

# ステレオビジョンを用いた信号機の位置姿勢実時間認識

Position and orientation real-time recognition of traffic light using stereo vision

汪 魯傑 (岡山大) 正 田 宏志 (岡山大)

寇 ギョウ郡 (岡山大) 王 俊祥 (岡山大)

李 想 (岡山大)

山本 太郎 (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)

Lujie WANG, Okayama University, pag47egb@s.okayama-u.ac.jp

Hongzhi TIAN, Okayama University

Yejun KOU, Okayama University

Junxiang Wang, Okayama University

Xiang LI, Okayama University

Taro YAMAMOTO, Okayama University

Yuichiro TODA, Okayama University

Takayuki MATSUNO, Okayama University

Mamoru MINAMI, Okayama University

This paper proposes an experimental result about real-time recognition of the position and the orientation of traffic lights based on this Photo-model-based method in a simulated environment. Because experimenting at real traffic intersections can cause a lot of trouble for pedestrians and vehicles, we have built a road simulation environment. The Photo-model-based method can obtain the current position and posture of the object by using only two calibrated cameras through the image of the object that has been acquired. I will introduce the fitness function of this method and the method of exploration using genetic algorithms in this article, as well as the latest data in this environment. This time, the results of the experiment were obtained by experimenting with traffic lights in red states. The experimental results in real time will be reported.

**Key Words:** Visual servoing, Photo-model-based, RM-GA

## 1 緒言

現在、自動車等の自動運転に対する期待が高まっている。社会的な期待としては、まず交通の安全性向上が挙げられる。日本での年間の交通事故死者数は4000人余りですが、全世界では170万人であり、2030年には190万人に増加すると言われている。また、交通の効率化、CO<sub>2</sub>排出削減、高齢者の交通手段の確保や移動時間の有効活用などを挙げられる。一方、産業的な期待として、自動車産業の競争力強化、自動車関連産業の拡大・創出、新サービスの創出がある。

運転の自動化技術の基本構成としては、「知覚」「認識」「予測」「判断」「操作」という流れがある。今回ではその中でも画像による「認識」を取り上げている。自動運転に必要な画像認識技術については、自動運転の進展にともない、必要機能が増大かつ高度化している。例えば、信号機の赤信号に対する自動ブレーキの場合、信号機の状態と距離の検出が必要になる。パターン認識で画像から信号機を検出する、または距離を計測し、Photo-model-based法を用いて信号機を検出するといったやり方が考えられる。信号機がどんな状態を示しているかということが、自動車の速度の制御に必要になってくる。将来実現するであろう「自動運転」は、安全な走行を行うことで、交通事故による死亡者数を減らすといった道路交通の問題解決に効果が期待されている。ドライバーへの運転負担軽減や高齢者の安全運転支援などが期待できる。

我々の研究グループでは、自動運転に対して Model-based

Matching 法及び遺伝的アルゴリズムを適用し、指定する属性(対象物の形状と色)を持つ対象物の認識とハンドリングの方法を提案してきた。その技術を基礎として本研究では、自動運転作業を想定して、信号機などに対するビジュアルサーボの研究を行っている。本文では、信号機の認識結果について報告する。

## 2 対象物の位置・姿勢計測法

本章では認識手法である、Photo-model-based 法、GA を用いた 3 次元位置/姿勢計測法について述べる。本手法は当研究室の先行研究である、ビジュアルサーボの技術を基礎としており、Fig.1 のような 2 台のカメラを搭載したシステムを基準に構成されている。

