

ガボールウェーブレットを用いた 人物顔の検出と向きへの推定

ギッジャー・シームアン[†] 岩切 宗利 中村 康弘

防衛大学校情報工学科

〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

E-mail: † g42035@nda.ac.jp

あらまし ガボール特徴量を利用して自然画像中に含まれる人物顔の検出を行うとともに、その向きを推定する手法を提案し、いくつかの画像に適用した結果からその有効性を示す。まず、人物顔を様々な方向から撮影したモデル画像を用意し、各方向ごとのガボール特徴量の平均値を求める。対象画像のガボール特徴量を各方向の特徴量と比較することにより顔の向きを推定する。多くの自然画像に対する実験結果から、本手法の有効性を示す。

キーワード 顔画像検出, ガボール特徴量, モデル画像, マッチング法

Detection of a Person Face and Head Pose Estimation using the Gabor wavelet

Kijja Srimuang[†], Munetoshi IWAKIRI and Yasuhiro NAKAMURA

Dept. of Computer Science, National Defense Academy

1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka-shi, Kanagawa,

239-8686 Japan

E-mail: † g42035@nda.ac.jp

Abstract This paper proposes a method for person face detection and presumes head pose by using Gabor wavelet. Some model pictures are prepared by each direction in setting environment. The amount of the Gabor features is extracted to model pictures. The average picture of each direction is generated for the picture of the extracted result. Finally, object picture which carried out Gabor conversion and average picture is matching. The proposed method enables to detect person face and to estimate the head pose. Some Experimental results indicate the validity of this method.

Keyword Face detection, Amount of the Gabor features, Model picture, Matching method

1. はじめに

自然画像中の人物領域の自動検出は、マシンビジョン分野の重要なテーマのひとつであり、古くから様々な研究が行われてきた。中でも人物の顔位置の検出はマンマシンインターフェースに必要不可欠な技術であるにも関わらず、その手法が十分に確立されていない現状にある。これは、一般に照明や表情などの自由度が検出精度に与える影響が大きいため、環境条件に依存しないロバストな検出結果を得ることが難しいためである。しかしながら近年、顔の濃淡特徴を利用することにより、安定した検出を行うことができる方法として、ガボール変換を用いた手法が注目されている。これは顔画像の濃淡パターンに類似した基底関数を用いることにより、人物顔に特化した位置検出を容易かつ精度よく実行できる手法であり、画像内の顔位置の検出に関する研究[1-2]、個人識別に関する研究[3]など、近年、多くの関連研究が行われている[4-5]。

ガボール変換を用いた顔位置検出法では、人物顔の見た目の濃淡特徴分布を画像全体から類似検索する。このため、顔が多少傾いていても、ほぼ正面を向いていれば、その傾き方向に依存せずに画像内の位置を検出することができる。反面、顔の向きすなわち傾きの方向に関する情報を得たい場合は、検出された顔位置付近について別途、詳細な特徴抽出処理などを行う必要があった。しかしながら、傾きを伴う顔画像に対しても正面顔画像と同様に、ある程度の特徴的な濃度パターン分布を仮定することができる。このため、傾きに応じた基底関数とガボール特徴量をあらかじめ用意することにより、顔位置の検出とともに、その傾きを検出することが可能と考えられる。

そこで本研究では、自然画像中の人物顔の位置とその向きを同時に検出することを目的として、顔の向きに応じた独自の基底関数によるガボールウェーブレット変換を用いる手法を提案する。基底関数となるモデル画像の生成法、および対象画像から顔の位置と向きを検出する具体的な手順を示す。その後、人物顔を含む多くの自然画像に本手法を適用した結果を用いて検出精度について検証する。とくに単純なパターンマッチング法との比較検討を行い、本手法の有効性を示す。

