

町並みパノラマ写真の撮影とその合成方法

1070548 矢野 結花
高木研究室

1. 背景

町並みの写真は一回では全てを撮影できない。そのため、移動しながら撮影し、たくさんの写真をつなげてパノラマ画像にする。フリーの合成ソフトはたくさんあるが、それらの合成ソフトではカメラが固定されていることが前提となっている。一箇所から360度撮影した写真は簡単に合成できても、移動しながら撮影した写真は、全て投影中心の位置が異なるため、町並みパノラマ写真として合成できない。また、カメラを移動させながら撮影した写真を合成するようなソフトはない。

ちなみに、PhotoShopを使って一枚ずつつなげると、図1.1のように繋ぎ目が不自然になる。



図 1.1 PhotoShop でつなげた画像

厳密な問題解決のためには、対象物を2方向から撮影したステレオ画像により、三次元射影変換を用いて三次元計測する必要がある。しかし、それは三次元の基準点座標やステレオマッチングでの対応点が必要とされるので難しい。それに、町並みには三次元射影変換を用いた高い精度は必要ない。

これらのことから、簡単な手法で合成する仕組みを開発する必要がある。

2. 目的

本研究の目的は、二次元射影変換を用いて、移動しながら撮影した写真を合成する手法を構築することである。さらに、ポールを基準点に使用した撮影手法を確立することである。今回の撮影対象は、高知工科大

学B棟南側とした。

3. 使用機材

今回は、一般的なデジタル一眼レフカメラを使用した。以下に使用したカメラの仕様を示す。

カメラ : Nikon D100
CCDsize : 23.7mm×15.6mm
レンズ : Nikon AF-S NIKKOR
f1 : 17mm~35mm
F : 2.8~22

4. 合成手法

4.1 キャリブレーション

キャリブレーションとは、投影中心、写真上の像、対象物を結ぶ線が直線で結ばれるという条件を用いる際に、その条件を妨げる要因に対して補正をすることをいう。一般には、レンズ歪みの補正である。

本研究では、TOPCON社にキャリブレーションの係数の算出を委託した。

補正式は以下の式(4.1)、(4.2)である。

$$x_{ij} + \bar{x}_{ij}(k_1 r_{ij}^2 + k_2 r_{ij}^4) = -f \frac{a_{41}(X_{ij} - X_{0i}) + a_{42}(Y_{ij} - Y_{0i}) + a_{43}(Z_{ij} - Z_{0i})}{a_{47}(X_{ij} - X_{0i}) + a_{48}(Y_{ij} - Y_{0i}) + a_{49}(Z_{ij} - Z_{0i})} \quad (4.1)$$

$$y_{ij} + \bar{y}_{ij}(k_1 r_{ij}^2 + k_2 r_{ij}^4) = -f \frac{a_{44}(X_{ij} - X_{0i}) + a_{45}(Y_{ij} - Y_{0i}) + a_{46}(Z_{ij} - Z_{0i})}{a_{47}(X_{ij} - X_{0i}) + a_{48}(Y_{ij} - Y_{0i}) + a_{49}(Z_{ij} - Z_{0i})} \quad (4.2)$$

$$r^2 = (x^2 + y^2) / f^2 \quad (4.3)$$

x_{ij} , y_{ij} : 主点位置のずれ

\bar{x}_{ij} , \bar{y}_{ij} : 画像座標

i : 点番号

j : 写真番号

X_{0i} , Y_{0i} , Z_{0i} : 写真 i の中心

k_1 , k_2 : 歪み補正係数

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$: 回転行列の要素

f : 焦点距離

4.2 二次元射影変換

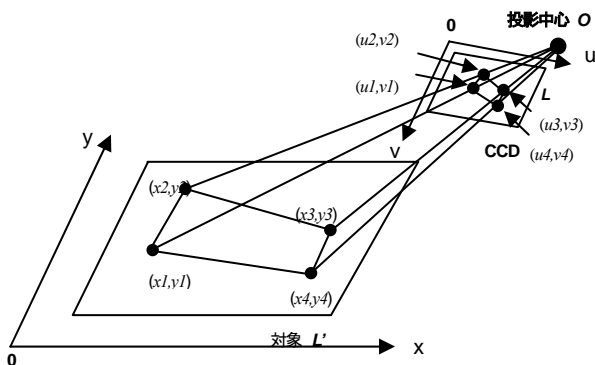


図 4.1 二次元射影変換

二次元射影変換とは、図 4.1 のように、ある平面 L' 上の物体が投影中心 O に対して、他の平面 L 上に投影されるような変換をいう。式(4.4), (4.5)はその変換式である。

$$u = \frac{b1x + b2y + b3}{b7x + b8y + 1} \tag{4.4}$$

$$v = \frac{b4x + b5y + b6}{b7x + b8y + 1} \tag{4.5}$$

u, v : 画像座標(ローカル)

x, y : 地上座標(グローバル)

