

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06413

研究課題名(和文)大規模MIMOシステムにおけるアンテナ選択によるビーム制御

研究課題名(英文)Beam control by antenna selection on massive MIMO system

研究代表者

西村 寿彦(Nishimura, Toshihiko)

北海道大学・情報科学研究院・准教授

研究者番号：70301934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：送信側受信側双方に複数のアンテナ素子を搭載するMIMOシステムを発展させた、大規模MIMOシステムの研究が進められている。本研究では、マルチユーザアクセスを低コストで実現するために、圧縮センシングと呼ばれる新しい信号処理手法を用いる。マルチユーザ分離を実現するためのアンテナ素子選択アルゴリズムの開発を進めつつ、アンテナ素子をサブアレー化して分散配置する方法について検討した。また、圧縮センシングを実装する電波の到来方向推定のための実験環境を整えた。さらに、電波の到来方向推定については、深層学習を導入する方法についても検討を始めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、無線通信の社会的な需要は非常に大きい。スマートフォンなどが一人平均一台以上所有するようになっただけでなく、IoTと呼ばれる無線通信機能を備えたものが急激に増加しているためである。この要求に応えるべく、大規模MIMOに代表される、新しい無線通信システムのコンセプトをいち早く実現することが必要である。本研究の成果は、低コストで大規模MIMOによるマルチユーザ分離を実現するための基礎的検討であり、5G無線通信システム等、次世代のICT技術を支える技術の一つとなる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：A massive Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) system, which is an MIMO system evolution with multiple antenna elements on both sides of the transmitter and receiver, has been studied. In this study, a new signal processing method called compressed sensing is used to realize the multi-user access at low cost. In order to improve the user separation, we have investigated a method of distributing the antenna elements in a massive MIMO system. The experimental environment for estimating the direction of arrival of radio waves implementing compressed sensing was prepared. In addition, a method to introduce deep learning for estimating the direction of arrival is also investigated.

研究分野：無線通信

キーワード：簡易ビーム形成 大規模MIMO マルチユーザMIMO 遺伝的アルゴリズム 圧縮センシング レイトレーシング

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

現行の携帯電話システムは、CDMA 方式を中心技術とした第 3 世代から、OFDM 方式を採用した第 4 世代に移行した。最近の多くの研究者の目は 2020 年にサービス開始される第 5 世代通信システム以降の技術開発に向かっており、国内外を問わず関係する研究が爆発的に増加している。第 5 世代移動無線通信システムでは、現行の移動通信システムと比較して 1000 倍もの大容量化を目指している。これを実現するためには、現行の周波数帯において容量改善を行うだけでは不十分であり、ミリ波などの従来よりも高い周波数を併用することが検討されている[1]。また、従来の MIMO 技術に比較してより多くの素子を用いる大規模化も導入されると見込まれている[2][3]。高周波帯の使用は伝搬損失が増大するという問題があるものの、アンテナ素子単体の大きさは一般に周波数に反比例して小さくなるため、多数のアンテナ素子を用いたとしても、物理的な設置スペースは相対的にそれほど大きくなる。また、一般に素子間隔は波長で規格化して考えるため、高周波帯では、同じ物理スペースに、より多くの素子を配置できることになる。多数の素子を用いることで、伝搬損失の影響を上回る鋭く高利得なビームを形成することができ、カバレッジエリアの拡張や、マルチビームを形成し周波数利用効率を向上することが可能となる。

大規模 MIMO では、一般に基地局に数百以上のアンテナ素子を用いる。その場合、限られたスペースへ設置することを考慮すると、高周波化による素子の小型化のみではカバーできないため、素子を 2 次元的に配置する FD-MIMO 構成が提案されている[4]。FD-MIMO は、図 1-1 に示すような従来の水平方向のみのアンテナ素子配置に対して、図 1-2 のように垂直方向にも配置し、3 次元的、すなわち、奥行き方向もしくは垂直方向でのユーザ分離が可能となり、同時に複数ユーザと通信するマルチユーザ MIMO の実現に有利となる。大規模 MIMO システムを従来型の MIMO システムの延長と考える場合、アンテナ素子毎にデジタル信号処理が可能な高性能な送受信機を搭載する必要がある。

