論文

モルフォロジーフィルタの構造要素による単一特徴テクスチャ のモデル化

八嶋 俊[†] 浅野 晃^{††} 田口 亮^{†a)}

Modeling of Mono-Feature Texture Images by Using the Structuring Element of Morphology Filters

Syun YASHIMA[†], Akira ASANO^{††}, and Akira TAGUCHI^{†a)}

あらまし テクスチャを様々なサイズと形状をもつ粒子性構成物の集合であるとみなせば,空間領域での特徴 を得ることが重要な意味をもつ.このような空間領域における粒子特徴はモルフォロジー演算を用いて算出され るパターンスペクトルを使用することにより得られることが知られている.パターンスペクトルはモルフォロ ジーフィルタの構造要素とテクスチャを構成する粒子特徴が一致したとき,ピークをもつ特質を有している.こ のことを利用して,本論文ではパターンスペクトルの情報から,構造要素によりテクスチャを構成する粒子の特 徴(形状・サイズ)を表す方法を提案する.提案する方法では,解析対象となるテクスチャを単一の形状,大き さの粒子で構成されるものに限定する.そこで,得られたモデルからテクスチャが解析対象であるか否かを判別 する方法も示す.このことにより求めたモデルがテクスチャの特徴を表しているか否かが判別可能となる. キーワード モルフォロジー,パターンスペクトル,テクスチャ,モデル化

1. まえがき

画像解析に対する問題においてテクスチャ解析は中 核をなすものである[1],[2].テクスチャ解析はその解 析対象であるテクスチャによって,統計的解析と構造 的解析に大別される[2].統計的解析方法の中心をなす ものがパワースペクトル,すなわち,周波数領域特徴 を用いたものである[2].また,パワースペクトル特徴 をモデル化したAR(自己回帰)モデルを用いる方法 もある.一方,テクスチャ画像を様々なサイズと形状 をもつ粒子性構成物の集合であるとみなせば,周波数 領域での特徴よりも空間領域での特徴を得ることが重 要な意味をもとう.そのような考え方に基づき,テク スチャ解析に利用されている特徴量がモルフォロジー 演算に基づくパターンスペクトルである[3]~[5].

モルフォロジー演算は,構造要素と呼ばれる基底

関数と処理対象信号との間での max 演算や min 演算 により構成され,信号の形状に基づいた出力を得る ことができる演算である.モルフォロジーにおける 最も重要な演算が Opening 演算と Closing 演算であ る.Opening 演算により,解析すべきテクスチャ中の 構造要素に類似した凸の部分を削り取ることができ, Closing 演算により凹の部分を埋めることができる. 形状が同一であるが,異なる大きさの構造要素による Opening 演算,または Closing 演算の差分により算出 されるスペクトルがパターンスペクトルである.よっ て,パターンスペクトルは画像を粒子性構成物の集合 と考えたとき,画像を構成する粒子の大きさに基づく 組成分布を表したものとなる [4],[5].

最近,モルフォロジー演算がテクスチャの空間的特 徴を抽出できる性質を利用し,モルフォロジー演算の 構造要素をテクスチャの特徴を表すモデルとする方法 が提案されてきている.浅野らは,テクスチャがある 形状の相似形の集合物により構成されると考え,パ ターンスペクトルの変化が最小となるような(平たん なスペクトルとするような)構造要素をテクスチャの 特徴を表すものとし,その構造要素を求める方法を

 [†]武蔵工業大学工学部電気電子工学科,東京都
 Department of Electrical and Electronic Engineering,
 Musashi Institute of Technology, Tokyo, 158-8557 Japan
 ^{††}広島大学総合科学部,広島市

Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, Hiroshima-shi, 739–8521 Japan

a) E-mail: ataguchi@eng.musashi-tech.ac.jp

提案している[6]~[8].小守らは,テクスチャ中の粒 子特徴を最大に削り取ることのできる構造要素をそ のテクスチャのモデルと考える方法を明らかにしてい る [9], [10]. しかしながら, 小守らの方法では, 導出さ れる構造要素はテクスチャを構成している粒子の形状 とは何ら関連性をもたないことから,テクスチャのモ デルという意味にふさわしくない.また,浅野らの方 法では,テクスチャがある形状の相似形の集合物によ り構成されると仮定していることから,対象となるテ クスチャによっては導出される構造要素がテクスチャ の粒子特徴を表しているとは限らなくなる、そこで、 本論文では処理対象を限定し,テクスチャを構成する 粒子の形状とサイズを表現する構造要素を求める方法 を明らかにする.更に,解析対象となるテクスチャが 提案する方法の限定された解析対象であるか否かを判 別する方法を提案し,構造要素がテクスチャの粒子特 徴を表しているか否かを判別可能とする.

