# タムロンカメラを用いた3玉マーカーと4玉マーカーの位置/姿勢計測精度比較実験

Comparison between 3-ball marker and 4-ball marker on measuring accuracy of position and posture with Tamron camera

○学田内悠真(岡山大) 王海鵬(岡山大)門田拓也(岡山大)正見浪護(岡山大)

Yuma TAUCHI, Okayama University, psjf4zru@s.okayama-u.ac.jp Kaihou OU, Okayama University Takuya MONDEN, Okayama University Mamoru MINAMI, Okayama University

Nowadays, a variety of robots has been studied and developed for undersea exploration. It is necessary for the robots to work long time in water so as to efficiently perform given tasks. We proposed a system to make the robots be able to come back power supply unit and automatically charge battery underwater. We confirmed ROV have conducted docking that assumes charging battery under water with the system, and shown it effective. However, 3-ball marker that was used as the recognition target of the power supply unit, there were cases where two of the three balls overlapped from a certain position and could not be recognized well. Therefore, by changing from a 3-ball marker to a 4-ball marker, the remaining 3 balls can be seen even if the balls overlap, so it is easier to recognize. In this paper, we report the results of a comparison between of a 3-ball marker and a 4-ball marker on measuring accuracy of position and posture.

Key Words: ROV, GA, 3Dmarker

#### 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. 海底マッピング,水中生物の生態調査,地下資源 の採掘などの目的は多様である.これらの実現には水中での長時 間活動が必要とされるが、長時間にわたり水中ロボットを操縦者 が手 動で操作することは多大な労力を要するだけでなく、集中 力も求められる. この操縦者の 負担を解消するためには、ビジュ アルサーボを用いた水中ロボットの自動化が必要とされる.現在, ロボットへの電力供給方法には有線とバッテリーの二つが主流で あるが、いく つか問題がある. 有線での電力供給の場合、ケーブ ルが損傷しやすく,また深海に潜るためにはケーブル自体が数 千メートルの長さになり、その張力の影響により水中ロボットの 遠隔操作は難しい作業となる. バッテリーによる電力給電の場合, 活動可能時間が充電さ れたエネルギー量に依存するという問題 があり、充電のたびに船舶と作業場所を往復しなければならない ため効率的な運用が出来ない. 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ロボットが自動 で充電を行うシステムの研究が行われている. そこで我々は, 水 中ロボットに搭載されたカメラから模擬給電設備のランドマーク である 3D マーカーを認識し、嵌合穴に嵌合棒を挿し込むといっ た実験を行っている.しかし、実験を進めていくとある位置から は3つの球の内2つが重なってしまい、うまく認識できないとい うことがあった. そこで、3 玉マーカーから4 玉マーカーにする ことで球が重複しても残る3つの玉が見える状況になるため、よ り認識しやすいと考えた.本論文では、3玉マーカーと4玉マー カーの位置/姿勢計測精度比較実験の結果について報告する.

#### 2 3 次元空間位置姿勢計測法

本章では Model-based Matching 法, 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を用いた 3 次元位置・姿勢計測法につい て述べる.

#### 2.1 本手法の特徴

Fig. 1 に示すように,画像センサに代表される受動的センサ を用いた 3 次元認識は大きく 2 つの手法に分けられる.第1の 方法は,ステレオ画像間の幾何学的特徴の対応づけによる特徴量 ベースの 3 次元認識を行う手法である.画像間で対応をとること

で三角測量の原理に基づいて 3 次元認識を行う方法で,現在ま でに多くの研究が行われ,研究成果をあげている [1][2].[1] では, 物体の幾何モデルと画像から抽出されたセグメントをベースに3 次元追跡を可能にしている. 文献 [2] では, 超高速ビジョンシス テムを用いて, 対象物の位置・姿勢の高速な計測を可能にしてい る.しかし、一般的にステレオ画像を用いる場合、画像間の対応 点探索を必要とする. さらに、カメラの姿勢が異なった場合、対 応点をとることが困難である. 第2の方法は、対象物形状知識を 利用しモデルと画像との照合によるモデルベースの3次元認識を 行う手法 [3][4] であり、我々が提案する手法はこの後者に含まれ る. 文献 [3] では、エッジポテンシャルを利用し、非線形最小 2 乗法により位置・姿勢を推定している.また、文献 [4] では線画 像と遺伝的アルゴリズムを利用し、位置・姿勢を推定している. 本手法では、前者で問題となる画像間の対応をとる必要はないた め、特徴量の抽出の時間が短いと考えられる.また、カメラの姿 勢が異なった場合でも、カメラと立体モデルの位置関係から画像 に射影される平面モデルの形状を求めることができるため、カメ ラを自由に動かしながら認識を行うことが可能となる.

