瀬戸内海牛窓濁度環境下での連続嵌合実験

○山田大喜(岡山大学) 向田直樹(岡山大学) Myo Myint(岡山大学) 松野隆幸(岡山大学) 見浪護(岡山大学) 齊藤和裕(岡山大学) 坂本竜哉(岡山大学) 牛堂和一郎(岡山大学)

1. 緒言

今日,海底探索等様々な水中作業のために多くのロ ボットが研究・開発されている.さらに自律型水中ロ ボットの研究は今なお発展途上の段階にあるとともに, 今後重要であることが言える[1].海底探索の目的はメ タンハイドレードなどの海底資源の発見である.海底 資源は海底火山など地形の特異点に存在しているため ロボットを用いて海底の地形をマッピングし埋蔵地の 特定を行なっている.マッピングを効率的に行なうた めにはロボットが水中で長時間活動できることが必要 不可欠である.

現在,水中ロボットの電力供給方法には有線での供給とバッテリー方式が存在するがそれぞれ問題点が存在する。有線の場合ケーブルが波などで消耗しやすく,また深海に潜るためケーブル自体がかなりの長さになり取り回しに苦労する.一方バッテリーの場合,海中での活動時間が制限され,充電のため船舶と海底を往復しなければならない.さらに,作業場所と母船の往復により作業効率が大幅に減少することも十分に有り得る.

これらの問題を解決し水中での活動時間を延ばすた めに、水中に給電設備を設置しバッテリー容量が少な くなるとロボットが自動で帰還・充電するといったシ ステムの研究が行なわれている.これを実現するため には離れた作業場所から給電設備へ自動で帰還するシ ステム、さらに水中の給電設備への嵌合が要求される. 石井ら(九州工業大学)[2]は超音波および単眼カメラ による、水中給電へ向けたドッキング制御を±100mm の距離誤差で実現している.本研究の目的はロボット に搭載された複眼カメラによって給電設備を認識し自 動で嵌合を行なうロボットシステムの構築である.本 報では、赤・青・緑の三原色球(直径 40mm)から構 成される物体に対してビジュアルサーボをおこなうこ とで、水中給電を仮定した嵌合実験を行なった.

我々は一昨年に実海域での嵌合実験を行ない,海で の嵌合が可能であることを示した.[3] その際の実験は, 水の流れが弱く比較的透明度の高い海で行なったため, 対象物認識において支障が出ることはなかった.しか し今回は比較的濁度が高く対象物認識が困難な場合が あり,さらに波や海流などの力学的な外乱の影響を大 きく受ける環境で実験を行なった.その目的としては, より幅広い環境に対応できることを示すためである.ま た,連続して嵌合を行なうことによって嵌合動作の確 実性も示すとともに,時々刻々と変化する環境におい ても嵌合可能であることを実証するためである.

2. 実験環境

2.1 実施日時·場所

本実験は2017年6月14日,岡山県瀬戸内市牛窓町 にある岡山大学理学部付属牛窓臨海実験場(図1)に て行なった.



図1 実験環境

2.2 自然条件

この日の牛窓の気温は25°C, 天候は晴れで南〜東側から風速 1m/s ほどの風が吹いていた.また実験場の 水深は11時35分時点で2.1mで,波は穏やかであった が,海底の泥やプランクトンなどによる海水の濁りが あった.当日の潮汐表を図2に示す.

今回の実験は日中かつ潮位がある程度高い,午後2 時頃に行なった.

2.3 嵌合ステーション

嵌合実験を行なうにあたって、トラス構造の嵌合ス テーションを作成した.図3にその外観を示す.全体 としては高さ3m程度で海底に構造物の4本の足を突 き刺すような形で設置し、海底から1mほどの高さに は嵌合穴および認識対象物、記録用カメラ3台を固定 してある.認識対象物と嵌合穴の位置関係は図4に示 すとおりである.図4は濁度の指標であるFTU値が 7.7 ($x \simeq 500$ mm)のときの左カメラ画像である.

3. 連続嵌合実験

3.1 嵌合条件

図 5 に ROV が嵌合を行なう条件について示す. ロ ボット前方に搭載された複眼カメラに対象物が映し出



図2 6月14日牛窓の潮汐表



図3 実験中の嵌合ステーション



図 4 3D マーカーと嵌合穴の位置関係 (7.7FTU)

されるまで、ロボットを手動操作で対象物に接近させる.ロボットを対象物にある程度接近させ、適合度の 値が0.2以上に上昇したことが確認された後、手動操作 から自動制御へ切り替えることで (b)Visual Servoing 状態へ移行させる.



図5 嵌合フローチャート

(b) Visual Servoing

ROV が 3D マーカーを発見し,目標とする相対 的位置・姿勢 $[x_d, y_d, z_d] = [600, 15, -15]$ mm. 姿 勢はクォータニオンで表現し, $\varepsilon_d = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3] = [0, 0, 0]$ に追従することで対象物と正対する状態であ る.ここで、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ は x_H, y_H 軸周りの姿勢であ るが、重心と浮心の関係により安定に0に保たれ ている. $y_d = 15$ mm, $z_d = -15$ mm と設定した理 由は、3D マーカーと嵌合穴との位置、および Σ_H 原点と嵌合棒との位置関係のオフセットを調整す るためであり、ROV が 3D マーカーの正面に移動 し、嵌合穴の中心から y_H 軸、 z_H 軸方向の誤差が ±40mm、 ε_3 の誤差が ±0.0615 以下に留まる状態 が 165ms 連続すると以下に示す (c)Docking を経 てロボットは仮想給電設備への嵌合を実行する.

