

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：13101
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H03261
研究課題名(和文)ミリ波モーションセンシングMIMOレーダによる人物の動きの検出・同定に関する研究

研究課題名(英文) Human motion detection and estimation by using Millimeter-wave motion sensing MIMO radar

研究代表者
山田 寛喜 (Yamada, Hiroyoshi)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：20251788
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ミリ波レーダによる人物等のモーション・センシングの実現を目指し、位置や動きの検出のみならず、動作の同定を通して、生活をより豊かにし、安全を確保するライフサポートシステムとして実用に資するセンサを開発することを目的とした。その実現のため、少ない素子数で飛躍的に空間分解能の改善が可能となる仮想アレイ技術を開発し、試作レーダによる実験でその有効性を示した。さらにMIMO時に問題となる検出可能となるドップラ周波数の限界を拡張する推定手法を考案した。また、ターゲット認識のための特徴量としてドップラ周波数の時空間広がりに着目し、機械学習等との比較検討を行い、その有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、MIMOレーダと呼ばれる少ない送受信アンテナ数で、より大規模なレーダ同等の性能を実現する信号処理方法を、ある条件を満たす不等間隔アレイを用い、かつ人物のように動きのあるターゲットの検出を目的とした場合、飛躍的に向上できることを明らかにし、実験によりその有効性を実証した。また、ターゲットの速度推定範囲を広げる信号処理方法を考案し、提案レーダ方式の適用範囲を広げた。またターゲットのドップラ周波数の時空間分布を用いた動作や識別性能の向上が可能となることを、屋内人物動作実験(座る、立つ、転ぶなど)や交差点での歩行者、自転車、自動車の識別実験を通して実証した。

研究成果の概要(英文)：Main objective in this research is a development high resolution MIMO for human motion observation radar and performance improvement for target recognition. To realize this objective, we have developed a new virtual array technique for the MIMO radar by using minimum redundancy arrays both in transmitting and receiving array. This technique is effective for incoherent scattered radar echoes such as reflected signals by diversely motions of persons. Validity of this technique have demonstrated by indoor human detection experiments. In addition, a new Doppler frequency estimation algorithm has proposed here. It can extend the maximum observable Doppler frequency, which enable us easy to apply MIMO radars to many applications. Furthermore target recognition by using Doppler-spread has considered. It is one of the promising parameters for target recognition and motion classification. Experimental results of this algorithm as well as CNN have provided in this research.

研究分野：アンテナ・電波伝搬工学

キーワード：MIMOレーダ モーションセンシング 仮想アレイ ドップラ周波数推定 ミリ波レーダ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

モーション・センシング技術は、人やモノの動きを計測し、計測した動きを認識・理解してサービスを提供しようというものであり、研究に着手した当時より注目を集めている技術である。モーション・センシングには、様々なアプローチがあるが、活発に研究されている技術は加速度センサを取り付ける直接的なものが多い。それに対して、本研究ではレーダ(電波)を利用したりモータ動作の同定による人にやさしいライフサポートシステムの開発を目的とした。

さらに、急速な高齢化・核家族化の進行に伴い、独居老人の孤独死防止や幼児見守りなど、社会生活の安心・安全の確保が急務となっている。赤外センサや光学映像(カメラ)が用いられることが多いが、提案センサはこれらのセンサの監視領域やプライバシーに関する問題点を補完し得るものである。さらに壁や濃霧等を透過するのみならず、直接、動きにより生じるドップラ周波数を検出可能であり、センサフュージョンによる情報収集能力の向上が期待できる。同種の検討としてはいくつかの研究が存在するが、まだ研究の途に就いたところであった。申請者は、MIMO ドップラレーダに着目した点で先行している。その先行研究(基盤研究(C)H26-28)では、WiFi帯(5GHz)でのMIMOレーダを開発し、マルチパス環境における有効性を示した。さらに、この研究においてMIMOとカトリ・ラオ(KR-MIMO)仮想アレー手法を組み合わせることで飛躍的に角度分解能が改善できることを明らかにした。