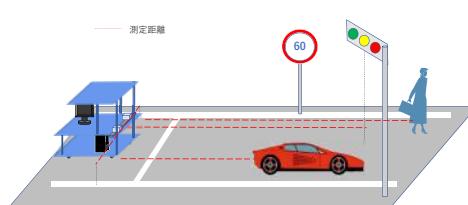


Fig.1 Predicted system diagram

## 2.1 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，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  $S_{R,in}$ ,  $S_{L,in}$  と帶領域  $S_{R,out}$ ,  $S_{L,out}$  によって構成される。ここで，右画像領域  ${}^{IR}r_i^j$  における色相の評価値を  $p({}^{IR}r_i^j)$ ，左画像領域  ${}^{IL}r_i^j$  における色相の評価値を  $p({}^{IL}r_i^j)$  とする。対象物を評価する内部領域の色相値評価分布を“+2”，背景を評価する内部領域の色相値評価分布を“-0.005”，背景を評価する帶領域のそれを“0.1”と設定する。 $H_{IR}({}^{IR}r_i^j)$  は右カメラ画像の色相値， $H_{MR}({}^{IR}r_i^j)$  はモデルの色相値， $H_B$  は背景の色相値である。色相値評価分布を次式に示す

$$p_{R,in}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j)) = \begin{cases} 2, & \text{if } |H_{IR}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j)) - H_{MR}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j))| \leq 30; \\ -0.005, & \text{if } |\bar{H}_B - H_{IR}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j))| \leq 30; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

$$p_{R,out}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j)) = \begin{cases} 0.1, & \text{if } |\bar{H}_B - H_{IR}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j))| \leq 20; \\ -0.5, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

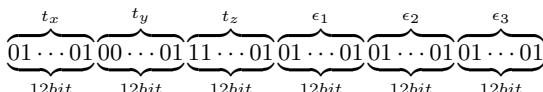
このような正負の評価値をもつ探索モデルと画像との相関を表す適合度関数を次式に示す。

$$\begin{aligned} F(\phi_M^j) = & \left\{ \left( \sum_{\substack{{}^{IR}r_i^j \in \\ S_{R,in}(\phi_M^j)}} p_{R,in}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j)) + \sum_{\substack{{}^{IR}r_i^j \in \\ S_{R,out}(\phi_M^j)}} p_{R,out}({}^{IR}r_i^j(\phi_M^j)) \right) \right. \\ & + \left. \left( \sum_{\substack{{}^{IL}r_i^j \in \\ S_{L,in}(\phi_M^j)}} p_{L,in}({}^{IL}r_i^j(\phi_M^j)) + \sum_{\substack{{}^{IL}r_i^j \in \\ S_{L,out}(\phi_M^j)}} p_{L,out}({}^{IL}r_i^j(\phi_M^j)) \right) \right\} / 2 \\ = & \{F_R(\phi_M^j) + F_L(\phi_M^j)\} / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

この関数は，右画像領域  ${}^{IR}r_i^j$  の中で， $S_{R,in}(C^R \phi_M^j)$  に重なる入力画像の評価値  $p({}^{IR}r_i^j)$  の合計値から  $S_{R,out}(C^R \phi_M^j)$  のそれを差し引くことで，右画像の適合度  $F_R(C^R \phi_M^j)$  を得る。左画像においても同様に適合度  $F_L(C^L \phi_M^j)$  を計算し，これらを加算し平均をとった適合度関数  $F(C \phi_M^j)$  を用いて，左右の画像を同時に評価する。この適合度関数  $F(C \phi_M^j)$  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， $F_R(C^R \phi_M^j) \leq 0$ ，または， $F_L(C^L \phi_M^j) \leq 0$  の場合， $F_R(C^R \phi_M^j) = 0$ ，または， $F_L(C^L \phi_M^j) = 0$  とする。

## 2.2 GA を用いた最適解探索法

前節で述べてきた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  $F(C \phi_M)$  の最大値を探索する問題に置き換えることができる。本手法では，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。



個体の位置/姿勢は Photo-model-based 法における立体モデルの位置/姿勢を表しており，上位 36bit はこの遺伝子で与えられる立体モデルの位置座標を表し，残り 36bit は，立体モデルの姿勢を表している。次に，各個体は自分の位置/姿勢情報を用いて式 (3) に示した適合度関数  $F(C \phi_M^j)$  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。

