

GA とマルチウインドウを用いた顔画像からの両眼探索の改良

薦田 大典¹・西村 広光²・富川 武彦²

1 大学院工学研究科電気電子工学専攻(komod@ele.kanagawa-it.ac.jp)

2 情報メディア学科((nisimura, tomikawa)@ic.kanagawa-it.ac.jp)

Intellectual Eye Detection Using GA Multi Window

Daisuke KOMODA¹, Hiromitsu NISHIMURA², Takehiko TOMIKAWA²

Abstract

There have been a variety of eye detections reported in the past, however, many of approaches require the geometrical relations among the parts in facial image. We have reported the way of eyes' detection by window-pair chasing in a facial image based on Genetic Algorithm. Here, symmetry of eyes was utilized in order not to fall into incorrect locations while finding eye locations, although there were some Problems remained for its detecting capability. In this paper, our improved version, so called Multi-Window model is introduced. The Multi-Window, three windows are used in this experiment; the window pair for two eyes and the rest one for either mouse or nose. Thus, our trial applying to sample images resulted in the recognition rate of more than 99%. On the other hand, parameters to activate GA must be decreased and/or optimized without any help of human in the future.

Key-Words: Multi-Window, Genetic Algorithm, Eye Detection, Feature Extraction

1. はじめに

近年犯罪が多発する世の中でセキュリティ強化が囁かれている。一部の企業では防犯方法の一つとして網膜センサーを取り入れている。網膜センサーとは、それぞれ違う模様がある人間の網膜を利用して、本人かどうかを認証する装置である。しかしながら、現在の装置ではセキュリティを必要とする際に例えば双眼鏡を覗き込むような認証を行う人手が不可欠である。

そこで、認証対象者が施設に近づいた際に、ビデオカメラ等から撮影した画像の中から目の位置を割り出すことが出来れば、認証が容易になると考えられる。そのため両眼領域を探索することは、実用的な認証システムをはじめ、顔画像を利用する分野での補助手段となることも考えられる。

以前に、我々は両眼探索の手法としてペアウインドウと称する探索モデルと遺伝的アルゴリズムとを組み合わせた手法を報告した。本報告はその性能向上を目的とし、ペアウインドウを改良した新たな探索モデルを試みたものである。

2. 遺伝的アルゴリズム

自然界における生物の進化過程においてある世代を形成している集団、すなわち母集団のなかで、環境により適応した個体がより高い確率で生き残り、次の世代に子を残すことが知られている。この流れをモデル化し、環境に対して最もよく適応した個体、すなわち目的関数に対して最適値を与えるような解をコンピュータ上で求めようという手法が遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:以降 GA と呼ぶ) である。図 1 に一般的な GA のフローチャートを示す。

①まず初期集団の個体に対して評価を行い、その時点で目的解となれば終了となる。②それ以外の場合は評価の高い順に個体を並び替え、③淘汰・増殖、④交叉、⑤突然変異を指定された回数繰り返す。これらの操作により準最適解を導くことが可能である。

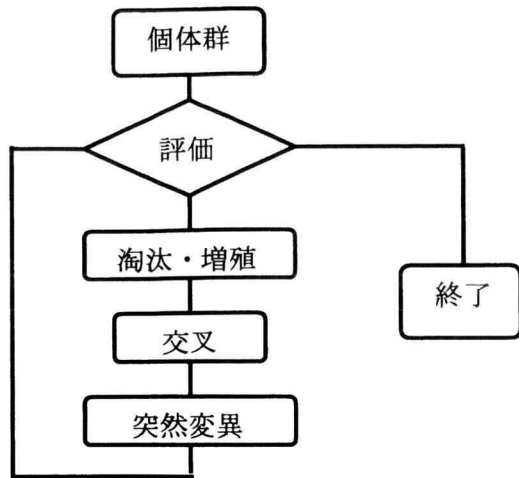


図 1 GA フローチャート

GAにおいて、対象とする探索問題の解は遺伝子を持った個体として表現し、個体群(解の集合)を遺伝的な操作で進化させて最適解を求める。その遺伝子の持つ情報を図2に示す。遺伝子の集まりを個体とし、その中の一マスを遺伝子とする。

