

博士学位論文審査要旨

2018年2月13日

論文題目: Multi-Rate Coding Schemes for Gaussian Multiple Access Channel
(ガウス型多重接続通信路のためのマルチレート符号化法)

学位申請者: 何 美霖 (Meilin He)

審査委員:

主査: 同志社大学大学院理工学研究科 教授 程 俊
副査: 同志社大学 名誉教授 渡辺 陽一郎
副査: 同志社大学大学院理工学研究科 教授 金田 重郎

要 旨:

本論文は、マルチレート多重接続通信システムにおいて、各ユーザが異なる伝送レートで情報を伝送するマルチレート符号化法の研究成果をまとめたものである。本研究で扱う多重接続通信路は、多数の入力端子と1つの出力端子を持つ通信路モデルであり、ガウス雑音による通信の乱れがある。

本研究で提案するマルチレート符号化法は、各ユーザが同じ通信路符号器を持つものの、符号器のパラメータ(Repeat Accumulate 符号の繰り返し回数)と符号器に直列に接続する拡散列の長さを変化させることで、異なるレートの情報伝送を実現する、という方法である。通信路にガウス雑音を加算される場合、任意に低い誤り率の高信頼通信を可能にし、合計符号化率を最大にする最適な通信路符号のパラメータと拡散列長を理論解析で求める。

理論解析のため、マルチレート多重接続通信システムを1つのファクターグラフで示す。グラフにあるノードの2出力をそれぞれ変数とし、グラフの不動点理論より、グラフ上の相互情報量の伝達を表す連立方程式を立てる。その連立方程式を解くと、通信路符号のパラメータと拡散長がそれぞれ陽にその2つ変数で表すことができる。マルチレート多重接続通信システムの誤り率がその2つの変数により決まるため、任意に低い誤り率を有する、各ユーザの符号器の最適パラメータと拡散列の最適な長さを解析で求めることができる。その解析法の有効性をコンピュータシミュレーションで確認する。なお、受信側で各ユーザの受信信号を分離するマルチユーザ検出法は、計算量の降順で IJD, HIC, SIC がある (IJD: Iterative Joint Decoding, HIC: Hybrid Interference Cancellation, SIC: Successive Interference Cancellation)。解析結果として、IJD を用いたシステムの合計符号化率は、通信路の通信路容量に最も近い。

さらに、SIC 検出法の場合、各ユーザの送信電力制御を加えて、マルチレート多重接続通信システムを検討する。各ユーザの符号器のパラメータ、拡散列の長さに加えて、各ユーザの送信電力の最適解を求める。得られた合計符号化率は、電力制御なしの IJD にほぼ近い。

本研究が提案するガウス型多重接続通信路のためのマルチレート符号化法は、通信路容量に近い合計符号化率での高速、かつ任意に低い誤り率の高信頼通信を可能にする性能を有する。このマルチレート符号化法はマルチメディア関連の情報通信サービスへの応用に役立つ。

よって、本論文は、博士(工学)(同志社大学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2018年2月13日

論文題目：Multi-Rate Coding Schemes for Gaussian Multiple Access Channel
(ガウス型多重接続通信路のためのマルチレート符号化法)

学位申請者：何 美霖 (Meilin He)

審査委員：

主 査：同志社大学大学院理工学研究科 教 授 程 俊

副 査：同志社大学 名誉教授 渡辺 陽一郎

副 査：同志社大学大学院理工学研究科 教 授 金田 重郎

要 旨：

本論文提出者は、理工学研究科情報工学専攻博士後期課程に在籍している。本論文の主たる内容は、Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Communications および IET Communications, vol. 11, no. 5 に掲載され、また IEICE Communications Express (1 編) に掲載されることが決まっており、十分な評価を得ている。

2018年1月20日10時より約1時間45分にわたって提出論文に関する学術講演会(博士論文公聴会)が開催され、種々の質疑討論が行われたが、論文提出者の説明により十分な理解が得られた。

