

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06373

研究課題名（和文）空間結合符号のユニバーサル性を活かした多重接続通信の理論限界達成に関する研究

研究課題名（英文）Spatial Coupling Codes for Multiple-Access Communications

研究代表者

程 俊（Cheng, Jun）

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：00388042

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000 円

研究成果の概要（和文）：無線通信システムの周波数効率を向上するため、新しい空間結合符号を提案し、理論解析および計算機シミュレーションで復号性能を評価した。ポイント・トゥ・ポイント通信では、3種類の空間結合符号を開発し、理論限界に漸近する復号性を確認した。多重接続通信では、提案したマルチユーザ空間結合符号がユニバーサル性を持ち、ユーザ数、通信路環境、伝送率の異なる通信のシナリオでも、復号性能が理論限界に漸近することが明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

This project developed some new channel codes, which approach the theoretical limit of information transmission and greatly improve the spectrum efficiency for wireless communication systems.

研究成果の概要（英文）：We developed new spatial coupled codes to improve the spectrum efficiency for wireless communication systems. For the point-to-point communications, we proposed three kinds of spatial coupled codes, and optimized these codes. Numerical analysis and computer simulation show that decoding performance of these codes approach the theoretic limit. Moreover, we developed a kind of spatial coupled codes for multiple-access communication systems. The proposed multi-user spatial coupled codes are universal codes that have capacity-approaching performance on various communication scenarios, such as various numbers of users, various channel conditions, and various sum-rates.

研究分野：通信工学

キーワード：空間結合符号 多重接続通信路 符号理論 無線通信

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

With the continuous development of communications and the Internet technologies, it is an enormous challenge that a large number of users access channels simultaneously to communicate, so-called overloading scenario, in future wireless systems due to limited spectrum resources.

Among multiple access technologies, interleave-division multiple-access (IDMA) scheme has the advantages of high spectral efficiency, near theoretical limit performance, and low-cost multi-user detection for systems with large numbers of users since it employ user-specific interleave to distinguish users.

In an IDMA system, each user employs a common code followed with a user-specific interleave. The common code is a concatenation of a single-user channel code with a repeat code. The capacity-approaching performance had been obtained in the conventional IDMA systems, however, with restriction in a low sum-rate regime for given number of users and channel condition. For various numbers of users and various channel conditions, the IDMA systems have to employ the implementations of corresponding encoders and decoders, which is not practical.

2. 研究の目的

The research goal is to develop the common code for IDMA systems with capacity-approaching performance. The common code is universal in the sense that it supports various number of users and various channel conditions with the same implementation of encoder and decoder.

The spatial coupling is a kind of design method to construct channel codes by associating multiple identical base codes. In the point-to-point communications, it is known that spatial coupled codes are universal in the sense that they have capacity-approaching performance at various channel conditions. In the multi-user communications, such as IDMA systems, it is required to construct universal spatial coupled codes.

3. 研究の方法

The research method consists of the design of spatially coupled codes, mathematical analysis, development of encoding and decoding algorithms, and their software implementation.

4. 研究成果

The project is separated into three parts. We describe the results as follows.

(1) Spatially Coupled Codes for Point-to-Point Communications

① Repeat-accumulate extended spatially coupled LDPC (RA-extended SC-LDPC) codes

We proposed a family of RA-extended SC-LDPC by spatially coupling multiple base codes, which consists of a given regular low-density parity-check (LDPC) code and a parameter-adjustable repeat-accumulate (RA) extension. The RA-extension repeatedly accumulates all of the variable nodes of the given LDPC code by $q + 1$ times to generate $q + 1$ blocks of accumulated nodes, in which all of the accumulated variable nodes in the first q blocks and the α -fractional accumulated variable nodes in the last block are transmitted. The proposed RA-extended SC-LDPC codes, achieve arbitrary rates by simply adjusting parameters q and α , and thus they are rate-less. Numerical results and simulations show that the proposed rate-less codes are capacity-approaching over binary erasure channels at various erasure probabilities (see Figure 1).

