

Title	有歪中継ワイヤレス協調通信ネットワークにおけるチャネル変動の伝送特性に与える影響解析
Author(s)	申, 騫
Citation	
Issue Date	2017-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/15076">http://hdl.handle.net/10119/15076</a>
Rights	
Description	Supervisor: 松本 正, 情報科学研究科, 博士

氏 名	Shen Qian
学 位 の 種 類	博士(情報科学)
学 位 記 番 号	博情第 378 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 29 年 12 月 22 日
論 文 題 目	Statistical Performance Characterization of Lossy Forwarding Based Cooperative Wireless Networks over Fading Channels
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 Bauch Technical University of Hamburg 教授 Francis C.M. Lau Hong Kong PolyTechnique University 教授 大鐘 武雄 北海道大学 教授 Antti Tolli University of Oulu Ajunct Professor

## 論文の内容の要旨

Cooperative wireless communications are investigated from the perspective of exploiting statistical nature of channel property variation. The target of this research is to provide analytical assessments and theoretical bounds of lossy-forward (LF) relaying based cooperative communications in various network topologies and propagation conditions, where the channel variation information is efficiently utilized.

The performance of three-node LF relaying over independent block Nakagami- $m$  fading channels is investigated. Based on the source coding with a helper theorem, the exact outage probability expression with arbitrary values of the shape factor  $m$  is derived. Furthermore, the decay of the outage curve, referred to as equivalent diversity order, and coding gain of LF relaying are identified based on a yet accurate high signal-to-noise ratio (SNR) outage probability approximation. It is found that the decay of the outage curve is dominated by the less reliable channel of either the source-relay or the relay-destination link. It is also found that in terms of the outage probability, LF relaying is superior to conventional decode-and-forward (DF) relaying where relay keeps silent if error is detected after decoding. This is because the relay in LF always forwards the decoder output to the destination via re-interleaving and re-encoding of the information sequence. Therefore, the whole system can be regarded as a distributed turbo code. Moreover, with LF relaying, not only the outage probability can be reduced, but also the search area for a relay (helper) can be increased compared to conventional DF relaying while keeping the same or even lower outage

probability, resulting in significant coverage expansion of the system.

The outage probabilities of LF, decode-and-forward (DF) and adaptive decode-and-forward (ADF) relaying are analyzed in block Rayleigh fading channels, with the aim of identifying the impact of the spatial and temporal correlations of the fading variations. It is proven that the coding gain with LF is larger than with DF but smaller than with ADF, where the ADF scheme utilizes error-free feedback from the relay to the source. It is found that compared to the independent fading case, in the correlated fading, to achieve the lowest outage probability, the relay should be located closer to the destination, or more transmit power should be allocated to the relay, both for reducing the gain loss caused by the fading correlation.

A comparative study on the outage probabilities of LF relaying with the two distributions, Rician and Nakagami- $m$ , is conducted. Kullback-Leibler divergence (KLD) and Jensen-Shannon divergence (JSD) are used to identify the difference between the distributions. It is found that even with a specific parameter setting yielding the same line-of-sight (LOS) ratio, Rician is not equivalent to Nakagami- $m$  model for representing the shape of the entire portion of the distribution.

Furthermore, we derive an upper bound of the outage probability for a two-way LF relaying system over Rician fading channels with a random  $K$ -factor. The  $K$ -factor is assumed to follow empirical distributions, normal or logistic distributions, which are derived from measurement data. Compared to the two-way DF transmission, the two-way LF transmission is found to achieve lower outage probability regardless of either logistic or normal distribution is used to represent the variation of  $K$ -factor. Because with LF, the relay always broadcast the decoder output regardless of whether error is detected after decoding in the information part or not.

The work is extended to a multi-source multi-relay transmission system, where all the links experience the  $\kappa$ - $\mu$  fading variations. It is found that, regardless of whether the LOS component exists in the channel or not, the outage performance of the system with orthogonal transmission with joint-decoding scheme is superior to that with maximum ratio transmission scheme.

**Keywords:** Outage probability, relay channels, lossy-forward (LF), line-of-sight (LOS) component, diversity order and coding gain

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文は、損失を含むデータ中継を行う Lossy Forwarding ワイヤレス中継方式のシステム不稼働確率（**Outage Probability** 呼ばれる）を理論的に解析し、その結果が正しいことをモンテカルロシミュレーションによって評価している。学位論文では、**Outage Probability** の解析が分散マルチターミナル情報源符号化の問題として定式化できることを、世界で最初に明らかにするとともに、精度の高い近似を導入することで数学的に **Explicit** な **Outage Probability** の表現が可能であることを示した。また、その近似を、厳密解を多重積分することで得る結果と比較し、その正確さを立証している。

さらにチャネル変動が通常のレイリー分布に従う場合にのみならず、**Nakagami-m** 分布、**Rice** 分布、 $\kappa\text{-}\mu$  分布などに従う場合についても解析を行い、上述の近似式から求まる **Explicit** な表現を用いることで、最適中継局の位置や送信電力配分を決定する問題が凸最適化問題として解決できることを示した。この成果は世界で初めて求めた成果であり、貴重な研究業績と言える。学位申請者はまた、空間・時間変動の相関も着目し、これらのダイバーシティーオーダーに与える影響を明らかにした。さらにこれらの結果を、最も単純な構成である **One Way Relay** に限らず、**Two Hop Relay**、**Full Duplex Two Way Relay** などにも適用して **Outage Probability**, **Coding Gain**, 最適な中継局位置、電力配分の問題を解決した。

これらの成果はセンサーネットワークや第四世代ワイヤレス通信方式、**Wi-Fi** などの通信システムで頻繁に表れる問題であり、特に巨大災害後においてネットワーク堅牢性を確保する課題など、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(全て査読有、**IEEE フルジャーナル** 2 本、**ショート** 1 本、**IEEE 国際会議論文** 6 本)されている。

審査委員の評価に関しては、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）の基準に厳密に従って行われた。その結果、審査委員 3 名が **A** 評価、他の 3 名から **B** 評価を与えた。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、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な価値あるものと認めた。