

# 機械制御された二次元カメラアレイで取得した光線空間データの補正 Rectification of Ray-Space Data Captured by Machine Controlled 2D Camera Array

太田 真人† 福嶋 慶繁† 圓道 知博† 藤井 俊彰† 谷本 正幸†  
Makoto OTA Norishige FUKUSHIMA Tomohiro YENDO Toshiaki FUJII Masayuki TANIMOTO

## 1. まえがき

Image-Based-Rendering の技術のひとつである光線空間法 [1]を用いて画像の合成, 補正, 補間といった研究が行われている. 光線空間を構築する光線の情報はカメラアレイなどにより多眼画像として取得される. 取得された画像群に補間処理を施すことでより密な光線空間を構築している. 各研究は得られる光線空間が理想のものと仮定しているが, 実際には様々な誤差が蓄積するため, 理想的な状況とはならない. そこで, 従来はカメラの内部パラメータや位置・姿勢を表す外部パラメータを求めるカメラキャリブレーション手法を用い [2], これらの測量結果からカメラを理想状態へと補正を行っていた. しかしこの手法では誤差の蓄積による影響が無視しきれない. そこで, 本稿では, カメラキャリブレーションを行わずに理想的な光線空間を構築する方法を提案する.

## 2. 光線空間法

光線空間とはオブジェクトの見え方を, 参照平面を通る光線の位置と方向で記述する方法である. 光線の情報はカメラアレイを用いて取得される. この際カメラの間隔を密にし, 物理的に取得できない光線情報は補間することでより密な光線空間を構築している. 図 1 に光線空間と実空間の対応を示す.

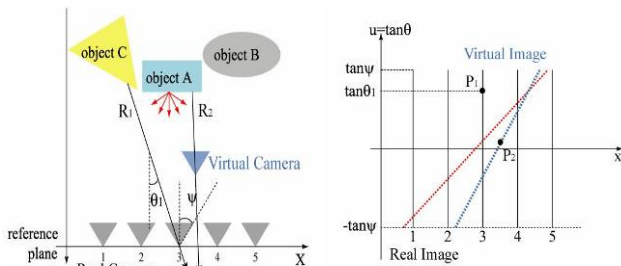


図 1: 光線空間と実空間の対応

## 3. 提案手法

従来手法では, キャリブレーションによりカメラの位置, 向き, 内部構造のパラメータを取得し, 得られたパラメータから画像を補正している. しかし, それぞれの誤差が生成画像に蓄積しやすいという問題点がある.

そこで 1 台のカメラの位置を機械で制御して移動させることにより, 本来手で位置合わせをするために生じる複数のカメラ間の 3 次元位置の差を最小に抑えることができる. また 1 台のカメラで撮影することによってカメラの個体差を無視することが可能となる. 1 台のカメラが長方形の軌跡を描くように移動させ, 長方形の各頂点で画像を取得する. 取得された 4 枚の画像に共通する特徴点に着目し, 特徴点の軌跡が理想的には長方形になっていることを利用し

て, 画像に変換行列をかけることにより理想軌跡を描くように変換する.

## 3.1 処理の流れ

- (1) XY-Stage を用いてカメラの軌跡を長方形に制御し, 各頂点で画像を取得
- (2) 取得された 4 枚の画像に共通する特徴点の軌跡から消失点の座標を算出
- (3) 消失点を無限遠に射影することにより射影変換の成分を決定
- (4) 軌跡の理想条件からアフィン変換の成分を決定
- (5) 変換行列を画像にかけることにより理想画像を生成

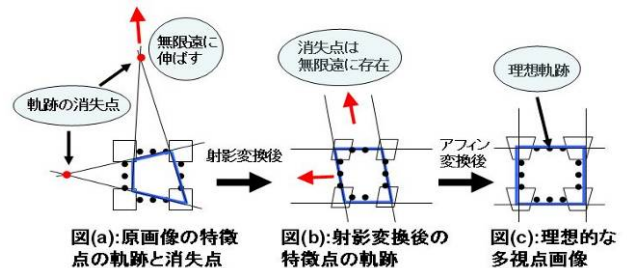


図 2: 処理の流れ

## 3.2 消失点の座標の決定

4 枚の画像に共通する特徴点の軌跡から垂直方向と水平方向にそれぞれ 1 点の消失点が得られる. 消失点の座標をそれぞれ  $(x_v, y_v), (x_h, y_h)$  とおくと, 消失点の座標は下記の直線の連立方程式から求められる. 但し, 水平方向の消失点の座標は軌跡の 2 本の水平方向の直線から, また垂直方向の消失点は軌跡の 2 本の垂直方向の直線から求めるものとする.

$$y = \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j}(x - x_i) + y_i$$

$x_i, y_i, x_j, y_j$ : 特徴点の  $x$  座標と  $y$  座標  
(但し,  $i, j = 1 \dots 4$  で左上, 右上, 左下, 右下の特徴点の順に,  $1 \dots 4$  とする.)