仮に、図2において模様がある遺伝子の評価値を0、模様がない遺伝子の評価値を1であるとしたとき、個体ごとの評価値Fは式(2.1)により導かれる。

$$F = \sum_{k=1}^m f_k \quad (2.1)$$

ここで、mは個体中の遺伝子の数、fは遺伝子ごとの評価値とする。

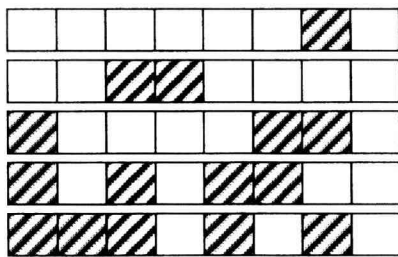


図 2 遺伝子情報

2.1 増殖・淘汰

個体群の個体それぞれに対して評価をし、その中から評価値Fが低い個体を削除する、これを淘汰という。次に最も評価値Fが高い個体を淘汰された個体の数と同じ数だけ増やす、この操作を増殖という。これら一連の操作により評価の高い個体が生き残り、低い個体が減少する。図3にこの操作をモデル化した様子を示す。

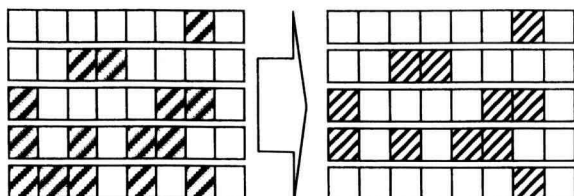


図 3 増殖・淘汰

2.2 交叉

評価が高い個体はそのままを残し、他の個体について二つ一組にし、それぞれの遺伝子情報の一部を入れ替えることで新しい個体を作る、これを交叉という。この交叉は親の遺伝子から環境に適応し、かつ強い子孫を作るために良い部分を取り入れるという考え方を具体化したものである。図4にこの操作をモデル化した様子を示す。

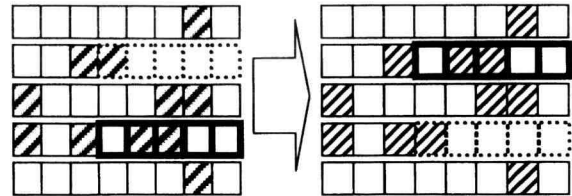


図 4 交叉

2.3 突然変異

一般に、増殖・淘汰および交叉の操作だけでは変化が一定になり、探索解がある局所部にとどまる可能性がある。そこで定められた一定数の個体に対して遺伝子情報の一部を無作為に変化させる、これを突然変異という。図5にこの操作をモデル化した様子を示す。

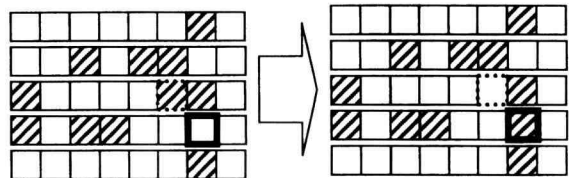


図 5 突然変異

3. 顔画像からの両眼探索

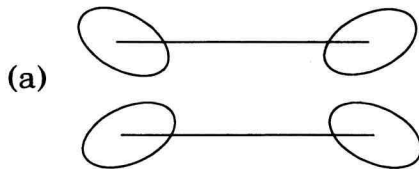
入力された人間の顔を含む画像の中から探索モデルを用いて両眼の位置を特定することを考える。探索モデルにペアウインドウを用いて両眼領域を探索する。しかし、7個のパラメータ全てに対する総当りで探索しては膨大な時間が必要となる。そこで両眼領域を探索する際に、解候補を徐々に絞り込むという観点から遺伝的アルゴリズムに基づく探索を試みた。

