

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04132

研究課題名(和文)大規模センサネットワークのための符号化法の研究

研究課題名(英文)Research on Coding for Large-Scale Sensor Networks

研究代表者

LU SHAN (LU, SHAN)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：30755385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、大規模センサネットワークのための符号の構成法及び復号アルゴリズムの構成、及びその特性評価を目指すものである。  
主なる研究成果は、多重接続通信路符号の構成として、(1)代数的な符号化方法及び(2)逐次干渉除去法により符号化方法を提案して、高伝送率、高性能の符号を構成した。さらに、多重接続通信路の復号方法として、(3)圧縮センシングを基づいて繰り返す復号の方法及び(4)ニューラルネットワーク学習に基づく繰り返す復号方法を提案して、復号性能を改善した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の遂行により、massive machine-type 通信システムの符号化及び復号の構成に貢献した。代数的な符号化方法の提案は、従来手法と比較して総符号化率を向上されてしており、圧縮センシングを基づいて繰り返す復号の方法は、単純な圧縮センシングによりが多くな性能改善を達成した。同時に、mMTC通信路に対して、実用的な深層学習のアルゴリズム設計の有力なアプローチであることが示された。本研究で確立した符号化及び復号方法は、今後のmassive machine-type 通信システムに貢献になっていると考えている。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to construct a coding method and decoding algorithm for large-scale sensor networks and evaluate their characteristics.

For coding methods in multiple access channels, (1) an algebraic coding method and (2) successive interference cancellation-based coding schemes are proposed to obtain a code with a higher transmission rate and performance.

Furthermore, as a decoding method for the multiple access channel, we proposed (3) an iterative decoding method based on compressed sensing and (4) the iterative decoding method based on neural network learning to improve the decoding performance.

研究分野：通信ネットワーク、符号理論

キーワード：大規模ネットワーク 逐次干渉除去 マルチユーザ符号 深層学習 Signature符号

## 1. 研究開始当初の背景

インターネット技術の普及に伴い、家電や自動車、ビルや工場など、世界中の様々なモノがインターネットにつながり (Internet of Things) 始めている。非常に多くの通信装置を同じ帯域上で収容するための無線通信システム大容量化の需要が検討されており、特に mMTC (massive machine-type communication) 及び LP-WAN (low-power wide-area networks) が注目を集めている。

LP-WAN におけるセンサネットワークの一例として、大量、無限に近いのユーザ (センサデバイス) の中で、ごく一部のユーザが短いメッセージを通信路リソースを使って、同時に中央局に送信するという場合を考える。中央局は各ユーザの活動状態を知らず、各々のユーザも他のユーザの活動状態を知らない。そのようなネットワークをショットパケット伝送する大規模センサネットワーク (SPT-MSN) と呼ぶ。

無線通信の符号化の研究において、情報理論的な研究では符号長が長いところで議論しており、実用を目的とする符号理論では音声や画像のようにデータが大量であることを、前提として進めてきた。SPT-MSN のための短い符号長 (およそ 200-500 程度) の共通符号の構成は、情報理論や符号理論の観点から、新たな課題である。

## 2. 研究の目的

大量のユーザ (センサデバイス) の中、ごく一部のユーザが短いメッセージを中央局に送信する。このようなショットパケットを伝送する大規模センサネットワークのための共通符号の構成法を、本研究の目的とする。本研究は、SPT-MSN において、スケーラビリティを持つ、高信頼・低遅延の通信方式を提案する。具体的には、全ユーザの共通符号の構成とその復号法を提案する。そして、理論解析および計算機シミュレーションにより性能を検証する。

## 3. 研究の方法

本研究では、(1) 代数的な方法と (2) 深層学習の方法による、SPT-MSN における符号化・復号アルゴリズムの開発の二つからなる。

これまで提案した Signature 符号を使えば、全ユーザの活動状態を検出可能であるが、これをそのまま、ごく一部のユーザがアクティブであるような SPT-MSN に適用する符号を構成する。本研究では、まず、代数的な方法により符号化方法及び復号アルゴリズムを確定する。さらに、多くのユーザが存在する mMTC では、代数的な方法の計算量が多いため、深層学習の方法も検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 多重接続通信路符号の構成

①  $T$  ユーザ多重接続通信路符号の構成：雑音がある多重接続通信路において  $k$ -ary 符号化方法を提案する。符号長  $n$  の符号  $A$  と符号長  $n$  の  $(2k-1)$ -ary 符号  $B$ 、次数  $q$  のアダマール行列により、符号長  $qn$  の  $k$ -ary 符号  $C$  を構成する。符号  $C$  の構成する場合に、符号  $C$  により高い符号率を持つ符号  $A$  を導入し、従来の符号化方法と比較して、総符号化率が改善されている (国際会議: ISIT2019)。さらに、逐次干渉除去法により、より高い性能を持つランダムアクセスガウス通信路の符号化方法も構成した (雑誌論文: IEEE com. Letter2018, IEEE Trans. Com2019)。

② 深層学習による Signature 符号の構成：これまで提案した Signature 符号を使えば、全ユーザの活動状態を検出可能であるが、これをそのまま、ごく一部のユーザがアクティブであるような SPT-MSN

