

単眼ステレオ視による立体形状計測のためのカメラモーションの推定

Estimation of Camera Motion for Solid Shape Measurement by Stereo Using One Monocular

ミン ミン セイン 濱 裕光

Myint Myint Sein and Hiromitsu Hama

大阪市立大学 工学部 情報工学科

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138

Fac. of Eng., Osaka City University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku,
Osaka 558-8585, Japan

あらまし 2次元画像から3次元世界の再構築は、コンピュータビションの大きなテーマの一つである。本研究では、単眼ステレオ視による立体形状計測のためのカメラモーションパラメータの検出方法について考察を行う。主として、3次元から2次元への投影変換に基づいて、与えられた2枚の画像間での共通部分の対応点を用いてカメラの移動パラメータと回転パラメータを算出する。また、この外部パラメータを利用し、2枚のうち一方にしか写っていない部分も他の組み合せから順次求めていく。次に、異なった位置と角度から撮影された物体の写真を複数枚用いて3次元形状を復元する。本手法の有効性は計算機実験を通じて示される。

Abstract In this research, the method of detecting the camera motion parameters are considered for solid shape measurement by stereo using one monocular. The six extrinsic parameters of a camera, that is, three position parameters and three orientation parameters are calculated by using the corresponding points in common part between images have been projected from 3-D scene. Then, other points in uncommon part are computed. This approach can be applied to the reconstruction of the structure of the object from the motion of the camera between two image frames. Experimental results with real images are illustrated to show the effectiveness of this method.

キーワード：姿勢、移動パラメータ、回転パラメータ、画像計測

Keywords : Posture, Orientation Parameter, Rotation Parameter, image measurement

1. はじめに

カメラがとらえた 2 次元のイメージからシーンやカメラなどの 3 次元空間情報を検出することはコンピュータビジョンやロボットアイの重要な分野である。カメラモーションパラメータと移動制御の応用は様々な分野で広がっている。例えば、東京ディズニーランドでジェットコースとに乗っている感じを振動と映画で伝えるためにカメラモーションを利用して乗客を驚させた催し物も、一つの応用である。また、カメラモーションパラメータが得られれば、現実に撮影するのが難しい姿勢でのカメラ移動も簡単にできる。CG と写真の合成において、映画スタジオワークで物体の現在の位置、姿勢から目標の位置、姿勢を捕らえることや人工的なシーンを作るためのカメラ移動制御は重要である。コンピュータコントロールで移動と回転角度を制御されたモーションコントロールカメラは映画の未来を確実に変えつつある。ユニバーサルスタジオの有名な映画‘スターウォーズ’はモーションコントロールカメラとコンピュタグラフィックスの組み合わせで素晴らしい人工的なシーンが作れることを示した。コマーシャル作品にもカメラをうまく移動しながら品のよい美しさと素晴らしい作品を聴衆がはつきり理解できるように様々な工夫がされているものである。

一方、人文科学の分野でのカメラモーションパラメータの適用を考えるとき、思いもつかなかつた応用が広がっていく。人文科学の中で、歴史や古代史などの研究に今まで 3 次元立体形状計測はあまり使われてこなかつた。もし、カメラでとらえた 2 次元イメージから 3 次元立体形状計測が簡便・安価に実現できれば人文科学研究にも大きなメリットをもたらすはずである。例えば、古墳や遺跡の人骨の姿勢調査ワークに異なる角度で撮影した写

真から 3 次元立体形状計測が簡単にできれば、省力、省時間にも役立つであろう。また、銅鏡の親兄弟問題にも 2 つの銅鏡間の凸凹の違いを検出して有力な情報を提供する可能性もある。お寺とか、お地蔵さんなどの現在残っている写真からカメラ位置を推定することにより 3 次元立体形状計測を行うことあるいは 3 次元模型を作ることができる。

最近、いろいろな 3 次元復元ソフトが開発されているがその使用には色々な条件が設けられている。本研究では、自由に移動するカメラで撮影された画像からカメラモーションパラメータを求め、このパラメータを用いて単眼ステレオ視による立体形状計測をする方法を提案する。2 枚の画像間でのカメラの移動パラメータと回転パラメータをこの 2 枚の画像間の対応点の投影変換に基づいて算出する。また、ここで算出したカメラパラメータを利用して 2 枚のうち一方にしか写っていない部分も他の組み合せから順次求めていく。異なる位置と角度から撮影された物体の写真複数枚を利用してカメラのモーションパラメータから 3 次元復元を行う。このアプローチに基づいて全方向からの写真を用いることにより完全な 3 次元形状が得られる。

2. ステレオ法の原理

人間の両眼のように、視覚センサを 2 つ左右に並べたステレオ立体視は、あるがままの世界をそのまま観測する受動的な計測法の代表である。視覚センサとして写真機を用いたものが、とりも直さず写真測量技術であり、地形つまり地表の 3 次元形状の計測などに利用されている。2 台のカメラによって対象物の画像をとらえ、各々の投影像における同一の異なる観測に基づいて、その点の 3 次元位置を算出する手法を総称してステレオ法あるいは単にステレオと呼ぶ。1 つだけの視点（カメラ）から見ると 2 つの物体に対して同じ

