

# Multi-histogram 法による画像のモザイクング

森 明慧<sup>†</sup> 内田 誠一<sup>†</sup>

<sup>†</sup>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: <sup>†</sup>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<sup>†</sup> and Seiichi UCHIDA<sup>†</sup>

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

E-mail: <sup>†</sup>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．

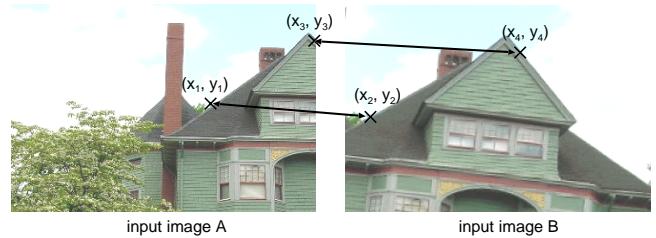


図 3 2組の対応点对．

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

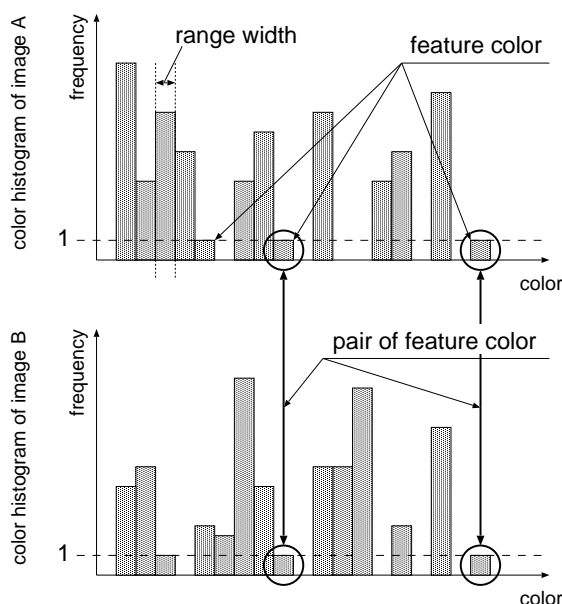


図4 色空間ヒストグラムを用いた対応点対の探索。

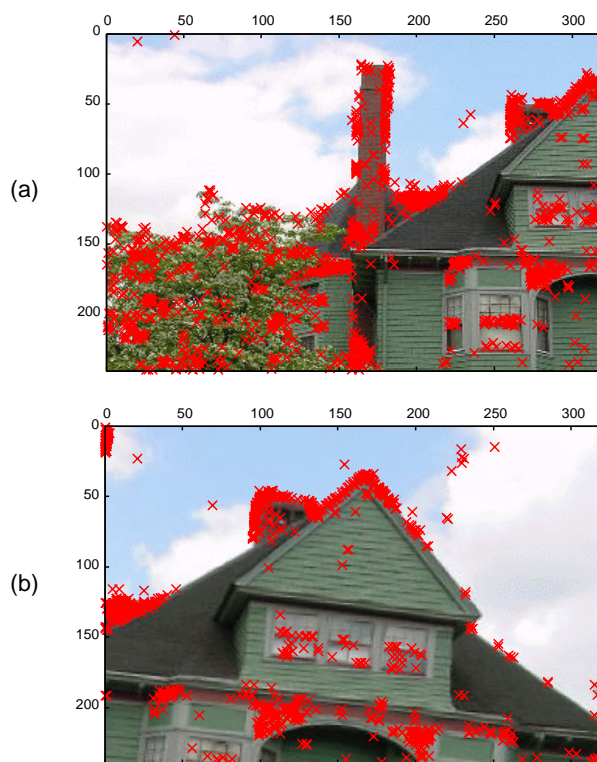


図5 (a) 画像Aにおける特徴点。(b) 画像Bにおける特徴点。

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对も存在するが、一方で全く誤った対応点对も存在している。

### 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对選出が可能となる。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、対応点对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う、対応点对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对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、対応点对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对候補が求まる。これらのうちには正しい対応点对もあるが、一方で偽対応も数