## 3 実時間認識の検証

実験のプロセスは Fig.2 に示している。写真に写った対象物をモデルとして抽出する。次に，抽出したモデルに探索空間における位置，姿勢を GA の遺伝子により決定し，空間内にばら撒き，最適な距離を適合度によって探索する。

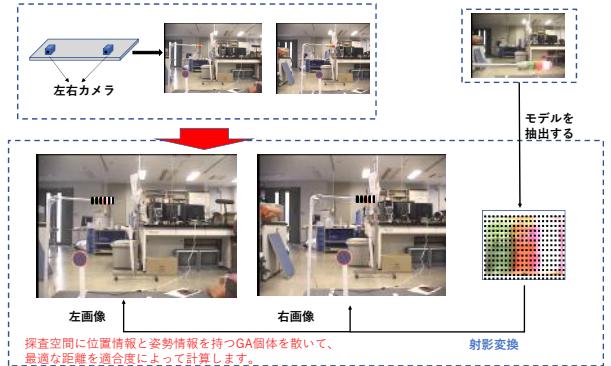


Fig.2 Experimental process

### 3.1 モデルの作成方法

モデルの抽出は本研究では困難な点であるので，Fig.3 に示すように，今回の実験では自分でモデルの範囲を選択して，各状態の信号機モデルを作成した。

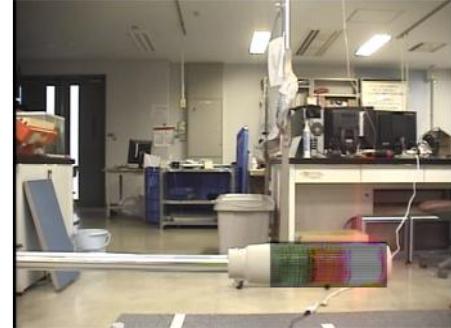


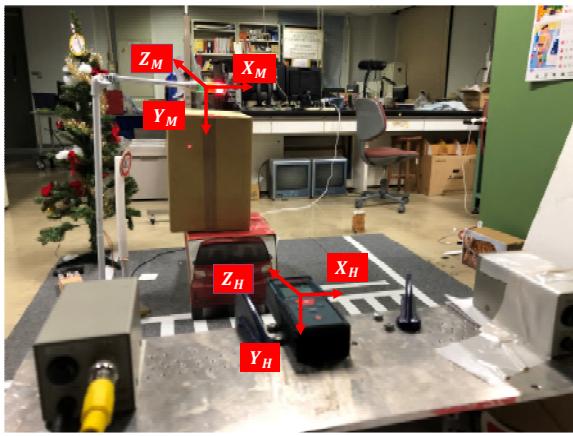
Fig.3 The model of the traffic light in the red light state

### 3.2 実験内容

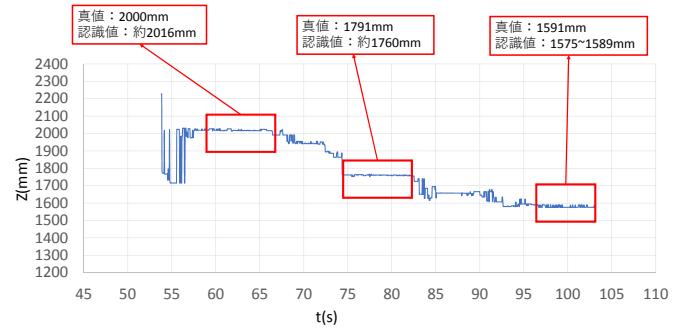
実験環境を以下の Fig.4 に示している。二つのカメラ間の距離は 329mm であり，カメラから対象物（赤信号）の距離は 2000mm である。車が対象物から 2000mm 離れた場所からカメラ方へ 400mm 移動する実験を行い，実時間の  $x, y, z, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  の結果を調べた。真値を測るために，移動の途中で車を一度停止させる。