本研究では、これを免許不要な特定小電力局として運用できる自動車レーダのミリ波帯(76.5/79GHz)をターゲットとすることで解決することを狙った。高周波化に伴うこと小型化に加え、広帯域(1~3GHz)運用可能で、今後の低コスト化も期待できる。また、高周波化に伴うドップラ周波数の増大は、モーション検出性能を改善するばかりでなく、先行研究で考案した仮想アレー手法(無相関反射波を仮定)の性能向上をもたらす。そのような仮想アレー手法を確立し、実証する学術的な意義は大きく、この開発を通してミリ波帯の新規応用分野を開拓することを狙った。

2. 研究の目的

本申請テーマは、ミリ波電波レーダによる人物等のモーション・センシングの実現を目指し、位置や動きの検出のみならず、動作の同定を通して、生活をより豊かにし、安全を確保するライフサポートシステムとして実用に資するセンサを開発することを目指している。その実現のため、本研究では、ミリ波帯で安定した性能を発揮するMIMOレーダを開発し、さらに人物の動きとドップラ周波数変動の分布を様々な観点から評価し、モーションセンサとしての特性を明らかにする。このようなセンサの実現は、ミリ波帯の利用促進に加え、カメラ等の既存センサの不得意領域を補完するものであり、センサフュージョンによるより豊かな生活環境実現のための要素技術の一つとして重要なものである。

3. 研究の方法

(1) ミリ波帯モーションドップラレーダのシステム設計・試作および最適化

この研究の基礎となるテストベッドがミリ波帯モーションドップラレーダである。MIMOレーダを構築するにあたり、送信信号の制御方式で大きく分けて2通りの方法が存在している。一つが時分割方式であり、送信信号を時分割、すなわち順次送信する方式である。もう一つがslow-time MIMOと呼ばれるもので、送信信号を位相変調し、同時送信する方式である。当初は送信信号のずれが生じないslow-time MIMO方式を採用する予定であったが、位相変調において誤差が生じた際、正確なキャリブレーションが困難となる点に懸念が生じ、また時分割方式を用いた際の誤差解析(詳細は後の研究成果参照)において人物の動き程度であれば、試作予定のハードウェア規模であれば誤差の問題は生じないという結論が得られたため、正確なシステム構成が可能な時分割方式によるシステムシステム設計・試作および最適化を行うこととした。なお、いずれのMIMO方式を用いた際も総送信電力一定の条件下では、検出性能は同等であることを確認した。

(2) 折り返しひずみを有するドップラ周波数推定アルゴリズムの開発

もう一つの柱が、ドップラ周波数推定範囲の拡大である。前述の時分割MIMO方式のように、一連の送信シーケンスにある程度の時間を要した際には、観測可能な最大ドップラ周波数(最大観測可能速度)が低下する。その範囲を超えた速度を有する応答は、周波数領域で折り返され異なる速度と観測されることとなる。この研究では、従来のslow-time領域のパルス解析によるドップラ周波数推定をfast-time領域波形を含めたものに拡張し、折り返し回数を含めた推定を可能とすることにより、従来の制限を超えたドップラ周波数推定を可能としている。これに関しては、アルゴリズムの考案、シミュレーションによる検証に加え、基礎実験による実証を行っている。

(3) KR-MIMO 仮想アレー技術の確立

上述のドップラ周波数の増大に伴う折り返しひずみは、動作の速さを推定する上では問題であるが、MIMO-KR仮想アレーにおいては、ターゲット応答間の信号相関が低下するという好ましい効果をもたらす。開発したKR-MIMOによる高分解能化、微小な動きの推定などを可能とすることが予想される。ここでは、KR-MIMO仮想アレー構成の導出理論の一般化と、ミリ波帯でのドッ

