

氏 名	丹 康弘
学 位 の 種 類	博 士(工学)
学 位 記 番 号	工博甲第364号
学位授与の日付	平成26年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	A Study on the Recognition of Seabed Environments Employing Sonar Images (超音波画像を用いた海底環境の認識に関する研究)
論文審査委員	主 査 教 授 石川 聖二 教 授 森江 隆 教 授 黒木 秀一 教 授 金 亨燮 准教授 タン ジュークイ

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、海洋音響画像を利用して、海底に存在する物体や海底の状態を識別する手法を提案している。

現在、海洋を調査する手法の中で一般的な沿岸域の海洋調査手法は大きく3つに分類できる。第一は、大洋向きで海面が主な調査範囲である人工衛星によるリモートセンシング、第二は、潜水土やROV(Remotely operated vehicle)によって直接海中を調査する手法である。ただしこの手法は、得られるデータの質は高く、手法の自由度も高い反面、調査データが“点”もしくはその周辺に限られる。そして第三は、沿岸域が主な調査範囲で、手法・対象ともに活発である超音波による調査である。中でも超音波による音響調査は、水深測量、底質プロファイラー、ソナーとバリエーションに富んでいる。超音波の利用により水深測量は線走査から面走査に変わり、解析も自動化しているが、底質プロファイラーは依然音波による線走査のままで、解析作業も技術者による目視判別のため、解析結果が主観に左右されやすい。そこで、本論文は、音響による画像撮影技術の一つであるサイドスキャンソナーに着目し、海底環境を撮影し画像化して、画像解析によりその自動判別を行う方法を提案する。

第1章では、従来の研究と本研究の目的について述べている。

第2章は、本研究と密接な関係にある海中音響の概要についてまとめている。空気とは異なり、水や固体は光や電磁波を透過しにくい物理的性質を持っている。一方音波は、液体・気体・固体を問わず非常に良好な透過性を持っている。このため、音波は、光では検知が難しい物質の内部構造を比較的容易に検出できるので、幅広い技術領域で用いられている。海洋もその表面域を除くと、そのほとんどが光が全く届かない世界であり、音響技術の利用が不可欠の世界である。そのため、海洋における超音波利用技術が関連する領域は幅広い。単純な音響技術そのものでは多様な海洋計測技術等への対応は難しいが、現代では海洋音響技術の内容は多岐にわたっており、音響波動に関する基礎物理に加えて、エレクトロニクス、海洋学、信号処理、生物学等と、その関連分野は広範な裾野を構成している。このような新しいアルゴリズムを搭載したソナーシステムの実現は、さまざまな海洋環境保全への展開が必要とされる海洋観測技術に大きなブレークスルーを与えることになると期待できる。

第3章は、サイドスキャンソナーから得られる超音波画像を用いた、海底面に設置された漁礁、若しくは未知物体の高速検出法を提案している。提案法は、ある大きさの矩形領域毎に画像特徴を表現するHaar型特徴、AdaBoost による機械学習、また多段フィルタ (cascade) による非物体領域の高速排除法を用いる。サイドスキャンソナーは海底の広大な画像を得るために

最も広く利用されているイメージングシステムの一つであり、その利用はAUV (Autonomous Underwater Vehicles)等を中心に急速に拡大し続けている。しかしながら、生成画像から物体に関する定量的情報を自動で抽出する手法はまだ確立していない。そこで本法は、サイドスキャンソナー画像に映る海底物体に共通する性質（物体と影の関係性）に注目する。提案法は、*k*-means法を用いてHaar型特徴のパターン数を最小限にすることにより、より高速に海底物体を検出する手法である。提案法を海底（砂地盤および泥地盤）にある漁礁の検出に適用することにより、提案法の有効性を示している。

第4章は、高次局所自己相関特徴と部分空間法を利用した、海底面超音波画像からの自動底質判別法を提案している。海底探査において海底面の状態を把握することは、第3章で述べた物体検出と並ぶ重要な課題である。従来法は、深度計測を同時に行うことにより、海底画像と海底面の起伏情報を基に海底底質を推定する手法や、画像輝度値の共起方向による推定法が提案されているが、画像単体では推定できないことや、特徴量が多すぎて推定に時間がかかり、リアルタイム識別には不向きである等の問題がある。実利用を考慮した場合、特徴は汎用的で高い識別精度を持つだけでなく、計算が容易であることやハードウェア化に適していることも重要となる。提案法は、高速計算が容易な高次局所自己相関特徴と、汎用的で識別能力の高い部分空間法を利用した手法である。提案法の最大の特徴は、サイドスキャンソナーから得られる音響画像だけを用いている点であり、このことは提案法の、無人小型デジタル機器への搭載の可能性を示唆している。提案手法を海底の実環境画像に適用することにより、提案法の有効性を示している。

