

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：54101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18071

研究課題名(和文) ハッシュ関数にもとづく誤り訂正符号の構成法とその特性解析

研究課題名(英文) Design and Analysis of Error Correcting Code based on Hash Functions

研究代表者

森島 佑 (Yu, Morishima)

鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・助教

研究者番号：40734132

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：通信中に生じるデータの誤りを訂正するための誤り訂正符号は今日において広く用いられており、高速大容量な通信システムの実現のために伝送速度・処理効率の高い誤り訂正符号が必要とされている。本研究では誤り訂正符号の設計法として、ハッシュ関数にもとづいた誤り訂正符号の設計法とその性能を向上させる手法を提案した。提案手法では、符号語の重み分布を用いることで誤り率を評価可能であることを示し、また、ハッシュ関数の状態数を削減することで確率的に最適な最尤復号法の適用が可能であることを明らかにし、これらの成果について国内研究会5件、国際会議1件の報告を行った。

研究成果の概要(英文)：Error correcting codes are widely used for correction of errors in many communication systems to achieve more reliable communication. Owing to the increasing demand for high speed communication appliances, more efficient error correcting codes are needed. In this research, the design procedure and performance improvement for error correcting codes based on hash function have been proposed. In the analytical procedure, we reported that the error performance of the codes can be estimated from weight distribution of the codes. In addition, we also reported that proposed error correcting codes can be decoded in probabilistic optimal decoder using state reduction techniques. These results were presented in domestic conferences and an international conference.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：誤り訂正符号 Spinal符号 畳込み符号

1. 研究開始当初の背景

Spinal 符号は 2011 年に J.Perry らにより提案された誤り訂正符号であり、二元対称通信路(BSC)、加法的白色ガウス雑音(AWGN)通信路において理論限界に漸近する伝送効率を達成する。Spinal 符号はその特徴として、符号器状態の生成および符号語の生成にハッシュ関数を用いており、高密度な信号点配置で動作するという特徴を有し、Perry らの報告では 4096-QAM を用いた場合の伝送特性が示されており、変調多値数の大きな信号点配置で動作する高効率な誤り訂正符号の設計は、通信システムの高速・大容量化の実現のために重要な課題である。

2. 研究の目的

Spinal 符号は高密度な信号点配置を用いることで高い伝送効率を示す誤り訂正符号であるが、符号の構成には経験的に構成されたハッシュ関数を用いられており、ハッシュ関数の設計については検討の余地が残る。そこで成果報告者は、Spinal 符号の誤り特性を解析的に評価する手法の開発、およびより優れた特性を有するハッシュ関数の構成法を明らかにするべく研究を続けてきた。

3. 研究の方法

成果報告者は、本研究を開始する以前に畳込み符号の性能向上手法およびその解析手法に関する研究に従事していた。本研究では Spinal 符号と畳込み符号の木構造の類似性に着目することで、畳込み符号の設計法および解析的評価法を Spinal 符号へと拡張することで、Spinal 符号の特性評価手法の確立、および特性の改善手法の確立を目指す。

畳込み符号では現在時刻の符号器状態と情報ビットから、次時刻符号器状態を生成し、符号器状態を加算器から符号語を生成する。この際、符号器状態をノード、情報ビット入力と符号語をラベルとするブランチを用いて畳込み符号は符号木として表現される。このような構造に対し、Spinal 符号では、畳込み符号におけるシフトレジスタと加算器がハッシュ関数に置き換わった構造として表現可能であり、Spinal 符号は時変である非線形な畳込み符号であるとみなせる。そのため、Spinal 符号に対しても符号器状態をノードとした符号木を定義可能であるため Spinal 符号の誤り特性解析手法として符号木の重み分布にもとづいた誤り率上界を求めることで Spinal 符号の誤り率を評価する。

