

3D顔画像における個人性の分析

長峯 隆 植村 哲也 増田 功

セコム IS 研究所

あらまし 本報告では、3D顔画像を用いた個人照合法を探る基礎実験について述べる。3D顔画像の特徴領域を探索した結果を述べ、効率的な照合のための特徴量として顔の切断線形状を提案する。本実験は、3次元計測した16名の顔データを用いて行った。まず、顔の局所領域の奥行き形状による照合実験によって個人性の大きな領域を探り、顔の中央縦帯状の領域と目の周囲の形状に3次元の個人性が大きいことがわかった。次に、顔を平面や曲面で切った切断線形状を個人特徴とした照合を行い、これらの領域を通る曲線形状の有効性を確認した。また、切断線を2本併用することにより、顔面全体を用いた場合の照合結果以上の良好な成績が得られた。

Analysis of 3D Facial Image Distinctive Features

Takashi Nagamine Tetsuya Uemura Isao Masuda

SECOM Intelligent Systems Laboratory

6-11-23, Shimorenjaku, Mitaka, Tokyo 181

Abstract In this paper, we present a new method based on 3D facial analysis for human face identification. The range data on the 3D face images along different curves of intersection, such as, vertical, horizontal and circular, are used as the distinguishing surface features. Previously, we discovered that the central facial area and area around the features, like, eyes and mouth, have major distinctiveness. An implementation of this idea, using various curves of intersection crossing those area, produced a good facial identification. Also certain combinations of the range data seems to be more effective.

1 はじめに

人の顔を見てそれが誰であるか認識する能力は、人間にとってごくあたりまえのことである。これがコンピュータでできれば、セキュリティの分野でおおいに有用である。

また、顔を識別のための特徴とすれば、指紋による照合システムに比べて心理的抵抗感が少なく、さらに他の特徴に比べて、コンピュータとのマンマシンインターフェースや各種通信分野への応用が広くメリットが大きい。

今日まで顔の認識や照合に関する多数の研究がなされてきた。それらの手法は取り扱い画像によって、(1)正面顔、(2)横顔、(3)立体顔による3つのアプローチに大別できる。

正面顔を用いた初期の研究では、目や鼻、口等の顔の造作の幾何学的なパラメータが識別のための個人特徴として用いられた[1, 2, 3]。しかし、顔の造作を精度良く抽出することは難しい。そこで最近では別の特徴として、顔の全体的な濃度パターン[4, 5]、KL展開係数[7, 6]、等濃線形状[8]を用いた研究がなされている。また、ニューラルネットワークを応用した顔の識別法も報告されている[9, 10]。しかし、化粧や照明環境の変化により顔画像の濃度レベルが不安定となる。

横顔についても、正面顔と同様に今まで多数の研究がなされてきた。横顔シルエットは、3次元顔特徴の一部と考えられる。この手法では、シルエットの自己相関関数[11]やシルエット上の特徴点の幾何学的パラメータ[12]、Bスプライン近似[13]を利用して顔の識別を行っている。また最近では、横顔シルエットを顔の距離画像から抽出した報告もある[14, 13]。横顔シルエットは前述した化粧や照明環境の変化にはよらず安定であるが、これだけの情報で顔の照合に十分かどうかははっきりしていない。

一方、3次元顔による照合へのアプローチが最近報告されはじめた。3次元計測された顔の距離データから計算した凹凸境界線[15]や奥行き[16, 17]、顔表面の曲率[18]が、顔識別のための特徴となる。これらの3次元顔によるアプローチは、横顔シルエットと同様に化粧や照明条件に左右されない強みがある。しかし、リアルタイムで人間の顔を3次元計測するのは2次元画像を得るのに比べると非常に困難である。また、顔全体のデータを用いることは、計算コストやデータの蓄積の面で効率的ではない。顔の特徴領域をできるだけ少ないパラメータで記述した3次元特徴量が望ましい。

そこで本研究では、そのような特徴量を絞り込むために、まず、3次元顔のどの領域に個性が大きいかを探った。顔の距離画像を局所領域に分割し、各局所距離データのみを用いて照合実験を行い、成績の良かった領域を個性の大きい領域と考えた。そして、この特徴領域をさらに絞り込んで効率よく記述するために、顔表面を平面や曲面で切つてできる切断線形状を3次元特徴として、照合実験を通してその有効性を評価した。

