パターンスペクトルを用いたテクスチャ画像の判別に最適な構造要素の設計法

Optimization of Structuring Element for Texture Classification Using Pattern Spactrum

竹内伸也　剣持雪子　小谷一孔
Shinya TAKEUCHI　Yukiko KENMOCHI　Kazunori KOTANI
北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
School of Information Science,JAIST

Abstract: This paper shows the effectiveness on optimization of a structuring element for texture classification by using pattern spectrum. In order to narrow the searching space of a structuring element,we analysis optimized structuring element and we make a contraint.For experiment, we apply the method for personal identification using nose image.

1 はじめに

パターンスペクトルを用いたテクスチャ画像判別の応用として、映像モニタリングにおける男女識別 [1] や、耳形状 [2] や鼻形状 [3] を用いた個人識別などが報告されている。これらはパターンスペクトルを得るための構造要素を経験的に与えていた。山本らはパターンスペクトルを用いたテクスチャ画像の判別における最適な構造要素の決定法を提案した [4]。この方法では、判別に用いる辞書テクスチャ画像のパターンスペクトル間の相関を最小とするように構造要素を遺伝的アルゴリズムやシミュレーテッドアニーリングを用いたトレーニングにより決定している。

本研究では構造要素を最適化することの有効性を示すとともに、最適な構造要素の性質を解析する。なお、最適な構造要素の性質は処理目的に依存するため、ここでは例として鼻の三次元形状情報を用いた個人識別を取り上げる。その際、トレーニングによる最適化では、得られる構造要素が局所解に陥る可能性がある。そこで、モルフォロジーの性質を利用した妥当な制約条件を付加し、探索範囲を狭め、全探索により構造要素の最適化を行い、それを解析する。

2 モルフォロジー演算及びパターンスペクトル

モルフォロジーは集合論的操作からなる対象画像の変形手法の一貫した理論体系で、対象画像と構造要素及びモルフォロジー演算とで画像処理を実現する。

$\mathbf{Z}$ を整数全体の集合とし、2 次元ディジタル画像空間を $\mathbf{Z}^2$ とすると、各 $(x,y) \in \mathbf{Z}^2$ が濃淡値 $f(x,y) \in \mathbf{Z}$ を持つとき $f(x,y)$ を 2 次元画像と定義する。2 次元画像である対象画像 $f(x,y)$ と構造要素 $g(x,y)$ の Minkowski 和、Minkowski 差は式 (1),(2) のように与えられる。

$$(f \oplus g)(x,y) = \max_{\substack{(x-u,y-v)\in \mathbf{F} \\ (u,v)\in \mathbf{G}}} f(x-u,y-v) + g(u,v) \quad (1)$$

$$(f \ominus g)(x,y) = \min_{(u,v)\in \mathbf{G}} f(x-u,y-v) - g(u,v) \quad (2)$$

ただし、$\mathbf{F}, \mathbf{G}$ は関数 f, g の定義域とする。

また、$\check{g} = g(-u,-v)$、$A(f)$ を $f(x,y) > 0$ となる (x,y) の数とすると、opening と呼ばれる基本演算は式 (3) のように定義される。

$$f_g = ((f \ominus \check{g}) \oplus g)(x,y) \quad (3)$$

そして以上よりパターンスペクトル PS は、式 (4) のように定義される。

$$PS_f(n,g) = (f_{ng}) - A(f_{(n+1)g}) \quad (4)$$

ただし、

$$ng = \underbrace{g \oplus g \oplus \cdots \oplus g}_{n} \quad (5)$$

3 テクスチャ画像の判別

本検討では、入力画像 f が属する画像群 $\mathbf{F}_i (i = 1,2,\ldots,I)$ を決定する。あらかじめ $d_i \in \mathbf{F}_i$ から、構造要素 g のパターンスペクトル $PS_{d_i}(n,g)$ を求めておく。そして f のパターンスペクトル $PS_f(n,g)$ と、d_i のパターンスペクトル $PS_{d_i}(n,g)$ の類似度 S (式 6) を求め、f がどの $\mathbf{F}_i$ に属するかを S を最大とする画像群 $\mathbf{F}_i$ を選ぶことにより判別する。

$$S(PS_f(n,g), PS_{d_i}(n,g)) = \frac{\sum_{n=1}^{N} PS_f(n,g) PS_{d_i}(n,g)}{\sqrt{\sum_{n=1}^{N} PS_f(n,g)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^{N} PS_{d_i}(n,g)^2}} \quad (6)$$

しかし、複数の d_i 間の $PS_{d_i}(n,g)$ が類似しているような場合、判別精度が低下するおそれがある。そこで、辞書を作成する際に、評価関数 (式 (7)) を用いて、複数の d_i 間の $PS_{d_i}(n,g)$ の類似度が最小になるような g の最適化を行なう。(図 1,2)

$$E(B) = \max_{\substack{i,j=0,1,\ldots,I \\ j\neq i}} S(PS'_{f_j}(n,g), PS'_{f_i}(n,B)) \quad (7)$$

