

氏 名	木 寺 正 平
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 281 号
学位授与の日付	平 成 19 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学 位 論 文 題 目	High-Performance 3-D Imaging Algorithms for UWB Pulse Radars (UWBパルスレーダのための高性能立体像推定法)

論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 亨 教 授 松 山 隆 司 教 授 松 田 哲 也
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

UWB (超広帯域) 信号を用いたレーダシステムは、高い距離分解能を有する近傍界計測技術として注目されている。その用途は、アンテナ鏡面・航空機等の非破壊精密計測及び、室内ロボットや車両走行システム等の障害物検知システムなど、様々な応用が可能である。従来のレーダ画像化手法は、合成開口処理、領域積分方程式、回折トモグラフィまたは、モデルフィッティング等に基づいている。しかし何れの手法も、高速性・汎用性・安定性・精度を同時に達成することは困難であった。この問題を解決する手法として、SEABED法が提案されている。SEABED法は、データより抽出される到来波面と物体境界面の間に存在する境界散乱変換を用いて直接的に物体境界を推定し、高い高速性と汎用性を実現する。しかしSEABED法は、アンテナ走査によるデータ取得時間増大、変換の原理に起因する雑音に対する不安定性、波形歪みによる精度劣化などの問題点を有する。本論文は、上記の問題点を解決することにより、UWBレーダを用いた高性能立体像推定手法を開発することを目的としている。論文は以下に示す5章で構成されている。

第1章は序論であり、物体形状計測のための手法として、光学、超音波、X線、電波を用いた各手法を比較検討し、特に電波を用いた従来手法の問題点を明らかにしている。

第2章では、SEABED法において、送受信アンテナを走査することに伴うデータ取得時間を短縮するため、線形アレイアンテナを用いた高速・高解像度形状推定法を提案している。送受信アンテナ素子間距離が変化することに対応するため、境界散乱変換を従来のモノスタティック型からバイスタティック型へ拡張することにより、アレイ素子間隔の下限を保持しながら、高解像度形状推定を実現できることを数値計算及び実験により示している。

第3章では、SEABED法の雑音に対する不安定性を解決する手法について検討している。境界散乱変換は、到来波面の微分を用いることに起因する不安定性を有する。本章では到来波面より決定される球群の包絡面が物体境界の一部を表現することに着目し、微分を用いない安定かつ高速立体像推定法を提案している。この手法により、凹面と凸面の両方を含む任意の形状に対して、高速かつ安定な形状推定を実現できることを数値計算により確認している。

第4章では、UWBレーダにおける受信信号波形が、物体形状に応じて送信信号波形から変化することによる推定物体像の精度劣化を解決する手法について検討している。この問題を解決するため、まず反復的手法により、受信波形と物体形状を同時に推定する方法を提案し、数値計算及び実験により、物体エッジを含めて1/100波長程度の高精度形状推定を実現することを確認している。しかし、本手法は反復改良に基づくため、計算時間を数秒程度要する。本章では、実時間処理への適用を可能にするため、更に散乱波形の周波数特性を利用した高速・高精度立体像推定手法を提案している。同手法は、直接的な到来時間補正を可能にし、高精度かつ安定な立体像推定が達成できることを数値計算により確認している。処理時間は0.2秒程度であり、高速かつ高性能な立体画像化が可能であることを示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文では、UWB（超広帯域）パルスレーダを用いた3次元近傍界計測技術におけるいくつかの課題を解決し、時間分解能と精度を向上させる手法を提案し、数値計算と実験によりその性能を検証した。得られた主要な研究成果は以下の通りである。

- (1) 従来のSEABED法においては、送受信アンテナを走査することに伴うデータ取得時間が主要な制約の一つであった。これを短縮するため、線形アレイアンテナを用いたバイスタティック構成に適用可能な境界散乱変換を新たに提唱し、これを用いてアレイ素子間隔の下限を保持しながら、高解像度形状推定を実現できることを数値計算及び実験により検証した。
- (2) SEABED法において用いる境界散乱変換は、到来波面の微分を用いることに起因する雑音に対する不安定性が精度劣化の主要因の一つとなっている。これに対して本論文では、到来波面より決定される球群の包絡面が物体境界の一部を表現することに着目し、微分を用いない安定かつ高速立体像推定法を提案した。この手法により、凹面と凸面の両方を含む任意の形状に対して、高速かつ安定な形状推定を実現できることを数値計算により実証した。
- (3) UWBレーダにおいては、受信信号波形が、物体形状に応じて送信信号波形から変化することにより、到来時間推定に誤差を生じ、推定物体像の精度劣化を招くことが問題となる。この問題を解決するため、反復的手法により、受信波形と物体形状を同時に推定する方法を提案し、数値計算及び実験により、物体エッジを含めて1/100波長程度の高精度形状推定を実現できることを示した。さらに、反復改良に伴う計算時間の問題を解決するため、散乱波形の周波数特性を利用した直接的な到来時間補正手法を提案し、この手法により高速かつ高性能な立体画像化が可能であることを数値計算及び実験により検証した。

以上要するに本論文は3次元UWBレーダ画像化手法に独創的な技術を導入することにより、大幅な高速化と高精度化を可能としたものであり、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19年8月1日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。