2 照合方法

2.1 顔の3次元計測

三次元曲面形状計測装置[19]を用いて、16名、各人10枚の男性の顔の距離データを正面から、メガネなし、無表情の状態で計測した。これにより、奥行き解像度1mmの顔の距離データが横256×縦240画素のサイズで得られる。

2.2 顔の向きと位置の補正

計測された顔の向きと位置の補正を以下のように行った。

まず左右の両目頭と鼻頂点を抽出した。目頭は、まずその大体の位置を目視で見つけ、その周囲で隣接距離データとの差分の大きい点として抽出した。鼻頂点は最も距離の近い点として取り出した。この3点を用いて顔を左右対称に切断する対称面を決め、この面が yz 平面となるようにデータを回転、平行移動した。次に、この対称面と顔の交線(切断線)上をトレースして鼻の上下の付け根点を曲率極大点として求め、この2点を結ぶ方向が y 軸と平行になるように回転し、向きを補正した。最後に再度鼻頂点を求め、これが z 軸上に来るように平行移動し、位置の補正を行った。以上の様子を図1に示す。

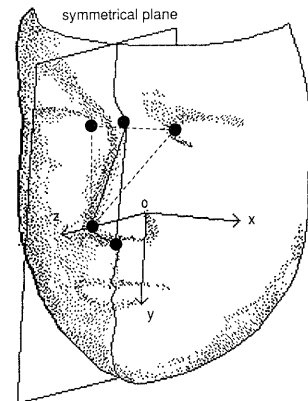


図1: 顔の向きと位置の補正

2.3 マッチング

本実験では用いた顔画像のサンプル数が少ないので、次の方法を採用した。向きと位置の補正後の顔データを p_{ij} とする。 i は人物に対する添字で1~16の値を取る。 j は画像の番号に対する添字で1~10の値を取る。同一人物の10枚の顔データのうち9枚の平均を登録パターンとし、残りの1枚と他人の全ての顔データ150枚を1組の入力パターンとした。ある人物MのN番目の画像 p_{MN} を本人の入力パターンとして用い

るとき、登録パターン $\overline{PMN}$ は以下のようになる。

$$\overline{PMN} = \frac{\sum_{j=1}^{10} PM_j - PMN}{9} \quad (1)$$

このような登録パターンは、同一人物について 10 枚、全部で 160 枚作成できる。1 枚の登録パターンに対して 151 枚の入力パターンのマッチングを 1 セットとして、全部で 160 セットのマッチングを行った。マッチングに際しては、2 つのパターンの鼻頂点の距離データが一致するようにした。

2.4 パターン間の相違の尺度

2 つのパターン間の違いは、以下の L2 距離（ユークリッド距離） d で計算した。

$$d(\overline{PMN}, p_{ij}) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^L (\{\overline{PMN}\}_k - \{p_{ij}\}_k)^2}{L}} \quad (2)$$

ここで、 $\{\overline{PMN}\}_k$ 、 $\{p_{ij}\}_k$ はそれぞれ登録パターン、入力パターンの特徴ベクトルである。特徴ベクトルの成分は領域内、あるいは切断線に沿った各画素 k の距離値である。 L はベクトルの次元である。L2 距離が大きいほど 2 つのパターンの相違は大きい。

2.5 評価基準

本実験では、局所領域の個人性や切断線の有効性を照合シミュレーションにより評価する。照合とは、2 つのパターン間の L2 距離が、あらかじめ設定されたしきい値より小さければ本人、大きければ詐称者と判定することである。ここでは、全ての登録パターン 160 枚に対してマッチングを行って得られた L2 距離の分布結果を元に、しきい値を変えたときの照合結果をシミュレートした。しきい値は 2 通りの定め方をし、それぞれについて局所領域、切断線の評価を以下の指標で行った。

1. 1 位認識率 RR (%)

1 枚の登録パターンとの L2 距離が小さい順に 151 枚の入力パターンを並べる。第 1 位の入力パターンが、その登録パターンと同一人物である場合をカウントする。その数が全セット数 160 に対し r とすると、

$$RR = \frac{r}{160} \times 100(\%) \quad (3)$$

これは登録パターン（登録者）ごとにしきい値（最小 L2 距離）を定めて照合したとき、正しく本人と判定される率である。

2. 本人棄却率 ER (%)

