

画像処理による似顔絵作成に関する研究

谷口真也*・坂本真人†

Study of Facial Caricaturing by Picture Processing

Shinya TANIGUCHI* and Makoto SAKAMOTO†

ABSTRACT

Recently, facial caricature has a potential for expansion, because of realizing a new media of man-machine interface, modeling facial impression, and so on. In this paper, we investigate about the facial caricature drawing algorithm. Especially, in the case of segmentation of pictures, special attention is given to the problem of automatically selecting appropriate threshold by approximation of each gray level histogram, and to the edge detection. The experimental results will show the novelty of our algorithm which is friendly adapted to the user.

Key Words : facial caricature, picture processing, segmentation, binary image, threshold, edge detection

1 はじめに

人間は顔から性別、年齢、人種、感情などのさまざまな個人情報を得ることができる。人間同士のコミュニケーションにおいて、言語的な伝達手段と非言語的な伝達手段が併用されているが、非言語的な伝達手段の中でも顔は非常に大切な役割を果たしている。このことより、顔はさまざまな方向から研究が行われている。その中でも、似顔絵の研究が盛んである。例えば、顔画像から顔部品の位置検出を行い、顔のスケッチ画像を抽出する手法についての研究 [1]、顔画像の濃度を線密度に対応させた線画による似顔絵を作成する手法についての研究 [2]、平均顔を用いた顔画像表現の研究 [3] などがある。似顔絵はテレビや新聞・雑誌などのマスコミ分野や、犯罪捜査などの分野での利用が考えられている。将来的には、メールやテレビ電話での情報伝達の場でもその効果を活かせるに違いない。

ところで、さまざまな顔画像の線描画に関する研究が行われてきているが、ほとんどが2値化を行って表現している。画像の特徴を解析するためには、画像から対象を切り出し、対象と背景を分離するために2値化処理を用いることが多い。この2値化をする際に問題となるのが閾値の決め方である。そして、どの方法も閾値を決める場合にその画像の濃度値ヒストグラムを用いている。ところが、濃度値ヒストグラムの分布は一般に不規則であり、閾値を決定しにくい要因になっている。そこで本研究では、最小2乗法を導入し

て濃度値ヒストグラムの分布を多項式で近似することにより、2値化の際の閾値をよりスムーズに決定できる手法を考えた。

2 原理

2.1 エッジ抽出

画像に含まれる輪郭線部、濃度が急激に変化するエッジ部分や、高周波数成分の強調は微分フィルタにより得られる。中でも、2次微分操作に相当する空間フィルタとしてはラプラシアンと呼ばれる方法がある。一般にラプラシアンでは、正のピークと負のピークが対になって現れ、正負両ピークの中央でラプラシアンが0となる場所（ゼロ交差）を探し出すと、このゼロ交差が勾配の極大値となりエッジの位置となる。しかし、画像に雑音が混入すると、雑音付近の画素はゼロ交差点となってしまふ。この問題を解決する方法としては、ラプラシアンとともに勾配を計算しておき、勾配の大きさが閾値以上であるゼロ交差点をエッジ点として抽出する手法がある [4]。このような処理を施した画像例を Fig. 1 から Fig. 4 に示す。

2.2 判別分析法

画像の濃度値ヒストグラムにおける濃度値の分布を閾値 t で2つのクラス (t 以上と t 未満) に分割したとき、2つのクラスが最もよく分離するようにパラメータ t を決める方法が、判別分析による閾値選択法である [4]。分離性の尺度としては、2つのクラスの平均値の分散 (クラス間分散) と各クラスの分散 (クラス内分散) の比 (判別比) が用いられ、この判別比が最

* 情報工学専攻大学院生

† 情報システム工学科助教授

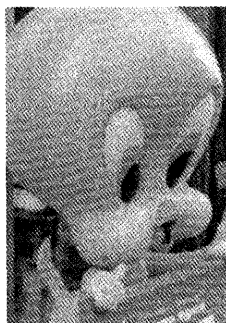


Fig. 1 サンプル画像



Fig. 2 ラプラシアンフィルタ

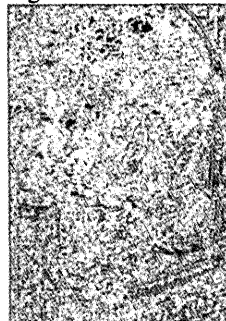


Fig. 3 ゼロ交差点



Fig. 4 勾配を考慮したゼロ交差点

大になるように閾値 t が選択される。 t の求め方を以下に示す。

まず、与えられた画像が L レベルの濃度値 ($1, 2, \dots, L$) をもつものとする。ここで、閾値を t として、 t 以上の濃度値をもつ画素と、それより小さな値をもつ画素の2つのクラスに分け、クラス1及びクラス2とする。クラス i ($i=1, 2$) の画素数を w_i 、平均濃度値を M_i 、分散を σ_i^2 とおき、全画素の平均濃度値を M_T とおくと、クラス内分散は

