.2.2	Konzepte auf der Vermittlungsschicht	13
2.2.3	Konzepte auf der Transportschicht	14
2.2.4	Konzepte auf der Anwendungsschicht	15
2.2.5	Middleware-basierte Konzepte	15
2.2.6	Fazit	17
2.3	Kapitelzusammenfassung	19
3	Die „Roaming-Enabled Architecture“ (REACH)	21
3.1	Die Architektur von REACH	21
3.2	Netzmobilität dank REACH-Box	23
3.3	Die vier Standbeine von REACH	23
4	Das Dienstekonzept	25
4.1	Mechanismen zum Abfangen von Daten	25
4.1.1	Auf der Anwendungsschicht	25
4.1.1.1	Die Proxyprotokolle SOCKSv4 und SOCKSv5	26
4.1.1.2	SIP-basierte Internettelefonie	27
4.1.2	Auf der Transportschicht	29
4.1.2.1	Weiterleitung von Ports	29
4.1.2.2	„Transparente Proxyserver“	30
4.1.3	Auf der Vermittlungsschicht	32

4.1.4	Auf der Netzzugangsschicht	33
4.2	Szenarien	34
4.2.1	Unkomplizierter Internetzugang	34
4.2.2	Serverdienste auf dem mobilen Endgerät	36
4.2.3	Wahl des gerade günstigsten Netzanbieters	37
4.2.4	Langlebige Transportschichtverbindungen	38
4.2.5	SIP-basierte Internettelefonie	40
4.2.6	Vergleich aller Mechanismen und Auswahl	40
4.3	Das Dienstekonzept von REACH	41
4.3.1	Architektur zur Diensterbringung	42
4.3.1.1	Dienstangebot: Dynamisch ladbare „Relay Plugins“	42
4.3.1.2	<i>Linkbündel</i> und <i>logische Verbindungen</i>	44
4.3.1.3	Konfiguration	46
4.3.2	Realisierte „Relay Plugins“	48
4.3.2.1	SOCKSv4 und SOCKSv5	49
4.3.2.2	„Transparente Proxyserver“	60
4.3.2.3	„TCP-Relay“	71
4.3.2.4	„UDP-Relay“	75
4.3.2.5	„Virtual Private Networks“ (VPNs)	78
4.3.2.6	SIP-basierte Internettelefonie	86
4.4	Mitteilung des Diensteangebotes	100
4.5	Sicherheit	101
4.5.1	Bedrohungsszenarien	101
4.5.2	Sicherheitsbewertung der „Relay Plugins“	102
4.6	Kapitelzusammenfassung	103
5	Das Transportkonzept	105
5.1	Der transportorientierte Kern von REACH	105
5.2	Die Multiplexer	107
5.2.1	Benennungs- und Adressierungsproblem	108
5.2.2	Allgemeine Funktionsweise beider Multiplexer	110
5.2.3	Stromorientierte <i>logische Verbindungen</i>	114
5.2.4	Paketorientierte <i>logische Verbindungen</i>	116
5.3	Datenstromsicherung	125
5.3.1	Sicherung des stromorientierten Summendatenstroms	125
5.3.1.1	Sitzungsaufbau	125
5.3.1.2	Datenversendung und Quittierung	126

5.3.1.3	Flusssteuerung	127
5.3.1.4	Staukontrolle	130
5.3.1.5	Schutz vor Verfälschung	130
5.3.1.6	Mehrfache Versendung und Dublettenerkennung	130
5.3.1.7	Sitzungsabbau	131
5.3.2	Sicherung des paketorientierten Summendatenstroms	131
5.3.2.1	Auftretende Effekte	131
5.3.2.2	Markierung redundant versendeter Pakete	133
5.3.3	Zusammenfassung	134
5.4	Isolationserkennung	134
5.5	Datenübertragung	136
5.5.1	Verteilung der Datenströme	136
5.5.2	Verwendete Transportschichtprotokolle	137
5.5.3	„Keep-Alive“-Pakete und Abrisserkennung	138
5.5.4	Bestimmung der Umlaufzeit	139
5.5.5	Wegwahlmechanismen	140
5.5.5.1	Zieladressbasierte Wegewahl	140
5.5.5.2	Zieladressbasierte Wegewahl mit Interface-Bindung	141
5.5.5.3	Quelladressbasierte Wegewahl	142
5.5.5.4	Bewertung	142
5.6	Kapitelzusammenfassung	143
6	Das Zugangskonzept	145
6.1	Grundlagen zur Handoverentscheidung	145
6.1.1	Auswahl eines Netzzugangs	145
6.1.1.1	Relevante Eigenschaften von Netzzugängen	146
6.1.1.2	Mögliche Zielstellungen	151
6.1.1.3	Sortierung von Netzzugängen	152
6.1.2	Klassifizierung von Handovern	155
6.1.2.1	„Horizontale“ und „vertikale Handover“	155
6.1.2.2	„Freiwillige“ und „erzwungene Handover“	156
6.1.2.3	„Reaktive“ und „prädiktive Handover“	157
6.1.2.4	„Harte“, „weiche“ und „weichere Handover“	158
6.2	Die Handoverentscheidung	160
6.2.1	Verantwortliche Komponenten	160
6.2.1.1	Bereits verfügbare „Network Manager“	160
6.2.1.2	Zentraler Handovermanager	161

