

# 3次元再構成を行なわない複数画像情報からの障害物回避軌道の生成

阪本 健二      細田 耕      浅田 稔  
大阪大学工学部

## Trajectory Generation from Multiple Images without 3D Reconstruction

Kenji SAKAMOTO      Koh HOSODA      Minoru ASADA  
Osaka University

### 1 はじめに

近年、ビジュアルサーボに関する研究が多くなされているが、その多くはシステムの構造などのパラメータをあらかじめ同定する必要がある。細田ら<sup>1)</sup>はシステムの構造やパラメータに関する先験的な知識を持たない場合にパラメータをオンラインで推定するビジュアルサーボ系の構成法を提案した。この手法を用いる場合、システムがシステム自身や環境に対する知識を持たないため、物理的に実現可能な目標値を、画像上でいかに生成するかが問題となってくる。

本報告では、文献<sup>1)</sup>のビジュアルサーボ系のもとで、オンライン推定したエピポラ拘束を用い、障害物回避のための軌道を生成する手法について述べ、シミュレーションによってその有効性を検証する。

### 2 ビジュアルサーボ系

#### 2.1 概要と特徴

細田らの提案する手法は、関節変位ベクトルを  $\theta \in \mathbb{R}^n$ 、その時に得られる画像特徴量を  $x \in \mathbb{R}^m$  とする時、

$$x = x(\theta) \quad (1)$$

のもとで成立する

$$\dot{x} = J(\theta)\dot{\theta} \quad (2)$$

の  $J$  を、真値ではなく  $J$  と関節速度ベクトル  $\dot{\theta}$  の積が真値に近づくように推定するものであり、システムの状態を記述する変数がすべて既知、すなわちロボットの関節角度やカメラの相対位置を表す関節変位が観測できれば、システムの構造やパラメータに関する先験的な知識を全く必要としないという特徴を持つ。

ここで、 $J(\theta)$  は画像特徴量速度と関節角速度間の関係を記述する  $m \times n$  のヤコビ行列であり、カメラパラメータ、アームの構造やリンクパラメータ、カメラアーム間の変換行列などを含んでいる。

#### 2.2 ビジュアルサーボ系の構成

前節の手法で、画像平面上での特徴量の目標軌道として、1階微分可能な軌道  $x_d$  が与えられる場合、ビジュアルサーボ系

$$\dot{\theta} = \hat{J}^+ \dot{x}_d + (I_n - \hat{J}^+ \hat{J})k - K\hat{J}^T e \quad (3)$$

を用いる。

ここで、 $\hat{J}^+$  は(2)式の  $J$  の推定値  $\hat{J}$  の疑似逆行列で、 $I_n$  は  $n \times n$  の単位行列、 $K$  は正定ゲイン行列、 $e (= x - x_d)$  は誤差ベクトルである。また、 $k$  は関節自由度が目標を実現するというタスクに対して冗長

である時に、その冗長性を記述する任意のベクトルとなる。

本報告では、この目標軌道  $x_d$  を、2台のカメラを用いて3次元再構成を行わずに生成する手法を提案する。

### 3 障害物回避軌道の生成

#### 3.1 幾何学的拘束

一般的なステレオカメラシステム (Fig.1) では、3次元空間内の点  $P$  の、左右のカメラにおける画像  $p_l, p_r$  間にはエピポラ拘束と呼ばれる

$$p_r^T E p_l = 0 \quad (4)$$

の関係がある<sup>2)3)</sup>。

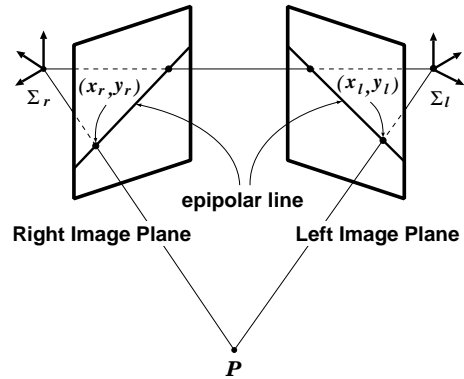


Fig.1 Stereo Vision System

ここで、 $p_l = [x_l, y_l, 1]^T$ 、 $p_r = [x_r, y_r, 1]^T$  は画像上の点で、 $E$  は左右カメラ間の相対位置・姿勢関係および左右のカメラパラメータを含む  $3 \times 3$  の行列であり、 $E$  の推定には、左右の画像上で3次元的に対応がついている点が最低8点存在すればよい<sup>2)3)</sup>。

したがって、一方の画像上の点が決まれば、他方の画像上でのエピポラ拘束が生まれ、3次元的に対応のついた軌道を左右の画像上で与えることが可能となる。

#### 3.2 障害物回避軌道の生成

ここでは、『左右どちらかの画像上で障害物と接触していないものは3次元空間内でも接触していない』という考えに基づき、前節で示されたエピポラ拘束を用いて障害物回避軌道を生成する。

ここで、2台のカメラの相対的な位置関係は固定とし、初期状態で、始点、終点、障害物は左右の画像内にあるものとする。

軌道生成のアルゴリズムを示す (Fig.2) .

1. 3次元空間内で始点と終点を与える .
2. 左(右)側の画像上で障害物領域に接触しない軌道を生成する .
3. (4)式を用い, 各通過点に対するエピポーララインを求める .
4. 右(左)側の画像上の軌道(ここでは単純に始点と終点を直線で結んだ)を求め, エピポーララインとの交点を求める .

