

IBMS² - Integriertes Bandbreiteneffizientes Mobiles Software-Radio System

Tim Hentschel, Technische Universität Dresden

Holger Karl, Technische Universität Berlin

Kurzbeschreibung:

Das Projekt IBMS² ist eines von drei Systemkonzepten des Forschungsschwerpunktes hyperNET, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert werden. HyperNET steht für „Universelle Nutzung von Kommunikationsnetzen für künftige Mobilfunkgenerationen“.

Ziel der Arbeit innerhalb des Systemkonzeptes ist der Nachweis, dass zusätzliche Nutzer in einem „single-hop relay“ Mobilfunksystem zur Steigerung der Gesamtnetzkapazität beitragen können. Um den Netzzugang standardtransparent zu gestalten, werden softwaredefinierte Mobilstationen verwendet, die im Idealfall an alle verfügbaren Luftschnittstellen angepasst werden können.

Problemstellung:

Im Systemkonzept IBMS² wird eine Antwort auf die Frage gesucht, inwieweit Teilnehmer in einem Kommunikationssystem zur Erhöhung der Gesamtmenge an Verkehr, der bewältigt werden kann, beitragen können, indem sie für andere Stationen als Relaisstationen agieren. In jeder Verbindung soll es maximal eine Relaisstation geben. Eine derartige Verbindung wird als „single-hop relay“ Verbindung bezeichnet.

Somit soll im Rahmen des Projektes ein grundsätzliches Problem breitbandiger Mobilkommunikation bearbeitet werden, das folgendermaßen formuliert werden kann:

In einer gegebenen Zelle eines Mobilkommunikationssystemes, bei einer gegebenen Menge an Ressourcen (insbesondere Breite des benutzten Funkspektrums) kann nur eine endliche Menge von Teilnehmer mit einer bestimmten Datenrate versorgt werden. Möchten mehr Teilnehmer Daten übermitteln, so sinkt die Datenrate für den Einzelnen.

Zwar würde die Nutzung von zusätzlichem Spektrum Abhilfe schaffen, dies ist aber sowohl technisch als auch wirtschaftlich in der Regel nicht möglich (die Spektrumsversteigerungen für UMTS haben den großen Wert dieser knappen Ressource deutlich gemacht). Deshalb werden andere technische Lösungen benötigt, die einem wachsenden Teilnehmerkreis gleichbleibende Datenraten zur Verfügung stellen können, oder alternativ einem gleichbleibendem Benutzerkreis wachsende Datenraten zur Verfügung stellen können.

Einer der Hauptgründe für die Reduktion der Gesamtkapazität einer Zelle bei Erhöhung der Nutzerzahl besteht in der Erhöhung der Interferenz. Je nach benutzter technischer Realisierung der Radiübertragung kann es sich dabei um Interferenz innerhalb einer Zelle oder auch um Interferenz zwischen verschiedenen Zellen handeln. In beiden Fällen stammt ein wesentlicher Teil der Interferenz von Stationen, die mit großem Energieaufwand eine große Entfernung zu den jeweiligen Basisstationen überwinden müssen. Der physikalische Grund für diesen Energieaufwand liegt darin, dass sich Radiowellen als Kugelwellen ausbreiten und daher die Leistung, die nach einer bestimmten Entfernung noch empfangen werden kann, mindestens quadratisch mit dieser Entfernung abfällt; in vielen Umgebungen, wie etwa Büros, sinkt die Leistung sogar proportional zur dritten oder vierten Potenz der Entfernung.

Idee:

Wird die Sendeleistung von Stationen, die weit von der Basisstation entfernt sind, reduziert, sinkt die Interferenz, und die Gesamtkapazität einer Zelle steigt prinzipiell. Allerdings ist eine solche weit entfernte Station nicht mehr in der Lage, fehlerfrei (oder zumindest mit geringer

Fehlerrate) mit der Basisstation zu kommunizieren. Eventuell ist aber die Kommunikation mit einem anderen Teilnehmer möglich, der sich zwischen dem weit entfernten Teilnehmer und der Basisstation befindet. Dieser sich im günstigsten Falle „auf halber Strecke“ befindende Teilnehmer könnte dann die Daten weiterreichen. Dies ist der Grundgedanke des Relaisverfahrens.