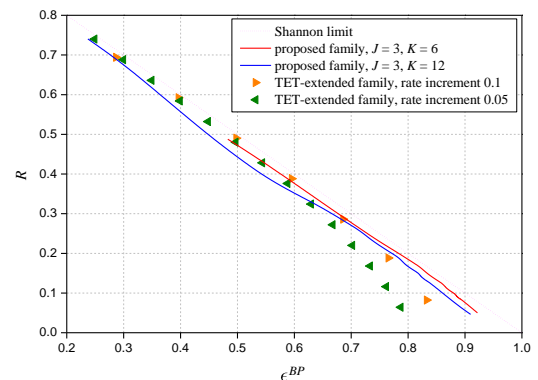


Figure 1: Rate versus the belief-propagation threshold.

② Spatially-coupled irregular LDPC codes by irregular superposition matrices

We proposed spatially-coupled irregular LDPC codes by irregular superposition matrices. Starting with a binary base matrix and replacing non-zero entries in the base matrix by superposition matrices produces a parity-check matrix and its corresponding code ensemble. The proposed codes have two features: a) flexible code rates because the size of the superposition matrix is arbitrarily adjusted, and b) guaranteed iterative decoding performance because the weight distributions of the superposition matrix are optimized, even in a finite coupling width. The numerical analysis of density evolution and Monte-Carlo simulations show that our proposed code ensembles approach the Shannon limits at arbitrary code rates and outperform the conventional codes. Moreover, we analytically estimate the bit error rate and frame error rate (FER) of the proposed codes in error floor region. The numerical results show that the FER performances in the error floor regions of the proposed codes are superior to the conventional irregular LDPC code ensembles at almost identical belief-propagation thresholds.

③ Spatial coupled polar codes

We proposed spatial coupled polar codes by associating multiple identical polar codes with short length. We have investigated two spatial-coupling schemes. For the first spatial-coupling scheme, part of message bits of the polar code at each coupling position is used as frozen bits of the one-side adjacent polar code. For the second scheme, the multiple polar codes are associated by combining message-bit blocks of adjacent coupling positions with modulo-2 addition. Simulation results show that, the two schemes of spatially coupled polar codes can provide better error-correcting performance, with a little extra iteration complexity, than original polar codes with short length.

(2) Spatially Coupled Codes for Multiple-Access Channel

① Spatially coupled repeater-combiner-convolutional (SC-RCC) codes for two-user fading multiple-access channel

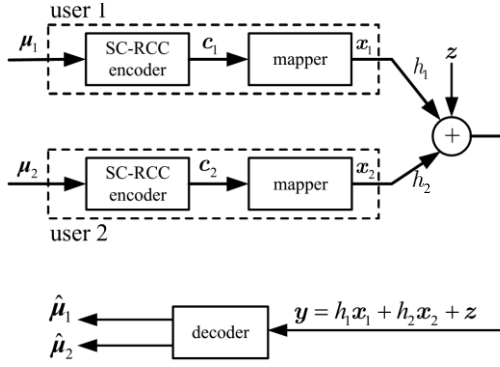


Figure 2: Two-user SC-RCC coded systems.

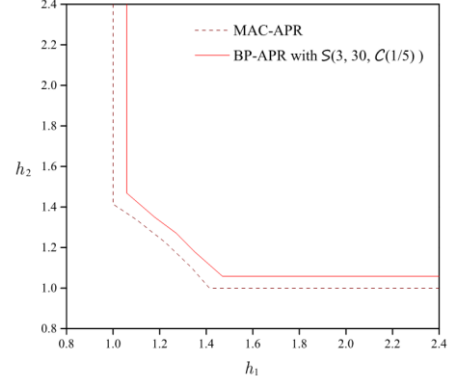


Figure 3: BP-APR of SC-RCC code is universally near to the theoretic boundary.