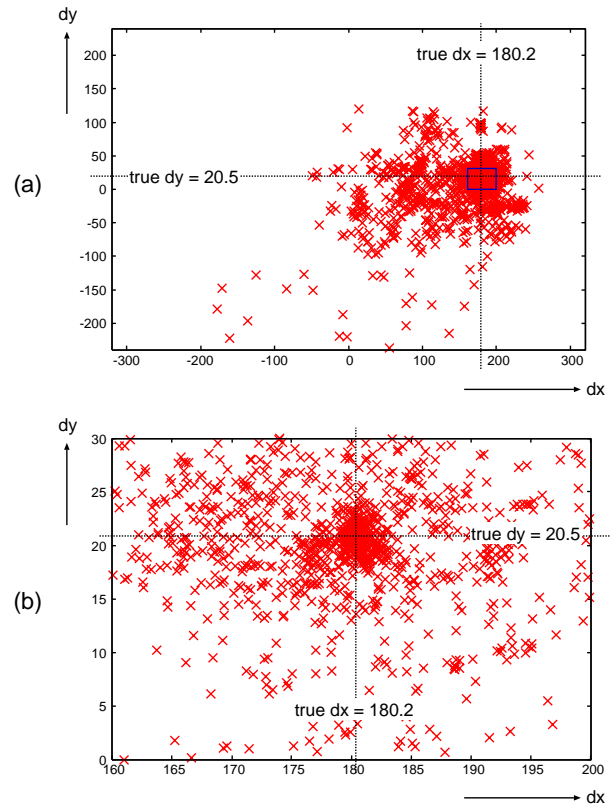


図 7 (a) パラメータ空間上のパラメータ分布の例。ただし、 $(dx, dy)$  成分のみを表示。(b) 一部 (本図 (a) 中の小矩形) を拡大したものの。

多く含まれることも事実である。そこで、本章では、こうした対応点对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对を 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。対応点对は数多くあるので、この変換パラメータベクトルも多数求まる。もし正しい対応点对の方が、偽対応点对よりも多ければ、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。対応点对が  $P$  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、偽対応点对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、正しい対応点对に比べ偽対応点对が多少多くても、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。