3.1 ペアウインドウ

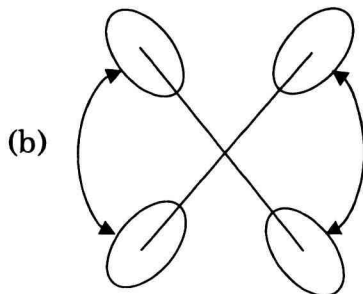
ペアウインドウとは、顔画像から両眼領域のみを抽出する方法として考案された手法である。人間の顔の中で眼は左右対称に位置していると考えられる。そこで単独の探索領域で一つずつ眼の領域を探索するのではなく、二つの探索領域を一組として扱い、左右の対称性を利用して両眼探索をする。図6にペアウインドウ探索モデルを示す。二つの窓が中心線により繋がれ、①図7(a)に示すように窓の部分が傾くことにより上がり目・下がり目に対応し、②図7(b)の様に中心線が傾くことにより顔の傾きに対応している。③また、図7(c)の様に中心線が伸縮することにより両眼領域の距離を調整する。④さらに、図7(d)に示すようにそれぞれの楕円形の窓の偏平率を変化させることで眼の形状の違いに対応している。



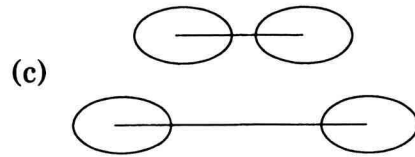
図6 ペアウインドウ



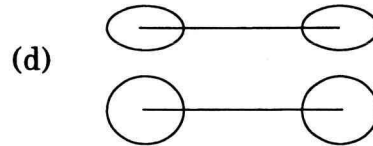
上がり目・下がり目



顔・画像の傾き



両眼間の距離



眼の形状

図7 ペアウインドウのパラメータ

3.2 マルチウインドウ

マルチウインドウとは、ペアウインドウによる両眼領域探索の精度をより高めることを目的として、新たに鼻または口の領域を特定する第3の窓を用いることで精度の向上を図った探索モデルである。第3の窓はペアウインドウを結ぶ線の中心点から垂直方向に位置する。図8は実験に用いたマルチウインドウモデルである。必要なパラメータは、①ペアウインドウを結ぶ線の中心点の座標 (x, y) 、②モデルの回転角度 θ_1 、③ペア・ウインドウの窓間の距離 d_1 、④楕円の窓の偏平率 k 、⑤楕円の窓の傾斜角度 θ_2 、⑥ペア・ウインドウを結ぶ線の中心点から垂直な第3のウインドウの中心までの距離 d_2 という7種類によって構成され、これらがGAにより最適化される。

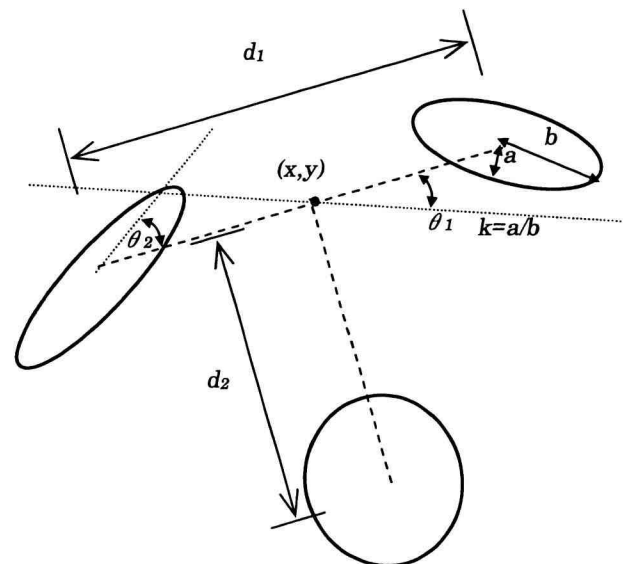


図8 マルチウインドウモデル

4. 顔画像からの両眼探索

本研究では、図 9 に示すような 256×256 ピクセルのグレースケールの顔画像に対してエッジ抽出(輪郭部分の抽出)を施し、その画像から 3 章で述べた探索モデルを用いて評価値を算出し、両眼探索を行った。以下、エッジ抽出の処理方法と評価値の算出方法及び GA の遺伝子構造について述べる。



