顔の対称性検出

Detection of Human Face Symmetry Rate

正会員 近藤 浩[†], 石坂 大^{††}
Hiroshi Kondo[†] and Dai Ishizaka^{††}

Abstract A fast algorithm is described for detecting the human face symmetry rate, an important feature of the human face. Symmetry rates can be obtained simultaneously not only for the full face, but also for each feature (eyes, nose, mouth, etc.). This algorithm rejects the nose's shadow, which is an obstacle to obtaining the symmetry rate. First, the target face is divided into six vertical blocks, and the center of gravity of each block is calculated. The principal axis of the face is determined from the obtained gravity centers by using linear approximation (minimum mean square error estimation). Rejection of shadows and rotation of the principal axis to make it perpendicular to the horizontal axis are done next. Finally, the symmetry rate is calculated. Rejection of any moles on the face due to the shadow rejection is prevented by using a circular rate. This algorithm includes real part-only synthesis in order to obtain a high-efficiency fast calculation. Simulation examples showed that it is effective for quickly determining the symmetry rate of a human face.

キーワード：人物顔，対称性，フーリエ実部合成

1. ま え が き

近年，多くの分野でオートメーション化が促進され，ここでは種々の形で高速に形状認識，位置決定，パターンマッチング等が行われている．自動化が高度になればなるほどメカニク的な機構はもちろん，その機構を十分に機能させるソフトウェアが要求されるようになる．今日の高度なオートメーションがあるのは，ハード面の発展とともに，こうした優れたソフトの開発によるところが大きい．このような画像処理ソフト中でも，人間の顔認識は撮影角度や表情の微妙な違いから最も難しいもののひとつとされている．しかし人物の顔認識については，その重要性から顔学会も発足し，顔の特徴量解析が活発に行われている^{1)~8)}．例えば，テンプレートによる顔器官特徴の抽出⁹⁾や，顔の濃淡情報から3次元形状に関する情報を取り出し，顔の向きを推定する手法¹⁾が提案されている．本研究では，こうした顔の特徴量のひとつである顔の対称性に着目し，対称度を高速に算出するアルゴリズムを構成している．顔の対称度は，その人の性格とも関係しているといわ

れており，人相学上最も重要な特徴量のひとつとされている．まず2章で顔の対称軸を検出する従来手法を簡単に紹介し，次に本提案手法を示す．ここではファジールールを用いた画像の2値化を行い，ブロック別重心から最小2乗法により主軸を決定する独自の方法を用いている．3章では対称軸を水平軸と直交させるためのアフィン変換を行い，主軸回転の手順を示す．4章で輪郭線抽出，2値化，影の消去および対称度の算出といった本論の主題を述べる．シミュレーション例を5章で取り上げ，本手法の有効性を示すとともに，6章では本論の総括および今後の問題点について議論する．

2. 顔の対称軸抽出

本研究では，人物の認識に最も関係が深い顔の特徴量のひとつである対称度を取り扱う．顔の対称度を測定する従来手法に関しては，直接顔の主軸をモーメント法により求め，対称度を決定するもの，平面の幾何的性質を利用したもの，自己相関関数を利用したもの^{9)~11)}等があげられるが，複雑で計算に時間が掛かったり，対称度の定義がややあいまいであったり，まだ完全なものとは思えなかった．例えばZabrodskyら⁹⁾は，CSM(Continuous Symmetry Measure)を，折り返した画像と原画像との平均距離として定義し，CMSが最小となるときに折り返し軸を対称軸として定義し，対称度はCMSの値とするユニークな方法である．この方法は対称性の相対比較には適しているが，CMS自体の値は単なる数値であり，その数字自体のもつ

1998年4月13日受付，1999年8月27日最終受付，1999年10月4日採録

[†] 九州工業大学 工学部 電気工学科

(〒804-0015 北九州市戸畑区仙水町1-1, TEL 093-884-3200)

^{††} 凸版印刷株式会社 生産技術本部

(〒110-8560 東京都台東区台東1-5-1, TEL 03-3835-5111)

[†] Electrical Department, Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

(1-1, Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 804-0015, Japan)

^{††} Toppan Printing Co., Ltd.

