

# キャリブレーションされていない視覚・マニピュレータ系の 障害物回避

阪本 健二      細田 耕      浅田 稔  
大阪大学工学部

## Obstacle Avoidance of Uncalibrated Camera-Manipulator System

Kenji SAKAMOTO      Koh HOSODA      Minoru ASADA  
Osaka University

### 1 はじめに

ロボットシステムが、未知あるいは動的な環境内で与えられたタスクを実行するためには、環境の状態やシステムの行動の結果を観測するために、外界センサが必要である。このような外界センサの中でも、特に、視覚センサは観測の際に外界との物理的な干渉がないため、有効であると考えられる。視覚・マニピュレータシステムが未知環境内で動作するための方策として、近年、視覚をマニピュレータのフィードバックループに組み込む、ビジュアルサーボ系が注目されている。

このようなビジュアルサーボ系の中でも、環境の3次元再構成をせず、画像情報を直接フィードバックする方法は、計算コストが低いことで注目されているが、3次元再構成をしないために、タスクを実行するための目標軌道をいかにして生成するかが問題となる。Hager<sup>1)</sup>は2台のカメラを持つシステムについて、画像間の幾何学的拘束を用いて目標軌道を生成する方法について述べているが、環境が直線からなるという仮定をおいている。

本報告では、2台のカメラとマニピュレータを持つシステムに対し、細田ら<sup>2)</sup>のビジュアルサーボ系を適用することを想定し、画像上で観測されている障害物を回避するタスクを実現するための軌道生成法について述べる。提案する方法は、障害物の領域が画像上で背景から分離できる限り、適用可能であり、より広いクラス的环境に適用可能であると考えられる。また、環境に対する詳しい先験的知識を必要としない。以下では、まず2台のカメラ上の画像に関する幾何学的拘束であるエピポーラ拘束について述べ、これを用い、障害物回避のための軌道を生成する手法について述べる。そして実験によりその有効性を検証する。また提案する方法の改善点について考察し、今後の方針を述べる。

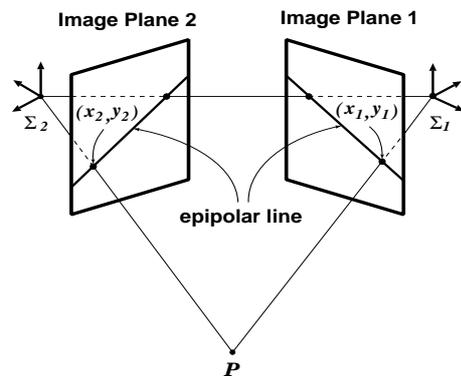


Fig.1 Stereo Vision System

### 2 幾何学的拘束

任意の配置の2台のカメラにおいて、その相対位置、姿勢が固定されているとすると、3次元空間内のある点  $P$  の各カメラの画像上の像  $p_1 = [x_1, y_1, 1]^T$ ,  $p_2 = [x_2, y_2, 1]^T$  の間には、エピポーラ拘束と呼ばれる

$$p_1^T E p_2 = 0 \quad (1)$$

なる関係があることが知られている<sup>3)</sup> (Fig.1参照)。ここで  $E$  は左右カメラ間の相対位置・姿勢関係および2台のカメラのパラメータを含む  $3 \times 3$  行列である。行列  $E$  の推定には、2台のカメラ画像上で、対応がついている点が最低8点存在すればよい<sup>1)</sup>。ここでは、例えばマニピュレータの先端があらかじめ認識されているものとし、マニピュレータを動作させることで対応がついている8点を観測できるものとする。このエピポーラ拘束を用いることにより、片方の画像上で与えられた1点が、もう片方の画像上で、(1)式により与えられる直線(エピポーラ・ライン)上に存在することがわかる。