### 3.3 実験結果

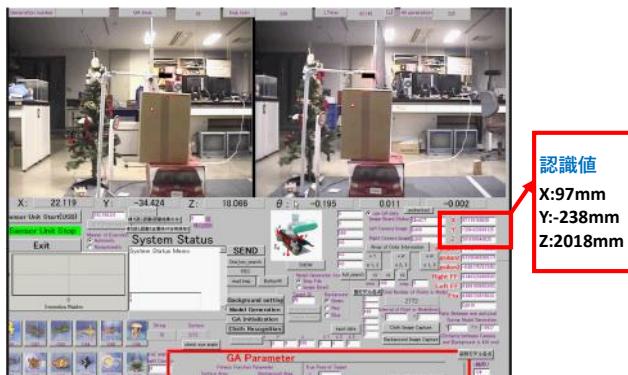
実験の結果は Fig.5 から Fig.12 までに示しています。グラフの横軸が時間を表し，縦軸がそれぞれに位置と姿勢を表す。車が停止している間をグラフ中の赤いボックスで表す。Fig.6 のグラフで Fitness 値が走行中でもほとんど 0.4 以上を得た。Fig.7 から，Z 軸認識の結果と真値がかなり近いことが分かった。Fig.9 より Y 軸の認識が不安定になる部分がある。それは車を移動させた際車が振動することが原因と考えられる。三つの姿勢と X 軸の認識に関しては，真値を測定することが困難なため，分析も難しいと考える。



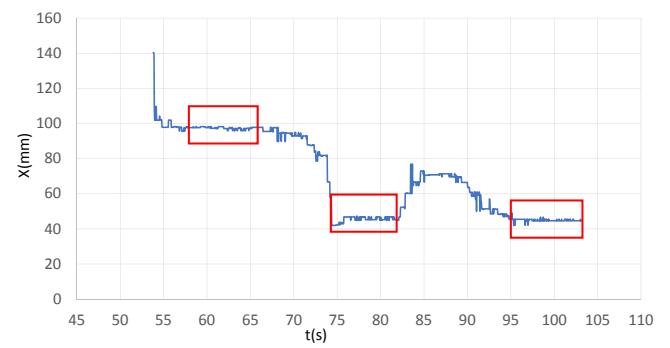
**Fig.4** The experimental environment



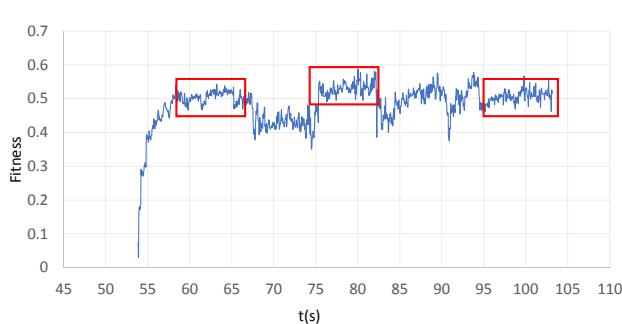
**Fig.7** The real-time recognition result of Z-axis



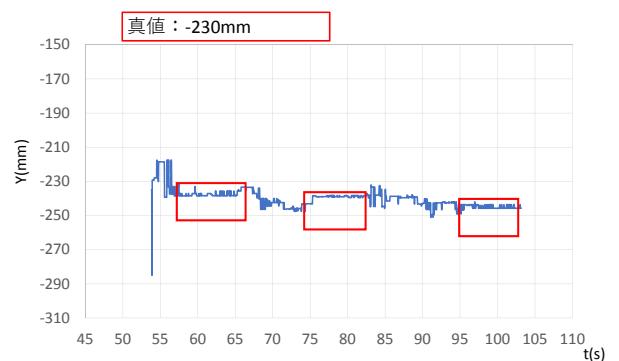
**Fig.5** The real-time recognition in the program



