

(d)情報

ブレを考慮したフォトモザイク画像作成に関する研究

A study of photomosaic image synthesis considering blur

柳瀬 俊豪[†] 金田 和文[†] 玉木 徹[†]Shungo Yanase[†] Kazufumi Kaneda[†] Toru Tamaki[†][†]広島大学大学院工学研究科

1. はじめに

近年デジタル画像を扱う機会が増え、入力画像にさまざまな効果を加えたいという要望が高まっている。そのような背景の下、Non-Photorealistic Rendering (NPR) におけるアート風画像の作成手法が注目されており、その代表的なものとしてフォトモザイク画像作成手法がある。フォトモザイクは、複数の小さな画像から 1 つの大きな画像を作成する手法であり、芸術作品や広告の表現技法として用いられている。

フォトモザイクの関連研究では、大画像の領域分割を工夫し、任意形状の小画像に合わせて大画像を分割する Jigsaw Image Mosaic が Kim らによって提案されている [1]。また、大画像中の物体輪郭に沿った領域分割法を行い、大画像の物体輪郭をフォトモザイク画像に反映させる手法が小島らによって提案されている [2]。さらに、動画像を用いて、小動画を組み合わせて大動画を生成する、Video Mosaics が Klein らによって実現されている [3]。

フォトモザイクは大画像と小画像群を入力として与え、大画像を領域分割し、各領域に最適小画像を当てはめるといった処理を行うが、関連研究も含めこれまでのフォトモザイクは最適小画像を色の類似度で決定している。

本研究では従来のフォトモザイクの表現力を高めるために、図 1 のようにブレの効果で被写体のスピード感を強調した画像を取り扱う方法について検討を行う。すなわち、色の類似度に加えブレにより生じる輝度値の変化方向の類似度を考慮することで、ブレを表現するフォトモザイク画像作成手法の開発を目指す。

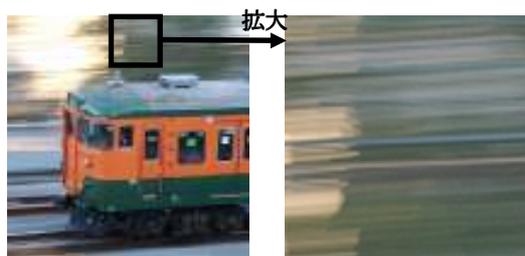


図 1 ブレ画像とブレ領域の拡大

2. 提案手法の概要

ブレ、すなわち画像の輝度値の変化方向を特徴量化する方法として SIFT 特徴量 (Scale Invariant Feature Transform) [4] を用いる。そして分割領域と小画像間で特徴量の差と色の差を算出し、その 2 つの評価尺度を用いて分割領域に当てはまる最適小画像を決定する。これによりブレ感と色が類似した小画像が分割領域に当てはまる。

2 つの評価尺度から最適小画像を決定する方法として、両尺度の重み付き和を評価関数とする方法と、色の差で選抜した候補画像の中から特徴量の差が最小となるもの最

適小画像とする二段階選抜方法の 2 つの方法を提案する。そして実画像に適用し 2 手法の評価、検討を行う。

3. SIFT 特徴量

SIFT 特徴量 [4] は画像の全画素において勾配情報を求め、それを基に 128 次元の特徴量を算出する。SIFT 特徴量算出の流れを図 2 に示す。まず画像の全画素で勾配強度と勾配方向を求める。画像の勾配は、各画素の輝度値の変化の度合いを示すものである。その画像を一边 4 ブロックの計 16 ブロックに分割し、各ブロックにおいて 8 方向 (45 度間隔) の勾配方向ヒストグラムを作成する。勾配方向ヒストグラムは、8 方向の角度のうち勾配方向が最も近い角度のヒストグラムに勾配強度を加算することで作成する。これにより $16 \times 8 = 128$ 次元の特徴ベクトルとして特徴量が算出される。また、128 次元の各特徴ベクトルの長さはベクトルの総和で正規化する。

