Petri Mähönen,
Rudolf Mathar,
Peter Vary

Kommunikationstechnik für das

Forschergruppen für die nächste Generation

Das Internet ist zu einem festen Bestandteil des beruflichen wie privaten Alltags geworden, mit einer stark steigenden Tendenz der Nutzung. Über Telefonleitungen ist der Zugang zum Internet mittels DSL-Technik (Digital Subscriber Line) nahezu überall in Deutschland kostengünstig verfügbar. Auch der Internetzugang über Mobilfunknetze gewinnt stark an Bedeutung. Die Datenraten liegen hier jedoch deutlich niedriger, während wesentlich höhere Kosten anfallen. Dies basiert in erster Linie auf den physikalischen Eigenschaften der Funkausbreitung und der Knappheit der verfügbaren Frequenzen.

Forschergruppen des Aachener Exzellenzclusters UMIC, Ultra High-Speed Mobile Information and Communication, haben sich zum Ziel gesetzt, Grundlagen und Konzepte für die nächste Generation des Mobilfunks zu entwickeln. Es geht dabei um die massive Steigerung von Teilnehmerzahlen und Datenraten durch effizientere Nutzung der Frequenzen und um die kostengünstigere Auslegung von Endgeräten und Funknetzen.

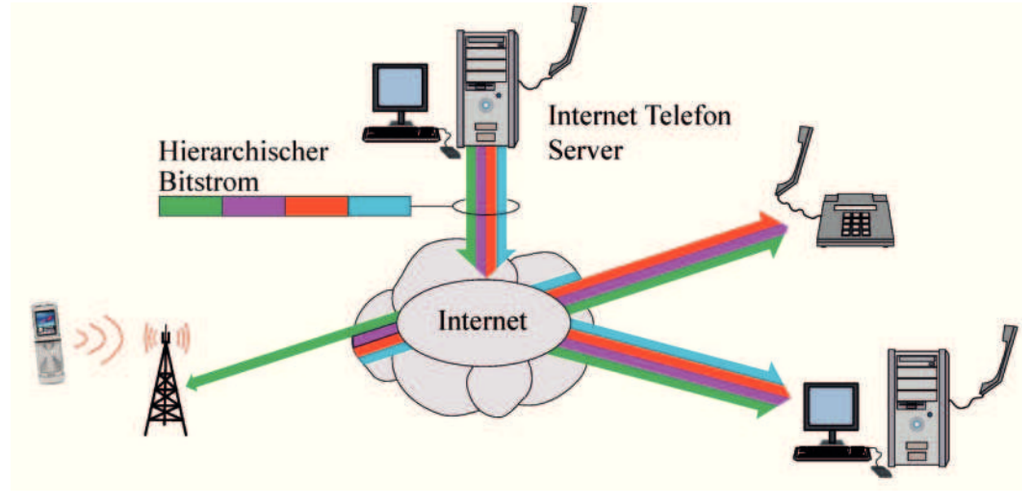


Bild 1: Internet-Telefonie mit hierarchischer Quellencodierung für heterogene Netzzugänge.

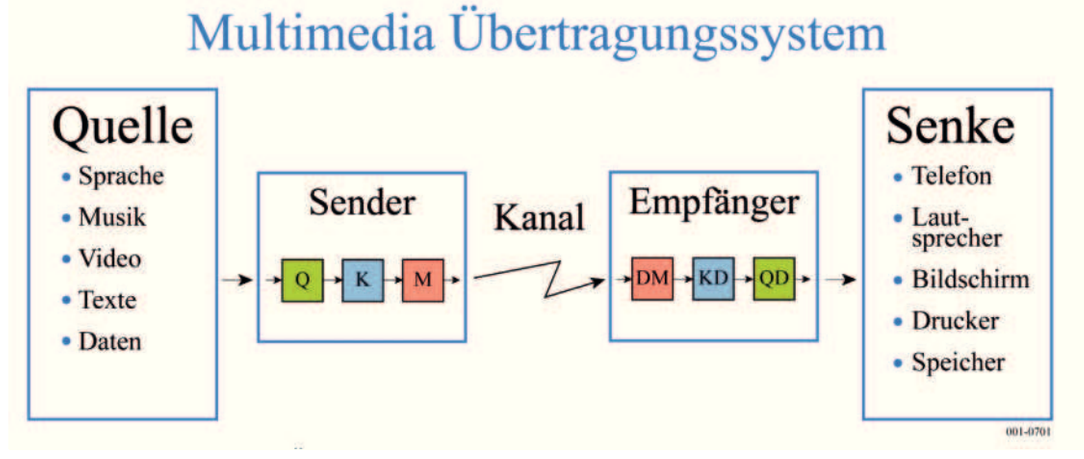


Bild 2: Die Multimedia Übertragungskette.