図 9 両眼探索対象画像

4.1 探索画像からのエッジ抽出

まず、対象の顔画像から両眼領域を探索するためにエッジ処理により輪郭の抽出を行う。濃淡画像において輪郭とは、濃度値が急激に変化する部分であり、微分演算を用いることで輪郭の抽出が出来る。エッジ抽出には 1 次微分と 2 次微分の差分フィルタを用いた方法があり、本研究では 1 次微分の Sobel フィルタ、2 次微分の 8 近傍ラプラシアンフィルタを利用した。2 種類を用いる理由として、従来の手法では Sobel フィルタを用いてエッジ抽出を行った結果、傾いた画像に対して探索の精度に問題があった。そこで、斜め方向のエッジを抽出が可能である 8 近傍ラプラシアンフィルタを用いることにした。

4.2 Sobel フィルタ

Sobel フィルタとは、水平方向・垂直方向のエッジ抽出を行うフィルタである。注目画素を中心とした上下左右 9 つの画素値に対して、水平方向・垂直方向の二つの係数行列を用いて処理を行った。すなわち、図 10 に示すような係数をそれぞれ乗算し、結果を合計した。

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

図 10 Sobel フィルタ

図 11 は、対象画像から Sobel フィルタを用いてエッジ抽出を行った画像の例である。

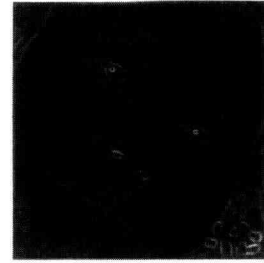


図 11 Sobel フィルタによるエッジ抽出画像

4.3 8 近傍ラプラシアンフィルタ

8 近傍ラプラシアンフィルタとは、上下左右に加え斜め方向のエッジ抽出を行うフィルタである。ある注目画素を中心とした 9 つの画素値に対して、図 12 に示すような係数をそれぞれ乗算し、その結果を総計した値が新しい画素値となる。

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

図 12 8 近傍ラプラシアンフィルタ

図 13 は、対象画像から 8 近傍ラプラシアンフィルタを用いてエッジ抽出を行った画像の例である。



図 13 8 近傍ラプラシアンフィルタによるエッジ抽出画像

4.4 評価値の算出方法

以下、探索画像からマルチウインドウ探索モデルにより両眼探索を行う際の考え方について述べる。人間の顔を構成する部品において、眼は他よりも強い輪郭をもっていると考えられる。そこで、探索画像に微分処理を施し、画像中の画素と隣接画素との差分をとることにより輪郭部分の抽出が出来る。エッジが強い程評価値を高くなるように設定し、両眼探索を試みた。

評価関数 F が式(4.1)によって導かれる。ここで F_1 を基準値として残りの F_2, F_3, F_4 により様々な拘束条件を与え最終的な評価値 F を求めることにした。

$$F = F_1 - F_2 - F_3 - F_4 \quad (4.1)$$

ここで、 F_1 は3つの窓によって検出された画像中のエッジ部分の評価値であり式(4.2)によって計算する。 n, m は探索窓上のピクセル数であり、 g は探索画像中のマルチウインドウ探索モデルの中心座標 (x, y) における微分値である。右辺第1項はペアウインドウの探索窓による評価値、第2項が第3の窓による評価値である。

$$F_1 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \left(\frac{g_{ij}}{n} \right) + \sum_{k=1}^m \left(\frac{g_k}{m} \right) \quad (4.2)$$