160 セットのマッチングにおいて、すべての異なる人物同士の L2 距離の最小値が t のとき、同一人物同士のマッチングのうちで L2 距離が t より大きい場合の数を e とすると、

$$ER = \frac{e}{160} \times 100(\%) \quad (4)$$

これは全ての登録パターン（登録者）に対し、他人を全て棄却するような一定のしきい値を定めて照合したとき、本人が誤って詐称者と判定される率である。

1 位認識率が高いほど、また、本人棄却率が低いほど照合成績が良い。

3 実験

3.1 実験目的

本研究では、顔の特徴領域を効率的に記述した 3 次元特徴量を絞り込むために、以下の 2 項目を実験目的とした。

- (1) 3 次元顔における特徴領域の探索
- (2) 効率的な特徴候補として考えた切断線形状の有効性評価

3.2 分析領域

顔の距離画像の中で実際に照合対象とする分析領域を定めた。この分析領域は、目、鼻、口、あごを含む矩形領域で、143×159 画素のサイズを持つ。この領域内で、後述する特徴領域の探索および各種切断線を用いた照合実験を行った。またレファレンスのため、この領域全体の各画素の距離データを用いたお面マッチングも行った。

3.3 局所領域

分析領域を縦 10、横 9 の小領域に分割し、図 2 に示すような局所領域を 90 個作成した。各局所領域は 15×15~16×16 画素の大きさで、特徴ベクトル次元は 225~256 である。ただし、登録または入力パターンで距離データがない画素は L2 距離計算に用いない。

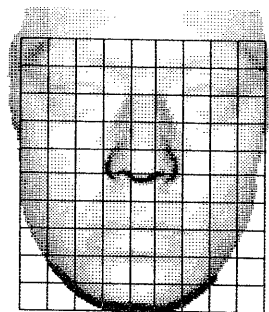


図 2: 分析領域と局所領域（メッシュ領域）

3.4 切断線

以下に示す 3 種類の切断線を用いて照合実験を行った。これらの切断線の例を図 3 に示す。

1. 垂直切断線

垂直切断線は顔と yz 平面に平行な平面との交線として得られる。この平面を分析領域内で x 軸方向に動かすことにより、異なった切断線が抽出される。距離データを 1mm 間隔でサンプリングし、特徴ベクトルの次元を 159 とした。

2. 水平切断線

水平切断線は顔と xz 平面に平行な平面との交線として得られる。この平面を分析領域内で y 軸方向に動かすことにより、異なった切断線が抽出される。距離データを 1mm 間隔でサンプリングし、特徴ベクトルの次元を 143 とした。

3. 円形切断線

円形切断線は顔と中心軸が z 軸と平行で yz 平面上にある円柱との交線として得られる。円柱の半径が変化したり、中心軸が yz 平面上を動くことにより、異なった切断線が得られる。この場合は、分析領域の枠の外にも切断線を作成した。距離データのサンプリング間隔を 1mm で一定とし、特徴ベクトル次元を 60 から 450 まで（半径は約 10 から 72mm まで）変化させた。

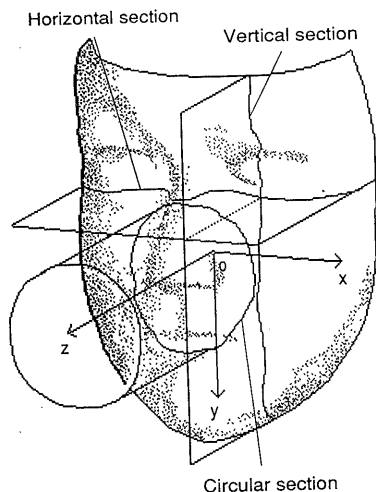


図 3: 実験に用いた切断線

4 実験方法および結果

4.1 特徴領域の探索

各局所領域ごとに、その領域の距離データのみを用いて照合実験を行った。各領域の 1 位認識率、本人棄却率を算出し、それぞれの指標で成績の良い領域のうち上位 32 位（上位約 3 分の 1）までをピックアップした。

図 4 に 1 位認識率が高かった上位 32 位までの領域を示す。これより、顔の中央縦帯状の領域に特徴領域がかたまっていることがわかった。特に、鼻の上下の付け根、口の付近の個人性が大きい。