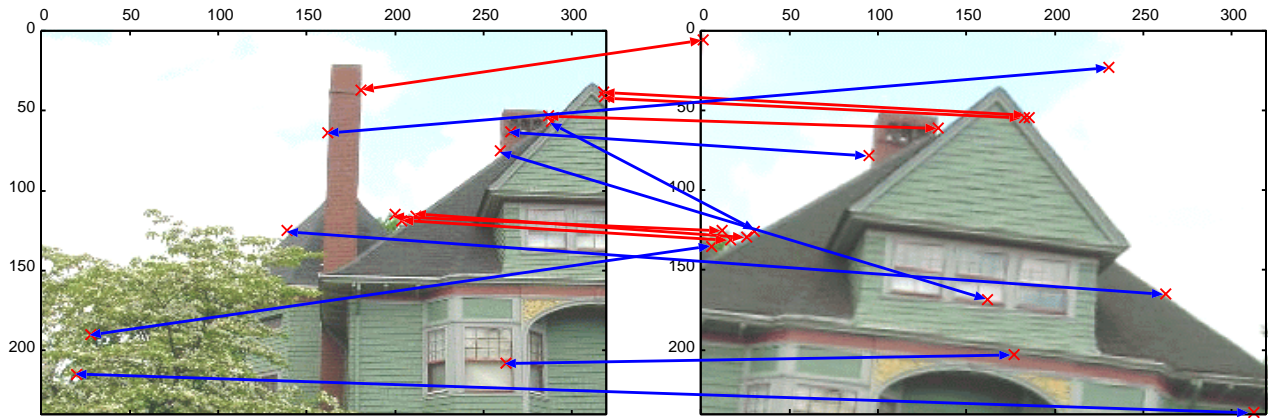


図 6 対応点対候補の一部．赤色の対は正しい対応関係にあるもの．青色の対応点対は偽対応．

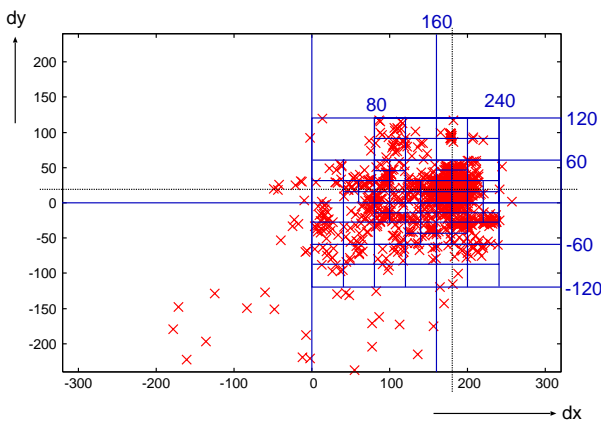


図 8 パラメータ空間の不均一分割．閾値 20 の場合．

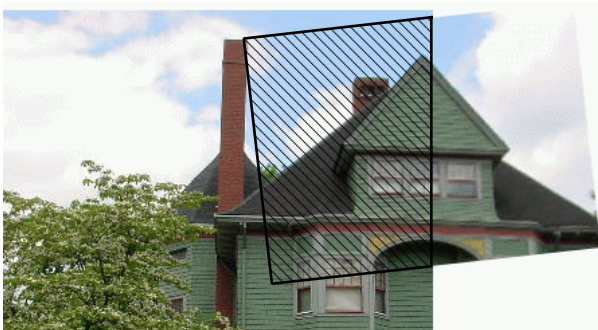


図 9 モザイクング結果の評価．二つの画像の重なった領域(斜線部)において、対応した画素の輝度値の差分の二乗和を画素数で割る．

#### 4.2 ヒストグラム上の最頻値探索

得られる対応点対候補の数はモザイクングの対象となる画像によって大きく異なる．従って、ヒストグラムに含まれるパラメータ数も入力画像によって大きく変動する．このため、パラメータ空間ヒストグラムの量子化幅(パラメータ空間の領域に相当)を事前に決めることは困難である．

そこで、本手法ではヒストグラムの構成と最頻値探索に関して、粗密探索的な戦略を採用する．すなわち、パラメータ空間を再帰的に分割することで探索対象となる領域を徐々に狭くしていき、領域の大きさがパラメータ数に対して十分に小さくなった時点で、ヒストグラムの値を決定することにする．具体

的な手順を以下に述べる(図 8)．まず、各パラメータの存在区間を定めておき、次に、変換パラメータ  $(dx, dy, dt, r)$  が成す 4 次元ベクトル空間を、各パラメータ軸において区間の中央で 2 分割する．こうして 16 分割されたパラメータ空間においてヒストグラムを作成する．各領域に含まれるパラメータの数、すなわちヒストグラムの値が閾値よりも大きな場合には、再びこの領域を 16 分割する．以後、全てのヒストグラムの値が閾値より小さくなるまでこれをくり返す．これにより、不均一分割されたヒストグラムを作成することができる．

こうして得られた領域の中で最も狭い領域、すなわち最も深く分割された領域に含まれるパラメータを、正しい対応点対から得られたパラメータと判断する．ただし、最も狭い領域が複数存在する場合は、その中でヒストグラムの値が最も大きいものを、すなわち、その領域に含まれるパラメータの数が最も多いものを正しいパラメータが含まれる領域とする．そして、この領域に含まれるパラメータの平均値をヒストグラムの最頻値とする．