Q = Quellen-Codierung;
K = Kanal-Codierung;
M = Modulation

DM = Demodulation;
KD = Kanal-Decodierung;
QD = Quellen-Decodierung

Die derzeitigen Mobilfunk-Standards

Mit einem GSM-Telefon, das den Standard der aktuellen Generation darstellt, kann man inzwischen über Funk auf das Internet zugreifen. Im so genannten GPRS Daten-Modus (General Packet Radio Service) lassen sich zum Beispiel E-Mails empfangen und versenden. In der Praxis werden Datenraten erzielt, die etwa der halben ISDN Geschwindigkeit entsprechen.

Mobilfunknetze nach dem UMTS-Standard (Universal Mobile Telecommunications System) werden zurzeit auf- und ausgebaut. Unter normalen Bedingungen erzielt man mit dieser Technik für den Download typisch die zweifache ISDN-Geschwindigkeit. Die Netzbetreiber haben damit begonnen, den zusätzlichen höherratigen Datenmodus HSPA (High-Speed Packet Access) nachzurüsten. Dieser verbesserte Modus wird wegen der hohen Investitionen vorerst nur in Ballungsräumen in der Nähe von Basisstationen verfügbar sein.

Die nächste Generation

Next Generation Mobile Networks (NGMN) steht für eine Initiative der weltweit führenden Netzbetreiber zur Entwicklung eines neuen Breitband-Mobilkommunikations-Standards. Folgende Aussage von Dr. Horst Lennertz, Chief Technical Officer von KPN Mobile, macht die amitionierte Zielsetzung deutlich: „Im Hinblick auf Kosten und Leistung wird sich NGMN so dicht wie möglich an dem DSL-Standard orientieren – von Anfang an und in Zukunft."

Die wissenschaftlichen Themen des UMIC-Clusters, das unabhängig und nahezu zeitgleich etabliert wurde, korrespondieren in sehr hohem Maße mit diesen Zielsetzungen. Die beteiligten Forschergruppen bauen auf einer Vielzahl von Vorarbeiten für internationale Standardisierungsgremien, Netzbetreiber und System-Hersteller auf. In den „RWTH-Themen", Ausgabe 2/2006, wurden bereits in einem Beitrag drei Beispiele aus dem Bereich der Funkübertragung und der Funknetzorganisation vorgestellt.

Das Internet-Telefon

In den mobilen und festen Telefonnetzen zeichnet sich der Übergang zur Internet-Telefonie ab. Dabei soll gleichzeitig das bisher übertragene Audio-Frequenzband von circa 0.3 - 3.4 Kilohertz auf circa 0.05 - 7.0 Kilohertz erweitert werden (Hi-Fi-Telefon). Es wird ein Codierverfahren benötigt, das sowohl die bisherige Telefonqualität als auch das erweiterte Audio-Fre-

mobile Internet von morgen
legen Grundlagen des Mobilfunks

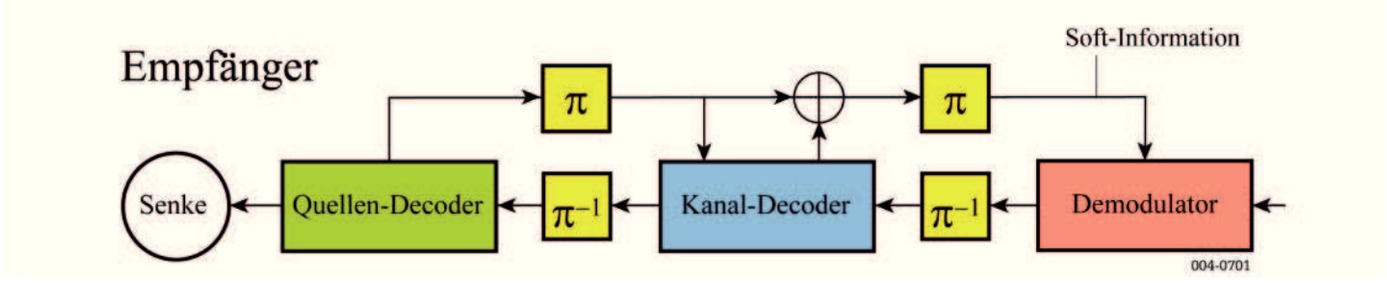


Bild 3: Empfänger mit Turbo-Signalverarbeitung (Turbo Decodulation).