プラにおける相関抑圧効果を定量的に明らかにし、人物の様々な行動に関する有効性を実験を通して実証する。なお、研究過程で、従来の配列に加え、より有効な配列が存在することを見出し、最適配列に関しても検討を加えている。

(4) ミリ波モーションドップラレーダによる特徴量の抽出

ミリ波レーダは微小な動きに関しても敏感に反応するため、ドップラ周波数検出において、特に大きな効果を発揮する。ここでは人物の動きなどにおけるドップラ周波数に関する特徴を示し、それらによる動作分類、さらには空間特性（レンジなど）を加えた際の効果に関して、考察を行った。アプリケーションとしては、交差点における人物、車両の分類、および屋内での人物の行動に関して、ドップラ周波数の分散のみを特徴量とした場合や機械学習を含めた画像としての分類性能の差異を検討している。

4. 研究成果

(1) ミリ波帯モーションドップラレーダのシステム設計・試作および最適化

ミリ波 MIMO レーダの実装法として、時分割 MIMO (以下、TDM-MIMO) および Slow-time MIMO が存在する。実装やキャリブレーションの観点では TDM-MIMO の方が取り扱いやすいが、送信信号にタイムラグが存在するため、移動ターゲットの到来方向 (Direction-of-Arrival, DOA) 推定を行う場合は送信時刻の違いにより生じたターゲット応答の位相変化が推定誤差をもたらす。したがって、移動ターゲットが及ぼす推定誤差が許容できるような適切な時間間隔で時分割送信を行う必要がある。ここでは、TDM-MIMO レーダによって観測された移動ターゲットの DOA 推定誤差について解析を行い、送信素子数 2 の場合の TDM-MIMO レーダ利用時における DOA 推定誤差の近似式を導出し、計算機シミュレーションにより検証を行った。中心周波数 76.5GHz の 2 送信、4 受信 TDM-MIMO とした際のターゲットの到来方向推定結果例および Δp と速度 (v) に対する角度推定誤差をそれぞれ図 1, 2 に示した。図 1 においては PRI が $150 \mu s$ を想定した。これは現状の MIMO レーダにおいて実現可能なレベルである。この結果から分かるように 2m/s 程度の速度を有している場合であっても角度バイアスは僅か数度であり補正をすることなく利用可能といえる。図 3 が様々な PRI と速度に対する角度バイアス特性である。5 度程度まで許容するものとする、 $100 \mu s$ の PRI で 3m/s となる。これは人物等の動きに対してはほぼ十分なレベルであるといえる。詳細は、文献①を参照されたい。従ってこの研究では、やや複雑な制御（と信号処理）を要する Slow-time MIMO ではなく、キャリブレーションが容易な TDM-MIMO 方式でレーダを試作した。

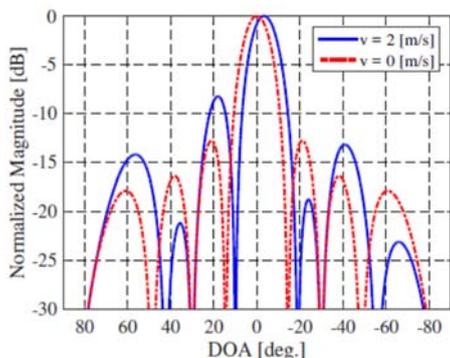


図 1: DOA 推定結果 (76.5GHz, $\Delta p=150 \mu s$)