#### 4.3 最適パラメータ候補の事後評価

偽対応の数が非常に多い場合には、以上の手法を用いたとしても、誤った領域、すなわち誤った変換パラメータが求まる可能性がある．そこで、パラメータ空間ヒストグラムの探索の条件を緩めて、真値を含む可能性の高い上位  $K$  個の領域を候補とする．そして、実際にそれぞれの領域に含まれるパラメータの平均値をとってモザイクングを行い、そのオーバーラップ部の整合性評価(具体的には残差平方和を用いた評価)を行う(図 9)．この評価値の最も良かったものを最終的な結果とする．

### 5. 実験

#### 5.1 1つの画像から人工的に作成した2画像に対するモザイクング実験

##### 5.1.1 実験の概要

本手法によるモザイクングが適切に機能するかを確認するため、1枚の画像を人工的に分割し、さらに幾何変換(ヘルムート変換)を加えて生成した50の画像対[6]に対して本手法を適用し、その精度ならびに計算時間を検証した．このように元々1枚の画像であったので、対応する画素の色特徴は、幾何変換による若干の変動は含むものの、ほぼ同一となる．入力画像の

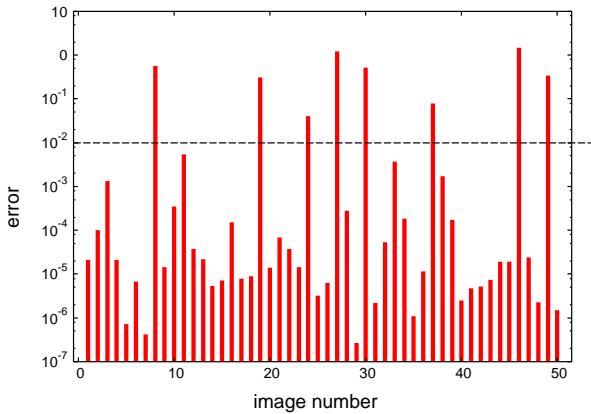


図 10 本手法を用いて得られた幾何変換パラメータと真値との誤差．破線は誤差 1.0% を示す．

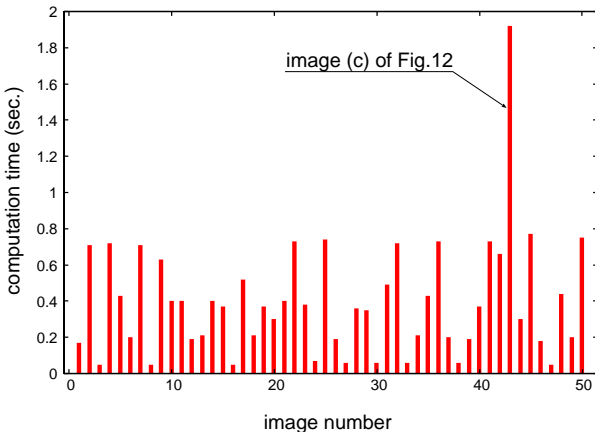


図 11 計算時間．単位は秒．

大きさは一定でなく、小さいものは横 160 画素、縦 120 画素、大きなものは横 640 画素、縦 480 画素など様々である．実験の実行環境は、CPU が Pentium4 Processor 2.80GHz、メインメモリが 1024MB である．

実験結果を図 10, 11, 12 に示す．実験の結果、50 対の入力画像うち 42 対が成功しており、成功率は 84%であった．得られた特徴点对は平均 192 対、最小で 37 対、最大で 666 対であった．また、得られたパラメータの数は平均 4400 個、最小で 51 個、最大で 57608 個であった．

図 10 は、本手法を用いて得られた幾何変換パラメータ ( $dx, dy, dt, r$ ) と真値との誤差を示している．本実験では、この真値との誤差が 1.0% 未満のものを成功とした．この判定基準は、モザイクングの結果として得られた画像を目視で確認した場合の成功・失敗の判定ともほぼ一致している．実際、図 12 では真値による変換結果の位置を点線で示しているが、この基準で成功となっている (a)~(d) ではモザイクング結果と重なって見ることができない．