F_2 はペアウインドウが左右対称ではない場合に適用されるペナルティである。すなわち、それぞれの探索窓の形状が大きく異なる場合にはペナルティを課している。式(4.3)において p はペナルティ、 R_1 は閾値であり、左右の窓の類似度が80%を下回った時にペナルティを与えるとした。

$$F_2 = \begin{cases} 0: & \left| \sum_{j=1}^n g_{1j} - \sum_{k=1}^n g_{2k} \right| \leq R_1 \\ P: & \left| \sum_{j=1}^n g_{1j} - \sum_{k=1}^n g_{2k} \right| > R_1 \end{cases} \quad (4.3)$$

F_3 は第3の窓の評価に対するペナルティである。第3の窓はメインのペアウインドウの位置を固定するための補助的な役割を持つ。そのため評価値が高すぎる、または低すぎる場合にペナルティが課せられる。高すぎる評価値は目を探索していることを示し、低すぎる評価値は鼻・口の領域を探索していない可能性が高いことを想定しているためである。式(4.4)において、 R_2 は閾値であり、実験的に妥当と思われる値を採用した。

$$F_3 = \begin{cases} P: & \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \left(\frac{g_{ij}}{2n} \right) - \sum_{k=1}^m \left(\frac{g_k}{m} \right) \leq 0 \\ P: & \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \left(\frac{g_{ij}}{2n} \right) - \sum_{k=1}^m \left(\frac{g_k}{m} \right) > R_2 \\ 0: & \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \left(\frac{g_{ij}}{2n} \right) - \sum_{k=1}^m \left(\frac{g_k}{m} \right) \leq R_2 \end{cases} \quad (4.4)$$

F_4 は式(4.5)で求められる。 p は、 W を探索モデルの領域、 I を画像全体の領域とした時、探索モデルが画像の境界をはみ出した際に適用されるペナルティである。

$$F_4 = \begin{cases} 0: & W \in I \\ P: & W \notin I \end{cases} \quad (4.5)$$

5. GAとペアウインドウを用いた両眼探索

本研究での提案手法の有効性を確認するために Sobel フィルタを用いてエッジ抽出をした画像を対象とし、GAとペアウインドウを組み合わせて両眼探索を行った。実験用濃淡顔画像全28サンプルに対してそれぞれ100回の繰り返し探索、合計2800回を行った。これまでは実験の成功・失敗の判定基準を両眼のおおまかな位置の検出としていたが、両眼の瞳の検出へと変更した。

5.1 ペアウインドウの遺伝子情報

ペアウインドウを用いた場合のGAの遺伝子情報は全35bitからなり、その内訳は表1に示す通りである。

表1 ペアウインドウの遺伝子情報

	x	y	θ_1	θ_2	k	d_1
Bit数	8	8	7	4	4	4

x, y: 探索モデルの中心座標 0~255

θ_1 : モデルの回転角 $-64^\circ \sim 63^\circ$

θ_2 : 楕円の窓の傾斜角度 $-8^\circ \sim 7^\circ$

k: 楕円の窓の扁平率 50%~71%

d_1 : ペアウインドウの窓間の距離 53~75

5.2 ペアウインドウによる実験結果

ペアウインドウによる実験結果は、合計 2800 回の探索をして正解が 1272 回と半分を下回った。探索の失敗は主に探索モデルが眼以外に鼻・口・眉毛・頬等の部位のエッジ部分を検出しているためである。探索結果の例を図 14 に示す。図 14 の左側の図が成功例、右側の図が失敗例である。

