

審査の結果の要旨

氏名 巻 俊 宏

自律型水中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle, AUV) は、人がいけないうえに電波が届かない自然環境の水中を自律的に活動しなければならない。その行動の第一歩は、自己位置の特定(測位と書く)である。測位ができると、それに基づいて航法が決定される。ロボットの規模やそのミッションに関係しているいろいろな測位手法が採られている。大型ロボットでは、大きな測位装置を搭載できるが、数百キロの重量の中型ロボットでは、計測機材も限られ、精度の良い位置検出は困難である。また、本研究で扱っているような、海底から泡がでていような場所では、その困難度は極めて高い。本論文ではプロファイリングソナー(指向性の強い音波を周回スキャンするソナー、以後プロファイラーとする)と静的な音響ランドマークを用いた AUV の測位・航法アルゴリズムを研究し、従来手法では困難であった噴気帯の海底面の全自動観測を行うための手法を提案し、AUV の実機「Tri-Dog 1」を用いた水槽実験及び実海域実験を通して提案手法の有効性を検証している。

第1章では、AUV を取り巻く研究の背景を述べ、測位の問題点、特に噴気帯での測位の問題点を議論している。

第2章では、速度、深度、姿勢、周辺物までの距離等のセンサデータを受けて水平方向と鉛直方向の制御目標値を出力する新しい測位システムを提案している。提案の第一のポイントは、プロファイラーと静的な鉛直棒状の音響反射物を用いた相対位置計測手法を確立することである。測位レンジはプロファイラーの探知範囲に制限されるものの、画像観測に十分な測位精度を得ることができる。また、人工の音響反射材のほかに自然の噴気をランドマークとして使えるため、従来の音響測位が困難であった噴気帯にも適用することができる。提案の第二のポイントは、AUV の軌道制御を水平方向は経路計画部、鉛直方向は地形追従部というそれぞれ独立した部分により行うことである。即ち経路計画部は海底地形に関係なく水平方向の観測経路を決定し、地形追従部は水平方向の任意の動きに対応できるように鉛直方向の位置制御を行う。これにより比較的単純なアルゴリズムにより、複雑な海底地形に対して画像観測に適した低高度(1~2m)を保つことができる。

第3章では、第2章で議論したハードウェアシステムの上に、ソフトウェアシステムである SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) を構築して、ロボットを展開する手法を提案している。AUV は航行中リアルタイムにランドマークを探索、マッピングするとともに自己位置を推定する。本手法において SLAM は状態推定部と地図作成部によって行われている。状態推定部はセンサ情報とランドマーク情報から現在の AUV 状態を推定する。水平位置と方位をパーティクルフィルタにより確率的に推定している。地図作成部は、プロファイラーを用いて新たなランドマークを探索し、発見時の AUV 状態を基にランドマーク地図を更新する。通常は 360 度の周回スキャンを行うが、新たなランドマーク候補が見つかったとその周辺を集中的にスキャンして位置精度を上げ、反応点群の重心をランドマークとして登録する。このことでランドマークの位置精度向上が期待できるほか、水中浮遊物や生物などによる誤探知を抑制する。

第4章では、SLAM によって任意の位置・時間に発見されるランドマークに対処するための経路計画器について論じている。経路計画には短期計画と長期計画がある。短期計画は決められたウェイポイントを辿ることを基本とするが、発見されたランドマークの種類を識別し、人工反射材であれば衝突回避を行う。また、噴気であれば衝突しても問題ないため無視する。これを実現するために、三種類の制御モード(航行、観測、回避)をランドマークの位置・種類に応じて切り替える。長期計画はウェイポイントそのものを更新する。ウェイポイントには探索用、観測用という二種類があり、どちらも事前に設定して AUV に与えておく。

第5章では、経路計画の特殊な場合である地形追従について論じている。画像観測を行うには海底面に対して 1~2m 程度の至近距離を保つ必要がある。しかし高度計による単純な一定高度制御では海底面の起伏や生物群集等の突起物に対応できないため、複数の障害物センサにより AUV 周辺の局所的な危険領域マップを作成し、これを基に鉛直方向の制御方式を切り替える手法を提案している。障害物探知部は複数の障害物センサを用いてハザードマップを作成する。地形追従部はハザードマップを元に鉛直方向の制御目標値を出力する。制御方法には海底面からの高度を基準とする高度モードと海表面からの深度を基準とする深度モードの二種類を用意する。

第6章では、提案している全てのシステムを Tri-Dog 1 に実装し、鹿児島湾たぎり噴気帯においておこなわれた実海域実験について論じている。実験場所は活発な噴気が存在するため従来の音響測位が困難であり、また海底面には斜面やハオリム群集による起伏が存在する。実海域実験において、Tri-Dog 1 は全 12 回の安定した全自動観測に成功、各潜航ごとに作成された画像マップの誤差が 0.6 m 程度であることが確認された。この誤差は提案手法全体の測位誤差を意味し、本実験により観測手法の有効性が検証された。

第7章では、提案するシステムについて考察をおこない、提案するシステムの限界、それを越えるための考察をおこない、本システムの有用性を第8章で結論づけている。

このように、本論文は、海底面の全自動観測手法として AUV による新たな観測手法を提案し、提案手法の有効性を実際の AUV を用いた実海域実験によって検証がなされ、自律型海中ロボットの新しい測位方式を提案するだけでなく、海底観測の新たなやり方をも導き出していて、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。

