Projection-based Matching 法による模擬海洋生物認識追従実験

Recognition and Tracking Experiment on Simulated Marine Creature
Using Projection-based Matching Method

学　○高橋 蓮也 (岡山大)　　川上 拓朗 (岡山大)
山本　太郎 (岡山大)　正　寇　ギョウ郡 (岡山大)
正　田　宏志 (岡山大)　正　戸田　雄一郎 (岡山大)
正　松野　隆幸 (岡山大)　正　見浪　護 (岡山大)

Renya TAKAHASHI, Okayama University, pcz88iou@s.okayama-u.ac.jp
Takuro KAWAKAMI, Okayama University
Taro YAMAMOTO, Okayama University
Yejun KOU, Okayama University
Hongzhi TIAN, Okayama University
Yuichiro TODA, Okayama University
Takayuki MATSUNO, Okayama University
Mamoru MINAMI, Okayama University

Robots is expected to be applied in constantly changing environment and unknown environment. Visual servo is one of a method to control robot movement. There are several ways to recognize the object with Visual servo. The conventional method requires prior knowledge of the shape, size and other information of the object. But it is likely that such information will not be available in such environment. So we proposed Projection-based Matching method that does not require prior knowledge and have been conducting research. And we have been studying robots to explore the ocean. We would like to track marine creatures with Visual servo in the ocean. In this study, we conducted the recognition and tracking experiment on simulated marine creature.

Key Words: Visual servo, Genetic Algorithm, Stereo vision

1　緒言

近年，これまで人間が行ってきた作業を代替するロボットのニーズが高まっており，ロボットの様々な分野への活用が期待されている．屋外や家庭，病院などでの作業を代替するためには，常に変化する環境や未知の環境下での自律的な作業を実現する必要がある．そこで，ビジュアルサーボという手法が提案された．ビジュアルサーボは視覚センサから得た視覚情報をフィードバックグループに組み込み，ロボットを制御する手法のことであり，常に変化する環境や未知の環境下への応用が期待されている．しかし，従来の研究 では，事前知識として対象物の大きさや形状，色などの情報が必要であり [1, 2, 3]，常に変化する環境や未知の環境下ではシステムの柔軟性が失われる可能性がある．そのため，事前知識を必要としない手法が求められる．そこで我々の研究グループは，逆射影変換を用いた事前知識を必要としない物体の認識手法 (Projection-based Matching 法) を提案し，研究を行っている．また，我々は海底を探索する水中ロボットの研究も行っており，海洋生物を捕獲することが目標の一つである．そこで，水中ロボットへ本システムを適用する前段階として，本報では気中で行った模擬海洋生物の認識追従実験について報告する．

2　Projection-based Matching 法の概略

ここでは，1 枚の静止画像に対する認識手法の概要を説明する．

Projection-based Matching 法の概略図を Fig. 1 に示す．基準点を手先座標系 Σ_H とする．また基準座標系 Σ_W とする．左のカメラ座標系を Σ_{CL}，画像座標系を Σ_{IL}，右のカメラ座標系を Σ_{CR}，画像座標系を Σ_{IR} とする．左カメラ画像から対象物をモデルとして抽出し，3 次元空間における位置姿勢 $\boldsymbol{\phi} = ({}^{CL}z_{Mi}, H\theta xi, H\theta yi)$ を GA(遺伝アルゴリズム) により決定する．このモデルを左カメラ画像から 3 次元空間中に逆射影し，その後，右カメラ画像に射影することで，2 次元の平面モデルを得る．この平面モデルと右カメラ画像を照合することで適合度関数を計算し，評価を行う．平面モデルの位置姿勢 $\boldsymbol{\phi}$ が対象物の位置姿勢と一致したとき，適合度関数の値が最大値を示す．この認識手法のフローチャートを Fig. 2 に示す．

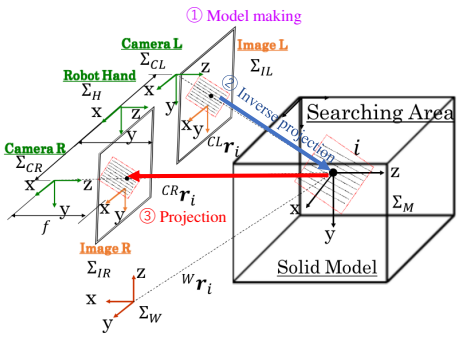

Fig.1 Schematic of projection based method

3　適合度関数の定義

左右ビデオカメラから入力される画像は，0 ～ 359 で表される色相値によって構成される．探索モデルは，Fig.3 に示すように対象物の評価とその周囲の色相変化を評価するために，内部領域 $S_{R,in}$，$S_{L,in}$ と帯領域 $S_{R,out}$，$S_{L,out}$ によって構成される．こ

