

Multi-histogram 法による画像のモザイクング

森 明慧[†] 内田 誠一[†]

[†]九州大学大学院システム情報科学府 〒 812-8981 福岡市東区箱崎 6-10-1

E-mail: [†]mori@human.is.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本論文では、同一のシーンを撮影した複数の画像を統合し、一枚の大きな画像を生成するという、いわゆる画像のモザイクングの一手法を提案する。本手法は次の 2 段階からなる。第一段階では、接合すべき 2 枚の画像のそれぞれにおいて、画像中で 1 度しか出現しない画素値を持つ画素を特徴点として選出する。こうした特徴点のうち同じ画素値を持つものは、対応画素の候補として考えることができる。こうして対応付けの候補それぞれについて、2 画像を接合するための幾何変換パラメータを求めておく。第二段階では、これら幾何変換パラメータ値の最頻値を求め、それを 2 画像の最適幾何変換パラメータ値として出力する。これら 2 段階いずれの段階においても、ヒストグラムを用いるため、本手法を multi-histogram 法と呼ぶこととする。実際の画像を用いて定量的・定性的な評価を行ない、本手法の有効性を示すと共に、改良すべき点についても考察した。

キーワード 画像モザイクング, ヒストグラム, 幾何変換, マッチング

A fast and generic image mosaicing method using pixel feature histogram and geometric parameter histogram

Akihiro MORI[†] and Seiichi UCHIDA[†]

[†] Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University 6-10-1 Hakozaki,
Higashi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 812-8581 Japan

E-mail: [†]mori@human.is.kyushu-u.ac.jp

Abstract In this paper, a fast and generic image mosaicing technique, called multi-histogram method, is proposed. In this method, the image mosaicing is performed in a two-step manner. At the first step, feature points are selected from each of two images to be matched by using the histogram of pixel features. The pixels with rare feature values are selected as feature points. Then, at the second step, the most reliable image matching with geometric transformation, such as Helmert's transformation, is provided by using another histogram, which is constructed by the transformation parameters estimated by corresponding the above feature points. This two-step algorithm is simple and therefore very fast. In addition, the algorithm has a large potential to be extended for improving its performance. Experimental results showed that the proposed technique can provide reasonable mosaicing results in most cases with feasible computations.

Key words image mosaicing, histogram, geometric transformation, matching

1. はじめに

モザイクングとは、同一のシーンを撮影した複数の画像を統合し、一枚の大きな画像を生成するという、画像処理の基本的な手法の一つである。代表的な応用としては、リモートセンシング画像や航空写真のように時間をかけて撮影された複数の静止画の接合が挙げられる。カメラによる文書画像認識のために、文書画像に特化したモザイクング手法も開発されている [1]。より身近な例では、パノラマ画像の作成にも利用される。また、

最近ではビデオカメラにより連続的に撮影された動画のフレームを接合する、ビデオモザイクングと呼ばれる手法も検討されている [2] ~ [4]。

本論文では、モザイクング法の一つとして、multi-histogram 法を提案する。本手法は次の 2 段階からなる。第一段階では、接合すべき 2 枚の画像のそれぞれにおいて、画像中で 1 度しか出現しない画素値を持つ画素を特徴点として選出する。こうした特徴点のうち同じ画素値を持つものは、対応点対の候補として考えることができる。なお本論文では 2 画像間で対応



図 1 1組の入力画像．画像 B に対してヘルムート変換を施し，モザイクングを行う．

する 2 つの画素の対を対応点对と呼ぶ．こうして対応点对の候補それぞれについて，2 画像を接合するための幾何変換パラメータを求めておく．第二段階では，これら幾何変換パラメータ値の最頻値を求め，それをその対応点对に基づいて 2 画像の最適幾何変換パラメータ値として出力する．これら 2 段階いずれの段階においても，ヒストグラムを用いるため，本手法を multi-histogram 法と呼んでいる．

本手法の第一の特徴は，アルゴリズムの簡潔さに由来した，その高速性にある．モザイクングでは一般に位置合せのための対応点検索に時間を要する．本手法では，上述の第一段階でヒストグラムを作るだけでその対応点对候補が求まる．従って，画像のサイズを $N \times N$ とすると， $O(N^2)$ で対応点对候補が求まることになる．