**Fig.8** The real-time recognition result of X-axis



**Fig.6** The real-time recognition result of Fitness



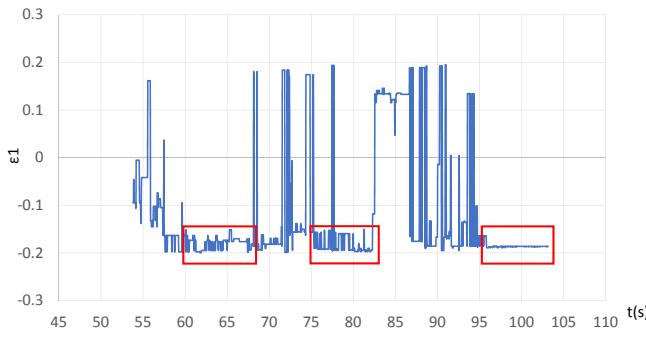
**Fig.9** The real-time recognition result of Y-axis

#### 4 結言

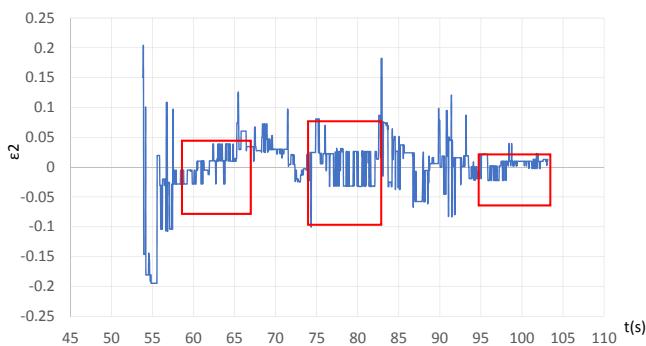
本文では、Photo-model-based 認識法を用いたビジュアルサーボシステムで対象物の追従実験結果を報告した。今回行った実験結果より、Photo-model-based 認識法は模擬環境における赤信号を認識することができることが分かった。特に、Z 軸の認識に関して、認識誤差が非常に小さくて、精度がよいことが分かった。これは我々の Photo-model-based 認識法の特徴点である。今後は複数対象物を同時に認識することを目指して、研究を続けていく。そして、各標識の具体的な内容をちゃんと認識したいと考えています。

#### 参考文献

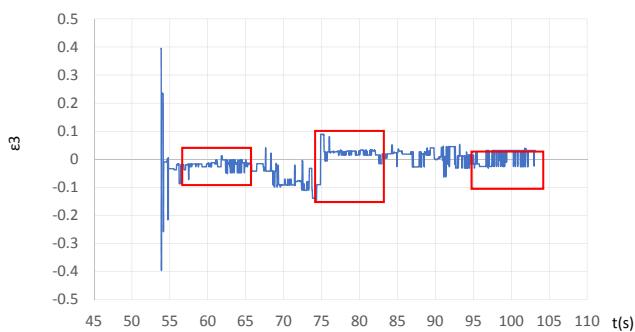
- [1] Ryuki Funakubo, Khaing Win Phyu, Ryota Hagiwara, Hongzhi Tian, Mamoru Minami: "Verification of Illumination Tolerance for Clothes Recognition," 22st International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2017.
- [2] 舟久保 龍希, Khaing Win Phyu, 田 宏志, 審 ギョウ郡, 見浪 譲, 矢納 陽: "複眼ハンドアイロボットを用いた不定形単品衣服ハンドリングとビジュアルサーボ," 第 27 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2017.
- [3] Khaing Win Phyu, Ryuki Funakubo, Ryota Hagiwara, Hongzhi Tian, Mamoru Minami: "Verification of illumination tolerance for photo-model-based cloth recognition," *Artif Life Robotics*, (2018 年掲載予定)
- [4] Woodfill, John Iselin, Gaile Gordon, and Ron Buck. "Tyzx deepsea high speed stereo vision system." Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW'04. Conference on. IEEE, 2004.
- [5] Cui, Yu, et al. "Analyses about Trackability of Hand-eye-vvergence Visual Servoing in Lateral Direction." Applied Mechanics and Materials. Vol. 772. Trans Tech Publications, 2015.



**Fig.10** The real-time recognition result of  $\epsilon_1$



**Fig.11** The real-time recognition result of  $\epsilon_2$



**Fig.12** The real-time recognition result of  $\epsilon_3$