## 3.3 射影成分の決定

射影成分を求めることは 3.2 で得られた消失点が無限遠に射影されるような変換行列の成分を求めることと同意である. 但し, 画像には量子化誤差が存在するので, 採用する特徴点の数を増やすことで消失点の組を増やし, 量子化誤差が最小になるような射影成分を算出する必要がある. よって下記の式から導かれる連立方程式を最小二乗法を用いて解くことで最適な射影成分が導かれる.

$$Ht_i = t'_i$$

$$t_i = [x_{v,i}, y_{v,i}, 1]^T, [x_{h,i}, y_{h,i}, 1]^T (i=1 \dots n)$$

$$t'_i = [x'_{v,i}, y'_{v,i}, 1]^T, [x'_{h,i}, y'_{h,i}, 1]^T (i=1 \dots n)$$

$t_i$ : 射影前の消失点の座標

$t'_i$ : 射影後の消失点の座標

$H$ : 射影変換行列(3×3 行列)

### 3.4 アフィン成分の決定

3.3 で射影変換を施した特徴点の軌跡は平行四辺形に変換されるので特徴点が理想的な軌跡を描くためにはアフィン変換をかければよい. ここでアフィン成分を決定することは平行四辺形の軌跡を長方形の軌跡に変形することと同意である. アフィン変換後の特徴点を  $(x''_i, y''_i)$

( $i=1 \dots 4$ )とすると変換後の特徴点は下記の条件式を満たす.

$$x''_1 = x''_3, x''_2 = x''_4, y''_1 = y''_2, y''_3 = y''_4$$

$$Am'_i = m''_i$$

$$m'_i = [x'_i, y'_i, 1]^T, m''_i = [x''_i, y''_i, 1]^T (i=1 \dots 4)$$

$m'_i$ : アフィン変換前(射影変換後)の特徴点の座標

$m''_i$ : アフィン変換後の特徴点の座標

$A$ : アフィン変換行列(3×3 行列)

よって, 条件式を満たすような連立方程式から得られる解がアフィン成分となる.

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

- ・背景に特徴点が探索しやすいように格子柄を採用.
- ・1台のカメラの向きを一定にして撮影した.
- ・640×480の画像をカメラの軌跡を長方形(縦20cm, 横25cm)とし, 各頂点で画像を取得した.
- ・提案法を用いて画像を生成した.
- ・従来方法との比較を行った.

### 4.2 実験結果

図3は原画像で図4は変換後の画像である. この二つの図を比較すれば, 原画像の軌跡を長方形に変換することに成功したことがわかる.

表1は従来手法を用いて原画像を変換した際に現れる特徴点の座標の各軸方向の平均誤差( $x$ 軸方向の平均誤差を  $e_{old,x}$  とし,  $y$ 軸方向の平均誤差を  $e_{old,y}$  とする)と, 従来手法と提案手法を用いて原画像を変換した際に現れる特徴点の座標の各軸方向の平均誤差( $x$ 軸方向の平均誤差を  $e_x$  とし,  $y$ 軸方向の平均誤差を  $e_y$  とする)を示しており, 従来手法の誤差が5~pixelに対して, 提案手法は各方向とも1ピクセル以内の誤差におさまった.

表1:従来手法と提案手法における各軸方向の平均誤差

	$e_x$ (pixel)	$e_y$ (pixel)
従来手法	5~	5~
提案手法	0.479	0.564

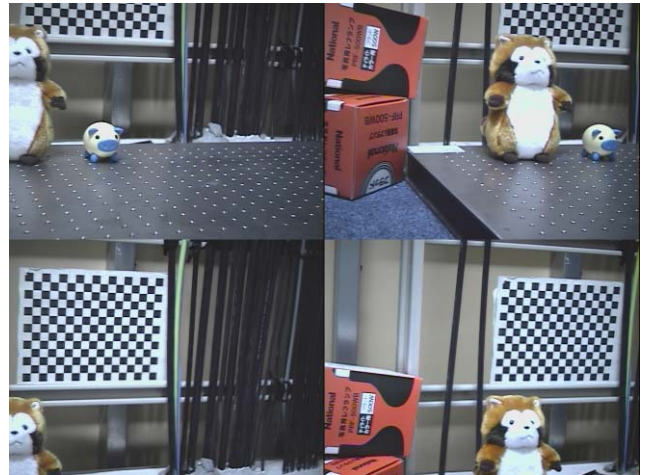


図3:原画像

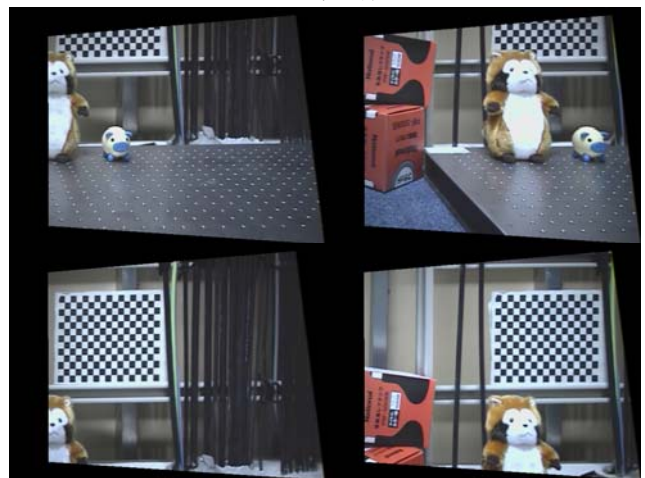


図4:変換後の画像

## 5. むすび

今回, 平面の特徴点列だけを用いることにより, 従来法であるカメラキャリブレーションを経由せずに取得画像を理想画像に変換した. また1台のカメラを用いて静止したシーンを撮影することによって, 平面カメラアレイで撮影した状況を再現し, 画像が理想条件で撮影した画像になるような手法を提案した.

今後の課題は, 提案法では特徴点の決定をしやすいように格子状の既知パターンを用いて特徴点の座標値を決定しているが, 既知パターンの格子の頂点を求める際の精度が不安定であるため, 得られた結果に影響を与えていると考えられる. これを解消するために, より精度の高い関数を考案する必要があると考えられる.

## 参考文献

- [1] 藤井俊彰, 金子正秀, 原島博, "光線群による3次元空間情報の表現とその応用", テレビジョン学会誌 Vol. 50, No. 9, pp. 1312-1318, 1996
- [2] Z. Zhang; "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Trans. PAMI, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 2000.