本手法の第二の特徴はその汎用性にある．第一段階で対応点候補を求める際の画素特徴としては，様々なものが考えられる．本論文では，非常に単純に各画素の色情報を特徴量として求めているが，よりロバストな特徴を用いることで，精度の向上を図ることができる．また本論文では 2 画像間はヘルムート変換 [5]，すなわち平行移動，回転，および拡大縮小を補償する幾何変換により接合できることを仮定して実験等を行なっているが，より正確なモザイクングのためにアフィン変換や射影変換が必要になったとしても，本手法の考え方はそのまま流用できる．

なお，本論文では，モザイクングに必要な技術のうち，位置合せに特化して検討する．モザイクングには，位置合せ以外にも，位置合せ前の濃度補正（例えば周辺減光補正）といった前処理，ならびに重なり合った部分の濃度の平滑化といった後処理が必要になるが [5]，それらは本論文の対象外とする．

以下，本論文は次のように構成される．2 章では，本手法の概要を説明する．3 章では，本手法の第一段階である，ヒストグラムを用いた対応点对候補の選定法について述べる．4 章では，本手法の第二段階である，ヒストグラムを用いた，最適幾何変換パラメータ，すなわち最適位置合せの探索法について述べる．5 章では，本手法の速度と精度を定量的・定性的に評価するために行った実験の結果について述べる．

2. 本手法の概要

前章で述べたように，本論文では 2 画像がヘルムート変換 [5] により接合できることを仮定する．すなわち，図 3 のような 2



図 2 モザイクング結果．

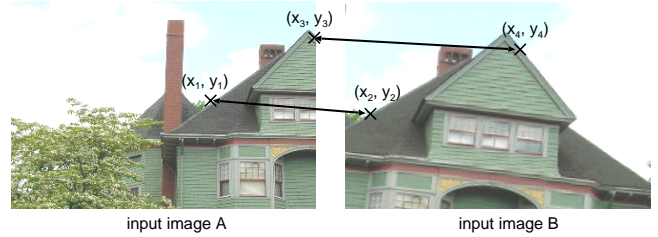


図 3 2組の対応点对．

画像 A, B が，水平/垂直移動量，回転角，及び拡大率を表現するパラメータを最適化することで，図 2 のように接合できることを仮定する．ヘルムート変換は次式のように 4 つのパラメータ a, b, c, d により定義される．

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \quad (1)$$

未知の 4 パラメータは，2 画像間に 2 組の対応点对を与えることで確定できる．すなわち， $(x_1, y_1) \mapsto (x_2, y_2)$ および $(x_3, y_3) \mapsto (x_4, y_4)$ という 2 組の対応点对がわかったとすると（図 3），次式によりパラメータ a, b, c, d は一意に求まる．

$$\begin{cases} a = \frac{(x_1 - x_3)(x_2 - x_4) + (y_1 - y_3)(y_2 - y_4)}{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} \\ b = -\frac{(x_1 - x_3)(y_2 - y_4) + (y_1 - y_3)(x_2 - x_4)}{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} \\ c = x_2 - ax_1 - by_1 \\ d = y_2 - bx_1 - ay_1 \end{cases} \quad (2)$$

この 4 つのパラメータによるヘルムート変換を画像 B に施すことで，2 画像 A, B のモザイクングが完了する．なお，水平・垂直方向の移動量 dx, dy ，回転角度 dt ，及び拡大率 r は次のように求めることができる．

$$\begin{cases} dx = c \\ dy = d \\ dt = \tan^{-1}(b/a) \\ r = \sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (3)$$

以上の手順でモザイクングを行なうためには，少なくとも 2 組の対応点对を求める必要がある．この対応点对は自明ではないため何らかの方法で探索する必要がある．本手法では，画素値の頻度に着目して，対応点としてふさわしい点（特徴点）を各画像から選出することにする．この処理の独特な点としては，

