グラフィクスとCAD 86－8
（1997. 8. 22）

複数の2次元画像による3次元グラフィクス

徐 剛、 松井裕司、 藤井友和
立命館大学理工学部情報学科コンピュータビジョンラボ
xu@cs.ritsumei.ac.jp http://www.cv.cs.ritsumei.ac.jp

July 16, 1997

本稿では、複数の画像間の対応づけと3次元運動の復元により、任意の角度から見た画像を合成するアプローチについて述べる。システム全体の構成、画像点の対応づけ、画像間の3次元運動、と線形結合による合成の係数の決定法を紹介し、最後に実画像の合成例を示す。

キーワード：画像合成、画像対応、運動復元、エピポーラ、回転行列、オイラー角

Image-Based Rendering by Image Correspondence and Motion Recovery

Gang Xu, Yuji Matsui and Tomokazu Fujii
CV Lab, Computer Science Department, Ritsumeikan University
Email: xu@cs.ritsumei.ac.jp http://www.cv.cs.ritsumei.ac.jp

In this paper we introduce a new approach to image-based rendering using image correspondence and motion recovery. We first illustrate the overall system, then describe how to match image points, how to compute rotation matrix from 3 weak perspective images, and how to determine the coefficients given a particular viewpoint. Finally, images synthesized from real images are shown.

Keywords: image synthesis, image correspondence, motion recovery, epipolar equation, rotation matrix, Euler angles

1 はじめに

最近、3次元パッチモデルを用いたイメージレンダリングが安価になり、普通のパソコン上でも実時間に動くようになりつつある。この手法の問題は、対象物体の正確な3次元データが必要なことにある。物体の3次元計測は依然高価なだけでなく、物体のサイズに対する制限もある。

コンピュータビジョンの手法を用いて、画像から物体の3次元形状を求めることができるが、3次元座標を明示的に求めると、必ずしも正確ではない。

以上の諸理由から、2次元画像から3次元形状を経由せず、直接画像を合成する手法が望まれる [2, 4, 3]。

本論文では、コンピュータビジョンの手法を用いて、まず画像間の対応づけを行う。そして、画像間の3次元運動の復元を行う。以上の情報から、任意の角度から見た画像をモデル画像の線形結合として表し、合成できる。その係数の決定方法を述べる。最後に実画像の合成例を示す。

2 システムの流れ

対象物体の回りから画像を撮ることから始まる。本研究では、物体のサイズと比べて、カメラからの距離が十分大きく、画像が弱中心射影として近似できるとする。

画像から特徴点をオペレータで抽出する。隣接する二枚の画像から、特徴点の対応をエピポーラ方程式を用いて対応づけする。そしてエピポーラ方程式を用いて、rectification を行い、その結果、対応点が変換後の両画像の同じ水平走査線上にあるようになる。次に相関法を用いて、片方の画像点の対応をもう一方の画像で探す。

二枚の画像からは、その間の3次元運動は決まらないが、もう一枚の画像を加えることにより、3次元回転と並進を完全に決めることができる。

モデル画像以外の画像は、3枚の画像における対応点の座標の線形結合として表すことができる。合成したい画像の視点が与えられれば、まず、その視点に最も近い3枚のモデル画像を見つける。そして、線形結合の係数は、与えられた視点と3枚の画像間の運動から計算する。

対応点が十分密でないため合成された画像に「穴」が空いた場合、その穴埋めを行う。

3 画像の対応

同じシーンを写す任意の二枚の画像の間にいわゆるエピポーラ幾何が存在し、それが特定できれば、片方の画像の一点の対応を探す時は、もう一方の画像のエピポーラ線上に限る。

まず各画像に対して、特徴点（コーナーなど）を検出するオペレータを適用し、特徴点を見つける。隣接する二枚の画像上の特徴点は大多数対応すると考えられる。どの点とどの点が対応するかは不明だが、対応点は共通のエピポーラ方程式を満たさなければならない。エピポーラ方程式を拘束条件に、特徴点の対応を求める。これについては詳述せず、[6] を参照されたい。

エピポーラ方程式が決まれば、それを用いて、他の画像点の対応をエピポーラ線に沿って探す。相関法を適用するため、エピポーラ線が両画像において同じ水平走査線となるように、まず、両画像に対して rectification という変換を行う [6]。

次に、標準的な相関計算を適用して、両画像上で対応点を求める。ここでは、カラー画像を用いるので、相関計算も各点のＲＧＢの値を用いて、より信頼性の高い解が得られる。相関計算だけでは対応が決まらない場合もあるが、視差の内挿によって補間することもできる。本稿では視差の補間はまだ完成しておらず、別の発表に譲る。

4 運動復元

二枚の平行射影または弱中心射影画像のみでは、その間の3次元運動は完全に復元できないことが周知されている。二枚の画像から求められるのはエピポーラ方程式のみである。3次元回転を三つのオイラー角で表した場合、エピポーラ方程式からは、第1と第3のオイラー角は求められるが、第2のオイラー角は求められない。また、物体とカメラの間の距離の変化を示す画像のスケールの変化も計算される。残りの並進の二つの成分は、特徴点の重心の移動量として求めることができる。