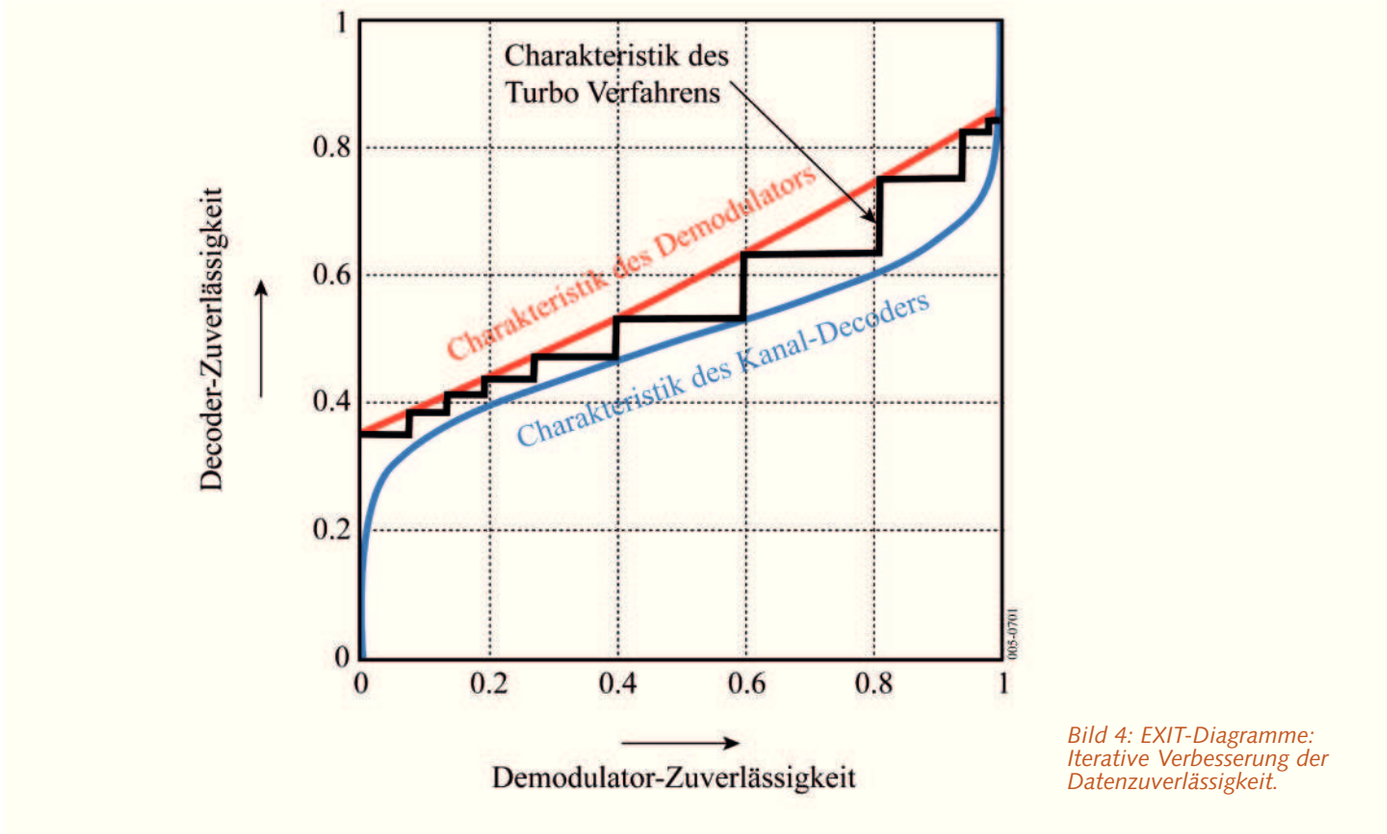


Bild 4: EXIT-Diagramme: Iterative Verbesserung der Datenzuverlässigkeit.

quenzband abdeckt. Zudem sollte die Datenrate flexibel an die jeweilige Kanalqualität und Netzauslastung angepasst werden können.