(1-5-1, Taito, Taito-ku, Tokyo 110-8560, Japan)

意味はない。したがって、一人の顔の対称度を議論するときには適していない。また、繰り返し法を採用しているため、我々のシミュレーションでも40秒の処理時間がかかった。Reisfeldら¹⁰⁾は、顔左右の方向強度勾配のグローバルな相関を利用したGeneralized Symmetry Operatorを導入し、対称性尺度を定義した。この方法は柔軟性、ロバスト性には優れているが、人の手により対象画像の左右の目および口の位置を決定入力しなければならず、この点がややあいまいで、しかも処理時間の大幅な延長につながる。Baron¹¹⁾はeye templateを用い、画像の相互相関の最大値を探すことから目の位置を特定した。この方法は画像のサイズ、アングルに大きく依存し、実際の画像には使いづらい面をもっている。鈴木ら¹⁾は、顔の向きを推定するのに形状情報と共に濃淡画像の相関を利用しているが、照明の加減が影響し、また計算時間が我々の実験では70秒程度と長いなど、の改善の余地を残している。本論では顔形状すなわち顔輪郭(目、鼻、口、深い皺を含む)のみを対象とした対称度を定義し、高速に計算(全処理時間、2秒弱)する手法を提案する。図1に全体の処理の流れを示すフローチャートを示している。大きく分けて、主軸検出、目鼻口のブロック分割および対称度計算の手順となる。対称度の計算のためには、まず顔の対称軸を決定する必要がある。本研究では顔に影がある場合も考慮して、2値化した画像から上下を6段にブロック分割した後、各ブロックの重心をモーメント法から求め、最小2乗法による直線近似から主軸を求めている。最初からブロック分割をせずに直接主軸を検出することも考えられるが、大きなホ

図1 全体の処理フローチャート
Flow chart of this processing.

クロや影がある場合、正確に検出できない。ここではまず画像の2値化について示し、後節で対称軸抽出法を示す。

2.1 ファジールールを用いた2値化

顔の対称軸検出のため、背景と対象となる顔の濃度の違いにより背景を落とすための2値化が必要となる。ここでは表1に示す16個のファジールールによりヒストグラムを修正し、次式に示すピークスコア¹²⁾を計算して、ヒストグラム谷点を求める。2値化は、この谷点濃度を中心に行われる。この濃度点をクロスオーバー点と呼ぶことにする。

$$\text{ピークスコア: } P_s = A(1 - C)D \quad (1)$$

ここに

$$A = \left\{ 1 - \frac{(V_a + V_b)/2}{P} \right\} \quad (2)$$

$$B = \left\{ 1 - \frac{N_p}{P_w} \right\} \quad (3)$$

$$C = 1 - \frac{N_p - \{(V_a + V_b)/2\}W}{P_w - \{(V_a + V_b)/2\}W} \quad (4)$$

$$D = N_p / N_{\text{total}} \quad (5)$$

$$\left(\begin{array}{l} N_{\text{total}}: \text{全画素数}, N_p: \text{ピーク値の画素数}, \\ P: \text{対象ピーク高}, P_w = P \times W: \text{ピークの幅}, \\ W: \text{相隣り合う谷点間の距離} \end{array} \right)$$

V_a, V_b はそのヒストグラムにおける相隣り合う谷点の高さであり、低いピークスコアをもつピークを消して、それを吸収させる手順をとる。以上から得られた唯一の谷点

表1 ファジールール(クロスオーバー点抽出)
Fuzzy rule (Crossover point detection).

ルール番号	変換内容
①	U (F) U のときは、(F)のすべてのFをUにする
②	U (F) D のときは(F)の中間点のFをPにする 最初のFから中間点のFまでをUにする 中間点のFから最後のFまでをDにする
③	U (F) P のときは、ルール①に同じ
④	U (F) V のときは、ルール②に同じ
⑤	D (F) U のときは、(F)の中間点のFをVにする 最初のFから中間点のFまでをDにする 中間点のFから最後のFまでをUにする
⑥	D (F) D のときは、(F)のすべてのFをDにする
⑦	D (F) P のときは、ルール⑤に同じ
⑧	D (F) V のときは、ルール⑥に同じ
⑨	P (F) U のときは、ルール⑤に同じ
⑩	P (F) D のときは、ルール⑥に同じ
⑪	P (F) P のときは、ルール⑤に同じ
⑫	P (F) V のときは、ルール⑥に同じ
⑬	V (F) U のときは、ルール①に同じ
⑭	V (F) D のときは、ルール②に同じ
⑮	V (F) P のときは、ルール①に同じ
⑯	V (F) V のときは、ルール②に同じ