### 3 障害物回避軌道の生成

ここでは、『複数カメラの画像上で、同時に障害物と接触していなければ、3次元空間内でも干渉しない』という考えに基づき、エピポーラ・ラインを利用して

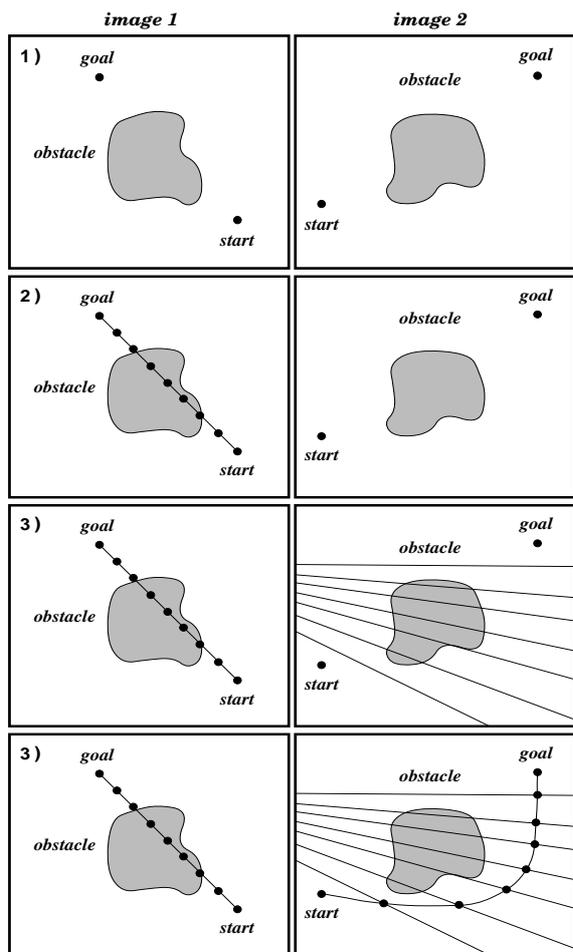


Fig.2 Trajectory generation algorithm

障害物回避軌道を生成する．画像上にマニピュレータの始点，終点が与えられ，かつ障害物は背景から何らかの画像処理によって抽出されているものとする．提案する，障害物回避タスクのための軌道生成のアルゴリズムは，以下の通りである (Fig.2) ．

1. 片方の画像上で始点と終点を直線で結び適当な間隔で区切る (Fig.2,2) ．
2. 区切られた通過点の，もう片方での像を求めるために (1) 式を用い，対応するエピポーララインを求める (Fig.2,3) ．
3. エピポーラライン上を探索し，障害物領域を避けるような軌道を求める (Fig.2,4) ．

#### 4 実験

提案した手法により障害物回避軌道を生成し，これをビジュアルサーボ系<sup>2)</sup>に与えることによって，障害物回避が実現できることを，実験により示す．

##### 4.1 実験装置

実験に用いるシステムの全景を Fig.3 に，装置の概要を Fig.4 に示す．2 台のカメラから得られた画像



Fig.3 Eye-manipulator system used for experiments

は，画像処理ボード (DATA CUBE MaxVideo 200) に送られ，そこで  $512 \times 480$  [pixel] の 1 つの画像に結合される．ここでは，障害物を認識するための二値化などの処理も行なう．ここから出力された信号は，画像上の特定のパターンを追跡し，その画像上での座標を出力するトラッキングモジュール (富士通) に送られる．出力された座標は CPU ボード (motorola MVME167, CPU:68040, 33MHz) に送られ，これを基にマニピュレータ (KAWASAKI Js-5) が制御される．サンプリング時間は  $1/30$  [s] で，システムは全くキャリブレーションされていない．