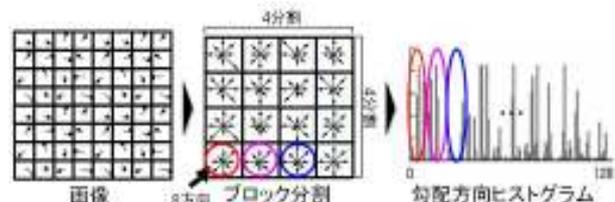


図 2 SIFT 特徴量算出の流れ

各画素 (u, v) における勾配強度 $m(u, v)$ と勾配方向 $\theta(u, v)$ はそれぞれ (1) 式と (2) 式により求める。

$$m(u, v) = \sqrt{f_u(u, v)^2 + f_v(u, v)^2} \quad (1)$$

$$\theta(u, v) = \tan^{-1} \frac{f_v(u, v)}{f_u(u, v)} \quad (2)$$

ここで、

$$f_u(u, v) = L(u + 1, v) - L(u - 1, v) \quad (3)$$

$$f_v(u, v) = L(u, v + 1) - L(u, v - 1) \quad (4)$$

であり、 $L(u, v)$ は画素 (u, v) における輝度を表す。(3)、(4) 式は 3×3 の微分フィルタに相当し、それぞれ横方向と縦方向の微分を求めている。

4. 評価尺度

SIFT 特徴量によりブレを特徴量に変換した後、図 3 のように大画像の分割領域と小画像間で RGB 色空間における色の差と、特徴量の差に関する評価尺度を算出する。この 2 つの尺度により評価を行い分割領域に当てはまる最適小画像を決定する。

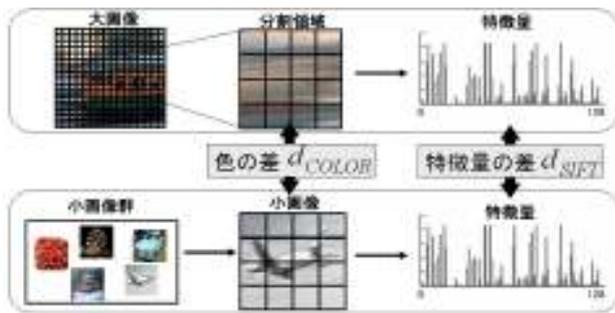


図3 評価尺度の算出

4.1 特徴量に関する評価尺度

SIFT 特徴量は 128 次元の特徴量として算出される. 特徴量間の 128 次元空間ユークリッド距離を特徴量の差 d_{SIFT} とする.

分割領域と小画像の特徴量をそれぞれ

$$V_{big} = (v_{big,1} \quad v_{big,2} \quad \cdots \quad v_{big,128}) \quad (5)$$

$$V_{small} = (v_{small,1} \quad v_{small,2} \quad \cdots \quad v_{small,128}) \quad (6)$$

とすると, d_{SIFT} は次式により算出する.

$$d_{SIFT} = \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (v_{big,i} - v_{small,i})^2} \quad (7)$$

4.2 色に関する評価尺度

分割領域と小画像の特徴量をそれぞれ SIFT 特徴量算出に伴うブロック分割に従い, 画像を 16 ブロックに分割する. そして各ブロックで平均画素値を求め, 16×RGB3 成分の 48 次元空間におけるユークリッド距離を分割領域と小画像間の色の差 d_{COLOR} とする.

分割領域と小画像のブロック i における平均画素値 (RGB3 成分) をそれぞれ

$$(R_{big,i}, G_{big,i}, B_{big,i}), (R_{small,i}, G_{small,i}, B_{small,i})$$

とすると d_{COLOR} は次式により算出する.

$$d_{COLOR} = \sqrt{\sum_{i=1}^{16} ((R_{big,i} - R_{small,i})^2 + (G_{big,i} - G_{small,i})^2 + (B_{big,i} - B_{small,i})^2)} \quad (8)$$

4.3 最適小画像決定方法

2 つの評価尺度から最適小画像を決定する方法として, 両尺度の重み付き和を評価関数とする方法と, 色の差で選抜した候補画像の中から特徴量の差が最小となるものを最適小画像とする二段階選抜方法の 2 つの方法で検討を行った. 重み付き和の評価関数は, 特徴量の差と色の差の考慮の度合いである重みを変更することで, また, 二段階選抜方法では色の差がどの程度近いものまで候補を絞るかという閾値の設定をすることで, 表現したいブレの効果の程度を調整することが出来る.