(F : フラット P : ピーク V : バレー)
(U : アップ D : ダウン)

で、顔と背景の分離が可能となる。ファジー手法を用いると高速にこのような分類が可能となり、利便性が高い。

2.2 対称軸決定

まず、図2のように顔を上下6ブロックに分割する。このうち最上位ブロックは髪の毛の部分であり、髪形で大きく対称度が変わるから以後の処理から除外する。同様に最下位ブロックも首や服の情報が入る可能性があり、除外する。この分割では画像全体の中心位置を基点に機械的に上下6ブロックに分割するだけで充分である。すなわち、 256×256 サイズの画像の場合、ここでは単に中心行(128行)を含む第100行~139行をまず取り、さらに40行のブロックを上1つ、下2つ取るだけでよい。この画像を前述のクロスオーバー点を使用して2値化した後、各ブロックでの重心点を求めると、およそ顔面のそのブロックでの中心となる。しかし例えば、光線の加減で影がでたりすると、そのブロックでは必ずしも重心は顔面の中央部にならず、偏ったものになる。したがって、ここでは各ブロックから得られた重心を最小2乗法による直線の当てはめにより主軸を求める方法を採用している。最小2乗法は2回行い、2度目は最も軸から離れたブロックの重心を最小2乗法からはずす処置をとる。これは、このブロックに影や大きなホクロが入っている可能性があることによるものである。また、顔輪郭部の中点を取る手法も考えられるが、輪郭部の途切れ等により不安定になり易く、提案する手法の方が安定した良い結果が得られる。

画像 $f(i, j)$ の重心 (I_c, J_c) は次式より求められる。

$$I_c = M(1, 0) / M(0, 0), J_c = M(0, 1) / M(0, 0) \quad (6)$$

ここに

$$M(p, q) = \sum_{i,j} i^p \cdot j^q f(i, j) \quad (7)$$

第 i 番目のブロックで求められた重心の位置座標を (x_i, y_i) とすると、最小2乗法による直線 $y = ax + b$ の適用により

図2 主軸検出のためのブロック分割
(ブロック分割による検出主軸(白線)と一括法による検出主軸(黒線))

Block division for main axis detection.
(Block-detected axis (white line) and full picture-detected axis (black line)).

$$\text{minimize: } \phi(a, b) = \sum_i \{y_i - (ax_i + b)\}^2 \quad (8)$$

より $\frac{\partial \phi}{\partial a} = \frac{\partial \phi}{\partial b} = 0$ として a, b は、次式のように与えられる:

$$a = \frac{n \sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i}{n \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2} \quad (9)$$

$$b = \frac{\sum_i y_i \sum_i x_i^2 - \sum_i x_i y_i \sum_i x_i}{n \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2} \quad (10)$$

こうして求められた主軸は、影の影響による誤差が大きく抑えられ、信頼性の高いものとなっている。実際、全く影のない場合、顔全体像からモーメント法により求められた主軸(ここではこれを一括法と呼ぶ)

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2M(1, 1)}{M(2, 0) - M(0, 2)} \quad (11)$$

と、最小2乗法から得られた主軸はほぼ一致することが確かめられた。図2に影のある画像のブロック分割法と(11)式で与えられる一括法の検出主軸の違いも示している。一括法は従来から用いられて来た手法である。白線で示した軸が本方法で、黒線で示したものが一括法で検出されたものである。一括法では光線の影響を受け易く、必ずしも顔の対称軸とはならず不安定な軸となり易いが、ブロック分割法では安定した主軸が人手を要することなく検出できることを示している。通常では θ は、水平軸と直角に近い角度をなしているが、完全に直交することはまれで、多少の傾きをもっている。本研究では処理の都合上、主軸は水平軸と直交させる必要があり、画像の回転を次のように行っている。

3. 画像の回転

顔画像の回転は、顔の重心を中心としてアフィン変換により主軸が水平軸と直交するように行う。ただし、ここでは回転の中心は顔の正確な重心である必要はなく、単に顔画像が枠外にはみ出さないように回転させればよいから、検出された主軸の中点を中心としている。この座標位置を (i_c, j_c) とすると、 θ だけ回転するアフィン変換は次式となる。

$$\begin{bmatrix} I \\ J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i - i_c \\ j - j_c \end{bmatrix} \quad (12)$$

ここに (I, J) は変換後の座標、 (i, j) は変換前の座標である。

4. 対称性の解析

ここでの対称性は輝度や色信号ではなく、顔形状のみについてのものである。したがって、まず画像の輪郭線抽出を行い、2値化した後、目、鼻、口の局所対称性計測のため局所ブロックの自動決定、影の消去等の前処理を行う。ここでのブロック決定は、前述の主軸決定のときに行ったものより慎重に行う必要がある。このことについては後で

図 3(a) ラプラシアンオペレータ L_1 による抽出エッジ
Detected edges by Laplacian operator L_1 .

