

水中ロボットのための完全自律式回転型充電システムの構築

Construction Fully Independent Rotary Charging System for Underwater Vehicle

○門田 拓也 (岡山大) 山下 耕平 (岡山大)
 神田 佳希 (岡山大) 中村 翔 (岡山大)
 山田 大喜 (岡山大) 岡田 優也 (岡山大)
 正 松野 隆幸 (岡山大) 正 戸田 雄一郎
 正 見浪 護 (岡山大)

Takuya Monden, Okayama University, pg7d1nk1@s.okayama-u.ac.jp
 Kouhei YAMASHITA, Okayama University
 Yoshiki KANDA, Okayama University
 Sho NAKAMURA, Okayama University
 Daiki Yamada, Okayama University
 Yuuya Okada, University
 Takayuki MATSUNO, Okayama University
 Yuuichirou Toda, Okayama University
 Mamoru MINAMI, Okayama University

Nowadays, underwater vehicles have been studied and developed for seabed search. It is necessary for the underwater vehicle to search for a long time in deep sea in order to explore efficiently. We have developed a dual-eye-based docking method for underwater battery recharging to enable the Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) that can operate for extended period of time. In addition, the 3D pose estimation for real time docking performance was improved by using active/lighting 3D marker against turbidity under dark environment. In real sea, we have studied that the robot could not perform docking continuously due to the influence of changing the ocean current direction occasionally. As a solution, we have proposed and constructed the rotary docking station which can control the docking direction along with ocean current direction. In this paper, we verify the functionality of the rotary station and the results of docking experiment using it.

Key Words: ROV, Rotary Docking Station, Ocean Current

1 緒言

近年、海底探査等の目的のために様々な水中ロボットの研究・開発がされている。水中ロボットは水中生物の生態調査やメタンハイドレート等の海底資源の発掘など様々な用途で利用される可能性を秘めている。水中ロボットがこれらの作業を効率よく行うためには、水中での長時間航行が必要不可欠である。そのため水中ロボットが自動で探索・帰還・充電を行えるようなシステムの構築を研究している。

我々の研究の目的は、水中ロボットに取り付けた複眼カメラから得られる情報を元に給電設備に付属している 3D マーカーを認識し、自動で嵌合を行い充電するロボットシステムの構築である。現在、実海域での給電設備への充電を想定した連続嵌合実験を行い、成功を収めている。連続して嵌合を行えるということは嵌合動作の確実性を示すとともに、時々刻々と変化する環境にも対応していることを示唆している。

しかし、環境の変化により嵌合が困難である場合が存在する。その 1 つが、海流方向の変化である。海流の影響は ROV (Remotely Operated Vehicle) の連続嵌合に少なからず影響を与えており、現在は海流の向きに沿う方向でなければ嵌合条件を満たすことができず、嵌合することができなくなってしまうことが確認されている。そこで、本研究では、この課題を解決するために、海流の方向により自動的に嵌合方向が変化する回転型のステーションを構築し、その有用性を検証する。(以後回転型ステーションと呼称する)

2 自動嵌合システム

2.1 ROV (Remotely Operated Vehicle)

本実験では QI 製 ROV (DELTA-150) を用いている。図 1 に DELTA-150 を示す。座標系は図 1 に示す通りに定義している。

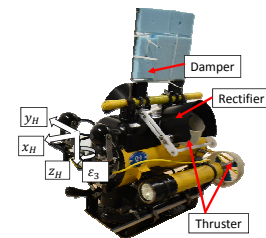


Fig.1 Overview of DELTA-150

スラストは前後方向および z_H 軸回転用に 2 つ、上下・左右用に 2 つ搭載されている。上下・左右用のスラストには整流板が付けられており、この角度を調整することで、上下・左右への推力バランスを決定する。また、 y 軸方向に移動するときに発生する x 軸回転をなくすためにダンパが付けられている。ロボットは質量 20[kg] で、横幅 450[mm]、奥行き 600[mm]、高さ 395[mm] であり最大水深 50[m] に対応している。

