

Title	バイナリ情報センシングと多端子情報源符号化：伝送率-歪の分析及び伝送系設計
Author(s)	何, 昕
Citation	
Issue Date	2016-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/13827
Rights	
Description	Supervisor: 松本 正, 情報科学研究科, 博士

氏 名	HE XIN
学 位 の 種 類	博士(情報科学)
学 位 記 番 号	博情第 349 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 28 年 9 月 23 日
論 文 題 目	Binary Information Sensing and Multiterminal Source Coding: Rate-Distortion Analysis and Transmission Design
論 文 審 査 委 員	主査 松本 正 北陸先端科学技術大学院大学 教授 金子 峰雄 北陸先端科学技術大学院大学 教授 Brian Michael Kurkoski 北陸先端科学技術大学院大学 准教授 Gerhard Kramer Technical University of Munich 教授 Antoine Berthet CentraleSupélec 教授 Li Ping City University of Hong Kong 教授

論文の内容の要旨

In this thesis, a binary chief executive officer (CEO) problem is investigated with the application to a binary information sensing network, where noise-corrupted versions of a binary sequence are forwarded by a group of sensors to a single destination over orthogonal multiple access channels. The primary goal of this thesis is to provide theoretical analysis of the system performance and to design practical transmission techniques by applying recent results of multiterminal rate-distortion theory.

Concatenated convolutional codes and a joint decoding scheme are proposed for the binary information sensing network. First of all, the achievable rate and bit error rate (BER) floor of the binary information sensing network are investigated. The main theoretical results are: 1) the signal-to-noise ratio (SNR) limit is converted from the achievable rate based on the Slepian-Wolf theorem and source-channel separation theorem in orthogonal additive white Gaussian noise (AWGN) channels; 2) the BER floor, which is a common phenomenon in the binary sensing network caused by the observation error, is analytically calculated using the Poisson binomial process and binary rate-distortion function. Then, a series of computer simulations is conducted to verify these limits, including the threshold SNR and the error floor. Finally, a three-dimensional extrinsic information transfer chart analysis is performed to confirm the simulation results.

Furthermore, we derive an outer bound for the binary CEO problem based on the relationship with binary multiterminal source coding. The outer bound is applied to obtain the lower bound on Hamming distortion for the binary information sensing network with respect to the encoding rate and channel SNR. The BER performance obtained by

performing practical encoding/decoding algorithm verify the theoretical lower bound on Hamming distortion.

Finally, an optimal power allocation scheme is proposed for the binary information sensing network from rate-distortion perspective. Based on the simulation results, our proposed power allocation scheme outperforms the uniform power allocation method.

Keywords: CEO problem, multiterminal source coding, rate-distortion, achievable rate, Hamming distortion, sensor network

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、補助情報付き最高経営責任者問題（バイナリ CEO 問題と呼ばれるネットワーク情報理論における未解決問題の一つで、極めて困難な問題であることが知られている。具体的には、通信路符号化の前に誤りが混入する複数パラレルバイナリチャネルに対する、速度・歪領域と誤り率を求めること。）に関する研究を行い、いくつかの難しい問題を解決している。主要な成果は以下の 3 点に要約できる。

- (1) バイナリ CEO 問題を相関のある複数情報源符号化の立場から解析し、関連するいくつかの定理(Berger Tung の定理、Mrs. Gerber の Lemma、分離定理など)を駆用することで、レート・歪領域の上限と下限を明らかにした。これらの限界は極めて高い一致を見た。このことは、バイナリ CEO 問題の解を得るための合理的な道筋を示したことに他ならない。さらに、これらから求まる解が、バイナリ CEO 問題を Gelfand Pinsker 問題の一例として定式化することで得られる解ともよく一致することを示した。
- (2) 上記(1)における速度・歪関数から得られる歪を含むパラレルチャネル出力から、合成後に得られる誤り率（バイナリ歪）を最小化する問題を、凸最適化の観点から定式化し最適解の導出に成功した。また、リンク毎のシャノン限界に漸近する具体的な符号化・復号化方式に対して、上述した環境で実際に復号・合成のアルゴリズムを構築し、特性を評価した。その結果、理論的に導出した最適解に漸近する特性が得られることを実証し、理論解析の正確さを示した。
- (3) さらに、各パラレルチャネルにおける送信パワーを、最適合成後の誤り率（バイナリ歪）を一定とする条件下でトータル送信電力を低減するための拘束条件付きパワー配分の問題に取り組んだ。ここでは、(1), (2)で求めた速度・歪関数に関する拘束条件を何段階かの Relaxation を経て、この問題が凸最適化問題のフレームワークで解決可能なことを示した。これによって、同一の合成後歪を得るための送信電力が大幅に低減できることを示した。

バイナリ CEO 問題は、センサーネットワークや歪を許容する通信システム（例えば小さなディスプレイを持つ携帯端末との通信など）で頻繁に表れる問題であり、産業界への貢献も大きい。

学位申請者はオウルデュアル協働教育プログラムの参加者であり、テレビ会議システム等を用いて両会場、及び外国人審査委員がお互いを見ることができる環境下で共同審査会

が進められた。両校で合意されたプロトコルに従って、章毎に審査委員が質問を行う形式の審査会で極めて厳格に行われた。本学位論文の骨格を成す部分は全て関連分野のトップジャーナルで出版(IEEE フルジャーナル 1 本、ショート 1 本、国際会議論文 9 本)されている。審査委員の評価にも明記されるように、非常に高い評価（審査委員全員が A 評価）を得た。以上、述べたように本論文は、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。