$b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8$: 係数

計算に必要な係数 $b1 \sim b8$ を求めるためには、基準点が 4 つ以上必要である。平面 L' 上の点と対応している平面 L 上の点を基準点とする。図 4.1 の $(x1, y1)$ と $(u1, v1)$ を一組として式(4.4), (4.5)に代入し、 $(x2, y2)$ と $(u2, v2)$, $(x3, y3)$ と $(u3, v3)$, $(x4, y4)$ と $(u4, v4)$ も代入する。4 組の方程式を連立させることにより、変換式が求まる。4 つを超える基準点を使用する場合には、最小二乗法によって求める。

4.3 リサンプリング

リサンプリングとは、変換式に従って画像を再構成することである。レンズを通して撮影された画像は、中心ほど歪みが少ない。そのため、歪みが大きい画像の両端部分を切り取って、中央部分を使うこととする。射影変換からリサンプリングまでは、研究室にある自作ソフトを利用した。

4.4 画像の合成

画像の合成には、変換後の画像に地上座標を持たせ、それをGISソフトウェアにより合成させた。

5. 撮影手法及び合成結果

5.1 撮影手法 1

焦点距離は 17mm, 撮影距離は 10.5m と設定し、撮影間隔を計算する。CCDsize と焦点距離からカメラの画角を計算し、撮影範囲が 80%前後オーバーラップする間隔を計算する。図 5.1 は、オーバーラップの概念を図で示したものである。

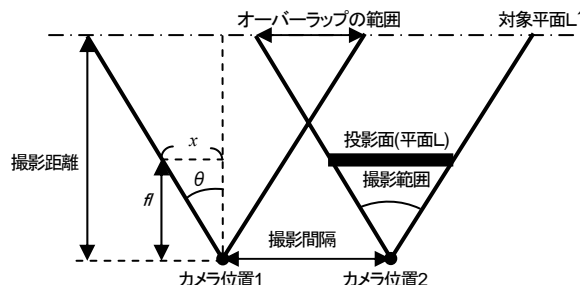


図 5.1 オーバーラップの概念図

オーバーラップの割合は、次式を用いた。

$$\text{オーバーラップの割合} = \frac{\text{オーバーラップの範囲}}{\text{撮影範囲}} \tag{5.1}$$

$$\text{オーバーラップの範囲} = \text{撮影範囲} - \text{撮影間隔} \tag{5.2}$$

$$\text{撮影範囲} = \tan\theta \times \text{撮影距離} \times 2 \tag{5.3}$$

$$\tan\theta = \frac{x}{f} \tag{5.4}$$

θ : 画角の 1/2 の角度

f : 焦点距離(mm)

x : CCD の横の 1/2 の長さ(mm)

撮影範囲: CCD に写る範囲 (m)

撮影距離: 対象からカメラまでの距離(m)

撮影間隔: カメラの移動距離(m)

図 5.2 のグラフは、式(5.1)を用いて、撮影間隔とオーバーラップの割合を撮影距離ごとにグラフ化したものである。

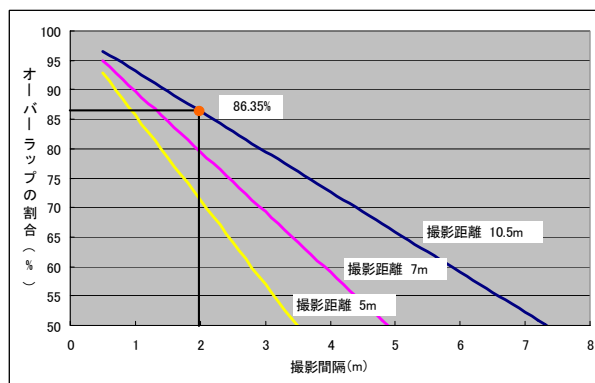


図 5.2 焦点距離 17mm のカメラでの撮影間隔と写真のオーバーラップの割合との関係

図 5.2 より, B棟に沿って 2m 間隔で移動しながら撮影することとした.