各画像独立にそうした特徴点を探索しながら、その探索が終わると同時に2画像間の対応点候補が求められることができるという点が挙げられる。一般的な対応点探索では、画像A中の特徴点のある基準で幾つか選出し、また独立に画像B中の特徴点を同様の基準で幾つか選出した後、さらに2回目の探索として、それら画像AとBの特徴点集合間について更に対応点候補を検索する手間が必要である。これに対し、本手法では特徴点集合を選出した段階で、自動的に対応点が求まっているために、2回目の探索は必要ない。3章ではこの仕組みの詳細を述べる。

こうして特徴点について対応点対が求まった後、式(1)(2)に従って幾何変換パラメータを推定する。対応点対がすべて正しければ、それらのうち任意の2組の対応点対を使用すれば、上述のようにヘルムート変換パラメータ dx, dy, dt, r が求まり、同時にモザイクも完了する。しかしながら、実際には偽対応が数多く含まれており、従って数多くの対応点対候補すべてを考慮しながら、尤もなパラメータを導出する必要がある。最も単純には、すべての対応点対が正しいながらもわずかな誤差を含んでいるという仮定の下、最小二乗法により誤差を最小化するようなパラメータを決定するという方針が採られる [5, p.1159]。しかし、画素特徴という局所的な情報を頼りに定めた対応点対には、真の対応とは大きくかけ離れたものが含まれる可能性がある。特に本手法では、前段での対応点対探索の性質上、そうした偽対応が数多く含まれ、すべての対応点対を等しく信頼するという最小二乗法のアプローチでは高精度なモザイクは期待できない。

そこで本手法では、まずこれら対応点対を2組ずつ任意に抽出し、それらから式(2)に従って、変換パラメータを求める。偽対応が多く含まれるために、この変換パラメータも様々に変動するものと考えられるが、真の変換パラメータ付近の値は多数出現するものと考えられる。そこで、このパラメータのモード(最頻値)を尤もなパラメータ値とすることで、 a, b, c, d を確定することとする。4章ではこの仕組みについて述べる。

後に明らかになるように、対応点対候補の選定、ならびに多数の変換パラメータからのモードの選定の2つの段階それぞれにおいて、本手法ではヒストグラムを活用する。これらヒストグラムは同じ数量に関するものではなく、第一段階では画素特徴量に関するヒストグラム、第二段階では変換パラメータに関するヒストグラムである。このように二つの異なるヒストグラムを活用することから、本手法のことを以下では multi-histogram 法と呼ぶ。

3. 色空間ヒストグラムによる対応点対の探索

3.1 原理

前述のように、モザイクを行なうためには、数組の対応点対を求める必要がある。本節では画素特徴量のヒストグラムを、画像対A,Bのそれぞれにおいて生成することで、非常に少ない計算量でこうした対応点対候補を複数求める手法について述べる。