ところが、大規模 MIMO の場合に 100 以上のアンテナ素子すべてにこのような送受信機を搭載することは、製造コスト、設置スペース、消費電力など解決すべき問題が多くある。現在検討されている対策として、アンテナ素子をいくつかのグループに分けグループ毎にアナログ回路を併用して送受信機の数減らす方法や、ビーム形成を予め固定して用意するといった方法が提案されている。しかしながら、これらの方法では、柔軟なビーム形成を行うことが難しく、本来の大規模 MIMO によるマルチユーザ分離の効果を最大限に生かしきれない。一方、特定の環境では、100 以上のアンテナ素子すべてを完全に制御しなくても、そのうちのいくつかの最適なアンテナ素子を選び出せば、少ない送受信機で効果的にマルチユーザ分離が可能であると考えられる[5]。ただし、与えられた環境下でどの素子を選択するかが問題となる。最適な効果を得るには、総当たりで素子選択を評価する必要があるが、素子数が多くなると計算負荷が莫大になり現実的でない。

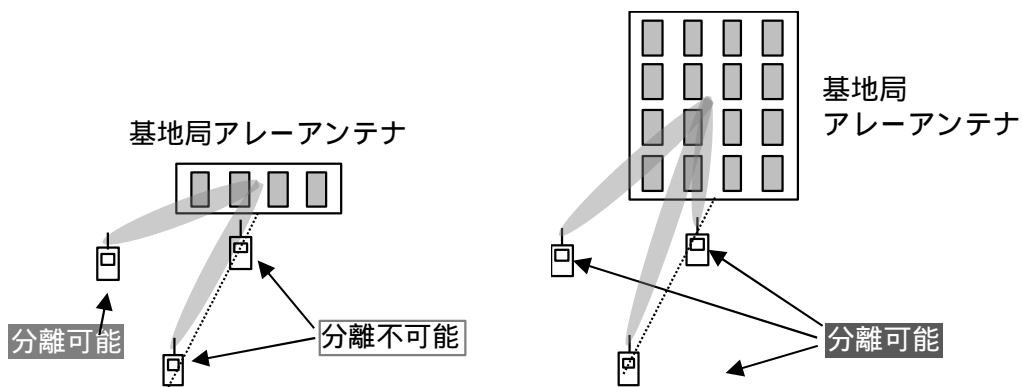


図 1-1 従来 MIMO によるユーザ分離

図 1-2 FD-MIMO によるユーザ分離

- [1] NTT ドコモ, ドコモ 5G ホワイトペーパー, <https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper/5g/>
- [2] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," IEEE Trans. Wireless Commun., vol.9, no.11, pp.3590-3600, Nov. 2010.
- [3] F. Rusek, et. al. "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays," IEEE Signal Processing Magazine, vol.30, no.1, pp.40-60, Jan. 2013.
- [4] Y. H. Nam, et. al. "Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for next generation cellular technology," IEEE Commun. Mag., vol.51, no.6, pp.172-179, June 2013.
- [5] 井上航一 他, "大規模 MIMO における送信ビーム形成のためのアンテナ選択に関する検討," 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-34, p. 304, Sep. 2016.

## 2．研究の目的

本研究では、注目を集めている圧縮センシング法[6]を適用することに着目した。圧縮センシング法は、観測対象信号に対するスパース性の仮定のもとで、できる限り少ない観測データから対象信号を復元するための技術である。アンテナの使用の有無を 1 と 0 で構成されるベクトルで表現すると、このベクトルはスパース性を持つことになり、圧縮センシング法が適用可能となる。この方法では、総当たりと比較して計算負荷を大きく軽減できると考えており、柔軟なビーム形成が手軽に可能になり、かつ、低コストで大規模 MIMO によるマルチユーザ分離が実現できる。

- [6] K. Hayashi, et. al. "A user's guide to compressed sensing for communications systems," IEICE Trans. Commun., vol. E96-B, no.3, pp.685-712, Mar. 2013.

