



Doctoral Thesis

Transmitting Correlated Sources over Wireless Networks

Author(s):

Tinguely, Stephan

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005773104> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 18112

Transmitting Correlated Sources over Wireless Networks

A dissertation submitted to the
ETH Zurich
for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zürich

presented by

Stéphane Tinguely

Ing. Sys. Com. dipl. EPF
born on May 22, 1977
citizen of Rechthalten FR

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Amos Lapidath, examiner
Prof. Dr. Suhas Diggavi, co-examiner

Hartung-Gorre Verlag, Konstanz, 2009

Reprint of Diss. ETH No. 18112

ETH Series in Information Theory and its Applications Vol. 4

edited by Amos Lapidoth

Bibliographic Information published by Die Deutsche Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data is available in the internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Copyright © 2009 by Stephane Tinguely

First Edition 2009

Hartung-Gorre Verlag Konstanz

ISSN 1860 - 1081

ISBN-10: 3-86628-248-6

ISBN-13: 978-3-86628-248-3

Abstract

This dissertation addresses the problem of transmitting correlated sources over wireless networks. More precisely, it studies the Shannon-theoretic limits in the power-versus-distortion trade-off for two elementary Gaussian scenarios: a multiple-access scenario and a broadcast scenario.

The two considered models can be described as follows. In the multiple-access case, a memoryless bivariate Gaussian source is to be transmitted over an average-power constrained Gaussian two-to-one multiple-access channel. The source is observed distributedly by the two transmitters; Transmitter 1 observes the first source component and Transmitter 2 observes the second source component. Each transmitter then describes its source component to the central receiver which wishes to reconstruct each source component subject to expected squared-error distortion. In the broadcast case, a memoryless bivariate Gaussian source is to be transmitted over an average-power constrained Gaussian one-to-two broadcast channel. The source is observed by the central transmitter and is to be reconstructed distributedly by the two receivers which both observe the same transmitted signal corrupted by different additive white Gaussian noise. From its observation, Receiver 1 wishes to estimate the first source component and Receiver 2 wishes to estimate the second source component. For both scenarios we seek to characterize the pairs of expected squared-error distortions that are simultaneously achievable on the two source components. In the multiple-access scenario the problem is additionally studied for the case with perfect feedback from the channel output to the two receivers.

The main results of this dissertation are sufficient conditions and nec-

essary conditions for the achievability of a distortion pair expressed as a function of the channel SNR and of the source correlation. In several cases these necessary conditions and sufficient conditions are shown to agree. In particular, for each considered scenario (multiple-access, multiple-access with feedback, and broadcast) we show that if the channel SNR is below a certain threshold, then the minimal distortion pairs are achieved by an uncoded transmission scheme. In each case, the SNR-threshold is expressed as a function of the source correlation. Moreover, for the multiple-access scenarios, with feedback and without feedback, we additionally evaluate the precise high-SNR asymptotics of the optimal distortion pairs.

Keywords: wireless networks, correlated sources, joint source-channel coding, power-versus-distortion trade-off, Gaussian networks, multiple-access, broadcast, feedback, bivariate Gaussian, squared-error distortion, uncoded, high-SNR asymptotics.

Kurzfassung

Diese Dissertation befasst sich mit der Übertragung von korrelierten Daten über drahtlose Netzwerke. Sie untersucht die fundamentalen Shannon-theoretischen Grenzen der Beziehung zwischen Sendeleistung und Schätzfehler für zwei Szenarien: ein Gauss'sches Multiple-Access Szenario mit zwei Sendern und einem Empfänger und ein Gauss'sches Broadcast Szenario mit einem Sender und zwei Empfängern.

Im ersten Szenario wird eine gedächtnislose zweidimensionale Gauss'sche Quelle über einen Multiple-Access Kanal mit limitierter durchschnittlicher Sendeleistung übertragen. Die Quellendaten werden auf die zwei unabhängige Sender verteilt; dem ersten Sender wird die erste Komponente der Quelle zugeführt und dem zweiten Sender wird die zweite Komponente der Quelle zugeführt. Jeder Sender überträgt dann seine Komponente an den gemeinsamen Empfänger, welcher jede der Komponenten mit dem kleinstmöglichen quadratischen Fehler rekonstruieren möchte.

Im zweiten Szenario wird eine gedächtnislose zweidimensionale Gauss'sche Quelle über einen Broadcast Kanal mit limitierter durchschnittlicher Sendeleistung übertragen. Die Quelle wird einem zentralen Sender zugeführt und muss dann von den zwei unabhängigen Empfängern, welche je eine additiv Gaussisch verrauschte Version des übertragenen Signals beobachten, rekonstruiert werden. Anhand des jeweilig empfangenen Signals soll der erste Empfänger die erste Komponente der Quelle schätzen und der zweite Empfänger soll die zweite Komponente schätzen.

