

楕円体近似モデルを用いた複眼立体ビジュアルサーボによる対象物追従

Tracing an Object by Dual-eyes 3D Visual Servoing Using an Approximate Ellipsoidal Model

○山田 大喜 (岡山大) 向田 直樹 (岡山大)
米森 健太 (岡山大) 正 松野 隆幸 (岡山大)
正 見浪 護 (岡山大)

Daiki YAMADA, Okayama University, p7kw2h27@s.okayama-u.ac.jp
Naoki MUKADA, Okayama University
Kenta YONEMORI, Okayama University
Takayuki MATSUNO, Okayama University
Mamoru MINAMI, Okayama University

Nowadays, measuring of farming fish is essential in checking fish's growing rate in size. We have developed Automatically Fish Size Measuring System using Dual-eyes camera with the purpose of reducing time-consumed, labor and fish's damage in manual measurement. By applying Dual-eyes visual servoing system based on this system to an underwater vehicle, we aim to construct a system of capturing underwater lives such as fishes after recognizing and tracing it automatically. Dual-eyes visual servoing is a method of controlling robot's motion by utilizing 3D visual information of the environment as feedback signals, which is obtained by cameras. In this study, different models of fish were used in the experiments of tracking and capturing operations. Finally, the proposed system was verified to confirm the performance of tracking and capturing gold fishes alive in a pool.

Key Words: Dual-eyes 3D recognition, Genetic Algorithm, Visual Servoing

1 緒言

近年、海底探査等のために様々な水中ロボットが研究・開発されている。海底マッピング、水中生物の生態調査、地下資源の採掘など多様な可能性が望める。これらは水中での長時間航行が必要とされるが、水中ロボットを操縦者が長時間マニュアルで操作を行うのは多大な労力を要し、操縦者の操縦技術も重要視される。この課題を解決するため、ビジュアルサーボを用いて水中ロボットの AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 化を行い、海底での自律航行の実現を目的として研究を進めている。本報告では水中生物の調査および捕獲に向けた対象物追従実験を行なった。

世界の養殖生産量が漁業・養殖業に占める割合はおおよそ 4 割を誇り、アジアに限って言えばその割合は 5 割を超える。世界的に見ると、養殖業の生産量は増加傾向にあるものの、日本をはじめとする先進国では減少傾向にある。その主な理由としては、生産コストが比較的低いほかの生産国からの輸入が得られるためとみられる。また、日本においては漁業従事者の高齢化も深刻であり、漁業の生産量の減少が予想される。養殖業の発展に伴い魚体長の計測は、成長状態の把握や出荷時期の判断に欠かすことのできない作業になっている。しかし、現状はダイバーによる目視や養殖魚を陸に上げて実測する手段が主である。

そこで、計測時間の短縮及び労力の低減を目的として、我々の研究では複眼カメラを用いた魚体長自動計測システムの開発を行なっている。このシステムをベースにし、楕円体モデルを用いた複眼ビジュアルサーボシステムによって、水中ロボットの制御を行なう。楕円体モデルとは、魚をはじめとした水中生物の姿を楕円体として近似したモデルのことである。また複眼ビジュアルサーボとは、対象物との相対的な位置・姿勢の変化を 3 次元的な視覚情報として計測し、それをフィードバック情報として用いることでロボットの動作を制御する手法である。そしてこの制御システムを用いて、水中生物を自動的に認識し追従した後、捕獲するシステムの構築を目指す。モデルを用いることで、指定の大きさのもの以外は捕獲しないといった、選択的捕獲が可能である。これにより、稚魚や卵を持ったメスを捕獲対象から除外すること