図 3(b) 合成ラプラシアンオペレータ L_c による抽出エッジ
Detected edges by mixed Laplacian operator L_c .

図 3(c) ソーベルオペレータによる抽出エッジ
Detected edges by Sobel operator.

詳述する．最後に，1次元フーリエ変換を利用して効率良く対称度を決定する．

4.1 画像の輪郭線抽出

顔形状の対称性を計測するため，輪郭線抽出を行う．ここでは抽出オペレータとしてラプラシアン L_1 と合成ラプラシアン L_c およびソーベルを比較検討し，顔輪郭抽出に最も適したものを選ぶようにしている．ラプラシアンオペレータおよびソーベルオペレータは，次のようなものを使用している．

	1		1/2	1	1/2	
1	-4	1		1	-6	1
	1		1/2	1	1/2	
ラプラシアン L_1	合成ラプラシアン L_c					
	-1	0	1	-1	-2	-1
	-2	0	2	0	0	0
	-1	0	1	1	2	1
(a)	(b)					
ソーベル						

ラプラシアン L_1 は差分近似のため完全な等方対称性を有しておらず，異なる方向の同一濃度のエッジをもつ画像に対して図 3(a) に示すように不均一な濃度輪郭となる結果を生じる．実際，同一濃度のパターン画像に対して左右，上下と斜め方向とではかなり数値が異なることがわかった．これでは閾値処理を行うとき不都合を生じる場合もありうる．図 3(b) は合成ラプラシアンオペレータによる抽出エッジである．図 3(a) に比較してほぼ均等な濃度になっていることがわかる．この合成ラプラシアンオペレータは， 3×3 マトリクス 2 階差分演算子の中で最も無方向性を示すことがわかっている¹³⁾．ソーベルオペレータは前述のようにエッジの角度依存形オペレータである．図 3(c) がソーベルオペレータによる結果であり，ややラプラシアンに比較して線が太るなどの欠点が目立ち，本研究では不適である．これらの結果から，ここでは合成ラプラシアン L_c を使用する．なお，ここではこれらオペレータを演算した正負値のうち，負値を採用し 2 値化している．

4.2 ブロック化

目，鼻，口等の局所対称性を検出するためのブロック化を行う．中心ブロックの位置を決定するため，鼻の穴の基本パターンを多くの画像の平均値から決定し，パターンマッチングより鼻のブロック位置を決定する．鼻の穴のパターンを利用するのは，鼻の部分が目や口等の部分より表情による変化が少ないからである．

図 4 に鼻の穴部の基本パターン画像を示す．基本パターンは，50 枚の入力画像からその平均値として得た鼻の穴部のパターンである．これは 2 値輪郭画像の鼻部を人の手により切り出し，重心および主軸をすべて一致させて平均化した後， 16×32 画素を取り出したものである．顔の入力画像は本研究の場合，ほぼ画面一杯に撮影することを前提としているので，鼻の部分の大体の位置は見当づけられ，鼻部位置決定のためのパターンマッチングを行う画素の位置は，これらのエリアを中心に上下に多少の余裕をとれば充分である．もちろん人によって鼻の形や両穴の距離が異なるが，若干のずれがあってもマッチングエリアに基本パターンと似たパターンは存在しないので，検出は容易である．本研究の場合，画像サイズ 256×256 で 8 bit (256 濃淡階調) をもったモノクローム画像を対象入力画像としている．この画像の輪郭線 2 値化画像に対して，パターンマッチングエリアは上から 151～220 行，左から 76～175

図 4 鼻の穴部の基本パターン画像
Basic pattern of nose part.

