遺伝的アルゴリズムを用いた自然画像からの複数顔領域抽出

非会員 横 尾 裕 規 (慶應義塾大学)

正 員 萩 原 将 文 (慶應義塾大学)

Human Face Detection Method Using Genetic Algorithm

Yuuki Yokoo, Non-member (Keio University)

Masafumi HAGIWARA, Member (Keio University)

To construct a face recognition system, facial regions should be detected before a face recognition process. A lot of studies have been made for the face recognition. However, the detection of facial region is still a difficult problem. In this paper, a novel method to detect human facial regions from an image with a complex background has been proposed. To detect human facial regions precisely, we employ the Genetic Algorithm(GA). First, the proposed method detects edges from an input image. Second, it searches ellipse regions using GA based on the idea that human faces can be approximated by ellipsoid. Finally, it judges whether the region is a human face or not one by one. We confirmed the validity and the effectiveness of the proposed method by computer simulations.

キーワード: 顔領域抽出、遺伝的アルゴリズム

1. はじめに

情報化社会の発展に伴い、マルチメディア化が進み、画像認識処理の重要性が高まっている。中でも、顔画像認識処理は、データベース、セキュリティシステムなど多くの分野で用いられるため、特に重要である⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。このため、近年顔画像認識に関する研究がいろいろと行われている⁽⁵⁾⁻⁽¹⁷⁾。これらの研究の多くは、個人識別の研究であり、顔画像の取得を前提としている。しかし、実際の顔画像認識を考えた場合、画像中の顔領域抽出が不可欠である。

顔領域抽出の方法として、Turk らが顔画像に KL 展開を行って得た固有ベクトルから「顔空間」を定義し、顔領域の抽出をしている⁽¹⁸⁾。しかし、背景も顔領域として含んでおり、対象人数も少ない。また、呉らはカラー情報を用いて顔領域の抽出を行っている⁽¹⁹⁾。この場合、白黒の濃淡画像には適用できず、顔の器官、特徴点そのものに着目した、本質的な領域抽出法とはなっていない。

さらに、小杉は多重ピラミッドを用いて、モザイク画像から頭部を検索後、顔領域を抽出する方法を提案している⁽²⁰⁾。しかし、原画像は比較的鮮明かつ、対象人物を中心としたものを用いている。また、Yang らは 4×4 のモザイクで大まかな探索を行った後、8×8 のモザイクで顔

の候補をあげ、それらについて特徴点を見つけて顔領域を抽出する方法を提案している⁽²¹⁾。ところが、特徴点に対する条件生成が困難である。そして、これらのモザイク画像を利用する方法は、低解像度のため正確な位置決めが難しい事や、背景の影響が大きいなどの問題がある。

それに対して、松野らがモザイク化の欠点を補い顔領域を抽出するために、ポテンシャル場による方法を提案している⁽²²⁾。この方法も小杉の方法同様、原画像が比較的単純である。さらに、複数の領域抽出ができないという問題を残している。

そこで本研究では、白黒の自然画像から先に述べたような制約を緩くした複数の顔画像にも対処できる顔領域抽出法を提案する。提案手法では、まず入力画像から Sobel オペレータを用いて輪郭を抽出する。次に、遺伝的アルゴリズムで輪郭画像から楕円領域を検出する。最終的に探索された部分が顔であるかの判断を顔の対称性と簡単なパターンマッチングと顔における髪の毛の位置で行い、顔領域の抽出を行う。

本論文では、探索能力に優れた遺伝的アルゴリズムを用いることにより、ノイズの多い自然画像から複数顔領域の抽出を可能としている⁽²³⁾。

以下、第 2 章で楕円形検出処理について述べる。第 3

図 1 ずれによるマッチング率の変化
Fig. 1. Matching rate.

章では遺伝的アルゴリズムについて簡単に説明する。第 4 章で提案手法について説明する。第 5 章で計算機シミュレーションにより、提案手法が様々な白黒の自然画像から顔領域を抽出できることを示す。