We propose SC-RCC code by spatially coupling a concatenation of a block outer code (consisting of repetition code followed by a single-parity code), and a convolutional inner code, and apply the code to two-user fading multiple-access system (see Figure 2). With maximum a posteriori detection, we derive extrinsic information transfer (EXIT) evolution equations by analyzing the two-user protograph. By updating these equations, we determine the belief propagation (BP) decodable boundary. The top right part of the boundary is the BP-threshold achievable power-allocation region (BP-APR) (see Figure 3). The boundary of SC-RCC code $S(3,30,C(1/5))$ is universally near to the theoretic boundary MAC-APR.

② Spatially coupled repeat-accumulate-repeat (SC-RA-R) codes for IDMA systems

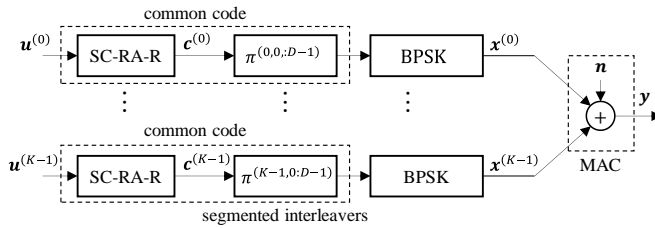


Figure 4: K -user SC-RA-R coded IDMA systems.

Table 1: The caps between theoretic bound and the achievable sum rates.

Previous Work	
Coded IDMA systems	Gaps between capacity bound
[Ping, 2004] Turbo-Hadamard coded IDMA	1.4 dB (simulation), $R_{\text{min}}=0.5$
[Song, 2012] Regular RA-coded IDMA	2 dB, $R_{\text{min}} < 2$
[Ueda, 2012] RZH coded IDMA	1.8 dB, $R_{\text{min}}=0.5$
[Song, 2013] K -user PCC	2 dB, $R_{\text{min}} < 2$
[Han, 2014] K -user q -ary PCC	Less than 1 dB, at many sum rates
[Tsujii, 2013] q -ary LDPC+ q -ary repetition	Less than 0.5 dB, at many sum rates
This work	
K -user SC-RA-R-IDMA	1.2 dB, $R_{\text{min}} = 0.67$

Consider K -user spatially coupled repeat-accumulate-repeat (SC-RA-R) coded IDMA systems (see Figure 4). Each user employs an SC-RA-R code, followed by user-specific interleaves. The proposed SC-RA-R code is a concatenation of a fixed spatially coupled repeat-accumulate (SC-RA) code with a repeater. Density evolution with Gaussian approximation shows, in Table 1, that the belief propagation threshold of the proposed system is closer to the Shannon limit than the conventional binary coded IDMA systems.

Recently, we further revised the SC-RA-R codes by simply adjusting the parameters in the repeat code, which determine repeat times and corresponding repeat proportion of systematic and parity bits at each coupling position of the outer code, respectively. Thus the proposed codes, referred as **multi-user rateless SC-RA-R codes**, can provide arbitrary sum-rates for IDMA systems, while with the same implementations of encoder and decoder. The numerical results of the EXIT analysis show that the proposed code C_K is close to Shannon bound at arbitrary sum-rates with various numbers of user K , and outperform the two conventional uncoupled codes S_K and T_K (see Figure 5). These results show that the proposed codes are universal, which have capacity-approaching performance on various communication scenarios, such as various numbers of users, various channel conditions, and various sum-rates.

