

多重スケール解析を用いたテクスチャ画像の識別に関する考察 A Note on Texture Discrimination by Using a Multiscale Analysis

石田 智也[†]
Tomoya Ishida

長谷山 美紀[†]
Miki Haseyama

北島 秀夫[†]
Hideo Kitajima

1. まえがき

二つのテクスチャが同一性質か否かを識別するために、様々な手法が提案されており、その手法の一つとして、構造的解析手法が知られている。この解析手法では、テクスチャを構成する要素（以下、テクスチャ要素）を予め定義し、その要素の特徴を表現するパラメータに基づいてテクスチャの識別を行う。

構造的解析手法の一つである文献 [1] では、テクスチャ画像に対し、スケール空間フィルタリング [2] を施すことにより生成される濃淡曲面上の、上に凸の領域（以下、peak 領域）及び下に凸の領域（以下、pit 領域）をテクスチャ要素と定義している。このように定義されたテクスチャ要素は、対象となる画像にボケあるいはノイズが含まれる場合にも、その影響を受けにくいことが確認されている [1]。これより、識別の対象となるテクスチャ画像に、ボケあるいはノイズが含まれる場合にも、正しい識別をすることが可能となる。

ところで、テクスチャ画像に対し、スケール空間フィルタリングを施すと、様々なスケールで平滑化された画像が生成される。小さいスケールで平滑化された画像は、平滑化が不十分であり、この部分では peak 及び pit 領域を抽出することができない。また、大きいスケールで平滑化された画像は、過剰な平滑化により、濃淡を表す輝度勾配が小さくなり、テクスチャの特徴を表す peak 及び pit 領域が欠落してしまう場合がある。したがって、テクスチャの特徴を表す peak 及び pit 領域を抽出するためには、適切なスケールを選択する必要がある。しかしながら、文献 [1] では、このような適切なスケールを自動的に選択する手法について考察されていない。そこで、本文では、適切なスケールを選択する指標を導入し、その指標に基づいて適切なスケールを自動的に選択する手法を提案する。

2. スケール空間フィルタリング

多重スケール解析の手法の一つに、スケール空間フィルタリングが提案されている [2]。原画像 $f(x, y)$ にスケール空間フィルタリングを施すと、次式により、スケール t で平滑化された画像 $\phi(x, y, t)$ が生成される。

$$\phi(x, y, t) = f(x, y) * g(x, y, t) \quad (1)$$

上式において、 $*$ は畳み込み演算、 $g(x, y, t)$ は標準偏差 t のガウス関数を表す。

3. 従来手法

3.1 テクスチャ画像の特徴量

従来手法 [1] では、スケール空間フィルタリングをテクスチャ画像に施すことにより、様々なスケールで peak 及び pit 領域を抽出し、それらの領域の形状を表現する特徴ベクトルをテクスチャ画像の特徴量とする。peak 及び pit 領域の特徴ベクトルは、次式で定義されるパラメータを成分とする 4 次元ベクトルである。

$$m_i = \frac{1}{A} \sum_{(i,j) \in R} (i - i_0)^2 \quad (2)$$

$$m_u = \frac{1}{A} \sum_{(i,j) \in R} \frac{((i - i_0) + (j - j_0))^2}{2} \quad (3)$$

$$m_j = \frac{1}{A} \sum_{(i,j) \in R} (j - j_0)^2 \quad (4)$$

$$m_v = \frac{1}{A} \sum_{(i,j) \in R} \frac{((i - i_0) - (j - j_0))^2}{2} \quad (5)$$

ただし、 u, v 直交座標系は、 i, j 直交座標系を 45 度回転させたものであり、 m_i, m_u, m_j, m_v は、各々 i, u, j, v 方向の広がりを表すパラメータである。また、 R は peak あるいは pit 領域、 A は R の面積、座標 (i_0, j_0) は R の重心の座標である。

このようにして、スケール t において、テクスチャ画像 f から、全ての peak, pit 領域の特徴ベクトルを算出し、得られた特徴ベクトルの集合 $X_f^t = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ 、 $Y_f^t = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ をスケール t におけるテクスチャ画像 f の特徴量とする。尚、 x, y は各々 peak, pit 領域の特徴ベクトル、 M, N は各々 peak, pit 領域の総数である。

3.2 テクスチャ画像間の距離

二つのテクスチャ画像を識別するためには、両者の距離を算出する必要がある。文献 [1] では、スケール t におけるテクスチャ画像 f と g との距離 $D_t(f, g)$ を次式のように定義している。

$$D_t(f, g) = d_1(X_f^t, X_g^t) + d_1(Y_f^t, Y_g^t) \quad (6)$$

上式において、 $d_1(X_f^t, X_g^t)$ は、 X_f^t の平均値ベクトルと X_g^t の平均値ベクトルとのユークリッド距離を表す。

4. 提案手法

4.1 凹凸領域を抽出するための適切なスケール

提案手法では、従来手法と同様に、テクスチャ画像にスケール空間フィルタリングを施して得られる、peak 及び pit 領域をテクスチャ要素とする。しかし、1. で述べたように、スケールの設定によっては、peak 及び pit 領域がテクスチャの特徴を与えとは限らない。そのため、テクスチャの特徴を効果的に表現するスケールを選択する必要がある。そこで、本節では、濃淡曲面の単位法線ベ