2. ガボールウェーブレットと顔検出

2.1. ガボールウェーブレット

ガボール変換はガウス関数を窓関数として用いる短時間フーリエ変換であり、式(1)で定義され

る[6]。すなわち、入力画像の座標 (x, y) における輝度値を $f(x, y)$ とすると、ガボール変換 $GW(x, y)$ は、

$$GW(x, y) = \int f(x-i, y-j)g(i, j)didj \quad (1)$$

と定義される。ここでガボール関数 g は、短時間フーリエ変換における窓関数であり、正弦波とガウス関数の積として、

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) e^{-i(u_\theta x + v_\theta y)} \quad (2)$$

$$u_\theta = u_0 \cos \theta + v_0 \sin \theta$$

$$v_\theta = -u_0 \sin \theta + v_0 \cos \theta$$

で定義される。このとき、 u, v は空間周波数、 σ は窓関数の幅をあらわすパラメータ、 θ は回転角度である。ガボール関数の概形を図1に示す。

2.2. 人物顔の検出

自然画像中の人物顔の位置を検出するには、対象画像をガボール変換した結果から得られるガボール特徴量を正規化し、事前にモデル画像から取得した特長量とのマッチングを行う方法がすでに提案されている。ここでは複数の人物顔を事前に撮影し、正規化後にガボール特徴量を求める処理を複数の人物顔に対して行い、その平均画像を求めて基準画像とした。

2.3. 顔の向きの検出

顔の向きの検出に関する従来手法は、検出精度の面から顔の幾何学的特徴を利用したものが多く、このため既定の特徴部位が画像内に含まれている必要があった。このため、上下左右の傾きが ± 45 度程度までが検出限界とされていた[6]。

本研究ではさらに、左右 ± 90 度までの傾きを持ったモデル画像からガボール特徴量を取得し、複数の人物顔画像の平均を求め、対象画像の特徴量とのマッチングを行って顔の向きを推定する。

3. 提案手法

3.1. 処理の流れ

提案手法のおおまかな処理の流れを図2に示す。対象画像の顔検出および顔の向きの推定を行う前に、モデル画像からガボール特徴量を抽出する必要がある。まず、M人の人物の顔を上下左右に傾けたN通りの方向から撮影し、得られた画像の

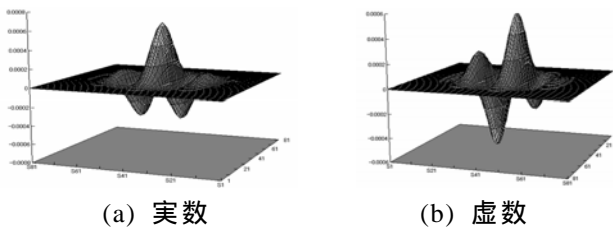


図 1：ガボール関数の概形

輝度を正規化する．輝度の正規化は，画像の階調数を L ，画像中の各画素値を $f(x, y)$ ，顔領域内の最大輝度値を l_{\max} ，最小輝度値を l_{\min} とすると，顔領域全体について，

$$f'(x, y) = \frac{L}{l_{\max} - l_{\min}} \times f(x, y) \quad (3)$$

と変換する．すなわち各輝度値を全階調数の大きさに正規化する．さらに顔領域の中心を合わせて大きさを正規化したものを各方向における原画像とする．次にこの原画像からガボール特徴量を算出し， N 種類の顔の傾き方向ごとにその平均画像を求める．

対象画像から顔の向きを検出する際は，対象画像のガボール特徴量を求め，上で準備した各方向の平均画像とのマッチングを行う．

3.2. 窓幅の決定方法

対象画像中の顔領域の大きさに対し，ガウス関数の窓幅を適切に決定する必要がある．ここでは，顔の向きごとに，窓幅を順次変化させながらガボール変換を行い，変換後のガボール特徴量を比較して，とくに目・鼻・口の部分に最も大きな特徴量が現れる窓幅を求める．

3.3. 特徴量のマッチング方法

対象画像から得られたガボール特徴量を各方向成分の特徴量と比較するために，SSDA 法 (sequential similarity detection algorithm) [8]を用

