

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04465

研究課題名(和文) IoTの本格普及に向けた、衝突した端末信号の分離・復調技術の開発

研究課題名(英文) Development of separation/demodulation technology for collided terminal signals for the full-scale spread of IoT

研究代表者

上原 一浩 (Uehara, Kazuhiro)

岡山大学・自然科学学域・教授

研究者番号：10221798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：従来の受信機では受信することができない、重畳した受信信号を分離・復調する技術を提案した。広帯域受信スペクトルを一旦クラウドに蓄積し、時間的に連続した周波数特性から、短時間フーリエ変換(STFT)により所望信号の中心周波数上の電力成分と位相成分を特徴量として抽出し、所望信号を復元する。実証実験プラットフォームを構築し、各種変調方式に対して、様々な条件の下で性能評価を行い、提案技術の有効性と適用性を明らかにし、4件の論文を投稿し採録された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

身の回りの殆どのデバイスに無線機能が搭載され、5Gも実用化され、IoTの本格普及が進んでいる。しかし数億個のIoT端末が世界中に偏在し、限られた周波数資源の中でセンサ端末等の低機能の無線端末が無秩序に通信し、衝突や干渉により従来の受信機ではデータが受信出来なくなり、時に人々の安心安全をも脅かすという課題がある。本研究では、ネットワーク上での蓄積一括信号処理技術を用い、従来の受信機では実現できない、衝突した信号や干渉を受けたIoT/M2M端末信号の分離・復調技術を提案しその有効性を示した。抜本的な周波数有効利用実現の可能性をも秘めた本技術の確立により、将来のIoT基盤の開発に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a technique to separate and demodulate superimposed received signals that cannot be received by conventional receivers. The broadband reception spectrum is once stored in the cloud. Then, from the temporally continuous frequency characteristics, the power component and the phase component on the center frequency of the desired signal are extracted as feature amounts by short-time Fourier transform (STFT) to restore the desired signal. We constructed a demonstration experiment platform, performed performance evaluations under various conditions for various modulation schemes, clarified the effectiveness and applicability of the proposed technology, and submitted four papers that were accepted.

研究分野：無線通信

キーワード：蓄積一括無線信号処理 信号分離 IoT 無線アクセス

1. 研究開始当初の背景

近年、身の回りの殆どの情報携帯端末、更には家電や設備、物流系・交通系のデバイスやセンサに無線機能が搭載され、第5世代移動通信システム (IMT-2020) も実用化されつつあり、IoTの本格普及が間近である。しかし、IoT/M2M 端末は極端な低廉化・長寿命化が必要であることから、セルラ通信や無線 LAN 等 に比べて無線アクセス方式が極めて低機能であり、更に利用可能な周波数資源は枯渇している。近い将来、人口の10~100倍以上となる数百億個の端末が世界中に偏在すると予測されており、これら超多数の低機能の端末が無秩序に信号を送信すると、衝突 (コンテンション) や干渉が頻発し、従来の受信機ではデータが受信できなくなり、時に人々の安心安全をも脅かすという課題がある (図1)。

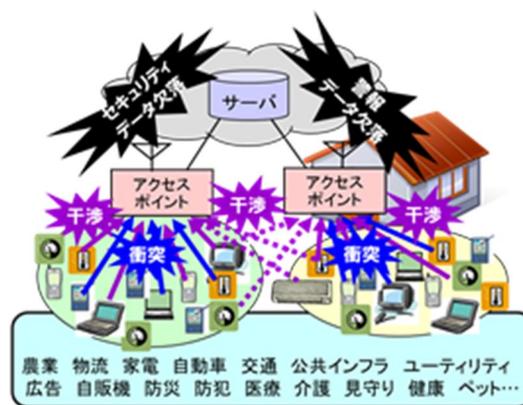


図1 本研究が解決を目指す課題

2. 研究の目的

本研究では、ネットワーク上での蓄積一括信号処理技術を確立し、従来の受信機では実現できない、衝突した信号や干渉を受けたIoT/M2M 端末信号の分離・復調の実現を目指す。単一周波数の現在の時間情報だけでなく、過去や未来の時間情報、周辺の周波数及び空間情報も用いた分離・復調技術を確立し、適用システムを拡大する。抜本的な周波数有効利用実現の可能性をも秘めた本技術の確立により、今後のIoTの更なる普及に対応可能な次世代の無線通信インフラの実現に貢献していく。

