微小形状特徴に基づく類似のテクスチャ画像群の合成手法 *

田 村 仁** 阿 刀 田 央*** 本 多 庸 悟†

A Synthesis Method for Similar Texture Images based on Minute Shape Features

Hitoshi TAMURA, Oichi ATODA and Tsunenori HONDA

A synthetic method for generating arbitrary number of not the same but similar texture images has been developed. The method includes processes to extract basic shape elements from texture images originating in actual objects, to select them to reappear the image features and to arrange them in an image plane. The authors have already proposed the shape-pass type filter bank assuming that the sensual impression mainly depends on minute shapes existing in the texture images. By use of nine basic shape elements, namely black/white-roof, black/white-line, black/white-snake, black/white-pepper, and cliff, natural texture images originating in actual objects have been characterized by feature vectors in a nine dimensional space. To generate arbitrary number of similar texture images, minute shape pieces are collected from original texture images and arranged so that the feature vectors may become locally similar to the original images. By the method, a number of similar texture images have successfully been generated, and the results of questionnaires on the synthesized texture images to universities students have shown the effectiveness of the method.

Key words: texture synthesis, shape-pass filter, shapes of texture elements, pictorial feature of textures, impressions of textures

1. 序 論

本研究では、実際の形状に由来するテクスチャ画像から基本形状要素だけを抽出し、それらを自在に組み合わせることで、互いに類似するが同一ではない新たなテクスチャを好きな数だけ合成する手法を提案する。

テクスチャを識別するための様々な手法が提案されてきている¹⁾²⁾³⁾。しかし、テクスチャ画像に対して人間が受ける「ざらざら」感などの印象は、従来のそれぞれの手法では、完全に説明できないと思われる。著者らは、この要因をテクスチャに存在する微小な形状によると仮定し、「形状通過型」フィルタバンクを提案した⁴⁾。これは、角状、線状、溝状などの5種類の微小形状と、明暗対称な段状を除く4種類を明暗反転した形状の、合計9種類の基本形状要素を対象とする。これによると、実際の対象物に由来する「自然なテクスチャ」を多数のクラスに分類でき、9種類の形状基本要素それぞれがテクスチャ判別に有効であることが文献⁴⁾の実験によって確かめられている。

互いに類似するが、同一ではないテクスチャ画像を好きな数だけ合成するために、ここでは様々なテクスチャ画像から抽出された微小形状要素を含む要素片を収集し、特徴ベクトルが原画像と局所的にも類似するように選択して配置することを考える。同様の画像を好きな数だけ合成するには、同じ微小形状要素片を、同じ強さで同じ密度を保ちながら、異なる配置にすればよい。

本論文では、実際のテクスチャ画像について同一でない類似のテクスチャ画像を、提案する手法により多数生成する実験を行い、アンケート調査により、その妥当性を確認する。

2. 形状通過型フィルタ

Fig.1に本手法が取り扱うテクスチャ基本形状要素を示す。基本形状要素は、角張った形状の「黒かど(roof)」，細長い形状の「黒せん(line)」，曲がりくねった形状の「黒みぞ(snake)」，粒状の「黒つぶ(pepper)」，明度の段を示す「だん(cliff)」と，明暗反転した形状の「白かど」「白せん」「白みぞ」「白つぶ」である。形状通過型フィルタは、従来の画像用線形フィルタのポイントスプレッド領域に相当するフィルタ領域を設定し、そこに含まれる画素を用いた非線形処理により、フィルタ領域の中心画素に対する出力を得るものである。この領域の大きさは任意であるが、微小な形状要素を捉えられるサイズでなければならない。後述する実験では、 11×11 画素と設定した。

フィルタ内部では、基本形状要素をパターンとしてではなく、定義された手続きによって抽出する。Fig.2のような「つぶ」フィルタを例としてフィルタ領域内の動作を説明すると次のようである。

- 1) フィルタ領域内の平均明度を用いて領域内の画素を2値化し、中心画素から塗りつぶし処理を行う。
- 2) 塗りつぶされた領域が、フィルタ領域の外周に達しなければ、中心につぶが存在すると定義する。
- 3) つぶがあった場合、つぶがはっきりしているか、塗りつぶされた領域の境界部分における平均明度差を計算し、それを「特徴の強さ」として出力する。

一つの形状通過型フィルタの出力画像から、その画像の二乗平均振幅値、

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{XY} y^2}{XY}} \quad (y \text{ は画素の明度, } X \text{ と } Y \text{ は画像の大きさ})$$

をフィルタ出力の代表値とする。これを9種類のフィルタ全てについて行い、それら代表値から9次元の特徴ベクトルを得る。

* 原稿受付 平成13年6月19日

** 正 会 員 東京理科大学経営学部 (久喜市下清久 500)

*** 正 会 員 東京農工大学大学院 (小金井市中町 2-24-16)

† 正 会 員 東京農工大学工学部 (小金井市中町 2-24-16)

