

Modellierung von Common Radio Resource Management Entscheidungsproblemen

Andreas Pillekeit

Andreas.Pillekeit@icb.uni-due.de

Universität Duisburg-Essen, ICB, www.icb.uni-due.de, Fachgebiet Systemmodellierung
Schützenbahn 70, 45127 Essen

Kurzfassung

Mit dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, welches das grundlegende Konzept des Common Radio Resource Management (CRRM) für Mobilfunksysteme beschreibt und auf seine funktionalen Einheiten reduziert. Dies erleichtert die Analogiebildung und eröffnet die Möglichkeit nach Lösungen für das Entscheidungsproblem des CRRM in verwandten Problemfeldern der Informatik zu suchen. Das entwickelte Modell bildet die Basis eines Simulators, der mit der OMNeT++ Simulationsumgebung implementiert wird. Mit Hilfe der fünf Instanzen - Umwelt, mobiles Endgerät, Funkzugangssystem, CRRM-Informationsmanagement und CRRM-Entscheider - können verschiedene zentrale, hierarchische oder verteilte Szenarien modelliert werden. Das Ziel besteht darin, dass für die CRRM-Entscheidung relevante Verhalten der Mobilfunksysteme zu simulieren und eine Kosten-Nutzenanalyse zu ermöglichen. Dies gestattet eine einfache Untersuchung der Eignung verschiedener Lösungsansätze für CRRM-Szenarien.

1 Einleitung

Momentan existieren verschiedene Funkzugangstechnologien, die mobile Kommunikation ermöglichen. Die satellitengestützten Wireless Global Area Networks (WGAN) stellen weltweit ihre Dienste zur Verfügung. Zur Kategorie der Wireless Wide Area Networks (WWAN) gehören die etablierten Mobilfunkstandards der Generation 2.5 und 3, wie GSM mit seiner Erweiterung GPRS und UMTS. Sie ermöglichen großflächig mobile Daten- und Multimediadienste anzubieten. In letzter Zeit gewannen Wireless Local Area Networks (WLAN) zunehmend an Bedeutung, welche, typischerweise örtlich begrenzt, einen breitbandigen Internetzugang anbieten. Für die Nahbereichskommunikation (Wireless Personal Area Network, WPAN) etablierte sich das Bluetooth-System. Auch die Verbreitung digitaler Broadcast Systeme wie DVB steigt. Dabei können sich die einzelnen Funkzugangssysteme räumlich überlagern. Auch in Zukunft wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit an dieser Koexistenz verschiedener Kommunikationssysteme und deren räumlicher Überlagerung nichts ändern. Der Grund liegt in der Optimierung mobiler Kommunikationssysteme für unterschiedliche Einsatzgebiete. Weiterhin entstehen Anlaufzeiten durch die enormen Aufbaukosten infrastrukturbasierter Netze. Zusätzlich besteht für die Betreiber die Notwendigkeit der Überführung des Kundenstamms aus den alten in die neuen Systeme.

Durch die beschriebene Koexistenz entsteht das Problem der optimalen Nutzung der einzelnen Funkzugangssysteme. Bisher wurde die Ressourcenvergabe nur innerhalb der einzelnen Systeme kontrolliert und optimiert (RRM). Verschiedene Arbeitsgruppen widmen sich der Ausdehnung der Optimierung auf die Zusammenarbeit unterschiedlicher