列の70×100の長方形区間だけで充分である。基本パターン画像は16×32であり、相互相関法により位置決定を行う。これにより基本パターンを作った顔画像以外の100例以上のうち、すべての例において鼻の位置が検出された。目、口はこの鼻の位置から経験的に見当づけたものを使用する。すなわち、目は鼻腔部の35画素上から上方向に50画素区間をとり、口部は鼻腔部の10画素下から50画素区間をとる。これらのブロックは、処理結果の輪郭線画に灰色線で同時に表示されている(図5(c))。もちろん、これらは画像サイズが256×256のときの値であるから、サイズが変わればこの割合としてとればよい。また、子供のような小さな顔に対しては、顔を画面一杯になるように撮影すれば問題は生じない。しかし、それでもなお各位置に大きな「はずれ」が生じていれば、そのときのみ手動でブロック化を再度行う。なお、毛髪はヘアスタイルにより目的とする対称度を妨害することがあるので、眼部のブロックから口部ブロックまでを対象とし、毛髪部や衣服部は濃度を0として取り除いている。現在まで100枚以上の入力顔画像に対して、すべて完全にブロック化は行われている。なお、このときの顔画像入力データ(256階調)の平均値は76で、分散は21であった。同種の顔画像ばかりであるから、分散はこの程度の小さな値となったものと思われる。

4.3 影の消去

対称性解析にとってしばしば障害となるのが影の存在である。本研究では入力顔画像は、正面向き無影撮影されたものを対象としているが、例えば既存の写真をフィルムスキャナなどでコンピュータに取り込み顔の解析を行う等の場合には、太陽光等による鼻部の影のある写真の解析を行う必要があることも考えられる。薄い影の場合は、2値化時にその自動消去が可能であるが、そうでない場合は対称度解析の誤差の原因となる。また、ホクロを対称度計算から外したい場合も起こってくる。man-machine手法(人とコンピュータの共同作業)を利用すれば、マウスカーソルによりごく簡単に影の影響を取り除くことができる。しかし、この方法ではコンピュータのみによる計算と異なり、処理が中断するため処理時間的に大きなマイナス要因を持つことになる。したがって、ここでは次のように自動的に影の影響を取り除くアルゴリズムを構成している。

〈手順〉

- ① 原画像(2値化されていない)に対して、鼻部を含む32×32画素のブロックを対称軸中心に左右両方にとる。このうち左側のブロックをLB、右側のブロックをRBと呼ぶことにする。
- ② LBとRBの平均濃度を求め、もしそれらの差が5以上(256階調において)ならば、平均濃度が暗い方のブロックには影が含まれていると判断する。
- ③ 輪郭線2値化画像に対して、32×32ブロックをLB、RBと同位置にとる。
- ④ 抽出された輪郭線部の個数(黒の画素数)を上記2つ

のブロックについてカウントする。

- ⑤ 両ブロックのカウントされた個数の比が1:2以上ならば影があると判断して、左右ブロックの対応する画素から影を消去していく。ただしこの場合、ホクロが原因のときも考えられるから、必要なときのみ次式に示す円形率によりホクロの消去を防いでいる。顔形状のみの対称性ならば、むしろホクロは消去した方がよい場合も多い。円形率は真円のときは1で、正方形ならば $\pi/8$ となる。ここでは円に近い楕円まで許容して、円形率1~0.6までの値をもつものをホクロとして消去を防ぐことにしている。もちろん、この操作は初期入力パラメータにより容易に外すことができ、ホクロを消去した後の対称度も計算できるようにしている。一般に小さなホクロに対しては何ら特別な処理を考慮することなく無視してよいが、大きなホクロの場合、ブロック毎の対称性に若干影響を与えることもあり、本研究ではホクロの消去の有無を選択できるようにしている。また、この消去操作は、関心領域の32×32ブロック外へも線分の連続性を追跡して行う。ただし、影が顔輪郭部まで延びている場合、顔輪郭線をも消去することがあるので、顔の対称軸を中心に左右の対称性をチェックしながら行う。

$$\text{円形率} = 2\pi S/l^2 \quad (S: \text{面積}, l: \text{周長}) \quad (13)$$

- ⑥ 両個数の比が1:2以下であるならば「影があると断定できない」として、隣接した別の32×32ブロックに関心領域を移し④、⑤を繰り返す。

影の輪郭線は通常連続しているから、以上の手順でほとんどの場合充分な結果を得ることができる。上記手順では影のできる部分を鼻部と限定しているが、これは眼部や口部の影はほぼ左右対称にでき易く、さらに鼻ほどの高さが低いことから、計算結果に大きな影響を与えないとの判断によるものである。手順⑤の比1:2は、多くのシミュレーション例(50枚以上の顔画像)からの経験上の値であり、この値を小さくし過ぎると必要な輪郭線まで消去してしまう恐れがある。図5(a)は影のある例で、図5(b)がそのままだの輪郭線2値化画像、図5(c)が本手法による影の消去画像である。ほぼ完全に影が消去されていることがわかる。ただし、ここで示した影の消去は必要なときのみ行えばよく、無影撮影された入力画像に対しては通常不要である。