提案する方法では,解析対象を単一の形状と大きさ の上に凸の粒子で構成されるテクスチャに限定する. このようなテクスチャに対してパターンスペクトルを 求めた場合,構造要素のサイズとテクスチャ中の粒子 のサイズが一致したときにパターンスペクトルにピー クが確認される.ピークの確認されたサイズの構造要 素がテクスチャを構成する粒子の形状と一致していれ ば,その構造要素が表す粒子をテクスチャから取り除 いた画像と, テクスチャ中の上に凸の粒子をすべて除 去した画像はほぼ等しくなるはずである.よって,こ の二つの画像の差異を最小にするような構造要素が本 論文の解析対象とするテクスチャの特徴を表している といえる、そして、拡大・縮小関係または回転関係に ある単一の形状と大きさの粒子特徴からなるテクス チャから提案法で抽出した特徴は,やはり拡大・縮小 関係または回転関係となる.

これまで,画像復元やテクスチャのモデリングを目 的とするモルフォロジー演算における構造要素の最適 化は,焼きなまし(SA)法[6]~[8]若しくは遺伝的ア ルゴリズム(GA)[9]~[13]を用いて行われていた.本 論文では,構造要素の定義域を任意に選定することの 簡便さ等からGAを構造要素の最適化手段として選択 した.また,得られた構造要素によりテクスチャを構 成する上に凸の粒子を十分に切り取れるか否かを調べ ることにより,テクスチャが限定する処理対象である かを判別可能とした. 2. パターンスペクトル

信号の空間的形状特徴は,モルフォロジー演算を介 して導出されるパターンスペクトルによって抽出され ることが知られている[3]~[5].ここでは,基本的なモ ルフォロジー演算と,その演算から導出されるパター ンスペクトルに関して簡単な説明を行う.

2.1 モルフォロジー基本演算[3]

モルフォロジーの基本的な演算に, erosion, dilation という演算がある.今処理対象信号を X, モルフォロ ジー演算における窓領域に対応する構造要素を B と するとき, erosion, dilation は次のように定義される. erosion

$$\{X \ominus B\}(x) = \min_{b \in W_B} \{X(x-b) - B(b)\}$$
 (1)

dilation

$${X \oplus B}(x) = \max_{b \in W_B} {X (x - b) + B (b)}$$
 (2)

ここで, *W_B* は構造要素の定義域であり, *B*(*b*) は構 造要素の構造関数を示している.

更に erosion と dilation を組み合わせることにより, Opening, Closing が定義される.

Opening $X_B(x) = \begin{bmatrix} X \ominus B^S \oplus B \end{bmatrix} (x)$ (3)

Closing $X^{B}(x) = \begin{bmatrix} X \oplus B^{S} \oplus B \end{bmatrix} (x)$ (4)

$$B^S = \{ -x | x \in W_B \}$$

$$(5)$$

ここで B^S は B に対して原点対称の構造要素を示す. Opening 演算では,構造要素より小さい上に凸の部分 を処理対象信号から除く機能をもち,逆に Closing 演 算では,構造要素より小さい下に凸の部分を埋める機 能をもっている.すなわち,Opening 演算により処理 対象信号の上に凸の特徴が,Closing 演算により処理 対象信号の下に凸の特徴が抽出できる可能性があるこ とが示唆される.

