

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560355

研究課題名（和文） MIMOレーダーを応用した無線端末間相対位置検出

研究課題名（英文） Relative position detection of radio terminals adapting a MIMO radar

研究代表者

西村 寿彦（NISHIMURA TOSHIHIKO）

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：70301934

研究成果の概要（和文）：本研究では送受信機双方に複数のアンテナ素子を搭載した多入力-多出力（MIMO）システムによって送受信間の相対位置を推定する方法、すなわち、MIMOレーダーの実現法を検討してきた。問題点として、複数端末が存在する場合や、マルチパス波が存在する場合は、受信側に多くの干渉波が入射することとなり、その位置推定は困難となると予測されていた。そこで、広帯域信号を用いて複数の周波数帯の受信信号をグレーティングローブの影響のない低い周波数からより高分解能が得られる高い周波数へ順にあげていき、複数端末の位置推定を行う手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：In this research, the method of relative position detection of transmission and reception terminals, i.e. realization of a multi-input-multi-output (MIMO) radar, has examined by using the MIMO system which carries multi antenna elements in both terminals. As a problem, when many terminals existed, or when a multipass wave existed, many interference waves will enter into a receiving side, and it was predicted that the position estimate became difficult. Then, the technique of the position estimate of the terminals was developed by using the broadband signals. The broadband signal is divided into multi narrow band signals. Then, a conventional direction of arrival estimation method is adopted by rising from low frequency without the influence of a grating lobe to the high frequency from which high resolution is obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：通信・ネットワーク工学

## 1. 研究開始当初の背景

MIMOシステムは携帯電話などの移動無線通信の普及に伴い多くの研究が進み、一部の

サービスではすでに実用が始まっている。近年はMIMOシステムのマルチユーザ化や分散ネットワークにおける協調無線方式への応

用など、さらに適用範囲を広げている。

移動無線通信システムは、携帯電話や無線 LAN としてだけでなく、センサネットワークなどにも適用されており、その端末数は増加の一途をたどっている。そのため、端末間の位置を知ることは、ナビゲーション用途だけではなく、ネットワークの負荷制御などにも応用できるため今後重要な要素技術の一つとなるものと考えられる。

このような流れの中で、MIMO 技術をレーダに応用する考え方が 2003 年頃から提案され始めている。また、申請者は平成 18 年度から 20 年度にかけて MIMO-UWB-IR 通信システムにおける移動体の高精度位置検出の研究（若手研究(A)）を行い UWB(広帯域)通信環境での位置検出法について検討を行った。さらに、マルチパス環境下での狭帯域 MIMO 通信における室内伝搬実験を行って、その動的伝搬環境に対応するチャンネル推定法について検討を行ってきた。これらの研究から得られた知見を生かすことで、MIMO レーダの実験的検証が可能であることを着想した。

なお、MIMO レーダに関する研究は、2003 年頃から米国学会において文献が現れており、比較的新しい技術である。国内での発表は申請者の知る限り見当たらない。最近の話題としては、電気自動車やハイブリッド自動車は非常に低騒音であるため、歩行者にその接近を知らせる手段の一つとして検討が始められている。

## 2. 研究の目的

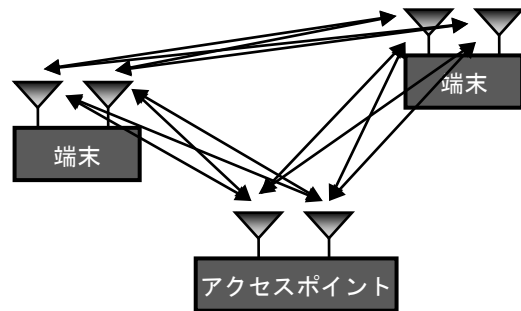
無線通信において送信側および受信側に複数のアンテナを設置する MIMO (Multiple-Input Multiple-Output : 多入力 - 多出力) システムの研究は、一般にシステムの通信容量を増加させ高速・高信頼性通信を実現することを目的に行われてきた。本研究では MIMO システムによって送受信間の相対位置を推定する方法、すなわち、MIMO レーダの実現法を検討する。この手法が確立すれば、端末の位置を高精度で特定することができる。しかしながら、複数端末が存在する場合や、マルチパス波が存在する場合は、受信側に多くの干渉波が入射することとなり、その位置推定は困難となると予測される。

申請者らはこれまでに、室内伝搬測定結果を用いて、マルチパス波が多数存在する環境下での MIMO 通信方式の最適化の検討とその特性評価を行ってきた。また、申請者は、MIMO-UWB (Ultra WideBand) -IR (Impulse Radio) 通信を利用した高精度位置検出についても検討してきた。本研究では、これらの研究結果を基にして、MIMO レーダを実現する方法を検討し、複数端末の位置推定を行う手法を提案する。最終的には、分散ネットワーク内の各端末とアクセスポイント間の相対