2. 楕円検出処理について

本手法では、顔領域抽出問題を図形検出問題に置き換えている。本章では、図形検出の中でも本手法で検出すべき楕円形の検出法について説明する。

(2.1) 楕円形の表現 楕円形は、中心位置 (a, b) , x 方向半径 r_x , y 方向半径 r_y , 回転角度 θ のパラメータを用いると表現できる⁽²⁸⁾。本研究では、楕円形を多数の点の集合として解釈し、楕円形検出を行なう。よって楕円形の点列 P^* が必要となる。この P^* は n 個の点からなるとすると次のように定義される。

$$P^* = \{p_1^*(x_1^*, y_1^*), p_2^*(x_2^*, y_2^*), \dots, p_n^*(x_n^*, y_n^*)\} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} x_j^* \\ y_j^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 (x_j, y_j) は中心が原点にあり回転を行なう前の楕円形の点列である。

(2.2) マッチング率 輪郭画像が 2 値画像で、背景が黒、輪郭が白で描かれているとする。式 (1) で表される点列 P^* の、各点の座標が白画素である個数を n_w とする。その時の点列 P^* で表される楕円形と 2 値画像内に描かれている輪郭とのマッチング率 R を次式で定義する。

$$R = \frac{n_w}{n} \quad (3)$$

しかし 2 値画像で楕円形のマッチングを行う場合、例えば図 1 に示すように、楕円形がわずかにずれただけでも重なり合う部分が非常に少なくなってしまう。

このように 2 値画像のままでは、マッチング率が不連続かつある特定の場所においてだけ大きな値をとるという楕円形探索には困難な状態になってしまう。そこでこのマッチング率の分布を滑らかにし、楕円形探索が容易にするために次節で説明するぼかし処理を用いる。

図 2 ぼかし処理を行った画像
Fig. 2. Defocused image ($L=3$).

(2.3) ぼかし処理 (2.2) 節で述べたように、2 値画像のままでは探索が困難である。そこで、提案手法では入力画像にぼかし処理を施すことにより、2 値画像を多値画像に変換する方法⁽²⁸⁾を用いている。こうするとマッチング率の分布は滑らかになり、ある程度、楕円形が輪郭画像とずれていても高いマッチング率を持つことができ探索し易くなる。

ぼかし処理では、黒（背景）を 0、白（輪郭）を 1 とした 2 値画像を、白画素の階調値を L （正の整数）として、その周辺を順次 1 階調ずつ下げて多値画像 ($L+1$ 階調画像) に変換する。図 2 に例を示す。ぼかし段階数を $L=3$ とすると、中央の白画素階調値は 3 となり、順次、8 連結隣接点の黒画素を 2, 1 とぼかすことにより、2 値画像を $4 (=3+1)$ 階調画像に変換している。

上記のぼかし処理の結果、5 つのパラメータで表現された楕円形が、

$$P_k^* = \{p_{1k}^*(x_{1k}^*, y_{1k}^*), \dots, p_{nk}^*(x_{nk}^*, y_{nk}^*)\} \quad (4)$$

で表される n 個の点列 P_k^* を構成する時、その楕円形のマッチング率 $Match$ は、次式により求められる。

$$Match = \frac{\sum_{j=1}^n f(x_{jk}^*, y_{jk}^*)}{L \times n} \quad (5)$$

ここでの $f(x_{jk}^*, y_{jk}^*)$ は、座標 (x_{jk}^*, y_{jk}^*) におけるぼかし処理後の画像の階調値であり、0 から L までの整数値をとる。全ての点が輪郭画像中の楕円と重なると、マッチング率 $Match (= [0, 1])$ は 1 となる。

3. 遺伝的アルゴリズムについて

遺伝的アルゴリズム (GA) は、生物進化の原理に基づいた解の探索と最適化に有力な学習アルゴリズムである⁽²⁴⁾⁻⁽²⁸⁾。GA は、図 3 に示されるように前の世代に基づいて新しい世代を生成する。GA での基本的操作には、次の選択淘汰、交叉、突然変異の 3 つがある。

図 3 遺伝的アルゴリズム
Fig. 3. Genetic Algorithm.

$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$
$\frac{1}{10}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{10}$
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$

図 4 平滑化フィルタ
Fig. 4. Smoothing filter.

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1
x 方向の微分			y 方向の微分		

図 5 ソーベルオペレータ
Fig. 5. Sobel operator.

図 6 微分画像の圧縮
Fig. 6. Reduction of a search space.