2.2 パターンスペクトルとスペクトル値

信号のもつ粒子性構造物の組成,すなわち形状的特 徴を調べる手段としてパターンスペクトルがある.パ ターンスペクトルには,Opening 演算に基づくもの と,Closing 演算に基づくものの2種類がある.本論 文では Opening 演算に基づくもののみを考えること にする.そして,処理対象信号 X に対する,構造要 素 *B* による Opening 演算に基づくパターンスペクト ル PS(X, B, n) は以下のように定義される.

$$PS(X, B, n)(x) = X_{nB}(x) - X_{(n+1)B}(x)$$

 $(n \ge 1)$ (6)

ここで, $X_{nB}(x)$ は構造要素 nB による Opening 演算結果を示し, 更に nB は以下のように定義される.

$$nB = \underbrace{B \oplus B \oplus \dots \oplus B}_{n \text{ times}} \qquad (n \ge 1) \quad (7)$$

構造要素 nB は, 形状が B と同一でサイズのみが異 なる構造要素となる.本論文では nB をサイズ n の 構造要素と呼ぶことにする. パターンスペクトルは形 状が同一のサイズ n の構造要素 nB による Opening 結果と, サイズ (n + 1) の構造要素 (n + 1)B での Opening 結果の差で表される.よって, パターンスペ クトル PS(X, B, n) は, 処理対象信号 X 中に存在す るサイズ (n + 1) の構造要素の形状と同一形状の粒子 のみで構成される画像となる.式(6) において $n \ge 1$ で PS(X, B, n) を定義する理由は, n = 0 のパター ンスペクトル PS(X, B, 0) は構造要素 B より小さい 粒子すべてが含まれてしまうため, 抽出される粒子形 状が構造要素 B と何ら関係しない場合があるからで ある.

nB で示される粒子が処理対象信号に,どの程度存 在しているかを示す値として,パターンスペクトルを 用いてスペクトル値 *PSV*(*X*,*B*,*n*)を以下のように 導出する.

$$PSV(X, B, n) = \frac{\sum_{x \in whole \ image} \{PS(X, B, n)(x)\}^2}{M}$$
(8)

ここで, M は処理対象信号の信号数を示す.

3. 構造要素の最適化による特徴抽出

 3.1 特徴抽出対象となるテクスチャと特徴抽出の 考え方

本論文では,単一の形状と大きさの凸の粒子から構成されるテクスチャの粒子特徴をモルフォロジー演算に用いる構造要素で表現する方法を提案したい.構造要素のサイズ,形状とテクスチャを構成する粒子特徴のサイズ,形状が一致したとき,2.2で定義したスペクトル値 PSV にピークが現れる.しかしながら,スペ

クトル値のピークは構造要素とテクスチャを構成する 粒子形状が一致しなくても現れる.よって,構造要素 がテクスチャの形状特徴まで表現しているか否かを判 断する必要がある.平板構造要素 $(B(b) = 0 | b \in W_B)$ での Opening 演算では,その構造要素のサイズよりも 小さい凸の特徴をすべて削り取ることができる.よっ て,本論文で対象とするテクスチャ(単一の形状・大 きさの粒子から構成)において,構成する粒子よりも 大きなサイズの平板構造要素での Opening 演算を行 えば,その粒子特徴は完全に削られることになる.こ のことから,形状・大きさがテクスチャの構成粒子と 一致した構造要素により算出されたパターンスペクト ルをテクスチャ X から差し引いた画像と,サイズが 十分大きな平板構造要素での Opening 演算結果はと もに凸の部分がすべて削り取られたほぼ同じ画像とな るはずである.よって,テクスチャの粒子特徴の形状 を示す構造要素 B とそのサイズは次の最適化問題を 解くことにより求められる.

$$\begin{aligned} Minimize \quad E \\ &= \sum_{x \in whole image} \left\{ [X(x) - PS(X, B, n_{max})(x)] \\ &- X_{MB}(x) \right\} \end{aligned} \tag{9}$$

ここで, n_{max} は算出する PSV 列の中で PSV が最 大となるサイズを示し, MB はテクスチャの単一特徴 の粒子のサイズよりも十分大きな平板構造要素を示す.

抽出する粒子形状は構造要素 B によって決定づけられる.よって,得られた構造要素が正確にテクスチャの粒子特徴の形状を表すには,基本となる構造要素 Bを大きくし様々な形状を表現できるように自由度を高める必要がある.しかしながら基本となる構造要素 Bを大きく選定すると,nB と (n+1)Bのサイズの差が大きくなり,構造要素のサイズの連続性がなくなり,任意のサイズの粒子特徴を構造要素で表現できなくなる.次節では,基本となる構造要素 Bを大きくした場合にも表現できるサイズの連続性を保証した方法を提案する.