### 5.1.2 計算時間に関する考察

図 11 は、本手法を用いた場合のパラメータの算出に要した時間を示している．50 対の入力画像に対する平均の計算時間は 0.40 秒であった．また、最短の場合で 0.05 秒、最も計算時間が長かった場合でも 1.92 秒で計算を終えており、本手法が非常

に高速であることが確認できた．

ところで、図 11 ではある入力画像に対する計算時間だけが突出している．この入力画像に対するモザイクング結果は図 12(c) の画像であり、このときの対応点对の数は 666 対、パラメータ数は 50 入力中最大の 57608 個であった．対応点对が増えると、それに従いパラメータの数は 2 乗のオーダーで増加し、パラメータistogramの最頻値選出に非常に長い時間を要するようになる．図 12(c) の場合に対応点对候補の数が多くなった理由としては、まず 2 つの画像の重なりが非常に大きいという点が挙げられる．これに加え、画像中の案内板にかかれた文字の部分では非常に細かく濃淡値が変動しており、この部分で非常に多数の対応点对が得られたことが理由として考えられる．

### 5.1.3 モザイクング結果に関する考察

図 12 は、実験の結果得られた画像の一部である．図 12(a)~(d) はモザイクングに成功している例、すなわち本手法を用いて得られたパラメータと真値との誤差が 1.0% 未満の例である．図 12(d) は、重なり部分が小さい上に重なりの無い部分での色の一致が多く、パラメータ空間istogramにおける領域探索では正しいパラメータを含んだ領域を最有力候補とすることができなかった．しかし、事後評価により正しいパラメータを算出することができた．

一方、図 12(e), (f) はモザイクングに失敗している例である．図 12(e) は入力画像が小さく (横 160 画素、縦 120 画素)、これに伴い得られたパラメータ数も平均値に比べかなり少なかった (244 個)．また、図 12(f) は画像が本来重なるべき部分に特徴的な色が存在せず、特徴点对の数が非常に少なかった (55 対)．このため得られたパラメータ数も少なく (51 個)、モザイクングに失敗してしまった．いずれにしても、特徴空間の広さに比べてパラメータ数が少ないことがモザイクングに失敗する原因である．

このことから、失敗の多くは対応点对の数が少ないことに起因すると考えられる．そのため、対応点对を安定に数多く得ることが必要である．対応策としては、色空間istogramの量子化幅を入力画像によって変更する、あるいは特徴点として単一の画素ではなく周辺画素を考慮したものをを用いるなどといった手法が考えられる．

## 5.2 個別に撮影した 2 画像に対するモザイクング実験

### 5.2.1 実験の概要

続いて、デジタルカメラを用いて重なりをもった二つの画像を撮影し、得られた画像に対して本手法を適用して実験を行った．入力画像として 17 対の画像を用いた．画像のサイズは全て横 640 画素、縦 480 画素である．撮影に用いたデジタルカメラは、CASIO EXILIM ZOOM EX-Z40 である．撮影の際にはホワイトバランスの設定及び感度設定が極力一定になるようにし、撮影後の画像には一切の事前処理 (濃淡補正など) を行っていない．前節と同じく、実験の実行環境は、CPU が Pentium4 Processor 2.80GHz、メインメモリが 1024MB である．