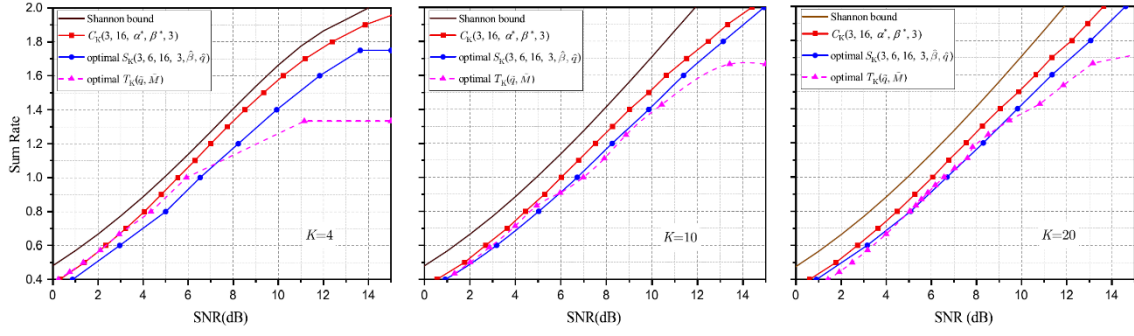


Figure 5: Sum-rates of the proposed code C_K and two conventional uncoupled codes S_K and T_K at number of users $K=4, 10$, and 20 .

(3) Framed Spatially Coupled Slotted ALOHA System

Consider the systems where there are many devices want to transmit their data to an access point. The transmission is divided into multiple frames, and each frame is further divided into a plurality of slots. At a given probability, each device transmits a replica of its packet to frames, once for the current frame and subsequent $d-1$ frames. These transmission scheme is an application of spatial coupling concept to random access system, called framed spatially-coupled coded slotted ALOHA (f-SCCSA) systems.

At the access point, the decoding is performed within each slot, and the successive interference cancellation is carried out between slots to remove the signals which have been recovered within slots. We analyze the decoding performance of the systems, and show it approaches the theoretic limit, even with a finite-length packet transmission (see Figure 6).

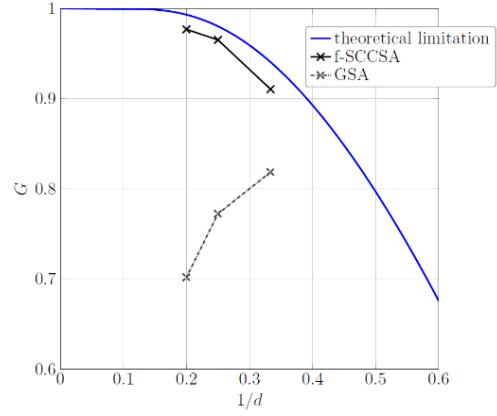


Figure 6: Normalized throughput vs number of transmitted replicas d .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 2件）

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
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 麓 公一, 石田 拓也, 宋 光輝, 程 俊	4. 巻 59
2. 論文標題 過負荷MIMOシステムのための PCCの最適化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 同志社大学ハリス理工学研究報告	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 M. He, G. Song, and J. Cheng,	4. 巻 7
2. 論文標題 Joint rate and power optimization for SIC in uplink NOMA systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 48-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2017XBL0175	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 J. Liu, M. He, and J. Cheng	4. 巻 E100-A
2. 論文標題 Improved sphere bound on the MLD performance of binary linear block codes via Voronoi region	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Fundamentals	6. 最初と最後の頁 2572-2577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E100.A.2572	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 Song Guanghui, Wang Xianbin, Cheng Jun	4. 巻 5
2. 論文標題 Signature Design of Sparsely Spread Code Division Multiple Access Based on Superposed Constellation Distance Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 23809 ~ 23821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2017.2765346	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 該当する