Funkzugangssysteme (CRRM) [1, 2, 3, 4, 7]. Das Hauptziel ist dabei eine Erhöhung der angebotenen Dienstqualität bei gleichzeitiger Senkung der Installations- und Betriebskosten. Dafür müssen verschiedene Aspekte der Funkverbindung intelligent verarbeitet werden, um die genutzten Dienste der mobilen Endgeräte (UE) dem jeweils optimalen Funkzugangssystem zuzuordnen. Je nach Typ des Algorithmus fließen dabei unterschiedliche Einflussfaktoren ein, wie QoS-Merkmale, Kosten, Energieverbrauch, Betreiberprioritäten. Trotz der vielfältigen Einflussfaktoren darf durch CRRM kein zu hoher Verwaltungsaufwand entstehen. Verschiedene theoretische und simulative Untersuchungen zeigen, dass durch die gemeinsame Nutzung der Ressourcen der Bündelungsgewinn [2, 5] genutzt werden kann und zusätzlich ein Servicezuweisungsgewinn [6] entsteht. Zusätzlich dazu können die Reservekapazitäten für Lastspitzen in den jeweiligen Teilsystemen verringert werden. Die aufgeführten Untersuchungen simulierten zum Teil sehr detailliert verschiedene Aspekte der RRM Algorithmen der Mobilfunksysteme. Sie lieferten Ergebnisse, die hauptsächlich Aussagen über die Reaktionen der Funkzugangssysteme auf CRRM machen, ohne auf die Kosten-Nutzen-Effizienz der CRRM Algorithmen selbst einzugehen. Mit dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, welches das grundlegende Konzept des CRRM beschreibt. Aufbauend auf den Arbeiten [1, 2, 3, 4, 7] wird nachfolgend das CRRM auf seine funktionalen Einheiten reduziert. Somit liefert das Modell eine Problembeschreibung, die es ermöglicht Analogien und Lösungsmöglichkeiten für das Entscheidungsproblem in ähnlichen Problemfeldern der Informatik zu suchen und deren Eignung zu bewerten.

Der Rest der Arbeit ist folgendermaßen gegliedert: In Kapitel 2 werden grundlegende Eigenschaften des CRRM beschrieben. In Kapitel 3 wird das auf Kapitel 2 aufbauende Simulationsmodell vorgestellt. Kapitel 4 gibt eine Zusammenfassung.

2 CRRM Eigenschaften

Die logische Struktur der Netze, die auf verschiedenen Funkzugangstechnologien basieren, ist ähnlich. Das UE steht über dem Funkzugangssystem (RAS) in Verbindung mit einem Core-Netzwerk oder im Fall von Adhoc-Netzen mit anderen UE. Hauptsächlich Einfluss auf die QoS-Fähigkeiten des Systems besitzt das Funkzugangssystem. Daher wird der Einfluss des Core-Netzwerks in dem Modell als Bias auf die Werte der QoS-Parameter des Funkzugangssystems realisiert. Jedes Funkzugangssystem besitzt seine lokalen Ressourcenverwaltungsinstanzen und spezifische Schicht 1 und Schicht 2 Protokolle, die je nach Funkzugangstechnologie unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Das CRRM wird von spezialisierten Instanzen durchgeführt, die mit den lokalen RRM Instanzen in Verbindung stehen. Das CRRM ist daher ein Aufsatz auf bestehende Funkzugangssysteme.

Ab der Optimierung über mehrere Hierarchieebenen innerhalb einer Funkzugangstechnologie spricht man vom CRRM. Hier wird dieser Typ als CRRM-Stufe A bezeichnet. Weitere Typen des CRRM sind die Optimierung über verschiedene Funkzugangstechnologien eines Netzbetreibers (Stufe B) und zwischen verschiedenen Netzbetreibern (Stufe C). Je nach CRRM-Stufe entstehen unterschiedliche Systemkosten und QoS-Einschränkungen. Besonders bei der Optimierung zwischen Netzen unterschiedlicher Betreiber ist eine Minimierung der benötigten Informationen aufgrund von Kosten- und Sicherheitsaspekten wichtig. Bild 1 zeigt eine Übersicht der CRRM-Stufen.