3.2 任意のサイズの特徴抽出を可能とする工夫

提案する方法においてテクスチャの粒子特徴の形状 は、構造要素 B の大きさを $(2k + 1) \times (2k + 1)$ と するとき、その大きさで得られる形状の相似形で示さ れる.よって、構造要素 B の大きさが大きいほどよ り複雑な形状を表すことができる.構造要素の拡大に 式 (7) を用いた場合、サイズ n の構造要素 nB の大 きさは $(2nk+1) \times (2nk+1)$ となる.よって,基本 となる構造要素の大きさが $3 \times 3(k = 1)$ であれば, 2Bの大きさは 5×5 , 3Bの大きさは 7×7 となり, 構造要素の大きさの連続性に問題はない.しかし,基 本となる構造要素 Bを大きくした場合 (k > 1) で は $nB \ge (n+1)B$ の大きさの格差が大きくなり,構 造要素の大きさに連続性がなくなる.このことは,任 意の大きさの特徴を抽出することの障害となる.そこ で,k > 1においてサイズ $n \ge 0$ サイズ $(n+1) \ge 0$ 間 の大きさをもつ構造要素を作成することにより抽出で きる要素の大きさに連続性をもたせることを考える. この考えから,サイズの異なる構造要素 mBを定義 し,これを使用してパターンスペクトルを算出する. $(2k+1) \times (2k+1)$ の大きさをもつ構造要素 Bに対し て相似形の構造要素 mBは以下のように定義される.

$$mB = \begin{cases} \underbrace{B \oplus B \oplus \dots \oplus B}_{i \ times} & \text{if } m = (i-1) \\ k+1 \\ EXT \left[(m-j)B \right] & \text{if } (i-1)k+1 \\ (j = 1, \dots, k-1) & < m < ik+1 \\ (i = 1, 2, \dots) \\ \end{cases}$$
(10)

ここで,構造要素 *mB* の大きさは $\{2(m-1) + (2k+1)\} \times \{2(m-1) + (2k+1)\}$ となる.そして *EXT*[(m-j)B]は,構造要素 (m-j-1)Bを線形補間により $\{2(m+k)-1\}/\{2(m+k-j)-1\}$ 倍の大きさに拡大することを示している.よって,構造要素 *B* の大きさが $5 \times 5(k=2)$ であれば, $B \oplus B$ の大きさが 9×9 , $B \oplus B \oplus B$ の大きさが 13×13 となることから,サイズ 7×7 , 11×11 , …の構造要素が線形補間を用いて作成されることになる.

本論文では基本となる構造要素に $5 \times 5(k = 2)$ の大きさを使用する.よって, 7×7 , 11×11 ,…の大きさの構造要素は線形補間により作成する.

 3.3 遺伝的アルゴリズム (GA) によるテクスチャ 特徴の抽出

テクスチャのモデルとなる構造要素 B は式 (9) の 最適化問題を解くことにより得られるが,その問題を 遺伝的アルゴリズム (GA) [13] を用いて解くことにす る.基本となる構造要素 B の大きさは 5×5とし, 各要素の値は0~25の範囲とする.また,抽出できる 特徴の形状に任意性をもたせるために,各要素に対し て構造要素としての定義域に含めるか否かも選択でき るようにする.よって,抽出される構造特徴は,5× 5の範囲で定義できる形状の相似形に制限される.な お,構造要素の各要素のとり得る範囲(0~25),サイ ズ(5×5),GA中の諸パラメータは実験的に定めた ものである.以下では,GAの具体的な手順を示す. [手順1] 初期遺伝子集団の決定

GA の初期遺伝子について説明する.構造要素の各 要素に対して構造要素の定義域とするか否かの二つの 状態をそれぞれ 50%の確率で選択する.定義域とする 要素に対しては,その要素の値を0~25の間の値にラ ンダムに決定する.このようにして 30 個の個体を初 期遺伝子集団(個体群)とする.