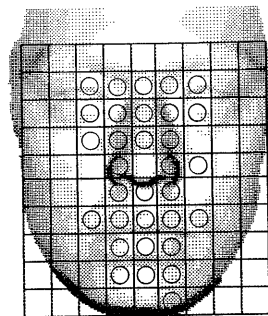


図 4: 1 位認識率が高い特徴領域

図 5 に本人棄却率が低かった上位 32 位までの領域を示す。1 位認識率の場合と同様に比較的顔の中央付近の領域の個人性が大きい、この場合は目の周囲にも特徴領域が認められた。

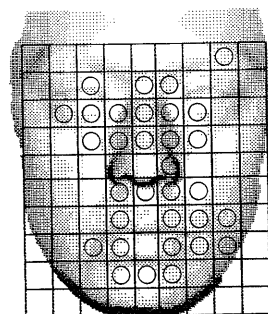


図 5: 本人棄却率が低い特徴領域

4.2 1本の切断線を用いた照合実験

まず、3 種類の切断線を各々 1 本だけ用いて照合を行った。分析領域と垂直、水平切断線の位置との対応関係を図 6 に示す。円形切断線の抽出範囲は分析領域とは無関係である。それぞれの切断線の有効性を、1 位認識率、本人棄却率で評価した。

図 7 に 1 本の垂直切断線による照合実験の結果を示す。横軸は垂直切断線の位置である。0 は正中線的位置にあたり、負の領域が向かって顔の左半面、正の領域が右半面である。単位は mm とした。また、縦軸は 1 位認識率、本人棄却率を表している。

全体的な傾向として、顔の中央付近の切断線を用いたときは本人棄却率が低く 1 位認識率が高い。切断線の位置が両端

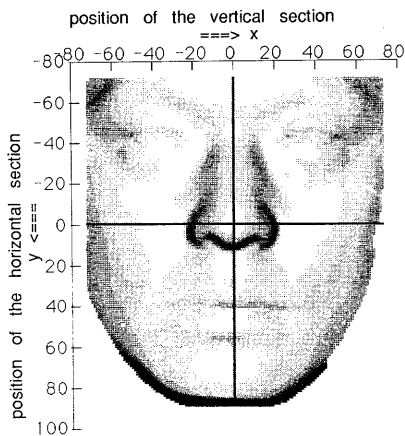


図 6: 分析領域と垂直, 水平切断線の位置との対応関係

に行くにしたがって照合成績が悪くなった。照合成績が良かった顔の中央の領域のなかでも特に、-15, 0, +20 の位置付近における切断線の有効性が大きい。位置が -15 および +20 付近の切断線は小鼻, 口, 目頭の近傍を通っている。最高 1 位認識率は 99.4%, 最低本人棄却率は 3.8% であった。ちなみに前述した分析領域内部の全画素における距離データを用いた照合実験では、1 位認識率 98.8%, 本人棄却率 3.8% であり、1 本の垂直切断線のみでもその位置によっては、顔全体を用いたお面マッチングの場合とほぼ等価な照合ができることがわかった。

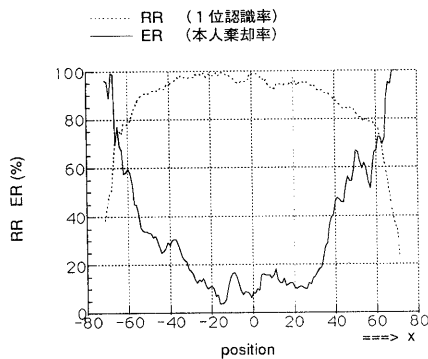


図 7: 垂直切断線による実験結果

図 8 に 1 本の水平切断線による照合実験の結果を示す。横軸は水平切断線的位置である。0 は鼻頂点を横切る水平切断線的位置にあたり、負の領域が顔の上半面、正の領域が下半面に対応する。縦軸は 1 位認識率, 本人棄却率である。

この図から、上半面の切断線を用いた方が下半面の切断線を用いる場合より照合成績が比較的良好な傾向が見られる。しかし垂直切断線に比べると、水平切断線的位置に対して 1 位認識率, 本人棄却率の値が大きく変動しており、個人性が大

きい位置を特定するのは困難である。また、この場合の最高 1 位認識率は 96.3%, 最低本人棄却率は 12.5% であり、いずれも垂直切断線に比べると照合成績が良くない。以上から、水平切断線の個人性は比較的小さいと考えられる。

