

Diversity-multiplexing tradeoff in relay and interference channels

Doctoral Thesis

Author(s):

Akçaba, Cemal

Publication date:

2009

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005982846>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH NO. 18459

DIVERSITY-MULTIPLEXING TRADEOFF IN RELAY AND INTERFERENCE CHANNELS

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

CEMAL AKÇABA

M.Eng., Massachusetts Institute of Technology

born 07.05.1982

citizen of Cyprus

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Helmut Bölcskei, examiner

Prof. Dr. Jean-Claude Belfiore, coexaminer

2009

Abstract

Guaranteeing higher link reliability while not sacrificing transmission rate is one of the fundamental goals of future wireless communication systems. The increased availability of wireless transmission devices has made wireless networks a reality of our day, and a fundamental building block of tomorrow's technology. However, theoretical foundations of how to efficiently utilize the gains provided by wireless networks are not well-understood. This thesis aims to investigate the fundamental performance benefits provided by wireless networks, and where possible, to propose strategies and coding schemes to exploit these advantages.

A wide body of results documents that wireless networks can provide a significant boost to link reliability. By providing multiple independent data paths from the source of information to its destination, the properly-designed network can provide independent looks at the transmitted signal for the destination. However, how to directly exploit this gain is not explored in much detail. In the first part of this thesis, we investigate the problem of extracting diversity from wireless networks. In particular, we analyze fading relay networks, where a source-destination terminal pair communicates through a set of half-duplex single-antenna relays using four time division multiple access based protocols with linear processing at the relay level. For each protocol, we derive the diversity-multiplexing tradeoff (DMT) curve, and the sufficient conditions on the set of linear processing schemes and codebooks for achieving the DMT curve. We show that these conditions are independent of the underlying fading distribution,

and guarantee the achievability of the DMT curve for any fading distribution. Our results show that the protocol with the highest degree of broadcasting and receive collision dominates the other protocols in terms of the DMT performance. Further, we demonstrate that delay diversity and phase-rolling at the relay level are optimal with respect to the entire DMT curve for each protocol, provided the family of codebooks, the delays, and the modulation frequencies are chosen appropriately.

In the second part, we investigate the achievable DMT of fading interference channels (ICs). Specifically, we analyze two-user single-antenna fading ICs with perfect receive instantaneous channel state information (CSI) and no transmit CSI. For general interference levels, we compute the DMT of a fixed-power-split Han and Kobayashi type superposition coding scheme and provide design criteria for the corresponding superposition codes. We demonstrate that this scheme is DMT-optimal under moderate, strong, and very strong interference by showing that it achieves a DMT outer bound that we derive. Under very strong interference, we show that a joint-decoder “decouples” the fading interference channel, i.e., it is possible to transmit as if the interfering user is not present. Further, we show that, under very strong interference, decoding interference while treating the intended signal as noise, subtracting the result out, and then decoding the desired signal, a process known as “stripping”, achieves the optimal DMT. The proof is constructive in the sense that it provides corresponding code design criteria for achieving optimal DMT.

In addition, we study the necessity of approximately universal code design criteria (CDC) by Tavildar and Viswanath, *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2006, for a class of slow-fading point-to-point multiple input multiple output (MIMO) channels. For the important class of *isotropic* and *regular* fading MIMO channels which includes i.i.d. Rayleigh fading, we prove the necessity of the approximately universal CDC. In contrast, the converse provided by Tavildar and Viswanath states that if a family of codes does not satisfy the approximately universal CDC, then there *exists a fading distribution* for which the coding scheme is not DMT-optimal. For single input single output channels,

we show that the approximately universal CDC is also necessary, i.e., we show that if a family of codes fails to satisfy the approximately universal CDC, then the error probability for all fading distributions in the class considered is bounded below by a probability that decays (in signal-to-noise ratio) slower than the outage probability.

Kurzfassung

Ein grundlegendes Ziel zukünftiger drahtloser Übertragungssysteme besteht darin die Zuverlässigkeit der Kommunikationsverbindung zu erhöhen ohne Datenrate zu opfern. Die steigende Verfügbarkeit drahtloser Kommunikationsgeräte macht drahtlose Netzwerke zum Bestandteil unseres täglichen Lebens und zu einem grundlegenden Baustein zukünftiger Technologien. Die theoretischen Grundlagen wie die Gewinne, die in drahtlosen Netzwerken verfügbar sind, effizient genutzt werden können, sind jedoch nicht wohlverstanden. Das Ziel dieser Dissertation ist es, die grundlegenden Leistungsvorteile, die in drahtlosen Netzwerken erzielt werden können, zu untersuchen und nach Möglichkeit Strategien und Kodierungsverfahren vorzuschlagen, die diese Vorteile nutzen.