[手順2] 各遺伝子の適応度の算出

30 個の個体について適応度 V を求める.最大にす べき適応度 V を次のように定義する.

$$V$$

$$= \frac{1}{\sum_{x \in whole image}} \{ [X(x) - PS(X, B, m_{max})(x) - PS(X, B, m_{second})(x)] - X_{MB}(x) \}^{2}$$

$$(11)$$

ここで, m_{max} は算出するスペクトル値列の中でその 値が最大となるサイズを示し, m_{second} は m_{max} に 隣接する二つのサイズのスペクトル値のより高い値を 示す構造要素サイズである. $X_{MB}(x)$ は十分大きなサ イズの平板構造要素による Opening 演算結果である (本論文ではサイズ m = 14 とした).

適応度は式 (9) の評価量の逆数で本来与えられるべきものである.しかしながら,視覚的には単一の形状, 大きさの粒子で構成されるテクスチャであっても一つひとつの粒子の形状には多少のばらつきが見られる. そのばらつきを吸収するため,スペクトルピーク値に 隣接する第2ピークを形成する構造要素によるスペクトル PS(X, B, m_{second}) も適応度算出に含むことにする.

[手順3] 選択

算出した個体群に対する適応度の中で,これまで出 現した最大の適応度を持つ個体よりも適応度の高い個 体が存在する場合,その個体の遺伝子と適応度を記録 する.このとき,記録している適応度が,一連の手順 を70回繰り返しても更新されていなければGAを終 了する.終了条件を満たさなければ,エリート保存選 択と期待値選択の併用によって現在の個体群から重複



を許し新しい個体を 30 個選び出す.エリート保存選 択では,30 個の個体のうち適応度が一番低い個体の遺 伝子を,記録されているこれまでに出現した最大の適 応度を持つ個体の遺伝子に置き換える.次に期待値選 択を行う.期待値選択では,個体群の各個体の適応度 の総計を計算し,適応度の総計に対する各個体の適応 度の割合に応じて,個体群の大きさが 30 個となるよ うに各個体の数を増減する.

[手順4] 交叉

30 個の個体をランダムに15 組のペアに分け,70%の 確率で各ペアに対して2点交叉を行う.図1は交叉の 方法を示している.図1上段は交叉を行う構造要素の ペアを示す.ペアの各遺伝子は図1中段のように構造 要素を左上の画素から順に,行展開し1次元配列にす る.1次元配列に変換した構造要素から,2点を無作 為に選択し,2点間の画素を入れ換える.交叉の終了 した構造要素は図1下段に示されるように,太枠で囲 まれた部分が入れ換えられたことになる.

[手順5] 突然変異

各個体に対して,構造要素の定義域に関する突然変 異確率を各要素に対して5%とする.突然変異が起き た要素は,その要素が定義域に含まれていれば定義域 からはずし,逆に,定義域に含まれていなければ定義 域に含める.このとき,新たに定義域に含まれた要素 の値は0~25の間の値にランダムに決定する.定義域 に関する突然変異の後,構造要素の要素の値について



Fig. 2 Texture images.

5%の確率で突然変異を起こし,突然変異が生じた場 合,要素の値を0~25の間の値にランダムに置き換え る.以上の操作後,手順2に戻る.

3.4 特徵抽出結果

提案した方法により単一の大きさ・形状の粒子か ら構成されるテクスチャの特徴を,構造要素により表 現できることの確認を行う.検討には図2に示す11 のテクスチャを使用する[14].構造要素の最適化には 256×256サイズのテクスチャを用いた.また,これ らのテクスチャは8ビット濃淡画像である.図2の 上段の八つのテクスチャは視覚的には単一の粒子から 構成されるテクスチャであり,下段の三つが複数の粒 子から構成されるテクスチャである.更に,各テクス チャを線形補間を用いて1.25倍の大きさに拡大した テクスチャ及び,wireに対しては30°,60°回転させ たテクスチャをそれぞれ作成し,それらに対しても提 案する方法を適用する.