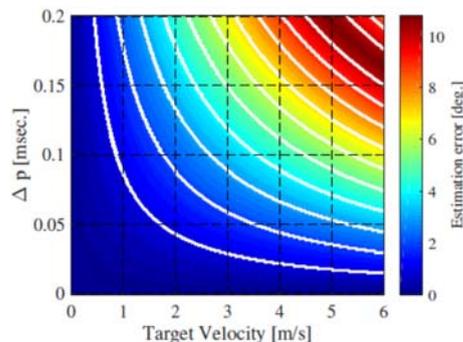


図 2: 76.5GHz 帯での DOA 推定誤差特性

(2) 折り返しひずみを有するドップラ周波数推定アルゴリズムの開発

MIMO レーダの場合、複数の送信が存在するため、通常のレーダより、検出可能なドップラ周波数範囲が狭くなる、具体的には最大検出可能速度が小さくなってしまいう問題が生じる場合がある。これは TDM-MIMO, Slow-time MIMO 共通の問題である。ここでは、最大検出可能ドップラ周波数を超えた場合においても正確な速度検出が可能となる手法を考案した。通常的手法では、繰り返し送信される一連の slow-time パルスに対してフーリエ変換等の手法によりドップラ周波数推定を行う。それに対し、提案手法では、fast-time における受信信号も考慮したアルゴリズムを提案した。これにより、見かけ上のドップラ周波数に対して、その折り返し階数の推定が可能となることを示し、シミュレーションおよび実験により、その有効性を明らかにした。アルゴリズムの詳細は文献②を参照されたい。図 3 および図 4 に実験結果の一例を示した。これは 76.5GHz 帯のレーダにおいて 2 つの低速ターゲット (5mm/s, -20mm/s) に対して、PRI を 98ms で観測したデータセットを用いた検証実験結果である。図 4 が従来の slow-time パルスを用いたドップラ周波数推定結果である。5mm/s のターゲット速度は正確に推定されているが、-20mm/s のターゲットに関しては、今回の PRI での最大検出速度が [-10, 10]mm/s であるため、折り返されて 0mm/s と推定されている。図 5 が MUSIC 法および FFT を用いて各ピークに対応する折り返し回数を推定した提案手法の結果である。ターゲット #1 (-20mm/s) に対しては折り返し回

数が-1, すなわち $0\text{mm/s} - 20\text{mm/s} = -20\text{mm/s}$ であることがわかる. またターゲット#2 は折り返し回数0であり, 真のドップラ周波数であることが推定されている. この手法は, 観測可能範囲を超えたドップラ周波数をもつターゲットが混入した場合においても正確なターゲットの動きを推定することを可能とするものである.

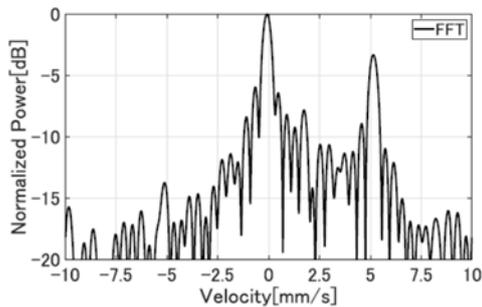


図 3: 速度推定結果 (従来手法)

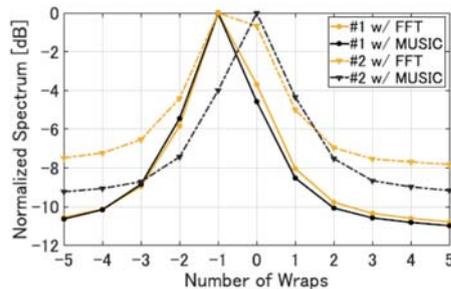


図 4: 折り返し回数推定結果 (提案手法)

(3) KR-MIMO 仮想アレー技術の確立

KR-MIMO 仮想アレー手法は先行研究③で考案した手法である. この手法はターゲットの動きを利用することにより, カトリ・ラオ積仮想アレーのようなパッシブアレーで提案されている仮想アレー手法が MIMO レーダに適用可能となり, 飛躍的に実効素子数の多いレーダ信号処理を可能とするものである. その際は WiFi (2.5GHz, 5GHz) を想定していたが, ミリ波レーダに適用することにより, その有効性が更に高まることを明らかにした. その理由は動作周波数である. ミリ波レーダでは波長 4mm 程度の高周波数帯を利用しているため, 僅か数 mm の変動で, 反射信号の位相が大きく変化する. この位相変動が個々のターゲット間の相関抑圧効果をもたらす.

