Makrodiversität in der Mobilkommunikation

Ulrich Weiss

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND)
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart
Tel. +49/711/685-7992 Fax +49/711/685-7983, weiss@ind.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung: Die Anforderungen, die an zukünftige zellulare Mobilfunknetze gestellt werden, sind sehr hoch. So sollen im europäischen UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und im internationalen IMT-2000 (International Mobile Telecommunications system) zahlreiche schmal- und breitbandige Dienste bei hoher Qualität und uneingeschränkter Verfügbarkeit für eine große Anzahl von Benutzern angeboten werden. Beide Systeme befinden sich heute noch in der Forschung. Neben dem Entwurf neuer Zugangsnetze (siehe [15]), verlangt vor allem die Luftschnittstelle besondere Aufmerksamkeit. Der sich aufgrund von Abschattung und Mehrwegausbreitung zeitlich und örtlich schnell ändernde Funkkanal verlangt neue Ansätze zur Realisierung einer sicheren, hochbitratigen Datenübertragung. In diesem Sinne wird in dieser Studie der Einsatz von Makrodiversität (*macroscopic diversity*) untersucht. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den zellularen Strukturen, die zur Realisierung der Makrodiversität nötig sind, und der Entwicklung neuer Protokolle für das Ressourcenmanagement und das Handover.

1. Einleitung

Beim Einsatz von Makrodiversität in zellularen Mobilfunksystemen werden die zwischen Quelle und Senke auszutauschenden Informationen auf der Luftschnittstelle über mehrere Pfade (`n>1`) übertragen. Im Falle des *Uplinks* (Mobilstation zum Festnetz) wird das von der Mobilstation gesendete Signal von mehreren Basisstationen aufgefangen. Diese fügen den empfangenen Dateneinheiten Qualitätsinformationen hinzu und leiten sie dann weiter an die Kombinationseinheit im Festnetz [15]. Dort werden die Daten zu einer resultierenden Einheit kombiniert und dann an die Senke weitergeleitet. Im *Downlink* (Festnetz zu Mobilstation) werden die Informationen am Verteilpunkt im Festnetz vervielfacht und an eine oder mehrere Basisstationen weitergeleitet. Entweder sendet dann die Basisstation mit der momentan besten Verbindung das Funksignal zur Mobilstation, oder mehrere Basisstationen senden das Funksignal in einem engen Zeitrahmen nahezu gleichzeitig an die Mobilstation (*simulcast*). Die Mobilstation kann dann die eingehenden Signale kombinieren.

Makrodiversität ist eine vielversprechende Technik, um die notwendigen Qualitäts- und Kapazitätsgewinne in einem zellularen Mobilfunksystem zu realisieren. Außerdem kann Makrodiversität dazu dienen, ein *seamless handover* zu ermöglichen. Dies bedeutet, daß ein Mobilfunkteilnehmer den Übergang von einer Zelle in die nächste, wobei ein Kanalwechsel auftreten kann, nicht bemerkt (keine Qualitätseinbuße).