実験結果を図 13 に示す．実験の結果、入力画像 17 対のうち 7 対については、目視ながらほぼ成功していると感じられた．



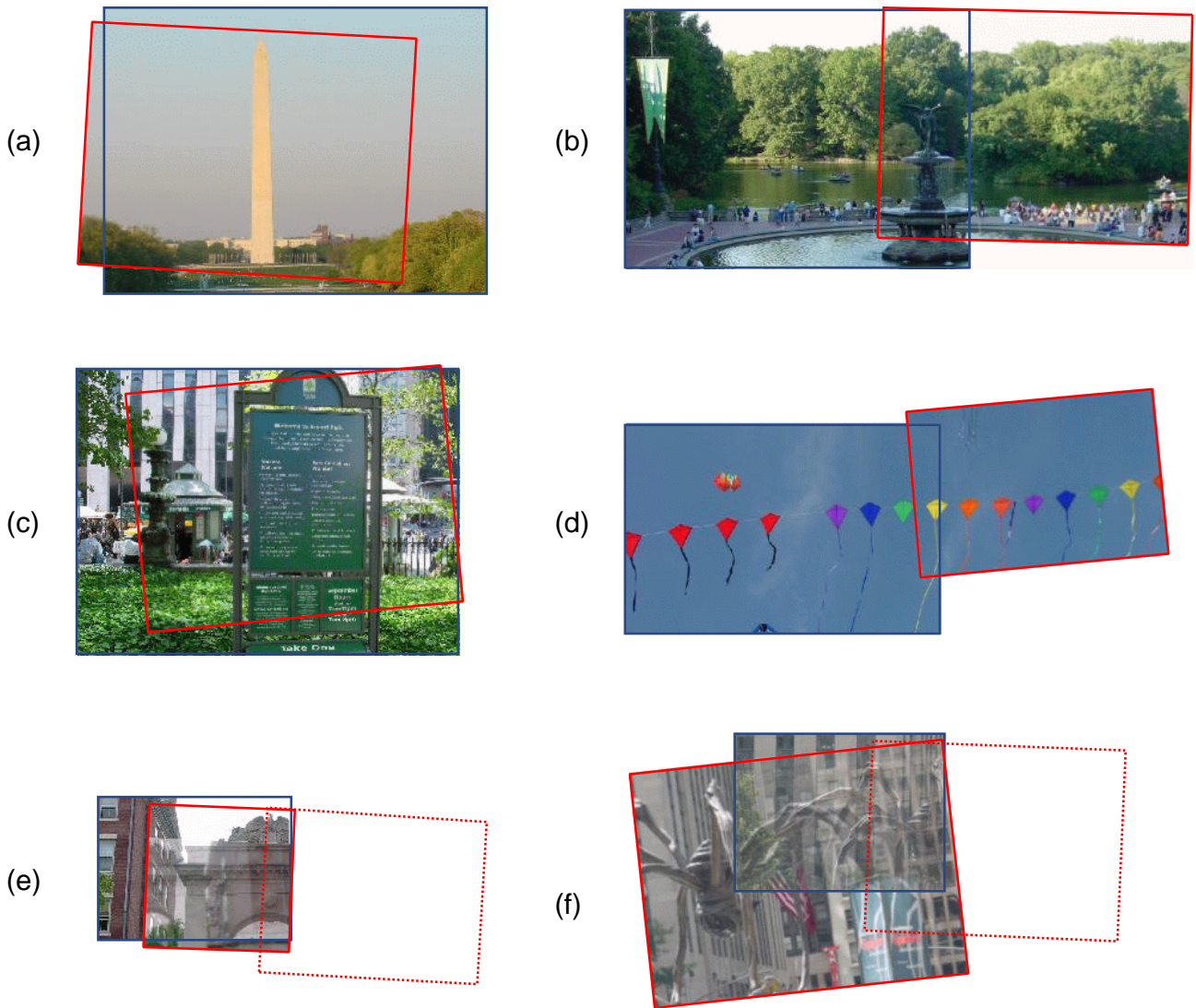


図 12 1つの画像から人工的に作成した2画像に対するモザイクの結果の一部。(a)~(d)は成功例。(e),(f)は失敗例。真値による変換結果の位置を点線で示す。

従って、成功率は41%である。得られた特徴点对は平均392対、最小で15対、最大で846対であった。また、得られたパラメータは平均12938個、最小で36個、最大で43836個であった。計算時間は平均0.93秒、最短で0.70秒、最長で1.93秒であり、やはり高速なモザイクを実現しているといえる。