4.4 対称度の決定

本研究での対称度は、顔の形状(皺等も含む)のみを対象としているので、影を消去した後の2値化された輪郭線画に対して計算される。対称度は主軸を中心に左右に折り返した輪郭線の重なり度として定義している。この重なり度の度合いは、水平方向の相関を計算することにより容易に得られる。ここでは、これら一連の計算は次のようにして高速化を図っている。

(左右対称折り返し像の構成)

図 5(a) 影のある原画
Original image with shades.

図 5(b) 図 5(a) の 2 値化
輪郭線
Bi-leveling edge lines of Fig.
5(a).

図 5(c) 図 5(b) の影線消
去およびブロック
ライン挿入
Removing shade line and
interesting block lines for
Fig. 5(b).

図 6 左右折り返し画像
Reflection image.

顔の対称軸中心に左右の一致度を測定するため、図 6 のように、中央軸から左右反転した画像を作る。この場合、水平方向の相関から一致度を計算するが、その相関の第 2 ピーク (第 1 ピークは原点) が明確に検出できるように、画像サイズの中央軸と顔の対称軸を意図的に 30 画素ほどずらしている。実際には左右折り返し画像を生成する必要はなく、計算処理を高速化するため次のように 1 次元 FFT を用いて結果を得ている。

〈手順〉

- (1) 顔の主軸を画面の中央軸から 30 画素だけ左にずらした画像の 1 行目から順に 1 次元フーリエ変換 (FFT 使用) を行う。
- (2) その実部だけの 2 乗を取り (虚部を捨て去り)、各行毎に 1 次元逆フーリエ変換を行う。これにより図 6 の各行毎の自己相関関数が得られる (手順 (1) で得られた結果の実部だけの 1 次元フーリエ逆変換 (Real part-only synthesis) は図 6 の 1 次元偶対称画像となっている。この画像の水平方向のみの自己相関関数を求めるためには、Wiener-Khinchine の定理から、この画像の水平方向における 1 次元フーリエ変換 (原画のフーリエ変換実部) の 2 乗を 1 次元フーリエ逆変換することにより求まる。したがっ

て、左右折り返し画像を実際に求めることなく相関値を計算できる)。

- (3) 手順 (2) の各行の第 1 列目が画像の各行のエネルギーを表す 1 次元自己相関の原点であり、第 1 ピークとなる。第 60 列目付近に出るピークが第 2 ピークとなり、左右の輪郭が重なったときである。ここで第 i 行、1 列目を $R_i(0)$ で、60 列目付近に出るピーク値を $R_i(60)$ と表す (対称性が非常に良い顔画像の場合には第 60 列に正確にピークが出るが、対称性がさほど良くない場合、ブロックによっては 1~2 画素ずれた点にピークが出ることがある)。
- (4) 対称度を計算する。対称度 S_d は次式で定義される。

$$S_d = \frac{\sum_{i \in R_e} R_i(60)}{\frac{1}{2} \sum_{i \in R_e} R_i(0)} \quad (14)$$

ここに $R_i(0)$ 、 $R_i(60)$ は手順 (3) で示されたものであり、 R_e は関係した領域の行番号の集合を表す。例えば、顔全体ならば毛髪部を除いた額からあごの先端までの行であり、眼部の対称度ならば眼部のみを取り込んだブロックの行の集合を表す。各ブロックの行は、4.2 節の方法でとられたものである。

以上で目的に応じた対称度が即座に計算できる。2 次元 FFT と異なり 1 次元 FFT のため計算も大幅に短縮され、顔全体でも局所部分でも同様の手順 (初期入力パラメータを選択するだけ) で計算できる特徴を有している。また相関の計算を直接折り返し画像から求めることもできるが、ワークステーション、サン・スパーク・クラシックで比較すると、顔全体の場合、本手法では 1.2 秒、直接相関法では 2.3 秒、目鼻口部はいずれも本手法で 0.4 秒、直接法で 0.8 秒の CPU 時間で約 1/2 の計算時間であった。

5. シミュレーション

図 5(a) は、影のあるシミュレーション例の原画像である。冗長さを避けるために顔にシールを貼ってもらってホ

図 7(a) 顔全体の相関関数
Autocorrelation of total face.