ができ、結果として種の保存につなげることができる。また追従・捕獲システムが実現すれば、人的資源を必要とすることなく漁業の生産量増加に貢献できることが期待される。

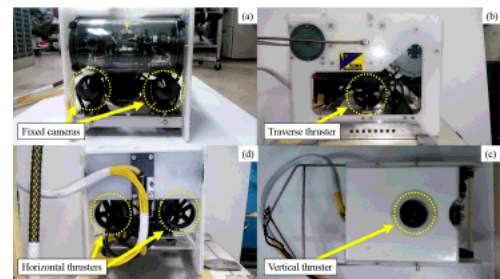


Fig.1 Overview of ROV (a)Front view (b)Side view (c)Top view (d)Back view

2 ROV (Remotely Operated Vehicle)

本実験では、広和株式会社マリンシステム部製水中 TV カメラロボット ROV (Remotely Operated Vehicle) を使用する (Fig.1)。本ロボットは両眼視覚センサーとして、遠隔操縦用チルト機構付きカメラ 1 台 (撮像素子 CCD, 画素数 38 万画素, 信号方式 NTSC, 最低被写体照度 1.5[lx], ズーム光学 10 倍) と、制御用として前方 2 台および下方 2 台 (撮像素子 CCD, 画素数 38 万画素, 信号方式 NTSC, 最低被写体照度 0.8[lx], ズームなし) を搭載しており、MOS 制御で対象物の立体認識を行うため、前方 2 台を同時使用した。

水中動力系では、水平スラスト 2 基 (最大推力 9.8[N]。以下同様)、垂直スラスト 1 基 (4.9[N])、横スラスト 1 基 (4.9[N]) を搭載している。また、照度確保のため LED ライト (5.8W) を 2 基搭載している。

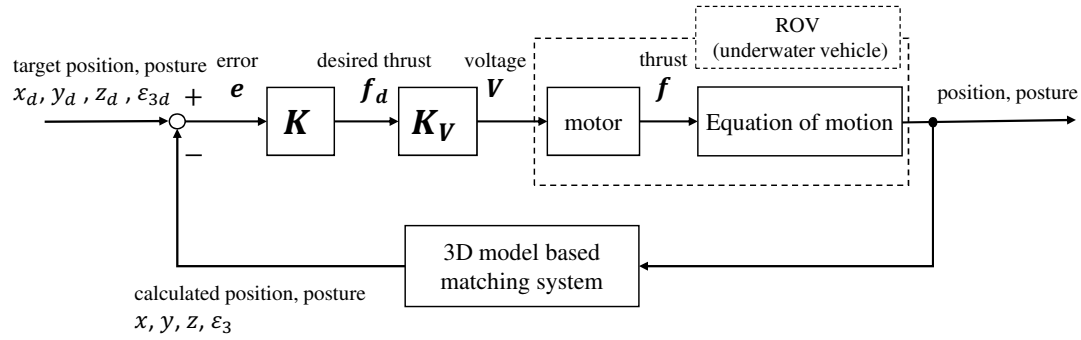


Fig.2 Control logic for the proposed system

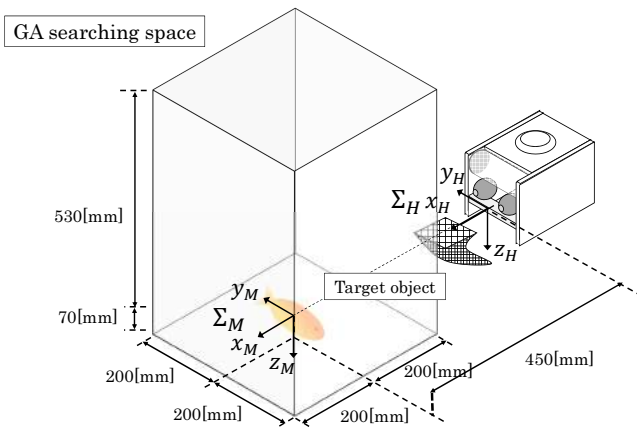


Fig.3 Underwater target and GA searching area

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、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。また、提案システムによる対象物の位置・姿勢の認識情報は、Fig.3 に示す GA 探索空間内で獲得される。さらに、本実験で使用する認識対象物は Fig.4 に示す金魚の模型である。