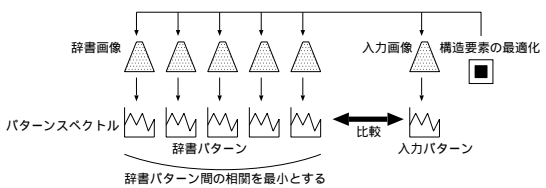

図 1: テクスチャ画像判別の概要

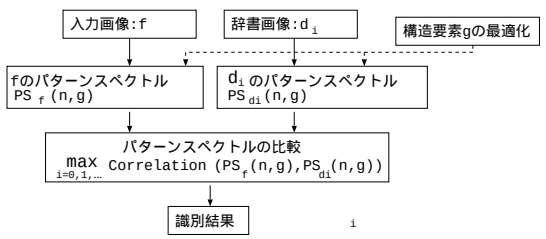

図 2: テクスチャ画像判別のアルゴリズム

4 個人識別に基づいた構造要素の最適化

上記の構造要素の最適化手法の有効性を示すため、レーザーレンジファインダで取り込んだ鼻の三次元形状情報 (図 3) を用いた個人識別へ適用する。辞書パターン PS_{d_i} として無表情時の鼻形状のパターンスペクトル、入力パターン PS_f として表情付鼻形状のパターンスペクトルを与えた時、入力パターンがどの個人 $(\mathbf{F}_i)$ に属するかを識別する。

また、構造要素 g を最適化する際、g の取る範囲が膨大である為、従来はトレーニングによる最適解の探索が行なわれていたが、この方法では得られる解が局所解に陥る危

険がある。そこで、モルフォロジーによる形状分解は、

(性質 1) 構造要素が回転対称のとき回転不変性を有する [5]
(性質 2) Minkowski 和は図形の割れ目や穴を溶融する [6]

を持つことに着目する。そして、最適化される構造要素は回転対称 (円形) で、円形上の中心の値ほど高い傘型の形状を取るという制約条件を付加して探索範囲を狭め、全探索による最適化を行う。

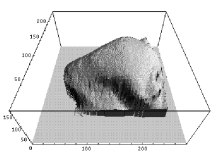

図 3: 鼻の 3 次元構造

4.1 制約条件を付加した構造要素の設計

鼻の形状をレンジファインダで取り込む際、鼻が傾いて入力されてしまう問題がある。構造要素が回転対称である場合、対象画像のパターンスペクトルは鼻の傾きにそれほど影響しない回転不変性の性質がある。そこで、(性質 1) より、図 4(a) のように x 軸方向の長さが l、各 $x(0 \leq x \leq l)$ に対する y 軸方向の値を $h(x)$ の形状を考える。

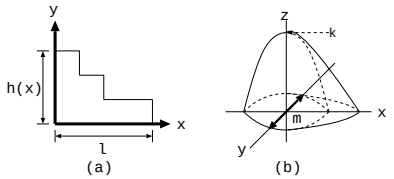

図 4: (a) 回転対称な構造要素の一部 (b) 鼻の簡易モデル

式 (5) より、g の $h(x), l$ に対応する ng の $h(n,x), l(n)$ は、n の値により変化する。ここで ng を y 軸を中心に回転させて、回転対称な構造要素 $R(ng)$ を以下のようにつくる。

$$R(ng) = \left\{ R_\theta(x,y)^T | (x,y) \in \mathbf{NG}, 0 \leq \theta \leq 2\pi \right\} \qquad (8)$$

ただし、$\mathbf{NG}$ は ng の定義域、R_θ は原点に対し θ だけ回転する回転行列、そして、パターンスペクトル PS'_f を以下のように定義する。

$$PS'_f(n,g) = A(f_{R(ng)}) - A(f_{R((n+1)g)}) \qquad (9)$$

(性質 2) より、式 (5) で構造要素のサイズを大きくしていくと構造要素は山型となり、へこみはパターンスペクトルにそれほど影響を与えなくなると考えられる。したがって、初期の構造要素 $h(0,x)$ に以下の制約条件を付加し、山型形状のみを生成することができる。

$$h(0,x) > h(0,x+1) \qquad (10)$$

以上により、$h(0,x), l$ の値が大きくない場合は、全探索が可能となる。

4.2 最適化された構造要素を用いた個人識別実験

辞書データとして 20 人の無表情鼻形状のパターンスペクトル、入力データとして同じ人間の表情付鼻形状 (無表情、笑い、悲しみ、怒り、口開く、眼閉じるの 6 カテゴリー, 計 120 枚) のパターンスペクトルを与え、表情付鼻形状の個人識別を行なった。なお、構造要素の最適化には全探索を用いて行ない、$l = 5$ のサイズの構造要素の各ピクセルのレベルを $0 \leq h(0,x) \leq 5$ の範囲で全探索を行なった。また、用いたパターンスペクトルの解像度の数 (式 (6) における N) は 6 とした。表 1に制約条件を付加した構造要素による識別率及び、構造要素を $g(x,y)$ 定義域を $\mathbf{G} = \{(x,y) | (0 \leq x \leq 5, 0 \leq y \leq 5)\}$ として、全ての $(x,y) \in \mathbf{G}$ について 0 から 5 の範囲でトレーニングにより変化させ求めた構造要素の識別率を示した。また、比較のために、北田ら [3] が用いた円形構造要素の識別率も示した。

