

1台のパンチルトズームカメラによる複眼視からの3次元復元 3D Measurement by Multiple View using Single PTZ Camera

立河 慎也

Shinya TATEKAWA

大阪電気通信大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

光本 浩士

Hiroshi MITSUMOTO

1. はじめに

2次元の画像情報から3次元情報を復元する問題はコンピュータビジョンの中心的課題の1つである。よく知られた手法としてステレオ視があげられる。ステレオ視では2台のカメラがキャリブレーションできており、画像間の対応づけがなされておれば奥行き情報は求められる。対応づけに関しては、複眼視が有利であり、近年、多数のカメラを使った多視点幾何がさかんに研究されている。しかし、複眼視は、装置の設置の手間などの設置に関わる問題がある。

本稿では1台のパンチルトズームカメラ(図1:PTZカメラ)によって複眼視を実現できることを明らかにし、さらに3次元復元を行った。使用したPTZカメラはSONY製EVI-G20(外形寸法 W8.4 × H6.9 × D14.2 [cm])である。従来研究として、PTZカメラは設置した位置から、カメラをパンチルト回転させることができるため、移動物体の検出、追跡の用途に主に使用されている。また、山本ら[1]は本稿と同様にPTZカメラの回転中心と投影中心とのずれを利用し、人間の眼球の固視微動に示唆を得た3次元計測法を提案している。これは、生体に基づくビジョンシステムとして、非常に興味深い研究である。しかし、まだエッジの奥行き計測にとどまっている。本稿では1台のPTZカメラから各方向ごとに事前にキャリブレーションを行い複眼視を実現し、3次元情報の復元ができる事を示す。その前に、疑問点として、図1のPTZカメラを回転させた際の投影中心の移動量についてであるが、実験の結果±8°の回転により15cm移動している事がわかった。これは3次元復元が実現可能であることを示している。

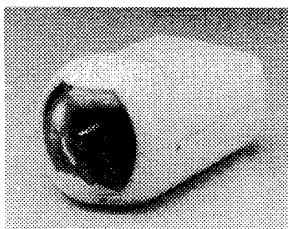


図1: PTZカメラ (SONY製 EVI-G20)

2. 複眼視の実現

2.1 処理の流れ

処理の流れを説明する。まずPTZカメラに対して事前にキャリブレーションを行う。これはPTZカメラを回転させ、キャリブレーション用の平面パターンを撮影し、カメラの内部パラメータと各視線ごとの外部パラメータを推定する。その後、得られたカメラパラメータから画像変換による平行化を行いステレオ対を構成する。3次元復元のための対応点探索は、複眼視による手法が考えられる。

2.2 カメラキャリブレーション

PTZカメラを各方向に回転させ、平面パターンを撮影することでカメラの方向ごとのキャリブレーションを行う。キャリブレーションにはZhang[2]の手法を使用した。

平面パターンの3次元座標を $M = (X, Y, 1)^T$ 、撮影した画像から抽出した平面パターンの2次元座標を $m = (u, v, 1)^T$ とすると、 m への射影は、

$$\lambda \tilde{m} = A[r_1 \ r_2 \ T] \tilde{M} = H \tilde{M} \quad (1)$$

によって記述できる。このとき A はカメラの内部パラメータ、 r_1, r_2 と T はカメラの回転行列 R の第1, 第2列ベクトルと平行移動を表す外部パラメータである。 $H = [h_1 \ h_2 \ h_3]$ とし、 r_1, r_2 の正規直交性による A に関する2つの拘束式、

$$h_1^T A^{-T} A^{-1} h_2 = 0 \quad (2)$$

$$h_1^T A^{-T} A^{-1} h_1 = h_2^T A^{-T} A^{-1} h_2 \quad (3)$$

からカメラのパラメータを求める。そして最後にここで求めた値を初期値とし、歪みパラメータ (e_i, e_j) を加え、

$$\sum_i^n \sum_j^m \|m_{ij} - \tilde{m}(A, \alpha, \beta, \gamma, t_i, M_j, e_i, e_j)\|^2 \quad (4)$$

を最小化するようにカメラパラメータの最適化を行う。

3. 実験

3.1 実験設定

実験では、PTZカメラの正面を0°とし、水平-8°~+8°、垂直-8°~+8°、角度のステップ幅を4°として回転させ、計25の姿勢から撮影した。撮影に使用する平面パターンの点の数は縦横7×7の49点、点の間隔は1.5cmである。平面パターンの配置を7回変更し、その後、全ての画像を使いキャリブレーションを行った。復元の対象には3次元座標が既知であるキャリブレーションに用いた平面パターンを使用した。

3.2 カメラの回転中心の推定

PTZカメラが、回転することによって、投影中心が16cm移動したことをすでに述べたが、カメラの大きさから考えると想像しづらい面がある。そこで、本節では実際の回転中心位置を推定し、カメラの回転構造を調査した。

基準となる投影中心を X とするとPTZカメラの回転によって移動した投影中心の3次元座標 X' は X から $T = (tx, ty, tz)^t$ 移動した後、回転行列 R をかけ、 T 戻すことにより求まる。よって、

$$X' = T_m R_m (-T_m) X \quad (5)$$

$$R_m = \begin{bmatrix} R & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix}, T_m = \begin{bmatrix} I & T \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