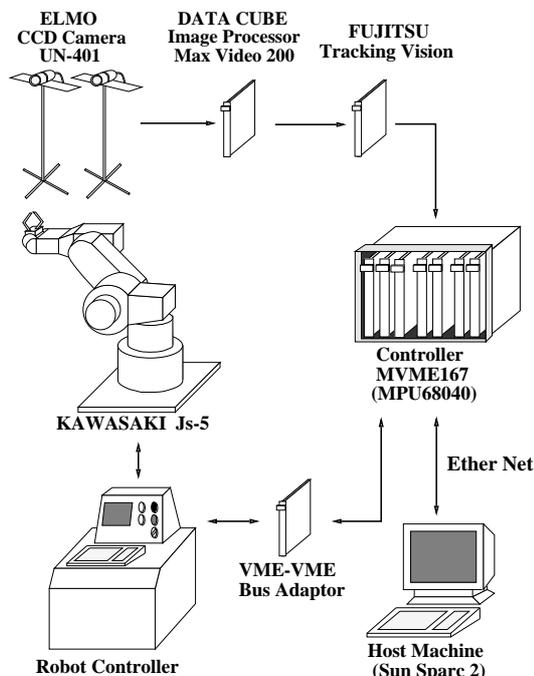
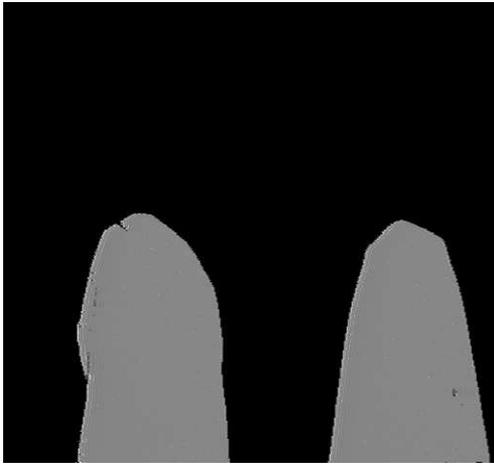


Fig.4 Experimental equipment

**Table 1** Estimate Points [pixel]

No.	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$
1	170	168	441	162
2	126	134	413	142
3	96	100	384	122
4	95	111	352	141
5	96	126	324	160
6	41	181	302	220
7	68	277	289	297
8	106	389	273	391



**Fig.5** Obstacle region obtained by thresholding operation

#### 4.2 拘束行列の推定

障害物回避軌道を生成する前にマニピュレータを適当に動作させ、拘束行列  $E$  を推定するための点を抽出した。抽出されたのは Table.1 に示す 8 点である。この 8 点を基に行列  $E$  を推定すると、

$$E = \begin{bmatrix} -5.2 \times 10^{-5} & 1.0 \times 10^{-5} & -1.1 \times 10^{-2} \\ 1.2 \times 10^{-4} & 2.5 \times 10^{-5} & 4.1 \times 10^{-2} \\ 5.8 \times 10^{-3} & -3.3 \times 10^{-2} & 1.0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

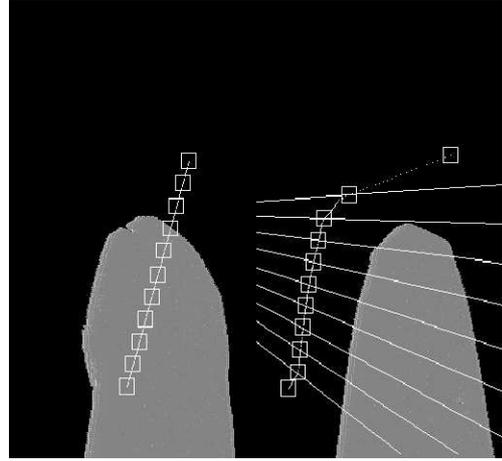
となる。

#### 4.3 障害物領域の認識および生成された軌道

ここでは、2 値化操作を行うことにより、障害物が背景から抽出できる場合を考えている (Fig.5)。提案する方法により生成された障害物回避軌道を Fig.6 に示す。

#### 4.4 ビジュアルサーボを適用した実験結果

生成された軌道をビジュアルサーボ系<sup>2)</sup>に与え、障害物回避タスクを実行させた結果を示す。ロボットの初期姿勢を Fig.7 に、最終姿勢を Fig.8 に示す。また、



**Fig.6** Generated trajectory by using proposed method



**Fig.7** Initial posture

目標軌道からの画像上の追従誤差を Fig.9, Fig.10 に示す。33[s] で算出された目標軌道上を移動し、その後は終点を目標としている。

提案する手法により、環境に対する詳しい知識なしに、障害物回避軌道が生成でき、これをビジュアルサーボ系に与えることにより障害物回避タスクを実現できることが示された。

## 5 検討および今後の方針

本報告では、エピソード拘束を利用し、障害物回避軌道を生成する方法を提案し、実験によりその有効性を確認した。

本報告で提案した手法では、カメラと障害物の距離に比べてカメラ間の距離が小さい場合には、生成される障害物回避軌道が、3次元空間内で大きく迂回する軌道になってしまったり、障害物回避軌道を算出