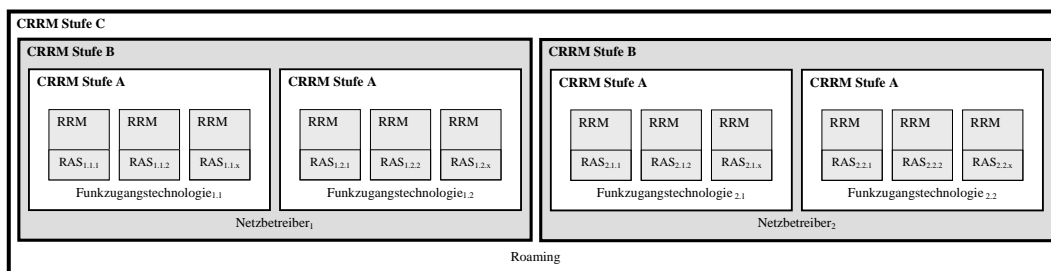


Bild 1: CRRM-Typen

CRRM ist verwandt mit Lastausgleichsproblemen. Aus diesem Grund lässt sich das abstrakte Modell der CRRM-Algorithmen auch in die in [8] vorgestellte Kategorisierung für Lastausgleichsalgorithmen einordnen. Einordnungskriterien sind Systemmodell, Transfermodell, Informationsaustausch, Koordination, Typ des Algorithmus.

Das CRRM ist ein Regelmechanismus dessen grundlegender Ablauf im Bild 2 dargestellt ist.

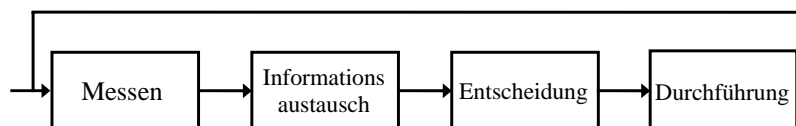


Bild 2: CRRM-Regelkreis

Es existieren verschiedene Messpunkte, die sich je nach zu messenden Parametern im UE oder netzseitig befinden können. Um den Umfang der Messungen zu begrenzen ist es möglich, neben der direkten Messung, bestimmte Werte aus anderen Messungen zu extrapolieren, z.B. Ermittlung der verfügbaren Funkzugangssysteme anhand der aktuellen Zelle des UE.

Voraussetzung für die gemeinsame Verwaltung der Funkressourcen verschiedener Funkzugangssysteme ist deren örtliche Verfügbarkeit und die technischen Möglichkeiten der UE. Da die am Kommunikationsprozess beteiligten UE über unterschiedliche Fähigkeiten verfügen ist es notwendig, dass diese der CRRM-Einheit bekannt gemacht werden. Es muss also ein geeigneter Informationsaustausch von den UE zum CRRM-System realisiert werden. Weiterhin muss ein geeigneter Informationsaustausch über den Zustand der erreichbaren Funkzugangssysteme zum CRRM-System definiert werden. Grundsätzlich muss dabei ein Kompromiss zwischen Umfang und Aktualität der Werte und dem Beschaffungs- bzw. Verwaltungsaufwand gefunden werden. Das Informationsmanagement umfasst die Verteilung und Speicherung der Messdaten und kann dabei zentral, hierarchisch oder verteilt organisiert sein. Die Frage der Wahl der Architektur des Informationsmanagements wird hauptsächlich bestimmt durch Überlegungen zur Sicherheit und Zugriffsperformance. Neben der Informationsmanagementkomponente existiert auch eine CRRM-Entscheidungskomponente, die wiederum zentral, hierarchisch oder verteilt organisiert sein kann. Wobei die Entscheidungsstruktur nicht mit der Struktur des Informationsmanagements übereinstimmen muss. Eine verteilte CRRM-Architektur existiert, wenn für jede lokale RRM Instanz eine eigene CRRM-Instanz existiert. In 3GPP 25.891 wird ein Modell für

zentrales bzw. verteiltes Stufe A und Stufe B CRRM zwischen UMTS und GSM vorgestellt. Jede Organisationsstruktur besitzt spezifische Vor- und Nachteile.