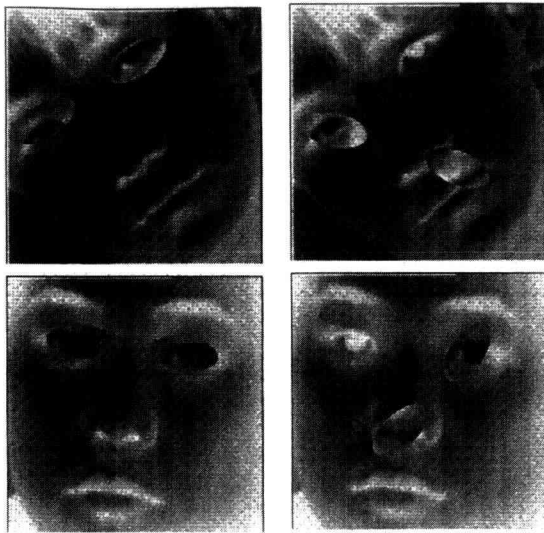


図 14 ペアウインドウ探索結果例

6. GA とマルチウインドウを用いた両眼探索

次に、探索モデルをマルチウインドウに変更して実験を試みた。但し、実験の条件は 5 章と同一とする。

6.1 マルチウインドウの遺伝子情報

マルチウインドウを用いた場合の GA の遺伝子情報は全 39bit からなり、その内訳を表 2 に示す。

表 2 マルチウインドウの遺伝子情報

	x	y	θ_1	θ_2	k	d_1	d_2
Bit 数	8	8	7	4	4	4	4

x,y: 探索モデルの中心座標 0~255

θ_1 : モデルの回転角 $-64^\circ \sim 63^\circ$

θ_2 : 楕円の窓の傾斜角度 $-8^\circ \sim 7^\circ$

k: 楕円の窓の偏平率 50%~71%

d_1 : ペアウインドウの窓間の距離 53~75

d_2 : ペアウインドウの窓の中心から垂直な第 3 の窓の中心までの距離 60~100

6.2 マルチウインドウによる実験結果

5 章と同じく Sobel フィルタによりエッジ抽出を行い、マルチウインドウによる実験結果は、合計 2800 回の探索をして正解が 2729 回となり、探索の精度の向上に成功した。失敗した実験について調べた結果、対象が傾いている画像であることが多いことがわかった。これは、エッジ抽出に用いた Sobel フィルタが縦・横方向のエッジのみを抽出しており、斜め方向のエッジの抽出が不十分であったと思われる。探索結果の例を図 15 に示す。図 15 の左側が成功例、右側が失敗例である。

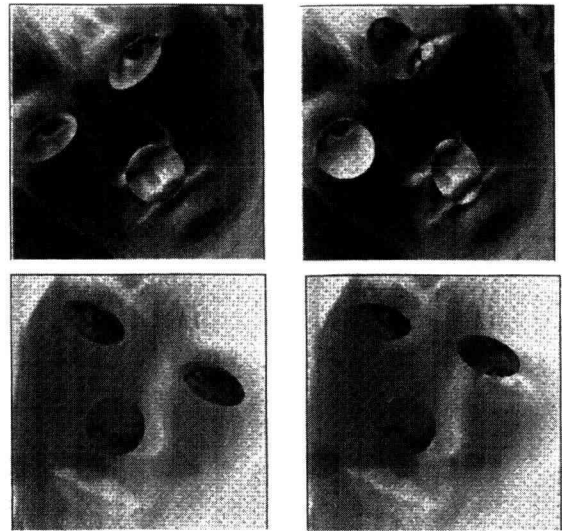


図 15 マルチウインドウ探索結果例

6.3 改善後の実験結果

最後にエッジの抽出を Sobel フィルタではなく 8 近傍のラプラシアンフィルタに変更してエッジ抽出を行った。対象画像からマルチウインドウを用いて両眼探索する方法を試みた。提案手法での結果は、2800 回の探索をして正解が 2795 回となり、高確率での探索に成功した。探索結果の成功例を図 16 に示す。