- 1) 選択淘汰 個体の適応度に基づいて、次世代に残す個体を選別する処理で、適応度の高い個体ほどより多くの子孫を残せるようにする。
 - 2) 交叉 2つの個体間で遺伝子の組み替えを行い、新しい個体を生成する処理で、集団からランダムにペアを選び、一定の確率で遺伝子の交換を行う。これにより、新たに適応度の高い個体が生成される可能性が生まれる。
 - 3) 突然変異 遺伝子のある部分を一定の確率で強制的に変化させる処理である。具体的には、集団の各個体に対して、ランダムに選択した位置の遺伝子を他の対立遺伝子で置き換える。これにより、交叉のみでは生成できない個体を生成することができ、遺伝子集団に多様性を持たせることができるようになる。
- GAは、上記の操作を利用して問題の準最適解を得る。

4. 遺伝的アルゴリズムを用いた自然画像からの複数顔領域抽出

〈4.1〉 輪郭抽出 提案手法では、顔領域の抽出に入力画像の輪郭画像を用いる。一般的に、輪郭画像を作るには、まず平滑化フィルタやメディアンフィルタなどのフィルタを用いて、入力画像内の雑音を除去する。次に、1次微分や2次微分のオペレータを用いて微分画像を求め、しきい値により2値化を行う⁽²⁹⁾⁻⁽³¹⁾。

提案手法では、最初に図4に示す3×3の平滑化フィルタを使って入力画像内の雑音除去を行ない、次に1次微分オペレータであるSobelオペレータ(図5)を使って微分画像を求める。最終的に適切なしきい値により2値化を行ない入力画像の輪郭画像を得る。

〈4.2〉 輪郭画像圧縮 提案手法では、輪郭画像からGAにより楕円形領域探索を行うが、演算時間の大幅な短縮を図るため探索空間の縮小化を行う。その方法として、〈4.1〉節で得られた微分画像(2値化前)を図6に示すように4×4の16マスの平均値をとり1マスとして圧縮し、探索画像を16分の1(400画素×400画素→100画素×100画素)としている。

〈4.3〉 GAによる楕円形検出 提案手法では、人間の顔の輪郭が楕円形に近似できることを利用に注目し、探索能力に優れたGAを用いることにより〈4.2〉節で求めた輪郭画像から楕円形を検出する。

各個体は、図7に示すように〈2.1〉節で定義した中心位置(a,b)、x方向半径r_x、y方向半径r_y、回転角度θの5つのパラメータによって表現される。こうすることにより、適応度としては、〈2.3〉節で定義したMatchを直接用いることができる。ここでx方向半径r_x、y方向半径r_yは小さくなり過ぎないように最低半径を定めておく。さらに、複数の顔領域を抽出するために、1度検出された領域は探索領域から除去する。

図 7 染色体の解釈
Fig. 7. Interpretation of chromosome.

図 9 5 値化した輪郭画像
Fig. 9. 5-valued edge image.

図 8 推定顔領域の特定

Fig. 8. Localization of presumed facial region.

(4.4) 顔の位置の特定 (4.3)節で検出される楕円形は、状況により多少のずれを生じる。よってそのずれを補正するために、推定顔領域を定義する。ここで大きく傾いている顔は例外と考え、操作を簡単にするため傾きは省略して考える、図8(左)に示すように5値化した入力画像の検出楕円領域を垂直軸方向に走査し、走査線に対して左側の領域の画素の濃度の分布と右側の領域の画素の濃度の分布が最も等しくなる、つまり走査線に対する左右の対称性が最も高い対称軸を求め、これを推定顔領域の中心軸とする。次に、図8(右)に示すように輪郭画像に注目して、中心軸から新たな走査線を左右に広げていき、それらの走査線と重なる白画素が最も多くなるライン、つまり顔の輪郭の両端と推定される位置を見つける。同様に、頭の頂上も楕円の中心位置bから走査線を鉛直上方向に広げて見つける。このようにして顔の両端と頂上を推定し、これらの線によって囲まれる領域を推定顔領域として定義する。

〈4.5〉 顔であるかの判断 〈4.4〉節で定義した推定顔領域が以下の3つの条件を満たしているものを顔領域

と判断する。

(1) 顔の対称性について 図 9 に 5 値化した輪郭画像の推定顔領域部分を示す。これは、領域右半分の輪郭(白画素)を 4 としてぼかし処理を行ったものである。ここで領域の左半分のすべての白画素について、それぞれ中心軸に対して対称位置となる画素の値を加算する(例、画素 A ならば 4, 画素 B ならば 3...)。その合計をぼかしレベル 4 と画素数で割り 100 をかけて、推定顔領域が中心軸に対しどのくらい対称であるかを次式により算出する。

$$R_{sym} = \frac{\sum v_r}{L \times N_{avl}} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