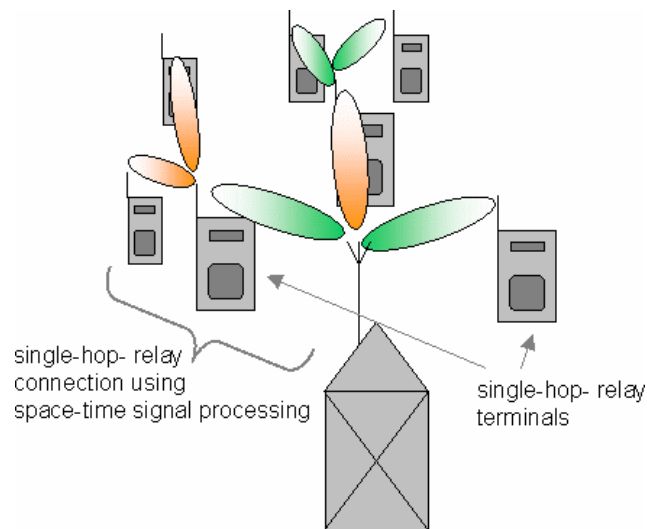


Abbildung 1: Prinzip der „single-hop relay“ Verbindungen

Bisherige analytische Arbeiten haben gezeigt, dass Kapazitätssteigerungen möglich sind und dass in praktisch allen in der Realität vorkommenden Fällen der Relaisansatz der herkömmlichen, direkten Kommunikation ebenbürtig ist, und dass eine Steigerung der Gesamtkapazität bis über 40% möglich ist. Weitere Untersuchungen komplexer Szenarien, gestützt auf ein ausführliches Simulationsmodell, werden durchgeführt.

Eine Methode zur zusätzlichen Reduzierung der Interferenz besteht in der Nutzung von Raum-Zeit-Signalverarbeitung (intelligente Antennen). Das Prinzip der Raum-Zeit-Signalverarbeitung besteht darin, nur in die Richtungen zu senden, in denen sich das Signal gut ausbreiten kann und aus denen der Empfänger es gut empfangen kann. Auf diese Weise wird unnötige Interferenz vermieden.

Software-Radio Aspekt:

Die Software-Radio Aspekte innerhalb dieses Systemkonzeptes, in dem es zunächst scheinbar nur um die Steigerung der Bandbreiteneffizienz geht, gründen auf rein praktischen Überlegungen: Ein völlig neues Kommunikationssystem einzuführen, ist mit enormem Aufwand und hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Idee der „single-hop relay“ Verbindungen auf dem Wege von „Upgrades“ in vorhandene Kommunikationssysteme einzuführen. Notwendige Veränderungen müssen sowohl auf der Protokollebene als auch auf der Signalverarbeitungsebene erfolgen. Bisher ist insbesondere die Signalverarbeitung sehr stark hardware-determiniert. Viele Funktionen in den Endgeräten (Sender und Empfänger) werden durch festverdrahtete Komponenten ausgeführt. In solchen Geräten ist es sehr schwer, wenn nicht sogar unmöglich, neue Funktionen in Form von „Upgrades“ einzubringen.

Die Idee des Software-Radios bietet die Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen. Werden die Hauptfunktionen eines Gerätes durch Software definiert, dann können diese Funktionen durch Neuprogrammieren (d.h. durch Laden neuer Software) neu definiert werden.

Obwohl die Idee des Software-Radios schon geraume Zeit existiert, hat sie sich in der Praxis noch nicht durchgesetzt. Das liegt an dem relativ hohen Rechenaufwand, der für viele Signalverarbeitungsalgorithmen im Mobilfunk notwendig ist, in Verbindung mit der im Mobilfunk über allem stehenden Aufgabe, den Leistungsverbrauch insbesondere der

Mobilterminals zu minimieren. In den meisten Fällen kann der erforderliche Rechenaufwand bei begrenzter Leistungsaufnahme nur mit dedizierten festverdrahteten Schaltungen realisiert werden. Software-programmierbare Prozessoren mit vergleichbarer Leistungsfähigkeit existieren bisher nicht.