また, 素子の配置に関しては, 従来は受信側で仮想アレーが最適な等間隔アレーとなる配置 (不等間隔) を用いて, それらを送信側の不等間隔アレーでさらに広げた仮想アレーとする考え方でアレー配置を設計していた. 今回の検討においては, 受信アレー側で一部欠損 (飛び) が生じるようなアレー配置であっても, 送信側での仮想アレー化の際に, その欠損を補填するような配置が存在することが分かった. 図 5 が, 等間隔 MIMO (ULA) と先行研究での配置 (MRA) および今回明らかにした配置 (proposed) での仮想素子数である. 今回明らかにした配置による, 先行研究に対する増加率は大きくはないが, 素子数が多くなるほど有効に働き, 受信素子数 8 では 10% 程度の増加が期待できることがわかる. 詳細な議論は文献④を参照されたい.

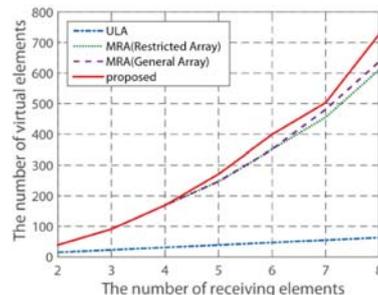


図 5: 各アレー配置における仮想素子数

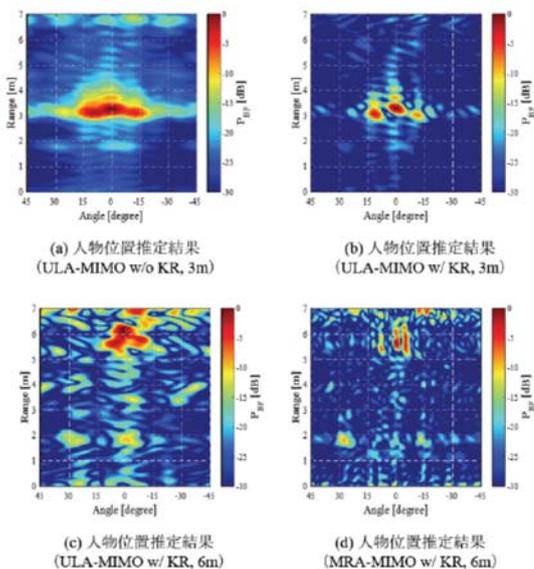


図 6: 人物位置推定結果

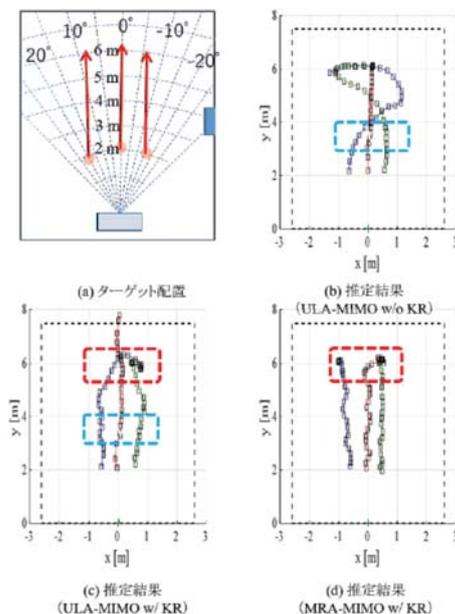


図 7: 人物トラッキング実験結果

これらの検討結果をもとに2送信4受信の76.5GHz帯のMIMOレーダを試作し、等間隔素子配置、不等間隔素子配置時の屋内人物検出実験を行った。その結果の一例を図6および図7に示す。これは3名の人物が並んでレーダから遠方に向かって歩いた実験結果(図7(a))である。図6の(a)、(b)は図7の青で示した領域での等間隔アレーによるMIMOおよびそれに対してKR手法を適用した結果である。通常MIMOでは分離不可能(図6(a))であるが、それに対してKR手法を適用すると角度分解能が改善し分離されている(図6(b))。しかしながら遠方になると分離が困難(図6(c))となるが、本研究で明らかにした不等間隔アレー(MRA-MIMO with KR)を用いることにより分離可能(図6(d))となることを示している。図7が各々の手法におけるトラッキング結果である。不等間隔アレー(MRA-MIMO with KR)のみが全領域で正しく追尾していることがわかる。このように本研究により、通常MIMOレーダを超えた分解能を実現するMIMOレーダ信号処理が可能となることを明らかにした。その他の実験結果に関しては発表論文を参照されたい。