#### 2.2 Model-based Matching 法及び GA を用いた計測手法 の概略

本研究で用いられているビジュアルサーボシステムは、動画 像認識を必要とする.動画像は静止画像を時系列で並べたもの であり、動画像から対象物を認識することは静止画像からの対 象物の認識をビデオレート (33[ms])で連続して行うことで動画 像認識が実現される.よって、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.3 次元の立体モデルの位置・姿勢  $\phi = (x, y, z, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3) (\epsilon はクォータニオンの姿勢変数)が GA$ の遺伝子により決定され、左右の画像に射影することで、2 次元の平面モデルを得る.この平面モデルを画像との照合により適合度関数を計算し、評価を行う.そして、立体モデルの位置・姿勢 $<math>\phi$  (6 変数)が対象物の位置・姿勢 (6 変数)と一致したとき、適 合度関数の値が最大値を示す.そのため、対象物の認識問題は、 適合度関数の最大値探索問題に変換できる.適合度関数の最大値 を探索・発見する場合、様々な方法があるが、一番単純かつ簡単 な方法は全探索法である.これは、全ての関数値を計算すること で最大値を発見するものであり、必ず最大値を発見できるが効率



 ${\bf Fig.1}$  Positioning of This Research

が悪い、つまり計算時間を多く費やすといった欠点を持っている. 動画像認識は計算処理が短いことが重要であるため、本研究では 最適解探索に GA を適用することで、効率良く短時間で最大値探 索処理を行う.そして、GA がある程度収束した時、GA の遺伝 子により決定される立体モデルの位置・姿勢 $\phi$ を対象物の位置・ 姿勢と考えることで、対象物の位置・姿勢が計測できる.

#### 2.3 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、0~1、 0~255,0~255 によって表される色相,彩度,明度,輝度に よって構成される.探索モデルは、Fig. 2に示すように対象物 体自身の評価とその周囲の色彩、輝度変化を評価するために、内 部領域  $(S_{L,in}, S_{R,in})$  と帯領域  $(S_{L,out}, S_{R,out})$  によって構成 される. Fig. 4 にモデルの範囲探索点を示す. 内部領域の探索 点の数の合計を N<sub>in</sub>,帯領域の探索点の数の合計を N<sub>out</sub>,各角 度における内部領域と帯領域の探索点の組の合計を Npairs とす る. 画像領域の  ${}^{IL}r_i$  と  ${}^{IR}r_i$  のなかで内部領域に存在するもの  $\tilde{z}^{IL} r_{in}^{(n)}, \ ^{IR} r_{in}^{(n)} (^{IL} r_{in} \in S_{L,in}(\phi), \ ^{IR} r_{in} \in S_{R,in}(\phi)) \ \& \ \mathsf{L},$ in ( $In \in SL, in(\varphi)$ ,  $In \in SR, in(\varphi)$ ) とし、 帯領域に存在するものを  $IL_{r_{out}}^{(n)}$ ,  $IR_{r_{out}}^{(n)}$ ( $IL_{r_{out}} \in S_{L,out}(\phi)$ ,  $IR_{r_{out}} \in S_{R,out}(\phi)$ ) とする. ここで、左画像領域の  $IL_{r_i}$ にお ける色彩の評価値を  $p(IL_{r_i})$ , 右画像領域の  $IR_{r_i}$ における色彩 の評価値を  $p(IR_{r_i})$ , とする. また、左画像領域の  $IL_{r_i}$ における 内部領域と帯領域の輝度差の評価値を  $p_{Br}({}^{IL}r_{in}^{(m)}, {}^{IL}r_{out}^{(m)})$ , 右 画像領域の<sup>IR</sup>r<sub>i</sub>における内部領域と帯領域の輝度差の評価値を  $p_{Br}({}^{IR}r_{in}^{(m)}, {}^{IR}r_{out}^{(m)})$ とする. RGB 表色系から HSV 表色系に変換する際に色相の量子化誤差が増大する (文献 [5]) ので, Fig. 3 に示すように彩度や明度が低い範囲を認識させないために、色彩 の評価値において、色相、彩度、明度の値が私たちが設定した範 囲にある場合  $(h_i - 40 \le H \le h_i + 40 (i = R, G, B), S > 0.10, V$ > 30(ここで,  $h_R, h_G, h_B$  は設定した赤, 青, 緑各色の色相範囲 を表し, $h_R = 180, h_G = 320, h_B = 40$  とする)), 対象物を評価する内 部領域の色彩値評価分布を"+1", 周囲背景を評価する帯領域の 色彩値評価分布を"-1"と設定し、範囲にない場合, 色彩値評価 分布を"-1"と設定する(式(1)). また,輝度差の評価値におい て,内部領域と帯領域の輝度差が私たちが設定した一定値以上な らば輝度評価分布を"+1",以下ならば輝度評価分布を"-1"と 設定する (式 (2)). 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  $(F_{union}(\boldsymbol{\phi}))$  を式 (9) に示す.ま た,適合度関数内の F<sub>HSV</sub>(φ) を色適合度と定義し,式(3),(4) に, F<sub>Br</sub>( $\phi$ ) を発光適合度と定義し,式(5),(6) に示す.

