

# ドップラ及び多重散乱データの双方向処理による多元的人体検出法

研究代表者

木寺 正平 電気通信大学情報理工学研究科 准教授



## 1. 研究の背景と達成目標

自動運転等における人物等の衝突回避センサの開発は最重要課題となっている。同センサにはレーザやカメラによる光学的なセンサがあるが、視界不良・悪天候・見通し外においては波長が100mm~10mm程度のマイクロ波・ミリ波レーダが有望であることが認識され、欧米各国及び国内でも、同レーダによる人体認識及び周囲状況把握のためのイメージング技術の開発が急速に進んでいる。一方、マイクロ波・ミリ波帯のレーダ画像化における空間分解能また精度は高々、10mmから100mm程度である。

本研究課題では、申請者が独自に創案する超分解能ドップラ速度推定法、超高精度画像化法(RPM)法及び多重散乱波解析法等を人体画像化に導入し、かつ「ドップラ速度」、「多重散乱波」、「レーダ画像」、「多偏波データ」等のデータを有機的に作用させる双方向処理を導入することで、従来の分解能・精度及び識別性を超える解析法を開発する。以下に各項目の目標を示す。

- ①：RPM法とドップラ速度の双方向処理により、ドップラ速度分解能:0.1 m/s 及び精度:0.05 m/s、時間分解能:0.1 sec の両立
- ②：帯域幅 3GHz(通常分解能:5cm)で、距離分解能を 1cm を実現させ、また中心周波数 8GHz で、空間分解能 5cm を達成する
- ③：人体からの回折波または多重散乱波をドップラ速度及び位相で識別し、人体識別精度 80%を達成

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

①の課題において、WKD法に基づくドップラ速度推定、圧縮センシング及びRPM法の統合により、0.1sの時間分解能、0.1m/sの速度分解能及び10mmの距離分解能を同時に実現することを実証した。これは従来のフーリエ変換等のコヒーレント処理に基づくレーダ画像化及び速度推定技術では原理的に達成することができない性能であり、学術的に大きなインパクトを与えるのみならず、ミリ波レーダ等による人体識性能を格段に押し上げ、自動運転技術等への社会的展開も重要な貢献をなすと予測する。また、③の見通し外人体識別では、実際の車両遮蔽状況において実人体を90%以上の識別精度を実現したことは特筆に値する。特に光学カメラではセンシングできない見通し外領域での人体識別を非常に高い精度で実現できることが示され、車載センサ等への応用が期待される。

## 3. 研究成果

- ① 重みつきカーネル密度推定(Weighted Kernel Density estimator: WKD)法と独自のレーダ画像化法であるRPM法との双方向データ選別にに基づく方法を提案し、簡易人体モデルで性能を検証した。ドップラ速度分解能は、原理上下限はなく、時間分解能は0.02 secである。更に圧縮センシングに基づく超分解能距離推定法と統合することで、距離分解能:10mmを同時に達成させることが可能となり、時間・速度・距離の3つの分解能を同時に従来を超える高いレベルで達成した。また同データをRPM法による画像化へ反映させ、

人体識別のための画像化精度として十分なレベルの精度を実現させた（IEEE TGRS に採録済[1], 財団賞受賞）。

- ② 本課題では、限られた帯域幅で RPM 法の性能を最大限に発揮するために、本課題では波数空間分離に基づく超分解能法を導入した。アレイ等による観測モデルでは、アンテナ方向のフーリエ変換により、データを波数空間に変換することができる。これは角度方向の分解と等価であり、距離で近接している人体目標において従来を超えた距離分解能を実現することができる。UWB レーダに基づく実験データでは、二つの球目標を想定し、アンテナと各目標の距離が近接する状況を想定した。周波数帯域幅は約 2.7GHz 距離分解能は 6cm であるのに対して、距離が 1cm 程度近接した場合でも波数空間処理により分解可能となり、当初目標を達成した（IEEE TGRS に採録済[2]）。更に、ドップラ速度空間の分離も導入することで、更に空間分解能を高める手法も開発済みである。同処理は①の課題と統合することで、車載レーダ等の狭帯域ミリ波センサとして人体識別に有用である。
- ③ 当初は、壁等の多重散乱波を用いて画像化領域の拡大による人体識別を目的としたが、見通し外環境では必ずしも多重散乱が卓越する状況にあるとは限らないこと、また見通し外での人体からの回折波データを機械学習することで、人口構造物と人体を識別することが可能であることが実験的にわかってきたため、③の課題を「多重散乱波及び回折波のドップラ速度の双方向処理により、人体の識別精度を飛躍的に高める」という課題に変更した。本手法では、複素時系列データを非線形識別器 SVM(Support Vector Machine) で学習させ、特に見通し外環境で想定される低 SNR の状況下において、24GHz 帯ミリ波レーダを用いた実機実験により、完全遮蔽状況であっても、人体の識別率を 92%程度まで改善させることが可能となった。特に光学カメラではセンシングできない見通し外領域での人体識別を非常に高い精度で実現できることが示され、車載センサ等への応用が期待される。

#### 4. 今後の展開

本課題はマイクロ波、ミリ波レーダを想定した人体識別にかかわる研究課題である。研究成果の詳細から、当初の予想を上回る成果が得られたと評価できる。特に分解能の制限を超える手法は、光学カメラ等の他のセンシング技術に対するマイクロ波・ミリ波の決定的な欠点を補完するものとなり、同技術の地位を格段に押し上げる要素技術となりえると考えられる。また遮蔽状況での人体識別においては、人体が静止していても姿勢制御や呼吸により、人口構造物にはないミリ単位の体表面変動を観測し、それがミリ波帯の位相に大きく反映されることがわかったことは、ミリ波回折波による人体識別の可能性を大きく高めたといえる。いずれの技術においても、センサ、自動車関連等の企業との共同研究を通じて、将来的な自動運転技術に応用できるように残された技術的課題をクリアしていくことが今後の重要な課題である。また同技術は、バイタルサイン計測や他のレーダ画像化（地表面計測、地中探査、癌細胞検知、非破壊検査等）にも展開可能であり、本成果で得られた基盤を展開したいと考えている。

#### 5. 発表実績（主な実績を抜粋）

[1] T. Ohmori, S. Takahashi, and S. Kidera "Gaussian Mixture Model Parameter Optimization in Range Points Migration Based Three-dimensional Radar Imaging", , IEEE Sensors Journal, (in press) 2021.

[2] Y. Akiyama, T. Omori, and S. Kidera, " k-Space Decomposition Based Three-dimensional Imaging with Range Points Migration for Millimeter Wave Radar", IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing, Vol. 60, 2021.

[3] M. Setsu, T. Hayashi, J. He, and S. Kidera, " Super-Resolution Doppler Velocity Estimation by Kernel-Based Range-  $\tau$  Point Conversions for UWB Short-Range Radars ", IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing, Vol. 59, 2020.

[4] 2021 年 3 月 26 日 第 36 回電気通信普及財団賞 テレコムシステム技術賞入賞（対象論文：[3]）