次に, 二次元射影変換の基準点は, 全ての基準点在同一平面上になければならない. そこで, 凹凸の少ない柱の面は同一平面上にある平面とみなして, 右端の柱の角の座標を(100, 100) (単位 : m) とし, それぞれの柱の角を基準点として使う. 図 5.3 に画像上の基準点の位置を示す. 8 個の基準点を使い, 最小二乗法により, 変換係数を求めた.

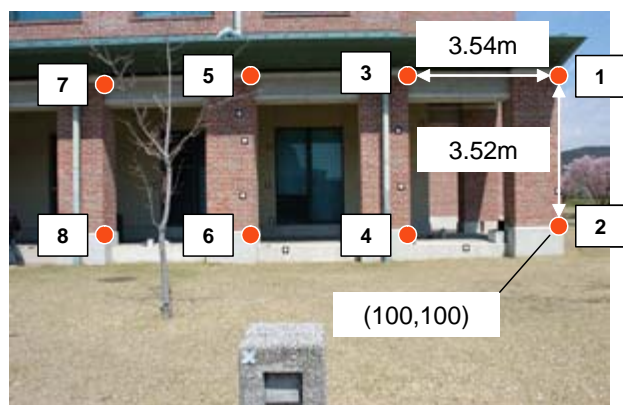


図 5.3 撮影手法 1 の基準点の配置図

その後, 二次元射影変換における基準点まわりの残差を計算した. 残差は, 基準点の地上座標 x, y を変換式に代入して求まる u, v と実際の画像上の u, v の差により計算できる. 平均二乗誤差は, 全ての残差から式(5.5)により計算できる.

$$\text{平均二乗誤差} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{基準点}_i \text{の残差})^2}{n}} \quad (5.5)$$

n : 基準点の数

図 5.3 の画像の 8 個の基準点の残差を表 5.1 に示す. この表より, この画像の変換における残差は, 約 4~9 pixel であった.

表 5.1 基準点まわりの残差と平均二乗誤差

基準点	残差 u (pixel)	残差 v (pixel)
1	7.785	-6.034
2	-0.705	1.394
3	-6.516	5.009
4	-9.342	-0.683
5	3.357	6.021
6	7.179	-0.788
7	-4.607	-4.999
8	2.848	0.079
平均二乗誤差 (pixel)	5.947	3.965

基準点を 8 個使って変換した 18 枚の写真について, 計算した平均二乗誤差を表 5.2 にまとめた. 平均

二乗誤差 u は 3~6 pixel, 平均二乗誤差 v は 3~4 pixel であった.

表 5.2 基準点を 8 個使った写真の平均二乗誤差

写真番号	平均二乗誤差u(pixel)	平均二乗誤差v(pixel)
21	5.947	3.965
22	4.012	4.513
23	4.119	4.312
24	5.167	3.382
25	5.509	4.552
26	4.283	3.576
27	5.634	3.450
28	6.617	3.564
40	5.653	3.024
42	4.314	4.385
43	4.874	4.861
44	5.171	3.977
45	3.992	3.161
46	4.546	3.084
48	4.573	3.945
50	5.106	4.157
51	4.711	3.823
52	3.634	3.541

幾何変換後, リサンプリングによって変換画像を作成し, 合成した画像を図 5.4 に示す. 平均二乗誤差は大きいと思われるが, 合成してみると見かけ上は問題なく合成できている.



図 5.4 撮影手法 1 の合成結果

5.2 撮影手法 2

焦点距離は 34.3846mm とした. 町並みでは, 同一平面上に基準点を設置することは難しいので, 測量用ポールを用いた基準点の設置を試みた. 1 本の測量用ポールの, 高さ 80cm と 100cm 部分に十字線を貼った. そのポールを 2 本用意し, 4 つの十字線を基準点として, 同一平面上に設置する方法を考えた.