### 5.2.2 モザイク結果に関する考察

図13(a)~(c)はほぼ成功したといえる例である。また、図13(d)は失敗例である。図13(d)をはじめ多くの入力画像は、対となる2つの画像の全体的な明るさや色合いが異なり、このために多くの偽対応が生じていた。これはデジタルカメラの自動調節機能が依然として影響した、もしくは2間の撮影間で照明が変化したためと考えられる。また、図13(a)~(c)についても、本実験(ヘルマート変換)で可能な限りのモザイクを行っており、およそうまくいっているといえるが、一部ではわずかなずれが生じているのがわかる。これらの画像には、原理的にアフィン変換または射影変換が必要である。

実験結果より、本手法をによる画像のモザイクは有効であるが、今後は2つの画像間の全体的な濃淡値補正や周辺減光

の補償といった前処理・後処理、およびアフィン変換や射影変換について検討する必要があるといえる。

## 6. まとめ

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の一手法を提案した。本手法は2画像の対応点对の探索ならびに、その対応点对候補を利用した最適幾何変換パラメータの推定、という2段階からなる。いずれの段階においてもヒストグラムを活用する。すなわち、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し、それらから対応点对候補を探索するために、画素特徴に関するヒストグラムを利用する。第二段階では、これら対応点对候補の組から計算される幾何変換パラメータについて、そのモード(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ために、変換パラメータに関するヒストグラムを利用する。