2. Zellulare Mobilfunkarchitekturen

Der Einsatz der Makrodiversität (MD) in Mobilfunksystemen bedingt spezielle zellulare Architekturen in Bezug auf die Plazierung der Basisstationen (BS). Es muß den Mobilstationen (MS) die Möglichkeit gegeben werden, zu mehreren BS eine Verbindung unterhalten zu können (Diversität).
In diesen makrodiversitäts-fähigen Netzen werden Basisstationen nicht dieselbe Funktionalität haben wie in den heutigen Systemen (GSM [40], IS-95 [41] etc.). Sie werden von geringer Komplexität sein. Häufig werden sie außer einer oder mehrerer Antennen nur Umsetzer von optischen oder elektrischen Signalen in Funksignale beinhalten. Die aufwendigeren Funktionen der Signalverarbeitung wie Detektion, Dekodierung, Kombination, etc. werden in einer (zentralen) Einheit im Festnetz ausgeführt [39][1]. Der Entwurf solcher Festnetzarchitekturen wird in [25] diskutiert. Je nach Realisierung dieser speziellen Basisstationen werden sie in der Literatur als *remote antenna units* (RAU) [28] oder *radio (access) ports* (R(A)P) [1] [2] bezeichnet. Im folgenden werden wir hier die allgemeine Bezeichnung *radio port* (RP) verwenden.
Manche makrodiversitäts-fähige Architekturen lassen sich aus den konventionellen Layouts[1] für zellulare Mobilfunksysteme ableiten. So verwenden Weiss et al. [38] ein System mit omnidirektionalen Antennen in der Zellmitte, bei dem sich die Makrodiversität durch Überlappung der Abdeckungsgebiete ergibt (Bild 1: Anordnung 1). Die Anzahl der RPs, die jede MS erreichen kann, ist abhängig vom gewählten Überlappungsfaktor $f=r/R$ (Verhältnis des Abdeckungsradius zum Zellradius). Lee [31] [32] und Graf et al. [6] benutzen bestehende sektorisierte Systeme mit Richtantennen (120 oder 160 Grad) an je drei Ecken einer hexagonalen Zelle (Bild 1: Anordnung 3). Das Verbinden der drei Antennen mit Hilfe einer zentralen Einheit im Festnetz ermöglicht die Makrodiversität.
Weitere Konstellationen zur Plazierung der RPs sind denkbar. So vergleicht Bernhardt [2] [3] [4] [5] mehrere MD-fähige Architekturen mit gleichmäßigen dreieckigen, viereckigen und sechseckigen Anordnungen der RPs. Die RPs verwenden dabei omnidirektionale Antennen. Zürbes [20] und Klein et al. [7] ordnen zusätzlich zu dem RP in der Zellmitte weitere RPs konzentrisch um den Mittelpunkt an. Auch sie verwenden omnidirektionale Antennen (Bild 1: Anordnung 2). Papen [11] und Zürbes [24] schlagen eine neue Architektur vor, die aus zwei übereinandergeschobenen Clustern hexagonaler Zellen besteht. An jeder zweiten Zellecke befindet sich ein RP mit je sechs 120 Grad-Richtantennen (Bild 1: Anordnung 4).

1. Mit „konventionell“ werden hier die (heutigen) zellularen Systeme bezeichnet, in denen jedes Gebiet (Zelle) von nur einer Basisstation abgedeckt wird (keine Makrodiversität).

Eine Verallgemeinerung der letztgenannten Architektur sind hierarchische Systeme, in denen mehrere Zellcluster mit unterschiedlich großen Zellen übereinandergelegt sind. Die meist diskutierte Form dieser Systeme besteht aus Makrozellen für sich schnell bewegende Mobilfunkteilnehmer (in Autos) und Mikrozellen für sich langsam bewegende Teilnehmer (Fußgänger) [30][33].

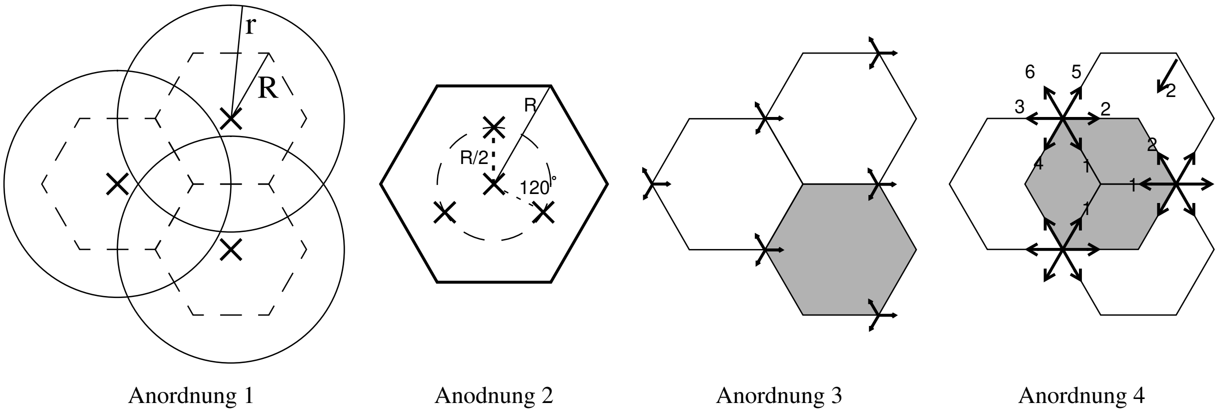

Bild 1: Versc hiedene Anordnungen der Basisstationen bei Makrodiversität

2.1 Architektur-Vergleich

Die verschiedenen Architekturen müssen bezüglich mehrerer Parameter verglichen werden. Um einen fairen Vergleich zu gewährleisten, muß dieselbe Flächendichte von RPs vorliegen, und es müssen dieselbe Sendeleistung und dieselben Antennengewinne verwendet werden.
Als Vergleichsparameter dienen (jeweils gemittelt über das Zellgebiet und/oder gemessen am schlechtest abgedeckten Punkt (*worst case)*):