[†]北海道大学大学院 工学研究科

クトルに着目し、その高さ成分の平均値 $c(0 < c \leq 1)$ を指標として、適切なスケールを選択する手法を提案する。

単位法線ベクトルの高さ成分の平均値 c を観察することにより、適切なスケールが選択できる理由を図1を用いて説明する。図1(a)に示すテクスチャ画像 f に対し、式(1)のスケール t を $t = 5.0$, $t = 50.0$ と変化させ、それら2種類のフィルタを施すことにより、図1(b), (c)に示す濃淡曲面が生成される。スケール $t = 5.0$ では、平滑化が不十分なため、濃淡を表す輝度勾配に平坦な部分が残る、その部分では、凹凸領域を抽出することができない(図1(b)参照)。一方、スケール $t = 50.0$ では、濃淡を表す輝度勾配が全体的に緩やかであるため、テクスチャの特徴を表す凹凸領域が欠落している(図1(c)参照)。このように輝度勾配が平坦あるいは緩やかな部分では、単位法線ベクトルの高さ成分が1あるいはそれに近い値をとるため、 $t = 5.0$, $t = 50.0$ において、上で定義した c の値は大きくなる。実際に、スケール t の値を連続的に変更して、 c の値を算出した結果を、図1(d)に示す。図1(d)より、凹凸領域を抽出するために適さない、小さいスケールあるいは大きいスケールでは、 c の値が大きいことがわかる。そこで、提案手法では、テクスチャ画像 f において、 c の値が最小となるスケールを、適切なスケール T_f として選択する。

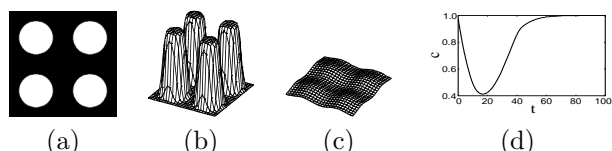


図1: (a) テクスチャ画像 f , (b) スケール $t = 5.0$ での濃淡曲面, (c) スケール $t = 50.0$ での濃淡曲面, (d) t と c の関係

4.2 テクスチャ画像間の距離

提案手法では、4.1節で述べた適切なスケール T におけるテクスチャ画像の特徴量を用いて、テクスチャ画像 f と g との距離 $D(f, g)$ を次式で定義する。

$$D(f, g) = d_2(X_f^{T_f}, X_g^{T_g}) + d_2(Y_f^{T_f}, Y_g^{T_g}) \quad (7)$$

上式において、 $d_2(X_f^{T_f}, X_g^{T_g})$ は、 $X_f^{T_f}$ の要素と $X_g^{T_g}$ の要素との対応付けを行い、対応付けられた要素間のユークリッド距離の総和を表す。ここで、対応付けは、1対多、多対1の対応を許し、最終的に $d_2(X_f^{T_f}, X_g^{T_g})$ が最小となるように行う。

5. 実験

実験では、図2に示す9枚のテクスチャ画像 f_1, \dots, f_9 を参照画像として用いる。また、各参照画像に対して、表1に示す12種類の平滑化及び12種類のノイズを付加することにより、合計216枚の画像を生成し、これらを識別の対象画像とする。そして、各対象画像について、9枚の参照画像との距離を測り、距離が最小となる参照画像を同一性質のテクスチャ画像と判断する。このようにして、一つの参照画像を基に生成された24枚の対象画像が、生成元の参照画像と同一性質のテクスチャ画像と判断されるとき、正しい識別が行われているといえる。

提案手法を用いてテクスチャ画像の識別を行った結果、ボケ画像及びノイズ付加画像に対する識別率は、ともに100%であった。これより、提案手法を用いることで、スケールの選択が自動化されるだけでなく、高い識別率が得られることも確認できる。また、参考のために、従来手法[1]を用いて、ボケ画像及びノイズ付加画像の識別を行った結果を表2に示す。表2より、比較的高い識別率を示すスケールが存在するが、そのようなスケールを自動的に選択することは不可能である。

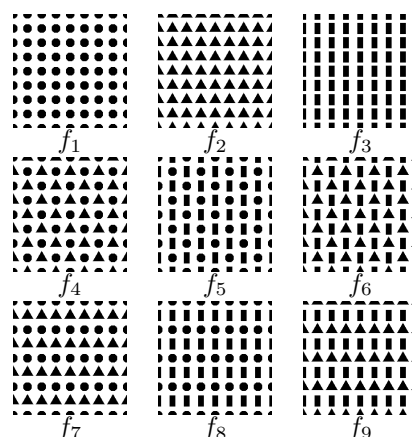


図2: 参照画像

表1: 平滑化フィルタとノイズの種類

平滑化フィルタ	フィルタサイズ
平均値	5×5, 7×7, 9×9, 11×11
縦方向のみ	5×5, 7×7, 9×9, 11×11
横方向のみ	5×5, 7×7, 9×9, 11×11
ノイズ	SN比 (dB)
ガウス性白色雑音	10, 12, 14, 16, 18, 20
インパルス性雑音	10, 12, 14, 16, 18, 20

表2: 従来手法を用いた場合の識別率 (%)

t	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
ボケ画像	42.6	65.7	72.2	67.6	68.5
ノイズ付加画像	11.1	61.1	88.0	90.7	60.2

6. まとめ

本文では、テクスチャの特徴を表す凹凸領域を抽出するために必要となる、適切なスケールを決定する手法を提案した。これより、従来手法では経験的に選択されていたスケールが自動的に選択できる。また、提案手法により得られたスケールを用いてテクスチャ画像の識別を行い、その結果を示した。実験結果より、自動選択されたスケールを用いることにより、従来手法に比べ、高い識別率が得られることが確認された。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金(基盤(C)14550343)により行なわれた。

参考文献

- [1] 石田 智也, 長谷山 美紀, 北島 秀夫 “テクスチャ認識のための多重スケール解析を用いた特徴量に関する考察,” 信学技法, ITS2002-95, IE2002-236, Feb. 2003.
- [2] A. P. Witkin, “Scale-space filtering,” Int. Joint Conf. Artificial Intell., pp.1019-1022, 1983.