In einzelnen Teilprojekten des Systemkonzepts IBMS² werden spezielle „System-on-Chip“ Lösungen untersucht und realisiert, die eine leistungssparende Hardware-Plattform für Software-Radios bieten sollen.

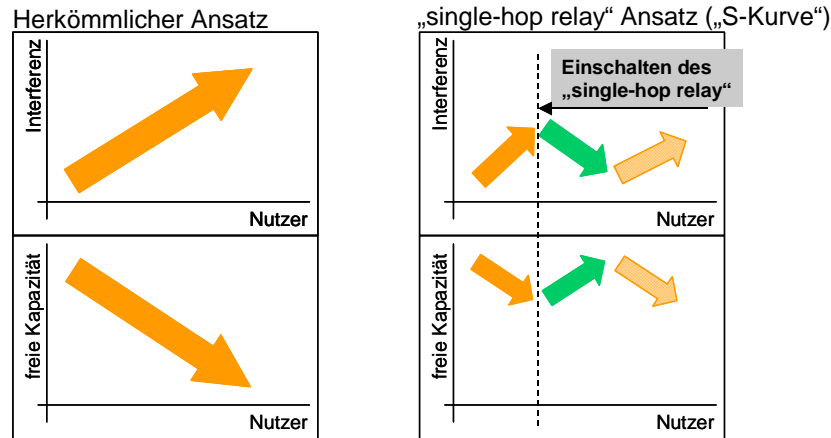


Abbildung 2: Prinzip der Interferenzreduktion durch Einschalten eines „single-hop relay“

Teilprojekte:

Innerhalb des Systemkonzeptes IBMS² werden fünf Teilprojekte bearbeitet, jeweils eines von den Unternehmen Infineon AG, Systemonic AG, dem IHP Frankfurt/Oder sowie den Technischen Universitäten Berlin und Dresden.

Entwicklung und Aufbau von kompletten HiperLAN-Funkteilen bei 5 GHz (Infineon Technologies AG)

Die Infineon Technologies AG befasst sich mit Funkteilen zukünftiger Software-Radio Mobilfunksysteme. Als vorteilhafte Systemarchitektur wurden Direktmischarchitekturen identifiziert (siehe Abbildung 3). Neben dem Entwurf steht auch die Realisierung dieser Funkteile einschließlich neuartiger Gehäusetechnologien im Vordergrund. Die Konzepte werden am Beispiel von HiperLAN/2 verifiziert.

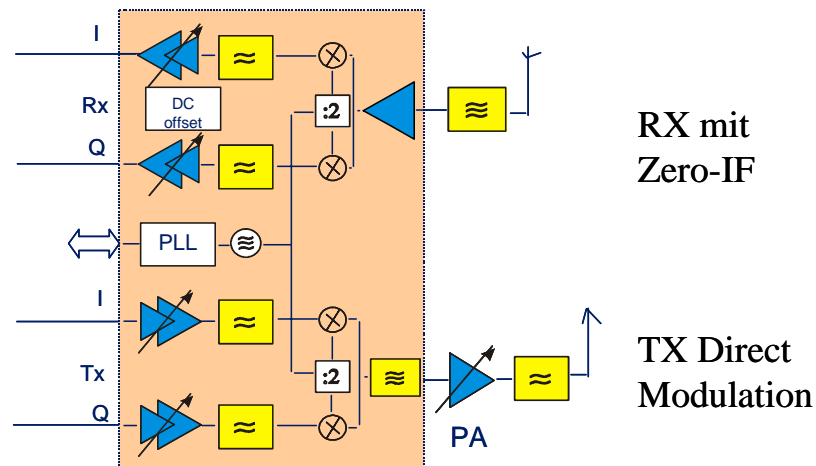


Abbildung 3: Direktmischarchitektur eines Funkteils der Infineon AG

Hardware-Architektur und -Plattform für Software-Radio (Systemonic AG)

Auf Basis des eigenen Prozessorkonzeptes wird bei der Systemonic AG ein software-programmierbarer Basisbandchip entworfen und realisiert. Dieser Chip stellt die notwendige Rechenleistung bei der für mobile Endgeräte notwendigen niedrigen Leistungsaufnahme zur Verfügung. Wesentliche Funktionen werden mittels Software realisiert und auf einem speziellen Prozessorkern abgearbeitet. Damit gehört der HiperSonic Chip zu den ersten auf der Welt, in denen wesentliche Teile des Software-Radio-Konzeptes für breitbandige Übertragung umgesetzt werden. Zur Verifikation wird der Standard HiperLAN/2 herangezogen.