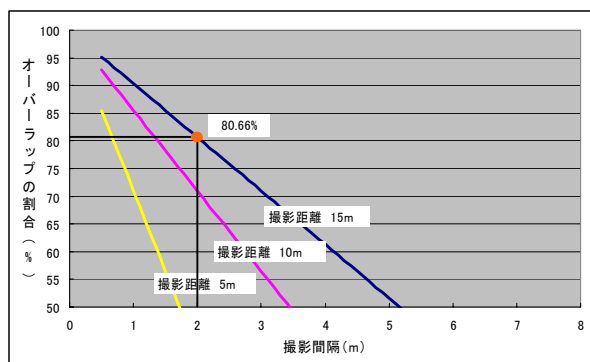


図 5.5 焦点距離 34.3846mm のカメラでの撮影間隔と写真のオーバーラップの割合との関係

ポールを設置する間隔は、今回 7.2m とした。図 5.5 のグラフは焦点距離を変えて、前節と同じ方法でオーバーラップの割合を計算し、グラフ化したものである。図 5.5 より、撮影距離は 14m、2m 間隔で撮影することとした。ポールを基準点として利用するが、それが画像上に残っていると見苦しい画像となる。そこで、画像上でのポールの位置は端になるように設置し、リサンプリングの際に画像の中央部のみを出力することで、合成後はポールが画像上に残らないように工夫する必要がある。以下にその具体的な撮影手法を示す。

①初めのポールは 1 と 3 に設置し、撮影する(図 5.6)。

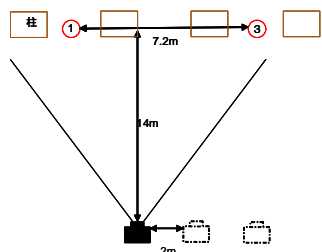


図 5.6 撮影手法 2①

②次に 2m 移動し、2 枚目を撮影する(図 5.7)。

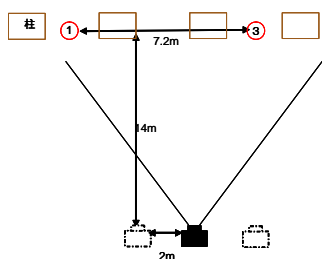


図 5.7 撮影手法 2②

③3 枚目を撮影する時はポール 3 がカメラの中央部分にくるので、ポールを 1→2、3→4 と移動させて撮影する(図 5.8)。

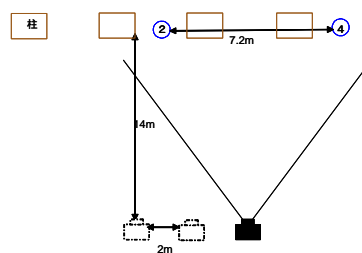


図 5.8 撮影手法 2③

図 5.9 は撮影手法 2 での、ポールを消す合成過程である。一段目は何も変換していない状態である。それをキャリブレーション、二次元射影変換をすると二段目の写真になる。ポールが写っている範囲を切り取って三枚を合成すると、三段目の両端以外のポールが消えた写真になる。ここでは、右端と左端のポールは残してある。

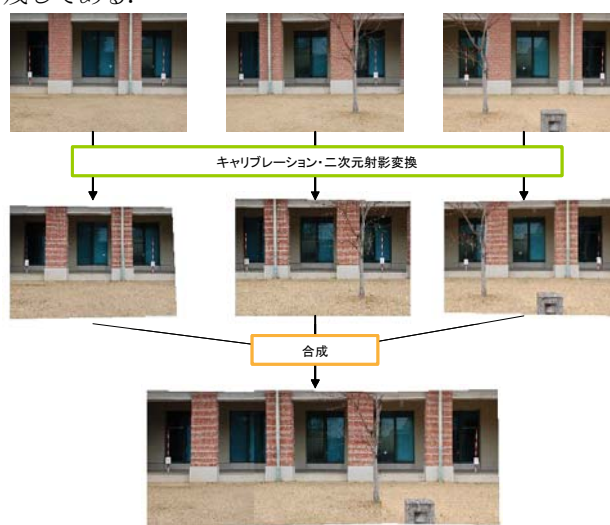


図 5.9 撮影手法 2 でのポールを消す過程

今回は、基準点数が 4 なので、残差を求めることはできないが、ポールを基準点に利用しても問題なく合成することができた。

6. 考察

今回は、まず平面と仮定できる柱の面に二次元射影変換を用いて写真を合成させた。結果、不自然にならない程度の合成に成功した。ポールを 2 本基準点に使った方法も同様であった。ポールを用いた基準点は、設置する時の誤差、設置距離を測るときの誤差など多くの誤差が含まれる。しかし、見た目上問題なく合成することができた。現在は、自作ソフトでの処理ということもあって、ユーザーインターフェースは良いとは言えない。今後、使いやすさを向上させることと、天気によって画像の明るさが変わるため、色の補正を考慮したソフトウェア開発が必要である。

7. 参考文献

解析写真測量 改訂版, 社団法人日本写真測量学会