図 7(b) 眼部のみの相関関数
Autocorrelation of eyes part.

図 7(c) 鼻部のみの相関関数
Autocorrelation of nose part.

図 7(d) 口部のみの相関関数
Autocorrelation of mouth part.

図 7(e) 顔全体の直接法による相関関数
Direct autocorrelation of full face.

クロがわりとし、ホクロを除去せずに影の除去が可能なことを示すための例題としている。画像サイズは、 $156 \times 256 \times 8$ bit (256 濃淡階調) である。図 5(b) はブロック分割し、主軸検出、回転した後合成ラプラシアンオペレータ L_c によるエッジ線抽出を行った画像である。しかし、鼻の斜め下に影の影響が出ており、これを前記した手法で消去したのが図 5(c) である。ほぼ完全に影が消されていることがわかる。同図に分割されたブロックの領域も表示しており、この例からも目、鼻、口が完全に分割されていることがわかる。図 6 は、顔の主軸を中央から 30 画素だけ移動させ、行方向の 1 次元フーリエ変換を行った後、その実部の逆変換 (real part-only synthesis) から得られた画像である。実際にはこの画像を求める必要はなく、1 次元フーリエ変換実部の 2 乗からの逆変換で直接行方向相関を求めるとよい。図 7(a) ~ (d) は、こうして得られた相関値をプロットしたものである。図 7(a) は顔全体に対するもので、図 7(b), (c), (d) はそれぞれ眼部、鼻部、口部の局所的相関である。いずれも左端 (原点) から 60 画素目付近に第 2 ピークが出ており、対称度はそれぞれ全体 70.0% (70.1%)、眼 60.5% (60.4%)、鼻 50.5% (50.4%) (ホクロを除去したときは 51.9% (52.1%))、口 72.7% (72.6%) となっている。( ) 内は直接相関値を求める方法で計算した値で、計算誤差の範囲の違いしかないのである。これらは本質的には同じ計算を行っているものであ

るから当然の結果と思われるが、フーリエ変換を利用した本手法は周期的相関になり、直接法では周期的とはならない。図 7(e) に比較のために直接法による相関値を示す。第 2 ピークを過ぎたあたりまで顔左右の余白のため、ほぼ同じ形であるが、相関計算によるノンオーバーラッピングエリアのため、最終的には徐々に零に近づいていく。鼻の対称度が低いのは、意図的に太陽光下で影をつけリングフラッシュを使用しなかったため、鼻部左側の形状が抽出できなかったことによるものである。通常はリングフラッシュを付けての無影撮影のため、図 3(b) のように、ほぼ左右対称に抽出でき、70% 前後となることが多い。実際、図 3(b) の画像では鼻部対称度は 71.3% であった。しかし、図 5(a) のような悪条件下でも、鼻部ブロックはエッジ線が少ないため顔全体に対する対称度への影響は小さい。

このような影のある画像の対称度計算を行うことは比較的まれであり、例えばすでに撮影された写真をスキャナによりコンピュータで読込んだときなどに起こってくる問題である。本手法は、このような状況をも考慮して影の消去を行ったもので、無影撮影装置によってコンピュータに取り込まれた画像に対しては影の消去処理は不要である。図 8(a)、図 9(a) は代表的な無影撮影の例であり、同 (b) 図はそれぞれのブロック分割 2 値線画となっている。対称度は全体 (図 8 : 73.0%, 図 9 : 66.1%)、目 (図 8 : 82.2%, 図 9 : 59.2%) 鼻 (図 8 : 64.8%, 図 9 : 76.3%) と

図 8(a) 影のない代表例 1
Typical example 1 without
shades.

図 8(b) 図 8(a) のブロック
輪郭線画
Block edge line image of Fig. 8
(a).

図 9(a) 影のない代表例 2
Typical example 2 without
shades.

図 9(b) 図 9(a) のブロック
輪郭線
Block edge line image of Fig. 9
(a).

