

複眼カメラを搭載した DELTA-150 のビジュアルサーボ系構築

Development of Dual-eyes Visual Servoing Control System for DELTA-150

学	中村 翔 (岡山大)	学	山田 大喜 (岡山大)
学	神田 佳希 (岡山大)	学	山下 耕平 (岡山大)
非	向田 直樹 (岡山大)	正	松野 隆幸 (岡山大)
正	見浪 護 (岡山大)		

Shou NAKAMURA, Okayama University, pc7y9wqz@s.okayama-u.ac.jp
 Daiki YAMADA, Okayama University
 Yosiki KANDA, Okayama University
 Kouhei YAMASITA, Okayama University
 Naoki MUKADA, Okayama University
 Takayuki MATSUNO, Okayama University
 Mamoru MINAMI, Okayama University

Nowadays, a variety of robots has been studied and developed for undersea exploration. It is necessary for the robot to work long time in water in order to efficiently perform given tasks. We proposed a system to make the robot able to come back power supply unit and automatically charge battery under water. We confirmed ROV(Remotely Operated Vehicle) have conducted docking that assumes charging battery under water by the system, having shown it effective. As a next step, we tried docking that the system could apply for new ROV. Then, we constructed a new control system using Jacobian that shows relationship voltage and velocity. After we confirmed the system is effective, docking experiment in the sea have been conducted. In this report, the structure and result of experiments are reported in detail.

Key Words: Dual-eyes, Remotely Operated Vehicle, Visual Servoing

1 緒言

近年、海底探索等のために様々な水中ロボットの研究・開発が行われている。効率的にこれらの作業を行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。私たちはロボットの作業時間延長のため、ロボットに搭載したカメラによって給電設備を認識し自動で嵌合を行い充電するシステムを提案した。提案システムを用いて実海域において給電設備への充電を想定した嵌合制御が行えることを確認し、提案システムが有効であることを示した。次の段階として、そのシステムを別のロボットに適用し、運用可能か確認を行っている。提案システムを適用する新しい水中ロボット (DELTA-150) の制御系を構築した後、実海域での嵌合実験を行った。本論文では、DELTA-150 による実海域での嵌合実験について記述する。

2 ROV(Remotely Operated Vehicle)

本研究では QI 製 ROV(DELTA-150) に新しく提案システムを適用できるかを検証する。まず、DELTA-150 について説明する。Fig. 1 に DELTA-150 を示す。座標系は Fig. 1 に示すとおりに定義している。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により上下・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 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。なお、ロボットの大きさはそれぞれの長さの最大をロボットの長さとしている。

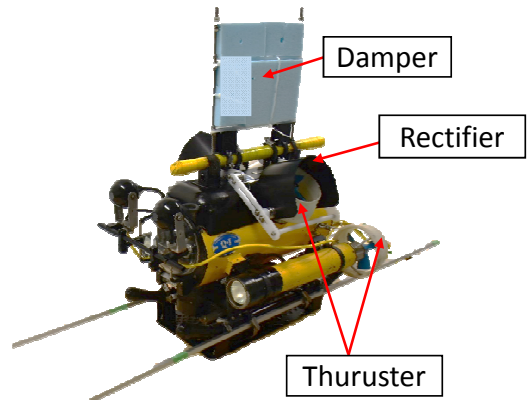


Fig.1 Overview of DELTA-150

3 3次元位置・姿勢認識

ロボット前方に搭載された 2 基の固定カメラから取得した画像情報をもとに対象物の 3 次元位置・姿勢認識を行う。提案する制御系のブロック図を Fig.2 に示す。提案するシステムでは、両眼カメラから取得した画像を PC に転送し、Real-Time Multi-Step GA と Model-based Matching 法 [1] を組み合わせて対象物との相対的位置・姿勢を認識している。本報告における Real-Time Multi-Step GA と 1-Step GA [2] は、まったく同様の手法である。一般的に、GA (遺伝的アルゴリズム) を用いた最適解探索では、