Ein Kompressionsverfahren (Codec), das diese Anforderungen erfüllt, wurde kürzlich von einem internationalen Konsortium unter maßgeblicher Beteiligung des RWTH-Instituts für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung (IND) entwickelt. Es handelt sich um ein hierarchisches Kompressionsverfahren mit Bitraten von 8.0 bis 32 Kilobit pro Sekunde. Ab einer Datenrate von 14 Kilobit pro Sekunde wird bereits die größere Audiobandbreite von 7 Kilohertz erreicht. Mit zunehmender Datenrate verbessert sich die Qualität, insbesondere für Musiksignale. Aufgrund des hierarchischen Bitstroms können an jeder Stelle des Übertragungsweges bestimmte Teile des Datenstroms unterdrückt werden, wenn die momentane Netzauslastung dies verlangt. Diese Situation kann, wie in Bild 1 veranschaulicht, sowohl im Internet als auch beim Übergang vom Festnetz auf die Mobilfunkstrecke auftreten. Der neue Codec bietet insgesamt zwölf unterschiedliche Bitraten. Die Rechenkomplexität liegt je nach Betriebsart zwischen zwölf und 36 Millionen Prozessor-Operationen pro Sekunde.

Die Turbo-Verarbeitung

Die wesentlichen Teilkomponenten einer Multimedia-Übertragungskette werden in Bild 2 dargestellt. Auf der Sendeseite wird mittels Quellencodierung (Q) eine Datenkompression durchgeführt. Es folgen die Kanalcodierung (K) für den Fehlerschutz und die Modulation (M) für die Funkübertragung. Nach Übertragung über den gestörten Funkkanal sind auf der Empfangsseite die komplementären Funktionen auszuführen.

Für die nächste Generation der Mobilfunksysteme kommen nur Übertragungsverfahren in Frage, die empfangsseitig Zuverlässigkeitsinformationen mittels Turbo-Signalverarbeitung iterativ nutzen. Dieses Konzept wurde am IND im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geför-