視覚的なイメージを持っている。図 1 に示すように 1 番目の視点(カメラ)で撮られた画像 I は、物体 A と B のどちらからも投影され得るので、物体のサイズと距離があいまいである。それで、2 番目の視点から観察することにより、このあいまいさはなくなる。

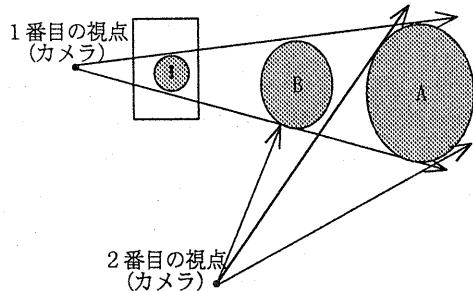


図 1 三角測量による距離計測の原理。

ここで、単眼ステレオ視というのは 2 台のカメラではなく、1 台のカメラが最初の位置から次の場所へ移動し、異なる角度からとらえた同一シーンの 2 枚の画像を用いてシーンとカメラの 3 次元情報を検出することをいう。この単眼ステレオ視におけるカメラ座標系を次節で定義する。

3. カメラ座標系

カメラの位置を中心としてカメラ座標系を図 2 に示すように定義する。便宜上右カメラ位置の中心を原点とする座標系は RCC (Right Camera-centered Coordinate System) と呼ばれ、左カメラ位置の中心を原点とする座標系は LCC (Left Camera-centered Coordinate System) と呼ばれる。

ここで、ワールド座標系における物体の特徴点 $P(X, Y, Z)$ は LCC と RCC からのカメラの相対位置 $P'(X', Y', Z')$ 、
 $P''(X'', Y'', Z'')$ として観察される。カメラの回転

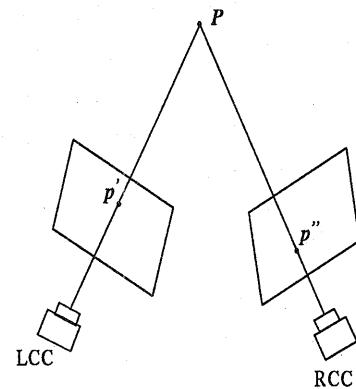


図 2 単眼ステレオモデル

パラメータ R と移動パラメータ T を用いて、この 2 つのカメラの相対位置の関係は次のように表される。

$$P'' = RP' + T. \quad (1)$$

4. 3 次元形状計測

カメラモデルとしてピンホールカメラモデルを使用する。視点を原点とし、 $Z = f$ を画像平面とする透視画法によって 3 次元空間上の点 $P_i'(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ とその投影点 $p'_i(x'_i, y'_i)$ の関係は次式で表される。各カメラ座標系についても同じである。

$$x'_i = f X'_i / Z'_i, \quad y'_i = f Y'_i / Z'_i. \quad (2)$$

この 3 次元から 2 次元への投影変換を利用すると、式 (1) は下の式 (3) のように奥行き Z 値だけに依存することになる。

$$\begin{pmatrix} x''_i \\ y''_i \\ f'' \end{pmatrix} \frac{Z''_i}{f''} = R \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ f' \end{pmatrix} \frac{Z'_i}{f'} + T \quad (3)$$

ここで、 $i=1, 2, \dots$ である。

2 つの画像の共通部分から 3 つ以上の点を

を利用してこの間のカメラ移動を算出することができる^[1]。得られたカメラの回転パラメータ R と移動パラメータ T を用いて 2 枚目の画像にしか写っていない点を 1 枚目の画像からの対応点として求める式を導出、2 枚の画像データの組み合わせを行う。

$$\left. \begin{array}{l} x_j'' = \frac{(Rx'_j Z'_j + T)f''}{Z''_j f'} \\ y_j'' = \frac{(Rx'_j Z'_j + T)f''}{Z''_j f'} \\ Z''_j = (RZ'_j + T) \end{array} \right\} \quad (4)$$

同様に 1 枚目の画像にしか写っていない点も 2 枚目の対応から求められる。

厳密な制約 (Rigidly Constraint) として「物体の形状測定はどの座標系でも同じ。」という確かな事実を利用して 2 枚の画像データから物体の 3 次元構造の復元を行う。数枚の画像の組み合わせる場合には、はじめに 2 枚を組み合わせて、この結果と次の 1 枚の組み合わせを行う。組み合わせる 2 枚の画像間に必ず何らかの共通部分が必ず含まれることが必要である。複数枚の画像を用いてこのような操作を続けると、不十分なデータの組み合わせでも目標の平面を復元することができる。

5. 実画像による実験

実画像を用いて実験を行った。家の模型を左右 2 つの方向から共通部分が 1 部含まれるように撮影した画像の解像度は 1528x1156 ピクセルである。はじめに、2 つの画像共通部の対応点を検出する。図 3 は家の模型を左右から異なる角度、位置で撮影した写真で、1 枚だけでは前平面の情報は不十分であることは明らかである。実験の目標として前面を復元するために 2 枚の共通部分からの対応点を利用し、2 枚間の変換あるいは 2 枚間のカメ