位置を特定し、すべての端末の高精度な位置検出を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

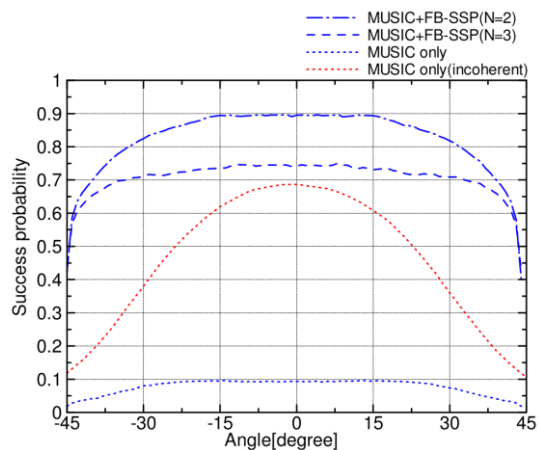
以下の図は、本研究で扱う MIMO システムの簡略化モデルである。マルチパス波が存在せず、送受信端末が見通しにある理想的環境では、図の矢印で示したチャンネル応答は完全にアンテナの位置のみに依存する。したがって、得られたチャンネル情報からアンテナの位置、すなわち端末の位置が推定できる。ここでは、端末内のアンテナ素子の数・端末の数および送信電力をパラメータとし、効率よく位置推定するためのアルゴリズム（通信プロトコル・受信信号の取り扱い・位置推定手法の最適化）を検討する。さらに、実伝搬環境（マルチパス波が存在する環境）に上記アルゴリズムが対応するように、干渉除去機能を付加する。



## 4. 研究成果

(1) UWB 通信を利用した高精度位置検出法は、その到来信号が無相関（インヒーレント）なものを扱っていたが、ここでは、有相関（コヒーレント）の信号を取り扱う。これは、高分解能到来方向推定法である MUSIC 法に空間スムージング（FB-SSP）を施すことで可能となる。その特性を計算機シミュレーションにより評価した結果、高い確率で 2 波を分離可能であることがわかった。

下の図は、 $1^\circ$  だけ離れた 2 波の到来信号

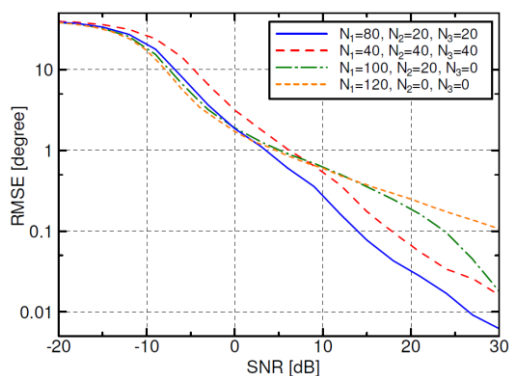


が±45°の範囲で到来した場合の分離成功確率を示している。受信アンテナアレーが5素子とし、FB-SSPのサブアレーの大きさNを2または3の場合について検討した。また、比較のため、FB-SSPを用いない場合の結果（相関波、無相関波の場合）も示している。近接波ほど相関の影響を受けやすいが、FB-SSPを適用することにより高い確率で2波の分離が可能となっている。

(2) 次に、ランダムに到来する2波を高精度で方向推定する方法を検討した。すでに検討した直線アレーとともに円形アレーを用いた場合についても、特性評価を行った。その結果、円形アレーを用い、3段階で角度推定するうちの最初の段階でのスナップショットを増加させることで、より高精度の推定が可能であることがわかった。