前述のように本手法では、画素特徴量の頻度に着目して対応点対を定める点を特徴とする。より具体的には、各画像で高々

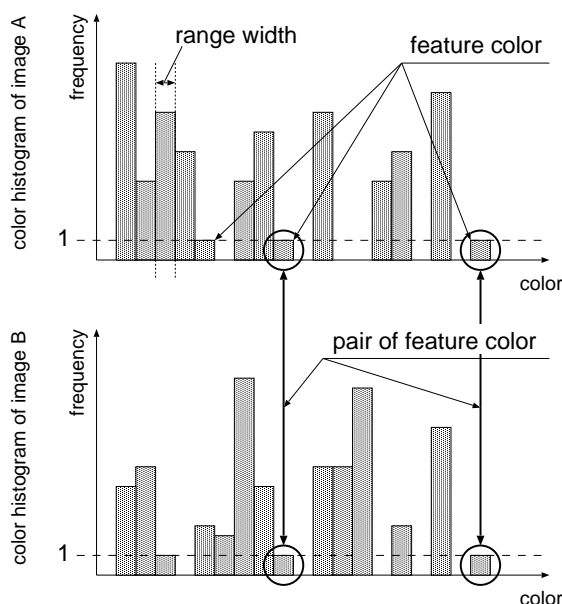


図4 色空間ヒストグラムを用いた対応点対の探索。

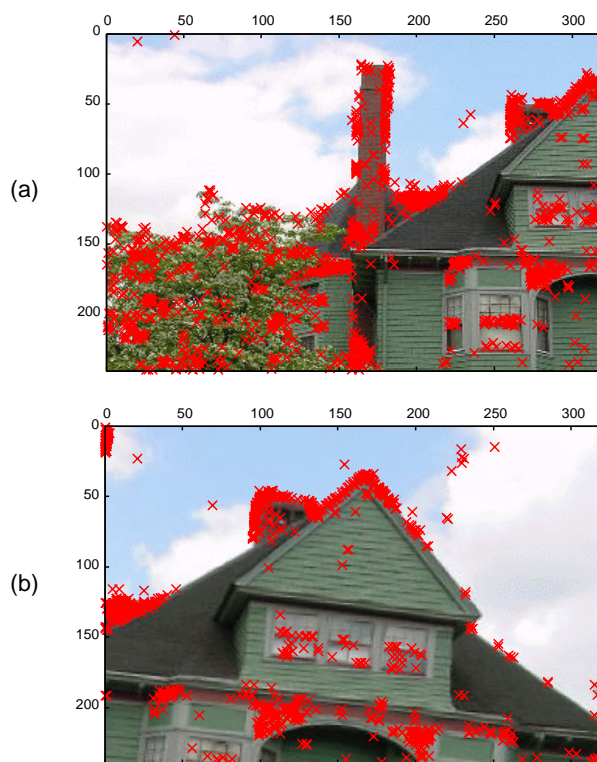


図5 (a) 画像Aにおける特徴点。(b) 画像Bにおける特徴点。

1回しか出現していないような画素特徴量の値を持つ画素を選出する。このとき、もし同じ画素特徴量の値を持つ画素が画像A,Bにそれぞれ1つしか無かったならば、それらに対応点対の候補とする。仮に画素特徴が色特徴であるとすると、例えば画像AにもBにも黄色い画素がそれぞれ1つしか無かったら、それらに対応点対の候補とする。

上述の対応点対選出処理は画素特徴量ヒストグラムを用いることで簡単に行なうことができる(図4)。すなわち、画像A,Bそれぞれについて、画素特徴特徴に関するヒストグラムを生成する。次にこのヒストグラムを比較し、同じ画素特徴値のこ

るの頻度が共に 1 であれば、その画素特徴値を持つ画素を対応点候補として選出する。

前章でも述べたが、以上の処理の特長として、特徴点集合を両画像から同時に選出した段階で、自動的に対応点对が求っており、その後、改めて対応点对を探索する必要が無い点が重要である。

3.2 特徴量の定義

以下の議論においては、画素特徴として色情報 (R,G,B) を用いることとする。場合に応じて、他の画素特徴 (モーメント特徴, 位相特徴など) を用いることが有効な場合も多いと考えられるが、本論文では単純に色情報を採用する。この場合、前出の画素特徴ヒストグラムは、3 次元色空間ヒストグラムとなる。なお、色情報を用いる場合に限っても、画像 A, B に全体的に濃淡値の差がある場合ならば、例えば RGB ではなく HSI 表色系のうち H(色相) および S(彩度) だけを用いるなどの工夫も可能である。

図 5 は、RGB 特徴を用い、前述の手順で求めた特徴点 (両画像それぞれに 1 度しか現れない RGB 特徴を持つ点) を表したものである。また図 6 はそれらによる対応点候補の一部である。このように正しい対応点対も存在するが、一方で全く誤った対応点対も存在している。

3.3 ヒストグラム作成時の量子化幅

実際の応用に際して、ヒストグラムの作成時の量子化幅は非常に重要である。この幅が広い場合、特徴量の多少の変動に口バスタな対応点対選出が可能となる。しかし、あまりに広いと、期待する稀な色特徴をもつ画素が減ってしまい、最悪の場合、対応点対候補が求まらない可能性がある。

一方、量子化幅を狭くしすぎることにも問題がある。特徴量の多少の変動がある場合には特徴量が完全に一致する画素がなくなってしまい、対応点対候補が求まらない可能性がある。逆に、特徴量の変動が非常に少ない場合、必要以上に多くの対応点対候補が得られると考えられる。いずれにしても、量子化幅が狭いとヒストグラム自体が大きくなりすぎ、空間計算量の観点から好ましくない。