Es existieren je nach CRRM-Algorithmus verschiedene Entscheidungsmöglichkeiten. Die wichtigste Option ist der Handover der UE in ein anderes Funkzugangssystem (Intersystem Handover). Zusätzlich dazu existieren aber auch die Möglichkeit der Beschränkung der dem UE zur Verfügung gestellten Dienstqualität und der erweiterte Eingriff in die RRM-Einstellungen des Funkzugangssystems. Die CRRM-Instanz benötigt daher eine Möglichkeit Anweisungen an das RAS oder das UE zu übermitteln.

3 CRRM Simulationsmodell

Ziel des Simulationsmodells ist es, dass für die CRRM-Entscheidung relevante dynamische Verhalten der Mobilfunksysteme zu simulieren und die Kosten der mit dem CRRM verbundenen Aktivitäten zu ermitteln. Es liefert damit eine Basis für die Bewertung verschiedener CRRM-Algorithmen. Das Modell ermöglicht das Messen aktueller Werte für die Kommunikationsverbindung der UE und es regelt das Verbindungsmanagement. Errechnet werden die Werte über analytische Modelle der Funkzugangssysteme, deren Inputparameter durch die Simulation des Nutzerverhaltens und der Umwelt ermittelt werden. Die Komponenten des Modells wurden aus dem CRRM-Modell abgeleitet und ermöglichen die Abbildung verschiedener CRRM-Szenarien. Enthaltene Komponenten sind die Umwelt (ENV), Nutzerendgerät (UE), CRRM-Informationsmanager (CRRM-IM), CRRM-Entscheider (CRRM-D) und Funkzugangssystem (RAS). Die Komponenten kommunizieren über kostenbehaftete und kostenfreie Kommunikationsverbindungen. Kostenbehaftete Kommunikationsverbindungen dienen der Simulation des Transports von für das CRRM relevanten Informationen. Jede Behandlung der Nachricht durch eine Komponente verursacht Kosten. Je nach Typ der Nachricht kann die Weiterleitung in den einzelnen Komponenten verzögert werden, um den Zeitverbrauch benötigter Funktionen zu berücksichtigen. Ein geeignetes Kostenmodell zur Bewertung der CRRM-Aktivitäten muss noch erarbeitet werden. Kostenfreie Kommunikationsverbindungen dienen der Übermittlung von Daten, die für die Simulation des Verhaltens der Komponente benötigt werden und die im realen System entweder real oder implizit in den Komponenten selbst vorhanden wären. Ein Beispiel ist die Übermittlung der Positionsdaten der UE an ein Funkzugangssystem. Die RAS-Komponente benötigt diese für die Berechnung der Last und der QoS-Parameter in der Zelle der UE. Im realen System ist die Position in den meisten Fällen keine bekannte Größe, sondern fließt implizit in andere Systemgrößen ein. Kostenfreie Kommunikationsverbindungen werden über eine Blackboardfunktion realisiert. Kostenbehaftete Kommunikationsverbindungen werden über Nachrichtenaustausch realisiert. Jede Komponente verfügt über eine interne Routingtabelle über die sich der Pfad zum Ziel ermitteln lässt. CRRM-Komponenten können ausschließlich über kostenbehaftete Kommunikation mit anderen Komponenten kommunizieren. Ihre Anbindung an andere Komponenten variiert für zentrale und dezentrale Szenarien, d.h. CRRM-Komponenten können entweder eine Anbindung an das UE besitzen oder sie besitzen eine Anbindung an ein Funkzugangssystem. Zusätzlich dazu können sie auch direkt mit anderen CRRM-Komponenten verbunden sein. Bild 3 zeigt eine schematische Übersicht über die Kommunikationsverbindungen der Komponenten.