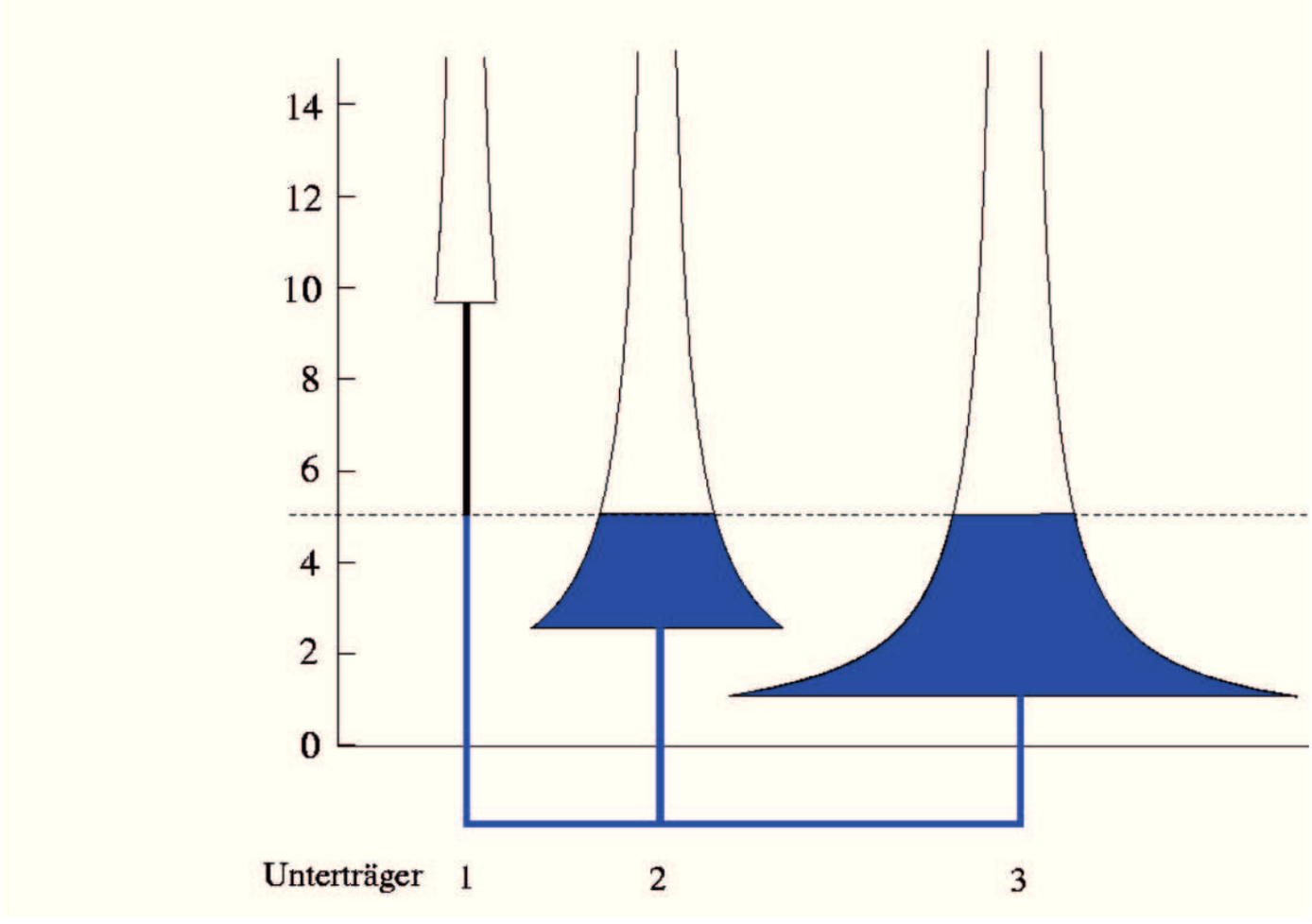


Bild 5: „Wasserfüllen" als Optimierungsprinzip für die Ressourcenzuweisung.

derten Projektes auf die Kombination von Demodulation, Kanaldecodierung und Quellendecodierung erweitert. Dieses neuartige Verfahren wird als Turbo-Decodulation bezeichnet. Das Prinzip wird in Bild 3 erläutert. In mehreren Iterationen liefert jeder Block des Empfängers ein vorläufiges Zwischenergebnis, das in der nächsten und/oder in der vorhergehenden Stufe zur weiteren Verbesserung genutzt wird. Mit diesen Methoden lassen sich die erzielbaren Datenraten erheblich steigern und die knappen Frequenzen wesentlich effizienter nutzen.

Zur Analyse des Konvergenzverhaltens und als Hilfsmittel für die Systemoptimierung werden informationstheoretische EXIT-Charts (Extrinsic Information Transfer) eingesetzt. Bild 4 zeigt anhand eines derartigen Diagramms, wie sich zwei Komponenten gegenseitig unterstützen und nach zehn Iterationen ein zuverlässiges Ergebnis erzielen.

Die Kanaloptimierung

Typischerweise unterliegen Funksignale irregulären Schwankungen durch Abschattung, Beugung und Reflexion, insbesondere wenn sich Sender oder Empfänger als mobile Stationen bewegen. Die hierdurch verursachten Einbrüche in der Empfangsleistung sind nicht gleichmäßig über das gesamte genutzte Frequenzband verteilt, sondern fallen in verschiedenen Frequenzen unterschiedlich stark aus. Um die starken Verluste in einem Bereich zu umgehen und stattdessen die wenig gedämpften Frequenzen zu nutzen, wird das gesamte Band in so genannte orthogonale Unterträger aufgeteilt. Diese Idee wird ebenfalls bei dem oben erwähnten DSL und den aktuellen WLAN-Zugängen realisiert.

Wenn mehrere Nutzer im System sind, müssen sie sich die Unterträger teilen und zwar so, dass keine zwei Nutzer dieselben verwenden. Die Qualität jedes Unterträgers kann für jeden Nutzer anders aussehen, es werden ja in der Regel räumlich verschiedene Verbindungen bedient. Am Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik wird das Problem untersucht, wie man mit minimaler Sendeleistung eine für jeden Benutzer vorgegebene Mindestrate bei der Übertragung erzielen kann. Dies ist ein schwieriges Optimierungsproblem, dessen exakte Lösung sehr lange Rechen-



Bild 6: Mit Hilfe von Kunstkopfmesstechnik werden die akustischen Bedingungen beim mobilen Telefonieren untersucht. Ziel ist die Verbesserung der Sprachqualität und der Verständlichkeit in gestörter Umgebung.
Foto: Peter Winandy



Bild 7: Mit Simulationssoftware, die große Bereiche von Mobilfunknetzen abbildet, wie hier ein UMTS-Simulator, werden neue Optimierungsverfahren zur Steigerung von Qualität und Kapazität der Netze erforscht. Dabei werden auch Messungen und Planungsdaten realer Mobilfunknetze einbezogen. Foto: Peter Winandy

zeit erfordert. Deshalb werden Heuristiken gebraucht, die zwar nicht das exakte Optimum aber eine nahe daran liegende Lösung bestimmen, und dies mit einem Rechenaufwand, der von einem digitalen Signalprozessor in Echtzeit bewältigt werden kann.

