

# 移動ロボットの適応視覚サーボを用いた制御

## Control of Mobile Robot Using Adaptive Visual Servoing

白鳥 亘 (阪大) 准 細田 耕 (阪大)  
正 浅田 稔 (阪大)

Wataru SHIROTORI, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka  
Koh HOSODA, Osaka University  
Minoru ASADA, Osaka University

In this paper, we propose to apply adaptive visual servoing control for navigating a wheeled mobile robot. The adaptive visual servoing controller does not need a priori knowledge on the robot and the environment. An experimental result is shown to demonstrate the effectiveness, in which we find characteristics of the “non-holonomic” constraint.

*Key Words* : adaptive visual servoing, mobile robot, non-holonomic constraint

### 1 はじめに

視覚を用いた移動ロボットに関する従来の研究では、視覚からロボットの2次元位置、姿勢の再構成を行い、それに対する内界センサによるデッドレコニングによってロボットの位置姿勢を制御するのが一般的であった。しかしながらこのような方法では、外乱に対し速い応答を得ることができない。近年、ロボットのサーボループに視覚情報を直接フィードバックする視覚サーボに関する研究が進んでいる。視覚サーボを用いることによりロボットを外乱に対してロバストにすることができると考えられる。

三河らは、移動ロボットに単眼のカメラを搭載し、視覚サーボを適用することを提案している<sup>1)2)</sup>。これらの研究では、画像特徴量とカメラの位置、姿勢間の関係を記述する画像ヤコビ行列は既知として、視覚サーボを適用している。そのためには例えばロボットから追跡対象物までの距離など、環境に対するかなり詳しい知識が必要であり、ロボットの精密なキャリブレーションが必要であったり、ロボットが未知環境内で動作する場合などには適用できない。

本報告では、ロボット自身や環境についての知識がほとんどロボットに与えられていない場合にもロボットが動作できる適応型視覚サーボ<sup>3)</sup>を用いて、移動ロボットの制御をすることを提案する。これにより、ロボットや環境に対する知識を用いずに移動ロボットのナビゲーションをすることができる。また提案する手法がロボットにどのような挙動をさせるかの検証実験を行う。

### 2 移動ロボットへの視覚サーボの適用

#### 2.1 対象とする移動ロボット

対象とする移動ロボットと、与えられる作業を Fig.1に示す。ここで対象としたロボットは独立二輪操舵 (PWS) 型で、左右輪独立駆動により前後運動の速度  $u$  と回転速度  $\phi$  を実現できるとする。また視覚として2台のカメラを搭載し、追従対象となる2点をそれぞれのカメラで観測する。ロボットに与えられる作業は追跡対象点が与えられた見え方になるように移動することである。

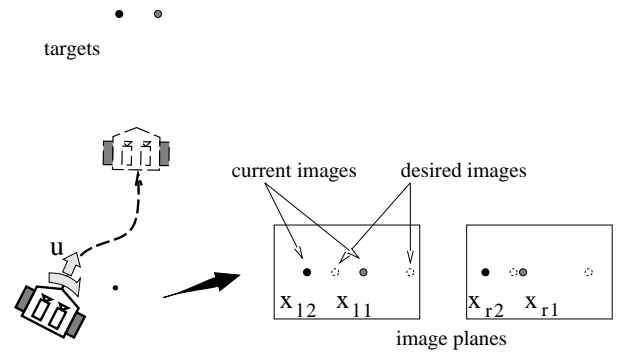


Fig.1 PWS mobile robot equipped with cameras

ロボットへの速度入力  $\dot{\theta} = [u \ \phi]^T$  と画像特徴量ベクトル  ${}^I x = (x_{r1}, x_{r2}, x_{l1}, x_{l2})$  の関係は

$${}^I \dot{x} = J \dot{\theta} \quad (1)$$

のように書ける。ここで、 $J \in \mathbb{R}^{2 \times 4}$  は、ロボットの入力とカメラ画像間の関係を表すヤコビ行列である。

#### 2.2 適応視覚サーボ系の適用

視覚サーボを適用するにはヤコビ行列  $J$  が必要になるが、これはロボット自身や環境のさまざまなパラメータ、例えばカメラの焦点距離やカメラから対象点までの距離などの関数になる。しかしながらこれらのパラメータ、特に対象点から見たカメラの位置、姿勢などは、環境が未知の場合にはあらかじめ与えることができない。そこで本報告では、細田ら<sup>3)</sup>の提案するヤコビ行列の推定器

$$\hat{j}_i(k+1) - \hat{j}_i(k) = \frac{\{x(k+1) - x(k) - \hat{J}(k)\dot{\theta}(k)\}_i}{\rho_i + \dot{\theta}(k)^T W_i(k)\dot{\theta}(k)} W_i(k)\dot{\theta}(k) \quad (2)$$

を用いる。ここで、 $\hat{j}_i(k)$  は  $k$  ステップ目の  $J$  の第  $i$  行ベクトル  $j_i^T$  の推定値、 $W_i, \rho_i$  は推定の速度と安定性を決

