

Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
Prof. Dr.-Ing. C. Wietfeld

Mustererkennung und Vorhersagbarkeit von Makromobilität zur intelligenten Dienstgütegarantie in breitbandigen Mobilfunknetzen

Genehmigte Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Dortmund

von
Dipl.-Inform. Stefan Michaelis

Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld
Korreferentin:	Prof. Dr. Katharina Morik
Dissertation eingereicht am:	09. Februar 2010
Tag der mündlichen Prüfung:	16. Juni 2010

Dortmunder Beiträge zu Kommunikationsnetzen und -systemen

Band 3

Stefan Michaelis

**Mustererkennung und Vorhersagbarkeit von
Makromobilität zur intelligenten Dienstgütegarantie
in breitbandigen Mobilfunknetzen**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2010

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.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9510-3

ISSN 1867-4879

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

Kurzfassung

Effiziente Steuerung in aktuellen und zukünftigen Mobilfunknetzen ist essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit der Betreiber. Die Information über Zielzellen sich bewegender Nutzer ist dazu ein wesentliches Kriterium für Reservierungen und unterbrechungsfreie Zellwechsel. Diese Arbeit basiert auf der These, dass Mobilfunknutzer nicht vollständig zufällig zwischen den Zellen wechseln können, sondern durch die geografische Topologie und zielorientiertes Verhalten zu abschnittsweise deterministischen Wegen gezwungen werden. Diese **makroskopische Mobilität** ergibt einen Fingerabdruck aus Funknetzabdeckung, Nutzerverhalten und geografischer Topologie des Straßen- und Bahnnetzes.

Die Zellsequenzen aller Nutzer bilden eine Datenmenge, in der **Bewegungsmuster** durch Algorithmen zur Wissensentdeckung extrahiert werden. Fünf leistungsfähige Verfahren zur Mustererkennung wurden vergleichend ausgewählt, um die nächste Zelle der jeweiligen Anwender zu bestimmen. Zur Evaluation der gesamten Vorgehensweise aus Zelltransitionen, Vorverarbeitung, Mustererkennung, Nachbereitung und Ressourcenreservierung ist in dieser Arbeit ein umfangreicher **Mobilfunksimulator** entstanden, der detaillierte, realitätsnahe Modellierung von Bewegungsverhalten kombiniert mit sämtlichen Aspekten der Kommunikationstechnologie abbildet.

Die damit umfangreich modellierten Szenarien vereinen verschieden stark variable Bewegungsmodelle, wobei als komplexestes Szenario der Hochlastfall rund um ein Fußballstadion während einer Veranstaltung Anwendung findet. Prognosegenauigkeiten mit 90% sind selbst in diesem Fall durch aufwändige Bestimmung einer optimalen Parametrisierung möglich. Über die Nutzung von Messdaten konnte die **Machbarkeit validiert werden** und erreicht eine Vorhersagegenauigkeit vergleichbar zu den simulierten Szenarien.

Abschließend wird der konkrete Einsatz der Vorhersagen durch geschickte Auswahl von Reservierungsmethoden für verschiedene Optimierungen als Anwendungsfälle demonstriert. So wird gezeigt, wie **Bitratenreservierungen für Premiumnutzer** in den wahrscheinlichsten Nachbarzellen zu einer über 20% höheren Erfolgsrate beim Handover in stark belasteten Netzen führen.

Alle Schritte zum Einsatz der Makromobilitätsprognose sind ebenfalls experimentell im Testbett, bestehend aus Mobilfunkemulatoren und mobilen Endgeräten untersucht worden. Dies ermöglicht Netzbetreibern die notwendigen Schritte zum Einsatz des Systems im eigenen Netz direkt nachzuvollziehen.

Die in dieser Arbeit entwickelten Ergebnisse besitzen eine große Zukunftssicherheit, da sie nicht auf einen spezifischen Mobilfunktyp festgelegt sind, sondern als minimale Voraussetzung lediglich ein zellulares Netz benötigen. Die jeweiligen vorgestellten Schritte stellen Mobilfunknetzbetreibern ein **neuartiges Vorgehensmodell** zur Verfügung, mit dem sich einfach und zuverlässig die Auslastung im Netz verteilen lässt und das gleichzeitig flexibel angepasst für Datenaufbereitung, Algorithmenauswahl, Parametrisierung und Reservierung in die Netztechnologie integriert werden kann. Die Verfahren zur Modellierung von Nutzerbewegungen finden über diese Arbeit hinausgehend Eingang in multiskalaren Simulationen, die Mobilitätsmodellierung mit Funkplanungs Werkzeugen verbinden.

Abstract

Efficient control of current and future mobile networks is a necessary requirement for the successful competitive positioning of network operators. Information about the next associated cell of moving mobile users delivers an essential indicator enabling advance resource reservation and uninterrupted handovers between cells. This thesis is based on the idea, that users cannot move randomly between cells, but are limited by the spatial topology and specific behavior, leading to piecewise deterministic paths. The **macroscopic mobility** resembles a finger print consisting of radio network coverage, user behavior and spatial topology of road and train networks.

The sequences of cells from all users form a data set, where **movement patterns** can be identified using knowledge discovery algorithms. Five effective pattern detection algorithms have been selected to predict the user's next cell. A sophisticated mobile network simulator has been developed as part of this thesis, which enables evaluation of the complete approach from generating cell transition sequences, pre-processing, pattern detection, post-processing, prediction and resource reservation. The simulator provides realistic and detailed modeling of movement behavior combined with all aspects of modern communication technology.