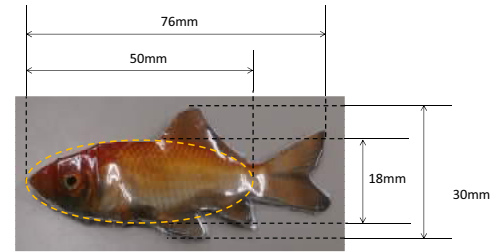


Fig.4 Target object

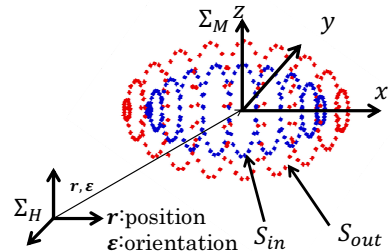


Fig.5 Approximate ellipsoidal model

4 楕円体近似モデル

対象物の形状を近似したモデルとして、楕円体モデルを定義する。Fig.5 のようにモデルは点群から構成され、楕円体表面上の点を S_{in} 、楕円体表面を包括するように存在する外部領域 S_{out} からなる。このモデルの各点において画像の RGB 値をもとに色相値を計算し、適合度の評価を行なう。モデルの大きさは対象物の実測値をもとに決定される。

5 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基のスラスターへ指令電圧値を送ることで、水中ロボットと対象物間と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

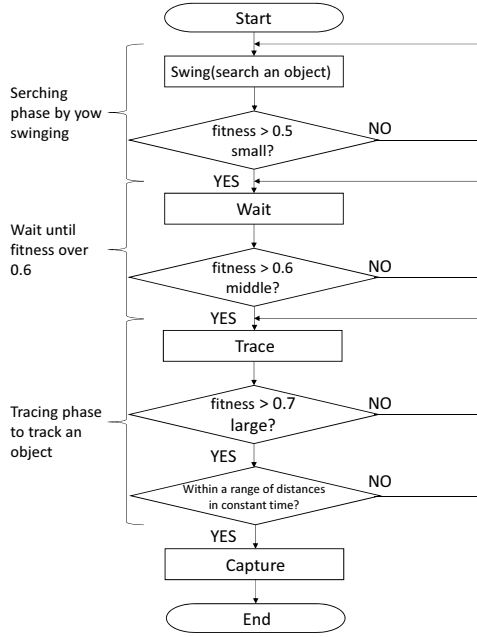


Fig.6 Flowchart about ROV's movement

における座標系は Fig.3 に示している。

$$\begin{cases} x_d = {}^H x_M = 280 \\ y_d = {}^H y_M = 0 \\ z_d = {}^H z_M = 0 \\ \varepsilon_{3d} = {}^H \varepsilon_{3M} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

また, $x[\text{mm}]$, $y[\text{mm}]$, $z[\text{mm}]$, 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レギュレートさせるため以下の P 制御から計算される指令電圧値 [V] を各スラスタへ与える。

$$\text{奥行き方向} : V_x = K_{px}(x_d - x) + 2.5 \quad (2)$$

$$\text{水平方向} : V_y = K_{py}(y_d - y) + 2.5 \quad (3)$$

$$\text{鉛直方向} : V_z = K_{pz}(z_d - z) + 2.5 \quad (4)$$

$$\text{鉛直軸回転} : V_{\varepsilon_3} = K_{p\varepsilon_3}(\varepsilon_{3d} - \varepsilon_3) + 2.5 \quad (5)$$

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。

6 ロボットの動作設定

水中生物の調査・捕獲に向けたシステムの構築にあたって, Fig.6 のような動作を設定した。ロボットは適合度に基づいた, z 軸周りの往復回転運動による対象物探索 (Swing), 待機 (Wait), 追従 (Trace), 捕獲 (Capture) の 4 段階の動作を行なう。各動作ステップにおいて適合度 (fitness) の閾 (しきい) 値を設けており, これらを Fig.6 の上から順に 0.5(Small), 0.6(Middle), 0.7(Large) とした。本報告の主となる動作はビジュアルサーボによる対象物追従 (Trace) である。Swing の動作は時刻を t とすると, 回転動作を担うスラスタに対して式 (6) の電圧 [V] を与えることによって実現される。

$$V_{\varepsilon_3} = 2.5 \sin \omega t + 2.5 \quad (6)$$

Wait は電圧出力を行なわないため厳密には動作とは言えないが, 適合度の細かな上下による頻繁な動作 (Swing, Trace) の遷移を防ぐ役割がある。Capture については将来の水中生物の捕獲に向けた仮の動作であり, 現在は目標値を変更することによるもの