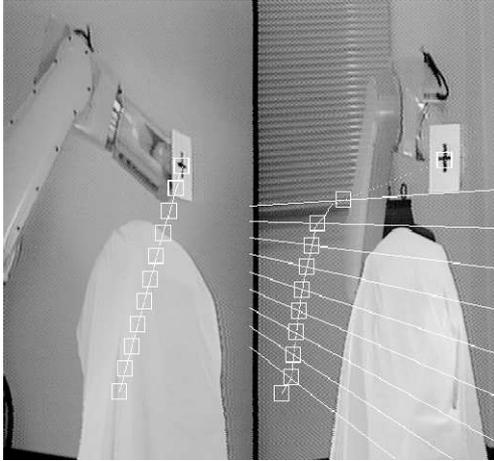


Fig.8 Goal posture

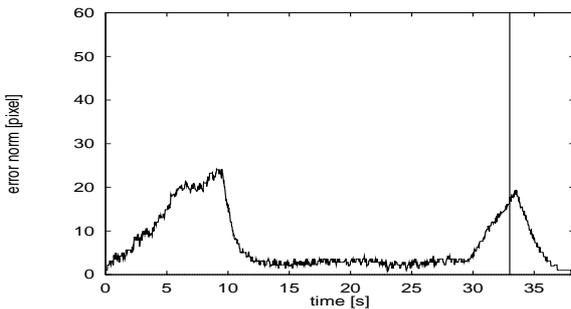


Fig.9 Error norm in image plane 1

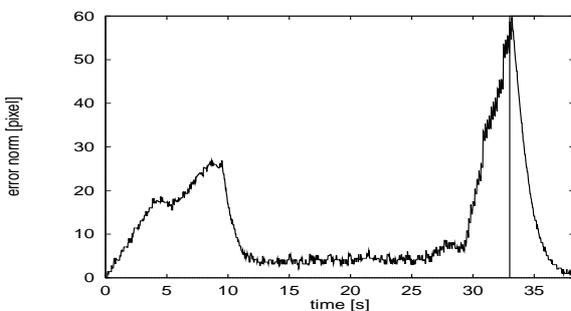


Fig.10 Error norm in image plane 2

できなくなる可能性がある．このような場合には，障害物表面上の対応のついた特徴点を利用し，障害物領域を分割することで，カメラ配置に依存しにくい障害物回避軌道を生成することができると考えられる．その方法は以下のようなものである．

1. 各画像において，始点，終点を与えられている．
2. 障害物領域上の対応する特徴点を抽出し，画像上の障害物領域を適当な大きさの領域に分割する．
3. 分割された領域について，本報告で提案した軌道生成法を適用し，得られた局所的な回避軌道を繋ぎ合わせることによって障害物回避軌道を生成する．

この方法を用いた障害物回避軌道について，現在検討中である．

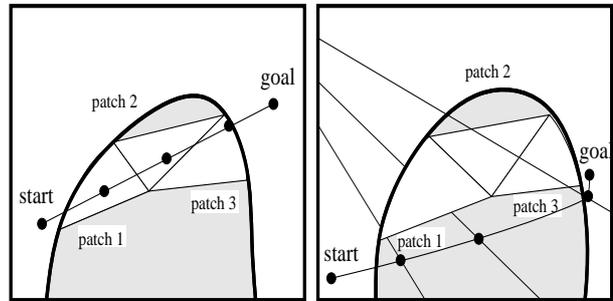


Fig.11 Trajectory generation algorithm using small patches

## 参考文献

- [1] G. D. Hager. Real-Time Feature Tracking and Projective Invariance as a Basis for Hand-Eye Coordination. In *Proc. of IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 533–539, 1994.
- [2] K. Hosoda and M. Asada. Versatile Visual Servoing without Knowledge of True Jacobian. In *Proc. of IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems 1994 (IROS '94)*, pp. 186–193, 1994.
- [3] H. C. Longuet-Higgins. A computer Algorithm for Reconstructing a Scene from Two Projections. *Nature*, Vol. 293, pp. 133–135, 1981.