2.2 3 次元位置・姿勢表現

本実験では、ROV の認識対象として図 ?? に示す発光 3D マーカーを使用している。ROV 前方に取り付けられた複眼カメラにより得た画像情報をもとに認識対象である 3D マーカーの 3 次元位置・姿勢認識を行う。提案する手法としては、Real-Time Multi-step Genetic Algorithm (RM-GA) 法と Model based Matching 法を組み合わせることで 3D マーカーとの相対的位置・姿勢の認識を行う。一般的な GA では、GA の収束を一定時間待つ必要が

あり、対象物の認識を完了した時点では周囲の環境が変化してしまっている可能性がある。そこで本研究では RM-GA 法を採用している。これはビデオレート (33 [ms]) で次の画像が入力されるまでの間だけ GA の進化を進め、その時点で適合度の最も高い個体をその時刻における位置姿勢として出力する実時間遺伝的認識法である。この手法により短時間で効率よく最大値探索処理を行うことができる。また、この時評価に使用する適合度とは、Model based Matching 法により定義されるモデルと対象物間の色相、彩度、明度、輝度差の整合性に元づく適合度関数より得られた値である。以上により、3D マーカーの位置・姿勢に関して、実時間での認識が可能となっている。

3 完全自立式回転型システム

3.1 嵌合動作における課題

現在は図 ?? に示す模擬充電設備 (ステーション) に設置している嵌合穴に ROV に取り付けた嵌合棒が入ることにより、ROV の充電が可能になると考えている。実験を行っている牛窓臨海実験場では潮汐の影響により海流の方向が時々刻々と変化する。そのため、従来の模擬充電設備では、設置初期時刻では、嵌合方向が海流方向と一致していても、1 時間後には ROV に対して外乱となるような海流方向に変化してしまうといった課題が存在する。そこで、常に嵌合方向を海流の方向に向けることができれば、時間経過による海流方向の変化に対応することができると考え、エンコーダ、モータ、製作したフィンを用いて、新たに回転型ステーションの構築を行った。

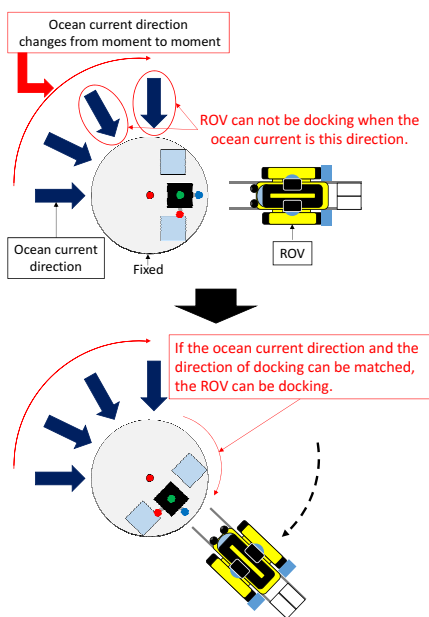


Fig.2 Idea of Rotary Docking Station

3.2 回転型ステーション

アルミフレームをベースとした枠組みとなっており、ベアリングは腐食に強いものを使用している。図 3、表 1 に使用したギアボックスとその仕様について示す。ギアボックスは 50:1 のウォームギアを採用し、モータの回転数よりも少ない回転数で嵌合穴と 3D マーカーを稼働させる構造となっている。

回転型ステーションの全長は 3700 [mm]、嵌合穴取り付けプレートは海底から約 400 [mm]~700 [mm] の位置で調整することができる仕様となっている。また、嵌合部分のスリット (支柱の途切れている部分) の長さは約 1400 [mm] になっている。さらに、実験の様子を観察するために、3 台の水中用カメラを使用している。嵌合穴後方カメラは嵌合が成功しているかどうかを確認するために用いる。斜め上方向カメラは回転型ステーションの回転に ROV が正しく追従できているか確認するために用いる。真上のカメラは海流センサーが正しく海流方向に向いているか確

