Effiziente Detektionsverfahren für Multilayer-MIMO-Systeme

Dipl.-Ing. Dirk Wübben

Der Wunsch mit der drahtlosen Datenkommunikation höhere Datenraten zu erreichen, setzt die konsequente Ausnutzung der zur Verfügung stehenden physikalischen Ressourcen voraus. Besondere Bedeutung kommt der bislang wenig berücksichtigten Ressource Raum zu, welche sich beispielsweise durch die Verwendung mehrerer Antennen am Sender und am Empfänger erschließt. Bei dem im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden Multilayer-MIMO-System V-BLAST werden hierzu die Daten am Sender in mehrere unabhängige Datenströme, den so genannten Layern, aufgeteilt und gleichzeitig ausgestrahlt. Bedingt durch die Überlagerung der Signale am Empfänger ist eine einfache Datendetektion nicht länger möglich und erfordert vielmehr angepasste Methoden der Signalverarbeitung.

Die Analyse dieser Konzepte und die Entwicklung neuer Ansätze zur recheneffizienten Detektion bilden den Schwerpunkt dieser Dissertation. Hierzu werden verschiedene Empfängerstrukturen sowohl unter der Annahme nicht-frequenzselektiver als auch frequenzselektiver Übertragungskanäle präsentiert. Dabei erweist sich die schrittweise Detektion als guter Kompromiss zwischen Komplexität und Leistungsfähigkeit. Mit dem für nicht-frequenzselektive Übertragungsszenarien entwickelten Ansatz auf Basis der sortieren QR-Zerlegung lässt sich der hierzu notwendige Rechenaufwand deutlich verringern, wobei nur ein marginaler Unterschied zu der optimalen schrittweisen Detektion festzustellen ist. Dieses wird anhand von Monte-Carlo-Simulationen und einer eingehenden Komplexitätsanalyse gezeigt.

Ein weiterer viel versprechender Ansatz ist mit der aus der Gittertheorie bekannten Gitterbasisreduktion in Kombination mit der schrittweisen Detektion gegeben. Die hier gezeigte Weiterentwicklung im Sinne des MMSE-Kriteriums erzielt dabei nahezu die Güte der optimalen Detektion. Im Vergleich zu den aus der Literatur bekannten Ansätzen resultiert dies in einer deutlichen Verbesserung der Detektionsgüte bei gleichzeitiger Verringerung der Komplexität.

Bei frequenzselektiven Szenarien tritt neben der räumlichen auch eine zeitliche Überlagerung der Signale auf und resultiert daher in einem zweidimensionalen Entzerrungsproblem. Zur Lösung der sich stellenden Aufgabe wird die Impulsverkürzung von MIMO-Systemen und die Erweiterung der schrittweisen Detektion für frequenzselektive Kanäle untersucht. Die direkte Anwendung der verschiedenen für nicht-frequenzselektive Kanäle vorgestellten Konzepte ist mit Hilfe der Transformation in eine Vielzahl flacher MIMO-Kanäle im Sinne des bekannten OFDM oder der Frequenzbereichsentzerrung möglich. Hierbei erreicht die Verallgemeinerung der sortierte QR-Zerlegung auf mehrere parallele Kanäle wiederum eine deutliche Komplexitätsreduktion gegenüber den Verfahren aus der Literatur.

Effizient Detection Algorithms for Multilayer-MIMO-Systems

Dipl.-Ing. Dirk Wübben

The wish to obtain higher data rates in wireless data communication requires the consistent exploitation of the available physical resources. Special interest will be donated to not yet exploited resource space, which is available by the application of several antennas at the transmitter and the receiver. This thesis focusses on the multilayer MIMO system, where the data is divided at the transmitter into several data streams and emitted simultaneously. Due to the superposition of the data at the receiver simple detection of the data is no longer possible and thus requires new adapted methods from signal processing.

This thesis prioritizes the analysis of these concepts and the development of new approaches for efficient detection. Therefore, several receiver architectures for non-frequency selective and for frequency selective transmission channels are presented. The successive detection will prove to yield a good compromise between complexity and performance. With the developed approach on basis of a sorted QR decomposition the required complexity is clearly reduced with only a marginal difference to the optimal successive detection. This fact is shown with respect to Monte-Carlo simulations and a detailed analysis of complexity.

A further promising approach is given by the combination of successive detection with lattice reduction, a well known tool from lattice theory. The developed enhancement with respect to the MMSE criterion realizes almost the performance of the optimal detection. In comparison to the schemes known from literature this results in an obvious improvement of the detection quality with simultaneously decreasing the complexity.

Within frequency selective scenarios spatial and temporal superposition of the signals occurs and results in a two dimensional equalization problem. To solve this task, the impulse shortening of MIMO systems and the extension of the successive detection method to frequency selective channels are investigated. In order to apply the detection concepts presented for non-frequency selective channels it is also possible to transform the system into a multiplicity of flat MIMO channels in terms of OFDM or frequency domain equalization. In this connection the generalization of the sorted QR decomposition for several parallel channels realizes again a remarkable reduction in complexity in comparison to the scheme from literature.