Several extensive simulation scenarios combining different movement models have been built, where finally a high-load scenario around a soccer stadium features the highest complexity. Even here a prediction accuracy of 90% is possible through elaborate determination of optimal parameterization. Measurements from real world mobile networks have additionally been used **validating the feasibility** of the prediction approach. An accuracy comparable to that of the simulated scenarios could be achieved.

Finally, the concrete application of the predictions has been demonstrated through selection of different reservation methods. Using **bit rate reservation for premium customers** for the most-likely next cell the rate for successful handovers in high-load environments could be raised by more than 20%.

Each necessary action has been deployed in parallel to the simulations in an experimental test bed, consisting of mobile devices and mobile network emulators. This demonstrates the steps and communication protocols mobile network operators need for integration of the prediction technology into their networks.

All results presented in this thesis exhibit a long-term applicability even for future mobile networks, as the methodology's only precondition is a cellular network, which is still valid for the upcoming fourth generation. The **sophisticated process model** provides a complete set of methods and tools to balance network load while maintaining flexibility and customization for data pre-processing, pattern detection algorithm selection, parameterization and resource reservation. The movement models are used beyond this thesis for multi-scale simulations, which combine mobility pattern generation with enhanced radio planning tools.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Motivation	9
1.2	Lösungsansätze	10
2	Mobilfunknetze und ihre Parameter	14
2.1	Grundlegende zellulare Netze	15
2.1.1	Mobilfunk der ersten und zweiten Generation	15
2.1.2	Der Übergang zu Netzen der dritten Generation	17
2.1.3	IEEE 802.11 – Wireless LAN	19
2.1.4	IEEE 802.16 – WiMAX	19
2.2	Mobilfunk der dritten und vierten Generation	20
2.2.1	UMTS – Allgemeine Architektur	21
2.2.2	UMTS – Zugangsnetzwerk	22
2.2.3	UMTS – Kernnetz	26
2.2.4	HSPA – High Speed Packet Access	29
2.2.5	LTE – Long Term Evolution	29
2.2.6	Dienstgüte – Quality of Service	30
2.3	Anwendungen im Mobilfunk	31
3	Merkmalsidentifikation	34
3.1	Datenaufbereitung	36
3.1.1	Sequenzgenerierung	36
3.1.2	Auswertung der Prognosen	40
3.2	Messung der Abdeckung	42
4	Algorithmen zur Mustererkennung	47
4.1	Referenzalgorithmus: OneR	47
4.2	Instanzbasierte Algorithmen	48
4.3	Algorithmen auf Basis des Satz von Bayes	50
4.4	Entscheidungsbäume	51
4.5	Neuronale Netze	56
4.6	Support Vektor Maschinen	58
4.7	Stand der Forschung der Mobilitätsprädiktion	60
5	Modellierung zur Leistungsbewertung	64
5.1	Ereignisgesteuerte Simulation	65
5.2	Modellierung der Szenarien	66
5.2.1	Modelle für die geographische Topologie	66

5.2.2	Modelle für die Netztopologie	68
5.2.3	Dynamische Ressourcenverwaltung	69
5.2.4	Mobilitätsmodellierung	73
5.3	Optimale Parametrisierung	77
5.4	Simulationsszenarien	79
5.4.1	Validierungsszenarien für die Simulation	79
5.4.2	Szenarien für Detailbetrachtungen	84
5.4.3	Realitätsbasierte Szenarien	93
5.4.4	Zusammenfassung der Merkmale	103
6	Prognose von Makromobilität	105
6.1	Validierung der Erkennungsqualität	105
6.1.1	Validierungsszenarien für die Simulation	105
6.1.2	Szenarien für Detailbetrachtungen	108
6.1.3	Realitätsbasierte Szenarien	122
6.2	Steigerung der Erkennungsqualität	128
6.2.1	Berücksichtigung von Grenzwerten	128
6.2.2	Ausnutzen topografischen Wissens	129
6.2.3	Hinzufügen von Redundanz	130
6.3	Validierung anhand von Messdaten	132
6.3.1	WLAN-Messdaten eines Campusnetzes	133
6.3.2	GSM und UMTS-Messdaten des Großraums Dortmund	138
6.4	Zusammenfassung	143
7	Integration im Gesamtsystem	147
7.1	Gültigkeitsdauer von Prognosen	147
7.2	Pro-aktive Ressourcenverwaltung im Kernnetz	152
7.2.1	Dynamisches Routing mittels selektivem Multicast	152
7.2.2	Priorisierung des Datenverkehrs	152
7.3	Ressourcenkontrolle im Funknetz	156
7.3.1	Priorisierung im Funknetz durch Umordnung	156
7.3.2	Zugangskontrolle durch dynamische Guard-Channel	159
7.4	Bewertung der Verfahren	161
7.5	Referenzimplementierung	162
8	Zusammenfassung und Ausblick	170
A	Grafiken zu den Referenzszenarien	174
B	Detaillierte Prognoseergebnisse	180
B.1	Simulationsszenarien	180
B.2	Validierungsszenarien durch Messung	183
C	Validierung zum Stadionszenario	184
D	Software zur Handoverkontrolle im Testbett	185

E	Wissenschaftlicher Tätigkeitsnachweis	186
E.1	Veröffentlichungen	186
E.2	Spezifikationen aus Forschungsprojekten	187
E.3	Studien- und Diplomarbeiten	188
F	Literaturverzeichnis	190