表 1: 各表情における個人識別結果 (%)

表情	無表情	幸福	悲しみ
制約条件あり	75	60	60
制約条件なし	70	55	65
北田らの構造要素	65	35	45

表情	怒り	口開く	眼閉じる
制約条件あり	65	50	55
制約条件なし	65	55	60
北田らの構造要素	60	45	25

5 最適化された構造要素の解析

鼻の三次元形状情報を用いた個人識別における、最適な構造要素の性質を解析するために、以下の項目の検討を行う必要がある。

(1) 鼻の形状の簡易なモデルへのあてはめ
(2) (1) のモデルのパラメータを変化させた n 枚の画像を分離する構造要素の性質の調査

今回は鼻の形状を図 4(b) の様な簡易なモデルとして捉えた 2 枚のモデル画像 $o(x,y)$,$p(x,y)$ の k 及び m の値を k_o, k_p, m_o, m_p として、それぞれの値を変化させたモデル画像を分離する最適な構造要素について解析した。(表 2,3) なお、表 2,3のそれぞれ値は図 4(a) における構造要素の高さ $h(x)$ とする。

表 2: モデル画像 $o(x,y), p(x,y)$ の高さ k_o, k_p を変化させたときの最適な構造要素の一部 h(0),h(1),h(2),h(3),h(4)

k	k_o=5	k_o=10	k_o=15	k_o=20	k_o=25
k_p=5	-	1,1,0,0,0	1,1,0,0,0	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0
k_p=10	1,1,0,0,0	-	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0
k_p=15	1,1,0,0,0	2,2,0,0,0	-	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0
k_p=20	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0	-	3,3,0,0,0
k_p=25	1,1,0,0,0	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0	2,2,0,0,0	-

表 3: モデル画像 $o(x,y), p(x,y)$ の幅 m_o, m_p を変化させたときの最適な構造要素の一部 h(0),h(1),h(2),h(3),h(4)

m	m_o=5	m_o=10	m_o=15	m_o=20	m_o=25
m_p=5	-	3,2,0,0,0	3,2,0,0,0	4,2,0,0,0	4,3,0,0,0
m_p=10	3,2,0,0,0	-	4,4,4,4,0	4,4,4,0,0	4,4,4,0,0
m_p=15	3,2,0,0,0	4,4,4,4,0	-	4,4,4,0,0	4,4,4,0,0
m_p=20	4,2,0,0,0	4,4,4,0,0	4,4,4,0,0	-	4,4,4,0,0
m_p=25	4,3,0,0,0	4,4,4,0,0	4,4,4,0,0	4,4,4,0,0	-

この結果 k の変化は構造要素の高さの変化となって現れ、k が高いほど構造要素の値も高くなる性質があり、また、m の変化は構造要素の横幅に変化となり、m が大きいほど構造要素の幅が広がる性質があることがわかる。

6 まとめ

パターンスペクトルを用いたテクスチャ画像判別において構造要素を最適化することの有効性を示すとともに、最適な構造要素の性質を解析した。その際、全探索が可能となるような構造要素の設計法について述べた。

今後は、最適化された構造要素の性質を解析するために、鼻の形状情報を用いた個人識別に妥当なモデルの設計及び、判別させる画像を増やした場合の最適化される構造要素の性質について調べていきたいと考えている。

参考文献

[1] 数藤恭子, 大宮淳司ら," モルフォロジー処理によるパターンスペクトルを特徴量に用いた男女識別," 電子情報通新学会論文誌,D-II,Vol.J80-D-II, No.5,pp.1037-1045,1997.
[2] 結城義徳, 大宮邦彦ら," モルフォロジー演算に基づく耳介の特徴抽出および個人識別への応用," テレビジョン学会技術報告,vol.18,No.27, pp.13-18,1994
[3] 北田基樹, 小谷一孔," 顔部品画像のモルフォロジー解析と個人識別," 情報処理学会研究報告,vol.98-CVIM-109,No.5,pp.65-72,1998.
[4] 山本慎一, 小谷一孔," モルフォロジーにおける構造要素の GA による最適化とテクスチャ解析への応用," 情報処理学会研究報告, vol.98-CVIM-109,No.5,pp.57-64,1998.
[5] Pitas I,Venetscanopoulos A.N.,"Morphological shape decomposition,"IEEE Trans.Pattern Anal. Machine Intell.,PAMI-12,1,pp.38-45,1990.
[6] 間瀬茂, 上田修功,"モルフォロジーと画像解析 [1]," 電子情報通信学会誌,Vol.74,No.2,pp.166-174,1991.

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒 923–1292 石川県 能美郡 辰口町 旭台 1–1
Phone 0761–51–1231 E-mail stakeuch@jaist.ac.jp