以上を鑑みると、結局、対応点対を得るために最適な量子化幅は、画像対の性質により異なるものと思われる。従って、理想的には画像の情報を利用して、動的に量子化幅を設定や、さらには不均一な量子化幅を設定、あるいは粗密探索的な処理の必要があると思われる。これらの検討について今後の課題とする。本論文の実験では、RGB 各 256 レベルについて、量子化幅を固定値 5 としている。従って、色空間ヒストグラムの量子化レベル数は $(256/5)^3$ 程度となる。

4. パラメータ空間ヒストグラムによる幾何変換パラメータ推定

4.1 原理

本章では、2 画像を適切に接合する、幾何変換 (ヘルムート変換) パラメータの導出法について述べる。前章で議論したように、色空間ヒストグラムにより多数の対応点対候補が求まる。これらのうちには正しい対応点対もあるが、一方で偽対応も数

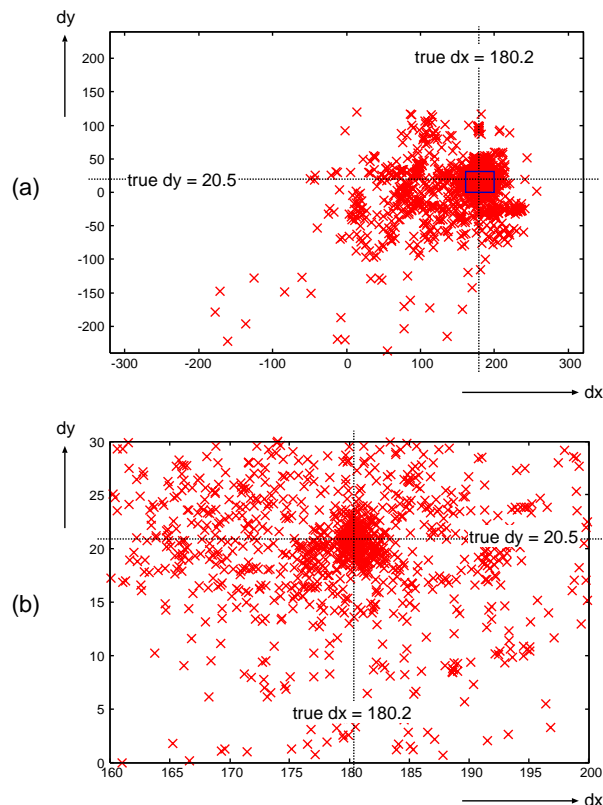


図 7 (a) パラメータ空間上のパラメータ分布の例。ただし、 (dx, dy) 成分のみを表示。(b) 一部 (本図 (a) 中の小矩形) を拡大したもの。

多く含まれることも事実である。そこで、本章では、こうした対応点対の組から推定される幾何変換パラメータのうち、最も適切なものを選ぶ方法について述べる。

具体的には、前章で得られた対応点対を 2 組ずつ選び出し、それらから式 (2) および (3) を用いて、変換パラメータベクトル (dx, dy, dt, r) を求める。対応点対は数多くあるので、この変換パラメータベクトルも多数求まる。もし正しい対応点対の方が、偽対応点対よりも多ければ、これらパラメータベクトルはあるところに集中して存在するはずであり、その集中している点こそが最も適切な変換パラメータであると考えられる。

そこでこの 4 次元パラメータベクトルについてヒストグラムを構成し、そのヒストグラムのモード (最頻値) を尤もなパラメータ値とすることで、 (dx, dy, dt, r) を確定することとする。詳細は 4.2 節で論ずる。対応点対が P 個あれば、このヒストグラムの全度数は $P(P-1)/2$ となる。これら $P(P-1)/2$ 個のパラメータについて、偽対応点対から計算されたものがどこかに集中するとは考えにくい。従って、正しい対応点対に比べ偽対応点対が多少多くても、この枠組みで求まる変換パラメータは安定していると考えられる。

図 7 は実際に求めたパラメータベクトルがパラメータ空間上でどのように分布しているかを、ある画像対について求めたものである。このように、真値 (この例の場合 $(dx, dy) = (180.2, 20.5)$) 付近に集中して存在していることがわかる。また、偽対応によるパラメータの存在もわかる。

