

令和 3 年 4 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2017～2020

課題番号：16KK0120

研究課題名（和文）高速レートかつ低オーバーヘッドを実現する非同期大規模アレイ伝送方式の開発（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）High-throughput and low-overhead non-coherent massive MIMO systems(Fostering Joint International Research)

研究代表者

杉浦 慎哉 (Sugiura, Shinya)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：30394927

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

渡航期間： 3ヶ月

研究成果の概要（和文）：ワイヤレス通信の分野では利用しやすい周波数帯域が逼迫しており、物理層において高い性能を実現することがますます重要になってきている。本研究では、膨大な数のアンテナ素子を基地局にて用いるシステムを対象として、伝搬路推定に必要なオーバーヘッドと高周波回路に起因する消費電力の問題を解決する手法を示した。空間変調（インテックス変調）と呼ばれるシングル高周波回路送信機を構成可能なマルチアンテナ方式について、消費電力削減効果を解析的に評価した。また、非同期検出やセミブラインド伝搬路/データ同時推定を活用することで、パイロットオーバーヘッドを削減できる手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ワイヤレス通信のスタンダードであるマルチアンテナシステムを対象に、電力消費とパイロットオーバーヘッドを削減可能な手法を示し、多面的な評価を行った。このことは、さらなる高周波数利用効率が必要である次世代ワイヤレス通信システムへの適用検討に重要である。今回対象とした信号伝送方式は基本的な技術であるため、実用化時には幅広い通信システムへの波及効果が期待できる。引き続き、本技術の実用化に向けた研究に取り組んでいく。

研究成果の概要（英文）：There is a shortage of available bandwidth in wireless communications, and it becomes crucial to achieve high performance in the physical layer. In this paper, we present a method to solve the problem of pilot overhead needed for channel estimation and that of power consumption due to RF circuits, which is imposed by a massive multiple-input multiple-output (MIMO) system that uses a massive number of antenna elements at the base station. The benefits of a multi-antenna system configured with a single RF circuit transmitter, called spatial modulation (index modulation), are analytically evaluated on the reduction of power consumption. We also proposed reducing the pilot overhead by utilizing differential encoding and non-coherent detection, as well as semi-blind joint channel estimation and data detection.

研究分野：ワイヤレス通信

キーワード：MIMO 大規模MIMO 空間変調 理論解析

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

移動通信システムにおいて今後さらなる高速・高信頼な無線伝送性能の実現が重要である。そのための有望な技術として、基地局において膨大な数のアンテナ素子を利用する **massive multiple-input multiple-output (M-MIMO)** 技術がある[1]。M-MIMO では、巨大な空間（アンテナ）の自由度に比例して増加する通信路容量を実現できる。これにより、原理的に多数のユーザを同時にサポートし、高速に通信をすることが可能である。

一方、M-MIMO 方式には実用上様々な課題が存在する。まず、基地局での高い消費電力が挙げられる。一般に MIMO 通信では、アンテナ素子数と同じ数の高周波回路系統を持つ。高周波回路には電力増幅器が含まれており、電波を送信していない状態でも高周波回路系統数分の静的消費電力を消費するため、アンテナ素子数が多い場合には膨大な消費電力となる。次に、M-MIMO 方式で期待される通信性能を実現するためには、伝搬路の状態を送受信機で正確に推定し利用することが一般的である。伝搬路の係数は基地局のアンテナ数とユーザ数を乗じた数に比例する。各伝搬路係数を把握するためにはあらかじめ既知のパイロット信号を送信して推定する必要があるため、M-MIMO 方式ではそのオーバーヘッドが大きい。また、この伝搬路推定は伝搬路の相関時間ごとに実施する必要があるため、伝搬路の変動が速い場合にはパイロット信号の送信周期が高くなるためさらにオーバーヘッドが増加する。

2. 研究の目的

以上の背景より、本研究では上記課題を解決する手法を示し、M-MIMO 方式の高い通信品質を実現することを目的としている。また、理論的な性能上限を示し、システムの設計指針を明らかにする。