$$p_{HSV}(^{I}\boldsymbol{r}^{(n)}) = \begin{cases} 1 & (h_{i} \leq H \leq h_{i}, S > 0.10, V > 30(i = R, G, B)) \\ -1 & (otherwise) \end{cases}$$
(1)

$$p_{Br}({}^{I}r_{in}^{(m)},{}^{I}r_{out}^{(m)}) = \begin{cases} 1 & (|Br({}^{I}r_{in}^{(m)}) - Br({}^{I}r_{out}^{(m)})| \ge 10) \\ -1 & (otherwise) \end{cases}$$
(2)

$$F_{L,HSV}(\phi) = \left(\sum_{n=1}^{N_{in}} p(^{IL}\boldsymbol{r}_{in}^{(n)}) - \sum_{n=1}^{N_{out}} p(^{IL}\boldsymbol{r}_{out}^{(n)})\right) / (N_{in} + N_{out})$$
(3)

$$F_{R,HSV}(\phi) = \left(\sum_{n=1}^{N_{in}} p(^{IR}r_{in}^{(n)}) - \sum_{n=1}^{N_{out}} p(^{IR}r_{out}^{(n)})\right) / (N_{in} + N_{out})$$
(4)

$$F_{L,B_r}(\phi) = \Big(\sum_{m=1}^{N_{pairs}} p_{Br} ({}^{IL} r_{in}^{(m)}, {}^{IL} r_{out}^{(m)})\Big) / N_{pairs}$$
(5)

$$F_{R,B_{r}}(\phi) = \left(\sum_{m=1}^{N_{pairs}} p_{Br}(^{IR}r_{in}^{(m)}, ^{IR}r_{out}^{(m)})\right) / N_{pairs}$$
(6)

$$\begin{split} F_{L,union}(\phi) &= F_{L,HSV}(\phi) + F_{L,B_{T}}(\phi) - F_{L,HSV}(\phi) \cdot F_{L,B_{T}}(\phi) \quad (7) \\ F_{R,union}(\phi) &= F_{R,HSV}(\phi) + F_{R,B_{T}}(\phi) - F_{R,HSV}(\phi) \cdot F_{R,B_{T}}(\phi) \quad (8) \end{split}$$

$$union(\phi) = \left\{ F_{L,union}(\phi) + F_{R,union}(\phi) \right\} / 2$$
(9)

左右適合度関数 ( $F_{L,union}(\phi)$ ,  $F_{R,union}(\phi)$ ) は左右画像 の色適合度 ( $F_{L,HSV}(\phi)$ ,  $F_{R,HSV}(\phi)$ ) と左右画像の発光 適合度  $(F_{L,Br}(\phi), F_{R,Br}(\phi))$  によって構成されている. 左画像の色適合度  $(F_{L,HSV}(\boldsymbol{\phi}))$  は、左画像領域  $(^{IL}\boldsymbol{r}_i)$  の中 で、彩度、明度が定めた範囲内にあり、 $S_{L,in}(\phi)$ に重なる入 力画像の色相値の評価値  $(p(^{IL}\boldsymbol{r}_i))$  の合計値から,  $S_{L,out}(\boldsymbol{\phi})$ のそれを差し引き、その平均値を求めることで得られる.ま た、左画像の発光適合度 ( $F_{L,Br}(\phi)$ ) は左画像領域 ( $^{IL}r_i$ ) の中で,入力画像の輝度差の評価値 (p<sub>Br</sub>(<sup>IL</sup>r<sup>m</sup><sub>in</sub>, <sup>IL</sup>r<sup>m</sup><sub>out</sub>)) の 平均を求めることで得られる. これらを用いて式 (3.34) に よって左適合度関数を得る. 右画像においても同様に右適合 度関数 ( $F_{Bunion}(\phi)$ ) を計算し、これらを加算し平均をとっ た適合度関数  $(F_{union}(\boldsymbol{\phi}))$  を用いて、左右の画像を同時に 評価する.この適合度関数 ( $F_{union}(\phi)$ )は、立体モデルの持 つ位置・姿勢情報より一意に決定する関数であり、立体モデ ルが対象物と一致すれば、左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、 $F_{L,union}(\phi) \leq 0$ ,  $F_{R,union}(\phi) \leq 0$ の場合,  $F_{L,union}(\phi) = 0$ ,  $F_{R,union}(\phi) =$ 0とする.