Fig.1 Shape bases of textures (black-roof, black-line, black-snake, black-pepper, cliff)

(A) Input image

(B) Output image

Fig.2 An example of black-pepper filter outputs

3. テクスチャ合成

形状通過型フィルタは、局所的なフィルタ領域内の情報だけを利用するものであるが、画像全体として「ざらざら」感のような大局的な特徴を再現するテクスチャを合成するためには、生成する画像上で形状特徴の配置を考慮する必要がある。そこで本研究では、特定の自然な実物的な対象物に由来するテクスチャを対象に、それと同じ形状特徴を、同程度の強さと密度を示すように配置する。

以後、基になるテクスチャの原画像のことを対象画像、合成された画像を合成画像と表記する。

3.1 形状要素片の収集

合成画像中に配置する形状要素を「形状要素片」と呼ぶ。この形状要素片は、形状通過型フィルタのフィルタ領域よりも小さくできない。形状要素片は、形状要素を複数含むものや、特徴の強弱を示すものなど多数を用意する必要がある。これらを、より自然なテクスチャの合成のため、十分な数のサンプル画像から抽出する。

サンプル画像にフィルタバンクを適用し、9枚の出力画像を用意する。テクスチャ画像と9つの出力画像を、 11×11 画素の格子状に分割する。分割されたサンプル画像の一つの格子部分を、一つの形状要素片とする。格子の大きさは、形状通過型フィルタのフィルタ領域の大きさに等しい。

それぞれの出力画像上で、各形状要素片に対応する格子部分の二乗平均振幅値 r を計算し、形状要素片に対する特徴ベクトルとする。更に特徴ベクトルの各次元を2値化して 2^9 通りの組合せ、例えば「かど、みそが顕著」のような種別に分類し、形状要素片とその特徴ベクトルの記録をとる。この組合せのことを特徴パターンと

呼ぶことにする。

形状要素片を無駄に収集しないよう、収集する上限の数を決めておいた。ここでは計算機による処理時間を考慮し、特徴パターンごとに1024個の形状要素片を収集することにした。

3.2 合成画像の背景生成

自然なテクスチャの中には、形状特徴がまばらに存在するものもあるため、隙間を埋める背景画像が必要となる。この背景画像としては形状特徴をほとんど含まない、対象画像とよく似た周波数成分を持つ画像を用意する。これには文献 4)により作成したガウス性雑音画像を用いる。これは、対象画像とよく似たパワースペクトルの包絡線を与えた、ランダムな空間周波数成分を逆FFTして得る。

3.3 形状特徴の配置

次に、背景画像に対して、適切な形状要素片の画素を置き、形状特徴を配置する。対象画像の9枚の出力画像を同時に走査し、ある画素位置での特徴ベクトルが0以外を示した場合、同じ特徴パターンに分類されたものの中から、最も特徴空間上でのユークリッド距離に近いものを選択し、合成画像上の同じ位置に形状要素片の中央画素が重なるように配置する。配置するとは、具体的に、形状要素片の画素で、背景画像の画素を置き換えることをいう。

形状要素選択時に同じ特徴パターンの形状要素が存在しない場合は、目標とする特徴ベクトルの中で、小さい値を示す次元から順にマスクして、近傍の特徴パターンの中から選択を行う。

一つの画素の特徴点に対し、広がりのある形状特徴片を対応させることで二つの影響が生じる。一つは形状要素片の配置によって、意図しない別の形状を生成する可能性があること、もう一つは、近傍に別の特徴点が存在した場合、形状要素片の重ね合わせでは、同時に複数の形状要素を再現できないことである。

前者は、 11×11 画素の正方形という便宜上設定された形状要素片の形自体が「かど」になるなど、外周部分と背景部分の相互作用によって境界部分に新たな形状が生成される。しかし、形状要素片が背景に馴染むように境界部分をぼかすことで、仮に新たな形状が生成されても弱い出力に留めることができる。ぼかし方としては、形状要素片の外周部と、その周辺領域の画素で、加重平均をとればよい。

また、後者に対処するために、新たに形状要素片を置こうとする領域内に別の特徴点がある場合、それも含めて再現する。このため、対象画像内のその領域の二乗平均振幅値を計算し、それと一番近い特徴ベクトルを持つ形状要素片を選択させる。その上で、形状要素片を重ねることを禁止する。

3.4 複数の画像合成

ある対象画像と類似の微小形状特徴を示す合成画像を、好きなだけ複数生成するためには、特徴の配置を変更すればよい。すなわち、対象画像と同じ微小形状を、同じ強さで同じ密度を保ちながら、ランダムに配置する。

具体的な手順として、対象画像に形状通過型フィルタバンクを適

(a) An example of synthesized texture with similar feature vector as the original image (inner product=0.95)