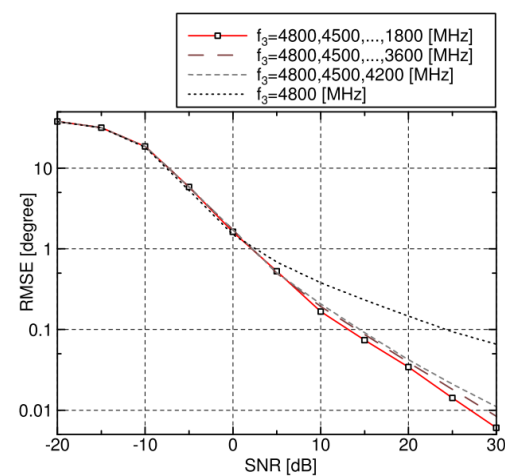
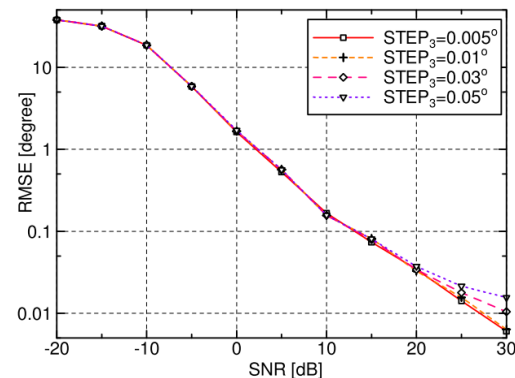
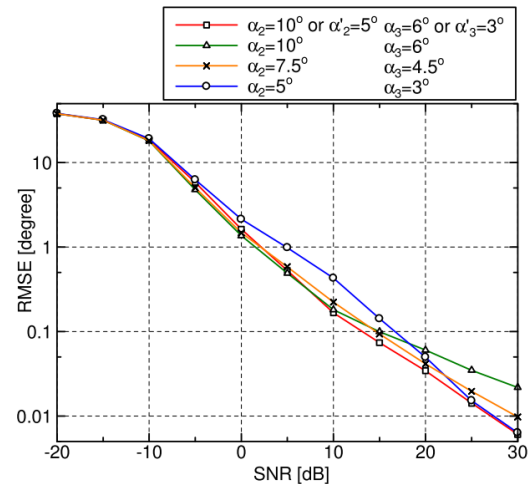
次の図は横軸を信号対雑音電力比 (SNR)、縦軸を平均二乗平均平方根誤差 (RMSE) として、提案手法のスナップショット数 ( $N_1, N_2, N_3$ ) の配分による推定精度の違いをグラフに表したものである。比較対象として、300 [MHz] の信号のみ、300 [MHz] と 1200 [MHz] の信号のみを用いた場合の結果についても示している。SNR が低い場合、最初の 300 [MHz] での探索のスナップショット数 ( $N_1$ ) による違いはあるが、総じて RMSE は高い値をとる。これは最初の探索で雑音による偽のピークを到来方向と誤推定してしまい、その後の探索でも誤った推定角を中心に探索を行うためである。SNR が高い場合には高精度でステップ幅も狭い 2 回目、3 回目の探索をする提案手法が RMSE は低くなる。ただし、最初の探索の大きな誤りが RMSE に影響するため、 $N_1 = 40$  より  $N_1 = 80$  としたほうが高精度であった。

(3) 提案手法をランダムに到来する信号の方向推定に用いる際は、3段階で方向推定する際の初期パラメータが非常に重要であることを述べた。特に、高い周波数帯を用いる際にはグレーディングローブが観測されてしまう問題が大きく影響する。そのため、各段階でのスナップショット数、探索範囲の絞り方、角度ステップ、および使用周波数の決定法の最適化が必要であった。これらについ



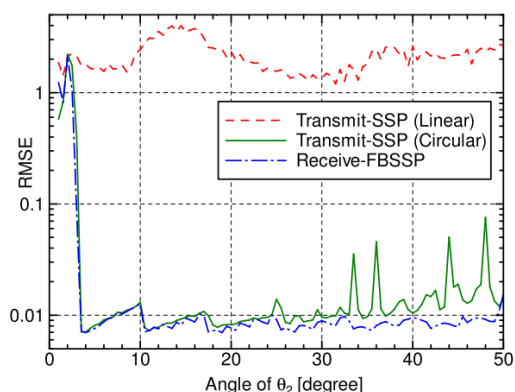
て詳細に検討を行い、提案する高精度な方向推定がランダムに到来する場合にも有効であることを示した。

以下の3つの図は、順に探索範囲、角度ステップ幅、使用周波数を変化させた場合のRMSEの違いである。これらの図から、適切なパラメータを選択することで、より高精度な方向推定が可能となることがわかる。



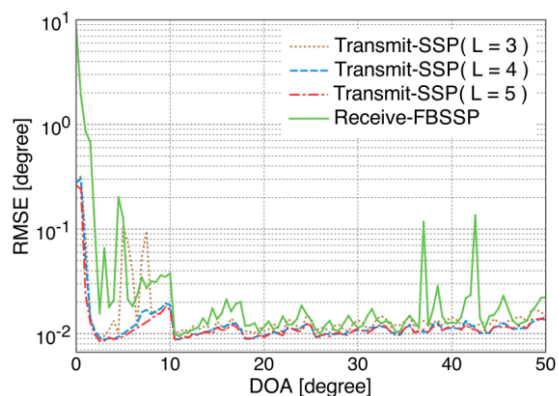
(4) これまでは送信側は一つの素子を持つ場合の検討を行ってきたが、次に複数の素子を持つ場合について検討を行った。その結果、送信側の素子からそれぞれ無相関の信号を送信することで、受信側で行うのと同様な空間平滑化が可能となるため、直接波だけでなく反射についても方向推定が可能となることを明らかにした。

