JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	ヘルパー付きマルチターミナル有歪情報源符号化：速度-歪解析と符号設計
Author(s)	林，文晟
Citation	
Issue Date	2019-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/16171
Rights	
Description	Supervisor:松本　正，先端科学技術研究科，博士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

氏　　名	Wensheng Lin
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	博情第 423 号
学位授与年月日	令和元年 9 月 24 日
論文題目	Helper-Assisted Lossy Multiterminal Source Coding: Rate-Distortion Analysis and Coding 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
	Mineo Kaneko　北陸先端科学技術大学院大学　教授
	Brian Kurkoski　同　准教授
	Gerhard Krammer　Technical University of Munich 教授
	Pierluigi Salvo Rossi　Norwegian University of Science and Technology 教授
	German Bassi　KTH Royal Institute of Technology ポストク研究員

論文の内容の要旨

This dissertation investigates several topics belonging to the category of helper-assisted lossy multiterminal source coding, including multiterminal source coding with a helper, binary chief executive officer (CEO) problem with a helper, lossy source coding with helpers, lossy communications with lossy-forwarding (LF), and practical coding design.

Initially, for multiterminal source coding with a helper, we derive an inner bound on the achievable rate-distortion region, which is then utilized to evaluate the upper bound of the outage probability over block Rayleigh fading channels. The numerical results demonstrate the performance improvement and the diversity gain by introducing a helper. Interestingly, the system with a helper has higher energy efficiency while also reducing the outage probability.

Subsequently, we solve the binary CEO problem with a helper by decomposing it into two steps as multiterminal source coding and final decision. We derive an outer bound on the achievable rate-distortion region, and formulate a convex optimization problem to minimize the distortions at the first step of multiterminal source coding with a helper. For the step of final decision, we investigate the distortion propagating from the joint decoding results to the final decision.

Moreover, we present an inner bound on the achievable rate-distortion region for lossy source coding with helpers by the proof of achievability. The theoretical inner bound is verified to be a generalization of the

Wyner-Ziv theorem.

For lossy communications with an LF relay, we determine an inner bound on the achievable rate-distortion region of lossy source coding with a helper for the first step. Then, we calculate the upper bound of the outage probability over block Rayleigh fading channels. We also conduct a series of simulations to compare the outage performance of LF with that of amplify-and-forward (AF) and decode-and-forward (DF).

Finally, we develop the hybrid majority voting (HMV) code for practical lossy compression. We theoretically analyze the rate-distortion performance of the HMV code, and prove that it has superior performance in spite of low complexity. In addition, we find the bit flipping (BF) code as the complement code of HMV code for successive refinement. By this means, the distortion in the standalone link can be conspicuously reduced while the refinement link can keep almost the same performance as before. Furthermore, we conclude the methodology of hybrid codes design for lossy source coding. We develop the hybrid code based on the Hamming codes as an example, and also find its syndrome as the complement code for successive refinement.

Keywords: Multiterminal source coding, lossy compression, side information, rate-distortion, outage probability.

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、歪を許容するデータ中継(Lossy Forwarding と呼ばれる。学位申請者が所属する研究室において近年、盛んに研究対象としてきた研究テーマ)を含み、かつ、End-to-End でも歪を許容するマルチターミナル Lossy ワイヤレス通信システムの速度・歪領域を理論的に解析している。

国内でも、第 5 世代ワイヤレスモバイル通信システム（5G）のサービス開始が至近なものになりつつある。また、Beyond 5G (B5G)に対する研究も盛んになりつつある。5G や B5G では、通信が従来の「歪を許容しない」形態から、「歪を許容」する形態へと大きな変化を遂げようとしている。特に今後の産業構造を大きく変化させる可能性のある Internet of Things (IoT)では、“複数”の地点の観測結果から「適正な推定や判断をする」ことが目的であるため、観測値そのものや各通信ノード間の通信は必ずしも「歪を許容しない」形態である必要はないことは明らかと言える。逆言すれば、センターにおいて「適正な推定や判断をする」ことができる程度にまで情報圧縮をしても良いことを意味する。このことは、信号対雑音電力比が極めて低い領域でも、「適正な推定や判断をする」ことができることをも意味するため、「歪を許容しない」通信よりもより高い信頼性を有するシステムが構

築できることを示唆する。

この問題は、ネットワーク情報理論の分野では”Lossy Distributed Multi-terminal Source Coding” と言われる分野を形成し、多くの未解決問題を含んでいる。本学位論文では、この分野ににおけるのいくつかの問題、具体的には（1）ヘルパー付き Lossy Distributed Multi-terminal Source Coding における速度・歪領域解析（2）ヘルパー付きバイナリ Chief Executive Officer (CEO) 問題における歪解析、(3)複数ヘルパー付き Lossy Source Coding における歪解析、（4）Lossy Forwarding を含む場合の速度・歪領域解析、（5）実用的な情報源符号化アルゴリズム開発と漸近特性解析、などに取り組みこれらの諸問題に解を与えた。さらに、結果を、「通信路が変動するワイヤレスモバイル通信」へ適用ることで、速度・歪領域とシステム不稼働確率(Outage Probability と言われる）との関係を解析的に明らかにしている。さらに、理論解析の結果が正しいことをシミュレーションによって示している。

これらの成果は、IEEE ジャーナル論文 4 件（3 件出版済み、1 件採択決定)、レター1 件（出版済み)、国際会議論文 1 件（これらは全て筆頭著者）に発表している。特に、IEEE Transactions on Wireless Communications (インパクトファクター＝6.394)に出版された論文では、ワイヤレス協調通信が歪を許容するする中継を行う Lossy Forwarding 協調通信（候補者が所属する研究室において近年、盛んに研究対象としてきた研究テーマ）を、End-to-End においても「歪を許容」する場合に拡張し（従来は歪を許容しない場合を扱ってきた)、その場合の速度・歪領域とシステム不稼働確率を解析的に明らかにしている。また、理論解析の結果が正しいことをシミュレーションによって示している。

最終学位審査会（内部審査委員 2 名、外国の専門家から構成される外部審査委員 3 名）においては、評価の公正と学問の独立を確保するため（他の評価者からの影響を排除）に、各審査委員が所属する機関（大学）の基準に従って厳密に従って評価された。その結果、審査委員から非常に高い評価（審査委員 4 名が A 評価、1 名が B 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く、5G や B5G ワイヤレスモバイル通信システムや IoT などの産業界へ貢献も大きい。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。