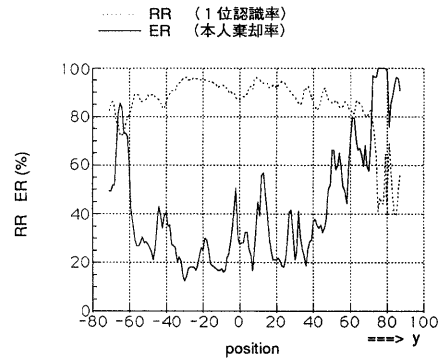


図 8: 水平切断線による実験結果

円形切断線に関しては、円の中心位置を正中線上で変え、それぞれの円形切断線を用いた照合実験を行った結果、鼻頂点から上方 40mm の位置を中心とした場合に、照合成績が良く比較的広い領域を見つけることができた。図 9 にそのときの円形切断線による照合実験の結果を示す。この実験では、円の半径が 20~30mm の範囲で照合成績が安定して良好であった。最高 1 位認識率は 100%, 最低本人棄却率は 1.3% となった。この本人棄却率の値は、1 本の切断線を用いた照合実験では最低である。また、このときの円形切断線の一例を図 10 に示す。この切断線は、目の近傍の 3 次元形状を反映している。

4.3 2本の切断線を用いた照合実験

1 本の切断線のみでも、選び方によっては照合能力の高いものがあることがわかった。そこで、もう 1 本の切断線を併用することにより、さらに高精度な照合が期待できる。ここでは 2 本の切断線の組み合わせを 2 種類とり、それぞれ照合実験を行った。1 本の切断線を用いた照合実験で好成績をおさめた顔の中央を通る垂直切断線（正中切断線）を常時用いて、それともう 1 本の他の切断線を併用した。正中切断線と併用したのは他の垂直切断線と水平切断線である。2 本の切断線を以下の 2 通りの方法で併用した。なおこの実験では、本人棄却率のみで評価を行った。

1. 接合法

2 本の切断線をつなげて一つの特徴と考える。特徴ベクトルの次元数は両者の和となる。接合した切断線を用いて、1 本の切断線の場合と同様に照合した。この手法では、特徴ベクトルが高次元となるので照合成績を上げやすいと思われる。しかし、成績の悪い切断線が加わると、もう片方の切断線を単独で照合に用いるより全体として照合成績が悪くなる危険性がある。

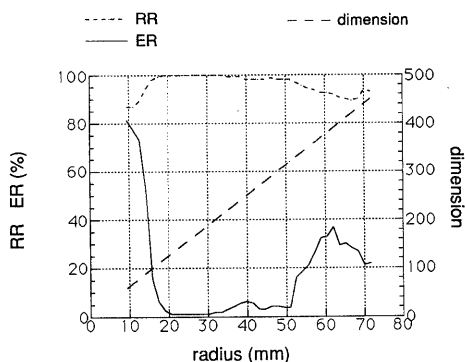


図 9: 円形切断線による実験結果

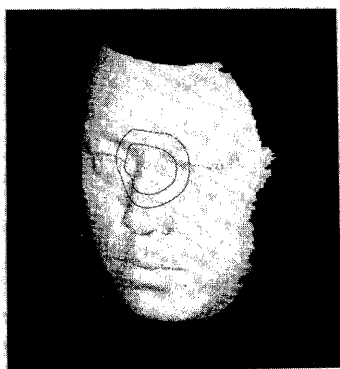


図 10: 照合に効果的な円形切断線の例

2. 論理和法

2本の切断線を別々の特徴とみなし、各切断線ごとに照合を行う。それぞれの切断線を用いて詐称者を完全に棄却したときの本人受理の集合を考え、少なくとも一方の切断線により受理されれば本人と判定する。どちらの切断線でも受理されない場合は詐称者と判定する。当然、この手法での本人棄却率は、それぞれの切断線を単独で用いて照合したときより大きくはならない。なお、詐称者をよりきびしく棄却するために本人受理集合の論理積を取る方法もあるが、今回は本人棄却率を低めることに着目し論理和法を選択した。