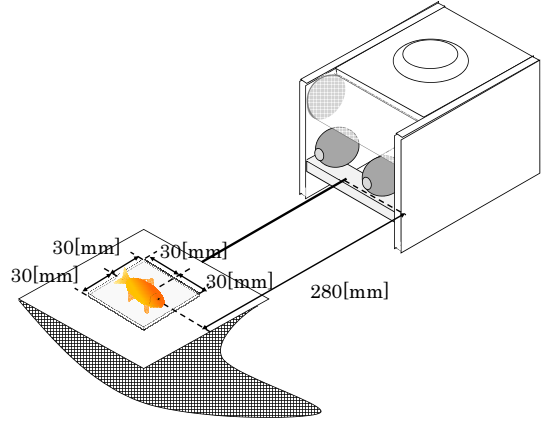


Fig.7 Condition in capturing

としている。Fig.7 にも一部示すように, 「適合度 0.7 以上」かつ「165[ms] 間, 目標位置を中心とした 60[mm] 四方の正方形内に対象物が位置する」という条件を満たせば, Capture の動作に移行する。

7 水中生物捕獲に向けた追従実験

式 (1) の位置・姿勢に関する目標値をロボットに与え, 実験を行った。Capture に移行する条件を満たしたとき, z 軸方向の目標値が 0[mm] から 200[mm] に変更される。

実験結果を Fig.9 に示す。(a) は GA 認識の適合度, (b) は水中ロボットの対象物に対する z 軸方向の目標位置, (c) は水中ロボットが認識した対象物の x 軸方向の相対的位置, (d) は水中ロボットが認識した対象物の y 軸方向の相対的位置, (e) は水中ロボットが認識した対象物の z 軸方向の相対的位置, (f) は水中ロボットが認識した対象物の z 軸周りの相対的姿勢を表している。実験開始から 25[s] 付近までは適合度が低いため Swing の動作を行っており, 対象物を探索している状態である。最適解を求める GA の特性上, 認識値として何らかの値を出そうとするために Fig.9 上では「何か」を認識し値が出力されているのであるが, 実際はあまり意味のない値である。また z 軸周りの回転であるため, x 軸 (奥行き) 方向の認識値よりも y 軸 (水平) 方向の認識値のほうが目標値との誤差が大きくなっていることがわかる。25[s] を超えたあたりから適合度が急激に上昇し, それと同じくして x, y の認識値も変化していることがわかる。このときの左右のカメラ画像を Fig.8 に示す。あらかじめ定義した楕円体近似モデルが画像上の模型の付近に収束している。ここからビジュアルサーボ, すなわち Trace の動作に移行し, 対象物に接近していることが 25[s]~29[s] あたりの認識値によって確認できる。

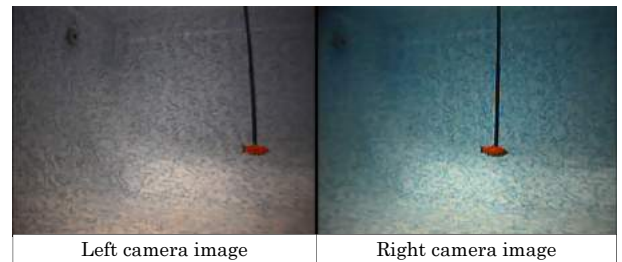


Fig.8 Condition in capturing

また 29[s] 付近で z 軸方向の目標値が変化し, Capture の動作に入っている。グラフ (f) は認識値そのままの値ではなく, 各点において 30 個の姿勢認識値の移動平均をとっている。理由とし