(4) ミリ波モーションドップラレーダによる特徴量の抽出

本研究の後半では、試作したMIMOレーダを用いて、ターゲット認識・分類に関する実験を行った。まず交差点等での人物、自転車、自動車等の識別に関する検討では、リアルタイムでの処理を念頭に、特徴量としてターゲット自体の移動速度を補正後のドップラ周波数の分散が、ターゲットの特徴を強く表すことに着目した分類を検討した。すなわち、人物等では手足の動きに伴い、様々なドップラ成分が生じるが、自動車のような剛体では、そのような変動は小さい。図8が各々のターゲットのドップラ周波数(移動速度補正後)の変化の様子である。また図9がそれらの観測時間に対する標準偏差である。観測時間0.1s程度で人物とその他(自動車、自転車)の識別が可能であり、差は小さいものの0.25s程度で自転車と自動車の差異を認めることができる。これは速度分散(標準偏差)のみの1次元パラメータでの推定であるが、この程度の分類を実現できることが分かった。より高精度な識別を可能とするため、機械学習、スパース解析等を導入した解析を引き続き行っている。

上記の実験に加え、屋内における人物の行動、例えば立つ、座る、転倒などの特徴的な動作に関してもターゲットの空間的な広がりや動きを考慮した、時間-ドップラ、距離-ドップラ、角度-ドップラ特性の解析を行い、動作識別・分類に関する実験も行った。MIMOレーダにおいては、3次元的な特徴解析が可能となる。ここでは、表2に示す動作に対して、時間-ドップラ、距離-ドップラ、時間-距離領域データを用いて畳み込みニューラルネットワークによる機械学習を施した検討も行い、90%を超える高い認識精度を実現している。

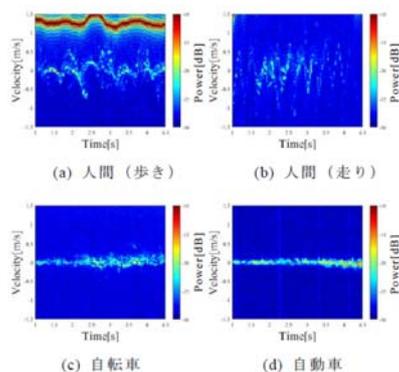


図8: ドップラ周波数の時間変化(補正後)