3. 研究の方法

本報告では、空間変調と呼ばれる MIMO 方式[2]を対象とする。空間変調は各シンボル時間で複数のアンテナ素子からひとつのアンテナ素子のみをアクティブにする手法である。アクティブなアンテナ素子のインデックスにより情報を伝送することを特徴とする。MIMO 方式であるにもかかわらず高周波回路が一系統のみに抑えることができるため、静的消費電力を低く維持することができる。ここでは特に、空間変調方式にとって現実的な帯域制限フィルタを仮定した上で、理論解析により周波数利用効率と電力利用効率のトレードオフ関係を明らかにする。

さらに、セミブラインド伝搬路データ同時検出、および、非同期検出を利用した空間変調方式を提案することにより、送信アンテナ数が増加した場合にもパイロットオーバーヘッドを最小に抑えながら空間変調方式特有の性能利得を得る。ただし本報告では、空間変調方式の電力利用効率の解析に焦点を当てるため、伝搬路データ同時検出や非同期検出を利用した空間変調方式についての詳細は、文献[3]-[5]等を参照されたい。

4. 研究成果

(1) 電力利用効率/周波数利用効率

空間変調では、アンテナ切り替えのために各シンボル区間でシンボル波形の送信を完了しなければならない[2]。そのため、時間直交した帯域制限フィルタは利用できず、孤立パルス送信を実現するために、時間制限されたガウスフィルタやルートレイズドコサイン (root raised cosine: RRC) フィルタ等が利用される。送信アンテナ数を N_{tx} とし、各シンボル時間で選択されたアンテナ素子から位相振幅変調されたシンボルが送信される。このとき、空間変調の伝送容量 C は下記で与えられる。

$$C = W(C_1 + C_2) \quad (1)$$

ここで、 W は利用可能な周波数帯域である。 C_1 は位相振幅変調されたシンボルの相互情報量を表し、閉形式で求められる[2]。一方、 C_2 はアンテナ選択による相互情報量を表し、閉形式で求めることが困難であるため、上限 $C_{2,max} = \log_2 N_{tx}$ と下限 $C_{2,min} = I(\hat{X}_{ch}; X_{ch})$ を用いる。したがって、伝送容量 C についても対応する上限 $C_{max} = W(C_1 + C_{2,max})$ と下限 $C_{min} = W(C_1 + C_{2,min})$ を用いて評価する。詳細な導出は[2]を参照されたい。

さらに、空間変調方式の電力効率 η は下記で表される。

$$\eta = C/P_{supply} \quad (2)$$

ここで、基地局での全電力 P_{supply} は以下で与えられる。

$$P_{supply} = \begin{cases} P_0 + \zeta P_t & (0 < P_t \leq P_{max}) \\ P_{sleep} & (P_t = 0) \end{cases} \quad (3)$$

また、 P_0 は高周波回路一系統の静的消費電力、 ζ は負荷に依存した消費電力の傾き、 P_t は高周波

電力、 P_{sleep} はスリープモードでの消費電力である。なお、 N_{RF} 系統の高周波回路を持つ従来のMIMO方式では、式(3)の静的消費電力は送信ビット数に関わらず N_{RF} 倍となる。

(2) 数値解析結果

図1に電力利用効率と周波数利用効率のトレードオフ結果を示す。理想矩形フィルタ（時間直交）、RRCフィルタ（時間制限）、ガウスフィルタ（時間制限）を用いた空間変調に加えて、ベンチマークとして理想矩形フィルタ（時間直交）を用いた時空間符号MIMOと空間多重MIMO方式を比較した。また、周波数非選択性レイリーフェージング伝搬路を対象とした。図1(a)と図1(b)に送信アンテナ数 $N_{\text{tx}} = 128$ 、の $N_{\text{tx}} = 4$ のマクロセル基地局をそれぞれ考えた。いずれの場合も周波数帯域は10 MHzとし、100,000回のモンテカルロシミュレーションを実施した。時空間符号MIMOと空間多重MIMO方式では、アンテナ数と高周波回路数が同じ($N_{\text{RF}} = N_{\text{tx}}$)であるとした。図1(a)の結果より、空間変調方式では、理想的な矩形フィルタには大きく劣るものの、ガウスフィルタを用いた場合、ベンチマークである時空間符号MIMOと空間多重MIMO方式と比べて幅広い周波数利用効率の範囲において高い電力利用効率を実現できることがわかる。この理由は、空間変調送信機では高周波回路数が一系統のみであるため、従来のMIMO方式と比べて静的消費電力を大きく抑えられているからである。なお、図1(b)に示すように、アンテナ数が $N_{\text{tx}} = 4$ と小さい場合には、従来のMIMO方式に対する空間変調方式の電力利用効率の利得は小さくなる。