3. 研究の方法

i) 分離・復調アルゴリズム検討と性能評価

所望信号及び干渉信号各々の各変調方式に対する分離・復調性能を評価する。基本的な変調方式 (FSK, BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 等) 1シンボル内に連続して振幅・位相が変化する変調方式や位相遷移が加えられた変調方式 (GMSK, 1/4シフトQPSK, 等) 及びマルチキャリア信号 (OFDM 等) に対して評価を行う。伝搬環境のパラメータとして、所望信号と干渉信号の間隔を変えた場合、干渉信号の数 (重畳数) を変えた場合、熱雑音及びD/U比を変えた場合、短時間フーリエ変換 (short-time Fourier transform: STFT) の窓関数 (矩形、ハニング、ハミング、ブラックマン、等) 窓幅、及び窓をずらす幅を変えた場合、信号の帯域制限の条件を変えた場合について評価を行う。更に、フェージングやドップラーシフトの影響を受けた場合について、多面的に性能評価を行い、分離・復調アルゴリズムにフィードバックし、提案技術の有効性と適用限界を明らかにする。

ii) 実証実験プラットフォーム構築

分離・復調アルゴリズムの有効性を実際の信号を用いて実証するための実証実験プラットフォーム (図2) を構築する。任意信号発生器及び市販の無線端末 (ARIB STD-T108 RFID、IEEE 802.11 無線 LAN、等) により信号を発生し、RFキャプチャ装置を用いて量子化しサーバに蓄積し一括信号処理を行い、上述の条件における分離・復調性能を評価し、i) のアルゴリズム検討にフィードバックする。

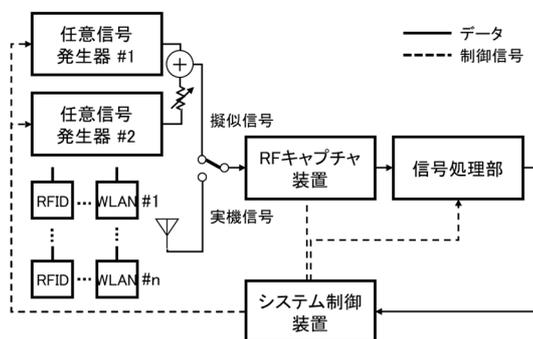


図2 実証実験プラットフォームの構成

iii) 実用化に向けた最適プラットフォームの検討、及び応用の検討

本技術の欠点はリアルタイム性が失われることであるが、適用領域拡大に向けた低遅延化を検討する。ソフトウェア及びハードウェアのアーキテクチャ・機能配分を最適化し、ITU-T 勧告 G.114 レベルのシステム遅延時間を目指す。また、深層ニューラルネットワーク技術と融合したアルゴリズムについても検討を行い、分離・復調性能の向上を実現する。更に、衛星を用いた位置情報集約システム等において蓄積一括信号処理の応用が検討されているが、新たな連携体制構築も視野に、本技術の実システムへの適用性を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では、重畳した受信信号の時間的に連続した周波数特性から、短時間フーリエ変換 (STFT) により所望信号の中心周波数上の電力成分と位相成分を特徴量として抽出し、所望信号の中心周波数と同一の周波数の無変調信号である基準信号の電力成分と位相成分に乘算することで所望信号を復元する信号分離・復調手法について、各種変調方式について、計算と実験により性能評価を行い、その有効性を示した。特徴量分離後のデータの復調方法については、従来技術では同期検波等を用いて行っているが、本研究では、取得した特徴量をそのまま用いて復調する特徴量復調法を提案している。提案手法では、従来の検波法に対して、ほぼ同等の信号分離・復調性能を維持したまま演算量を削減できる。