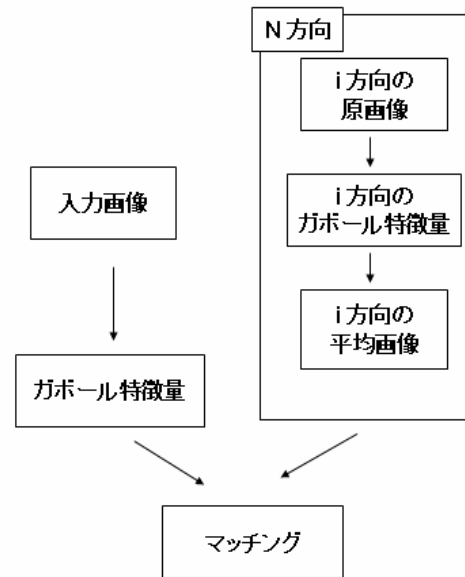


図 2：処理の流れ

いる．SSDA 法は，対象画像 $f(x, y)$ とモデル画像 $t(m, n)$ の各画素に対し，以下の一致度を求める．

$$s(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |f(m+x-1, n+y-1) - t(m, n)| \quad (4)$$

この一致度が最大となる方向を，顔の向きの推定結果とする．

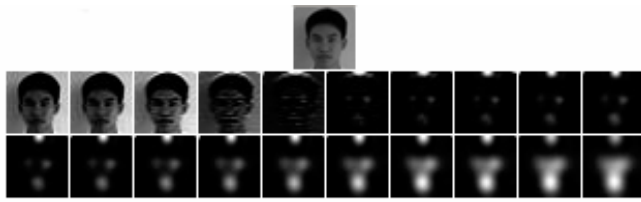
4. 実験結果

4.1. ガウス関数の窓幅の決定

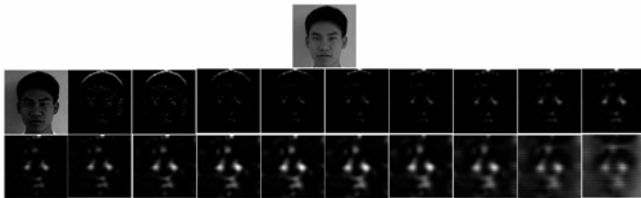
まず，実験に用いた対象画像のサイズに適合させるための適切な窓関数の幅を求めた．この実験で用いた顔画像の大きさは，縦横 30×30 および 300×300 画素である．それぞれの画像に対し，ガウス関数の窓幅を順次変化させ，ガボール特徴量を求めた結果を図 3 に示す．図 3 (a) は 30×30 画素の画像に対し， $\sigma = 0.2 \sim 4.0$ (0.2 間隔) と変化させた結果，図 3 (b) は 300×300 画素の画像に対し， $\sigma = 0.1 \sim 20.0$ (1.0 間隔) と変化させた結果である． 30×30 画素の画像の場合は窓幅 $\sigma = 0.9 \sim 3.0$ の範囲で特徴点が明瞭である． 300×300 画素の画像の場合は窓幅 $\sigma = 6.0 \sim 15.0$ の範囲で特徴点が明瞭である．この結果から，ガウス関数の窓幅として， $\sigma = 1.0 \sim 10.0$ を採用した．