次の図は、送信側に複数素子を搭載したアレーが回転した場合の RMSE を示している。横軸は、直接波に対して同時に入射する反射の角度差を示す。送信素子が直線状配置 (Linear) の場合は大きく劣化するものの、円形 (Circular) 配置とすることで、受信側で空間平滑法 (FBSSP) を適用した場合に匹敵する特性が得られた。



(5) さらに、送信側空間平滑法を用いた到来方向推定のシミュレーションを行い、送信アレー数の増加によって受信側での相関が抑圧され特性が改善されることを示した。この送信側空間平滑法は、複数の送信素子から同時に無相関な信号を送信することで直接波と反射波に位相差を生じさせ相関を抑圧する手法である。これによって、送信素子数を増加させることで、到来波間の相関をより低下できる。このことから受信側に多くの素子が設置できない場合には、送信側に多くの素子を置くことで、推定精度を向上できることがわかった。

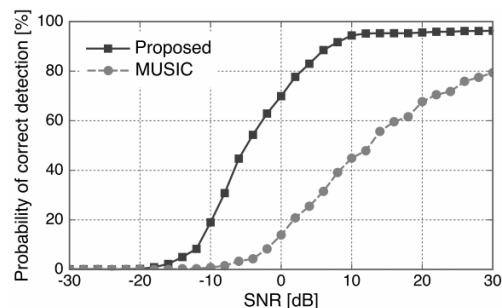
下の図は、直接波の到来方向を固定し、横



軸を反射波の到来方向、縦軸を RMSE として推定精度の変化を表したものである。送信素子数  $L$  が 3 素子から 5 素子の 3 通りについて、また比較対象として受信側で FBSSP を用いた場合の結果について示している。送信素子数が増加することで RMSE の改善が見られ、FBSSP と同等かそれ以上の特性を得られることがわかる。

(6) 最後に、本提案で従来用いていた MUSIC 法は、到来波数が既知である (若しくはあらかじめ別の方法で推定する) 必要があった。その為、到来波数が未知でも推定可能であり、より精度の高い「圧縮センシング法」を本研究で提案している広帯域信号 (マルチバンド信号) を用いた方向推定に適用し、さらに高精度の推定が可能となることを示した。

次の図は、従来の MUSIC 法とここで導入した圧縮センシング法を用いた場合の方向検出成功率を示している。広帯域信号を用いて圧縮センシング処理を行うことで、-20 dB 以上の全ての SNR において既存手法を大幅に上回る良好な特性が得られることが分かる。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① K. Maeda, T. Nishimura, Y. Ogawa, and T. Ohgane, Accuracy Evaluation of DOA Estimation with Multi-band Signals, Proc. 2011 IEEE AP-S/URSI International Symposium, 有, 2011, 835-838, 10.1109/APS.2011.5996404

〔学会発表〕 (計 8 件)

- ① 寺田 翼, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, 圧縮センシング法を用いたマルチバンド信号到来方向推定の検討, 2013年電子情報通信学会総合大会, 2013年03月19日~2013年03月22日, 岐阜大学
- ② 寺田 翼, 西村寿彦, 大鐘武雄, 小川恭孝, 送信側空間平滑法を用いた広帯域信号到来方向推定の精度評価, 2012年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2012年09月11日~20

12年09月14日, 富山大学 五福  
キャンパス

- ③ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, 送信側空間平均法を用いた広帯域信号による到来方向推定法の検討, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012年3月20日, 岡山大学(岡山市)
- ④ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, 広帯域信号到来方向推定における送信側空間平滑法の相関抑圧効果, 電子情報通信学会 アンテナ・伝搬研究専門委員会, 2012年3月15日, 熱海市中央公民館(熱海市)
- ⑤ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, 広帯域信号における高精度DOA推定の最適化, 電子情報通信学会 アンテナ・伝搬研究専門委員会, 2011年11月16日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- ⑥ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, 広帯域信号における高精度DOA推定の基礎的検討, 電子情報通信学会 アンテナ・伝搬研究専門委員会, 2011年5月13日, 屋久島環境文化村センター(屋久島町)
- ⑦ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, マルチバンド信号を用いた到来方向推定法の精度評価, 2010年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月16日, 東京都市大学(東京都)
- ⑧ 前田恭平, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, コヒーレントUWB信号の到来方向推定法の評価, 平成22年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2010年10月23日, 北海学園大学工学部(札幌市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西村 寿彦 (NISHIMURA TOSHIHIKO)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・助教  
研究者番号: 70301934

### (2) 研究分担者

小川 恭孝 (OGAWA YASUTAKA)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号: 70125293

大鐘 武雄 (OHGANE TAKEO)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 10271636