

# ビジュアルサーボ系による移動対象物の追跡視

○細田 耕 浅田 稔  
大阪大学 工学部

## Tracking Moving Object Using Versatile Visual Servoing

○Koh HOSODA Minoru ASADA  
Osaka University

**Abstract** — In this paper, we propose a method to track a object moving with unknown velocity, without knowing a priori knowledge of the system and the environment. The arm is utilized to estimate the Jacobian matrices, and using them tracking is realized. A simulation result demonstrates the effectiveness of the proposed scheme.

### 1 はじめに

未知あるいは動的環境内で、与えられたタスクを遂行するロボットシステムを構成する際、視覚センサの果たす役割は重要である。近年、視覚センサをロボットの制御ループに組み込むビジュアルサーボ系に関する研究が多くなされて来ているが、そのほとんどがシステムおよび環境に関してかなりの知識を必要とする場合が多い。筆者らは、静止あるいは既知の運動をする対象物に対して、システムのヤコビ行列の推定機構を持つサーボ系の構成法を提案した<sup>1)</sup>。

未知の運動をする対象物を先験的な知識なしで追跡する場合、未知変数が多くなり、タスクを実行することが困難となる。しかし、一般に追跡視をするのはその対象に対して何らかの作用をするためである場合が多く、そのためのロボットアームを持っていると考えられる。そこで、本報告ではシステムの持つロボットアームを利用し、アームを対象に追従させると同時に、未知の運動をする対象物を先験的な知識なしで追跡視する方法について述べる。また、シミュレーションにより提案する手法の有効性を検証する。

### 2 ロボットシステムに与えられるタスクと仮定

ロボットシステムは視覚と、対象物に作用するためのロボットアームを持つものとする (Fig.1)。対象物は未知の速度で移動しており、これにアームを追従させ、かつ視覚センサを対象物が望みの見え方をするように、能動的に移動させることをタスクとする。この際、システムはシステム自身と環境に関する先験的な知識を持たないとする。

システムは、アームの先端と追跡対象物の何らかの画像特徴量を観測できるとし、アーム先端と対象物は、同じ次元の画像特徴量 (たとえば、双方とも点) を持つと仮定する。システムは自らの構造に関する先験的な知識は持たないが、どの関節がアームおよびカメラを駆動するかを知ることが出来るとする。

### 3 アームを利用したビジュアルサーボ

#### 3.1 システムの記述

アーム先端の画像上での特徴量を  $x_a$ 、対象物の特徴量を  $x_o$ 、アーム部のアクチュエータの変位を  $\theta_a$ 、カ

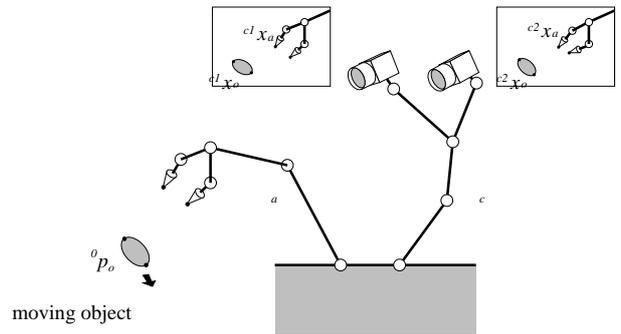


Fig.1 Visual servoing tracking moving object

メラ部のアクチュエータの変位を  $\theta_c$ 、対象物の基本座標系からみた3次元位置姿勢を  $p$  とすると、

$$x_a = x_a(\theta_a, \theta_c) \quad (1)$$

$$x_o = x_o(p, \theta_c) \quad (2)$$

と書ける。これを微分することにより、

$$\dot{x}_a = J_{aa}\dot{\theta}_a + J_{ac}\dot{\theta}_c \quad (3)$$

$$\dot{x}_o = J_{op}\dot{p} + J_{oc}\dot{\theta}_c \quad (4)$$

を得る。ここで、 $J_{aa} = \partial x_a / \partial \theta_a$ 、 $J_{ac} = \partial x_a / \partial \theta_c$ 、 $J_{op} = \partial x_o / \partial p$ 、 $J_{oc} = \partial x_o / \partial \theta_c$  なるヤコビ行列である。

アームを用いないで未知の運動をする対象を追跡する場合、式(4)において、 $J_{op}$ 、 $J_{oc}$ 、 $\dot{p}$  が未知となり、制約条件が不足して問題を解くことは難しく、例えば対象は一定の速度で移動しているなどの仮定をおく必要がある<sup>2)</sup>。ところがアームを利用すると、式(3)より、ヤコビ行列  $J_{aa}$ 、 $J_{ac}$  の推定が可能となり、対象とアームの先端が近い場合には  $J_{ac}$  が  $J_{oc}$  にほぼ等しいことに着目すると、対象に対するアームの追従と同時に、対象に関する追跡視も実現できる。

#### 3.2 ヤコビ行列の推定則

アーム先端から、カメラまでの状態を記述する変数は、 $\theta_a$ 、 $\theta_c$  として全て観測可能であるため、文献1)のヤコビ行列の推定法を用いることが出来る。画像とアーム、カメラの変数間のヤコビ行列をまと

めて  $J \triangleq [J_{ac} \ J_{aa}]$  とし,  $u(k) \triangleq [\theta_c(k+1)^T - \theta_c(k)^T, \theta_a(k+1)^T - \theta_a(k)^T]^T$  とすると,  $J$  の推定値  $\hat{J}$  を

$$\hat{J}(k+1) - \hat{J}(k) = \frac{\{x(k+1) - x(k) - \hat{J}(k)u(k)\}u(k)^T W(k)}{\rho + u(k)^T W(k)u(k)} \quad (5)$$

とする. ここで,  $W(k)$  は各要素間の重み行列,  $\rho (0 \leq \rho \leq 1)$  は忘却係数である.