4.2. モデル画像の取得

各顔向きごとのガボール特徴量を求めるために，20人の人物顔について，図 4 の 15 方向の画像を撮影した．



(a) 30×30 画素のガボール特徴量



(b) 300×300 画素のガボール特徴量

図 3 : ガウスの窓幅による特徴量の変化

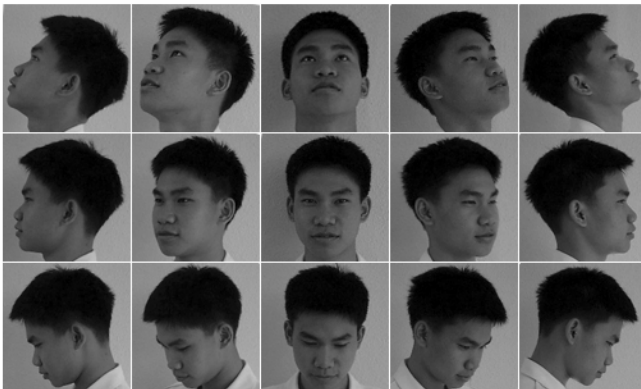


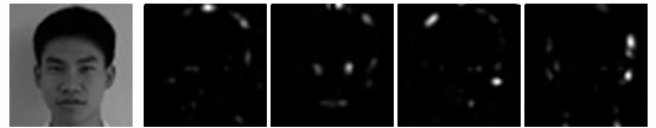
図 4 : 撮影画像

撮影の際は、顔以外の写り込みを避けるため、十分明るい室内で白い壁を背景にして撮影した。照明は室内灯および昼間の太陽光である。15種類の顔の向きは、上下方向0度および±45度の3方向につき、左右方向0度、±45度、±90度の5通りを用いた。

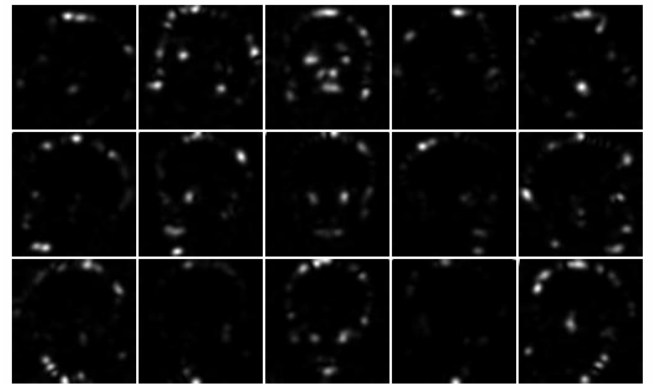
4.3. ガボール特徴量の算出

図4のような撮影画像20枚に対して、先に求めた窓幅を用いて式(1)のガボール変換を行い、その特徴量を求めた。一例を図5に示す。

図5(a)は正面顔画像1枚のみに対する4方向のガボール特徴量である。図5(b)は図4の15方向の顔画像から求めたガボール特徴量である。正面画像からの傾きが大きくなるほどに顔部位の特徴量が減少することがわかる。



(a) 4方向のガボール変換



(b) 15方向の顔 $\theta = 90^\circ$

図 5 : ガボール特徴量の一例

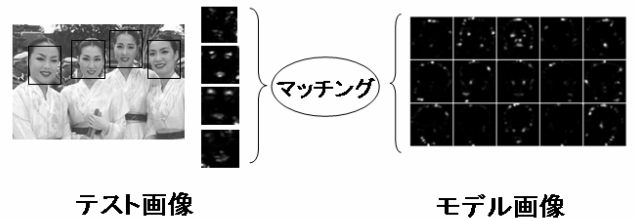


図 6 : マッチングの処理

4.4. マッチング処理の検証

図6に示すテスト画像を用いて、顔の向きの推定を行った結果を表1に示す。テスト画像のガボール特徴量を、モデル画像の θ 方向のガボール特徴量をSSDA法により一致度を調べた。

以上の実験により、人物顔の検出とその向きの推定が可能なガボール特徴量が得られたことを確認した。

4.5. 自然画像による検証

最後に、様々な自然画像に含まれる人物顔に対する効果を検証するため、複数の自然画像を連結した対象画像を作成し、顔領域の検出および顔の向きの推定を行った。対象画像の一例を図7に示す。まず、画像に含まれる人物顔の数とその向きを目視により計測した(表2)。