6.2.1.3	Mitteilung des Entscheidungsergebnisses	163
6.2.2	Reaktive Entscheider	164
6.2.3	Lernende Entscheider	167
6.2.4	Prädiktive Entscheider	169
6.2.4.1	Motivation zur Regressionsrechnung	169
6.2.4.2	Die lineare Regressionsrechnung	170
6.2.4.3	Funktionsklassen	170
6.2.4.4	Durchführung der linearen Regressionsrechnung	172
6.2.4.5	Behandlung von „Ausreißern“	173
6.2.4.6	Verbleibende Zeit bis zum Linkabriss	179
6.2.4.7	Ableitung einer prädiktiven Handoverentscheidung	181
6.3	Netzzugangsgeräte und Netzzugangspunkte	184
6.3.1	Repräsentation von Netzzugangsgeräten	185
6.3.2	Das „Providerkonzept“ von REACH	188
6.3.3	Aufgaben der „Device Backends“	194
6.4	Pflege der Routingtabellen	195
6.4.1	Das „Routing Backend“	195
6.4.2	Erreichbarkeit von DNS-Servern	196
6.5	Grafisches „Frontend“ als Bedienschnittstelle	197
6.5.1	Bedarf an einer grafischen Bedienschnittstelle	198
6.5.2	Zugriff auf REACH-Client und -Server	199
6.5.3	Funktionsweise	200
6.5.4	Angebotene Dienste	201
6.6	Kapitelzusammenfassung	203
7	Das Suchkonzept	205
7.1	Einbeziehung mehrerer REACH-Proxyserver	205
7.1.1	Kurze Kommunikationswege	205
7.1.2	Lastverteilung	208
7.2	Ortsabhängige Serverauswahl	210
7.2.1	Methoden der Positionsbestimmung	210
7.2.1.1	Seitens des mobilen Endgeräts	210
7.2.1.2	Seitens der Infrastruktur	211
7.2.1.3	Mit Hilfe spezialisierter Werkzeuge	211
7.2.2	Positionsbewusstsein bei REACH	211
7.2.2.1	Zonen als Einzugsgebiete für REACH-Proxyserver	212
7.2.2.2	Definition von Zonen	214

7.2.2.3	Vorab bekannte REACH-Proxyserver	215
7.2.2.4	Auswahl bei gleichwertigen REACH-Proxyservers	216
7.3	Erreichbarkeit von REACH-Proxyservers	217
7.3.1	Ortsabhängige Adressierung	217
7.3.2	Überschreitung von NAT-Grenzen	220
7.4	Dienstsuche	227
7.5	Kapitelzusammenfassung	228
8	Validierung und Demonstrator	231
8.1	Test einzelner Szenarien	231
8.1.1	Rundgang durch den Helmholtzbau	232
8.1.2	Längerfristige Isolationssituation	235
8.2	Test verschiedener Betriebsmodi	237
8.2.1	„Harter Handover“	238
8.2.2	Redundanzerhöhung	240
8.2.3	Kanalbündelung	240
8.3	Systemtests und Demonstrationen	243
8.4	Kapitelzusammenfassung	247
9	Ausblick	249
10	Zusammenfassung	253
A	Protokolle des Transportkonzepts	261
A.1	Protokolle der Multiplexer	261
A.1.1	Das „Stream Control Protocol for REACH“ (SCPR)	261
A.1.1.1	Übersicht aller SCPR-PDUs	261
A.1.1.2	Automatengraph SCPR	264
A.1.2	Das „Packet Control Protocol for REACH“ (PCPR)	264
A.1.2.1	Übersicht aller PCPR-PDUs	264
A.1.2.2	Automatengraphen PCPR	269
A.1.3	Struktur des Signalisierungsblocks	271
A.2	Protokolle der Sicherungsinstanzen	272
A.2.1	Das „Stream Protection Protocol for REACH“ (SPPR)	272
A.2.2	Das „Packet Protection Protocol for REACH“ (PPPR)	275
B	Implementierungsdetails zu den „Device Backends“	277
B.1	Kommunikation zwischen REACH-Client und den „Device Backends“	277

