

Jan Mietzner

Spatial Diversity in MIMO Communication Systems with Distributed or Co-located Antennas

Dissertation

Kurzfassung

MOBILFUNKSYSTEME mit mehreren Sende- und Empfangsantennen, sog. Multiple-Input Multiple-Output- (MIMO-) Systeme, haben in den letzten zehn Jahren großes Interesse geweckt. Wie vielfach gezeigt wurde, bieten MIMO-Systeme hinsichtlich höherer Datenraten und geringerer Fehlerraten beachtliche Vorteile gegenüber Mobilfunkssystemen mit nur einer Sende- und Empfangsantenne.

Typischerweise werden in der Literatur über MIMO-Systeme relativ strenge Annahmen bezüglich der Abstände der einzelnen Antennenelemente getroffen: Auf der einen Seite nimmt man normalerweise an, dass die Sende- und Empfangsantennen Teil eines Antennen-Arrays sind (“co-located antennas”). Auf der anderen Seite wird häufig angenommen, dass die Antennenabstände hinreichend groß sind, so dass man von statistisch unabhängigen Fadingprozessen auf den einzelnen Übertragungslinks ausgehen kann. Aus zahlreichen Publikationen ist bekannt, dass räumliche Korrelationseffekte – verursacht durch unzureichende Antennenabstände – zu Verlusten hinsichtlich der erreichbaren Daten- und Fehleraten führen. Im ersten Teil der Arbeit wird gezeigt, dass dies ebenso der Fall ist, wenn die einzelnen Sende- oder Empfangsantennen räumlich verteilt sind (auf einer großen Skala). Mögliche Anwendungen sind zum Beispiel sog. Gleichwellennetze für Rundfunkanwendungen, drahtlose Sensornetze sowie Mobilfunknetze mit kooperierenden Zwischenstationen. Insbesondere wird gezeigt, dass (hinsichtlich verschiedener Performance-Kriterien) jedes räumlich korrelierte MIMO-System in ein äquivalentes räumlich verteiltes MIMO-System überführt werden kann und umgekehrt. Demzufolge können MIMO-Systeme mit verteilten Antennen und MIMO-Systeme mit korrelierten Antennen in einem gemeinsamen theoretischen Rahmen behandelt werden.

Diese Tatsache wird im zweiten Teil der Arbeit ausgenutzt, in dem geeignete Strategien zur Verteilung der Sendeleistung auf die einzelnen (korrelierten oder verteilten) Sendeantennen entwickelt werden. Insbesondere wird auf Fading-Szenarien eingegangen, die speziell in verteilten MIMO-Systemen auftreten können. Die betrachteten Techniken benötigen ausschließlich statistische Kanalkenntnis auf der Sendeseite, welche in praktischen Systemen leicht zur Verfügung gestellt werden kann. Mit Hilfe analytischer Ergebnisse wird gezeigt, dass durch eine geeignete Verteilung der Sendeleistung deutliche Gewinne erzielt werden können. Der dritte Teil der Arbeit befasst sich schließlich mit zwei Problemen, die insbesondere für MIMO-Systeme mit verteilten Sendeantennen von Interesse sind. Zum einen werden aufgrund der räumlichen Trennung der Sendeantennen unabhängige Frequenzoszillatoren zur Aufwärtsmischung der zu übertragenden Signale verwendet. Dies führt zu Frequenzversätzen und somit zu zeitvarianten Kanalimpulsantworten. Der Einfluss solcher Effekte auf die Leistungsfähigkeit verschiedener MIMO-Übertragungstechniken wird analysiert, und mögliche Gegenmaßnahmen werden vorgeschlagen. Zum anderen, wenn die Sendeantennen räumlich sehr weit getrennt sind und keinerlei Techniken zur Signallaufzeitkompensation verwendet werden, treten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Ausbreitungsverzögerungen auf, welche zu Intersymbol-Interferenz-Effekten führen. Dementsprechend werden geeignete Sender- und Empfängertechniken identifiziert, die den Diversitätsgewinn im Vergleich zu einem Einantennensystem aufrecht erhalten.

Stichwörter: Mobilfunkkommunikation, MIMO-Systeme, Space-Time-Codes, räumliche Korrelation, verteilte Antennen, Performance-Analyse, Sendeleistungsverteilung, Entzerrung, Frequenzversatz. \diamond