 R_{sym} : 顔の対称度 (%)

v_r : 中心軸に対して推定顔領域の左側の白画素と対称位置にある右側の画素の値 (5 値化した輪郭画像)
 L : ぼかしレベル

N_{wl} : 推定顔領域左側の白画素の数

そして、これが定めたしきい値を越えているかどうかにより対称性からの判定を行なう。

(2) パターンマッチングについて 図 10 に推定顔領域を 16 分割したものを、図 11 に顔領域のテンプレートを示す。まず、図 11 左のテンプレートを用了場合、パターンマッチング率 R_{pat_i} は図 10 の領域 e,h,i,j,l,m,n,o,p に当たる輪郭画像の画素が黒である割合を算出する。同様に領域 a,b,c,d,f,g,j,k に当たる輪郭画像の画素が白である割合を算出する。これを次式に示すように 3 つのパターンすべてについて行い、最も高いマッチング率をパターンマッチング率 R_{opt} とする。

$$R_{pat_i} = \frac{\sum N_w \sum N_b}{N_{all}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

$$R_{pat} = \max_{i=1,2,3} R_{pat_i} \dots\dots\dots(8)$$

図 10 推定顔領域の分割
Fig. 10. Division of presumed facial region.

図 11 顔領域のテンプレート
Fig. 11. Templates.

R_{pat_i} : パターンマッチング率 (%)
 N_w : テンプレートの白い部分に当たる推定顔領域の画素 (輪郭画像) が白である数
 N_b : テンプレートの黒い部分に当たる推定顔領域の画素 (輪郭画像) が黒である数
 N_{all} : 推定顔領域の全画素数

そして、このマッチング率が定めたしきい値を越えているかどうかにより、大まかに顔らしさからの判断を行なう。

(3) 髪について 図 10 の上半分領域 a,b,c,d,e,f,g,h に当たる 5 値化した入力画像の画素が黒である割合 R_{hair} を次式のように求める。

$$R_{hair} = \frac{\sum N_{hair} \times 2}{N_{all}} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

R_{hair} : 髪の割合 (%)
 N_{hair} : 推定顔領域の上半分の画素 (5 値化した入力画像) が黒である数
 N_{all} : 推定顔領域の全画素数

そして、これが R_{hair} 定めたしきい値を越えているかどうかにより、髪領域の有無からの判断を行なう。なお今回は、20 代の健康な男子を想定したため、このような髪の有無による判断を加えている。

〈4.6〉 再探索について 多くの計算機シミュレーションを行なった結果、検出される楕円形は、顔付近に

図 12 再探索
Fig. 12. Re-search.

図 13 原画像 (256 階調)
Fig. 13. Input image (256-level).

集中する傾向があることがわかった。これを利用し、楕円形は検出されているが、顔領域と判断されていない領域に対して、GA により再探索を行う手法を用いることにした。こうすることにより検出洩れを大幅に低減できるようになった。具体的には、図 12 に示すように検出楕円形が通る画素に点数を加算する。なお、すでに顔領域と判断されている領域は 0 点とする。この結果、検出楕円形は集まるが顔領域として判断されていない部分の点数が高くなるので、このような領域を再探索する。

上記の 6 つの処理を施すことにより、自然画像から複数の顔領域を抽出する。

5. 計算機シミュレーション

提案手法の有効性を確認するために、計算機シミュレーションを行った。原画像は、図 13 に示すような大きさ 400 × 400、256 階調のものとし、パラメータ学習用に 10 枚、評価用に 10 枚を用意した。また、各画像には 1~6 人の人物が写っている。

図 14 原画像 (5 階調)
Fig. 14. Input image(5-level).

図 15 輪郭画像
Fig. 15. Edge detected image.

図 16 圧縮された輪郭画像
Fig. 16. Compressed image.

〈5・1〉 画像前処理 原画像をしきい値を 64 として 5 階調に落とした。図 14 にその結果得られた 5 値画像の例を示す。次に、平滑化フィルタと Sobel オペレータから図 15 に示すような微分画像を求める。最後に、微分画像を 16 分の 1 に圧縮し 2 値化を行なう。図 16 に、前処理後の実際に用いられる探索画像の例を示す。

〈5・2〉 GA による楕円形検出 〈5・1〉節で得た画像にはぼかし段階数を $L = 8$ としてぼかし処理をした後、今回は簡単のため単純 GA を適用し、交叉方法は 2 点交叉⁽²⁸⁾として楕円形領域を抽出した。その際の GA パラメータは、表 1 のように設定し、適応度が 0.925 以上になったものについて次の推定顔領域の特定を行った。GA により顔領域を探索している様子を図 17 に示す。

表 1 GA のパラメータ設定
Table 1. Parameter Settings.