4.3.1 重みつき和

特徴量の差と色の差の重み付き和を評価関数 D とすると,

$$D = \alpha d_{SIFT} + (1 - \alpha) d_{COLOR} \quad (9)$$

で表される.

ここで α は重みであり, 表現したいブレの効果の程度に応じてユーザが設定する. α の範囲は $0 \leq \alpha \leq 1$ である. すなわち $\alpha=0$ のとき色の差のみを考慮し, $\alpha=1$ のとき特徴量の差のみを考慮することになる. 評価関数 D が最小となる小画像を最適小画像として分割領域に当てはめる.

4.3.2 二段階選抜

2 段階選抜は, 第 1 段階として, 分割領域と小画像間の色の差 $d_{COLOR} < \text{閾値 } T$ を満たす小画像を小画像群から取り出す. そして第 2 段階で, 取り出された最適候補の画像から特徴量の差 d_{COLOR} が最小, すなわち最もブレ感の近い小画像を最適小画像として分割領域に当てはめる. 閾値 T は任意の数値に変更可能であり, T を低めに設定すると, 第 1 段階で色の近い小画像に絞り込まれ, 大画像の色に近い小画像が最適小画像に選ばれやすくなる.

5. 検討結果

重み付き和の重み α と二段階選抜の閾値 T を変化させてフォトモザイク画像を作成し, ブレに対する効果を検討した.

5.1 入力画像

実験に用いた大画像を図 4 に示す. これは, 流し撮りによって撮影され, 電車の動きに合わせてカメラを動かし背景のみにブレを生じさせている. ブレ部分は水平方向から約 3° 傾いた方向に輝度値が変化している. 大画像解像度は 1200×1200 [pixel] で, 30×30 の 900 個に領域分割される.

小画像群の枚数は 28000 枚であり, 各小画像の解像度は 40×40 [pixel] である. 小画像群は 2800 種類の画像とその各画像に 0° から 160° まで 20° 間隔 ($0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 100^\circ, 120^\circ, 140^\circ, 160^\circ$) の 9 方向にブレを付加した画像で構成されている. (図 5)



図4 入力大画像

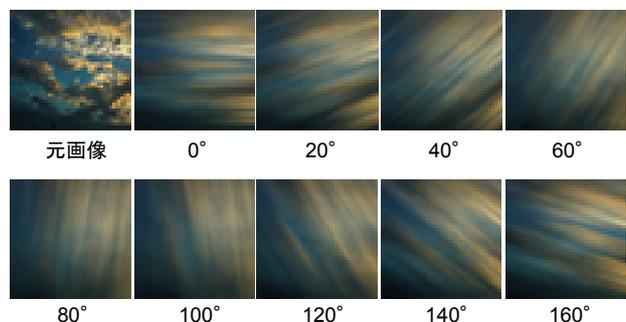


図5 入力小画像群

5.2 重みつき和の結果

重み $\alpha=0$ (色のみを考慮), $\alpha=0.3, \alpha=0.5, \alpha=0.8, \alpha=1.0$ (特徴量のみを考慮)とした場合の結果画像を図6に示す。

図(a)(b)(c)では d_{COLOR} の影響度が大きいため,入力大画像の色合いに近いフォトモザイク画像が得られている。図(a)(b)(c)を比較しても全体の色に関して大きな違いはない。また,図(d)では d_{COLOR} の影響度が小さいため入力大画像との色の違いが目立つ。図(e)は d_{COLOR} を一切考慮していないため,当然1枚の画像を表現しているようには見えない。図6(a)(c)のブレ領域の拡大図を図7に示す。拡大箇所は図1と同じである。 d_{SIFT} の影響でブレ方向に一致した最適小画像が選ばれていることがわかる。

各結果画像におけるブレ方向の一致度を見るため,ブレ領域のみに注目し,方向の一致する小画像枚数のパーセンテージを算出する定量評価を行った。具体的には,電車車体を除いたブレ領域にある440枚の小画像のうち, 0° と 20° のブレが付加されたものをブレ方向一致と見なして枚数をカウントし,パーセンテージを算出した。

評価結果を表1に示す。これから, d_{SIFT} の影響度が高まるに従い小画像の方向の一致度が高まっていることが確認できる。従って図6(b)と(c)は,入力大画像に近い色を保持しながら,色のみ考慮の図(a)に比べて方向一致度の高いフォトモザイク画像となっている。