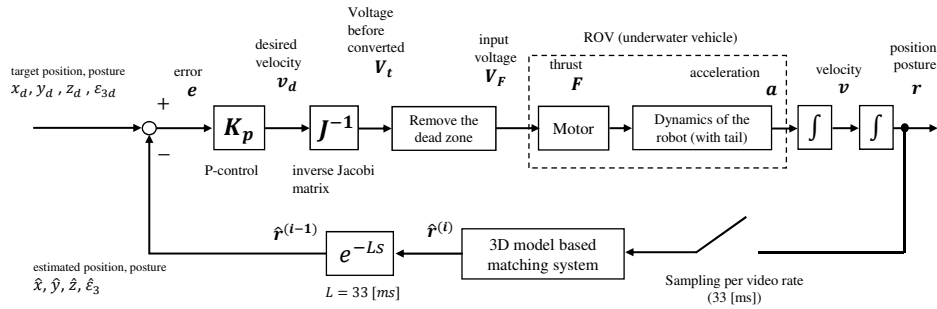


Fig.2 Block diagram for DELTA-150

GA が最適解を決定する際ある程度の時間を要するため、最適解が得られた時には周囲の環境が大きく変化している可能性が高い。そこで本研究では、Real-Time Multi-Step GA を採用した。Real-Time Multi-Step GA とは、入力された画像に対し、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 遺伝子の進化を進め、その時点で最大適合度を与える遺伝子情報を最新の対象物の位置・姿勢として出力する方法で、これにより実時間での認識を可能としている。また、このとき評価に使用する適合度とは、Model-based Matching 法で定義される対象物とモデルとの一致度合いを示す適合度関数から得られる値である。これにより、提案システムでは対象物の 3 次元位置・姿勢の実時間認識を可能としている。

4 ビジュアルサーボコントローラ

3 章の認識手法による認識結果から、水中ロボットに搭載した 4 つのチャンネルへ指令電圧を送ることで、水中ロボットと対象物間で以下の相対的目標位置・姿勢 (x_d [mm], y_d [mm], z_d [mm], ε_{3d}) を保つようにビジュアルサーボを行う。なお ε_{3d} はクォータニオン姿勢表現による値を用いており、単位を持たない。本報告における座標系は Fig.1 に示している。

また、 x [mm], y [mm], z [mm], ε_3 を GA で認識した、ロボットから見た対象物の位置・姿勢とおき、その相対的目標位置・姿勢に水中ロボットを移動させるため、以下の P 制御から計算される指令電圧 [V] を各チャンネルへ与える。式 (1) の逆ヤコビ行列は実際に DELTA-150 に電圧を加え動作させ、速度計測を行い、求めたものである。

$$\begin{bmatrix} V_{\varepsilon_3} \\ V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = J^{-1} K_P \begin{bmatrix} \varepsilon_{3d} - \varepsilon_3 \\ x_d - x \\ y_d - y \\ z_d - z \end{bmatrix} \quad (1)$$

x 軸および y 軸まわりの姿勢に関しては、ロボットの移動によらず微小であるため、制御の対象として扱わない。

5 実海域での嵌合実験

実海域で嵌合実験を行った。1月16日15時41分から19回連続嵌合に成功し、17時38分から10回連続嵌合成功した。15時41分からの19回連続嵌合を昼間の嵌合実験とし、17時38分から10回連続での嵌合実験を夜間の嵌合実験として結果を述べる。Table 1 に実験時の環境を示す。昼間も夜間も濁度が約 2[FTU:Formazin Turbidity Unit] であり、以前実海域で行ったときに比べ低かった。実海域での嵌合実験のフローチャートを Fig. 3 に示し、Fig. 4 に実験時の様子を示す。嵌合実験は Fig. 3 中の (a)Visual servoing, (b)Docking step, (c)Stay step, (d) Launching step を繰り返すことにより行われている。まず、嵌合実験のフローチャートについて説明する。DELTA-150 の前方

に搭載された複眼カメラに対象物が映し出されるまで、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 Visual servoing 状態へ移行させる。

(a) Visual servoing

ROV が対象物を発見し、目標とする相対的位置・姿勢に追従することで対象物と正対する状態である。ROV が対象物の正面に移動し、一定時間留まることで Docking step へ移行する。

(b) Docking step

ROV が前進して嵌合動作を行なっている状態である。認識値がある条件を満たすとき、奥行き方向の目標値を時変で減少させることで ROV が x 軸方向に前進し嵌合穴に嵌合する。 x_d が最終値 350 mm となることで嵌合を完了する位置に ROV が移動し、Stay step へ移行する。ただし途中で嵌合の条件 (y 軸, z 軸方向の誤差が ± 40 mm 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 Visual servoing に戻る。

