

複数カメラ画像合成のための画像平行化手法 Image Rectification for Fusing Multiple Camera Images

宮本 充徳 丸山 達生 尾池 治郎 川崎 洋 大澤 裕

Miyamoto Mitsunori Maruyama Tatsuo Oike Jiro Kawasaki Hiroshi Ohsawa Yutaka

埼玉大学工学部情報システム工学科

1. まえがき

実世界空間の情報を計算機内に取り込み自由に扱えるようにすることは、コンピュータビジョン(CV)の重要な研究課題の一つである。特に、都市空間等の広域な3次元データを効率よく取得してデータベース化し、これを描画することは、VRやITS等の研究分野からの要請もあり、その重要性が高まってきている。

これまで航空写真等から建物の輪郭や階高情報を得るなど、形状の自動取得に関する研究は盛んに行われてきた。一方、テクスチャ等、見えに関する情報の取得に関しては、その効率的な取得方法など、研究課題が未だ多数残されている。

このような広域空間を描画する方法として、対象オブジェクトの形状と見えに関する情報を利用し、任意視点からの画像を合成するモデルベースの手法(MBR)と、蓄積した見えに関する情報のみから画像を生成するイメージベースによる手法(IBR)が知られている。いずれの方法も、現実感豊かな都市の再現のためには高品質なテクスチャ画像が必須である。特に、IBRを用いて画像を合成する場合、複数のカメラや時系列に撮影した多量の画像群から必要な画像を選択し、これを切り貼りすることで一枚の画像を合成するため、撮影位置に関する精度の高い情報が必要である。これを実現する手法として全ての撮影画像を平行化することが考えられる。

そこで本稿ではIBRによる画像合成を目的とし、複数カメラで撮影した都市空間画像を精度よく合成するための画像平行化手法を紹介する。

本稿の構成は以下のとおりである。2章はIBRにより画像を合成する手法について述べ、3章で本稿のテーマである街モデルの特化した画像の平行化手法について述べる。4章では本手法を実際の画像に適用した結果を示し、5章でまとめる。

2. IBRによる画像合成手法

本章では、本稿で目的とするIBRによる画像合成手法及びそのための画像取得方法について、その概要を紹介する。

2.1 IBRによる画像合成アルゴリズム

IBRによる画像合成手法が[1]らにより提案されている。これは、車載カメラで経路上を撮影した全方位画像群から、必要な画像を選択し、その画像中から視線にあるスリットを切り出し、モザイク状につなぎ合わせることで画像合成する手法である。イメージベースであるため、全方位画像が必要である点が、モデルベースによる単なるテクスチャマップによる手法と異なっている。

2.2 全方位画像の取得

上記のような全方位画像を効率よく取得する手法として、全方位カメラを用いて撮影することが考えられる。しかし、全方位カメラを用いた場合、全方位のシーンを一枚の画像に撮影するため、得られる画像の解像度が低い。

一方、複数のカメラを用いて得られた画像を統合する手法がある。しかし、この手法ではカメラのキャリブレーションが必要であるほか、光学的中心を一致させることが難しく、そのため統合した画像が歪んでしまうことがある。

これらの問題を解決するデータの取得方法として、[1]では複数のカメラを車両の上に直線的に並べて、車両を走らせながら画像を撮影する手法を提案している。この手法を用いれば複数カメラの光学的中心を自動的に一致させることができ、解像度の高い歪みの少ない全方位画像を取得することができる。

2.3 画像の統合

文献[1]では、複数カメラの画像を自動的に統合するため、エピポーラ平面画像(EPI)を用いている。EPI上では画像中にある特徴点の軌跡が直線となって現れるため、この直線同士の対応関係を得ることで画像の結合が可能である。EPIは平行化画像を用いて生成するため、精度の良い画像の平行化が、歪みの無い画像統合にとって重要となる。

3. 街モデルに特化した画像平行化手法

2章で述べたように、本稿で目的とするIBRによる画像合成手法では画像の平行化が重要である。都市空間を撮影した画像は、建物の輪郭や窓枠など直線で構成されていることが多いため、これらを利用して画像から効率的に消失点を求めることが知られている。