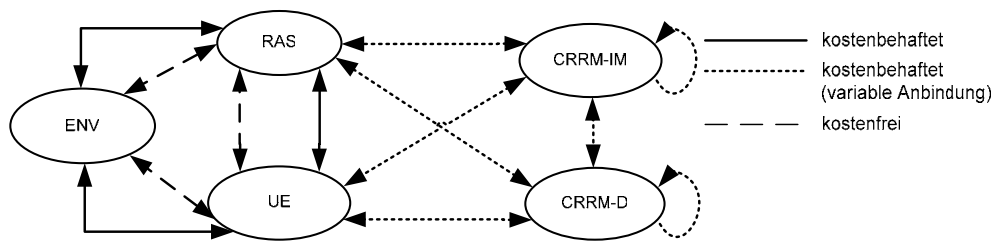


Bild 3: Modellkomponenten

Die Nachrichten, die die kostenbehaftete Kommunikation realisieren, beinhalten neben dem Informations- bzw. Instruktionsteil, den Zeitpunkt der Erzeugung der Nachricht, die aufgelaufenen Kosten für die Bearbeitung dieser Nachricht sowie Ursprungs- und Zielkomponente.

Die Komponente Umwelt modelliert dabei die Mobilität der UE und die örtliche Erreichbarkeit der verschiedenen Funkzugangssysteme. Die Umwelt besteht dabei aus mehreren gerasterten Netzebenen. Pro vorhandenem Netzwerktyp (WPAN, WLAN, WWAN, WGAN) existiert eine Ebene mit angepasster räumlicher Auflösung. Für jedes Rasterenteil einer Ebene wird bestimmt welche Funkzugangssysteme des entsprechenden Typs dort erreichbar sind und welche Empfangseigenschaften sie besitzen. Die Aufteilung in Rasterenteile dient der Verringerung des Rechenaufwands für die Simulation des Verhaltens der Funkzugangssysteme. Die Werte der Funkzugangssysteme werden aktualisiert, wenn ein mit ihnen verbundenes UE ein ihnen zugeordnetes Rasterenteil betritt oder verlässt. Die Mobilität der UE wird pro Rasterelement simuliert. Die UE bewegen sich zwischen den Rasterelementen und nicht innerhalb der Rasterenteile. Gewählt wird dazu die Ebene mit der kleinsten benötigten Rasterauflösung. Dies bedeutet, wenn sich innerhalb eines WWAN Rasterelements ein WPAN Funkzugangssystem befindet, wird für dieses WWAN Rasterelement die Mobilität auf der feiner aufgelösten WPAN-Ebene realisiert. Andernfalls wird die Mobilität nur für die WWAN Ebene berechnet. Die Verweildauer und das Folgerasterelement wird nach dem Random-Walk Modell [10] durch die Geschwindigkeit und die Richtung der UE bestimmt. Die Parameter des Mobilitäts-Modells werden durch das integrierte Mobilitäts-Dienstverkehrsmodell aus [9] variiert.

Die Komponente Funkzugangssystem bearbeitet die Dienstanforderungen der UE-Objekte. Ihr Verhalten wird dabei von analytischen Modellen der jeweiligen Funkzugangstechnologien bestimmt. Die Modelle liefern Werte für die Last im Funkzugangssystem, den Delay, die Datenrate und die Bitfehlerrate. Sie basieren auf Überlegungen in [7, 11]. Eine enthaltene RRM Einheit steuert netzwerkinitiierte Entscheidungen. Die Empfangsstärke, als Maß für die Zugangsmöglichkeit zum Funkzugangssystem, wird dabei als ausreichend für die Rasterelemente eines Funkzugangssystems angenommen. Pro Rasterelement werden entsprechende Werte für Messungen geliefert Eine funktionierende Sendeleistungskontrolle wird als gegeben vorausgesetzt. Die Eingabewerte für die Modelle werden anhand des Abstands der Rasterelemente von der Basisstation modifiziert.