なお、本解析では簡単のため周波数非選択性レイリーフェージング伝搬路を仮定した。しかしながら、高周波回路が一系統である空間変調方式はシングルキャリア伝送で利用されることが前提となっているため[6]、より現実的な解析を行うためには周波数選択性フェージング伝搬路を考慮する必要がある。

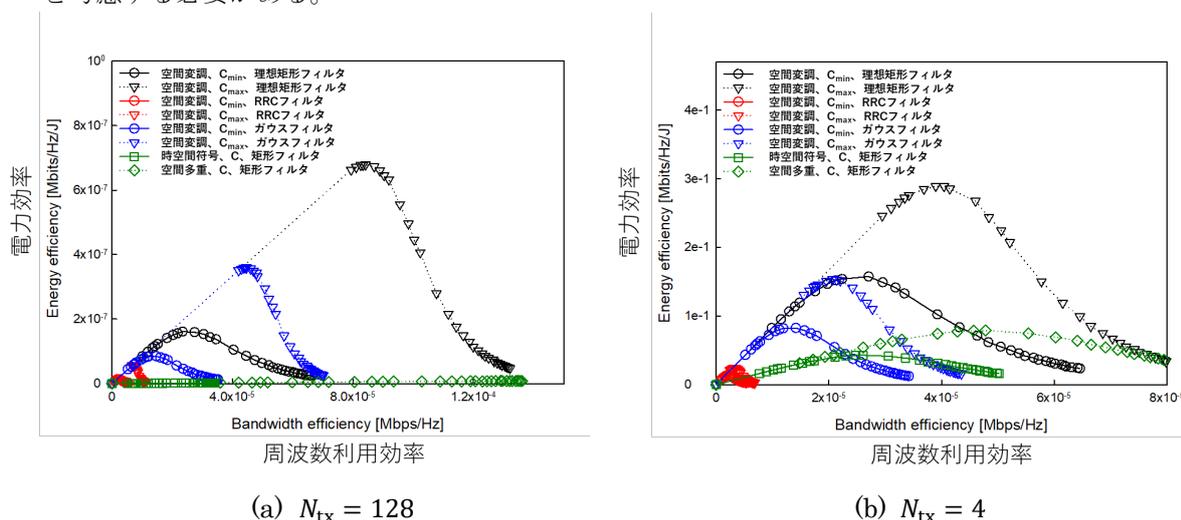


図1. 空間変調方式における電力効率と周波数利用効率の関係。(© IEEE. M. Arisaka and S. Sugiura [2].)