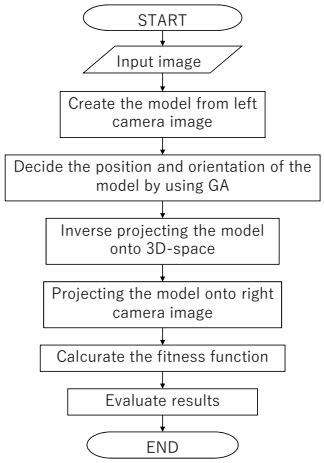

Fig.2 Schematic of projection based method

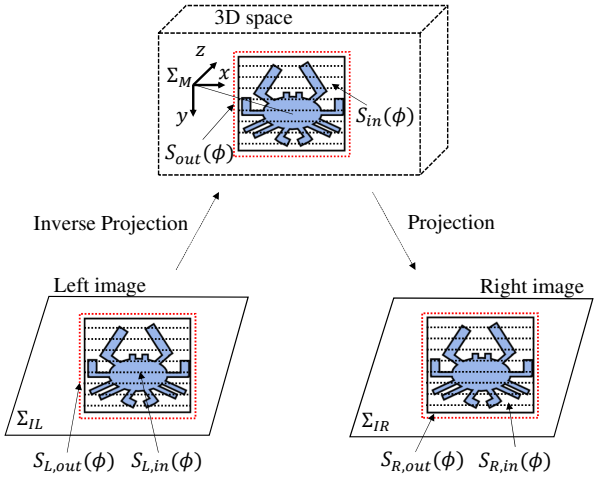

Fig.3 Searching model

こで，右画像領域 ${}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ における色相値に基づく評価値を $p_R({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j))$ とする．対象物を評価する内部領域において，モデルの色相値とカメラ画像の色相値の差が 20 以内の場合は評価値を“ +2 ”と設定し，それ以外の場合は評価値を“ −1 ”と設定する．また帯領域において，モデルの色相値とカメラ画像の色相値の差が 20 以内の場合は評価値を“ +0.1 ”と設定し，それ以外の場合は評価値を“ −1 ”と設定する．このような正負の評価値をもつ探索モデルと画像との相関を表す適合度関数を次式に示す．

$$F(\boldsymbol{\phi}_M^j) = \left\{ \sum_{{}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j \in S_{R,in}(\boldsymbol{\phi}_M^j)} p_{R,in}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) + \sum_{{}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j \in S_{R,out}(\boldsymbol{\phi}_M^j)} p_{R,out}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) \right\} / \ (2n_{in} + 0.1n_{out}) \tag{1}$$

$$p_{R,in}({}^{IL}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) = \begin{cases} 2, & \text{if}(|H_{IR}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) \\ & -H_{MR,in}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j))| \leq 20); \\ -1, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{2}$$

$$p_{R,out}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) = \begin{cases} 0.1, & \text{if}(|H_{IR}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)) \\ & -H_{MR,out}({}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j))| \leq 20); \\ -1, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{3}$$

この関数は，右画像領域 ${}^{IR}\boldsymbol{r}_i^j(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ の中で，$S_{R,in}(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ に重なる入力画像の輝度値 $p({}^{IR}\boldsymbol{r}_i)$ の合計値から，$S_{R,out}(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ のそれを差し引くことで，右画像の適合度 $F_R(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ を得る．これらを加算した適合度関数 $F(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ を用いて，右の画像と再射影された平面モデルとを評価する．この適合度関数 $F(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ は，空間中に逆射影されたモデルの持つ位置/姿勢情報より一意に決定する関数であり，逆射影されたモデルが対象物と一致すれば，右画像においても対象物と探索モデルが一致するはずである．ただし，$F_R(\boldsymbol{\phi}_M^j) \leq 0$ の場合，$F_R(\boldsymbol{\phi}_M^j) = 0$ とする．

4 最適解探索法

適合度関数を用いることによって，対象物の位置/姿勢を探索する問題は，適合度関数 $F(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ の最大値を探索する問題に置き換えることができる．この最大値を探索する最適化問題に対して GA を適応することで探索時間の短縮を行う．また，個体の位置/姿勢情報を表す遺伝子情報を以下に示す．

$$\overbrace{01\cdots01}^{CL_{z_{Mi}}}\overbrace{00\cdots01}^{Hx_{\theta_{Mi}}}\overbrace{11\cdots01}^{Hy_{\theta_{Mi}}}.$$
$$\underbrace{}_{10bit}\underbrace{}_{7bit}\underbrace{}_{7bit}$$