B.1.1	Protokollfunktionen	277
B.1.1.1	Nachrichtentypen in Richtung eines „Device Backends“	277
B.1.1.2	Nachrichtentypen in Richtung des REACH-Clients	278
B.1.2	Beispielhafter Ablauf	280
B.1.2.1	Initialisierungsphase	280
B.1.2.2	Parametrierung des Netzzugangsgeräts	282
B.1.2.3	Bekanntmachung der Netzzugangspunkte	283
B.1.2.4	Verfügbarkeit Netzzugangsgerät und -punkte	283
B.1.2.5	Assoziation mit einem Netzzugangspunkt	286
B.1.2.6	Beendigungsphase	288
B.2	Die implementierten „Device Backends“	288
B.2.1	Ethernet	289
B.2.2	WLAN nach IEEE 802.11	295
B.2.3	Mobiltelefone mit Bluetooth-Anbindung	305
B.3	Bereitstellung von Systemverwaltungsrechten	316
C	Implementierungsdetails zum „Routing Backend“	317
C.1	Kommunikation zwischen REACH-Client und dem „Routing Backend“	317
C.1.1	Protokollfunktionen	317
C.1.1.1	Nachrichtentypen in Richtung des „Routing Backends“	317
C.1.1.2	Nachrichtentypen in Richtung des REACH-Clients	318
C.1.2	Beispielhafter Ablauf	319
C.1.2.1	Initialisierungsphase	320
C.1.2.2	Bekanntmachung eines Netzzugangsgeräts	320
C.1.2.3	Freigabe eines Netzzugangsgeräts	321
C.1.2.4	Bekanntgabe einer neuen Assoziation	321
C.1.2.5	Verlust einer Assoziation	323
C.1.2.6	Verknüpfung einer Zieladresse mit einem Netzzugangsgerät 324	
C.1.2.7	Aufhebung einer Adressbindung	326
C.1.2.8	Gültigkeitsdauer bei zieladressbasierter Wegewahl	328
C.1.2.9	Beendigungsphase	328
C.2	Zugriff auf die Routingtabellen	329
C.2.1	Auswahl eines Routingschemas	329
C.2.2	Quelladressbasierte Wegewahl	331
C.2.3	Zieladressbasierte Wegewahl	335
D	Prädiktive Handoverentscheidungen	337

D.1	Messreihe 1	339
D.1.1	Auswertung des Signalstärkeverlaufs	339
D.1.2	Auswertung des Linkgüteverlaufs	347
D.2	Messreihe 2	355
D.2.1	Auswertung des Signalstärkeverlaufs	355
D.2.2	Auswertung des Linkgüteverlaufs	363
D.3	Messreihe 3	371
D.4	Messreihe 4	375
D.5	Messreihe 5	379
D.6	Messreihe 6	383
D.7	Messreihe 7	387
D.7.1	12s/10s (600/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	388
D.7.2	20s/10s (1000/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	390
D.7.3	30s/10s (1500/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	392
D.8	Messreihe 8	395
D.8.1	12s/10s (120/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	396
D.8.2	20s/10s (200/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	398
D.8.3	30s/10s (300/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	400
D.9	Messreihe 9	403
D.9.1	12s/10s (600/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	404
D.9.2	20s/10s (1000/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	406
D.9.3	30s/10s (1500/500 Messwerte, 50 Werte pro Sekunde)	408
D.10	Messreihe 10	411
D.10.1	12s/10s (120/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	412
D.10.2	20s/10s (200/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	414
D.10.3	30s/10s (300/100 Messwerte, 10 Werte pro Sekunde)	416
D.11	Fazit	419
E	Betrachtung des Overheads	423
E.1	„Harter Handover“	425
E.2	Redundanzserhöhung	431
E.3	Kanalbündelung	437
F	Systeme der Testumgebung	443
F.1	Der Laptop als mobiles Endgerät	444
F.2	Die REACH-Box	445
F.3	Der REACH-Proxyserver im Büro	446

F.4 Der REACH-Proxyserver im Rechnerraum	447
F.5 Der REACH-Proxyserver Daheim	448
F.6 Die WLAN-Basisstationen im Büro	449
Literaturverzeichnis	451
Abbildungsverzeichnis	463
Tabellenverzeichnis	471
Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen	473
Thesen zur Dissertation	479
Erklärung	481