図3に以下で表す構造要素の構成を示す.構造要素 を構成する要素のうち,斜線で示されている要素は構 造要素の定義域外であることを示す.よって,図3の 構造要素は三角形を表している.また,構造要素の定 義域内となる要素はその値が高いほど白く,その値が 低いほど画素を黒く表示している.

単一の粒子特徴をもつテクスチャと複数の粒子特 徴をもつテクスチャに対し,構造要素によって特徴を 抽出した結果をそれぞれ図4,図5,図6に示す.図 はテクスチャ,テクスチャを構成する粒子,各テクス



図3 構造要素の表現法 Fig.3 Expression of the structuring element.

チャの特徴を表す構造要素とその大きさを示している. 図 4 (b),図 5 (b)が 1.25 倍の大きさに拡大したテク スチャへ提案法を適用した結果である.

図4,図5から視覚的に単一の特徴から構成され ているテクスチャ8種に関しては,構造要素の形状と テクスチャ中の粒子の形状が類似していることが確認 された.また,1.25 倍に拡大したテクスチャに対し ても構造要素により粒子特徴が抽出されている.しか し, wool に関しては, wool を構成する粒子の種類の うち一つの特徴が抽出されているにすぎず, pebbles, rattan に関しては,テクスチャ中の構造特徴と構造要 素が類似していないことが確認された.他の構造要素 のサイズに着目すると, straw を除いた特徴抽出が可 能なテクスチャに対しては,1.25倍のテクスチャに対 する構造要素のサイズが等倍のそれらの約1.25倍し たサイズとなっている, strawの場合は他の単一特徴 をもつテクスチャと若干異なり,その特徴が粒子的で ないため,1.25 倍のテクスチャにおける特徴が必ずし も等倍の特徴の 1.25 倍とはいえない.また,例えば pellets, wire(×1.25), net(×1.25)の特徴を表す構造 要素のサイズ 15 × 15 は線形補間により作成された 構造要素である.このことから,特徴を抽出できるサ イズの連続性を保つための工夫が有効であることが確 認される.以上から,単一の大きさ・形状の粒子から 構成されるテクスチャの粒子特徴を提案する方法によ り抽出可能であることがわかった.一方,複数の粒子 からなるテクスチャに対してはテクスチャ中の一つの 粒子形状が抽出されることもあるが,一般に構造要素 はテクスチャを構成する粒子特徴と関係ないことがわ かった.次に図6の結果から,回転して作成したテク スチャに対して抽出された特徴はやはり回転関係にあ り,その角度差もほぼ保存されている.このことから も提案する方法が単一の粒子特徴をもつテクスチャの 粒子特徴を正しく抽出できることがわかる.

- 4. 提案する方法で特徴抽出可能なテクス チャの判別法
- 4.1 単一の大きさ・形状の粒子から構成されているテクスチャの判別法

3.の結果から,単一の大きさ・形状の粒子特徴を もつテクスチャに対しては,提案する方法により構造 要素でテクスチャの特徴を表現できることが明らかに なった.しかしながら最適化手続きで得られた構造要 素からは解析対象であるテクスチャが単一粒子で構成 されていたか否かはわからない.よって,得られた構 造要素が意味のあるものであるかを明確化するため, 提案法で解析できるテクスチャ(単一粒子から構成) であったか否かを何らかの手段で明らかにしたい.以 下では,提案法が有効なテクスチャか否かを求められ た構造要素を用いて判定する方法を明らかにする.

単一の大きさ・形状の粒子から構成されるテクス チャの特徴はその特徴に対応した構造要素の Opening 演算によりほぼ完全に取り除かれる.よって,テクス チャ中の上に凸である特徴のほぼすべてが取り出せる ことになる.この粒子特徴は十分に大きなサイズの 平板構造要素の Opening 演算によっても削り取るこ とができる.よって,単一の大きさ・形状から構成さ れるテクスチャの場合は最適化された構造要素による Opening 演算により削り取られた上に凸の特徴から成 る画像と十分に大きなサイズをもつ平板構造要素を用 いた Opening 演算により削り取られた上に凸の特徴 をもつ画像がほぼ一致する.一方,複数の特徴から構 成されるテクスチャでは,提案する最適化手続きで得 られた構造要素による Opening 演算ではテクスチャ 中の上に凸の特徴を十分に削り取ることはできない. そこで,提案法が限定した解析可能なテクスチャか否 かを次式で定義される R により判定する.