個体の位置/姿勢は Projection-based Matching 法における立体モデルの位置/姿勢を表しており，上位 10bit がこの遺伝子で与えられる空間中に逆射影したモデルのカメラからの距離を表わし，残り 14bits は 7bit ずつで，空間中に逆射影したモデルの姿勢を表わしている．このとき使用する bit 数は探索時間短縮のために減らすことがある．次に，各個体は自分の位置/姿勢情報を用いて式 (1) に示した適合度関数 $F(\boldsymbol{\phi}_M^j)$ より適合度値を得る．この値の優劣により進化処理が行われ，世代交代による次世代の集合が構成される．このとき，次世代の集合は前世代において適合度が高かった位置/姿勢，つまり対象物を表す適合度関数の最大値近辺に向かって近づく．この処理 (世代交代) を繰り返すことにより，GA は対象物の位置/姿勢を表す最大値を発見する．GA を用いた探索過程を Fig.4 に示す．

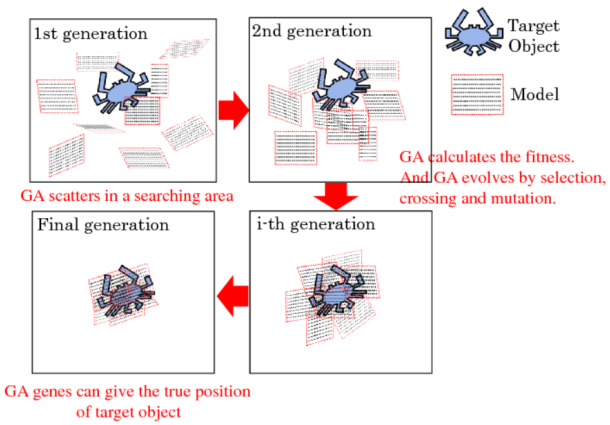

Fig.4 Search Process using GA

5　認識追従実験

水中ロボットでの海洋生物の捕獲に向けた実験として気中でカメラを取り付けたロボットアームを用いて模擬海洋生物の認識追従実験を行う．

5.1　実験内容

今回の実験環境と使用した対象物を Fig.5 と Fig.6 に示す．プールに水を張りそこに対象物を浮かべる．最初に約 5 秒間認識を行い，その後対象物への追従を開始する．追従開始後，棒を用いて対象物をランダムに動かし，それに対して追従を継続する．対象物の初期位置はワールド座標系を基準に (x, y, z) 座標が約 (120, -870, -320)[mm] の場所に設置し，認識・追従を行う．PA-10 は対象物に対して手先座標系を基準に (x, y, z) 座標が (0, 0, 700)[mm] を保つように追従を行う．

5.2　実験結果

実験結果を Fig.7 から Fig.11 に示す．Fig.7 から Fig.9 にはワールド座標系を基準に PA-10 の現在の手先座標と認識値を示し，Fig.10 に適合度関数から得られた値を示す．また Fig.11 に 0[s], 35[s], 70[s] 経過した時点の左右カメラの画像を示す．Fig.7 から Fig.9 より (x, y, z) 座標の平均誤差が (74.4, 10.9, 698.9)[mm] であった．Fig.7 より，x 座標に関しては現在の手先位置が認識値と同じようなグラフの形でほぼ常に正の誤差が出ていることから定常偏差が発生していると考えられ，そのため平均誤差が大きくなったと思われる．Fig.8 と Fig.9 より，y, z 座標に関しては対象物に対して問題なく追従できていると言える．また Fig.11 のカメラ画像から見ると，左右カメラが対象物を捉えていることから本システムにより追従が出来ていると考えられる．

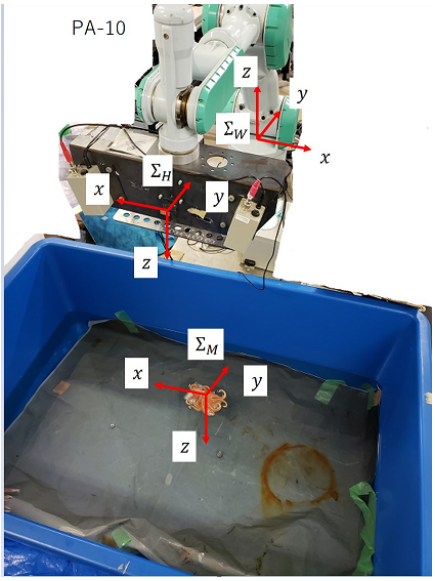

Fig.5 Experiment environment

Fig.6 Target(Octopus)