また、Spinal 符号のレートレス性に注目することで、変調方式として OFDM(直交周波数分割多重方式)を用いたシステムにおける PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)の低減法について検討を行った。提案方式では、Spinal 符号により符号化したシンボルを OFDM で変調し、OFDM のサブキャリアを合成する処理においてピーク電力が超過するシンボルを破棄し、Spinal 符号の符号器でシン

ボルを新たに生成することでピーク電力を低減する。

次に、ハッシュ関数と状態数の関係性について検討した。Spinal 符号のハッシュ関数として用いられる Jenkins Hash 関数は経験的に発見された関数であり、ハッシュ値のビット長が 32bit と長く、すなわち符号器状態が非常に大きくなる。そのため復号処理において符号木の動的探索が用いられ確率的に最適な最尤復号法を用いることができない。そこで本研究ではハッシュ関数とビットマスキング(図 3)を用いることで符号器状態数を削減し、符号器状態数と伝送効率の関係性について評価を行い、ピタビアルゴリズムにもとづく最尤復号が適用可能であるか検討を行った。

4. 研究成果

まず、[学会発表] では Spinal 符号の符号木の重み分布から、誤り率特性を評価した。報告ではシミュレーションと数値結果の比較を行い、所要の符号化率に対する誤り率上界を解析的に導出することで、誤り特性を解析的に評価可能であることを明らかにした。

続いて、[学会発表] では、Spinal 符号のレートレス性を利用することで OFDM を用いたシステムにおいて PAPR を低減する手法を報告した。図 1 は PAPR を削減する手法のシステム図である。まずシステムへ入力されたデータ系列を直列並列変換し、各ストリームを Spinal 符号により符号化する。このとき、各ストリームは独立に符号化され、個々の符号器から出力されたシンボルを M 個のクラスタに分割する。分割された M 個のクラスタからそれぞれ OFDM のサブキャリアシンボルを生成する。ここで、サブキャリアを加算する場合に PTS(Partial Transmit Sequence)法により位相回転を行うことで PAPR を削減する。従来手法である PTS による PAPR の削減では、位相回転を用いても PAPR を削減できないようなサブキャリアシンボルの組合せに対しては、事前に設定したピーク電力を超過してしまうという問題があったが、提案手法では、位相回転によりピーク電力を削減できないようなシンボルの組み合わせに対しては、シンボルを破棄し、Spinal 符号の符号器から異なるシンボルの組合せを生成することで、ピーク電力を削減不能な組合せが生じてしまった場合の影響を軽減している。図 2 は提案手法により増幅器の非線形歪みによる伝送効率の低下を数値シミュレーションにより評価したものである。図の結果より、PAPR の削減を行うことで、増幅器における非線形歪みを低減することで伝送効率が改善していることが分かる。