Fig.2 Searching model

# 3 3 玉マーカーと 4 玉マーカーの位置/姿勢計測精度比 較実験

#### 3.1 環境

実験環境を Fig. 5 に示す.実験用器具にタムロンカメラ と 3D マーカーを取り付けて気中で行った.実験は部屋を 暗くして行い,その時の照度は 1<sup>~</sup>2Lux であった.



 ${\bf Fig.3}$  Reducing low saturation and low value area



Fig.4 Projection of the sphere of a model with selected sample points.



Fig.5 Experimental environment





## 3.2 方法

今回の実験で使用する各パラメータを Fig. 6 に示す. カ メラ間距離を 250[mm], カメラ内向き角度を 6[°] に設 定する.Fig. 6 のように, カメラと 3D マーカーの距離を x[mm], 3D マーカーの横方向の変位を y[mm], 縦方向の 変位を z[mm], z 軸まわりの角度を  $\varepsilon$  3[°] とする.二つ の玉が重複する状況で比較するため, 3 玉マーカーと 4 玉 マーカーをそれぞれ以下の 4 つの条件で実験を行う.

- 1. x=400[mm], y=0 →球が一つ見えなくなるまで [mm], ε3=0[°]
- 2. x=400[mm], y=0[mm], ε3=0 →球が一つ見えなくなるまで [°]
- 3. x=600[mm], y=0 →球が一つ見えなくなるまで [mm], ε3=0[°]
- 4. x=600[mm], y=0[mm], ε3=0 →球が一つ見えなくなるまで [°]

# 3.3 結果

実験結果を Fig. 7 から Fig. 10 に示す.上下に 3 玉マー カーと 4 玉マーカーのグラフと画像を示しており,左上が 適合度のグラフ,右側の上から x, y, z,  $\varepsilon$ 3 の認識値のグ ラフとなっている.黒線が認識値で赤線が真値である.ま た左下の画像はカメラから送られてくる左右の画像になっ ている.各条件の 3 玉マーカーと 4 玉マーカーのグラフを 比較する. y や  $\varepsilon$ 3 の値を変えると,3 玉マーカーの方が大 きく変化している.

# 3.4 考察

結果のグラフから、 $y や \varepsilon 3$ が変化し、球が一つ隠れる状況では4玉マーカーに比べ、3玉マーカーは適合度が大きく変化している。また、適合度と他の認識値がより大きく振動している。 $y や \varepsilon 3$ が変化する前では、3玉マーカーと4玉マーカーでは適合度、認識値ともにほとんど差がないように見える。これらのことから、3玉マーカーより4玉マーカーの方がより安定しているといえる。

# 4 結言

本論文では、3玉マーカーと4玉マーカーの比較実験に ついて報告した。二つの玉が重複すると、3玉マーカーよ り4玉マーカーの方が認識が安定することがわかった。今 回は気中で実験を行ったが、今後は水中でも実験を行い、 4玉マーカーの有効性を検証したいと考えている。

### 参考文献

- 石川,角,富田,"ステレオビジョンによる三次元物体の三次元運動 追跡",日本ロボット学会誌,Vol.18,No.2,pp213-220,2000
- [2] 中坊, 並木, 石井, 石川, "2台の高速ビジョンを用いた3Dトラッキ ング", 機械システム制御シンポジウム講演論文集, pp.78-81,2002
- [3] 山根,泉,福永,"モデルベースに基づく物体の位置・姿勢推定", IEICE, Vol.J79-D-, No.2,pp.165-173, Feb, 1996
- [4] 外山,東海林,宮道, "遺伝的アルゴリズムを用いた線画からの物体の位置・姿勢推定", IEICE, Vol.J81-D-, No.7, pp.1584-1590, July, 1998
- [5] Nishimura,K., Hou,S., Maeda,K., Minami,M, "Analyses on on-line evolutionary optimization performance for pose tracking while eye-vergence visual servoing", Proceedings of 2013 IEEE international Conference on mechatronics and Automation(ICMA)(2013), pp.698-703.



**Fig.7** experimental results of condition 1



 ${\bf Fig.8}$  experimental result of condition 2



**Fig.9** experimental result of condition 3



**Fig.10** experimental result of condition 4