Table 1 Specifications Decelerator

Shaft1 diameter [mm]	6
Shaft2 diameter [mm]	10
Dimension [mm]	75(W) × 60(L) × 70(H)
Ratio	50
Body material	Aluminum
Shaft material	S45C



Fig.3 Gear Box

かめるために用いる。図 4 に駆動部分を示す。エンコーダより計測された回転角度量に対して、フィードバック制御でモータの回転角度量を制御する形となっている。海流はエンコーダの心棒をアルミパイプで延長した先に取り付けたフィンで受ける形となっている。

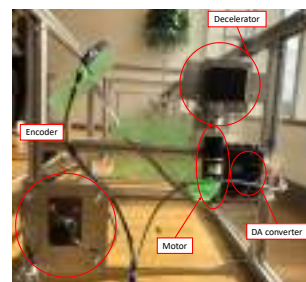


Fig.4 Power Section

4 嵌合実験

4.1 実験目的

実海域において、従来用いていた嵌合ステーションではなく、新たに構築した回転型ステーションを用いて ROV が嵌合可能か検証するため実験を行った。

ビデオレート (33[ms]) が 5 フレーム連続して嵌合条件に入っていれば、ROV は嵌合動作に入るものとする。そして、座標系に関する嵌合条件は、 y が $-30 \sim 30$ [mm]、 z が $-43 \sim 17$ [mm]、 z 周りの回転角度量が $-4.997 \sim 4.997$ [degree] である。

また、実験開始時時の臨海実験場の環境は濁度が 2.2 [FTU]、照度が 12000 [Lux]、水深が 2.0 [m] であった。

4.2 実験結果・考察

この実験では、回転型ステーションを用いた連続嵌合実験は 37 回成功した。その一部の実験結果を図 5 に示す。

一度嵌合を終えてから海流方向が変化してしまい、ROV が嵌合を行うことができない位置・姿勢が存在することが確認できた。 x の認識値より 2320 [s] 頃から ROV が嵌合条件に入ったため x の認識値に変化がおきている。嵌合条件に入る直前と直後の約 10 [s] 間の ROV の z 軸周りの平均値をとると直前が 5.935 [degree] で、直後が 4.647 [degree] であった。その平均値の値から姿勢の修正が始まっていることが確認できる。そして、2360 [s] 付近で x の認識値が 350 [mm] に達しているため嵌合が完了している。

実験の最中、海流方向の突然の変化により ROV の認識が外れてしまうこと、ROV に接続されているケーブルの張力により

ROV が嵌合を行えないことが確認できた。また実験結果の (d) のグラフより、認識値に偏りが生じていることが読み取れる。この認識結果の偏りは、ケーブルの張力が ROV の嵌合に影響を与えていると考えられる。

謝辞

本研究の遂行及び論文の作成にあたり、熱心なご指導を頂いた見浪護教授、松野隆幸准教授、戸田雄一郎助教授に心から御礼申し上げます。また、プログラム作成、実験遂行、論文作成に様々なご協力を頂いた、山下耕平先輩、神田佳希先輩、並びにと共に学業に謹んだ研究室の皆様に感謝の意を表します。