## 3．研究の方法

初年度は、主に FD-MIMO システムでマルチユーザ分離を実現するためのアンテナ素子選択アルゴリズムの確立を目指した。本研究で扱う FD-MIMO システムのモデルについて、レイトレーシングにより伝搬チャネルデータを取得する。このデータに対して、遺伝的アルゴリズムを用いて、最適なビーム形成を可能とするアンテナ素子を選択する。各アンテナは、その位置の違いによりそれぞれ異なるチャネル応答を持つため、それらのいくつかを選び出して組み合わせることで、素子数と同じだけの送受信機を装備することなく柔軟なビーム形成が可能となることを示した。また、圧縮センシングを実装することを前提に、電波の到来方向推定を例にとり、各種アルゴリズムの比較を行った。

次年度は、前年度のマルチユーザ分離を実現するためのアンテナ素子選択アルゴリズムの開発を進めつつ、よりユーザ分離能力を高めるため、大規模 MIMO のアンテナ素子をサブアレー化して分散配置する方法について検討を進めた。また、圧縮センシングを実装する電波の到来方向推定のための実験環境を整えた。さらに、電波の到来方向推定については、深層学習を導入する方法についても検討を行った。

最終年度は、これまでの検討の性能評価を行い、提案方式の有効性を考察した。

## 4．研究成果

本研究では、圧縮センシング法と呼ばれる新しい信号処理手法などを用いて、マルチユーザアクセスを低コストで実現する方法を検討した。マルチユーザ分離を実現するためのアンテナ素子選択アルゴリズムの開発を進めつつ、よりユーザ分離能力を高めるため、大規模 MIMO のアンテナ素子をサブアレー化して分散配置する方法について検討を進めた。また、圧縮センシングを実装する電波の到来方向推定のための実験環境を整えた。さらに、電波の到来方向推定については、深層学習を導入する方法についても検討を行った。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1 . 発表者名 S. Nakamura, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa, J. Hagiwara,
2 . 発表標題 Loose Beamforming by Antenna Selection in a Multiuser Massive MIMO System
3 . 学会等名 IEEE Asia Pacific Wireless Communications Symposium (IEEE APWCS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kase, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa, D. Kitayama, Y. Kishiyama,
2 . 発表標題 Performance Analysis of DOA Estimation of Two Targets Using Deep Learning
3 . 学会等名 Wireless Personal Multimedia Communications(WPMC 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Hoshikawa, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa, J. Hagiwara,
2 . 発表標題 Performance Comparison of Compressed Sensing Algorithms for DOA estimation of Multi-band Signals
3 . 学会等名 2018 IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kase, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa, D. Kitayama, Y. Kishiyama,
2 . 発表標題 DOA Estimation of Two Targets with Deep Learning
3 . 学会等名 2018 IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Suzuki, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa, J. Hagiwara,
2. 発表標題 A Study on Layouts of Distributed Antenna Arrays in an Indoor Multi-User Massive MIMO System
3. 学会等名 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村寿彦, 大鐘武雄, 小川恭孝,
2. 発表標題 アレー信号処理とその解法アルゴリズムの基礎
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Inoue, T. Nishimura, T. Ohgane, Y. Ogawa,
2. 発表標題 A Basic Study on Antenna Selection for Loose Beamforming in Massive MIMO System
3. 学会等名 2018 IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村寿彦, 中都正義, 大鐘武雄, 小川恭孝,
2. 発表標題 スパースモデリングを用いた到来方向推定
3. 学会等名 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA) (招待講演)
4. 発表年 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	大鐘 武雄  (Ohgane Takeo)  (10271636)	北海道大学・情報科学研究院・教授    (10101)	