となる。式(6)を展開し T について整理すると下式の形になり、これを解く。

$$MT = B \quad (7)$$

投影中心、回転中心と平面パターンの3次元座標は図2に示すような位置関係になっている事がわかった。投影中心と回転中心の距離は約28cmとなり、カメラの外形寸法を超えた位置関係である。

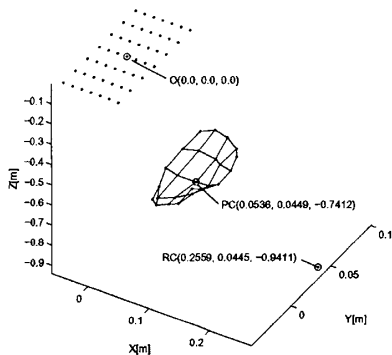


図2: 中央位置のカメラ姿勢の投影中心(PC)、回転中心(RC)と平面パターンを中心位置(O)

3.3 画像枚数と誤差との関係

復元精度と画像枚数との関係を調べる。結果を図3に示す。式(4)による最適化を行う前後の値についての表示も行った。結果から複数の視点を用いることにより、理論値との誤差が減少することを確認できた。カメラパラメータの最適化を行うことで誤差はさらに減少した。25個のカメラ視線を用いて復元を行った結果、カメラから約74cm離れたところで平均1.09mmの誤差となり、1台のPTZカメラによる複眼視から3次元復元が行えることが確認できた。

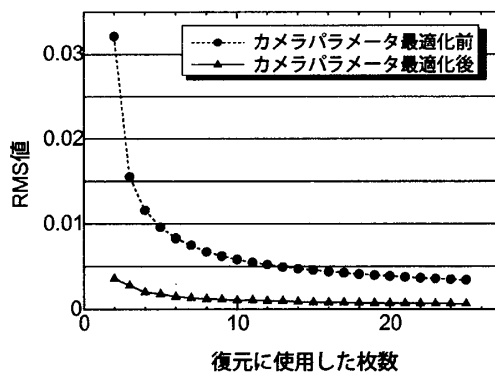


図3: カメラ視線数と復元精度の関係

3.4 カメラ間の距離と誤差との関係

選択するカメラ姿勢により視点間の距離(基線長)が変わるため、その距離と誤差との関係を検討する。選択するカメラの数を3,7とし、それぞれランダムにカメラ姿勢を1000回選び復元を行い、カメラ間の平均距離と理論値とのRMS値を求めた。結果を図4に示す。結果としてカメラの選択数が増えるにつれ誤差が安定していく。一方、カメラの間の距離である基線長が短くても精度良く復元できる組がある事がわかる。

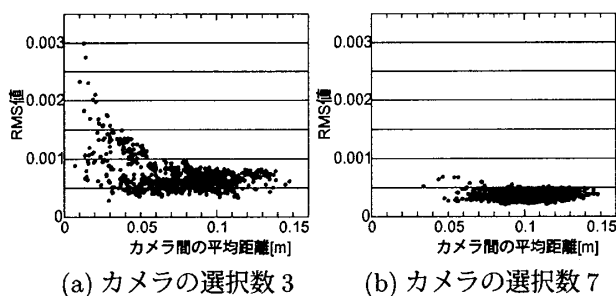


図4: カメラ間の距離によるRMS値の評価

3.5 MBS法による対応点探索

対応付けには、本手法では投影中心が同一平面上にないため、標準画像の奥行き(逆数)に基づく探索に改良したMBS法[3]を用いる。74cm離れた地点で、直径10画素程度の円の領域ならば対応づけが可能であった。これが複眼視による対応づけの特長である。図5に対応づけ結果とその際の2乗誤差ととの関係を示す。カメラ姿勢を4から25とカメラ数を増加させると、対応点付近で2乗誤差が急峻に小さくなる。最小値の箇所を注目点の奥行きとする。

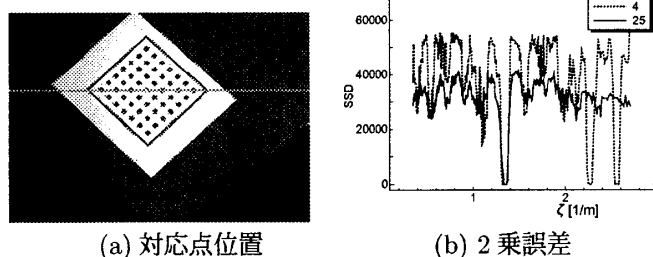


図5: MBS法による対応づけ

4. むすび

本稿では、1台のPTZカメラから3次元復元が可能である事を示した。さらに、その復元精度、用いる姿勢と精度の関係性を調べた。PTZカメラを用いる事により、複眼視の実現が容易になり、今後の複眼視の研究に貢献できると思われる。今後の課題としては、このPTZカメラによる複眼視を利用し、複眼視間の精細な対応づけについて研究したいと考えている。これは、濃度変化の無い領域に対して対応を試みる事であり、ステレオマッチングでは原理的に不可能とされている事である。

参考文献

- [1] 山本高裕, 工藤博章, 大西昇, “固視微動に示唆を得たビジョンシステムによる奥行き方向の位置合わせ”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, No.8, pp.954-958, May(2002)
- [2] Zhengyou Zhang, “A Flexible New Technique for Camera Calibration”, Microsoft Research Technical Report, MSR-TR-98-71, December (1998)
- [3] Masatoshi Okutomi and Takeo Kanade, “A Multiple-Baseline Stereo”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.15, No.4, April (1993)