- Empfangsleistung P_r
    - bei distanzabhängiger Dämpfung
    - bei distanzabhängiger Dämpfung und Abschattung (Zeitmittelwerte an jedem Punkt)
- Wegunterschiede von jedem Punkt der „Zelle" zu den umliegenden RPs (und damit *multipath spread* [29])
- Signal-Interferenz-Verhältnis (*carrier to interference ratio*, CIR) bei fester Kanalvergabe (*fixed channel allocation*, FCA)[1].

Für FCA Systeme finden sich Vergleiche einiger weniger spezieller Basisstations-Anordnungen bei Bernhard [2] und Papen/Zürbes [11][20]. Eine allgemeine Untersuchung zur bestmöglichen Positionierung der RPs ist jedoch noch von keinem Autor vorgenommen worden. Auch inwiefern protokolltechnische Randbedingungen, wie z.B. das Ressourcen-Management, die Positionierung der RPs beeinflussen können, ist noch nicht erforscht worden. Diese offenen Punkte sollen im weiteren Verlauf dieser Arbeit bearbeitet werden.

1. Bei dynamischer Kanalzuweisung (*dynamic channel allocation*, DCA) hängt das Signal-Interferenz-Verhältnis außer von der Kanalanzahl auch vom DCA-Algorithmus sowie von der aktuellen Verkehrslast ab.

3. Makrodiversität und Simulcast

In einer makrodiversitäts-fähigen zellularen Architektur werden die Signale der Mobilstation im Uplink von mehreren RPs empfangen. Diese können dann auf unterschiedliche Weise in einer Kombinationseinheit im Festnetz kombiniert werden (siehe [15]). Im Downlink (Basis- zu Mobilstation) ergeben sich nicht nur für das Kombinieren sondern bereits für das Senden unterschiedliche Möglichkeiten. Es kann entweder zu jedem Zeitpunkt von nur einem RP gesendet werden oder von mehreren RPs gleichzeitig.
In dem meisten Veröffentlichungen wird der Einsatz von Makrodiversität nur in ersterem Fall untersucht. Bei dieser sogenannten Auswahldiversität (*site selection diversity*) wird immer von dem RP gesendet, der die beste Verbindung gewährleistet. Es ist also zu jedem Zeitpunkt immer nur ein RP aktiv. Meistens wird dazu die Dämpfung zwischen jedem in Frage kommenden RP und der Mobilstation gemessen (oder geschätzt), dann wird von dem RP gesendet, der die geringste Dämpfung zur Mobilstation „sieht“ (optimale Pfad-Auswahl).
Einige Autoren ([1][6][14][20][27]) untersuchen auch den Fall des gleichzeitigen Sendens von mehreren RPs auf demselben Kanal. Dies wird als Gleichwellenbetrieb (*simulcast*) bezeichnet. Der Gleichwellenbetrieb ist prinzipiell in jeder MD-fähigen zellularen Architektur möglich. Er vermeidet die Problematik der optimalen Auswahl der RPs. Allerdings senden nun mehrere RPs gleichzeitig auf demselben Kanal, was zu einer erhöhten Gleichkanal-Interferenz für andere Verbindungen führen kann.
Die Untersuchungen von Graf et al. [6] zur Anwendung von Makrodiversität im GSM ergeben deshalb als beste Lösung bezüglich der <u>Kapazität</u> des Systems das Senden von nur einer Basisstation (kein Simulcast). Auch Zürbes‘ [20] Untersuchung ergibt, daß das Senden von jeweils dem „besten“ RP die beste Versorgungswahrscheinlichkeit (Prob{C/I>c}) ergibt. Eine geschickte Leistungsregelung mit fließender Aufteilung der Sendeleistungen weist jedoch nur sehr geringe Verluste gegenüber dem Idealfall des sofortigen Umschaltens auf. Da in der Praxis ein unendlich schnelles Umschalten zwischen mehreren RPs nicht möglich ist, hat der Gleichwellenbetrieb den Vorteil, die Einbußen der Übertragungsqualität bei sich plötzlich ändernden Ausbreitungsbedingungen gering zu halten. Dies ist z.B. der Fall, wenn eine Mobilstation sich um die Ecke bewegt und der bedienende RP plötzlich abgeschattet ist.
Aus Sicht der Mobilstation wird durch das Senden von mehreren RPs die Mehrwegausbreitung des Signals künstlich erhöht. Mit Hilfe von Entzerrern oder Rake-Empfängern in den Mobilstationen kann positiver Nutzen aus den mehrfach einfallenden Signalen gezogen werden, solange der Zeitunterschied zwischen den einfallenden Signalen klein bleibt (Ausnutzung der Zeitdiversität) [29]. Dies läßt den Einsatz von Simulcast in mikrozellularen Systemen mit geringen Distanzen zwischen den Basisstationen sinnvoll erscheinen [1][11][20][27].