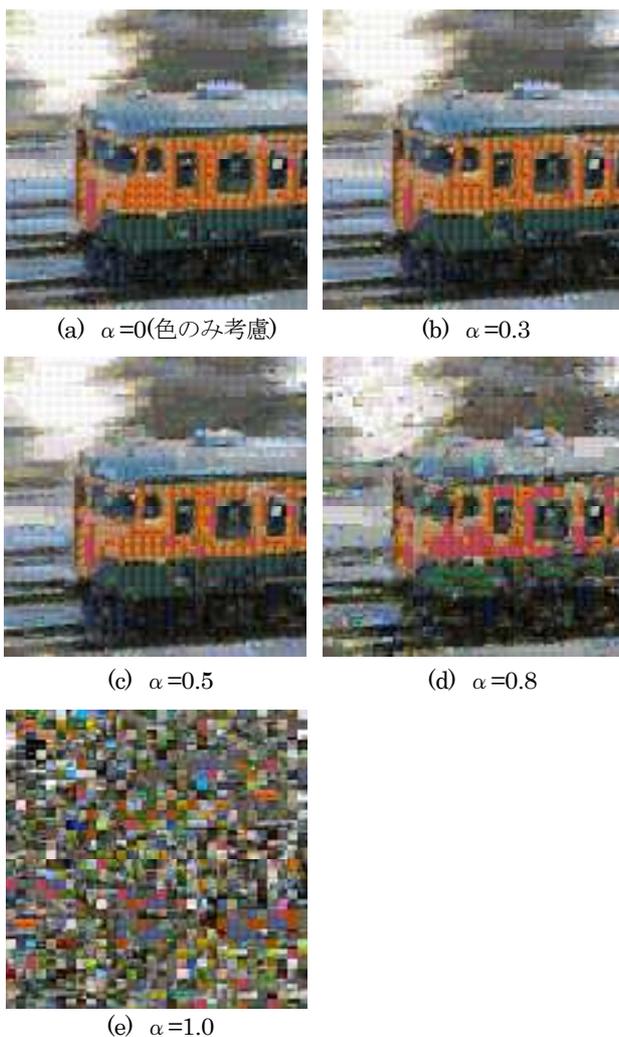
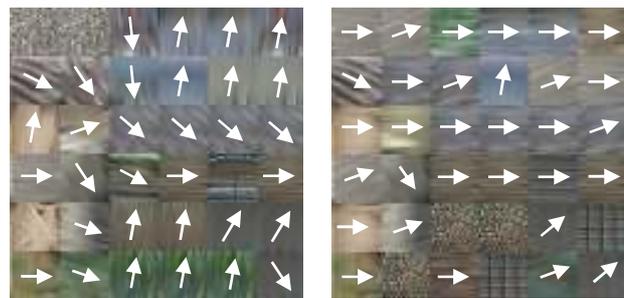


図6 重みつき和結果



(a) $\alpha=0$ (色のみ考慮)

(b) $\alpha=0.5$

図7 ブレ領域拡大図 (ブレ方向を矢印で表示)

表1 重み付き和評価結果

	$\alpha=0$	0.3	0.5	0.8	1.0
方向一致枚数	111	175	261	298	311
割合(%)	25.2	39.8	59.3	67.7	70.7

5.3 二段階選抜の結果

閾値 $T=150, T=200, T=250, T=300, T=350$ と変化させた場合の結果画像を図8に示す。

T が低い図(a)(b)では,第1段階である程度色の近い小画像に絞り込まれるため,大画像の色に近い最適小画像が選ばれている。しかし,全ての小画像において d_{COLOR} が T 以上であるために,第1段階で候補画像が選ばれなかったことによる穴あきが生じている箇所も多い。 T が高い図(c)(d)では,このような穴あきは生じにくい,第1段階で色の違いの大きい小画像も候補画像として選ばれるため,入力大画像との色の違いが目立つ。図8(b)のブレ領域の拡大図を図9に示す。図7(a)と比較すると,ブレ方向に一致した最適小画像が選ばれていることがわかる。