$$R = \frac{\sum_{\substack{x \in whole image}} \{\alpha(X)(x)\}^2}{\sum_{\substack{x \in whole image}} \{\beta(X)(x)\}^2}$$
(12)

ここで, α(X) はテクスチャ X を構成する粒子のうち,提案法で求めた構造要素が示す粒子のみで構成される画像で

$$\alpha(X)(x) = PS(X, B, m_{max})(x) + PS(X, B, m_{second})(x)$$
(13)

	Texture Image	Structuring Feature	Structuring Element (SE)	Size of SE
wire				13×13
straw	4	N	C	7×7
net		C		9×9
pellets		\bigcirc		15 imes 15
beans				13×13
cotton canvas	ġ			7×7
cane		\bigcirc		11×11
loose burlap	đ			7×7

(a) Original size

	Texture Image	Structuring	Structuring Element (SE)	Size of SE
wire		Feature		15×15
straw		N		7×7
net		Q	\bigcirc	15 imes 15
pellets	山谷	\bigcirc		21×21
beans				15×15
cotton canvas		R.		11×11
cane		\bigcirc		13×13
loose burlap				9×9

(b) Expanded size $(\times 1.25)$

図4 単一特徴をもつテクスチャに対する特徴抽出結果

Fig. 4 Modeling results of the texture image which is constructed by monofeature.

	Texture Image	Structuring Feature	Structuring Element (SE)	Size of SE
wool	8	5	4	7×7
pebbles			2 2	7×7
rattan				11×11

(a) Original size

	Texture Image	Structuring Feature	Structuring Element (SE)	Size of SE
wool		9		9×9
pebbles				7×7
rattan	в П		6	15 imes 15

(b) Expanded size $(\times 1.25)$

Fig.5 Modeling results of the texture images which is constructed by multi-features.

Rotation Angle	Texture Image	Structuring Feature	Structuring Element(SE)	Size of SE
0°				13×13
30°		A		11×11
60°				11×11

図 6 "wire"と回転させた "wire"の特徴抽出結果 Fig. 6 Modeling results of the "wire" and roatated "wire".

と算出する.また, $\beta(X)(x)$ はテクスチャ中のすべての上に凸の特徴のみの画像で

$$\beta(X)(x) = X(x) - X_{MB}(x) \tag{14}$$

と算出する . X_{MB}(x) は 32 × 32 の平板構造要素に

よる Opening 結果の画像であり, 32×32 以下の任意 形状の上に凸の粒子がすべて削り取られた画像である. よって, $X_{MB}(x)$ と原テクスチャとの差分を取ること で, テクスチャの特徴が取り出された画像ができる.

図 5 複数の特徴をもつテクスチャに対する特徴抽出結果



図 7 R 値による単一特徴テクスチャであるか否かの判定 Fig. 7 The value R of each texture.

4.2 判別法の有効性の検証

単一の大きさ・形状の粒子から構成されているテク スチャか否かを 4.1 で示した方法により判別できる ことを確認する.3.2 で使用したテクスチャを用いて 4.1 で示した方法を適用した.図7に各テクスチャに 対して式(12)で導出される R を示す.図より,単一 の粒子特徴をもつテクスチャと複数の粒子特徴をもつ テクスチャを比較した場合,値の存在範囲に明らかに 違いが見られる.図7から R > 0.20 であれば単一の 形状・大きさの粒子のみで構成されている可能性が高 いことが判断される.このことから,テクスチャが単 一の粒子特徴をもつか否かを判別することができ,提 案する方法で導出された構造要素がテクスチャの粒子 特徴を示しているか否かの判別が可能であることが確 認された.

5. む す び

本論文では,モルフォロジーフィルタの構造要素を 用いたテクスチャの空間領域特徴抽出法を提案した. 本手法では,解析対象を単一の形状と大きさを持つ粒 子で構成されるテクスチャに限定した.そして,テク スチャが限定した解析対象であるか否かを判別する方 法を示した.また,構造要素のサイズの連続性を保つ 方法を示した.