Nachdem die Zuweisung der Nutzer auf die Unterträger festgelegt ist, wird die optimale Leistungszuweisung für jeden einzelnen Anwender durch Bild 5 veranschaulicht. Man stelle sich umgedrehte Sektkelche der angegebenen Form vor, die am Boden verschlossen sind. Jeder repräsentiert durch seine Form und Höhe über Grund die aktuelle Güte des zugehörigen Unterträgers. Die Kelche sind durch dünne Röhren verbunden, durch die Flüssigkeit von einem in den anderen fließt. Nun gießt man Wasser in das System, die Höhe des Wasserstands wird durch die verbindenden Röhren überall dieselbe sein. Die Menge des eingefüllten Wassers wird durch die blauen Flächen dargestellt, jede einzelne entspricht der auf dem Unterträger übertragenen Datenrate. Die Gesamtfläche repräsentiert die zu übertragende Gesamtrate. Die mit diesem Verfahren erzielte Verteilung der Datenraten auf die Unterträger repräsentiert die optimale Lösung.

Die jeweils benötigte Leistung lässt sich leicht aus der bekannten Abhängigkeit zwischen Datenrate und Leistung ermitteln. Im Beispiel wird die höchste Datenrate mit entsprechender Leistung auf Unterträger 3 übertragen. Unterträger 1 wird wegen seiner schlechten Qualität ganz vermieden, da der Wasserstand so hoch nicht reicht. Zur rechnerischen Bestimmung der graphisch anschaulichen Lösung werden am Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik ebenfalls schnelle Algorithmen entwickelt.

Die Selbsterkennung

Das Konzept der Cognitive Wireless Networks, was frei übersetzt selbst erkennende drahtlose Netzwerke bedeutet, ist eines der wissenschaftlichen und interdisziplinären Komponenten der UMIC-Arbeit. Die zu Grunde liegende Idee bei Cognitive Radios ist, neue „schlaue" Kommunikationssysteme zu entwickeln, die über die folgenden Fähigkeiten verfügen:

- Die Mobilfunkgeräte lernen von Ihrer Umgebung und durch Ihre Erfahrungen mit Hilfe von Signalverarbeitungsmethoden und Ansätzen des Maschinenlernens mit dem Ziel der Systemoptimierung.
- Sie passen sich den Vorlieben des Nutzers an und ahnen diese voraus, was zum Beispiel die Auswahl passender Quellenkodierungsverfahren einschließt.
- Sie verfügen über Wissen zur Spektrums- und Netzressourcennutzung und setzen solche Informationen intelligent ein, um insbesondere das Ver-



halten der Funkempfänger und damit beispielsweise die verwendete Frequenz oder andere Netzparameter anzupassen.

Diese Arbeit wird in enger Kooperation von mehreren UMIC-Gruppen durchgeführt. Der Hauptbaustein, der vom Lehrstuhl für Mobilfunknetze entwickelt wird, ist ein sogenannter „Cognitive Resource Manager", der auch hochentwickelte Methoden des Maschinenlernens beinhaltet. Die Arbeit für UMIC wird nicht nur von der erweiterten Prototypenentwicklung profitieren, sondern auch die einzigartige Möglichkeit bieten, die fundamentalen Eigenschaften dieser Systeme zu erforschen, wie zum Beispiel das Treffen verteilter Entscheidungen bei unvollständiger Information. Der Lehrstuhl für Mobilfunknetze hat unter anderem ein Konzept entwickelt, das die Wahrscheinlichkeit für schädliche Paketkollisionen in populären Hotspots, also den drahtlosen Internetzugangspunkten, deutlich verringert.

Autoren:
Univ.-Prof. Dr. Petri Mähönen ist Lehrstuhlinhaber für Mobilfunknetze.
www.mobnets.rwth-aachen.de
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Rudolf Mathar ist Lehrstuhlinhaber für Theoretische Informationstechnik.
www.ti.rwth-aachen.de
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Vary ist Inhaber des Lehrstuhls für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung.
www.ind.rwth-aachen.de

Bild 8: Wissenschaftler des Exzellenzclusters UMIC entwickeln Grundlagen und Konzepte für die nächste Generation des Mobilfunks. Ein wesentliches Merkmal ist die enge Verzahnung der beteiligten Lehrstühle. Die interdisziplinären Teilprojekte umfassen unter anderem die Themen Chipentwurf, Übertragungstechnik, Funknetzarchitekturen und Anwendungen.
Foto: Peter Winandy