1. 著者名 Song Guanghui, Wang Xianbin, Cheng Jun	4. 巻 66
2. 論文標題 A Low-Complexity Multiuser Coding Scheme With Near-Capacity Performance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 6775 ~ 6786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2017.2650955	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 M. He, G. Song, and J. Cheng	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimal rate profile for multi-user multi-rate transmission systems by bivariate fixed-point analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IET Communications	6. 最初と最後の頁 628-638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/iet-com.2016.0694	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 W. Hou, S. Lu, and J. Cheng	4. 巻 10
2. 論文標題 Rate-compatible spatially coupled LDPC code ensembles based on repeat-accumulate extensions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IET Communications	6. 最初と最後の頁 2422-2426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/iet-com.2015.1031	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 M. He, G. Song, and J. Cheng	4. 巻 57
2. 論文標題 Unequal rate transmission for sum rate maximization over two-user Gaussian multiple access channel	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Harris Science Review of Doshisha University,	6. 最初と最後の頁 81-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 G. Song and J. Cheng	4. 巻 62
2. 論文標題 Distance enumerator analysis for interleave-division multi-user codes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Information Theory	6. 最初と最後の頁 4039-4053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIT.2016.2569528	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 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 S. Lu, W. Hou, J. Cheng, and H. 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 IEEE Information Theory Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Osamura, G. Song, J. Cheng, and K. Cai
2 . 発表標題 Sparse multiple access and code design with near channel capacity performance
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nakayama, M. Yoshida, and J. Cheng
2 . 発表標題 Quantum key distribution using extended mean King's problem
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Shibata, S. Lu, M. Yoshida, K. R. Narayanan, and J. Cheng
2 . 発表標題 Error floor estimation of spatially-coupled irregular LDPC code ensembles
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. H. Wang, W. Hou, S. Lu, P. Y. Wu, Y.-L. Ueng, and, J. Cheng
2 . 発表標題 Improving polar codes by spatial coupling
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Lu, W. Hou, J. Cheng, and H. Kamabe
2. 発表標題 Recursive construction of k-ary uniquely decodable codes for multiple-access adder channel
3. 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kong, J. Cheng, K. Narayanan, and J. Hu
2. 発表標題 DUCER: a fast and lightweight error correction scheme for in-vehicle network communication
3. 学会等名 IEEE Int. Conference on Vehicular Electronics and Safety (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長村 明, 宋 光輝, 木村 共孝, 程 俊
2. 発表標題 アイドル時刻分割多重接続通信システムのためのLDPC符号の最適化
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ichiki, T. Inoue, G. Song, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Neural network multiuser detection and soft-decoding in random access CDMA systems
3. 学会等名 The 41st Symposium on Information Theory and its Applications
4. 発表年 2018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 The 41th Symposium on Information Theory and its Applications
4 . 発表年 2018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 The 41st Symposium on Information Theory and its Applications
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 長村 明, 宋 光輝, 程 俊, K. Cai
2 . 発表標題 多重接続消失通信路におけるマルチユーザパンクチャ符号の最適化
3 . 学会等名 IEICE 情報理論研究会
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Vem, K. R. Narayanan, J. Cheng, and J. F. Chamberland
2 . 発表標題 A user-independent serial interference cancellation based coding scheme for the unsourced random access Gaussian channel
3 . 学会等名 Proc. IEEE Information Theory Workshop (ITW) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 G. Song, K. Cai, and J. Cheng
2 . 発表標題 Union bound analysis of multilevel flash memory channels
3 . 学会等名 Proc. IEEE Information Theory Workshop (ITW) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Lu, H. Kamabe, and J. Cheng
2 . 発表標題 Codes for T-user asymmetric multiple-access channel with independent sources
3 . 学会等名 Proc. IEEE Information Theory Workshop (ITW) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Lu, H. Kamabe, J. Cheng, and A. Yamawaki