4. Mobilität und Handover

In CDMA-Mobilfunksystemen (*Code Division Multiple Access*, z.B. IS-95 [41]) wird Makrodiversität bereits in eingeschränktem Maße, nämlich zur Realisierung eines *soft handover (amer. engl.: soft handoff),* eingesetzt (s. auch [37]). Befindet sich eine Mobilstation in dem Überlappungsgebiet angrenzender Zellen, kann sie zum Zwecke eines fließenden Übergangs von einer

zur nächsten Basisstation kurzzeitig eine Verbindung mit beiden Basisstationen aufbauen. Eine Kombiniereinheit im Festnetz (häufig im MSC - *mobile switching centre* angesiedelt) entscheidet, welches Uplink-Signal weitergeleitet wird (*selection diversity*). Im Downlink wird von beiden Basisstationen gleichzeitig gesendet. Die Basisstationen sind dazu zeitlich synchronisiert. Der Rake-Empfänger in der Mobilstation kann die zeitverzögerten Downlink-Signale kombinieren.
Soft handover ist eine Möglichkeit der Realisierung des für die nächste Mobilfunkgeneration geforderten *seamless handover* (siehe Abschnitt 1.). Das Prinzip an sich ist nicht auf CDMA-Systeme beschränkt. Eine Anwendung des Prinzips ist in jedem Mobilfunksystem denkbar. Für das *soft handover* wird Makrodiversität zeitlich und örtlich begrenzt eingesetzt, d.h. sie ist auf den Moment des Zellübertritts und auf die Zellgrenzflächen beschränkt.
Um weitere Kapazitäts- und Qualitätsgewinne in Mobilfunksystemen zu erreichen, sollte der Einsatz der Makrodiversität prinzipiell jederzeit und überall möglich sein. Derart ausgelegte Systeme können dann auch die Übertragungsqualität beim Zellwechsel auf gleichbleibendem Niveau halten. So beurteilt Zürbes die makrodiversitäts-fähige Zellarchitektur mit Gleichwellenversorgung im Hinblick auf das Handover als sehr positiv. Im Gegensatz zu konventionellen Architekturen lassen sich gleichzeitig niedere Handover-Häufigkeiten und hohe Empfangspegel realisieren [20].
Eine Untersuchung bezüglich des Zusammenhangs zwischen Mobilität (der Teilnehmer) und Kapazität (des Mobilfunksystems) findet sich bei Lea et al. [8][9]. In dem makrodiversitäts-fähigen zellularen System nach Lee [31] wendet er dynamische Kanalvergabe (DCA) an. Da jeder Kanal an jedem RP verfügbar gemacht wird, fällt die einem FCA-System innewohnende Kanalbeschränkung pro Zelle weg. Durch geschickte Algorithmen soll nun ein Kanalwechsel für sich schnell bewegende Mobilfunkteilnehmer beim Zellübertritt weitgehend vermieden werden. Dazu muß es möglich sein, den verwendeten Kanal von einer Zelle zur nächsten mitzunehmen. Lea postuliert eine Konvertibilität von Kapazität und Mobilität. Das System kann den Kapazitätsgewinn der Makrodiversität umsetzen in eine Reduzierung der Handover-Anzahl. Wenn die Mobilität der Nutzer abnimmt, steigt im Umkehrschluß die Systemkapazität.
Eine Kombination von Makrodiversität und dynamischer Kanalvergabe findet sich auch bei Dropmann et al. [26] und Weiss [39]. In Systemen mit Überlappung an den Zellrändern wird der Effekt der Makrodiversität zur Kapazitätssteigerung mittels dynamischer Kanalvergabe ausgenutzt.
Eine exakte Untersuchung der Kombination von Makrodiversität und dynamischer Kanalvergabe ist jedoch in keiner dieser Veröffentlichungen zu finden. Erst die Simulation eines solchen Systems kann Aufschluß über die Leistungsfähigkeit dieses Ansatzes bezüglich Kapazität, Qualität und Realisierung des *seamless handover* geben. Diese Idee soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit verfolgt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Gestützt auf eigene Studien und eine umfangreiche Literaturanalyse wurden hier die Möglichkeiten aufgezeigt, die der Einsatz von Makrodiversität in zellularen Mobilfunksystemen bietet.