(c) Stay step

嵌合が完了した状態である。嵌合棒を嵌合穴へ押し付け、ロボットを停滞させデータを保存する。その後、Launching step へ移行する。

(d) Launching step

嵌合が終了した後、連続嵌合を行うために対象物に対して、後退している状態である。その後、 $x_d=600$ [mm] になったところで Visual Servoing に移行する。

Fig. 5, Fig. 6 に昼間と夜間の嵌合実験のデータとそのときの DELTA-150 からの画像を示す。グラフはそれぞれ 4 回目に嵌合を行ったときの DELTA-150 の前進方向における認識値を示している。DELTA-150 からの画像に映っている赤、青、緑の 3 色の球体を搭載している物を対象物としてビジュアルサーボを行っている。グラフより Visual servoing 状態から Docking step へ移行後、Stay step へと条件を満たしながら、移行していることが確認できる。そのため、実海域で嵌合は行っていると判断した。

Table 1 Environment of experiment in day time and night time

	day	night
Turbidity[FTU]	1.92	2.2
Depth[m]	1.9	2.8
Illumination(surface)[lx]	25000	0
Illumination(in water)[lx]	7300	0

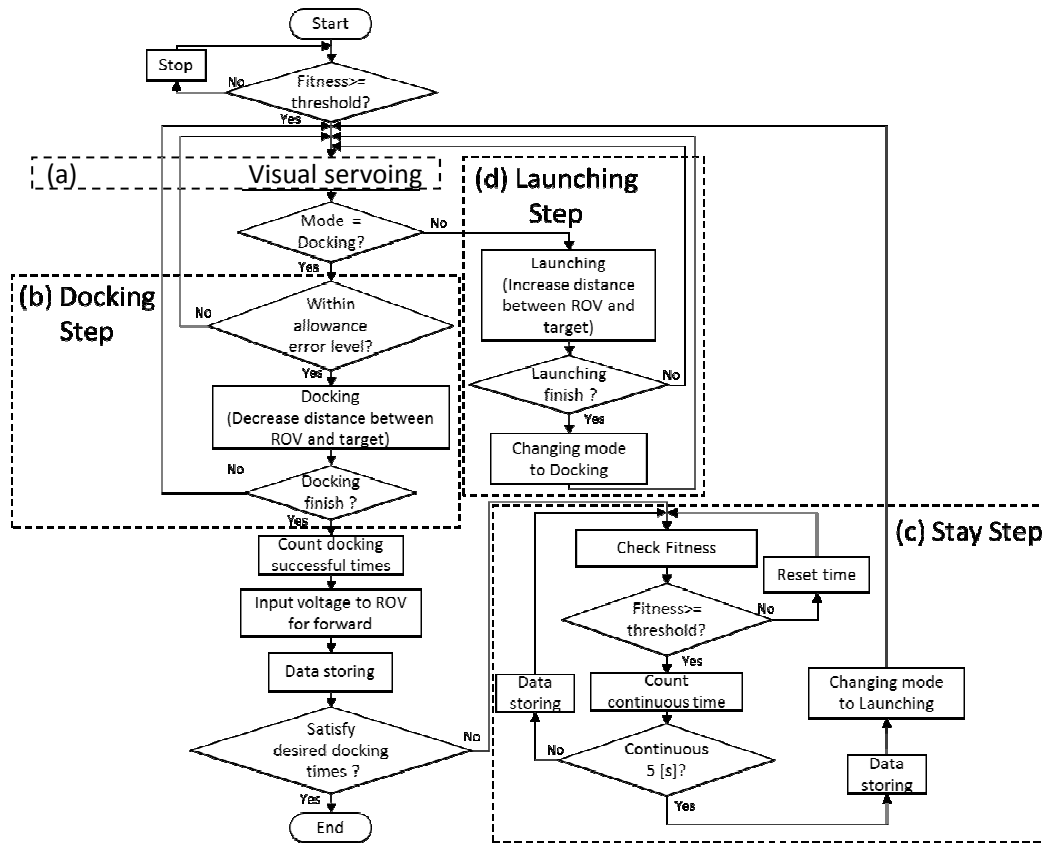


Fig.3 Flowchart of docking experiment

6 結言

本論文では、我々が提案したロボットに搭載した複眼カメラによって給電設備を認識し、自動で嵌合を行い充電するシステムを別のロボットである DELTA-150 に適用した。そして、DELTA-150 を用いて嵌合実験を行い、嵌合可能であることを確認した。今後、制御用コンピュータとバッテリーを搭載し、完全自立型の中水ロボット (AUV) の製作を行い、このシステムによる嵌合実験の成功を目指す。

謝辞

本研究では三井株式会社の協力を得ました。ここに謝意を表します。

References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 西村健太, 候森, 前田耕市, 見浪護, 矢納陽, ビジュアルサーボ中の実時間ポーズトラッキング性能の解析, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013.