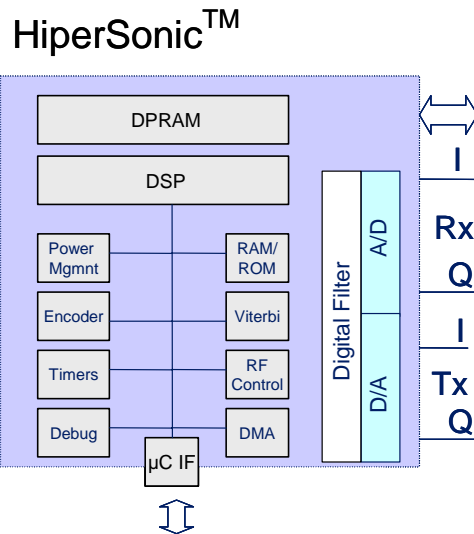


Abbildung 4: Aufbau des HiperSonic Prozessors der Systemonic AG

Single-Chip Wireless Engine für optimales Breitbandkommunikationssystem (IHP Frankfurt/Oder)

Wesentliches Ziel der Arbeiten am IHP ist die Integration der gesamte Funktionalität eines 5 GHz Modems auf einem Chip. Dadurch sollen nicht nur die Systemkosten gesenkt, sondern soll auch eine layerübergreifende Optimierung zur verbesserten Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems erreicht werden. In Abbildung 5 ist die Vision einer „Single-Chip Wireless Engine“ dargestellt, die vom IHP als Basis für breitbandige drahtlose Kommunikationssysteme angesehen wird. Für die Single-Chip Integration bietet die am IHP entwickelte SiGe:C BiCMOS Technologie die besten Voraussetzungen. Im Hinblick auf das Funkteil wird beim IHP eine Lösung mit Zwischenfrequenz angestrebt (im Gegensatz zum Ansatz der Direktmischung, der von der Infineon Technologies AG verfolgt wird).

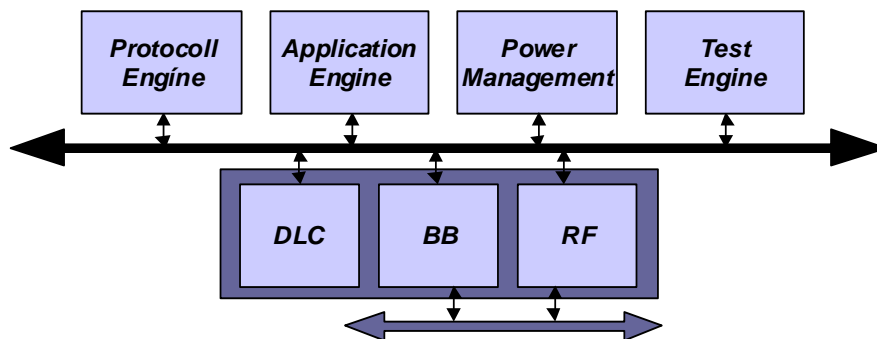


Abbildung 5: "Single-Chip Wireless Engine" - Basis für drahtlose Kommunikationssysteme der Zukunft (IHP Frankfurt/Oder)

Kommunikationsarchitekturen und Protokolle zur Steigerung von Kapazität und Energieeffizienz in mobilen Kommunikationssystemen mit "single-hop-relay" Verbindungen (Technische Universität Berlin)

Im Teilprojekt der TU Berlin liegt der Schwerpunkt auf drei Aspekten: Steigerung der Kapazität, Optimierung der Energieeffizienz und Protokollfunktionalität zur Durchführung des eigentlichen Relaisverkehrs. Zu Kapazitäts- und Energieeffizienzoptimierung werden geeignete Routing- und Scheduling-Verfahren sowohl durch Analyse als auch durch Simulation untersucht. Ziel sind dabei sowohl eine Abschätzung des möglichen Gewinns als auch praktikable Verfahren, die anhand von tatsächlich in einem realen System meßbaren Größen ein Relaisystem organisieren und adaptieren können (z.B. bei Bewegung der Teilnehmer muß ggf. die Wahl des Relaisknotens geändert werden). Unterstützend hierfür werden Protokollerweiterungen für HiperLAN/2 entwickelt, die solche Größen signalisieren, Routing-Entscheidungen implementieren und die eigentliche Weiterleitung des Datenverkehrs in einem Relaisknoten umsetzen können.