このアルゴリズムを用いることにより, 3次元での障害物回避問題が2次元平面上での障害物回避問題に帰着でき, 従来の2次元の障害物回避の手法をそのまま用いることができる .

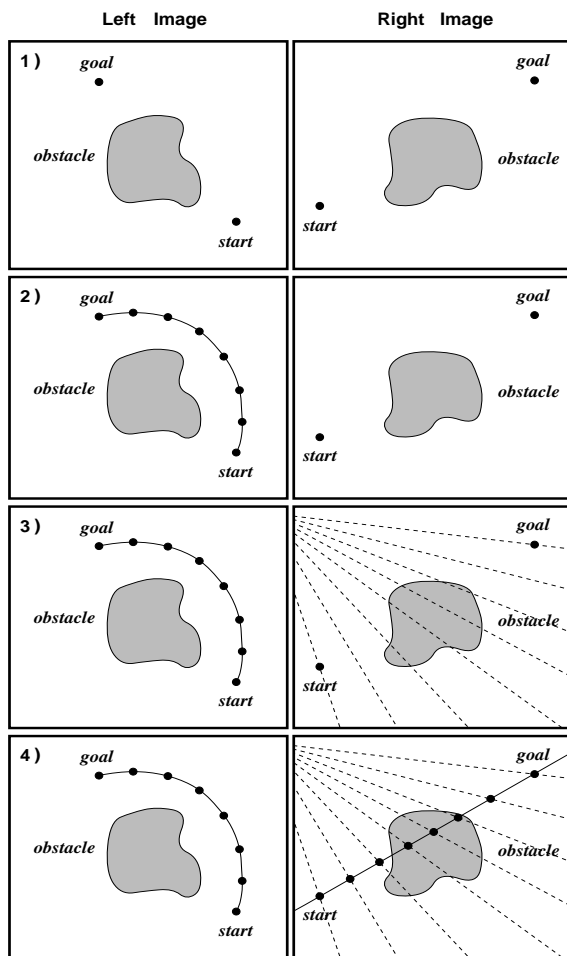


Fig.2 Trajectory Generation Algorithm

#### 4 シミュレーション

前章で提案した障害物回避軌道生成法の有効性を, 簡単なモデルを用いたシミュレーションによって検証した. なお, 2次元平面上での障害物回避の手法としては文献<sup>4)</sup>の手法を用いた.

ここで, 生成する回避軌道は, 始点を  $(x, y, z) = (-1.5, 1.3, 0.3)(m)$ , 終点を  $(1.5, 3.4, 1.5)(m)$  とし, 障害物は, 1辺  $1(m)$  の立方体で, 底面の4頂点は  $(-0.7, 2.0, 0.5), (0.3, 2.0, 0.5), (0.3, 3.0, 0.5), (-0.7, 3.0, 0.5)(m)$  にあるとする.

また, 左カメラは  $(0, -0.5, 2.0)(m)$ , 右カメラは  $(2.5, 1.8, 2.0)(m)$  の位置で, それぞれ, (ロール, ピッチ, ヨー) =  $(0, 0, 85)(deg)$ ,  $(70, 0, 70)(deg)$  の姿勢をとっている.

生成された左右の2次元画像上の軌道を Fig.3(a), (b) に, その3次元空間内での軌跡と, 左右のカメラの姿勢を (c) に示す.

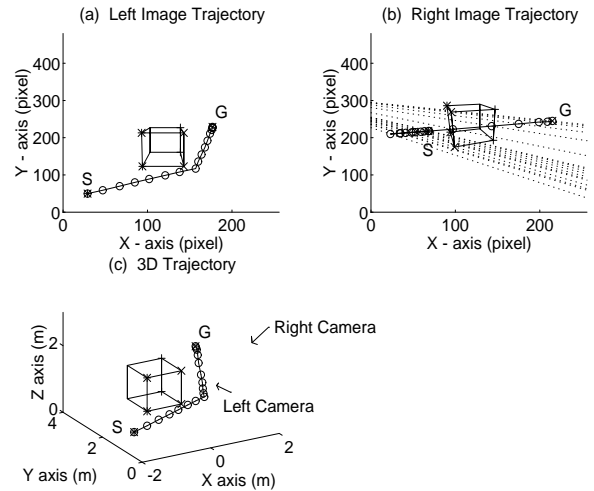


Fig.3 Simulation Result

Fig.3より生成された軌道は障害物を回避していることがわかる.

#### 5 考察・課題

エピポーラ拘束による対応づけを用いることによって, 3次元の障害物回避問題が2次元画像平面上での障害物回避問題に帰着できるようになり, システムの構造やパラメータに関する先験的な知識がない場合に, 3次元再構成を必要としない障害物回避軌道の生成を行なうことができるようになった.

しかしながら, 提案した手法では,

- 障害物が画像平面内で比較的大きく見える, または画像外にまで及ぶ場合, 始点, 終点が障害物領域上に存在する場合には適用できない.
- 生成される軌道が左右のカメラ配置に大きく依存する.

などの問題点が考えられる.

今後, 実験により本手法の有効性を検証し, 問題点の解決に取り組む予定である.

#### 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] G.D.Hager: “Real-Time Feature Tracking and Projective Invariance as a Basis for Hand-Eye Coordination”, *Int. Proc. Computer Vision and Pattern Recognition.*, pp.533-539, 1994.
- [3] H.C.Longuet-Higgins: “A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections”, *Nature*, 293, pp.133-135, 1981.
- [4] 中崎, 土谷: “可視性を考慮したポテンシャル法による動作計画”, 第11回日本ロボット学会学術講演会, pp.591-594, 1993.