3.1 消失点の抽出

都市などのように多くの平行な形状で構成されている空間を撮影した画像を平行化する手法として、消失点を利用する研究が古くから行われている。例えば、ガウス球を用いるもの[3]やハフ変換を利用するもの[2]、ヘルムホルツ変換によるもの[4]等、多数知られている。本論文ではハフ変換を利用する手法について以下に述べる。

3.2 ハフ変換

$x-y$ 平面上の直線に、座標原点から下ろした垂線の長さ r と、 x 軸とのなす角度 θ を用いると、その直線は次の式で表される。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

与えられたデータ点列 (x_i, y_i) に対して決まる式は合成三角関数となり、この曲線を **Hough 曲線** と呼ぶ。Hough 曲線は点 (x_i, y_i) を通過するすべての直線群をあらわすことになる。そこでこのハフ空間内で曲線群の交点の度数の高いところを抽出すれば逆に直線を検出することができる。

ハフ変換を利用して消失点を求めるために、まず画像中のエッジを検出する。エッジ抽出には **Canny** オペレータを利用する。次にこれらの直線群の交点を求める。都市空間の画像は主に平行な直線群で構成されているため、これら直線群の交点は消失点と一致する。よって、直線群の交点のうち傾度の高い点を求めることで消失点が得られる。実際の処理では、複数求まる消失点の候補から、ユーザーが最終的に正しい消失点を選ぶ。

3.3 画像の平行化

得られた消失点を利用すると、回転行列と焦点距離は以下のように求められる。まず、 r_1 と r_2 を以下のように定義する。

$$r_i = \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ f \end{pmatrix} \quad (i=1,2)$$

ここで (u_i, v_i) は消失点の画像座標、 f はカメラの焦点距離である。これらのベクトルは実世界中での水平・垂直方向にそれぞれ平行である。従って、 r_1, r_2 は直交し、内積は 0 となる。これを利用すると、 f は以下のように求められる。

$$f = \sqrt{-(u_1, v_1) \cdot (u_2, v_2)}$$

r_1, r_2 を正規化して

$$\hat{r}_3 = \hat{r}_1 \times \hat{r}_2$$

とすると、回転行列 R は以下ようになる。

$$R = (\hat{r}_1 \quad \hat{r}_2 \quad \hat{r}_3)$$

回転行列 R と焦点距離 f が求められれば、射影変換により平行化を行うことができる。

4. 実験

本手法の有効性を調べるために、実際の建物の画像を用いて実験を行った。本実験では、図 1 の建物の画像にハフ変換をかけて直線を検出し、その直線のパラメータをもとに消失点を求め平行化を行った。図 2 がハフ変換により求められた直線群である。図 3 が得られた消失点を利用して最終的に平行化した画像である。



図 1. 平行化を行う前の画像

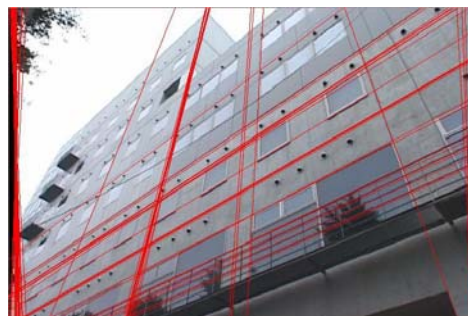


図 2. ハフ変換により求めた直線群



図 3. 平行化を行った画像

5. 結論

本稿では、都市に特化した効率的な画像平行化手法を提案した。複数カメラの画像を精度よく平行化することができれば、歪みのない画像統合が容易となる。本稿ではハフ変換を用いることでこれを半自動化する手法を提案した。本手法を実世界の画像に適用した結果、精度の高い画像平行化を行うことができた。

参考文献

- [1] 小野晋太郎, 川崎洋, 池内克史, 坂内正夫 : EPI 解析による複数ビデオカメラの画像統合, CVIM2003 Jan
- [2] 池内克史, 大田友一, 北橋忠宏, 興水大和, 坂上勝彦, 杉原厚吉, 谷内田正彦 : コンピュータビジョン, 丸善株式会社, 1990
- [3] M.E. Antone and S. Teller : Automatic Recovery of Relative Camera Rotations for Urban Scenes, Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition 2000, vol. 2, 2000
- [4] A. Almansa, A. Desolneux, and S. Vamech : Vanishing Point Detection without Any Prior Information, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.25, no.4, 2003