信号分離・復調性能を評価するための実証実験プラットフォームを構築し、基本的な変調方式 (ASK、FSK、BPSK、QPSK、8PSK、16QAM、64QAM)、1シンボル内に連続して振幅・位相が変化する変調方式や位相遷移が加えられた変調方式 (GMSK、 $1/4$ シフト QPSK) 及びマルチキャリア (OFDM) 信号に対して評価を行い、提案手法の有効性を明らかにした。伝搬環境のパラメータとして、所望信号と干渉信号の間隔、干渉信号の数 (重畳数)、熱雑音及び D/U 比を変えた場合、また、短時間フーリエ変換 (STFT) の窓関数、窓幅、及び窓ずらし幅を変えた場合、更に信号の帯域制限の条件を変えた場合について多面的に評価を行った。更に、分離・復調性能の向上を実現するための、深層ニューラルネットワークを用いた変調方式識別技術について基本性能を明らかにした。これらの成果を 22 件の国内会議及び 3 件の国際会議 (査読あり) で発表し、4 件の論文を投稿し採録された。

以下に結果の一例を示す。シミュレーション条件の詳細は各文献を参考されたい。尚、評価に用いている帯域重畳率 (OBR: overwrapped bandwidth ratio) は、所望信号と干渉信号が重畳している帯域を所望信号の占有帯域で割った値と定義している。

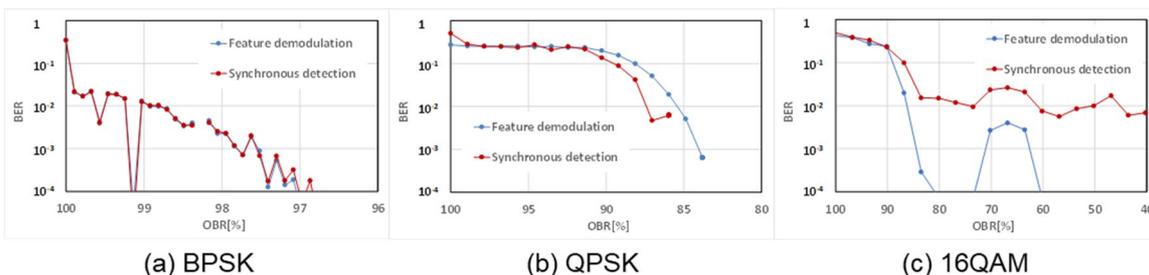


図3 基本的な変調方式の信号分離・復調性能の例 [1]

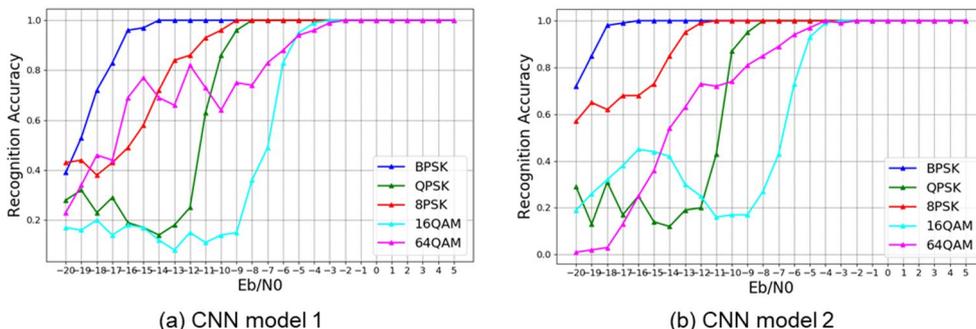
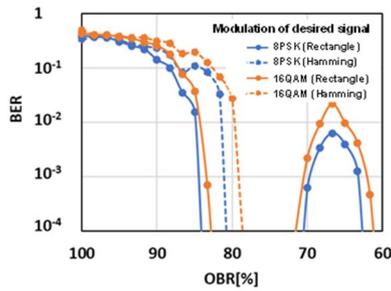


図4 深層ニューラルネットワーク(CNN)による変調方式識別性能の例 [2]