(b) Another example of synthesized texture with similar feature vector as the original image (inner product=0.94)

(c) An example of synthesized texture with different feature vector from the original image(inner product=0.74)

Fig.3 Examples of original images and synthesized textures
(inner product of original image's feature vector and synthesized texture's one)

用し、9枚の出力画像を得た後、9枚それぞれを 11×11 画素の西方格子状に分割し、この格子の組を、ランダムに並べ替える。この特徴点の配置が異なる9枚の出力画像を元に、別の合成画像を生成する。

なお、配置の異なる出力画像を張り合わせ、あるいは切り取って任意サイズの出力画像を作ること、任意サイズのテクスチャを合成することも可能となる。

4. 合成および評価の実験

4.1 合成画像の生成実験

実験用の写真素材⁶⁾と、著者らが撮影した写真から、316枚の一樣な自然なテクスチャ画像を選択した。これを原画像に、文献4)に示した方法で、最も形状特徴が存在しそうな分解能に正規化し、 256×256 画素を切り出し、灰尺度256階調、明度平均128、標準

偏差32に標準化したものを実験に用いる。

それら画像を無作為に各158枚のA群とB群に分割する。A群から形状要素片を収集し、それを用いてB群の各画像を対象として、3.4に示した方法を用いて、各4枚ずつ、計632枚のテクスチャ画像を実際に合成した。

出力結果の例をFig.3に示す。

4.2 再現性の数値的評価

合成画像が、対象画像の形状特徴を再現しているかどうか確認するため、改めて合成画像に形状通過型フィルタバンクを適用し、両者の特徴ベクトルを比較してみた。両者を単位ベクトルにし、内積をとる。全632合成画像に対し、その分布をTable 1に示す。内積が0.8を超え、対象画像とほぼ同じ方向を示すと思われるものが72.6%存在し、全体としては形状特徴をよく再現できたことを示す。

Table 1 Frequency distribution of normalized inner products of target and synthetic featured vectors

$\leq \text{Range} <$	Freq.	Cumulative(%)
0.9 1.0	161	25.5
0.8 0.9	298	72.6
0.7 0.8	150	96.4
0.6 0.7	18	99.2
0.5 0.6	5	100
0.4 0.5	0	100
0.3 0.4	0	100
0.2 0.3	0	100
0.1 0.2	0	100
0.0 0.1	0	100

Fig.3の合成例において、(a)および(b)は特徴ベクトルに関して比較的良好に特徴が再現できた例である。(b)は微小ではなく大きく長い形状要素を含むため、視覚的印象は異なるものとなっている。(c)は数量的に特徴を再現できなかった例で、微小な形状要素よりも大きなサイズの構造の存在のためである。

4.3 アンケートによる評価

本手法によって合成されたテクスチャ画像が、視覚的に似ているかどうか客観的に確かめるため、大学生31人にアンケート調査を行った。アンケートは、図3に示した synthetic image(1) と synthetic image(2)のような2枚の合成画像を一組にして、A4紙一枚に印刷したものを1問として、計8問用意した。

同一の対象画像からの合成画像の中から5組の組合せを用意し、Q1～Q3、Q5およびQ6とした。また、被験者がきちんと回答しているかどうか確認するために、全く同じ合成画像の組合せをQ4、逆に、異なる対象画像からの合成画像の組合せ2組をQ7とQ8とした。アンケートは「2枚の画像の感じは、お互いに、①非常によく似ている、②まあ、似ている、③あまり似ていない、④まったく似ていない」の4段階の回答項目とした。

その結果をTable 2に示す。Q4、Q7およびQ8の結果から、回答の信頼性を確認できる。残る5問に対しては、55～65%が似ていると回答している。これにより次のことがいえる。

- (1) 同一対象画像からの2枚の合成画像は、過半数が似ていると判断していた。ただし、似ていないとの回答も無視できない。この5問に対する個人別の回答を確認すると、それぞれ判断が散らばっており、極端に偏った判断をした人は少数であった。
- (2) どの点に着目して判断したかについては、被験者の一人が、印刷時に生じた全体的な濃淡に影響されて、まったく同一の画像に対して「あまり似ていない」と回答したように、わずかな差異に影響を受けている。画像を大きく印刷したことの影響も考えられる。このように、極めてわずかな印象の違いでもあれば、似ていないと回答される傾向があると考えられる。

これらを考慮すれば、過半数の被験者が似ているとした同一対象画像からの2つの合成画像は、視覚的に似ているとしてよいと判断される。

4.4 対象画像自体から要素片を収集した場合の合成例

4.1の実験では、サンプル画像をA群B群に分け、対象画像とは異なる画像から抽出した形状要素片を用いて合成を行った。これ

Table 2 Result of a questionnaire examining whether two synthetic images from same original image look like each other