提案したモデルは本手法において特徴抽出対象とす るテクスチャに対しては,そのサイズ,形状を表現で きていることを実験的な立場から明らかにした.また, テクスチャが解析対象であるか否かの判別方法は,本 論文で用いたテクスチャに対しては有効に作用した. なお,GAのパラメータや,評価値についてはまだ 検討の余地がある.更に,解析対象となるテクスチャ のクラスを拡大するためにも,複数の種類の粒子特徴 から構成されるテクスチャ解析方法について今後,検 討していく必要がある.

献

- A.K. Jain, Fundamentals of digital image processing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1989.
- [2] 森 俊二 , 坂倉栂子 , 画像認識の基礎 [II], オーム社 , 1990.
 - [3] 小畑秀文,モルフォロジー,コロナ社,1997.

文

- [4] P. Maragos, "Pattern spectrum and multiscale shape representation," IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., vol.11, no.7, pp.701–715, July 1989.
- [5] E.R. Dougherty, J.T. Newell, and J.B. Pelz, "Morphological texture-based maximum-likehood pixel classification based on local granulometric moments," Pattern Recognit., vol.25, no.10, pp.1181–1198, Oct.1992
- [6] A. Asano, M. Miyagawa, and M. Fujio, "Modeling of textures using mathematical morphology and optimization algorithm," Proc.4th Asian Fuzzy Systems Symposium, 1, pp.109–114, 2000.
- [7] A. Asano, M. Miyagawa, and M. Fujio, "Texture modeling by optimal grayscale structuring elements using morphological pattern spectrum," Proc. 15th International Conference on Pattern Recognition, 3, pp.479–482, 2000.
- [8] A. Asano, "Texture analysis using morphological pattern spectrum and optimization of structuring elements," Proc. 10th International Conference on Image Analysis and Processing(ICIAP'99), pp.209–214, 1999.
- [9] 小守 匠,田口 亮, "モルフォロジーフィルタの構造要素 によるテクスチャ画像のモデル化",信学論(A), vol.J82-A, no.10, pp.1508-1517, Oct.1999.
- [10] 小守 匠,田口 亮,"順序パラメータを加えた構造要素モ デルによるテクスチャ画像識別法",信学論(A), vol.J83-A, no.10, pp.1207–1212, Oct.2000.
- [11] N.R. Harvey and S. Marshall, "Restoration of archive film material using multi-dimensional soft morphological filters," Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, NSIP'99, Turkey, pp.811–814, June 1999.
- [12] N.R. Harvey, New Techniques for the Design of Morphological Filters using Genetic Algorithms, Ph.D. Thesis, Dept. of Electronic and Electrical Engineering, University of Strathclyde, UK, 1997.
- [13] 坂和正敏,田中雅博,遺伝的アルゴリズム,朝倉書店, 1995.
- [14] P. Brodatz, Textures; A Photographic Album for Artists and Designers, Dover Publishing, 1966.
 (平成 13 年 6 月 22 日受付, 12 月 18 日再受付,

14 年 2 月 13 日最終原稿受付)



八嶋 俊

平13武蔵工大・工・電気電子卒.現在,同 大大学院修士課程在学中.モルフォロジー フィルタを用いた特徴抽出に関する研究に 従事.



浅野 晃 (正員)

昭62阪大・工・応用物理卒.平4同大大 学院博士課程修了.同年九工大・情工・機 械システム助手.現在,広島大総合科学部 助教授.平6年5月~平7年2月フィンラ ンド国立研究センター情報工学研究所客員 研究員(文部省在外研究員).モルフォロ

ジーを応用したテクスチャ解析,統計的物体同定,画像表現形 式の理論的研究などに従事.映像情報メディア学会,応用統計 学会,IEEE 会員.



田口 亮 (正員)

昭 59 慶大・工・電気卒.平1 同大大学院 博士課程了.同年武蔵工大・工・電気電子 助手.現在,同教授.平5年9月~平6年 8月タンペレ工科大信号処理研究所(フィ ンランド)客員研究員.工博.非線形ディ ジタル信号処理,ニューラルネットワーク

の研究に従事.著書「非線形ディジタル信号処理」(共著,朝倉 書店)など.電気学会,計測自動制御学会各会員.