図 16 提案手法探索成功例

ここで、提案手法を用いた際に 5 回の失敗した実験について調べた。失敗した際に対象とした画像は以下の 2 種類であることが解った。

その一つは、図 17 に示す様な黒人の人物の顔画像である。この画像からは鼻・口の領域からかなり強いエッジが抽出されており、さらに口を開き歯が見えているためそこから強いエッジが抽出されている。これらの要因により今回の実験において探索に失敗をしたと考えられる。

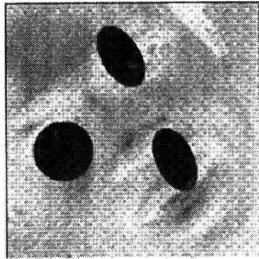


図 17 提案手法探索失敗例 1

図 18 は、図 17 の画像に対して 100 回の繰り返し探索を試みた結果の評価値を昇順に並び替えて表示したものである。縦軸を両眼探索の評価値、横軸を試行回数とする。このグラフを見ると、図 17 の画像に対して最も評価値が低い数回の探索について失敗し、それ以外のある程度評価値が高い場合 (11000~14000) については全て探索に成功している。

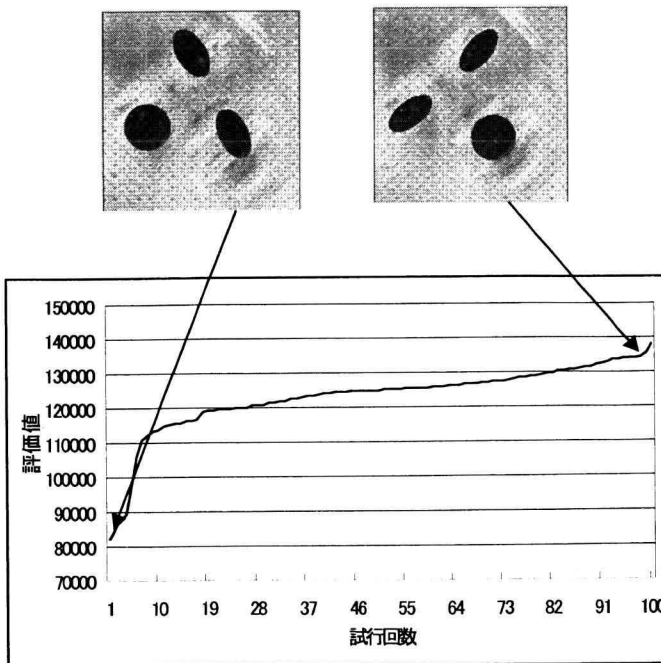


図 18

次に、他の失敗例は図 19 に示す傾いた顔画像で、画像の顔以外に強いエッジを含む背景を含んでいる。そのため、その部分を第3の窓が探索し、ペアウインドウ部も片方が目と眉毛、もう片方が鼻と口を探索失敗している。そこで、図 19 の強い特徴を持った背景を含む画像について以下に検討した。

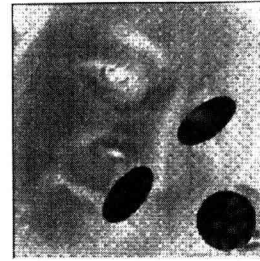


図 19 提案手法探索失敗例 2

図 20 は図 19 の画像に対して 100 回の繰り返し探索を試み、その結果の評価値を昇順に並び替えて表示したものである。縦軸を両眼探索の評価値、横軸を試行回数としている。このグラフにおいて、左側の画像のように探索に成功しているが、背景部を探索している場合の評価値が最も高くなる結果になってしまった。このことから評価値の算出方法に改善の余地があると考えられる。