Die Komponente UE simuliert die Dienstanforderungen und das Verhalten des Nutzers. Die Parameter für neue Dienstanforderungen werden über das kombinierte Mobilitäts-Dienstverkehrsmodell aus [9] erzeugt. Dies ermöglicht die Berücksichtigung verschiedener Geschwindigkeiten und der damit verbundenen Dienstnutzungsänderung

durch Aufmerksamkeitsbindung. Unterschieden wird zwischen unterschiedlichen Ausprägungen von Realtime und Nonrealtime Diensten und zwei Geschwindigkeitstypen. Die UE-Objekte besitzen eine RRM-Einheit, die für endgeräteinitiierte Entscheidungen zuständig ist. Die UE unterstützen unterschiedliche Funkzugangstechnologien. Da nicht jedes UE-Objekt alle Funkzugangstechnologien unterstützt, sind die im Bild 3 dargestellten Kommunikationsverbindungen auf die unterstützten Funkzugangssysteme begrenzt. Das UE kann Messungen über die Erreichbarkeit der unterstützten Funkzugangssysteme über die Komponente ENV durchführen lassen. Die Komponenten CRRM-IM und CRRM-D beinhalten die zu untersuchenden Algorithmen für das CRRM.

4 Zusammenfassung

Das Simulationsmodell liefert Inputdaten für CRRM-Algorithmen indem es das für die CRRM-Entscheidung relevante dynamische Verhalten der Mobilfunksysteme simuliert. Genutzt werden dazu analytische Modelle, die das Verhalten unterschiedlicher Funkzugangstechnologien widerspiegeln. Der Aufwand für die Simulation der Funkzugangssysteme wurde durch die Aufteilung der Umwelt in netzwerktypspezifische Rasterelemente reduziert. Die Reduzierung auf fünf funktionale am CRRM-Prozess beteiligte Komponenten ermöglicht eine flexible Szenariogestaltung und erleichtert das Suchen von Lösungen für das Entscheidungsproblem des CRRM in ähnlichen Problemfeldern der Informatik. Die Erfassung der Kosten der mit dem CRRM verbundenen Aktivitäten ermöglicht eine Kosten-Nutzen-Analyse der Algorithmen.

5 Literatur

- [1] 3GPP TR 25.891 V0.3.0, 3rd Generation Partnership Project Technical Specification Group Radio Access Network; „Improvement of RRM across RNS and RNS/BSS (Post Rel-5); (Release 6)
- [2] A. Pillekeit, F. Derakhshan, E. Jugl, A. Mitschele-Thiel, „Force-based Load Balancing in Co-located UMTS/GSM Networks“, 60th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) „Wireless Technologies for Global Security“, September 26-29, 2004, Los Angeles, USA.
- [3] E. Mohyeldin, et al. , „Concepts and Scenarios for Intersystem Handover in Heterogeneous Environments“, IST Mobile Wireless Communications Summit 2003, June 2003, Aveiro.
- [4] Matthias Hildebrand, et al. , „Performance Investigation on Multi Standard Radio Resource Management for Packet Switched Services“, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2004-Fall), Los Angeles, USA, September 26 - 29, 2004
- [5] A. Tolli, P.Hakalin, H.Holma, „Performance evaluation of common radio resource management (CRRM)“ pp.3429-3433,Proc. of ICC, 2002
- [6] Insoo Koo, Anders Furuskar, Jens Zander, Kiseon Kim, „Erlang Capacity Analysis of Multi-access Systems Supporting Voice and Data Services“, PWC 2004, LNCS 3260, pp. 69-78, 2004
- [7] IST Projekts: EVEREST: <http://www.everest-ist.upc.es>, MONASIDRE: <http://www.monasidre.com>, WINEGLASS: <http://wineglass.tilab.com/>
- [8] Schenkenburger, Stellner, „Dynamic load distribution for parallel applications“, Teubner Verlag, 1997
- [9] Moltchanov D., Koucheryavy Y., Harju J. „Multi-application packetized traffic model of single source for next generation IP-based mobile systems“, In Proc. of NEW2AN'2004, St.-Petersburg, Russia, January-February 2004, pp. 266-272
- [10] J.-Y. Le Boudec, „Understanding the Simulation of Mobility Models with Palm Calculus“, Technical Report IC/2004/53, EPF Lausanne, 2004.
- [11] Hubert Graja, et al. „A Statistical Estimation of Average IP Packet Delay in Cellular Data Networks“, Proc. of IEEE Wireless Communication and Networking Conference, New Orleans, USA , March 2005