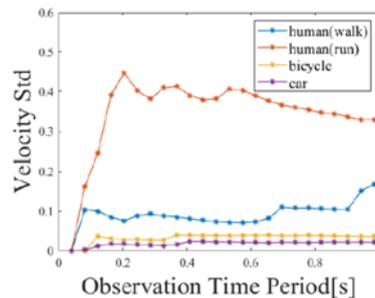


図9: 速度の標準偏差の時間変化

<引用文献>

- ① 大橋 卓, 山田 寛喜, 山口 芳雄, “TDM-MIMO レーダによる移動ターゲットの DOA 推定誤差解析”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No. 7, pp. 528-538, 2018 年 07 月.
- ② 堀内貴裕, 山田寛喜, “ミリ波 FMCW レーダにおける複数パルスを用いた速度折り返し推定について”, 電子情報通信学会和文論文誌 B, vol. J102-B, No. 11, pp. 873-882, Nov. 2019.
- ③ Y. Wakamatsu, H. Yamada, Y. Yamaguchi, “MIMO Doppler Radar Using Khatri-Rao Product Virtual Array for Indoor Human Detection,” IEICE Trans. Communications, Vol. E99-B, No. 1, pp. 124-133, Jan. 2016.
- ④ J. Konishi, H. Yamada, Y. Yamaguchi, “Optimum element arrangements in MIMO radar using Khatri-Rao product virtual array processing,” IEICE Communications Express, 2018, 7 巻, 11 号, p. 407-414, 2018 年 11 月.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 大橋 卓, 山田 寛喜, 山口 芳雄 | 4. 巻 J101-B, 7 |
| 2. 論文標題 TDM-MIMOレーダによる移動ターゲットのDOA推定誤差解析 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 B | 6. 最初と最後の頁 638-647 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2017WFP0001 | 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 小西順平, 山田寛喜, 山口芳雄 | 4. 巻 7, 11 |
| 2. 論文標題 Optimum element arrangements in MIMO radar using Khatri-Rao product virtual array processing | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Communications Express | 6. 最初と最後の頁 407-414 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2018XBL0104 | 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 堀内貴裕, 山田寛喜, 山口芳雄 | 4. 巻 118, 239 |
| 2. 論文標題 ミリ波FM-CWレーダによる可視速度を超えた高速ターゲットのドップラ周波数推定について | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 信学技報 | 6. 最初と最後の頁 51055 |
| 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 長山知司, 村松正吾, 山田寛喜, 杉山裕一 | 4. 巻 vol. 116, no. 476 |
| 2. 論文標題 複素非分離冗長重複変換を用いたレーダ画像ノイズ除去の検討 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 87-91 |
| 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 小西順平, 大橋 卓, 山田寛喜, 丸山貴司, 平本美智代, 山口芳雄 | 4. 巻 vol. 117, no. 31 |
| 2. 論文標題 Khatri-Rao積仮想レー処理を用いたMIMOレーダによる距離および角度分解能向上に関する検討 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 37-42 |
| 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 長山知司, 村松正吾, 山田寛喜, 杉山裕一 | 4. 巻 vol. 117, no. 98 |
| 2. 論文標題 繰り返し縮退に基づく複素非分離冗長重複変換を利用したレーダ画像ノイズ除去手法の提案 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 7-12 |
| 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 大橋 卓, 山田寛喜, 山口芳雄 | 4. 巻 vol. 117, no. 109 |
| 2. 論文標題 交互送信MIMOレーダによる移動物体の角度推定誤差に関する理論的検討 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 77-82 |
| 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 長山知司, 村松正吾, 山田寛喜 | 4. 巻 vol. 117, no. 516 |
| 2. 論文標題 複素非分離冗長重複変換を用いた超解像の検討 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 297-298 |
| 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 羽澤帆乃佳, 山田寛喜, 森浩樹 | 4. 巻 9, no.6 |
| 2. 論文標題 "Evaluation of mode vector for Near-field 2-D target imaging using Khatri-Rao product extended array processing | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Communications Express | 6. 最初と最後の頁 176-181 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2019SPL0024 | 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 西村和真, 堀内貴裕, 山田寛喜 | 4. 巻 vol. 119, no. 168 |
| 2. 論文標題 ミリ波FM-CWレーダを用いた交通監視におけるターゲットの識別に関する検討 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 49-54 |
| 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 堀内貴裕, 山田寛喜 | 4. 巻 vol. 119, no. 316, |
| 2. 論文標題 ミリ波最小冗長度MIMO仮想アレーレーダによる屋内人物検出に関する実験的検討 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 | 6. 最初と最後の頁 67-71 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takahiro Horiuchi, Hiroyoshi Yamada, Yoshio Yamaguchi, Michiyo Hiramoto |
