

審査の結果の要旨

氏名 西野 智弘

本論文は「位相情報を積極的に利用した超音波イメージング」と題し7章よりなり、パルスの到来時刻を用いる従来型の超音波イメージング方式と異なり、位相情報を積極的に利用する超音波イメージングの考え方とそれを実現するいくつかの手法を提案するものであり、また実験を行ってその優位性を示すものである。

第1章は「序論」であり、超音波研究の近年の状況と本論文の位置づけについて述べている。

第2章は「超音波イメージングの原理と課題」と題し、現在広く利用されている超音波パルスを用いたイメージングの原理と課題について述べている。特に、パルスの広報散乱の自己干渉が引き起こすパルス振幅の不安定性について説明し、これが計測上大きな問題となることを示している。

第3章は「複素振幅法による超音波イメージング」と題し、従来のパルス波利用の超音波イメージングではなく、連続波を用いた超音波イメージングを提案し、そこに必要となる信号処理について述べている。特に複素振幅 (Complex-amplitude: CA) 法と名付けた方法を提案している。CA法では、i) 後方散乱波の複素振幅を計測すること、ii) DEMを作成する際に位相アンラッピング (Phase Unwrapping: PU) 処理が必要となること、および iii) 干渉の影響が位相の回転成分すなわち位相特異点 (Singular point: SP) として現れることを述べている。SPが含まれる位相値マップは保存場となっていないためそのままの位相値では距離が算出できない。ここで衛星や航空機搭載レーダを用いた地表面計測の分野で用いられているいわゆるミニマムコスト・ネットワークフロー・位相アンラッピング法 (MCFU法) を適用することにより、高さ地図 (デジタルエレベーションマップ: DEM) を推定できることを示している。そして実験によって、本手法で得られる DEM がパルスエコー法で得られる DEM に比べて高い SN 比を持つことを実証している。

第4章は、「位相特異性拡散法による位相アンラッピング」と題し、位相値マップに含まれる SP を拡散させる PU 法を提案する。これを位相特異性拡散 (Singularity-spreading phase unwrapping: SSPU) 法とよぶ。SSPU法では、保存場となっていない計測データから DEM を作成できるだけでなく、MCFU法を含む従来の PU 法で問題となっていた

DEM 中の崖を生成しない利点がある。さらに、SP の数が増えた場合にも計算コストが線形的にしか増加しない。実験を行い、CA 法で計測したデータを SSPU 法でアンラップして得た DEM は、従来の PU 法を用いて得た DEM よりも実物に近い形状を再現できていることを示している。また起伏が少ない単純な形状物体と複雑な形状物体の 2 種類の計測結果を示して、いずれの場合にも SN 比が大きく改善されることを実証している。

第 5 章は、「複素マルコフランダムフィールドモデルに基づく位相特異点の除去」と題し、位相値マップで SP を構成している 4 つの計測値の真値を、マルコフ性に基づき近傍の計測値から統計的に推定し、計測値を補正することで SP を除去する手法を提案している。これを複素マルコフランダムフィールドモデルに基づく位相特異点除去 (Complex-valued Markov-random-field-model-based singular-point elimination: CMSE) 法とよぶ。これにより、正と負の SP が結びつくように移動し、互いに打ち消しあう。この処理を繰り返すことにより SP の数の減少を実現することを、実験により示している。

第 6 章は、「超音波フェイズドアレイの位相値制御による適応的ビームフォーミング」と題し、山登り法を用いて超音波フェイズドアレイのビームパターンを最適化する手法を述べている。一般的に超音波アレイの放射は、フェイズドアレイ原理に基づく位相制御を行ってもビーム放射が所望角度からずれてしまう。この理由は、実際の超音波アレイではグレーティングロブやアレイシェーディング、クロスカップリングなどの現象があるためである。この問題を改善することで、超音波アレイの性能が向上し画像に含まれるアーチファクトを低減できる。ここでは超指向性音響システムにおける超音波フェイズドアレイを考えている。送信信号にはキャリア周波数 200kHz および 40kHz の超音波を可聴音を振幅変調したものをを用いている。目標とする位置にマイクを設置し、マイクが受信する音声信号の音圧が最大となるように、位相領域で山登り法を用いてアレイの各エミッタに与える搬送波の位相値を最適化する。実験を行い、提案手法によってビームフォーミングに成功している。

第 7 章は「結言」であり、これらの内容をまとめている。

以上これを要するに、本論文は、パルスの到来時刻を用いる従来型の超音波イメージング方式と異なり、位相情報を積極的に利用する超音波イメージングの考え方とそれを実現するいくつかの手法を提案し、実験を行ってその優位性を示したものであり、電子工学、特に超音波工学の発展に貢献するところが少なくない。

したがって、博士 (工学) の学位を授与できると認める。