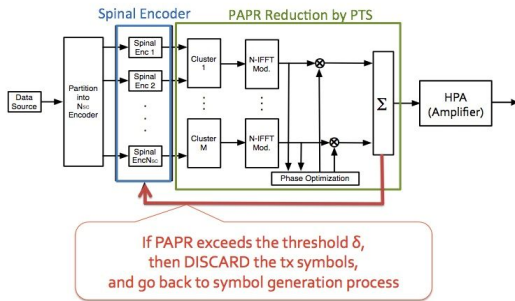


図 1 Spinal 符号を用いた PAPR の削減手法

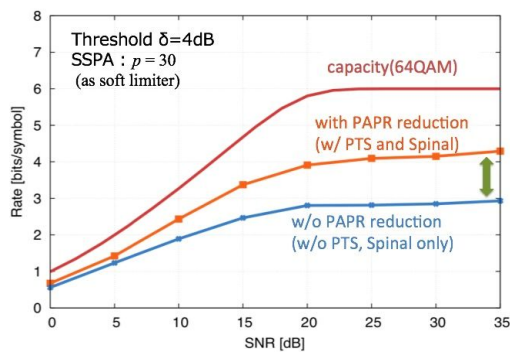


図 2 Spinal 符号を用いた PAPR 削減による伝送効率への影響

次に、〔学会発表〕¹⁾では、出力されるハッシュ値のビット長が 32bit である Jenkins Hash 関数に対し、ハッシュ出力の下位ビットをマスキング処理により削除することで符号器状態を削減した Spinal 符号を構成した。予備的なシミュレーション結果として、状態ビット数を 32bit (約 42 億状態) から 16bit (約 6 万状態) まで削減しても伝送効率が劣化しないことを確認しており、数万状態程度の符号器状態であれば、ビタビアルゴリズムによる最尤復号を利用可能であると考えられる。図 4 は状態ビット長が 16bit 前後の伝送効率 (bits/symbol) を示している。図中、上方から SNR (信号対雑音電力比) が 30dB, 20dB, 10dB の場合に対応し、高 SNR 領域において伝送効率を向上させる Null Branch 対策あり、対策なしの場合についてシミュレーションにより伝送効率を求めた。図の結果より、既存の Spinal 符号におけるビット長を短縮することで最尤復号可能な Spinal 符号を構成できていることが分かる。なお、これらの結果ではハッシュ関数として Jenkins Hash 関数を用いたが、異なるハッシュ関数を用いた場合に伝送効率の劣化が生じるビット長が変化するか、およびより少ないビット数で動作するハッシュ関数の設計法については引き続き課題として研究を進めているところである。

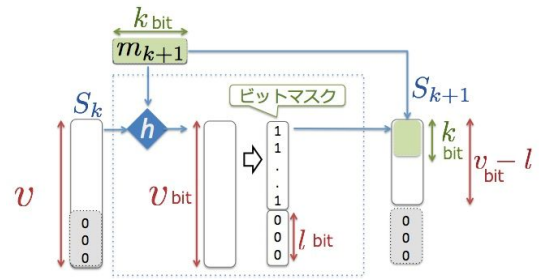


図 3 ビットマスキングによる符号器の状態削減

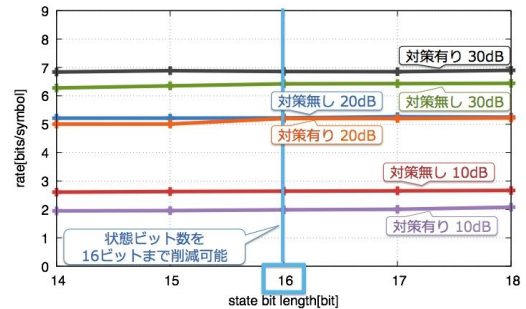


図 4 符号器状態のビット長に対する伝送効率

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

森島 佑, "状態数を削減した Spinal 符号の特性評価," 電子情報通信学会技術研究報告, 116(470(SAT-2016-69)) pp. 47-50., Feb. 2017.

Hodaka Tashiro, Yu Morishima, Ikuo Oka and Shingo Ata, "PAPR Control of OFDM Signals Using Spinal Codes," in Proc. International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2016), Oct. 2016. (査読有)

中田 佳希, 森島 佑, "状態数を削減した Spinal 符号の伝送特性," 平成 28 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演文集 pp.Po1-1, Dec. 2016.

田代 穂高, 森島 佑, 岡 育生, 阿多 慎吾, "Spinal 符号を用いた OFDM 信号の PAPR 削減法," 電子情報通信学会技術研究報告, 115(394), pp.187-190., Dec. 2016.

森島 佑, "固定レート Spinal 符号の誤り特性解析," 電子情報通信学会技術研究報告, 115(394(IT-2015-81)), pp. 183-186., Jan. 2016.

森島 佑, "短いブロック長における Spinal 符号の誤り特性評価," 情報理論とその応用シンポジウム (SITA) 予稿集 2015, pp.5.1.1., Nov. 2015.

〔図書〕(計 0 件)
〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森島 佑 (MORISHIMA YU)
鈴鹿工業高等専門学校・その他部局・助教
研究者番号：40734132

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし