

令和元年6月25日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2016～2018
課題番号：16K06336
研究課題名(和文)同期誤りを訂正する情報符号化法の開発

研究課題名(英文)A coding method for synchronous errors

研究代表者

笠井 健太 (Kasai, Kenta)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：70431997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：同期誤り通信路の達成可能情報レートの解明：対称情報レートの近似計算結果から得られた知見と密度発展法による通信路状態の定常分布を求めることにより、厳密な対称情報レートの導出を行いIEEE ISIT 2018とIEICE英文論文誌に論文として発表した。代数的同期誤り訂正符号の開発：低計算量の符号化・復号アルゴリズムの開発削除誤りを訂正する完全性を伴った符号を構成しその性質を調べ、この研究結果をIEICE SITA2017とIEEE ISIT2017にて論文として発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代の高密度磁気記憶媒体であるBit Patterned Media (BPM)では、スピンドルモータの回転数変動、ヘッド及びメディアの振動、ビットアイランドの位置及びサイズの誤差、書き込み信号のジッタ等を原因として、データの書き込み時にビットの削除と挿入からなる同期誤りが生じる。本研究結果で得られた符号化法が、BPMの高信頼化に、工学的・学術的に貢献する。

研究成果の概要(英文)：Elucidation of the achievable information rate of a synchronization error channel: The exact symmetric information rate is derived by finding the steady state distribution of the channel state by the density evolution method and the knowledge obtained from the approximate calculation result of the symmetric information rate. Published as a paper in ISIT 2018 and IEICE Journal. Development of algebraic synchronization error correction code: Development of low complexity coding / decoding algorithm Constructing a symbol with completeness to correct deletion error and examining its properties, this research result in IEICE SITA 2017 and IEEE ISIT 2017 as a paper.

研究分野：符号理論

キーワード：同期誤り 符号理論

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

次世代の高密度磁気記憶媒体である Bit Patterned Media (BPM) では、スピンドルモータの回転数変動、ヘッド及びメディアの振動、ビットアイランドの位置及びサイズの誤差、書き込み信号のジッタ、等を原因として、データの書き込み時にビットの削除と挿入からなる同期誤りが生じる。BPM の高信頼化のためには、ランダム誤りに加えて同期誤りを訂正する符号化技術が求められている。

削除と挿入からなる同期誤りの例を下に与える。WRITE と READ で表される 2 元系列がそれぞれ入力と出力である。

INDEX:ABCDEFGHIJKLMNOPSRUVWXYZ

WRITE:01001010011100101111010001

READ:01001010111011011111010001

インデックス H または I において削除が発生し、M において反転が発生している。Q と U の間のどこかで挿入が発生している。同期誤りのない通信路と違い、入力に対応する出力の位置情報が失われているため、同期誤り通信路の誤り訂正はより難しい。

これまでに開発された単一の削除または挿入からなる同期誤りを訂正する符号として、Levenshtein の符号が知られている。また、複数の削除・挿入誤りを訂正する符号として、Low-Density Parity-Check (LDPC)符号とウォーターマークを用いた符号や、多元 LDPC 符号と同期マーカを組み合わせた符号、等が提案されている。これらの符号化法は一般に、符号化率の低下を引き起こすウォーターマークまたは同期マーカにより同期を回復し、多元 LDPC 符号により残りの誤りを訂正する構成をとっている。

しかし、これまでで最も優れた削除・挿入誤り用の誤り訂正符号は大きなサイズの有限体上で定義された多元 LDPC 符号を用いており、復号にかかる計算量が多く実用に適していない。しかも復号特性も実用に耐えられるものではなく、3%の確率で発生する削除・挿入誤りですら訂正できなかった。さらに、従来用いられていた周期的に同期マーカを挿入することは、符号化されていない既知の情報を送受信両側で共有している。これは、情報を符号化して誤りに対抗することを目的とした符号理論の敗北である。同期マーカを用いなくても優れた復号性能を有するシンプルな符号化法があるはずである。上記で述べた強力な同期誤り訂正符号は数万以上の符号長と数百以上の同期誤りを想定している。同期誤りが頻繁に発生しない磁気記録媒体に対しては、高々十程度の少ない同期誤りを高速に訂正する小規模の代数的符号が求められている。近年、限界距離復号を仮定して所望の個数の同期誤りを訂正可能な代数的符号の構成法が提案された。しかし、計算量が大きな限界距離復号を仮定していることと、符号長および符号化率が限定された構成法になっていることが問題となっている。

2. 研究の目的

ハードディスクのさらなる高密度化のため、多くの同期誤りを訂正できる誤り訂正符号が求められている。従来の方法では、同期マーカを周期的に書き込むことで、同期誤りを推定してきた。同期マーカは情報を含まないビット列なので、情報符号化率を低下させてしまう。符号理論は情報を符号化することによって、正面から同期誤りに向き合うべきである。現状では学術的側面から見ると符号理論は同期エラー問題を解決したとはいえない。これまでの申請者の研究で得られた有記憶通信路の符号化技術を駆使し、同期マーカを用いずに正面突破で同期誤りとランダム誤りを同時に訂正できる誤り訂正技術を開発する。

3. 研究の方法

符号化率の理論限界は通信路容量(相互情報量の入力分布に対する最大値)として与えられる。同期誤り通信路の通信路容量が現在までに明らかにされていない。一様でない入力分布が通信路容量を与えたとしても、その入力分布に従って誤り訂正符号を構成することは困難である。したがって、実用的には一様な入力分布を有する線形符号が用いられ、一様な入力分布に対する相互情報量である SIR を、実用上の符号化率の限界値とみなすことができる。

有限状態通信路に対してシミュレーションによる SIR の近似計算法が提案されている。この方法を直接、同期誤り通信路に適用することはできないので、シミュレーション中の通信路状態の推定を同期誤りの推定に拡張することで、同期誤り通信路の SIR を計算する。SIR の近似計算結果から得られた知見と密度発展法による通信路状態の定常分布を求めることにより、厳密な SIR の導出を行う。

これまでに提案されていた多重同期誤り訂正符号の構成法を、順序集合論の始点から一般化し多様な符号長と符号化率と誤り訂正数を有する、順序を有する代数系上の符号構成法を提案した。この符号は代数的な構造に加えて、順序関係が導入されている。この構造を利用して、高い

符号化率と大きな誤り訂正能力を同時に有する符号の構成法の開発した。さらに低計算量の符号化・復号アルゴリズムの開発を行った。

4．研究成果

同期誤り通信路の達成可能情報レートの解明:対称情報レートの近似計算結果から得られた知見と密度発展法による通信路状態の定常分布を求めることにより, 厳密な対称情報レートの導出を行い IEEE ISIT 2018 と IEICE 英文論文誌に論文として発表した。代数的同期誤り訂正符号の開発:低計算量の符号化・復号アルゴリズムの開発削除誤りを訂正する完全性を伴った符号を構成しその性質を調べ,この研究結果を IEICE SITA2017と IEEE ISIT2017にて論文として発表した。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

著者名: Ryohei Goto, [Kenta Kasai](#) and Haruhiko Kaneko

論文表題: Coding of insertion-deletion-substitution channels without markers

雑誌名: 2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)

査読の有無: 有

巻: 1

発行年: 2016

ページ: 635-639

著者名: [Manabu Hagiwara](#) and Justin Kong

論文表題: Consolidation for compact constraints and Kendall tau LP decodable permutation codes

雑誌名: Designs, Codes and Cryptography

査読の有無: 有

巻: 1

発行年: 2016

ページ: 1-39

著者名: Ryohei Goto and [Kenta Kasai](#)

論文表題: Sparse Graph Codes for Channels with Synchronous Errors

雑誌名: IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences

査読の有無: 有

巻: Vol.E101-A No.12

発行年: 2018

ページ: 2064-2071

他 7 件

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：萩原 学
ローマ字氏名：Manabu Hagiwara
所属研究機関名：千葉大学
部局名：大学院理学研究院
職名：准教授
研究者番号（8桁）：80415728

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。