（ 続紙 1 ）

京都大学	博士（情報学）	氏名	佐保 賢志
論文題目	Human Imaging and Identification Algorithms with UWB Doppler Radar Interferometry（UWBドップラーレーダ干渉計法を用いた人体イメージング及び識別法）		

（論文内容の要旨）

安全・安心な社会を実現するために不可欠な社会基盤技術の一つとして、監視システムにおける高精度な侵入者検出や室内ロボットの正確な障害物検知等を実現することに対する社会的要求が強い。この目的達成のために、簡易なシステムによる人体のリアルタイムリモートセンシングが望まれている。このような応用に、照明条件の影響を受けることなく、かつ高距離分解能が実現可能なレーダ技術が注目されている。本論文ではUWB(超広帯域)ドップラーレーダ干渉計法を用いた高分解能人体イメージング法を提案し、さらに同手法によるイメージング結果を人体識別へ応用する手法を提案している。

まず第1章では論文に関連する技術の現状を概観している。最初に電磁波以外の波動を用いたリモートセンシングの手法として、光および超音波を用いた技術について述べ、これらとの比較によりレーダ技術の位置付けを明確にしている。次に本論文で提案するイメージング法の基礎となるマイクロドップラーレーダおよびUWBパルスレーダによるイメージング技術の原理と成果について述べ、それらの問題点を検証して、本論文の達成目標を定めている。

続く第2章では、少数アンテナを用いたUWBドップラーレーダ干渉計による散乱中心位置推定法及び形状推定法を提案している。少数の回転移動目標を仮定した数値計算と実験により、同手法により達成可能な精度と、適切な時間周波数解析法を検討している。この手法をターンテーブル上に固定された複数目標に適用し、数値シミュレーションと実験によりその性能を定量的に評価している。特に目標の分離に用いる時間周波数解析の手法としてSPWD法とSDFT法についてその得失を定量的に比較している。さらに数値的に構成した人体モデルを用いた検討により、提案手法の人体イメージングへの適用可能性を示している。

第3章では、現実的な歩行する人体目標を仮定した実験検討を行い、人体の各部位からの散乱信号間の干渉によって多数の虚像が発生し、イメージングの特性が著しく劣化することを確認している。これらの虚像の発生メカニズムを、単純化した人体部位のモデルに基づく数値シミュレーションによって調べ、虚像に固有の特徴を明らかにして、速度情報を利用した虚像検出及び除去法を提案している。最後に実験データに基づき提案虚像除去法の有効性を明らかにし、この手法とUWBドップラーレーダ干渉計法の併用によって高分解能かつ高信頼度なリアルタイム人体イメージングが低い計算負荷で実現可能であることを示している。

第4章では、前章で提案した虚像除去法を取り入れたイメージング法により得られた高分解能人体イメージを人体識別に応用するための手法として、イメージング結果に基づく歩行人体分類法を提案している。提案分類法では、画像データを直接に分類対象とする従来法に代えて、まず推定像の外輪郭を定め、人体の上下半身と左右半身に分けた各部の視線方向速度分布の平均値および標準偏差をパラメータとして抽出し、これらの特徴パラメータ空間上で分類を行うことで高い分離性能を得ている。同

手法により、通常の歩行者、鞄を持っている歩行者、松葉杖歩行者、車椅子など各種の歩行人体の分類を試み、その特性評価を行っている。また各種の分類アルゴリズムを比較し、最適な手法を選択している。

以上の各章では単一の歩行者のイメージングを対象としているが、第5章では、近接している2人の歩行人体目標を分離識別する手法を提案している。本論文で用いているUWBパルスレーダの公称距離分解能に近い距離を保って歩く2人の歩行者の実験データに基づき、これらを分離識別することを試みている。最初に単純な距離分解能に基づく手法では、手足の運動を伴う歩行者の十分な分離が行えないことを示し、信頼度の高いデータ点のみを抽出して、これらを教師データとして分離する手法を提案している。提案分離法ではUWBドップラーレーダにより得られたイメージング結果に、非線形判別分析法の一種として知られるサポートベクターマシンを適用することで、両者の分離識別を実現している。様々な位置の2歩行者を仮定した実験により、提案手法の有効性を検証している。

最後に第6章では、本論文で得られた成果をまとめ、目標の達成度を評価すると共に、今後の課題を示している。

（続紙　２　）

（論文審査の結果の要旨）

本論文はUWB(超広帯域)ドップラーレーダ干渉計法を用いた高分解能人体イメージング法を提案し、さらに同手法によるイメージング結果を人体識別へ応用する手法を提案している。得られた主な成果は以下の通りである。

(1)少数アンテナを用いたUWBドップラーレーダ干渉計による散乱中心位置推定法及び形状推定法を提案した。少数の回転移動目標を仮定した数値計算と実験により、レーダの公称距離分解能の約1/60という極めて高い精度で複数目標の形状推定が可能であることを示した。

(2)この手法を歩行する人体目標に適用した場合には、人体の各部位からの散乱信号間の干渉によって多数の虚像が発生し、イメージングの特性が著しく劣化することを明らかにした。これらの虚像の発生メカニズムと特徴を明らかにして、その除去法を提案した。実験データに基づき提案虚像除去法の有効性を明らかにし、高分解能かつ高信頼度なリアルタイム人体イメージングが、低い計算負荷で実現可能であることを実証した。

(3)開発した手法に基づき、視線方向速度分布から歩行人体の特徴パラメータを効率的に抽出して、この特徴パラメータ空間上で分類を行うことで各種の歩行種別を分類する手法を提案した。通常の歩行者、鞄を持っている歩行者、松葉杖歩行者、車椅子など6種の歩行人体の分類を試み、4人の被験者の6種の歩行種別のすべてを、1人の被験者のデータのみを教師データとして96％の精度で分類可能であることを示した。

(4)互いに近接して歩く2人の人体を分離してイメージングする手法を提案し、歩行者間距離が公称距離分解能の1.5倍程度の場合にも十分な分離特性が得られることを明らかにした。

以上要するに本論文は、UWBドップラーレーダ干渉計法を用いた高分解能人体イメージング法を提案すると共に、その有用性ならびに優れた特性を明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年2月18日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果合格と認めた。