なっている。処理時間は全体の対称度のとき、2 値化回転、ブロック決定等の前処理に 0.5 秒、対称度計算に 1.2 秒であり、全処理時間は 1.7 秒であった。このような対称度解析は、影のある場合が 50 例以上、影のない場合は 200 例以上行っており、ほぼ満足できる結果を得ている。

6. む す び

顔の特徴量のひとつである対称度を高速に検出する方法を提案した。本研究では、影のある写真の場合でも自動的に影の消去を行い、対称度を測定でき、ホクロやシミ等も必要に応じて影と同様消去できるので、顔形状のみの対称度を評価するときなどには有効な手法のひとつとなっている。また、顔全体はもちろん、目、鼻、口の局所対称度も同時に与えられる。計算の高速化のために 1 次元フーリエ

変換の Real part-only synthesis を利用し、直接相関値を求めることも本方法の特徴である。本アルゴリズムはワークステーションはもちろん、パーソナルコンピュータでも容易に実行でき、CPU タイムもおおよそ 1 秒程度である。今後の問題点としては、顔が正面を向いていない場合、逆回転させ正面を向ける必要があるが、こうしたときの仮想回転があげられる。これについては現在考察中である。このような一連の研究は、人物同定問題に今後重要な役割を演ずることとなるであろう。

〔文 献〕

- 1) 鈴木香織, 斉藤英雄, 小沢慎治: “濃淡情報を用いた顔の向き の推定”, 電学論, **117-c**, 10, pp. 1377-1383 (Oct. 1997)
- 2) 塚本明利, 李七雨, 辻三郎: “複数のモデル画像による顔の動き推定”, 信学論, **J77-D-II**, 8, pp. 1582-1590 (Aug. 1994)
- 3) 松野勝弘, 李七雨, 辻三郎: “ポテンシャルネットと KL 展開を用いた顔表情の認識”, 信学論, **J77-D-II**, 8, pp. 1591-1600 (Aug. 1994)
- 4) 宗欣光, 李七雨, 徐剛, 辻三郎: “部分特徴テンプレートとグローバル制約による顔器官特徴の抽出”, 信学論, **J77-D-II**, 8, pp. 1601-1609 (Aug. 1994)
- 5) 松田稔樹, 渡利千春, 山田寛, 坂元昂: “表情判定を行うための特徴点抽出自動化の試み”, 日本教育工学雑誌, **15**, 1, pp. 35-46 (1991)
- 6) Makoto Kosugi: “Human-Face Recognition Using Mosaic Pattern and Neural Networks”, Trans. on IEICE, **J76-D-II**, 6, pp. 1132-1139 (June 1993)
- 7) Turk M. and Pentland A.: “Face Recognition using Eigenfaces”, Proc. CVPR' 91 (June 1991)
- 8) Sirovich L. and Kirby M.: “Low-dimensional Procedure for the Characterization of Human Faces”, J. Opt. Soc. Am., **A4**, 3, pp. 519-524 (Mar. 1987)
- 9) H. Zabrodsky, S. Peleg, and D. Avnir: “Hierarchical Symmetry”, Proc. 11 th ICPR, III, pp. 9-12 (1992)
- 10) Reisfeld D. and Yeshurun Y.: “Robust Detection of Facial Features by Generalized Symmetry”, Proc. 11 th ICPR, III, pp. 117-120 (1992)
- 11) R. J. Baron: “Mechanisms of Human Facial Recognition”, International Journal of Man-Machine Studies, **15**, pp. 137-178 (1981)
- 12) 中正夫: “ファジィ画像処理手法とその宇宙画像への応用”, 科技庁振興調整費ファジィ・シンポジウム講演予稿集 (1991)
- 13) Behzad K. Parsi, Behrooz K. Parsi and A. Rosenfeld: “Optimally Laplacian Operator”, IEEE Trans. on IP (to be published)
- 14) A. Rosenfeld and A.C. Kak: “Digital Picture Processing”, Academic Press, chapt. 8, pp. 285-305 (1976)

こんどう ひろし
近藤 浩 1973 年, 福岡大学工学部電子工学科卒業。1975 年, 九工大大学院修士課程修了。同年, 同大助手。1988 年, 九工大講師。1991 年, 同大助教授。この間, 画像処理, 特に復元, 符号化, エンハンスメントの研究に従事。工学博士。正会員。

いしざか だい
石坂 大 1996 年, 九州工業大学工学部卒業。1998 年, 同大学大学院修了。同年, 凸版印刷株式会社入社。在学中はデジタル画像処理, 特に顔の対称性解析の研究に従事。