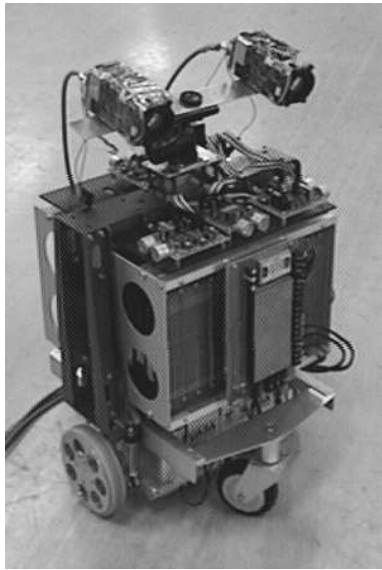


Fig.2 Mobile robot used for experiment

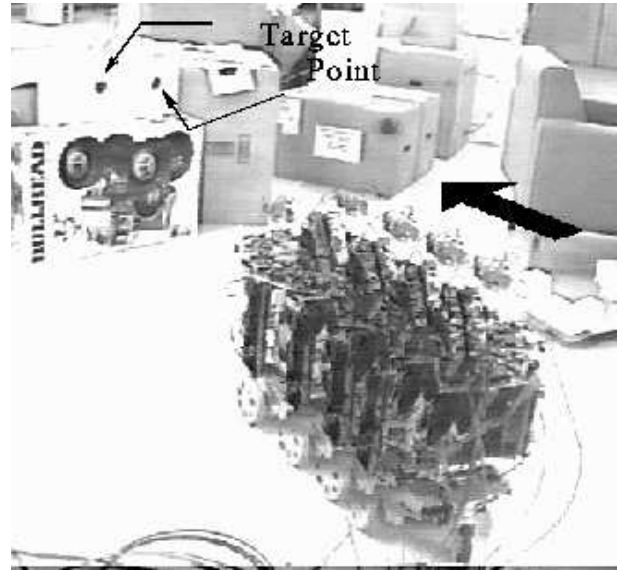


Fig.3 Movement of the mobile robot

めるパラメータである．この推定器は環境に関する先験的知識を全く必要としないため，未知環境での移動ロボットのナビゲーションにも使用できると期待される．

ヤコビ行列の推定値  $\hat{J}$  を用いて，画像上での目標値  ${}^I x_d$  に，システムの出力を収束させるようなフィードバック入力として

$$\dot{\theta} = K\hat{J}^+ ({}^I x_d - {}^I x) \quad (3)$$

を用いることとする．ここで  $K$  は正定ゲイン行列である．

### 3 実験結果

提案する手法の動作を確認するための実験を行った．実験には移動ロボット「山彦」に CCD カメラを搭載したものをを用いた (Fig.2)．各カメラから  $256 \times 256$  [pixel] の画像が得られ，これらを画像相関プロセッサを用いて処理することにより，追跡対象点の  $x$  座標を得ることができる．実際のロボットの動きを Fig.3 に，画像上での対象物とその目標値との誤差を Fig.4 に示す．Fig.4 より，ロボットは画像上で観測できる特徴点が目標の見え方になるように移動しているのが分かる．しかしながら，誤差は完全に 0 に収束していない．これは移動ロボットの非ホロノミック拘束によるものであると考えられる．

### 4 おわりに

適応型視覚サーボ系を用いることによってマニピュレータと同様に，移動ロボットについても，ロボットや環境に対する知識なしに，ある程度ナビゲーションが可能であることを実験により示した．

しかしながら実験でも観測されるように，車輪型移動ロボットに存在する非ホロノミック拘束による局所解への停留の問題は解決されていない．ロボットや環境に対して完全な知識がある場合には，ロボットの 2 次元位置を再構成して，その情報を元にチェインド・フォームなどの解法<sup>4)</sup>を用いてナビゲーションが可能であるが，これらの知識が与えられていない場合に，ロボット自身がいかにしてその拘束を発見し，停留点を脱出するかについては，議論が必要であると考えられる．

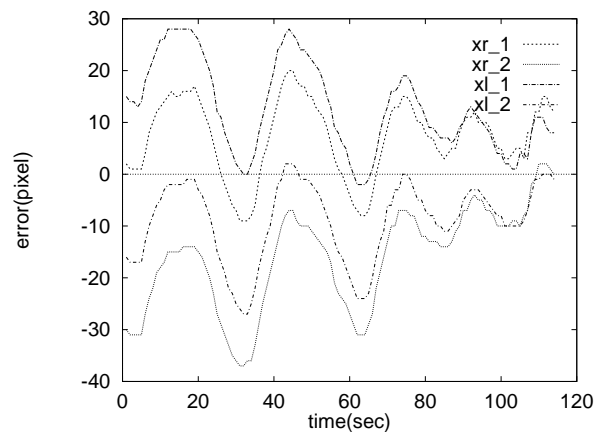


Fig.4 Error between Desired Points and Current Point

### 参考文献

- [1] 三河正彦, 丸典明, 升谷保博, 宮崎文男. ビジュアルサーボを用いた自律移動ロボットの制御. 第11回日本ロボット学会学術講演会, pp. 1309-1310, 1993.
- [2] 三河正彦, 丸典明, 升谷保博, 宮崎文男. ビジュアルサーボを用いた自律移動ロボットの制御. 第3回. ロボットシンポジウム, pp. 321-326, 1993.
- [3] 細田, 浅田. 構造やパラメータに関する先験的な知識を必要としないフィードフォワード補償器を持つ適応型ビジュアルサーボ系の構成. 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 159-165, 1996.
- [4] S. S. Sastry R. M. Murray. Nonholonomic Motion Planning : Steering Using Sinusoid. *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 38, No. 5, pp. 701-716, 1993.