図 11に正中切断線と垂直切断線の2本の切断線による照合実験の結果を示す。横軸は正中線と共に用いられた垂直切断線の位置であり、縦軸は本人棄却率を示す。

まず、接合法による照合結果を見ると、1本の垂直切断線のみを用いて照合する場合よりも、全体的に照合成績が良くなっている。最低本人棄却率は1.3%となった。しかし、照合成績が正中線のみ、あるいはその位置での切断線のみを用いた場合より良好だったのは、 $-15 \sim -40$ 、 $+30 \sim +40$ の近傍の範囲に限られている。

次に論理和法の照合では、それぞれの切断線を単独で用いた場合に比べて、顔のかなり広い範囲で本人棄却率が低くなった。特に照合成績が良好だったのは、正中線の位置からx軸方向に $\pm 20\text{mm}$ 前後離れた位置における切断線との併用で、最低本人棄却率は1.9%であった。接合法よりも論理和法の方が効果的であった。

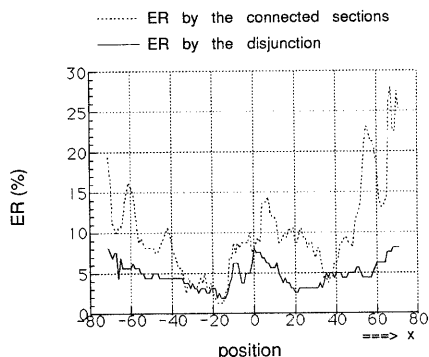


図 11: 正中、垂直切断線の併用による照合実験結果

図 12に正中切断線と水平切断線の2本の切断線による照合実験の結果を示す。横軸は正中線と共に用いられた水平切断線の位置であり、縦軸は本人棄却率を示す。

まず接合法による照合では、本人棄却率は、 $-70 \sim -50$ 、 $-10 \sim +10$ の位置で低く安定している。 $-70 \sim -50$ の位置は上脛から額にかけての領域、 $-10 \sim +10$ の位置は鼻頂点の付近に対応している。本人棄却率の最低値は4.4%であった。

一方、論理和法による照合結果を見ると、本人棄却率の値が顔の広い範囲で正中線のみを用いた場合の値より低く抑えられている。上半顔における切断線との併用が効果的であり、特に上脛に相当する $-50 \sim -40$ の位置の切断線との併用で本人棄却率が1.9%となった。垂直線との併用の場合と同様に、この場合も接合法より論理和法の方が照合成績が良好であった。

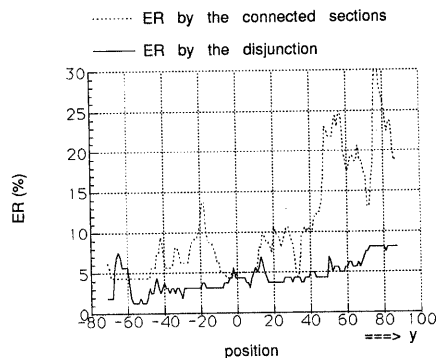


図 12: 正中、水平切断線の併用による照合実験結果

ここで正中線との併用が効果的な切断線の例を図13に示す。

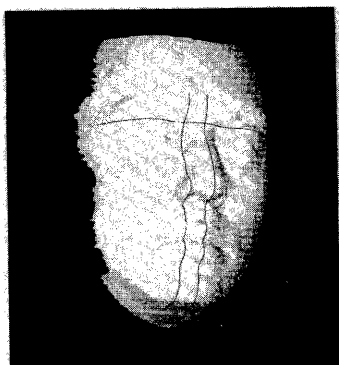


図 13: 正中切断線との併用が効果的な切断線の例

5 考察

5.1 特徴領域

鼻頂点を基準点として3D顔画像を考えた場合、目の周囲および顔の中央縦帯状の領域に大きな個性があることがわかった。顔の中央縦帯状の領域には鼻や口の顔の造作が含まれており、顔の造作の形、位置、その周囲の3次元形状が個性に大きく関わっていると思われる。また、この領域は横顔輪郭線を含んでいる。今まで横顔輪郭線を用いた個人識別の研究が多数なされてきたが、本実験により横顔輪郭線を識別のための個人特徴として用いる妥当性が再確認された。

5.2 1本の切断線形状の個性

垂直切断線を用いた照合実験では、顔の中央の領域において大きい個性が認められた。この領域の垂直切断線は前述した特徴領域を切断しているため、この結果は当然である。横顔輪郭線に相当する正中切断線が照合に有効であることは予想通りであったが、それ以外にも、そこから20mm前後離れた切断線（目頭の近傍、小鼻、口を通る）の個性がかなり大きいことは興味深い。