表 1 : マッチング処理の検証結果

	$\theta=0$	$\theta=45$	$\theta=90$	$\theta=135$
-90(上)	72.52%	50.26%	15.28%	49.89%
-45(上)	80.22%	42.56%	41.62%	44.56%
0(上)	89.75%	60.37%	75.63%	48.23%
+45(上)	75.13%	43.89%	55.41%	37.33%
+90(上)	64.43%	39.23%	18.73%	45.48%
-90(中)	55.76%	41.28%	30.82%	45.64%
-45(上)	89.51%	48.67%	32.55%	54.33%
0(上)	92.74%	70.50%	81.33%	66.93%
+45(上)	91.55%	54.21%	42.19%	48.11%
+90(上)	86.12%	46.67%	12.46%	43.63%
-90(上)	76.89%	34.23%	20.12%	37.44%
-45(上)	89.67%	43.51%	51.32%	45.66%
0(上)	87.56%	50.66%	72.14%	46.12%
+45(上)	79.33%	50.22%	61.04%	39.87%
+90(上)	77.41%	36.29%	25.33%	37.77%



図 7 : 対象画像の一例

表 2 : 対象画像に含まれる顔の数と向き

	横の方向				
	- 90	- 45	0	+ 45	+ 90
上向き	40	45	55	46	40
平面	46	56	62	70	52
下向き	42	50	56	52	47

Lab 1.

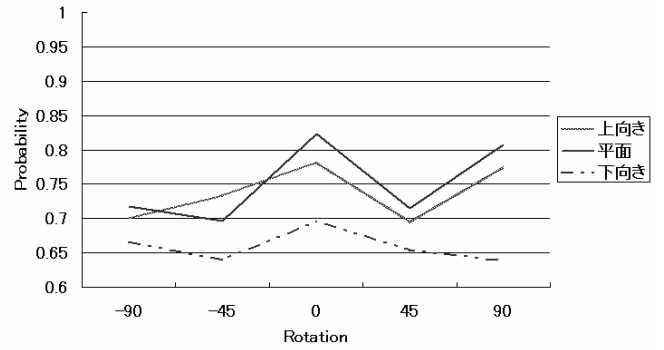


図 7 : 直接パターンマッチング

Lab 2.

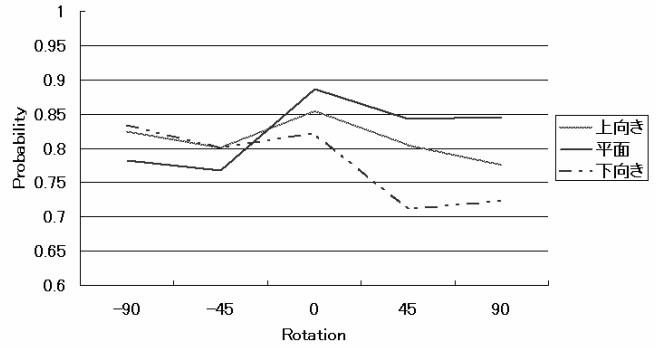


図 8 : エッジ抽出後パターンマッチング

Lab 3.