$$\sigma_W^2 = \frac{w_1\sigma_1^2 + w_2\sigma_2^2}{w_1 + w_2} \quad (1)$$

で与えられ、クラス間分散は

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \frac{w_1(M_1 - M_T)^2 + w_2(M_2 - M_T)^2}{w_1 + w_2} \\ &= \frac{w_1w_2(M_1 - M_2)^2}{(w_1 + w_2)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

で与えられる。さらに、全画素の濃度値の分散を σ_T^2 とすると、次の関係

$$\sigma_T^2 = \sigma_W^2 + \sigma_B^2 \quad (3)$$

が成り立つので、判別比は

$$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2} = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2 - \sigma_B^2} \quad (4)$$

となる。全分散 σ_T^2 は閾値とは無関係な定数となるので、判別比を最大にするには σ_B^2 を最大にすればよいことがわかる。すなわち、 t を変化させて σ_B^2 を最大にする t の値を求めればよい。

ただしこの方法は、ヒストグラムに明確な谷がない場合にも閾値が選択できるので広く利用されているが、対象と背景の面積が大きく異なる場合には、得られる閾値が視覚的に判断できる閾値からずれることがある。

2.3 最小2乗法

最小2乗法は、多項式によるあてはめを行うとき「もっともらしさ」の規準としてデータと多項式の値との差(残差(residual))の2乗和を最小にするという手法である[5]。

本研究では以下の多項式を採用する。

$$P(x) = a_0 + a_{-1}x^{-1} \quad (5)$$

このとき残差は

$$e_i = f_i - P(x_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

であり、その2乗和は

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (f_i - P(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (f_i - a_0 - a_{-1}x_i^{-1})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

である。これを係数 a_j , $j=0, 1$ で偏微分すると

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^n (-2(f_i - a_0 - a_{-1}x_i^{-1})1) \quad (8)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_{-1}} = \sum_{i=1}^n (-2(f_i - a_0 - a_{-1}x_i^{-1})x_i^{-1}) \quad (9)$$

を得る。これを0と置いて連立1次方程式

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^{-2} & \sum_{i=1}^n x_i^{-1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^{-1} & \sum_{i=1}^n 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{-1} \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n f_i x_i^{-1} \\ \sum_{i=1}^n f_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

を得る。この方程式は正規方程式(normal equation)と呼ばれる。

この最小2乗法は、関数 $f(x)$ の値が数値データとして飛び飛びの点 x_1, x_2, \dots, x_n で与えられる場合に有効な関数近似の手法である。

ここで、最小2乗法によってヒストグラムの近似曲線が決まったならば、その近似曲線を1次微分して、ある濃度値での接線を求める。この接線のことを傾きと呼ぶことにする (Fig. 5)。

本研究では、傾きを-0.44とした。

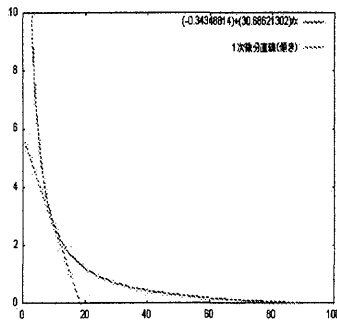


Fig. 5 ヒストグラムの近似曲線とその接線

3 実験

実験手順は以下の通りである。

1. 元画像にメディアンフィルタをかけて雑音除去する。
2. その画像の勾配を計算して、ヒストグラム表示(縦軸：生起確率[‡])する。
3. ヒストグラム曲線の近似(最小2乗法)を行い、閾値を決定する。
4. 一方で、比較のため判別分析法(ヒストグラムの縦軸は画素数)を行い、閾値を決定する。
5. 3で決定した閾値を用いて、2値エッジ抽出を行う。

最小2乗法を利用した近似曲線から得た閾値を計算してエッジの抽出を行った。用いた実験環境は Table.1 の通りである。比較のため、従来の閾値選択法である判別分析法による閾値の算出後にエッジ抽出を行った結果も載せた (Fig. 6~Fig. 8)。

| | |
|----------|--------------------------|
| 使用マシン | Sun Ultra60 |
| OS | Solaris 8 |
| 使用言語 | C |
| サンプル画像 | 350x286 グレースケール画像 (8bit) |
| 画像フォーマット | pgm 形式 |
| 傾き | -0.44 |