Ein Vielzahl von Resultaten dokumentiert, dass drahtlose Netzwerke eine signifikante Verbesserung der Zuverlässigkeit der Verbindung herbeiführen können. Ein gut entworfenes Netzwerk kann mehrere unabhängige Beobachtungen des gesendeten Signals auf Seiten des Empfängers zur Verfügung stellen, indem es mehrere unabhängige Datenpfade vom Sender der Information zum zugehörigen Empfänger bereitstellt. Wie dieser Gewinn jedoch direkt genutzt werden kann, wurde bislang noch nicht genauer erforscht. Im ersten Teil dieser Dissertation untersuchen wir das Problem wie ein Diversitätsgewinn in einem drahtlosen Netzwerk erzielt werden kann. Insbesondere analysieren wir Relaisnetzwerke in Schwundkanälen, in denen ein Sender-Empfänger Paar mit Hilfe einer Gruppe von halb-duplex Relais kommuniziert. Dabei untersuchen wir vier Protokolle, welche

auf einem Mehrfachzugriffverfahren im Zeitmultiplex basieren und lineare Signalverarbeitung in den Relais verwenden. Für jedes der Protokolle leiten wir die sogenannte *diversity-multiplexing tradeoff* (DMT) Kurve, die den Abtausch zwischen Diversität und Multiplexen beschreibt, ab. Weiters zeigen wir hinreichende Bedingungen für die Menge linearer Signalverarbeitungsverfahren und Codebüchern, um diese DMT Kurve zu erzielen. Wir zeigen, dass diese Bedingungen unabhängig von der zugrundeliegenden Schwundverteilung sind und garantieren die Erzielbarkeit der DMT Kurve für jede beliebige Schwundverteilung. Unsere Resultate zeigen, dass das Protokoll mit dem höchsten Grad an Sende- und Empfangskollision die anderen Protokolle im Sinne von DMT Leistung dominiert. Darüber hinaus zeigen wir, dass Zeitverzögerungsdiversität sowie Phasendrehen auf Relaisebene für jedes Protokoll optimal in Bezug auf die gesamte DMT Kurve sind, vorausgesetzt, dass die Familie an Codebüchern, die Zeitverzögerungen und die Modulationsfrequenzen geeignet gewählt werden.

Im zweiten Teil untersuchen wir den erreichbaren DMT in Schwundinterferenzkanälen. Insbesondere analysieren wir Schwundinterferenzkanäle mit zwei Benutzern, welche jeweils mit einer Antenne ausgestattet sind, mit perfekter instantaner Kanalkenntnis auf Empfängerseite und keiner Kanalkenntnis auf Senderseite. Für allgemeine Interferenzniveaus berechnen wir die DMT Kurve eines Han und Kobayashi Superpositionskodierungsverfahrens mit festgelegter Energieaufteilung und stellen Designkriterien für die entsprechenden Superpositionscode bereit. Wir zeigen, dass dieses Verfahren für mässige, starke und sehr starke Interferenz optimal im Sinne der DMT Kurve ist, da es eine von uns hergeleitete äussere Schranke für die DMT Kurve erreicht. Wir zeigen, dass ein gemeinsamer Dekodierer bei sehr starker Interferenz den Schwundinterferenzkanal “entkoppelt”. Dies bedeutet, dass es möglich ist zu senden, als ob der Störsender nicht vorhanden wäre. Darüber hinaus zeigen wir, dass ein Prozess, der als “Abziehen” bezeichnet wird, bei sehr starker Interferenz die optimale DMT Kurve erreicht. Bei diesem Prozess wird zuerst das Interferenzsignal dekodiert, wobei das richtige Signal wie Rauschen behandelt wird,

dann wird das daraus resultierende Signal vom empfangenen Signal abgezogen, und schliesslich wird das gewünschte Signal dekodiert. Der Beweis ist konstruktiv, in dem Sinne, dass er entsprechende Code-designkriterien bereitstellt, sodass die optimale DMT Kurve erreicht werden kann.

Des Weiteren untersuchen wir die Notwendigkeit von näherungsweise universellen Codedesignkriterien von Tavildar und Viswanath, *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2006, für eine Klasse von sich langsam ändernden Schwundkanälen in Punkt-zu-Punkt Kommunikationssystemen mit mehreren Antennen. Für die wichtige Klasse von isotropen und regulären Schwundkanälen mit mehreren Antennen, welche auch unabhängige und gleichverteilte Rayleigh Schwundkanäle beinhaltet, zeigen wir die Notwendigkeit von näherungsweise universellen Code-designkriterien. In der umgekehrten Richtung zeigt der Gegenschluss von Tavildar und Viswanath, dass falls eine Familie von Codes den näherungsweise universellen Codedesignkriterien nicht entspricht, es eine Schwundverteilung gibt, für welche das Kodierungsverfahren nicht optimal im Sinne des DMT ist. Für Kanäle mit jeweils einer Antenne auf Sender- und Empfängerseite zeigen wir, dass das näherungsweise universelle Codedesignkriterium auch notwendig ist. Das heisst, wir zeigen, dass, falls eine Familie von Codes die näherungsweise universellen Codedesignkriterien nicht erfüllt, die Fehlerwahrscheinlichkeit für alle Schwundverteilungen in der betrachteten Familie eine untere Schranke aufweist, die langsamer als die Ausfallwahrscheinlichkeit als Funktion des Störabstandes abfällt.