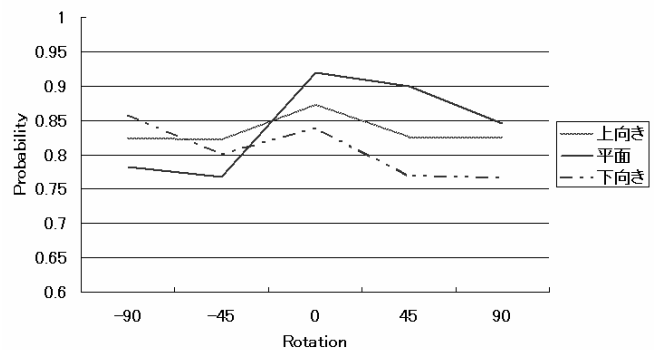


図 9 : 本手法

5. 比較検討

本手法有効性を検証するため、同一のモデル画像および対象画像について、以下の3通りの方向推定を行って結果を比較した。

方法1：全モデル画像の平均画像を求め、これをテンプレートとして対象画像と直接パターンマッチングを行う方法

方法2：モデル画像と対象画像をそれぞれエッジ検出処理してからパターンマッチングを行う方法

方法3：本提案手法

方法1による結果を図7に示す。0度と+90度の向きにおける検出率が80%以上となったが、その以外の方向では80%に満たなかった。とくに左右斜め方向の検出率が低い。この原因としては、斜め方向の顔パターンが背景の一部とご認識される場合がある点があげられる。また、画像の輝度値をそのまま用いているため、顔部分のハイライトなどが大きく影響してしまうという問題もある。また、上下方向ではとくに下の向きの推定結果が著しく低い結果となった。

方法2による結果を図8に示す。方法1よりも推定精度が向上し、6割以上の検出率が80%以上となった。エッジ抽出を行うため、輝度の絶対値に依存せず、形状特徴が強く反映されたマッチングが行われたことがわかる。しかしながら、輝度値の分布状態を反映せず、エッジ形状のみに依存しているため、依然としてある程度の推定誤りが生起している。

本稿の提案手法である方法3の結果を図9に示す。ほぼすべての顔の向きに対して、前の2つの方法よりも高い精度を得ることができている。推定誤りについては、自然画像中の人物顔の濃淡分布がモデル画像の分布と大きく異なる場合があることなどが考えられる。

6. まとめ

本報告では、自然画像中の人物顔の位置とその向きを同時に検出することを目的として、モデル画像から顔の向きに依存したガボール特徴量を事前に作成し、対象画像から得られたガボール特徴量とのマッチングを行う手法を提案した。モデル画像および対象画像から顔の向きに応じたガボール特徴量を求める手順および得られたガボール特徴量を比較して顔の向きを推定する手順を示した。実験に使用した画像の大きさから、顔特徴を検出し得るガウス関数の窓幅を決定した。その結果、顔全体のサイズが 30×30 から 300×300 の場合、 $\sigma = 3.0 \sim 10.0$ の範囲が適切であることが

わかった。

その後、20人・15方向のモデル画像を使って、対象画像中の顔の向きの検出結果を示した。最後に、輝度情報を直接マッチングする方法およびエッジ検出処理を行ってからマッチングする方法の2通りと本手法との比較を行った。この結果、本手法は7割以上の顔の向きの検出率が80%以上となり、高い精度が得られることを確認した。

文 献

- [1] 栗田多喜夫, 田中勝, 堀田一弘, 島井博行, 三島健稔, “顔の位置に関する事前確率の適応的な推定とIsing検索を用いたニューズ映像からの顔検出の高速化”, 信学技術, Vol.100, No.312, PRMU200-81, pp.43-50, 2000.
- [2] 栗田多喜夫, 堀田一弘, 三島健稔, “Cross Validationを用いた顔検出のための特徴点の選択”, 信学技術, Vol.100, No.312, PRMU2000-82, pp.51-58, 2000.
- [3] 吉田幸生, 呉海元, 塩山忠義, “特徴点自動検出を用いたガボール変換による顔識別”, 信学技術, Vol.101, No.568, PRMU 2001-202, pp.63-68, 2002.
- [4] 徐明, 長谷川修, 栗田多喜夫, 赤穂昭太郎, 坂上勝彦, “学習による不特定環境下の顔の追跡と向きの推定”, 信学技術, Vol.100, No.442, PRMU2000-100, pp.1-6, 2000.
- [5] 渡辺彰裕, 斎藤英雄, “固有空間法を用いた濃淡画像からの顔の向きの推定法”, 信学技術, Vol.97, No.204, PRMU97-56, 1997.
- [6] 山田貢己, 中島朗子, 福井和広, “因子分解法と部分空間法による顔向き推定”, 信学技術, Vol.101, No.568, PRMU2001-194, 2001.
- [7] 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫, “ウェーブレットによる信号処理と画像処理”, 共立出版, 1999.
- [8] 田村秀行, “コンピュータ画像処理入門”, 総研出版, 1985.