### 3.3 提案する制御則

先に述べたように  $\hat{J}_{ac}$  を  $J_{oc}$  の推定値として利用することにより, サーボ系を構成する. システムの各アクチュエータは速度制御されているとして,  $\dot{\theta}_a$  に対する入力  $u_a$ ,  $\dot{\theta}_c$  に対する入力  $u_c$  を求める. カメラを駆動する関節については, 追跡対象物の速度が未知であるため, フィードバックのみで制御系を構成する.

$$u_c = -K_c \hat{J}_{ac}^T (x_o - x_d) \quad (6)$$

一方, アームに対する制御則として, カメラヘッドの動き (6) をキャンセルするような入力を伴うものにするとも考えられるが, ここでは  $x_o \approx x_a$  のようなケースを想定し, フィードバック則,

$$u_a = -K_a \hat{J}_{aa}^T (x_a - x_o) \quad (7)$$

とする. ここで,  $K_c$ ,  $K_a$  は正定のゲイン行列,  $x_d$  は, 対象物の望ましい見え方 (例えば, 画像の中心) である. 式 (6) によって, アームの先端を対象物に追従させ, 式 (7) により, 対象物が望ましい見え方になるようカメラを制御する.

## 4 シミュレーション

提案する手法の有効性を検証するために, シミュレーションを行なう. 対象となるシステムを Fig.2 に示す. 追跡対象物はカメラ部の基準座標系から見て  $[-0.2, 0.05, 0.1]$  だけ, 3秒間で移動する. 見え方の目標値  $x_d$  として, 時刻  $t = 0$  での見え方を与えた. 比較の対象として, カメラおよびアームを動かさなかった場合についても結果を算出した. カメラ1について, 追跡対象物の像と目標の見え方の誤差ノルムを Fig.3 に, 追跡対象物とアーム先端の画像上での誤差ノルムを Fig.4 に示す. アーム部を利用することにより, システム, 環境に対する先験的知識なしに, 未知の運動をする対象物の追跡視を実現できることがわかった.

## 5 おわりに

本報告ではシステムを持つロボットアームを利用し, アームを対象に追従させると同時に, 未知の運動をする対象物を先験的知識なしに追跡視する方法について述べ, シミュレーションによりその有効性を検証した.

### 参考文献

- 1) 細田, 浅田. 構造やパラメータに関する知識を用いないビジュアルサーボ系の構成. 第4回ロボットシンポジウム予稿集, pp. 37-42, 1994.
- 2) N. P. Papanikolopoulos and P. K. Khosla. Adaptive Robotic Visual Tracking: Theory and Experiments. *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 38, No. 3, pp. 429-445, 1993.

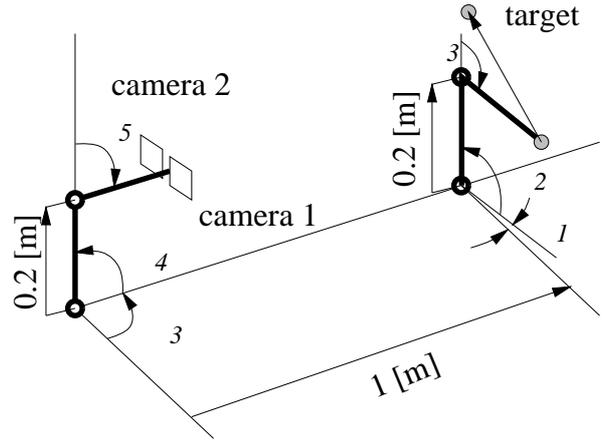


Fig.2 System for simulation

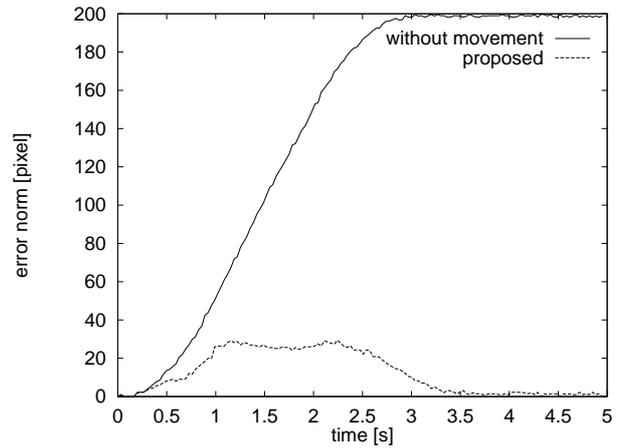


Fig.3 Simulation result (error norm  $\|x_o - x_d\|$ )

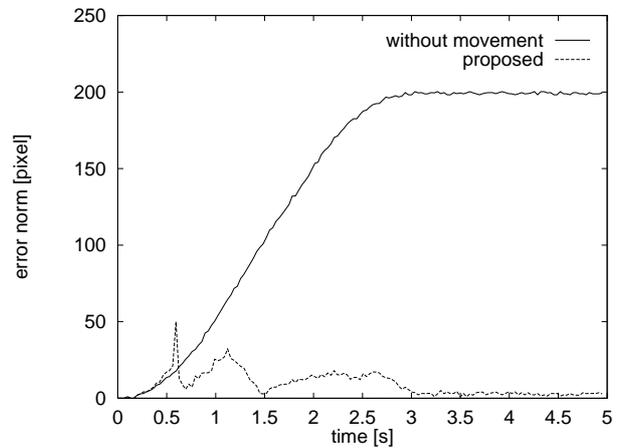


Fig.4 Simulation result (error norm  $\|x_a - x_o\|$ )