Kapazitätssteigerung durch Raum-Zeit-Signalverarbeitung in zellularen Mobilfunknetzen mit "single-hop relay"- Verbindungen (Technische Universität Dresden)

Der Schwerpunkt der Arbeiten der TU Dresden liegt auf Untersuchungen zur Kapazitätssteigerung sowohl durch Raum-Zeit-Signalverarbeitung als auch durch den Einsatz von „single-hop relay“ Verbindungen. Im Rahmen der Untersuchungen zur Raum-Zeit Signalverarbeitung spielen vor allem Verfahren der spektralen und räumlichen Vorverzerrung und der daran angepassten Entzerrung eine Rolle. Durch Anwendung dieser Verfahren werden die räumlich-spektralen Eigenschaften des Übertragungskanal ausgenutzt („es wird nur dort gesendet, wo auch etwas empfangen werden kann“). Hinsichtlich der Kapazitätssteigerung durch „single-hop relay“ Verbindungen werden hauptsächlich analytische Untersuchungen durchgeführt, um die mögliche Kapazitätssteigerung abschätzen zu können (Nachweis der „S-Kurve“ in Abbildung 2).

Versuchseinrichtung („Testbed“):

Im Rahmen des Systemkonzeptes IBMS² wird von den Partnern der Teilprojekte eine Versuchseinrichtung aufgebaut. Diese Versuchseinrichtung wird nach ca. zwei Dritteln der Projektlaufzeit (Mitte 2002) verfügbar sein, so dass die Konzepte eines Kommunikationsnetzes mit „single-hop relay“ Verbindungen nicht nur nachgewiesen sondern vor allem intensiv untersucht werden können. Die Versuchseinrichtung wird aus mehreren Terminals bestehen, deren Aufbau in Abbildung 7 skizziert ist.

Je nach der thematischen Ausrichtung der Teilprojekte tragen die unterschiedlichen Partner zur Versuchseinrichtung bei.

Die Infineon AG und das IHP Frankfurt/Oder stellen das Funkteil zur Verfügung. Es basiert auf einem Konzept mit Zwischenfrequenz. Da die Versuchseinrichtung weit vor Projektende verfügbar sein soll, wird beim Funkteil eine diskrete Lösung verfolgt, die schneller realisierbar ist, als eine integrierte Lösung. Die bei der Realisierung gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur integrierten Lösung mit ein. Von der Infineon AG stammen die Komponenten zur Hochfrequenzsignalverarbeitung (Mischer, LNA, PLL, VCO). Das Zwischenfrequenzteil wird vom IHP Frankfurt/Oder entwickelt und realisiert (Abbildung 6).

Mit dem Digitalteil der Signalverarbeitung in Form eines kompletten „boards“, auf dem der HiperSonic eingebettet ist, und der dazu gehörigen Software stellt die Systemonic AG die komplette Plattform zur Basisbandsignalverarbeitung (HiperLAN/2) zur Verfügung. Hard- und Software zur Protokollverarbeitung stammen vom IHP Frankfurt/Oder.

Mit diesen Komponenten steht ein komplettes HiperLAN/2 Kommunikationssystem zur Verfügung, dessen besondere Eigenschaft die Software-Programmierbarkeit ist. Die über das HiperLAN/2 Protokoll hinaus gehenden Ergänzungen zum Betrieb von „single-hop relay“ Verbindungen werden an der TU Berlin entwickelt und, aufbauend auf der grundlegenden Protokollimplementierung des IHP, auf der Versuchseinrichtung implementiert, erprobt und untersucht.