Der Schwerpunkt der Arbeit wurde in beiden Szenarien auf die Charakterisierung der erreichbaren quadratischen Fehlerpaare gesetzt. Im

Multiple-Access Fall wird dieses Problem zusätzlich für eine Konfiguration mit perfekter Rückkopplung vom Ausgang des Kanals zu jedem Sender betrachtet.

Die Hauptresultate dieser Dissertation sind hinreichende Bedingungen und notwendige Bedingungen für die Erreichbarkeit eines Fehlerpaares. Diese Bedingungen werden in Funktion des Kanalstörabstands und des Korrelationskoeffizienten der Quelle ausgedrückt. In verschiedenen Fällen stimmen die hinreichenden Bedingungen mit den notwendigen Bedingungen überein. Insbesondere wird für jedes Szenario (Multiple-Access, Multiple-Access mit Rückkopplung, und Broadcast) gezeigt, dass für einen Störabstände unter einem gewissen Schwellwert die minimalen Fehlerpaare durch unkodierte Übertragung erreicht werden. Der entsprechende Schwellwert ist in jedem Szenario eine Funktion des Korrelationskoeffizienten der Quelle. Des Weiteren werden für beide Multiple-Access Szenarien der genaue Verlauf der Übertragungsfehler eines optimalen Übertragungs-Schema bei asymptotisch hohem Stör-Abstand bestimmt.

Stichworte: Drahtlose Netzwerke, korrelierte Quellen, kombinierte Kanal- und Quell-kodierung, Beziehung zwischen Sendeleistung und Datenverzerrung, Gaussische Netzwerke, Multiple-Access, Broadcast, Rückkopplung, zweidimensional Gaussisch, quadratischer Fehler, unkodiert, asymptotisch hoher Störabstand.

Résumé

Cette dissertation aborde la transmission de données corrélées dans des réseaux sans fils. Elle étudie les limites fondamentales de la relation entre la puissance d'émission et l'erreur d'estimation (c'est-à-dire, la distorsion) suivant la théorie de Shannon. Deux scénarios sont considérés: d'une part un scénario multi-accès Gaussien avec deux émetteurs et un récepteur, et d'autre part un scénario broadcast Gaussien avec un émetteur et deux récepteurs.

Dans le premier scénario, une source sans mémoire, bidimensionnelle et Gaussienne est transmise sur un canal multi-accès avec puissance moyenne limitée. Les données de la source sont réparties sur deux émetteurs indépendants: la première composante de la source est acheminée au premier émetteur, et la deuxième composante est acheminée au deuxième émetteur. Chacun des émetteurs transmet alors sa composante au récepteur commun qui tend à restituer chacune des composantes avec une distorsion quadratique minimale.

Dans le deuxième scénario, une source sans mémoire, bidimensionnelle et Gaussienne est transmise sur un canal broadcast avec puissance moyenne limitée. Les données de la source sont acheminées vers un émetteur unique. Deux récepteurs indépendants reconstituent les données à partir du signal reçu altéré par un bruit Gaussien. Le premier récepteur reconstitue la première composante de la source et le second récepteur reconstitue la seconde composante.

Dans les deux scénarios, l'accent de ce travail est porté sur la caractérisation des paires de distorsions quadratiques pouvant être atteintes.

tes. Pour le cas multi-accès, la question est en outre étudiée pour une configuration avec feedback parfait entre la sortie du canal vers chacun des émetteurs.

Les résultats principaux de cette dissertation portent sur les conditions nécessaires et les conditions suffisantes pour atteindre une paire de distorsions. Ces conditions sont exprimées en fonction du rapport signal sur bruit du canal ainsi que du coefficient de corrélation de la source. Dans plusieurs cas, les conditions suffisantes correspondent aux conditions nécessaires. En particulier, il est démontré pour chacun des scénarios (multi-accès, multi-accès avec feedback, et broadcast) que pour un rapport signal sur bruit en dessous d'un certain seuil, la paire de distorsions minimale est réalisée à l'aide de transmission sans codage. Ces seuils sont pour chaque scénario dépendants du coefficient de corrélation de la source. De plus, pour les deux scénarios multi-accès, le comportement de la distorsion est déterminé pour le cas d'un schéma de transmission optimal et d'un rapport signal sur bruit asymptotiquement haut.

Mots-clé: Réseaux sans fils, sources corrélées, codage de canal et codage de source combinés, relation entre la puissance de transmission et l'erreur d'estimation, réseaux gaussiens, multi-accès, broadcast, feedback, bidimensionnel Gaussienne, erreur quadratique, sans codage, rapport signal sur bruit, rapport signal sur bruit asymptotiquement haut.