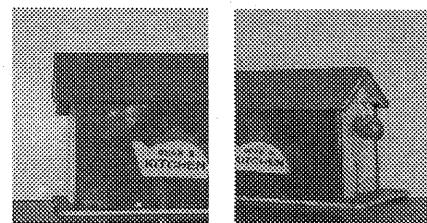


図 3 左右の異なった位置、角度から撮った写真。

ラ回転パラメータ R と移動パラメータ T を算出する。2 枚の画像からの対応点ペア 3 つを表 1 に、この対応から算出されたカメラパラメータを表 2 に示す。共通部分から異なった対応点ペア 3 つずつを選んでパラメータ算出を繰り返し、平均値を計算する。

$$\text{平均値} = (\sum_i \text{算出されたパラメータ} / i)$$

表 1 2 枚画像からの観察データ

	Frame 1	Frame 2
x_1	611.583	625.545
y_1	716.417	691.696
x_2	659.250	677.818
y_2	880.250	859.727
x_3	1110.625	1170.545
y_3	547.875	511.909

表 2 算出結果データ

(T_x, T_y, T_z)	(194.63, 1.674, 40.886)
$R(\alpha, \beta, \gamma)$	(108.9, 14.349, 9.175)

この平均値と式 (4) を用いて左画像に存在しない前面のデータを右画像からの対応点として求める。我々の提案した方法が適切に

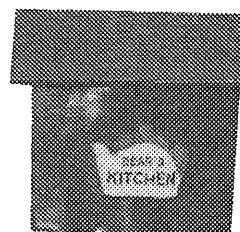
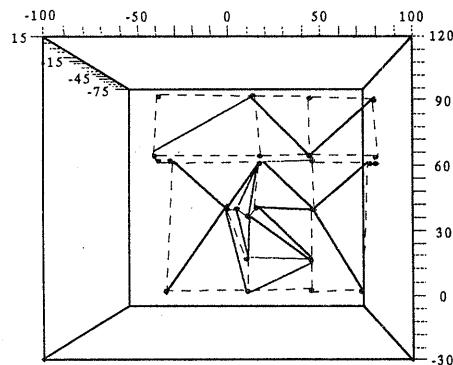


図4 前面のワイヤフレームと復元画像。

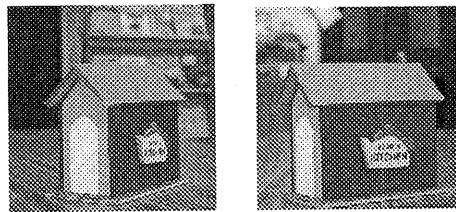


図5 2つの違う視点から物体全体を見るように撮られた画像。

働くことを実験結果は示している。図4は復元した前面のワイヤフレームを示す。実験結果における相対的な誤りは入力イメージデータやデジタルカメラの解像度などに大きく依存すると思われる。

6. まとめ

本手法は他の3次元形状復元法と比べるといくつかの利点がある。図5のように、2つの違った視点から物体全体を見るように作

成した画像から3次元構造を復元するのではなく、図3のように共通部分を含むどの画像からでも組み合わせて復元できる点である。今回の実験では左右両方向から撮られた2つのイメージを利用して完全な前面を作成できた。このアプローチに基づいて古い壊れた数枚の写真から共通部分を利用し、目標の平面から3次元構造まで復元できる。今後は不完全な複数の画像から新しい平面と構造の再構築を行っていきたい。また、市販のメガピクセル級のデジタルカメラを用いて、より高精度の3次元復元を簡便・安価に実現することは今後の課題である。

参考文献

- [1] Myint Myint Sein and H. Hama, "Determination of the Motion Parameters of a Moving Camera from the Perspective Projection of a Triangle", *Proc. of the 5th Int. Conf. on Soft Computing and Information / Intelligent Systems, IIZUKA'98*, Fukuoka, Japan, 1998.
- [2] 濱裕光：“3次元形状入力へのおさぞい人文科学の道具として”、第3回公開シンポジウム人文科学とデータベース、pp. 65-71, 1997.
- [3] C. Dorai, G. Wang, A. Jain and C. Mercer, "Registration and Integration of Multiple Object Views for 3D Model Construction", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 1, pp. 83-89, Jan. 1998.
- [4] K. S. Fu, R. C. Gonzalez and C.S.G. Lee, "ROBOTICS: Control, Sensing, Vision and Intelligence", *McGraw-Hill, Inc.*, 1987.
- [5] R. M. Haralick, "Determining Camera Parameters from the Perspective Projection of a Rectangle", *Pattern Recognition*, vol. 22, No.3, pp. 225-230, 1989.
- [6] Y.C.Liu and T. S. Huang, " Determination of the Camera Location from 2-D to 3-D Line and Point Correspondences", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 1, pp. 28-37, Jan. 1990.