Table.1 実験環境

4 考察

実験結果を見ての通り、判別分析法を使うよりも最小2乗法によって求めた閾値のほうが明らかにエッジ抽出に最適であることが分かる。これは、勾配画像のヒストグラムがどれも似たような形をしているため、または勾配画像の対象と背景の面積が大きく異なるた

[‡]全画素数に対する割合

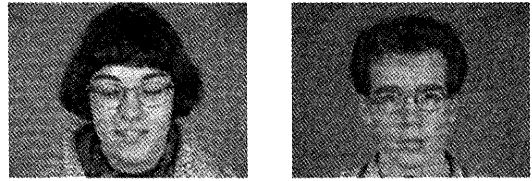


Fig. 6 サンプル画像

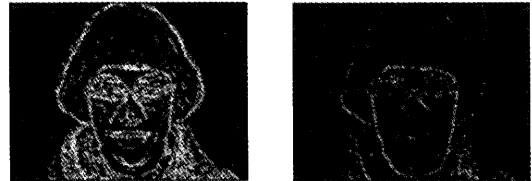


Fig. 7 左：最小2乗法 (閾値=9)，右：判別分析法 (閾値=40)

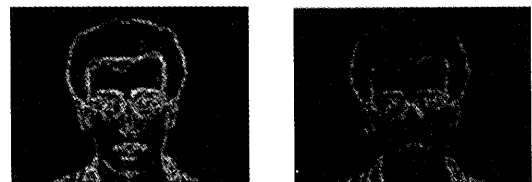


Fig. 8 左：最小2乗法 (閾値=10)，右：判別分析法 (閾値=23)

めだと思われる。最小2乗法を使う場合は、扱う多項式に応じて濃度値ヒストグラム近似曲線の傾きの決定が必要になってくる。その傾きさえ決定すれば、近似曲線の利用は顔画像の似顔絵描写に最適な方法だと思われる。さらに、その傾きを調整することで似顔絵の表情も変わっていくのではないだろうかと推測する。

Fig. 9 はそれぞれ Fig. 7 と Fig. 8 の左図をより似顔絵らしく見せるために白黒反転し、髪、目などに濃度値 25 の色を与えたものである。



Fig. 9 Fig. 6 からの似顔絵

5 おわりに

本研究ではエッジ抽出から2値化という手順で顔画像からの似顔絵描写を行ったが、先に2値化を施した

後にエッジ抽出を行ったほうが顔の輪郭線などがはっきりと描かれる。ただし、先に2値化を行うがため、思ったように2値（白、黒）に分かれてはくれない。そこで本研究では、エッジ抽出を先に行う方法にした。

今回は濃度値ヒストグラムで近似曲線の傾きを扱ったが、それ以外にもこのヒストグラム（近似曲線）には何か他にも情報をもっているかもしれない。その辺りも追及していこうと思う。

今後の課題として、顔画像からリアルな似顔絵を描写可能にし、人間の表情分析を行うことがあげられる。例えば、人間が怒っている場合や笑っている場合などで、顔にはどのような変化が表れるのかなどである。人間の顔画像は数多くの情報をもっている。私たちは他人とコミュニケーションをとることで、外面的な態度は見えて分かるが、そのときの感情までは詳しくは分からない。その感情が唯一表れる場所と言えれば顔以外にはありえない。顔画像の表情などが忠実に似顔絵描写できれば、例えばテレビ電話などを扱っている際、2値画像を使用すれば実画像よりも画像伝達時の情報量が少なくて済む。顔の表情を分析していくことで感情と表情のつながりが見えてくるに違いない。

参考文献

- [1] 李 元中, 小畑 秀文, "顔のスケッチ画像の抽出," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2161-2169, Aug. 1997.
- [2] 柴田 大介, 中村 剛士, 世木 博久, 伊藤 英則, "顔画像の線描画による表現手法について," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2095-2101, Aug. 1997.
- [3] 永田 明德, 金子 正秀, 原島 博, "平均顔を用いた顔印象分析," 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J80-A, No.8, pp.1266-1272, Aug. 1997.
- [4] 田村 秀行, "コンピュータ画像処理," 株式会社 オーム社, 2002.
- [5] 小澤 一文, "数値計算法 第2版," 共立出版株式会社, 1996.