

平面時空間画像からの3D直線パラメータ推定方式の一提案

3N-6

汪平涛 李春晓 坂内正夫

東京大学生産技術研究所

1 はじめに

3D空間を撮影した動画から3Dシーンを復元する手法の1つに、3D時空間画像(Spatio-Temporal-Image)を利用する方法があり、多くの研究が行われている[1]。しかし、3D時空間画像はデータ量が大きいため、各フレームから特徴となる点や線を抽出し、フレーム間で対応付ける処理が困難で、時間がかかるという問題がある。

これに対し、スリットに基づく時空間画像変換を行うと、3D時空間画像を平面時空間画像に変換してもシーンの形状を復元することができる[2]。変換によって得られる平面時空間画像は目標物体の3D情報を保ちながら、3D時空間画像に比べてデータを大幅に減らしている。さらに、カメラの運動を特殊な運動に制限すれば、3D空間の特定の直線が平面時空間画像上でも直線に変換されることが示されている。

しかし、3D空間の直線は一般的には平面時空間画像上の曲線に変換される。そこで本稿では、一般的な平面時空間画像上の曲線から、対応する3D直線のパラメータを推定する方式を提案する。

2 時空間画像の生成

平面時空間画像とは、3D時空間画像をある曲面に沿って展開・変換したものである。もっとも簡単な平面時空間画像は、3D時空間画像を任意の平面で切断した切断面である。もう少し複雑な平面時空間画像としては、3D時空間画像をある円柱面に沿って切断、展開したものが挙げられる。これは円スリットに基づく時空間変換を行ない、構成された平面時空間画像と同じである。

一般的に、スリットを画面上の点の集合

$$S = \{x_i, y_i : 0 \leq i < M\} \tag{1}$$

で表すと、平面時空間画像は

$$g(i, t) = f(x_i, y_i, t) \tag{2}$$

A Method for Estimating 3D Line's Parameters from Plane-STI
Pingtao Wang, Chunxiao Li, and Masao Sakauchi
Institute of Industrial Science, University of Tokyo
7-22-1 Roppongi, Minato-ku, Tokyo

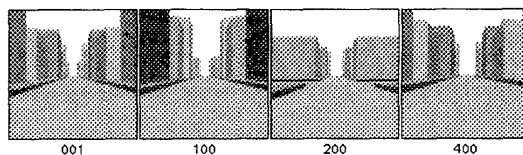


図1: 3D時空間画像—フレーム1,100,200,300

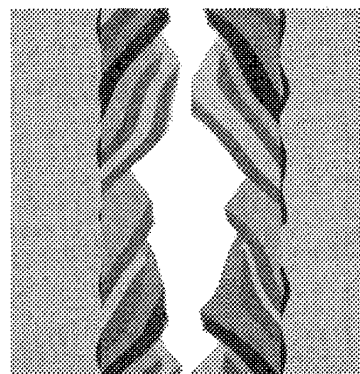


図2: 平面時空間画像

となる。ただし、 $f(x, y, t)$ は3D時空間画像の数学的な表現である。例えば、図1のような3D時空間画像に対して図2のような平面時空間画像を生成できる。

3 3D直線

3D空間において、ある直線はその直線方向ベクトル D と位置ベクトル P_0 によって一意に決められる:

$$P \times D = P_0 \times D \tag{3}$$

3D直線と射影中心(カメラレンズの焦点)からなる平面が3D直線の射影平面と定義され、射影ノーマルは射影平面の方向ベクトルであり、その大きさは直線の位置と次の関係がある:

$$N = P_0 \times D \tag{4}$$

そこで、3D直線の方程式(3)は

$$P \times D = N \tag{5}$$

となる。

カメラの運動を回転行列 R と移動ベクトル T で表すと、カメラ座標系において、3D直線方向 D' と位置ベクトル P'_0 は

$$\begin{aligned} D' &= RD \\ P'_0 &= R(P_0 + T) \end{aligned} \quad (6)$$

と表せる。また、カメラ座標系に対する3D直線のノーマルは

$$N' = RN + R(T \times D) \quad (7)$$

となる。

3D直線上のある点を画像平面に射影すると、射影中心からその点の「像」までのベクトルは射影ベクトル r と定義される。カメラ座標系においても、各射影ベクトルが射影平面に属するので、3D直線の射影ノーマルは射影ベクトル r (式())と常に垂直になる。つまり、

$$r \cdot N' = 0 \quad (8)$$

式(7)を上式に代入すれば、3D直線のパラメータは下式を満たす。

$$(R^{-1}r) \cdot N = ((R^{-1}r) \times T) \cdot D \quad (9)$$

4 3D直線パラメータの推定

ある3D直線が時空間画像上の m フレーム中に存在すると仮定すると、平面時空間画像より m 個の射影ベクトル $r_i, i = 0, 1, \dots, m-1$ が得られる。言い替えば、式(9)のような方程式が m 個ある。行列に書き直すと、

$$AN = BD \quad (10)$$

である。ただし、 A 、 B とも $m \times 3$ 行列である。

$$\begin{aligned} A &= \begin{pmatrix} (R_0^{-1}r_0)^T \\ (R_1^{-1}r_1)^T \\ \dots \\ (R_{m-1}^{-1}r_{m-1})^T \end{pmatrix} \\ B &= \begin{pmatrix} ((R_0^{-1}r_0) \times T_0)^T \\ ((R_1^{-1}r_1) \times T_1)^T \\ \dots \\ ((R_{m-1}^{-1}r_{m-1}) \times T_{m-1})^T \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

式(10)に線分パラメータの制約条件

$$\begin{cases} D^T D = 1 \\ D^T N = 0 \end{cases} \quad (12)$$

を加え最適化することにより、線分パラメータ D と N を求めることができる。

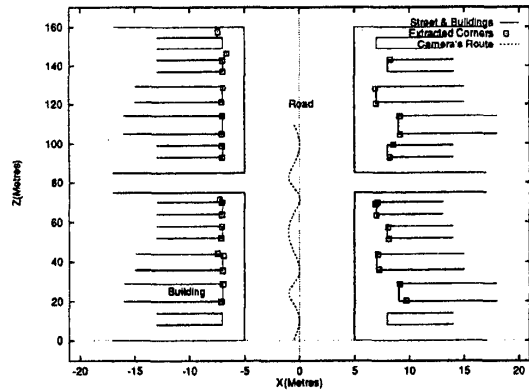


図3: 実験結果

5 実験結果

図2の平面時空間画像に対し実験を行なった。この平面時空間画像では建物の境界線が曲線に変換されているため、この曲線を抽出し、元の3D直線パラメータを推定することで、建物の角の位置を求めることができる。町の平面図と推定された建物の角の位置及びカメラの軌跡を図3に示す。推定された角の位置が町の平面図に合っていることが分かる。

6 おわり

本稿では、カメラ運動が既知であるという前提で、平面時空間画像上の曲線から対応する3D直線パラメータを推定する手法を提案し、実験を行い有効性を確認した。

今後は、数多くの時空間画像を対象として実験を行い、より精度の高い推定アルゴリズムを検討したい。また、平面時空間画像からカメラ運動を解析する方法も開発する予定である。

参考文献

- [1] T. S. Huang and A. N. Netravali, "Motion and structure from feature correspondences: A Review", IEEE Trans. PAMI, vol.82, no.2, pp.252-268, Feb. 1994.
- [2] C. X. Li, H. T. Zen, and M. Sakauchi, "3D Information Acquisition from Spatiotemporal Image Created by a Hyperbolic Slit", MAV'94, pp.54-57, Kawasaki, Japan.