Abschließend zusammengefaßt sind dies:

- Abdeckungserweiterung durch höhere räumliche und zeitliche Verfügbarkeit
- Kapazitätserhöhung durch kleinere Frequenzwiederholfaktoren
- Höhere Übertragungsqualität durch Bekämpfung des Abschattungseffektes
- Handover ohne Qualitätseinbußen
- Senkung der Handover-Anzahl

Je nach Systemarchitektur und den verwendeten Protokollen können nicht alle Verbesserungen gleichzeitig erreicht werden. Oft ist ein Abwägen der Gewinne gegeneinander nötig. Die in der Literatur zu findenden Zahlenwerte der Abdeckungs- und Kapazitätsgewinne sind aufgrund der stark voneinander abweichenden Systemvoraussetzungen und Modellierungsannahmen nicht vergleichbar. Deshalb wurde in diesem Bericht auf ihre Darstellung verzichtet. Eine Zusammenstellung findet sich jedoch in [16].
Bezüglich des Zusammenspiels der Makrodiversität und der Mobilität der Teilnehmer gibt es erst wenige Überlegungen. Der Einfluß auf das Ressourcen-Management und die Handover-Verwaltung muß noch untersucht werden. Quantitative Ergebnisse bezüglich der Systemkapazität, der Übertragungsqualität und der Handover-Häufigkeit bei dynamischer Kanalvergabe existieren nicht und sind damit eine Aufgabe für weitere Studien.

Literatur speziell zur Makrodiversität

[1] Ariyavisitakul, Sirikiat; Darcie, Thomas E.; Greenstein, Larry J.; Phillips, Mary R.; Shankaranarayanan, N.K. „Performance of simulcast wireless techniques for personal communication systems“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, no. 4, May 1996, pp. 632-643

[2] Bernhardt, Richard C. „Macroscopic Diversity in Frequency Reuse Radio Systems“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-5, no. 5, June 1987, pp. 862-870

[3] Bernhardt, Richard C. „RF Performance of Macroscopic Diversity in Universal Digital Portable Radio Communications: Frequency Reuse Considerations“, Proc. of. ICC 86 - the 1986 IEEE International Conference on Communications, Toronto, Canada, 1986, pp. 65-71

[4] Bernhardt, Richard C. „RF Performance of Macroscopic Diversity in Universal Digital Portable Radio Communications: Signal Strength Considerations“, Proc. of GLOBECOM 85 - the 1985 IEEE Global Telecommunications Conference, New Orleans, USA, 1985, pp. 1002-1007

[5] Bernhardt, Richard C. Porter, Philip T. „Cost Comparisons of Macroscopic Diversity Architectures for Universal Digital Portable Communications“, Proc. of GLOBECOM 85 - the 1985 IEEE Global Telecommunications Conference, New Orleans, USA, 1985, pp. 1008-1012

[6] Graf, F.; Fischer, P.; Humburg, E.; Lüders, C. „Technical Potential and Economic Efficiency of Macro Diversity in a GSM Mobile Radio Network“, Proc. of EPMCC 97 - 2nd European Personal Mobile Communications Conference / 3. ITG-Fachtagung „Mobile Kommunikation“, Bonn, Germany, 30.9.-2.10.1997, Editor(s): ITG-Fachbericht 145, and VDE-Verlag GmbH, Berlin, pp. 127-134

[7] Klein, Anja; Steiner, Bernd; Steil, Andreas „Known and novel diversity approaches as a powerful means to enhance the performance of cellular mobile radio systems“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, no. 9, December 1996, pp. 1784-1795