この本手法 — multi-histogram 法 — について、実際の画像

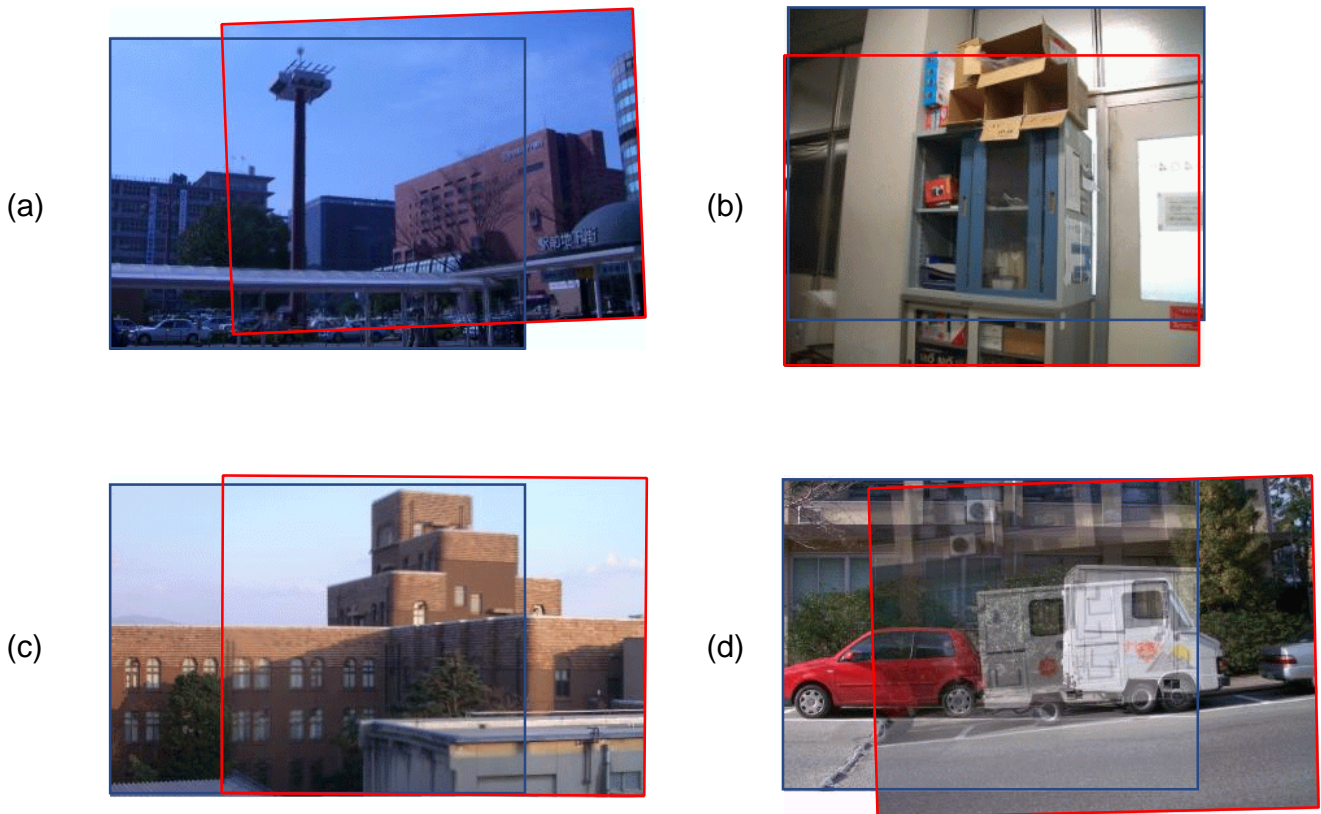


図 13 個別に撮影した 2 画像に対してモザイクングを行った結果の一部。(a)~(c) はほぼ成功している例。(d) は失敗例。

を用いて定量的・定性的な評価を行ない、そ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。具体的には、1 枚の画像を人工的に分割し、さらに幾何変換（ヘルマート変換）を加えて生成した画像対を用いて、本手法の精度ならびに速度を検証した。さらに、実際にカメラを動かしながらシーンを撮影して得られた画像対を用いて、本手法の実環境における有効性を検証した。

冒頭でも述べたように、本手法は様々な拡張が可能であり、従って今後の検討課題も多く残されている。特に今回は幾何変換として回転・平行移動・スケーリングのみを含むヘルマート変換を仮定したが、実際にシーンを撮影した画像対には、アフィン変換や射影変換が含まれていた。こうしたより実際の幾何変換を補償する場合の実験を今後行なう必要があると思われる。基本的には、対応点对を 2 組から 3 組にし、パラメータヒストグラムを 4 次元から 6 次元にすることで、本手法の枠組みそのままアフィン変換を補償可能になる。しかしながら、この場合増加する計算量に如何に対処するかについては、大いに議論の余地が残されている。また、今回は特徴量として 3 次元色情報 (R,G,B) を用いたが、偽対応を減らすことを目的として、より洗練された特徴量を用いることが考えられる。さらに今回、2 つの画像の全体的な濃淡値補正ならびに周辺減光の補償といった処理は含めていない。実際、5 章の実験でもそうした影響により誤った結果が得られることが多かった。今後はこうした前処理・後処理を含めて、検討する必要があると思われる。

謝辞 本研究は、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解 (PRMU) 研究専門委員会主催の第 8 回アルゴリズムコンテスト「複数の写真からパノラマ写真を作ろう — 画像のモザイクング —」[6] への応募を発端としている。本論文の実験試料も、一部同コンテストのものを利用させて頂いた。コンテストの萩田紀博実行委員長 (ATR)、ならびに大町真一郎助教授 (東北大) をはじめとする実行委員の方々に対し、心から感謝申し上げます。

#### 文 献

- [1] A. Zappalà and A. Gee and M. Taylor, "Document mosaicing," *Image and Vision Computing*, vol. 17, no. 8, pp. 589–595, June 1999.
- [2] H. Li and D. Doermann, "Text enhancement in digital video using multiple frame integration," *Proc. ACM Multimedia*, pp. 19–22, 1999.
- [3] 池谷 彰彦, 中島 昇, 佐藤 智和, 池田 聖, 神原 誠之, 横矢 直和, 山田 敬嗣, "紙面を対象としたカメラパス推定によるビデオモザイクングおよび超解像," *信学技報*, PRMU2003-223, Feb. 2004.
- [4] 宮崎 洋光, 内田 誠一, 迫江 博昭, "動画像中のテキスト認識を目的としたビデオモザイクング手法," *信学技報*, PRMU2004-248, March 2005.
- [5] 高木 幹雄, 下田 陽久 監修, 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2004.
- [6] <http://www.aso.ecei.tohoku.ac.jp/alcon2004/>