Questionnaires	Number of ①and②	%
Q1 Original image is the same	18	58.1
Q2 Original image is the same	17	54.8
Q3 Original image is the same	20	64.5
Q4 Quite the same images	28	90.3
Q5 Original image is the same	19	61.3
Q6 Original image is the same	20	64.5
Q7 Original image is different	0	0.0
Q8 Original image is different	0	0.0

は、着目していた微小な形状要素以外にも、対象画像が有するなんらかのテクスチャの特徴が形状要素片に混入する影響を考慮したためである。

逆に、対象画像自体から形状要素片を抽出し、画像を再合成する場合、なんらかのテクスチャ特徴を受け継ぎ、より印象が似ることも考えられる。そこで実際に、対象画像自体から形状要素片を抽出し、それだけでテクスチャ合成を行った結果をFig.4に示す。Fig.4の(a)から(f)において左側は原画像、右側が合成画像である。このうち(a)から(c)に示した画像は、Fig.3に示したものと対応する。

(b)と(c)では、それぞれの形状要素片に背景の白が含まれ、結果としてそれを合成したときに、全体の背景が白く抜けて見える感じが再現でき、より印象が似て見える。局所的な特徴だけでなく、このような大域的な特徴も人間の視覚に対して強く影響することが示されている。

(d)や(e)では葉先の細かい形状が再現された。これらの特徴は、3の実験の場合では再現できなかったものである。微小な形状特徴を、大きく9つに類別したことにより、3の実験の合成時には、人間の視覚上では微妙に異なる印象を与える特徴をもった形状要素片によって代用されてしまったことによるものと考えられる。

これは、基本形状要素の数が不足、あるいは使用した形状要素片の大きさに問題があるといえる。ただし、形式的に微細な違いにこだわらず、形状基本要素の数を増やすことを考えても、その数を爆発させるだけで無意味である。人間の視覚に強く影響を与える基本形状要素とそのサイズを探しだすことが今後の課題となる。

5. 結 論

本論文では、形状通過型フィルタバンクを利用して、微小形状要素を自在に組み合わせるテクスチャ合成手法を提案した。実際に158枚の自然なテクスチャの形状特徴を再現する実験を行い、次の結果を得た。

- (1) 特徴ベクトルに関して、72%超のテクスチャの形状特徴を再現できた。再現できなかったものは、強い形状特徴を稠密に含むもの、あるいは微小な形状要素より大きな構造を含むテクスチャである。
- (2) 同じ対象画像について複数の合成画像を生成し、アンケートによって視覚的に似ているかどうか確認したところ、過半数が似ていると判断した。これにより、複数の類似したテクスチャ画像を生成できることが示された。

なお、本研究における実験では、形状通過型フィルタバンクで用いたフィルタ領域の大きさと、形状要素片の大きさが共に11×

(a) Sample A

(b) Sample B

(c) Sample C

(d) Sample D

(e) Sample E

(f) Sample F

Fig.4 Examples of original images and synthesized textures using minute shape elements extracted from their own original images

11 画素の正方格子としたが、対象画像の性質、解像度等に適合するように、この正方格子の大きさを調整することが考えられる。

また、今後の課題として、この手法による計画的に形状要素を組み込んだ画像を使い、個々の形状特徴が視覚に与える影響の数量化を図ること、また、個々の対象画像を特徴付けるような局所的な特徴の存在をさらに検討することが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) R.M. Haralick: Statistical and structural approachis to textures, IEEE Proc. No.67, pp.786-804, 1979.
- 2) 出口光一郎, 森下 巖: テキスチャーの解析手法, 計測と制御, vol.16, no.2, pp.184-194, 1977.
- 3) E. Salari and Z. Ling: Texture segmentation using hierarchical wavelet decomposition, Pattern Recognition, vol.28, no.12, pp.1819-1824, 1995
- 4) 田村仁, 阿刀田央一: 自然なテクスチャの特徴抽出用「形状通過型」非線形フィルタバンク, 電子情報通信学会論文誌(D-II), vol.J82-D-II, No.12, pp. 2260-2270, 1999.
- 5) 田村仁: 非線形フィルタバンクによるテクスチャ画像のクラスタリング, 情報学会研究報告, CVIM Vol.97, No.10, pp.91-98, 1997.
- 6) データクラフト(編): 素材辞典 vol.1,2,3,8,9,15,19, データクラフト, 札幌 1994~1996.
- 7) 田村仁, 阿刀田央一: 非線形フィルタバンクによるテクスチャ画像からの特徴抽出と触感の対応," 第 3 回画像センシングシンポジウム講演論文集 (SII'97), pp.195-200, 1997.
- 8) H.TAMURA, O.ATODA: A Nonlinear Filter Bank for Shape-Based Texture Analysis, Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on Control and Measurement (AP CCM'98), pp.58-62, 1998..