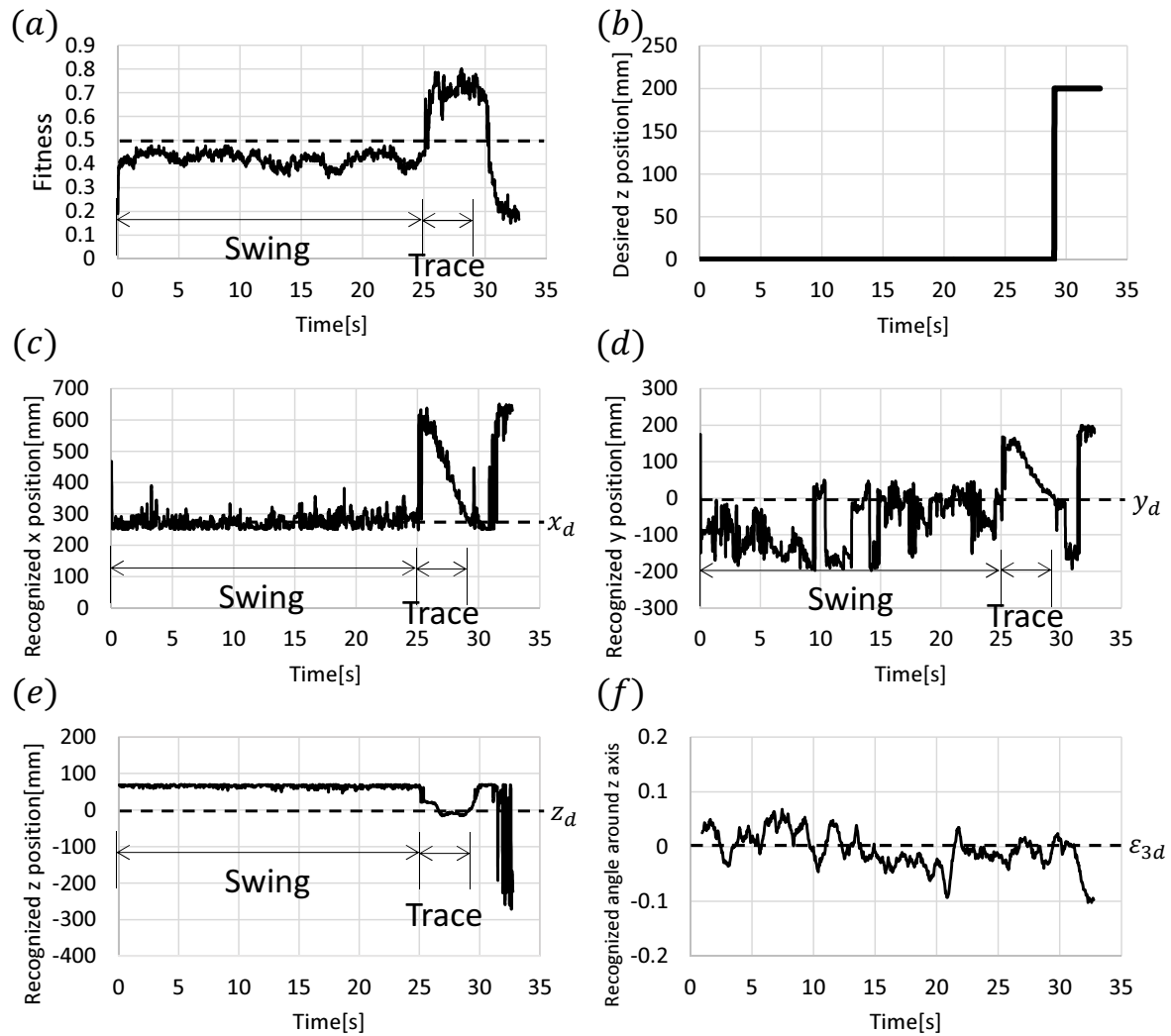


Fig.9 Recognition result in the experiment: (a)fitness value, (b)desired z-position, (c)recognized x-position, (d)recognized y-position, (e)recognized z-position and (f)recognized angle around z-axis (running mean by 30 points)

では、大域的探索のための GA の突然変異という操作による影響で姿勢の認識値の値が飛び飛びになっており、値の傾向が不明瞭であるためである。全体的、特に z 軸方向における認識値に定常的な誤差が見られるが、これは ROV のテザーケーブルによる張力によるものと考えられる。

8 結言

水中生物の生態調査・捕獲や海底探索等を目的として、水中ロボットの研究開発を進めている。そのため本研究では、水中生物の捕獲に向けたシステムを構築し、複眼カメラによるビジュアルサーボを搭載した水中ロボットの制御性能検証を行なった。これにより、水中生物を模した対象物に対して提案手法を用いて認識を行い、目標追従に成功した。

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。

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 (岡山大学), 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.