2 . 発表標題 Construction of unrestricted-rate parallel random input-output code
3 . 学会等名 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 G. Song, K. Cai, and J. Cheng
2 . 発表標題 A union bound analysis for codes over binary asymmetric channels
3 . 学会等名 Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 長村 明, 宋 光輝, 程 俊
2. 発表標題 2ユーザ多重接続消失通信路にけるLDPC符号の最適化
3. 学会等名 電子情報通信学会 関西支部 学生会 第23回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市来 悠斗, 宋 光輝, 路サン, 程 俊
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いたハミング符号の復号性能比較
3. 学会等名 電子情報通信学会 関西支部 学生会 第23回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山 歩, 吉田 雅一, 程 俊
2. 発表標題 拡張したMean King問題を応用した量子鍵配送の安全性の検討
3. 学会等名 2018年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Song, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Iterative collision cancellation for slotted ALOHA with link fading
3. 学会等名 IEICE Technical Report
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中山歩, 吉田雅一, 程俊
2. 発表標題 拡張したMean King問題を応用した量子鍵配送の構成と安全性の検討
3. 学会等名 平成29年度情報理論特別講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Song, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Iterative collision cancellation for slotted ALOHA with link fading
3. 学会等名 同志社大学モビリティ研究センター 第13回 部門研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中山歩, 吉田雅一, 程俊
2. 発表標題 拡張したMean King 問題を応用した量子鍵配送の検討
3. 学会等名 第37回量子情報技術研究会 (QIT37)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂口 亮駿, 宋 光輝, 程 俊
2. 発表標題 パンクチャド符号分割多元接続
3. 学会等名 第40回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Lu, H. Kamabe, and J. Cheng
2 . 発表標題 Codes for T-user asymmetric multiple-access channel with independent sources
3 . 学会等名 Proc. 40th Symposium on Information Theory and its Applications (SITA2017)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 G. Song and J. Cheng
2 . 発表標題 Signature design of sparsely spread CDMA
3 . 学会等名 IEICE Technical Report
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Lu, H. Kamabe, A. Yamawaki, and J. Cheng
2 . 発表標題 Unrestricted-rate parallel R10 code
3 . 学会等名 The 8th Non-Volatile Memories Workshop (NVMW) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Sakaguchi, K. Shibata, W. Hou, M. Yoshida, and J. Cheng
2 . 発表標題 Performance analysis of SC-RA coded IDMA systems with segmented interleavers
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 K. Shibata, M. Yoshida, and J. Cheng
2 . 発表標題 Spatially-coupled irregular LDPC codes via irregular superposition matrices
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 S. Lu, W. Hou, and J. Cheng
2 . 発表標題 Input-output weight distribution of terminated RSC codes with limited code length
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 K. Fumoto, T. Ishida, M. Yoshida, and J. Cheng
2 . 発表標題 Parallel concatenated coded overloaded MIMO systems
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 M. He, G. Song, J. Cheng, and S. Lu
2 . 発表標題 Optimal rate profile for multi-user multi-rate code with hybrid interference cancellation scheme
3 . 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 W. Hou, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Spatially coupled repeater-combiner-convolutional code on 2-user multiple-access fading channels
3. 学会等名 Int. Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 W. Hou, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Achieving multiple-vehicle message exchange by spatially coupled coding
3. 学会等名 IEICE Technical Report
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大友 孝晃, 森岡 将貴, 吉田 雅一, 程 俊
2. 発表標題 量子暗号の安全性検証におけるIBM Quantum Experienceの利用と発展性に関する検討
3. 学会等名 暗号と情報セキュリティシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hou, S. Lu, and J. Cheng
2. 発表標題 Analyzing spatially coupled LDPC codes with entropy-based potential function
3. 学会等名 Symposium on Information Theory and its Applications (SITA)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田 雅一, 森岡 将貴, 程 俊
2. 発表標題 高次元量子誤り訂正符号を用いたMean King問題の解法とその応用
3. 学会等名 情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田 雅一, 木村 元, 程 俊
2. 発表標題 一般化SIC-POVMの一構成法
3. 学会等名 情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Lu, W, Hou, and J. Cheng
2. 発表標題 Input-output weight distribution of terminated recursive systematic convolutional codes
3. 学会等名 IEICE Technical Report
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 G. Song, Y. Chi, K. Cai, Y. Li, and J. Cheng	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley-IEEE Press	5. 総ページ数 pp. 205-235
3. 書名 "Code design for multiuser MIMO," in 5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----