重みつき和と同様,ブレ方向の一致度の定量評価を行った。評価結果を表2に示す。これから,色のみを考慮する場合(表1の $\alpha=0$ の場合,25.2%)に比べ一致度が高まっていることがわかる。

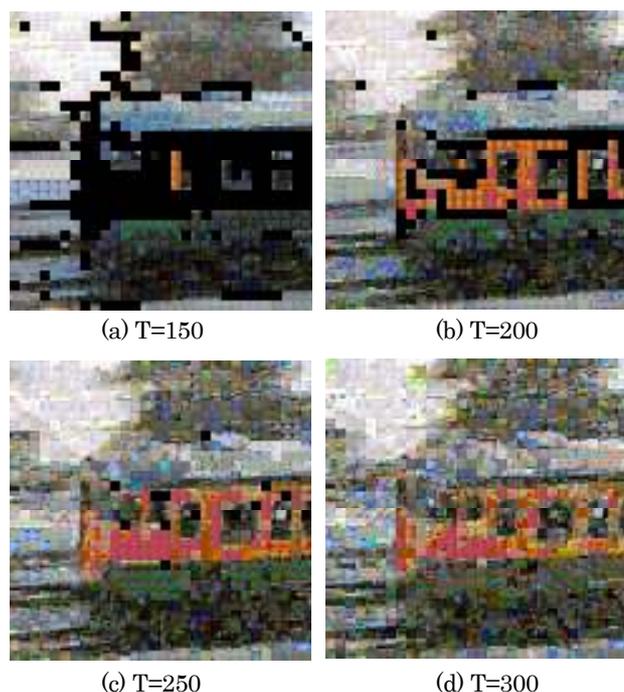


図8 二段階選抜結果

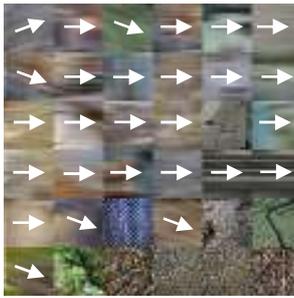


図9 T=100 ブレ領域拡大図 (ブレ方向を矢印で表示)

表2 二段階選抜評価結果

	T=150	200	250	300
方向一致枚数	237	295	311	312
割合(%)	53.9	67.0	70.7	70.9

5.4 重みつき和と二段階選抜の比較

色と方向一致度のバランスという点で、重みつき和の最良結果、図 6(c) ($\alpha = 0.5$) と二段階選抜の最良結果、図 8(b) (T=200) の比較をする。ブレ領域において、後者の方が、隣接する小画像間の境界が目立つ箇所が多い傾向にある。このような境界は、ブレの流れを分断してうまくブレ感を表現できない一因であると考えられる。また、閾値の設定の仕方では穴あきが生じるためこれをクリアする処理が必要となる。よって検討結果から、最適小画像を決定する方法は重みつき和の方が良いと考える。

6. まとめと今後の課題

本論文では従来のフォトモザイクの表現力を高めるために、SIFT 特徴量を用いて輝度値の変化方向の類似度を考慮したフォトモザイク画像作成手法を提案した。そして重みつき和と 2 段階選抜の 2 つの方法で結果画像の評価、検討を行った。色のみを考慮した場合に選ばれる小画像が輝度変化方向に沿っていないのに対し、ブレ感を考慮することでそれが改善され、選ばれる小画像の方向の一致度が高まっていることが示せた。今後は、ブレの流れの分断を防ぐために、隣接小画像間の輝度差を補正する方法を検討する。

参考文献

- [1] Kim, J., Pellacini, F.: "Jigsaw image mosaics" ACM Transactions on Graphics, 21 (3), pp. 657-664 (2002).
- [2] 小島加寿代, 高橋成雄, 岡田真人: "視覚特性を考慮したフォトモザイク", Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2007, pp. 69-74 (2007).
- [3] Klein, A.W., Grant, T., Finkelstein, A., Cohen, M.F.: "Video Mosaics", NPAR Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 21-28 (2002).
- [4] D. G. Lowe: "Object recognition from local scale in variant features", Proc. of ICCV, pp. 1150-1157 (1999).

- [5] Finkelstein, A., Range M.: Image Mosaics, Lecture Notes in Computer Science, pp. 11-22, springer (1998).