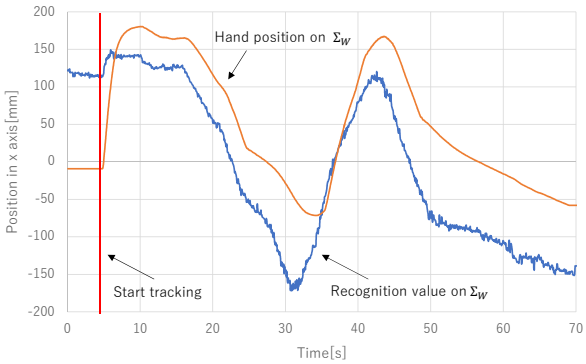

Fig.7 Target position in x axis

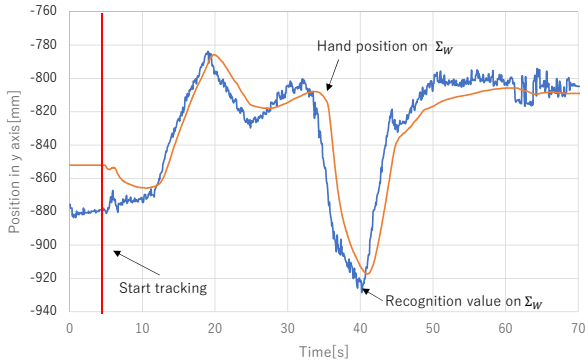

Fig.8 Target position in y axis

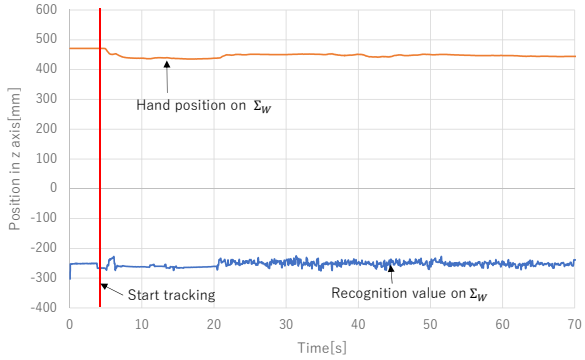

Fig.9 Target position in z axis

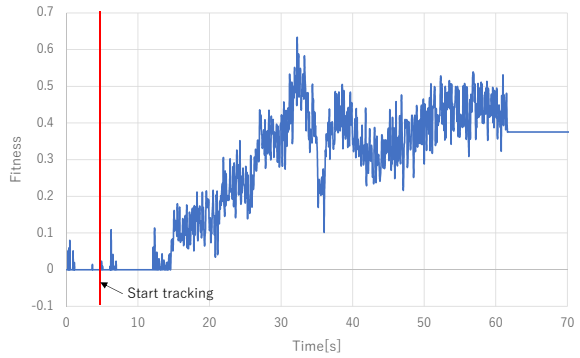

Fig.10 Result of fitness

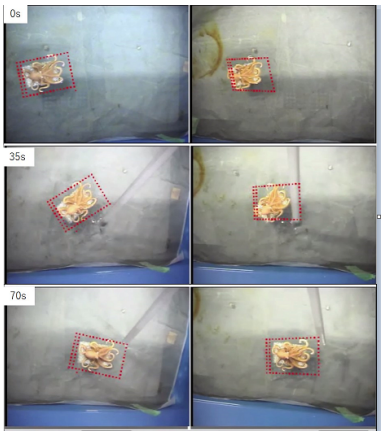

Fig.11 Right and left camera images

6 結言

本報告では，Projection-based Matching 法を用いた模擬海洋生物に対する認識追従実験を行った．この実験より，本システムによって気中で対象物に対して認識追従が可能であることを確認した．今後は生物の捕獲方法の検討，本システムの水中ロボットへの適用を行い，生物の捕獲を目指す．

参考文献

[1] Petsch, Susanne, and Darius Burschka. "Estimation of spatio-temporal object properties for manipulation tasks from observation of humans." Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on. IEEE, 2010.

[2] Myint, Myo, et al. "Visual-servo-based autonomous docking system for underwater vehicle using dual-eyes camera 3D-pose tracking." 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, 2015.

[3] Cui, Yu, et al. "Analyses about Trackability of Hand-eye-vergence Visual Servoing in Lateral Direction." Applied Mechanics and Materials. Vol. 772. Trans Tech Publications, 2015.

[4] 酒井修二, 高橋徹, 伊藤康一, 青木孝文, & 運天弘樹. (2011). 汎用デジタルカメラを用いた 2 視点からの 3 次元復元. 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2011(4), 1-8.

[5] Wang, Min, and Weiguang Liu. "Advanced algorithm based on SIFT and its application in binocular stereo vision." Jisuanji Gongcheng yu Yingyong(Computer Engineering and Applications) 49.2 (2013): 203-206.

[6] 吉川恒夫, “ロボット制御基礎論”, pp.222-225 (1988), コロナ社