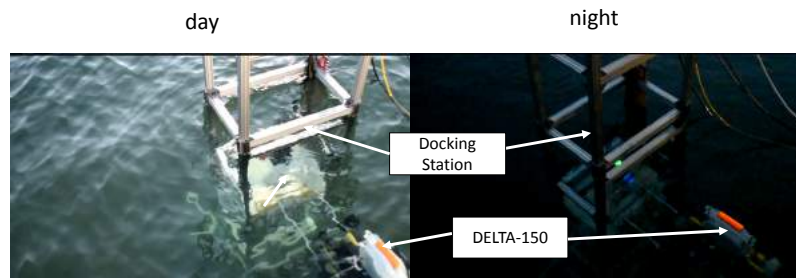


Fig.4 Appearance of docking experient in day time and night time

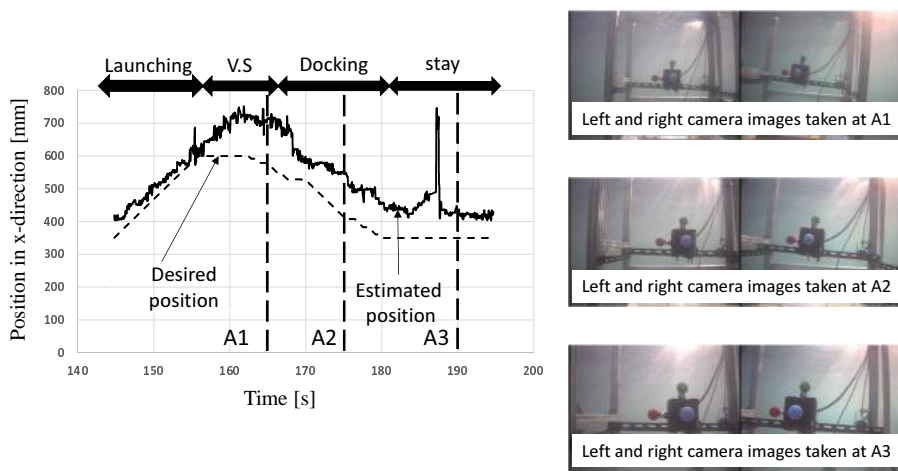


Fig.5 Recognized position in x direction for docking experiment in day time. picture is left and right camera images taken at the times labeled A1,A2,and A3 in the time profiles

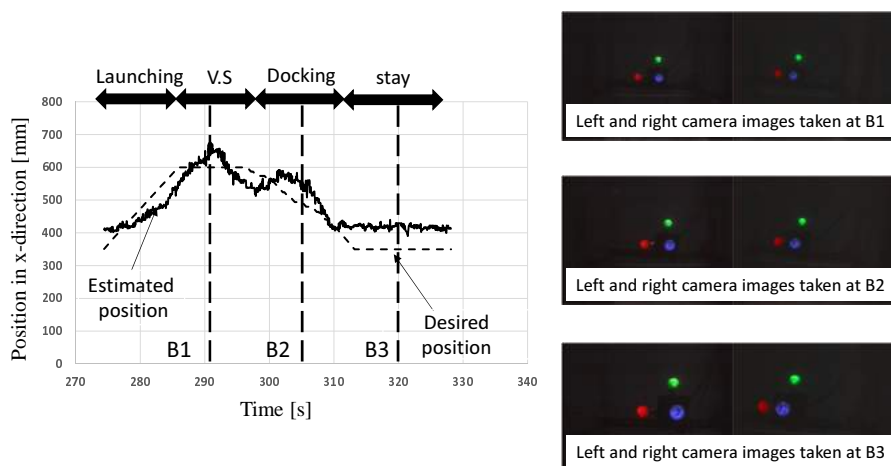


Fig.6 Recognized position in x direction for docking experiment in night time. picture is left and right camera images taken at the times labeled B1,B2,and B3 in the time profiles