<引用文献>

- [1] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, 2010.
- [2] M. Arisaka and S. Sugiura, "Energy-versus-bandwidth-efficiency tradeoff in spatially modulated massive MIMO downlink," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 197–200, 2019.
- [3] Y. Akiba, T. Ishihara, and S. Sugiura, "Variable-block-length joint channel estimation and data detection for spatial modulation over time-varying channels," *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 69, no. 11, pp. 13964–13969, 2020.
- [4] C. Xu, R. Rajashekar, N. Ishikawa, S. Sugiura, and L. Hanzo, "Single-RF index shift keying aided differential space-time block coding," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 66, no. 3, pp. 773–788, 2018.
- [5] C. Xu, P. Zhang, R. Rajashekar, N. Ishikawa, S. Sugiura, L. Wang, and L. Hanzo, "Finite-cardinality single-RF differential space-time modulation for improving the diversity-throughput tradeoff," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, pp. 318–335, 2019.
- [6] S. Sugiura and L. Hanzo, "Single-RF spatial modulation requires single-carrier transmission: Frequency-domain turbo equalization for dispersive channels," *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 64, no. 10, pp. 4870–4875, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 18件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Xu Chao, Xiong Yifeng, Ishikawa Naoki, Rajashekar Rakshith, Sugiura Shinya, Wang Zhaocheng, Ng Soon-Xin, Yang Lie-Liang, Hanzo Lajos | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Space-, Time-and Frequency-Domain Index Modulation for Next-Generation Wireless: A Unified Single-/Multi-Carrier and Single-/Multi-RF MIMO Framework | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2021.3054068 | 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 Akiba Yuya, Ishihara Takumi, Sugiura Shinya | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 Variable-Block-Length Joint Channel Estimation and Data Detection for Spatial Modulation Over Time-Varying Channels | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology | 6. 最初と最後の頁 13964 ~ 13969 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2020.3023718 | 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 Xu Chao, Ishikawa Naoki, Rajashekar Rakshith, Sugiura Shinya, Maunder Robert G., Wang Zhaocheng, Yang Lie-Liang, Hanzo Lajos | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Sixty Years of Coherent Versus Non-Coherent Tradeoffs and the Road From 5G to Wireless Futures | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 178246 ~ 178299 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2957706 | 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 S. Osaki, M. Nakao, T. Ishihara, and S. Sugiura | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Differentially Modulated Spectrally Efficient Frequency-Division Multiplexing | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Signal Processing Letters | 6. 最初と最後の頁 1046 ~ 1050 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LSP.2019.2918688 | 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 C. Xu, P. Zhang, R. Rajashekar, N. Ishikawa, S. Sugiura, Z. Wang, and L. Hanzo | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 "Near-Perfect" Finite-Cardinality Generalized Space-Time Shift Keying | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Journal on Selected Areas in Communications | 6. 最初と最後の頁 2146 ~ 2164 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSAC.2019.2929450 | 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 N. Ishikawa, R. Rajashekar, C. Xu, M. El-Hajjar, S. Sugiura, L.-L. Yang, and L. Hanzo | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Differential-Detection Aided Large-Scale Generalized Spatial Modulation is Capable of Operating in High-Mobility Millimeter-Wave Channels | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing | 6. 最初と最後の頁 1360 ~ 1374 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTSP.2019.2913130 | 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 C. Xu, T. Bai, J. Zhang, R. G. Maunder, S. Sugiura, Z. Wang, and L. Hanzo | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Constant-Envelope Space-Time Shift Keying | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing | 6. 最初と最後の頁 1387 ~ 1402 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTSP.2019.2922587 | 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 T. Ishihara and S. Sugiura | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 SVD-Precoded Faster-Than-Nyquist Signaling With Optimal and Truncated Power Allocation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications | 6. 最初と最後の頁 5909 ~ 5923 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2019.2940632 | 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 C. Xu, N. Ishikawa, R. Rajashekar, S. Sugiura, R. G. Maunder, Z. Wang, L.-L. Yang, and L. Hanzo | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Sixty Years of Coherent Versus Non-Coherent Tradeoffs and the Road From 5G to Wireless Futures | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 178246 ~ 178299 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2957706 | 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 N. Ishikawa, S. Sugiura, and L. Hanzo | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 50 years of permutation, spatial and index modulation: From classic RF to visible light communications and data storage | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Communications Surveys & Tutorials | 6. 最初と最後の頁 1905-1938 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMST.2018.2815642 | 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 N. Ishikawa, R. Rajashekar, C. Xu, S. Sugiura, and L. Hanzo | 4. 巻 66 |
| 2. 論文標題 Differential space-time coding dispensing with channel-estimation approaches the performance of its coherent counterpart in the open-loop massive MIMO-OFDM downlink | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications | 6. 最初と最後の頁 6190-6204 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2018.2867528 | 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 C. Sagayama, T. Ishihara, and S. Sugiura | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Performance analysis and constellation optimization of star-QAM-aided differential faster-than-Nyquist signaling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Signal Processing Letters | 6. 最初と最後の頁 144-148 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LSP.2018.2882696 | 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 C. Xu, P. Zhang, R. Rajashekar, N. Ishikawa, S. Sugiura, L. Wang, and L. Hanzo | 4. 巻 67 |
