

氏名	MYO MYINT		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	工学		
学位授与番号	博甲第	5731	号
学位授与の日付	平成30年 3月23日		
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Proposal of Stereo-vision Based Docking System for Battery Recharging in Real Sea (実海域での充電を目的とした複眼ビジョンドッキングシステムの提案)		
論文審査委員	教授 見浪 護	教授 渡邊 桂吾	教授 平田健太郎
	准教授 松野 隆幸		

学位論文内容の要旨

A recharging unit with an underwater docking function can enable the extended operation of AUVs in the sea independent of a surface vehicle to which they must return for recharging. Many studies have been conducted on underwater docking. However, a number of challenging issues hinder these applications, which require high accuracy and robustness against disturbances that occur in actual undersea environments. To overcome these problems in underwater vehicles, we have developed a vision-based docking system using stereo vision.

This thesis made some contributions to deal with the docking approach for AUVs. A “3D-Move on Sensing” (3D-MoS) system using stereo vision for real-time pose tracking was developed and presented in the first part of this thesis. Most of other approaches for object recognition are based on 2D-to-3D reconstruction that can address some issues such as expensive computation. In contrast, real-time 3D pose estimation by 3D-to-2D projection using known information of a target 3D marker is proposed, avoiding the effects of incorrect pair points, whose problem arises in 2D-to-3D reconstruction process used as usual image recognition processes. This work presented “Real-time Multi-Step Genetic Algorithm” (RM-GA) for real-time estimation of the robot’s relative pose. Regulation performances against physical disturbances and occlusion were verified by conducting visual servoing using an ROV in the pool. The experimental results are given to illustrate the effectiveness of the proposed system.

A novel docking approach utilizing proposed RM-GA and designed docking strategy is presented in the second part of this thesis. The final stage of docking at a unidirectional docking station requires the AUV to approach while keeping the pose (position and orientation) of the vehicle within an allowable range. Up to now, there is no study for docking using two cameras with centimeter level accuracy. To prove the functionality and possibility of proposed docking approach, dual-eyes-based docking system using a passive 3D marker was implemented and verified experimentally by conducting docking experiments in the pool and real sea. The results proved that the proposed system is effective and feasible for underwater battery recharging. However, when AUVs must operate in unstructured environments such as near the seafloor, the most challenging and unavoidable problem with the autonomous operation of AUVs is turbidity limiting optical visibility. For this reason, the verification of the turbidity tolerance of stereo-vision-based 3D pose estimation system for underwater docking applications is presented in the third part of this thesis. This thesis discusses how and why the RM-GA is well suited to effective 3D pose estimation, even when turbid conditions disturb visual servoing. To demonstrate the practical usefulness of the RM-GA and verify the performance and tolerance of the proposed system under turbid conditions, docking experiments were conducted in a turbid pool and a real turbid sea environment. The experimental results verify the robustness of the system against turbidity, presenting a possible solution to a major problem for the AUVs.

論文審査結果の要旨

自律型水中ロボットの海底での自動充電を目的にした自動ドッキング技術の開発が期待されている。自動充電の実現は海底資源(レアメタル, メタンハイドレードなど)のロボットによる自動回収に不可欠な技術であるが, 海底泥の巻き上げによる混濁環境でのドッキングが難しいなどの技術的課題が残されている状況である。

単眼を用いたビジュアルサーボは, ドッキングのためのフィードバックを構成する技術として研究が続けられてきたが, 計測精度が悪く水中ロボットの実用的なドッキング技術として確立されていない。これに対し複眼構成のビジュアルサーボは, カメラ間の画像の差(視差)を対象物の相対的位置姿勢計測に用いることができるためカメラ視線方向の位置認識精度が良くなる半面, 左右カメラに撮像される対象物上の点が空間内の立体対象物上の同一の点であることの確認が難しく, 対応点毎に復元された3次元情報には誤差が含まれるという欠点があった。

この問題に対し本研究では, 通常3次元画像認識で用いられている2次元カメラ画像情報から3次元情報を復元する方法ではなく, 3次元物体上に定義された点群を2次元カメラ撮像面に射影して対象物物体の位置・姿勢を推定する方法を用いた。またフィードバック系を構成するため, ビデオレート(30画面/秒)で入力される動画像列の中で3次元マーカーの位置・姿勢を計測する動画像認識方法を提案した。さらに提案手法の有効性を確認するためROV(Remotely Operated Vehicle)の複眼ビジュアルサーボ位置・姿勢制御系を構築し, 以下の3点について確認を行った。(1)プール環境でのドッキングが可能であること, (2)棒で押すなどの外乱に対して振動を抑制してドッキングできること, (3)冗長な3次元マーカーを用いることでマーカーの一部が見えない状況でもドッキングが可能なこと。なお提案手法を用い, 岡山大学理学部附属牛窓臨海実験所の実海域でドッキング実験にも成功した。

以上, 本研究は新しいROVの制御方法を提案し実用上の有効性も示しており学術的意義は高く, 博士(工学)の学位に値するものと認められる。