最後に第5章で本論文をまとめるとともに、今後の課題及び展望を述べている。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

地球上の約70%の面積を占める海洋は、人類にとって重要かつ有用な財産である。特に沿岸海域では栽培漁業や埋立地造成、油田開発など、沿岸国によってさまざまな用途で利用されている。本研究では、特に海底環境に注目している。

海底資源を含めて、海底を利用するには、事前に海底の状況を調査する必要がある。現在、海洋調査の手法は大きく3つに分類できる。第一は人工衛星によるリモートセンシング、第二は、潜水士やROV(Remotely operated vehicle)によって直接海中を調査する手法、第三は超音波による調査である。中でも超音波を用いた音響調査は利用が容易であり、調査法自体を従来の点・線的調査から面的調査に変えるため、より短い時間でより多くの海底情報を得ることができ、諸種の海底調査に多用されるようになっている。しかしながら、海底超音波画像の解析は未だ専門技術者による目視解析に基づくため、解析結果が主観に左右されやすく、また広域かつ多量の画像解析には疲労に伴う誤った判断も入り得る。また、海底超音波画像の自動解析自体も国内外でほとんど研究されていない。そこで、本論文は、超音波による画像取得技術の一つであるサイドスキャンソナーを用いて海底環境を撮影し画像化して、コンピュータ画像処理によりその自動解析を行う方法を提案している。

著者はまず、サイドスキャンソナーから得られる海底超音波画像を用いた、海底面に設置された物体（特に漁礁）の高速検出法を提案している。提案法は、海底物体の画像特徴を表現するHaar型特徴、AdaBoost による機械学習、また多段フィルタ（カスケード構造）による非物体領域の高速排除法を用いた方法である。特にHaar型特徴の選定において、*k*-means法を用いてHaar型特徴のパターン数を論理的に求めてその個数を低減する方法を提案している。そのため、従来の実験的なパターン数決定法に比べ、より高速に海底物体を検出することが可能であ

る．提案法を実際の海底超音波画像に適用して，海底（砂地盤および泥地盤）にある漁礁を高精度で検出することにより，提案法の有効性を示している．

次に著者は，高次局所自己相関特徴と部分空間法を利用した，海底超音波画像からの自動底質判別法を提案している．海底調査において海底面の状態を把握することは，前述の海底物体検出と並ぶ重要な課題である．従来法は，深度計測を同時に行うことにより，海底画像と海底面の起伏情報を基に海底底質を推定する手法や，画像輝度値の共起方向による推定法が提案されているが，画像のみでは推定できないことや，特徴量が多すぎて推定に時間がかかり，リアルタイム識別には不向きである等の問題がある．実利用を考慮した場合，特徴は汎用的で高い識別精度を持つだけでなく，計算が容易なことやハードウェア化し易いことも重要である．提案法は，高速計算が容易な高次局所自己相関特徴と，汎用的で識別能力の高い部分空間法を利用した手法である．また提案法は低周期相関特徴を捉えるために，スケールの異なるマスク群を導入し高次局所自己相関特徴を求める．提案手法を海底の実環境画像に適用することにより，その有効性を示している．

以上のように本論文は，海底超音波画像を用いて，海底に存在する物体や海底底質を画像解析により自動検出・自動判別する手法を提案している．海底資源の発見と活用が重視されている昨今，海底超音波画像の自動解析の研究はますますその必要性が高まっているが，国内外でまだほとんど研究実績がない．そのため本論文は，この分野を新しく切り開く先導的研究である．したがって本論文の成果は，計測工学，画像計測，特に海底環境の自動解析分野への貢献が大きいものと考えられる．

なお，本研究に関して，審査委員および公聴会における出席者から，海底の深度と画像処理可能性の関係，他の手法との併用による検出精度向上の可能性，他のフィルタとの比較，ハール型特徴選択数の効果等に関して質問がなされたが，いずれも著者からの適切な説明によって質問者の理解が得られた．

以上により，本審査委員会は，学位論文及び最終試験の結果に基づき慎重に審査した結果，本論文が，博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した．