| 2. 論文標題 Finite-cardinality single-RF differential space-time modulation for improving the diversity-throughput tradeoff | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications | 6. 最初と最後の頁 318-335 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2018.2869812 | 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. Arisaka and S. Sugiura | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Energy-versus-bandwidth-efficiency tradeoff in spatially modulated massive MIMO downlink | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters | 6. 最初と最後の頁 197-200 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LWC.2018.2866470 | 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 M. Nakao and S. Sugiura | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Spectrally efficient frequency division multiplexing with index-modulated non-orthogonal subcarriers | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters | 6. 最初と最後の頁 233-236 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LWC.2018.2867869 | 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 Takumi Ishihara and Shinya Sugiura | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Differential faster-than-Nyquist signaling | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 4199-4206 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2018.2800002 | 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 Miyu Nakao, Takumi Ishihara, and Shinya Sugiura | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Dual-mode time-domain index modulation for Nyquist-criterion and faster-than-Nyquist single-carrier transmissions | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 27659-27667 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2017.2768539 | 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 C. Xu, R. Rajashekar, N. Ishikawa, S. Sugiura, and L. Hanzo | 4. 巻 66 |
| 2. 論文標題 Single-RF index shift keying aided differential space-time block coding | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Signal Processing | 6. 最初と最後の頁 773-788 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TSP.2017.2768019 | 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 S. Sugiura, T. Ishihara, and M. Naka | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 State-of-the-art design of index modulation in the space, time, and frequency domains: Benefits and fundamental limitations | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 21774-21790 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2017.2763978 | 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 C. Xu, S. Sugiura, S. X. Ng, P. Zhang, L. Wang, and L. Hanzo | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Two decades of MIMO design tradeoffs and reduced-complexity MIMO detection in near-capacity systems | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 18564-18632 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2017.2707182 | 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 T. Ishihara and S. Sugiura | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Faster-than-Nyquist signaling with index modulation | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters | 6. 最初と最後の頁 630-633 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LWC.2017.2724517 | 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 R. Rajashekar, C. Xu, N. Ishikawa, S. Sugiura, K. V. S. Hari, and L. Hanzo | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Algebraic differential spatial modulation is capable of approaching the performance of its coherent counterpart | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications | 6. 最初と最後の頁 4260-4273 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2017.2720170 | 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 T. Ishihara and S. Sugiura | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Iterative frequency-domain joint channel estimation and data detection of faster-than-Nyquist signaling | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications | 6. 最初と最後の頁 6221-6231 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2017.2721367 | 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 - |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 秋庭優也, 石原拓実, 杉浦慎哉 |
| 2. 発表標題 空間変調シンボルと事変チャネルの繰り返し推定 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会ソサエティ大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Ishihara and S. Sugiura |
| 2. 発表標題 Optimal and suboptimal power allocation for SVD-precoded faster-than-Nyquist signaling |
| 3. 学会等名 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Ishihara and S. Sugiura |
| 2. 発表標題 Faster-than-Nyquist signaling with differential encoding and noncoherent detection |
| 3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, (ICASSP) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Oiwa and S. Sugiura |
| 2. 発表標題 Generalized virtual full-duplex relaying protocol based on buffer-aided half-duplex relay nodes |
| 3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 M. Nakao and S. Sugiura |
| 2. 発表標題 Dual-mode time-domain single-carrier index modulation with frequency-domain equalization |
| 3. 学会等名 IEEE 86th Vehicular Technology Conference, (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 中尾美裕, 杉浦慎哉 |
| 2. 発表標題 マルチ変調モードを利用した時間領域インデックス変調 |
| 3. 学会等名 第32回 信号処理シンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石川直樹, 杉浦慎哉 |
| 2. 発表標題 大規模アンテナアレイOFDMシステムに適した低密度差動ブロック符号の提案 |
| 3. 学会等名 第32回 信号処理シンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

杉浦研究室ホームページ
<http://sgurlab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

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 |
|-------------------|--------------------------------|---|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ハンゾー ラヨシュ (Hanzo Lajos) | サウサンプトン大学・School of Electronics and Computer Science・Professor | |
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ジャン ウェイ (Zhang Wei) | ニューサウスウェールズ大学・School of Electrical Engineering & Telecommunications・Professor | |

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 | | | |
|---------|---------------|------|--|--|
| 英国 | サウサンプトン大学 | | | |
| オーストラリア | ニューサウスウェールズ大学 | | | |
| 中国 | 清華大学 | 深川大学 | | |