Defocusing Level	8
Detection Judgement Value	0.925
Population Size	100
Selection Probabillity	0.6
Crossover	two points crossover
Mutation Probabillity	0.2
Number of Generations	300

図 17 GA による楕円形検出
Fig. 17. Detection of Ellipses.

表 2 顔であるかを判断するためのしきい値 (%)
Table 2. Threshold Settings(%).

Symmetry	50.0
Pattern Matching	30.0
Hair	60.0

〈5・3〉 推定顔領域の特定 まず、〈5・2〉節で抽出された楕円形領域を水平方向に走査し、その走査線に対して最も対称となる中心線を求めた。次に、輪郭画像を用いて走査線を中心線から左右に広げていき、顔の輪郭の両端にそろえた。同様に、頭の頂上も中心位置から鉛直上方向に走査線を広げて見つけた。これらから推定顔領域を特定し、次の顔であるかの判断を行った。

〈5・4〉 顔であるかの判断 顔であるかの判断は表 2 に示すしきい値を用いて行い、3 つの条件を満たすものを顔領域とした。そして、その領域が顔領域であれば、探索空間から除去し、そうでなければそのまま、〈5・2〉節以降の処理を繰り返すことにより、複数の顔領域を抽出した。

〈5・5〉 再探索 一定回数 GA による探索を行なった後、検出楕円が集まるが顔領域として検出されていない領域については、その領域に対してのみ再度 GA によ

図 18 顔領域抽出結果
Fig. 18. Result.

図 19 顔領域抽出結果
Fig. 19. Result.

図 20 顔領域抽出結果
Fig. 20. Result.

る探索を行った。

図 18～20に、それぞれ異なる画像を用いた場合の顔領域の抽出結果を示す。顔領域検出率はパラメータ設定に用いた学習用データの場合が 78%、未学習データの場合が 67%であった。また、顔以外のものを検出した割合は、全画像中の全顔領域数の 3 割程度であった。計算時間は

1 枚の写真に対して *Sun SS-5* で 110 秒前後であった。

6. 結論

本論文では、遺伝的アルゴリズムを利用した自然画像から複数の顔領域を抽出する方法を提案した。

人間の顔の輪郭が楕円形に近似できるという仮定を利用し、顔領域抽出問題を図形（楕円形）探索問題に置き換え、図形探索能力に優れる遺伝的アルゴリズムを使って顔領域を抽出した。また、図形圧縮を行なうことにより探索空間の縮小化を図り、演算時間の大幅な短縮を行った。さらに、抽出精度の向上を目指し、推定顔領域の定義、顔であるかの判断基準、再探索の手法なども提案した。

計算機シミュレーションを行ない、本手法が自然画像から複数の顔領域を抽出できることを示し、その有効性を実証した。

日頃御指導頂く中川正雄教授に深く感謝します。

(平成 8 年 6 月 2 4 日受付, 平成 9 年 3 月 3 日再受付)

文 献

- (1) 国際ファジィ工学研究所: “ファジィ技術の先端的応用”, 日刊工業新聞社, 1993.
- (2) 日本ファジィ学会: “ファジィ画像処理”, 日刊工業新聞社, 1993.
- (3) 鳥脇純一郎: “認識工学”, コロナ社, 1993.
- (4) 国際ファジィ工学研究所: “ファジィ思考による知的情報処理”, 日刊工業新聞社, 1995.
- (5) 上野邦和・加藤雅弘: “等濃度線分布に基づく正面顔画像の識別”, 信学論 (D-II), Vol.J76-D-II, No.6, pp.494-506, 1993.
- (6) 小杉信: “モザイクとニューラルネットを用いた顔画像認識”, 信学論 (D-II), Vol.J76-D-II, No.6, pp.1132-1139, 1993.
- (7) 谷萩隆嗣・高野裕昭: “カテゴリーを組み合わせたニューラルネットワークによる顔画像識別”, 信学論 (D-II), Vol.J77-D-II, No.11, pp.2151-2159, 1994.
- (8) 大沢哲: “特徴パターンの空間的補間を取り入れた自己組織化マップ及びその顔識別への適用”, 信学技報, PRU94-59, pp.1-6, 1994.
- (9) 長谷川浩史・志水英二: “パターンマッチングを用いた顔画像照合の一検討”, 信学技報, IE92-40, pp.49-56, 1992.
- (10) 佐々木努・リチャード S. ワレス・赤松茂・末永康仁: “ボタン照合法にもとづく顔画像認識システムの基本検討”, 信学技報, PRU90-43, pp.17-24, 1990.
- (11) J.C.Campos, A.D.Linney and J.P.Moss: “The Analysis of Facial Profiles Using Scale Space Techniques”, *Pattern Recognition*, vol.26, no.6, pp.819-824, 1993.
- (12) Chung-Lin Haung, Ching-Wen Chen: “Human Facial Feature Extraction For Face Interpretation and Recognition”, *Pattern Recognition*, vol.25, no.12, pp.1435-1444, 1992.