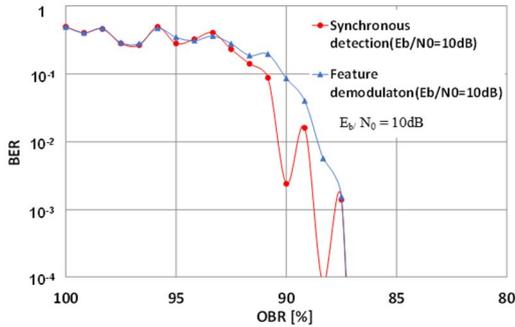
(a) 8PSKと16QAM

		Modulation of undesired			
		BPSK	QPSK	8PSK	16QAM
Modulation of desired	BPSK	98.5	93.3	89.2	88.3
	QPSK	86.6	87.8	86.6	86.7
	8PSK	83.3	83.3	83.3	81.4
	16QAM	79.1	79.1	79.0	78.3

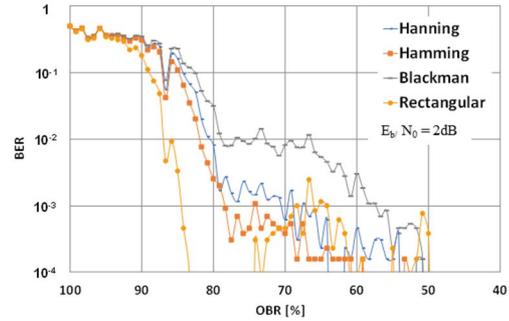
Numbers indicate separable OBR [%]

(b) 各種組み合わせにおける $BER_i \leq 10^{-3}$ となるOBR

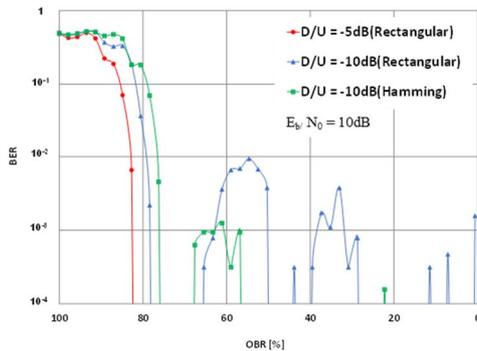
図5 所望信号と干渉信号の変調方式が異なる場合の信号分離・復調性能の例 [3]



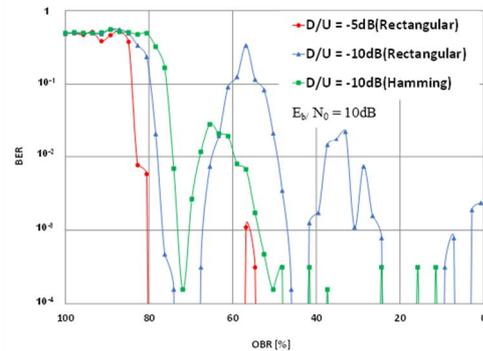
(a) 検波方式の影響



(b) 窓関数の影響



(a) D/Uの影響 (絶対同期検波方式)



(b) D/Uの影響 (特徴量復調方式)

図6 GMSK 変調方式の信号分離・復調性能の例 [4]