[8] Lea, Chin-Tau „A new network architecture for wireless communications“, Proc. of PIMRC 96 - IEEE Personal, Indoor, and Mobile Communications Conference, Oct 15-18, 1996, Editor(s): IEEE, Taipei, Taiwan

[9] Lea, Chin-Tau; Wang, Li-Chun „A New Network Architecture For Wireless Communications“, to appear, 1998

[10] Marchent, Brian, G.; McTiffin, M.J. „Handover and Macro Diversity for 3rd Generation Mobile Systems within ATM Fixed Networks“, Proc. of the 1996 IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM 96, London, England, 18.-22.11.1996, IEEE 0-7803-3336-5/96

[11] Papen, Wolfgang „Makrodiversität und Signalkombination in zellularen digitalen Mobilfunksystemen“, Dissertation IND-Aachen, Aachener Beiträge zu Digitalen Nachrichtensystemen, Band 4, Januar 1996, Editor(s): Prof. Dr.-Ing. Peter Vary, Inst. f. Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung, RWTH Aachen, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Pontstr. 96, D-52062 Aachen, ISBN 3-86073-433-3

[12] Papen, Wolfgang „Improved soft handoff and macro-diversity for mobile radio“, Proc. of ICC 95 - the 1995 IEEE Internat. Conf. on Communications, Seattle, USA, June 18-22, 1995, pp. 1828-1833

[13] Papen, Wolfgang „Uplink performance of a new macro-diversity cellular mobile radio architecture“, Proc. of PIMRC 95 - the 1995 6th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Toronto, Canada, 1995, pp. 1118-1122

[14] Tozer, T.C.; Verdin, D.; French, P. „Maximizing coverage in multi-transmitter digital simulcast“, Proc. of MILCOM 95 - IEEE Military Communications Conference 1995, San Diego, CA, USA, November 5-8, 1995, pp. 636-640

[15] Weiss, Ulrich „Einsatz von Makrodiversität in der Breitband-Mobilkommunikation“, 4. Berichtskolloquium des GK PVS - Graduiertenkollegs Parallele und Verteilte Systeme, Stuttgart, Germany, 13.6.1997, pp. 71-81

[16] Weiss, Ulrich „Makrodiversität in der Mobilkommunikation - Literaturstudie und Kategorisierung“, Interner Bericht 22, 23.4.1998, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart

[17] Yeh, Yu-Shuan Schwartz, Stuart C. „Outage Probability in Mobile Telephony Due to Multiple Log-Normal Interferers“, IEEE Transactions on Communications, vol. COM-32, no. 4, April 1984, pp. 380-388

[18] Yeh, Yu-Shuan Wilson, Joanne C.; Schwartz, Stuart C. „Outage Probability in Mobile Telephony with Directive Antennas and Macrodiversity (IEEE JSAC)“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 2, no. 4, July 1984, pp. 507-511

[19] Yeh, Yu-Shuan Wilson, Joanne C.; Schwartz, Stuart C. „Outage Probability in Mobile Telephony with Directive Antennas and Macrodiversity (IEEE VT)“, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 33, no. 3, August 1984, pp. 123-127

[20] Zürbes, Stefan „Analyse und Optimierung digitaler Mobilfunksysteme mit Gleichwellenversorgung“, Dissertation IND Aachen, Aachener Beiträge zu Digitalen Nachrichtensystemen, Band 7, Februar 1997, Editor(s): Prof. Dr.-Ing. Peter Vary, Inst. f. Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung, RWTH Aachen, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Pontstr. 96, D-52062 Aachen, ISBN 3-86073-436-9

[21] Zürbes, Stefan „Power Control in Simulcast Digital Cellular Radio Networks“, Prof. of PIMRC 97 - the 8th IEEE Internat. Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, September 1-4, 1997, Editor(s): IEEE, Helsinki, Finland, pp. 887-891

[22] Zürbes, Stefan „Outage probabilities and handover characteristics of simulcast cellular mobile radio systems“, Proc. of VTC‘96 - IEEE 46th Vehicular Technology Conference, Atlanta, GA, USA, Apr 28-May 1, 1996, Editor(s): IEEE, Atlanta, GA, USA, pp. 522-526