References

- [1] Myint, M., Yonemori, K., Yanou, A., Ishiyama, S., Minami, M., "Robustness of visual-servo against air bubble disturbance of underwater vehicle system using three-dimensional marker and dual-eye cameras", In OCEANS 2015-MTS/IEEE, Washington DC, USA (2015), pp. 1-8.
- [2] Myint, M., Yonemori, K., Yanou, A., Lwin, K N., Minami, M., Ishiyama, S., "Visual-based deep sea docking simulation of underwater vehicle using dual-eyes cameras with lighting adaptation", Proceedings of OCEAN 2016-Shanghai, (2016), pp. 1-8.
- [3] Xiang Li, Yuya Nishida, Myo Myint, Kenta Yonemori, Naoki Mukada, Khin Nwe Lwin, Matsuno Takayuki, Mamoru Minami, "Dual-eyes Vision-based Docking Experiment of AUV for Sea Bottom Battery Recharging," MTS / IEEE OCEANS '17, Aberdeen Scotland, June 19-22, 2017.
- [4] 大西祥太, 須浪唯介, 西村健太, 矢納陽, 石山新太郎, 見浪護 (岡山大), 藤本勝樹 (広和 (株)). "MOS 制御知能を搭載した遠隔操作型水中ロボット (ROV) の自律制御化 (AUV) 技術", 第 57 回自動制御連合講演会, 1B08-2, 2014.
- [5] W. Song, M. Minami, S. Aoyagi, "On-line Stable Evolutionary Recognition Based on Unit Quaternion Representation by Motion-Feedforward Compensation", International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences and Image Processing (IC-MED) Vol. 2, No. 2, pp 127-139, 2007.

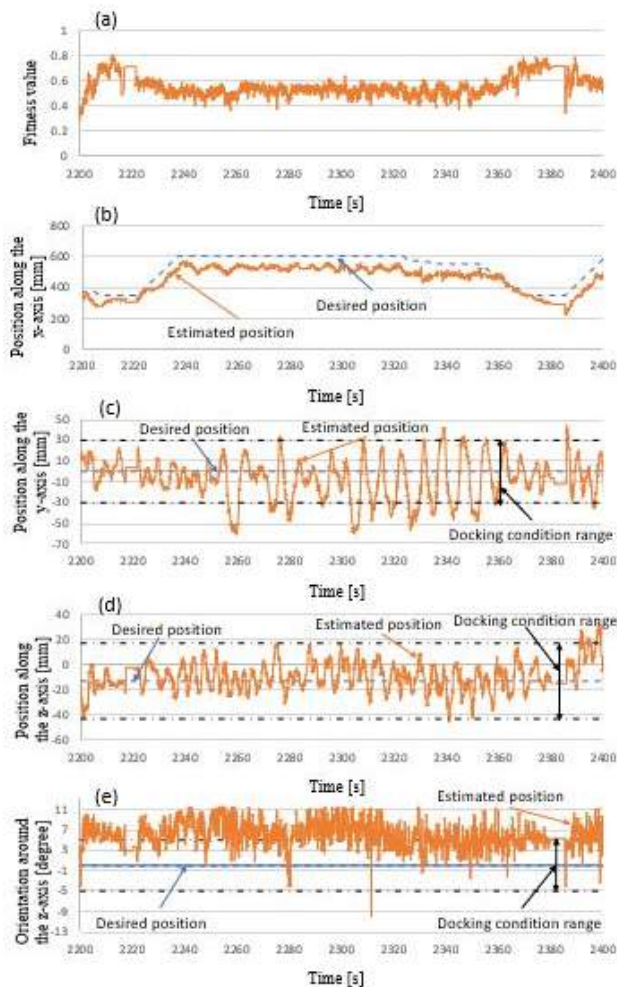


Fig.5 Docking Result Against The Rotary Station: (a) Fitness value, (b) Position along The X-axis, (c) Position along The Y-axis, (d) Position along The Z-axis, (e) Orientation around The Z-axis

5 結言

本論文では、海流の影響により ROV の認識値に定常偏差が存在する状況下での解決策として回転型ステーションを提案した。回転型ステーションを機能させた状態で、ROV は嵌合動作を行えることが確認できた。しかし、ROV 付属のケーブルによる稼働範囲の制限や張力の影響により嵌合動作が完了しないことも確認できた。今後は、水中ロボットの Autonomos Underwater Vehicle(AUV) 化を視野に入れ、回転型ステーションの機能性の確立を目指していく。