さらに、講演会終了後、審査委員により論文に関連した諸問題につき口頭試問を実施した結果、十分な学力を有することが確認できた。

提出者は、英語による論文発表および口頭発表を行っており、十分な語学能力を有すると認められる。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： Multi-Rate Coding Schemes for Gaussian Multiple Access Channel
(ガウス型多重接続通信路のためのマルチレート符号化法)

氏名： 何美霖 (Meilin He)

要旨：

In this dissertation, we propose multi-rate coding schemes for Gaussian multiple access channel. In multiple access communication systems, multiple users attempt to communicate simultaneously, at various transmission rates, with a common receiver through the multiple access channel, even in the presence of Gaussian noise. In our coding schemes, the same encoder is employed for each user, and different rate transmissions is realized by adjusting the parameter of the encoder. We analyze the decoding performances of our coding schemes, and obtain the optimal coding parameters, which gives the maximum sum rates and approach the theoretical limits of the channel. The proposed coding schemes support multimedia services, and avoid employing multiple channel encoders to implement the multi-rate transmission.

This dissertation is constituted by six chapters.

In Chapter 1, we review the fundament of channel coding and decoding for Gaussian multiple access channel (MAC). In multiple access communication systems, from practical consideration, it is required for users to employ the same encoder for supporting multi-rate transmission. We briefly introduce our basic idea for the multi-rate transmission, and give the main research results of this Ph. D. work.

In Chapter 2, we review coding and decoding of the repeat accumulate (RA) codes. RA codes are a class of the simplest forms of LDPC (low density parity check) codes that provide capacity-approaching performance over point-to-point Gaussian channel. Moreover, RA encoder can provide various rates by varying its coding parameter, i.e., the repeat number, and thus plays an important role in our multi-rate transmission.

The Chapters 3, 4, and 5 are the central parts of this dissertation.

In Chapter 3, we introduce a multi-rate transmission in two-user multiple access communication systems. Each user employs the same RA encoder but with different parameters, i.e., the repeat numbers, in the encoder. At the receiver, we perform a belief propagation (BP) decoding on a single factor graph, where at sum (two-user superimposed signals) node, the maximum a priori (MAP) detection is carried out. We develop a univariate fixed point analysis to obtain a system equation array of parameters of RA codes. This makes possible to represent the parameters of RA codes explicitly as functions of the fixed point. We find the optimal parameters of RA codes that give the maximum sum rate. Numerical results show that our optimized two-user multi-rate RA code is superior to the conventional equal rate code in maximum sum rate, and approach the Shannon limit.

In Chapter 4, we introduce a multi-rate transmission in multi-user multiple access communication systems. We equally divide K users into multiple groups, and users in identical group has a same transmission rate. For each user, we employ a RA code serially concatenated with a spreading to implement various rates by adjusting both repeat number in RA encoder and length of spreading in spreader. Here the spreading is to lower the rate and thus to combat the user interference, since an increase in the number of users results in very serious multi-user interference. At the receiver, we perform a joint iterative BP decoding (IJD) on a single factor graph, where at sum (multi-user superimposed signals) node, the elementary signal estimation (ESE) is carried out. We develop a bivariate fixed point analysis to obtain the optimal parameters (repeat numbers) of RA code and spreading lengths, which give the maximum sum rate. With the increment of groups, the maximum sum rates of our optimized multi-rate code increase, and approach the Shannon limit, and exceeds those of conventional equal-rate transmission.

Instead of pure IJD above, in the receiver we perform hybrid interference cancellation (HIC) decoding, where successive interference cancellation (SIC) is employed between the groups, and pure IJD is employed within the group. The HIC scheme provides much lower decoding complexity than the pure IJD scheme with little degradation in the maximum sum rate, and outperforms the pure SIC scheme.

In Chapter 5, we also consider the multi-rate transmission in the multi-user systems but with the SIC decoding in the receiver. The SIC decoding has lower decoding complexity, compared with IJD and HIC schemes. We give the optimal rate and power profile and provide the sum rate which are close to the Shannon limits.

In Chapter 6, conclusion of the dissertation is given. We have proposed the multi-rate coding schemes for the multiple access channel, and analytically gave the maximum sum rates which approach the theoretical limits of the channel. The proposed multi-rate coding schemes support multimedia services in practical communication systems.