| 2. 発表標題 On Doppler Ambiguity Estimation for Millimeter FM-CW Radar by Using MUSIC Algorithm |
| 3. 学会等名 Proc. 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jumpei Konishi, Hiroyoshi Yamada, and Yoshio Yamaguchi |
| 2. 発表標題 On Optimum Element Arrangements of MIMO Radar Based on the Khatri-Rao Product Virtual Array |
| 3. 学会等名 Proc. 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Satoshi NAGAYAMA, Shogo MURAMATSU, Hiroyoshi YAMADA |
| 2. 発表標題 Single-image Super-resolution using Complex Nonseparable Oversampled Lapped Transforms |
| 3. 学会等名 Proc. APSIPA-ASC 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田寛喜 |
| 2. 発表標題 等間隔リニアアレーアンテナにおける分離可能コヒーレント波数に関する一考察 |
| 3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小西順平, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 khatri-Rao積仮想アレー処理を用いたミリ波MIMOレーダによる屋内ターゲット位置推定に関する基礎検討 |
| 3. 学会等名 2018年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 堀内貴裕, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 ミリ波FM-CWレーダによるMUSIC法を用いた高速移動体のドップラ周波数推定に関する検討 |
| 3. 学会等名 2018年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 堀内貴裕, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 アップチャープFMCWレーダにおけるドップラ周波数の折り返し検出について |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村和真, 堀内貴裕, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 ミリ波FM-CWレーダを用いた交通監視システムにおけるターゲットの識別に関する実験的検討 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小西順平, 大橋卓, 山田寛喜, 平本美千代, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 Resolution Enhancement for MIMO Radar by Using Khatri-Rao Product Virtual Array Processing |
| 3. 学会等名 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小西順平, 山田寛喜, 山口芳雄, 平本美智代 |
| 2. 発表標題 Khatri-Rao積麻生アレー処理を適用したMIMOレーダにおける最適素子配置に関する基礎検討 |
| 3. 学会等名 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小西順平, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 時間領域においてKhatri-Rao積仮想アレー処理適用時に生じる歪みの抑圧手法に関する検討 |
| 3. 学会等名 2017年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大橋卓, 山田寛喜, 山口芳雄 |
| 2. 発表標題 交互送信MIMOレーダによる移動ターゲットのDOA推定に関する検討 |
| 3. 学会等名 2017年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長山知司, 村松正吾, 山田寛喜, 杉山裕一 |
| 2. 発表標題 Complex Nonseparable Oversampled Lapped Transform for Sparse Representation of Millimeter Wave Radar Image |
| 3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 長山知司, 村松正吾, 山田寛喜, 杉山裕一 |
| 2. 発表標題 Millimeter Wave Radar Image Denoising with Complex Nonseparable Oversampled Lapped Transform |
| 3. 学会等名 2017 Asia-Pasific Signal Information Processing Assosiation Annual Summit and Conference (APSIPA ASC 2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 堀内貴裕, 小西順平, 山田寛喜, 村松正吾 |
| 2. 発表標題 Indoor Human Tracking with Millimeter-Wave Minimum Redundancy MIMO Radar |
| 3. 学会等名 Proc. 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村和真, 堀内貴裕, 山田寛喜 |
| 2. 発表標題 Target Identification in Traffic Monitoring Using Millimeter-Wave FM-CW Radar |
| 3. 学会等名 Proc. 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 羽澤帆乃佳, 山田寛喜, 森浩樹 |
| 2. 発表標題 On Near-Field 2-D Target Imaging by Using Khatri-Rao Product Extended Array Processing |
| 3. 学会等名 Proc. 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 堀内貴裕, 山田寛喜 |
| 2. 発表標題 ミリ波最小冗長度MIMOレーダによる屋内人物の角度分離に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西村 和真, 堀内貴裕, 山田寛喜 |
| 2. 発表標題 ミリ波FM-CWレーダを用いた交通監視対象ターゲットの識別における周波数帯域幅に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会信越支部大会 |
| 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 | 村松 正吾 (Muramatsu Shogo) (30295472) | 新潟大学・自然科学系・准教授 (13101) | |