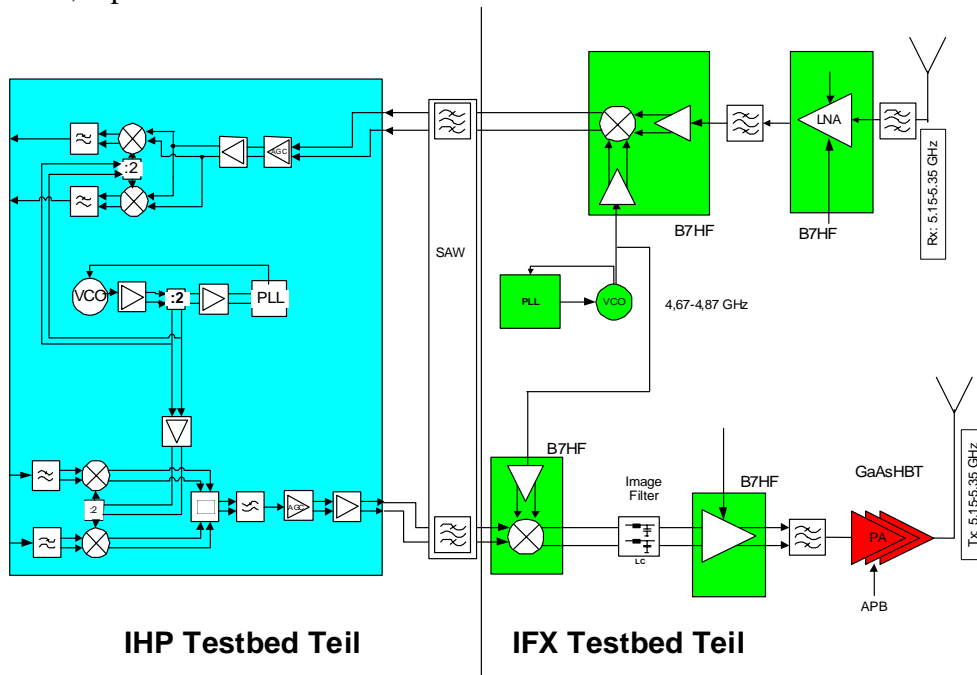


Abbildung 6: Struktur des Funkteils der Versuchseinrichtung

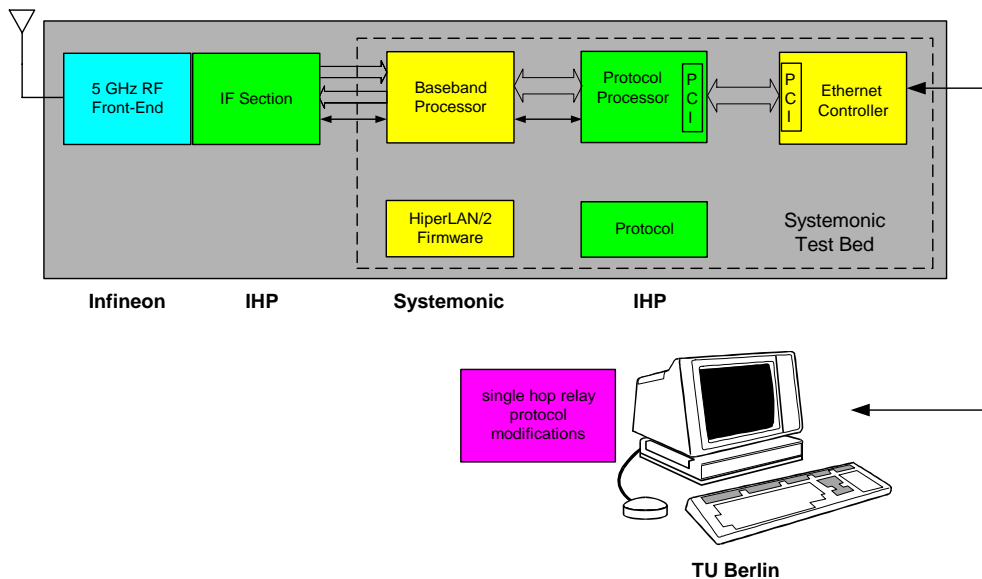


Abbildung 7: Prinzipieller Aufbau eines Terminals der Versuchseinrichtung

Kontakt

www.ibms-2.de