第2のオイラー角を決めるには、3枚目の画像が必要である。その計算の仕方はここで詳述せず、[5, 1] を参照されたい。

本研究では、回転は全てオイラー角で表した。三つのオイラー角はそれぞれZ軸、Y軸、Z軸の回りの回転である。

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}(Z,\alpha)\mathbf{R}(Y,\beta)\mathbf{R}(Z,\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

5 線形結合の係数の計算

各画像において、対象物体の重心の像を原点とすれば、並進成分はスケールの変化を除いて考えなくても良い。以下は回転とスケールのみを考える。

物体の i 番目の3次元点の座標を $[X_i, Y_i, Z_i]^T (i = 1, ..., N)$ とし、$j (j = 1, 2, 3)$ 枚目の画像上での投影の座標は $[x_i^j, y_i^j]^T$ とする。弱中心射影においては、下記の関係が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} x_i^j \\ y_i^j \end{bmatrix} = s^j \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1^{jT} \\ \mathbf{r}_2^{jT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \tag{2}$$

ここで、s^j は j 枚目の画像のスケールで、$\mathbf{r}_1^j$ は j 枚目の画像のカメラ座標系が物体座標系に相対する回転行列の1行目の行ベクトルであり、$\mathbf{r}_2^j$ は同2行目の行ベクトルである。スケールと回転行列は第4節で求められたものである。$\mathbf{r}_1^j$ と $\mathbf{r}_2^j$ はそれぞれ3次元空間中の方向を示す単位ベクトルである。

画像3枚があれば、各点につき、座標が六つある。その中で合成したい画像の水平座標を最も良く表現する座標を三つ、その垂直座標を最も良く表現する座標を三つそれぞれ決める。これは、合成したい画像の座標を表すベクトルに最も近いモデル画像の方向ベクトルを選ぶことで実現する。

ここで記述の便宜上、合成画像の水平座標は3枚のモデル画像の水平座標を用いて合成し、合成画像の垂直座標は3枚のモデル画像の垂直座標を用いて合成するとする。式は他の場合もまったく同様である。式2より、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s^1\mathbf{r}_1^{1T} \\ s^2\mathbf{r}_1^{2T} \\ s^3\mathbf{r}_1^{3T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ x_i^3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s^1\mathbf{r}_2^{1T} \\ s^2\mathbf{r}_2^{2T} \\ s^3\mathbf{r}_2^{3T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_i^1 \\ y_i^2 \\ y_i^3 \end{bmatrix}$$

この式から合成の式は次のように決まる。

$$x_i = s\mathbf{r}_1^T \begin{bmatrix} s^1\mathbf{r}_1^{1T} \\ s^2\mathbf{r}_1^{2T} \\ s^3\mathbf{r}_1^{3T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ x_i^3 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$y_i = s\mathbf{r}_2^T \begin{bmatrix} s^1\mathbf{r}_2^{1T} \\ s^2\mathbf{r}_2^{2T} \\ s^3\mathbf{r}_2^{3T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_i^1 \\ y_i^2 \\ y_i^3 \end{bmatrix} \tag{4}$$

ここで、x_i, y_iはそれぞれ合成画像のi番目の点の水平と垂直座標であり、sは合成画像のスケール、$\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$はそれぞれ合成画像のカメラ座標系が物体座標系に対する回転行列の第1行と第2行の行ベクトルである。合成画像の視点は、オイラー角によって指定される。

6 実画像による実験

実験は、3枚の実画像（図1）を用いて行った。

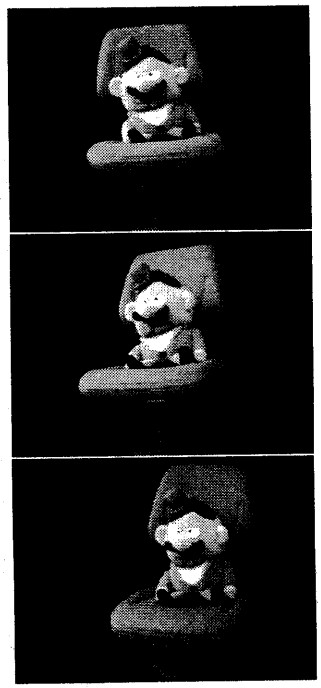

Figure 1: The original images

合成画像は図2に示す。対応づけできていない点があるため、「穴」が空いている。

Figure 2: The synthesized image

7 むすび

本論文では、複数の角度から撮影した物体の画像から、対応づけと運動復元を経て、他の角度から見た画像の合成の一手法を述べた。初歩的結果を実画像を用いて示した。

References

[1] 杉本典子 and 徐剛. Motion and structure from three weak perspective images using euler angles. In *CVIM*, 1997-9. to appear.

[2] S. Laveau and O. Faugeras. 3d scene representation as a collection of images and fundamental matrices. Technical Report No.2205, INRIA, 1994.

[3] 川康博, 中村裕一, and 大田友一. Synthesis of arbitrary orientation views from two face images. In *PRU95-29*, pages 65–72, May 1995.

[4] T. Werner, R.D. Hersch, and V. Hlavac. Rendering real-world objects using view interpolation. In *Proc. Fifth Int'l Conf. Comput. Vision*, pages 957–962, 1995.

[5] G. Xu. A linear algorithm for motion from three weak perspective images using euler angles. *IEEE Trans. PAMI*, 1997. submitted.

[6] G. Xu and Z. Zhang. *Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition: A Unified Approach.* Kluwer Academic Publishers, 1996.