[23] Zürbes, Stefan; Papen, Wolfgang „Versorgungswahrscheinlichkeit und Signalkombination in zellularen Mobilfunksystemen mit Makrodiversität“, Proc. of Mobile Kommunikation (ITG-Fachtagung) 95, Neu Ulm, Germany, 26-28.9.1995, Editor(s): VDE-Verlag, pp. 289-300

[24] Zürbes, Stefan; Papen, Wolfgang; Schmidt, Werner „A New Architecture for Mobile Radio with Macroscopic Diversity And Overlapping Cells“, Proc. of PIMRC 94 Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Den Haag, Holland, September 18-22, 1994, pp. 640-644

Weitere relevante Literatur

[25] Boldt, M.; Weiss, U.; Sigle, R.; Dropmann, U. „Modeling an ATM-Based Access Network for 3rd Generation Mobile Communication Networks“, Proc. of VTC‘98 - 47th IEEE Vehicular Technology Conference, Ottawa, Canada, 18.-21.5.1998

[26] Dropmann, Ulrich; Lamare, Christian; Lagrange, Xavier; Godlewski, Philippe „Dynamic Channel Allocation for a Micro- and Picocellular System with Overlapping Coverage“, Proc. of Mobile Kommunikation (ITG-Fachtagung) ,95, Neu Ulm, Germany, 26-28.9.95, Editor(s): VDE-Verlag, pp. 173-180

[27] Greenstein, Larry J. et al. „Microcells in Personal Communications Systems“, IEEE Communications Magazine, December 1992, pp. 76-88

[28] Heidemann, R.; Hofstetter, R.; Schmuck, H.; Lane, P. „Remoting of UMTS- and MBS- antennae by fibre optic technology“, Proc. of RACE 94 - RACE Mobile Telecommunications Workshop, Amsterdam, Netherlands, May 17-19, 1994, pp. 103-110

[29] Hess, Garry C. „Handbook of land-mobile radio system coverage“, Artech House, Inc., 1998, ISBN 0-89006-945-x

[30] Lagrange, Xavier „Multitier cell design“, IEEE Communications Magazine, vol. 35, no. 8, August 1997, pp. 60-64

[31] Lee, W.C.Y. „Smaller Cells for Greater Performance“, IEEE Communications Magazine, November 1991, pp. 19-23

[32] Lee, William C.Y. „Mobile communications design fundamentals“, 1993, Editor(s): John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-57446-5

[33] Madfors, Magnus; Wallstedt, Kenneth; Magnusson, Sverker; Olofsson, Hakan; Backman, Per-Ola; Engstrom, Stefan „High capacity with limited spectrum in cellular systems“, IEEE Communications Magazine, vol. 35, no. 8, August 1997, pp. 38-45

[34] Mouly, Michel; Pautet, Marie-Bernadette „The GSM System for Mobile Communications“, 1992, Editor(s): Mouly,M.; Pautet, M.-B., ISBN 2-9507190-0-7, 49, rue Louisie Bruneau, F-91120 Palaiseau, pp. 701

[35] Proakis J.G. „Digital Communications“, 3rd ed., McGraw-Hill, 1995, ISBN 0-07-113814-5

[36] Schwartz, S.C.; Yeh, Y.S. „On the Distribution Function and Moments of Power Sums With Log-Normal Components“, Bell System Technical Journal, vol. 61, no. 7, September 1982, pp. 1441-1462

[37] Viterbi, Andrew J.; Viterbi, Audrey M.; Gilhousen, Klein S.; Zehavi, Ephraim „Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity“, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 12, no. 8, October 1994, pp. 1281-1288

[38] Weiss, Ulrich; Dropmann, Ulrich; Godlewski, Philippe „Admission Control Guranteeing Quality of Service in Packet Access based Pico-Cellular Networks“, Proc. of the 1996 ACTS Mobile Telecommunications Summit (ACTS 96), Granada, Spain, November 27-29, 1996, pp. 204-210

[39] Weiss, Ulrich „Admission control in pico-cellular environments for packet access protocols“, Technical report ENST 96 D 004, March 1996, Editor(s): Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST) Paris, Département Réseaux, Groupe Accès et Sécurité, 46 rue Barrault, F-75634 Paris Cedex 13

Standards

[40] GSM Technical Specifications, European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Sophia Antipolis, 1995

[41] TIA/EIA/ IS-95 Interim Standard, „Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System“, July 1993, Telecommunications Industry Association