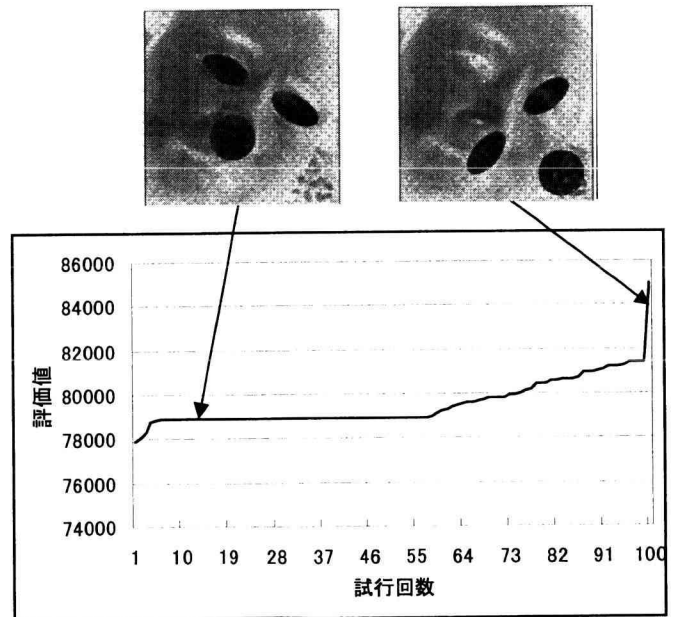


図 20

7. 実験結果のまとめ

これら 3 種類の実験において、それぞれ 2800 回の探索結果を対象画像の種類ごとに表 3 にまとめた。

表 3 実験結果

	探索失敗回数		
	正面画像	傾いた画像	横向き画像
ペアウインドウ	691	316	521
マルチウインドウ	11	54	6
改善後の実験	1	4	0

8. まとめ

網膜認証等に繋げるために対象者の顔部分をカメラに覗き込む等して撮った濃淡画像から両眼の位置検出を目的として実験を行った。

本報告での提案手法では両眼探索に用いる探索モデルをペアウインドウからマルチウインドウにエッジの抽出手法を上下左右の4方向から斜めも含む8方向のラブラシアンフィルタに変更することで、既存の手法よりも精度の向上に成功し、約99.8%という成功率を得ることが出来た。しかし、画像が強い特徴を持つ場合、または特徴のある背景部分を含んでいる顔画像には不正解となった。また、探索失敗時に評価値が最も高く算出された例が確認されたことから、評価に問題が残っていると言える。

8.1 今後の改良点

今回、実験に用いた画像は正面を向いた画像・傾いた画像・少し横を向いた画像の3種類のみであった、それ以外にも例えば画像を撮る角度を上方から撮影した画像や下方から撮影した画像等に対しても同じように実験をして確認する必要がある。

今回の画像に対するマルチウインドウを用いて探索した時とペアウインドウを用いて探索した時の実験結果は、前者の方が高い評価を示したことが確認出来た。しかし、更に多くの画像に対しては引き続き検討が必要である。

また、本研究で用いたマルチウインドウはペアウインドウに鼻・口等の位置情報を考慮した3番目の探索領域を追加したものである。更に、第4、第5といった窓の扱い方の検討をする必要がある。例えば鼻と口をそれぞれ別々の窓で探索させる、顔の輪郭部分を探索する窓を新たに作り位置の背景部分を探索することを防ぐ等の課題がある。

参考文献

- 1) Heywood Absaloms, Takehiko Tomikawa "A Study of Human Eyes' Detection by Window-Pair Chasing"(1996)
- 2) Heywood Absaloms, Takehiko Tomikawa "A Detection Of Human Eyes in Facial Images by Pair-Window Searching", (1995)
- 3) 山岸貴俊, "遺伝的アルゴリズムの画像処理への応用" 神奈川工科大学 電気電子工学科卒業修士論文 (1993)
- 4) 山岸貴俊, "遺伝的アルゴリズムを用いた顔領域からの目の抽出", 第47回情処全大, 2-185(1993)
- 5) 武岡さおり・尾崎正弘・足達義則, "個人認証のための顔画像抽出と顔方向の自動認識"名古屋女子大学紀要第50号, 人文・社会編, pp145-151, 2004
- 6) 高島浩二, "遺伝的アルゴリズムを用いた画像認識システム"筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科修士論文(2002)