- (13) 赤松茂・佐々木努・深町映夫・末永康仁：“濃淡画像マツチングによるロバストな正面顔の識別法”，信学論 (D-II)，Vol.J76-D-II，No.7，pp.1363-1373，1993.
- (14) 佐々木努・赤松茂・末永康仁：“顔画像認識のための色情報を用いた顔の位置合わせ法”，信学技報，IE91-2，pp.9-15，1991.
- (15) 田中弘美・岸野文朗：“面曲率を用いた顔の同定”，情処学 CV 研報，73-3，pp.17-23，1991.
- (16) Ashok Samal and Prasana A.Iyengar：“Automatic Recognition and Analysis of Human Faces and Facial Expressions:A Survey”，*Pattern Recognition*，vol.25，no.1，pp.65-77，1992.
- (17) Roberto Brunelli and Tomaso Poggio：“Face Recognition:Features versus Templates”，*IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*，vol.15，no.10，pp.1042-1052，1993.
- (18) Matthew A.Turk and Alex P.Pentland：“Face Recognition Using Eigenfaces”，*Proc.IEEE Computer Soc.Conf.on Computer Vision and Pattern Recognition*，pp.586-591，1991.
- (19) 呉海元・陳謙・谷内田正彦：“カラー自然画像からの顔の検出”，信学技報，PRU94-108，pp.7-14，1995.
- (20) 小杉信：“個人識別のための多重ピラミッドを用いたシーン中の顔の探索・位置決め”，信学論 (D-II)，Vol.J77-D-II，No.4，pp.672-681，1994.
- (21) Guangzheng Yang and Thomas S.Huang：“Human Face Detection in a Complex Background”，*Pattern Recognition*，vol.27，pp.53-63，1994.
- (22) 松野勝弘・辻三朗：“ポテンシャル場を用いた顔領域の探索と位置決め”，信学論 (D-II)，Vol.J78-D-II，No.8，pp.1243-1248，1995.
- (23) Y.Yokoo and M.Hagiwara：“Human Faces Detection Method using Genetic Algorithm.”，*IEEE Int'l Conf.on Evolutionary Computation*，pp.113-118，1996.
- (24) D. E. Goldberg：“*Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*”，Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- (25) David B.Fogel：“*Evolutionary Computation*”，IEEE, Inc., 1995.
- (26) 萩原将文：“ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム”，産業図書，1994.
- (27) 北野宏明編：“遺伝的アルゴリズム”，産業図書，1993.
- (28) 安居院猛・長尾智晴 共著：“ジェネティックアルゴリズム”，昭見堂，1993.
- (29) Rafael C.Gonzalez and Richard E.Woods：“*Digital Image Processing*”，Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.
- (30) 安居院猛・長尾智晴 共著：“画像の処理と認識”，昭見堂，1992.
- (31) 長尾真：“画像認識論”，コロナ社，1983.

横尾 裕規

(非会員) 1973 年 10 月 9 日生。1996 年 3 月 慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。遺伝的アルゴリズム、画像処理の研究に従事。

萩原 将文

(正員) 1959 年 10 月 29 日生。1987 年慶應義塾大学大学院博士課程修了。現在、同大学助教授。1991 年より 2 年間アメリカ Stanford 大学訪問研究員。ニューラルネットワーク、ファジーシステム、GA の研究に従事。工学博士。1986 年丹羽記念賞、1987 年電子情報通信学会 学術奨励賞、1990 年 IEEE 論文賞、1994 年 安藤記念学術奨励賞、1996 年ファジィ学会著述賞受賞。