(c) Docking

ROV が前進して嵌合動作を行なっている状態で ある. $|y_d - y| \le 40 \text{ mm} かつ |z_d - z| \le 40 \text{ mm} を$ $満たすとき, 奥行き方向の目標値を <math>x_d = 600 - 30t$ mm (t: 嵌合を始めたときをt = 0 [s] とする) と 時変で減少させることで ROV が 30mm/s の速度 で x 軸方向に前進し嵌合穴に嵌合する. x_d が最 終値 350mm となることで嵌合を完了する位置に ROV が移動する. ただし途中で嵌合の条件 (y 軸, z 軸方向の誤差が ±40mm 以下)を満たさなくなっ た場合, その時点での x 軸方向の時変目標値を固 定して再び (b)Visual Servoing に戻る. Fig.5 に 嵌合における (a)~(d) の遷移フローチャートを示 す. 図中 "P" で表す経路が (c)Docking を中断し て (b)Visual Servoing に戻る経路である.

(d) Docking Completion

嵌合が完了した状態である.この状態でも Visual Servoing 状態と同様に 3D マーカーに対して一定の 相対的位置・姿勢($[x_d, y_d, z_d]$ =[350, 15, -15]mm, ε_d =[0, 0, 0])を保つように制御がなされる.



図 6 ROV の認識値(適合度・位置・姿勢)および x 方向の目標値(A)x 方向目標値, (B) 適合度, (C)x 方向認識値, (D)y 方向認識値, (E)z 方向認識値, (F)z 軸回転認識値(ε₃)

3.2 結果·考察

実験結果を図 3.1 に示す. 図中破線は目標値(適合 度の場合は動作のしきい値), 点線は嵌合条件の範囲 を示している.図 3.1(A)の x 方向の目標値が 19回, 600mm から 350mm に減少している.またそれに伴い, 図 3.1(C) の x 方向の認識値が減少している谷の部分が, 矢印で示しているように19個あるのが見て取れる.こ の際, y_d , z_d , ε_3 について嵌合条件 (165msの間,目標 値 y_d , z_d について ±40mm, ε_3 について ±0.0615) を満 たしており、19回連続の嵌合を行なうことができたと いうことがわかる.ここで ϵ_3 はクォータニオンの値で あるため単位を持たない.おおよその目安として、[ε1, $\varepsilon_{2} = [0, 0]$ とした場合, 度数法で約 ±7° 程度である. 400ms 前後において急に適合度が下がり, x, y, z, ε_3 の 認識値がともに安定していないことがわかる.これは ROV が波の影響を受けたことにより、対象物を見失っ ている状態である.このような水の流れに対するロバ スト性の向上が今後の課題の一つとして挙げられる.

4. 結言

濁度環境下での連続嵌合実験について報告を行なった. 今回は巻きあがった海底の泥やプランクトンなどによって濁った水(濁度:7.7FTU)において連続嵌合可能であることが実証された.

海での嵌合は高濁度環境下における対象物の認識や 水の流れに対するロボットの位置姿勢保持などといっ た課題があり、これらの点によりプールでの嵌合に比 べて非常に困難である.

これらの課題を一つずつクリアしていき,最終的に 昼夜を通した実海域での24時間連続嵌合を目指す.

謝辞

本研究では広和株式会社マリンシステム部の協力を 得ました.ここに謝意を表します.また本研究は,JSPS 科研費 JP16K06183 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] 吉田弘,百留忠洋,石橋正二郎,越智寛,志村拓也:水中ロボットにおけるテレロボティクス,日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6 (2012), pp.578-581.
- [2] 石井和男,園田隆,中西亮汰,河島晋,日高翔太:自立型水中ロボットのドッキング制御に関する研究,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015.
- [3] 米森 健太, Myo Myint, Khin Nwe Lwin, 向田直樹, 菊池章, 見浪護, 石山新太郎, 松野隆幸, 矢納 陽:ビ ジュアルサーボを搭載した水中ロボットの実海域嵌合制 御, 日本機械学会論文集 2016.
- [4] "日本沿岸 736 海の潮汐表", http://tide736.net/day/ ?y=2017&m=6&d=14&pc=33&hc=3
- [5] "tenki.jp", http://www.tenki.jp/past/2017/06/14/ amedas/7/36/66421.html
- [6] Xiang Li, Yuya Nishida, Myo Myint, Kenta Yonemori, Naoki Mukada, Khin Nwe Lwin, Takayuki Matsuno and Mamoru Minami: "Dual-eyes Vision-based Docking Experiment of AUV for Sea Bottom Battery Recharging", Proceedings of the International Conference OCEANS17 MTS/IEEE, Aberdeen, Scotland, 2017.