- [1] Toru Nishiyama, Takuyuki Hirakawa, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara, "Examination of signal separation/demodulation method of multi-value modulation sensor terminal signal using STFT in storage batch signal processing," IEICE Communications Express, vol. 10, no. 8, pp. 458-462, Aug. 2021.
- [2] Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, and Kazuhiro Uehara, "A new scheme of automatic modulation classification using Convolutional Neural Network with constellation diagram," IEICE Communications Express, vol. 10, no. 8, pp. 492-497, Aug. 2021.
- [3] Takuyuki Hirakawa, Toru Nishiyama, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara, "Evaluation of sensor terminal signal separation performance based on modulation systems in storage-based batch signal processing using STFT," IEICE Communications Express, vol. 11, no. 6, pp. 319-323, Aug. 2022.
- [4] Tomofumi Hikasa, Takuyuki Hirakawa, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara, "A study on continuous phase signal separation and demodulation method using stored data batch signal processing," IEICE Communications Express, vol. 11, no. 12, pp. 734-740, Dec. 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toru Nishiyama, Takuyuki Hirakawa, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara	4. 巻 10
2. 論文標題 Examination of signal separation/demodulation method of multi-value modulation sensor terminal signal using STFT in storage batch signal processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 458-462
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021ETL0007	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 Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, and Kazuhiro Uehara	4. 巻 10
2. 論文標題 A new scheme of automatic modulation classification using Convolutional Neural Network with constellation diagram	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 492-497
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021ETL0020	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 Takuyuki Hirakawa, Toru Nishiyama, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara	4. 巻 11
2. 論文標題 Evaluation of sensor terminal signal separation performance based on modulation systems in storage-based batch signal processing using STFT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 319-323
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2022XBL0001	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 Tomofumi Hikasa, Takuyuki Hirakawa, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara	4. 巻 11
2. 論文標題 A study on continuous phase signal separation and demodulation method using stored data batch signal processing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 734-740
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2022COL0020	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25件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西山徹, 平川拓志, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理を用いた衝突した信号の分離・復調方法におけるSTFT窓幅の一検討
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, and Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 Automatic modulation classification of digital modulation signals using Convolutional Neural Network with constellation diagram
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中家翔, 平川拓志, 西山徹, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理によるセンサ端末信号分離・復調技術におけるEb/N0の影響の検討
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西山徹, 平川拓志, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理を用いた衝突した信号の分離・復調方法におけるSTFT窓関数・窓幅の検討
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平川拓志, 西山徹, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による干渉信号の電力の影響を踏まえた分離性能評価
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 Dive into Convolutional Neural Network with constellation diagram for automatic modulation classification
3. 学会等名 第23回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, and Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 A study on automatic modulation classification of digital modulation signals using Convolutional Neural Network
3. 学会等名 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toru Nishiyama, Takuyuki Hirakawa, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 A study on window function and window width of STFT in collision signal separation and demodulation method using stored batch signal processing
3. 学会等名 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中家翔, 西山徹, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理における信号の重畳度とEb/N0に関する信号分離性能の検討
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平川拓志, 西山徹, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理における信号の重畳度とD/Uに関する信号分離性能の検討
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yutao Liu, Toru Nishiyama, Shigeru Tomisato, and Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 Convolutional Neural Network models for automatic modulation classification using constellation diagrams
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広瀬陸, 中家翔, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による多数信号の分離・復調技術の検討
3. 学会等名 2021年度(第72回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日笠智文, 平川拓志, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による連続位相信号の分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 2021年度(第72回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平川拓志, 西山徹, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による帯域制限された信号の分離性能評価
3. 学会等名 第23回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuyuki Hirakawa, Toru Nishiyama, Syo Nakaie, Shigeru Tomisato, Satoshi Denno, and Kazuhiro Uehara
2. 発表標題 Evaluation of signal separation / demodulation performance of signals with different modulation systems in storage batch signal processing
3. 学会等名 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日笠智文, 平川拓志, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による連続位相信号の分離・復調技術の検討
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広瀬陸, 中家翔, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による多数信号の分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田湧大, 日笠智文, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 送受信特性を考慮した蓄積一括信号処理による信号分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田湧大, 日笠智文, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 検波方式を考慮した蓄積一括信号処理による信号分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 2022年度(第73回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本吉隼大, 広瀬陸, 日笠智文, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 特徴量復調方式による振幅偏移変調の分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 2022年度(第73回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日笠智文, 平川拓志, 中家翔, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による帯域制限された連続位相信号の分離・復調技術の検討
3. 学会等名 第24回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本吉隼大, 広瀬陸, 日笠智文, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 蓄積一括信号処理による振幅偏移変調の分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 第24回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広瀬陸, 中家翔, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 窓関数とD/Uの影響を考慮した蓄積一括信号処理による多数信号の分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 第24回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田湧大, 日笠智文, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 送信機の特性を考慮した蓄積一括信号処理による信号分離・復調技術の一検討
3. 学会等名 第24回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田湧大, 日笠智文, 平川拓志, 富里繁, 田野哲, 上原一浩
2. 発表標題 送信機の特性を考慮した蓄積一括信号処理による信号分離・復調性能の評価
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023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	富里 繁 (Tomisato Shigeru) (60362951)	岡山大学・自然科学学域・准教授 (15301)	
研究分担者	田野 哲 (Denno Satoshi) (80378835)	岡山大学・自然科学学域・教授 (15301)	

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
---------	---------