に適用する Signature 符号を Binarized Neural Networks に基づいて深層学習により構成した（学会発表: IT 研究会 2021）。

## （２）多重接続通信路の復号方法

① 圧縮センシングによる繰り返す復号：多重接続 Rayleigh 通信路では、ユーザの稼働状態及びフェージング係数を同時に推定する。Signature 符号は、通信モデルを圧縮センシングプロセスと見なすことにより、通信路を推定することが可能である。事前情報を使用した修正 OMP アルゴリズムを提案した。従来の OMP アルゴリズムよりも、高いユーザー検出精度と通信路推定精度を持つことを示された（学会発表: IT 研究会 2021）。さらに、グラフ理論に基づき、各ユーザの共通符号の符号語のスロットへの割り当てを最適化した（雑誌発表: IEEE Trans. Com2020）。

② 深層学習による Signature 符号の復号：ニューラルネットワークによる二元 Signature 符号のユーザー識別と通信路推定を検討する。復号の性能を改善するために、反復型のディープニューラルネットワーク方法を提案した。シミュレーション結果により、提案された DNN 復号法が達成するのに必要な計算時間が少ないことを示しています。さらに、従来の圧縮センシング信号回復アルゴリズムよりも、高いユーザー検出精度とチャネル推定精度を持つことを示された（雑誌発表: IEICE Fund. 2022）。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 WEI Lantian, LU Shan, KAMABE Hiroshi, CHENG Jun	4. 巻 E105.A
2. 論文標題 User Identification and Channel Estimation by Iterative DNN-Based Decoder on Multiple-Access Fading Channel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 417 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2021tap0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Song Guanghui, Cai Kui, Chi Yuhao, Guo Jie, Cheng Jun	4. 巻 68
2. 論文標題 Super-Sparse On-Off Division Multiple Access: Replacing Repetition With Idling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 2251 ~ 2263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2020.2965522	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Vem Avinash, Narayanan Krishna R., Chamberland Jean-Francois, Cheng Jun	4. 巻 67
2. 論文標題 A User-Independent Successive Interference Cancellation Based Coding Scheme for the Unsourced Random Access Gaussian Channel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 8258 ~ 8272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2019.2940216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 LU Shan, KAMABE Hiroshi, CHENG Jun, YAMAWAKI Akira	4. 巻 E101.A
2. 論文標題 Unrestricted-Rate Parallel Random Input-Output Codes for Multilevel Flash Memory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 2135 ~ 2140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E101.A.2135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Song Guanghui, Cai Kui, Chi Yuhao, Cheng Jun	4. 巻 22
2. 論文標題 Throughput Analysis of Interference Cancellation-Based Random Access With Feedback	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Communications Letters	6. 最初と最後の頁 2423 ~ 2426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCOMM.2018.2872970	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Lantian Wei, Shan Lu, Hiroshi Kamabe
2. 発表標題 Signature Code Designed by Binarized Neural Networks
3. 学会等名 信学技報, vol. 121, no. 327, IT2021-34, pp. 34-39,
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 Shan Lu, LianTian Wei, Hiroshi Kamabe,
2. 発表標題 OMP Algorithm with Prior Information for Identification and Channel Estimation on Multiple Access Fading Channel
3. 学会等名 信学技報, vol. 121, no. 28, IT2021-10, pp. 54-59,
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 L. Wei, S. Lu, H. Kamabe
2. 発表標題 User identification and channel estimation by DNN-based decoder on multiple-access channel
3. 学会等名 Proc. of 2020 IEEE Global Communications Conference (Globecom2020): Selected Areas in Communications: Machine Learning for Communications. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Lu, W. Hou, J. Cheng, H. Kamabe
2 . 発表標題 Multi-user UD k-ary codes recursively constructed from short-length multiary codes for multiple-access adder channel
3 . 学会等名 Proc. of 2019 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2019), pp.425-429, Paris, France,7-12 July 2019. (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 S. Lu, Wei Hou, Jun Cheng, Hiroshi Kamabe
2 . 発表標題 A New Kind of Nonbinary Uniquely Decodable Codes with Arbitrary Code Length for Multiple-Access Adder Channel
3 . 学会等名 Proc. of 2018 IEEE Information Theory Workshop (ITW2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年 ~ 2019年

1 . 発表者名 S. Lu, Wei Hou, Jun Cheng, Hiroshi Kamabe
2 . 発表標題 Recursive construction of k-ary uniquely decodable codes for multiple-access adder channelRecursive construction of k-ary uniquely decodable codes for multiple-access adder channels. Lu, Wei Hou, Jun Cheng, Hiroshi Kamabe
3 . 学会等名 Proc. 2018 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年 ~ 2019年

1 . 発表者名 S. Lu, J. Cheng, Hiroshi Kamabe, and , R. Shibata
2 . 発表標題 Multiuser coding scheme for random access Gaussian channel
3 . 学会等名 Proc. 41th Symposium on Information Theory and its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 S. Lu, W. Hou, J. Cheng, Hiroshi Kamabe
2. 発表標題 Nonbinary uniquely decodable codes with arbitrary code length for multiple-access adder channel
3. 学会等名 Proc. 41th Symposium on Information Theory and its Applications
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	程 俊  (Cheng Jun)  (00388042)	同志社大学・理工学部・教授    (34310)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------