また、円形切断線についても個性の大きな場合が認められた。円の半径によって特徴ベクトルの次元数が異なるため一概には比較できないが、照合に有効となる円形切断線は顔の造作、特に目の近傍を通り、その周囲の3次元形状を反映したものである。円形切断線は1本の切断線としては照合成績が最も良く、また、顔の回転に対してロバストであることから、識別特徴として有望である。

一方、水平切断線は垂直切断線や円形切断線に比べて個性が乏しく、単独では識別特徴として不適切である。本実験で行ったように、他の切断線特徴を補うような形で利用するのが良い。

5.3 複数切断線の併用法の評価

本実験では、正中切断線ともう1本の垂直切断線あるいは水平切断線を併用した。

接合法においては、特徴ベクトルの次元が増えたことにより照合成績が上がった領域はごく一部に限られていた。これは前述した通り、単独で用いた場合の照合成績が悪い切断線が正中切断線の足を引っ張り、個性を打ち消してしまったことが原因である。

それに対して論理和法では、照合成績が接合法による場合よりも良好であり、照合手法として有望である。しかしこの手法では、一度棄却された他人にリトライのチャンスを与えることになる点が問題である。その場合は、片方の切断線による2つのパターンのL2距離がある値以上大きいときは、もう片方の切断線による照合結果に依らず詐称者と判定する等の対策が必要である。

5.4 効果的な切断線の組み合わせ

正中切断線との併用で効果的だったのは、目頭の近傍、小鼻、口を通る垂直切断線、あるいは、上脛を通る水平切断線であった。前者については、単独で照合に用いた場合も照合成績が良く、かつ正中切断線とそれほど似ていないため、相補性が高く有効であったと考えられる。正中切断線に近接し、それと類似した垂直切断線との併用では、あまりその効果が認められなかったことは対照的である。また水平切断線については、単独で照合に用いた場合に照合成績は悪いが、正中切断線との類似性はほとんど無く、相補性が高かったと思われる。このように、複数の切断線を用いて照合を行う場合は、各々の切断線を単独で用いても照合成績がよいか、あるいは相補性が大きいことが要求される。これは、接合法、論理和法両方に言えることである。

この場合の照合成績は、顔全体の距離データを用いて照合を行った場合より良好であり、2本の切断線のみでも高精度な照合が期待できる。しかし、登録人数が増えた場合、更に多くの切断線の3次元情報が必要となることが予想される。

6 むすび

16名の3D顔画像を用いて照合のための個性の分析を行った。その結果、以下のことがわかった。

1. 顔の中央縦帯状の領域、および、目の近傍領域に3次元的な個性がある
2. 顔の中央領域を通る垂直切断線の個性が大きい
3. 目の近傍を通る円形切断線の個性が大きい
4. 水平切断線の個性は乏しい
5. 目の近傍、小鼻、口を通る垂直切断線、あるいは、上脛を通る水平切断線を正中切断線と併用することにより、高精度な顔照合が期待できる

本実験では、3次元顔の特徴領域および切断線形状の照合有効性について興味深く有益な所見が得られた。しかし、用いた顔のサンプルが少ないため、データ数を増やしてこの確認をする必要がある。また、2つのパターンを鼻頂点が一致するようにフィッティングする本手法は不安定と考えられるので、別のフィッティング法も検討したい。パターン間の相連の尺度として重み付きL2距離の導入、別の3次元特徴量の有効性の評価、顔の向きの自動補正も重要な検討課題である。今後は、これらの検討項目とあわせ、今回扱わなかった眼鏡画像についても取り組み、実用性の高いシステムの構築を目指す。

参考文献

- [1] T.Kanade, "Picture Processing System by Computer Complex and Recognition of Human Faces", Ph.D. Thesis Kyoto University, 1973.
- [2] 増井信彦, 内藤誠一郎, "目の輪郭による個人性の分析", 信学技報, PRU88-140, pp.39-46, 1988.
- [3] 萩原栄一, 増田功, "パターンマッチングを主体にした顔画像による個人ID", 信学技報, PRU88-46, pp.53-60, 1988.
- [4] 佐々木努, リチャード ワレス, 赤松茂, 末永康仁, "パターン照合法にもとづく顔画像認識システムの基礎検討", 信学技報, PRU90-43, pp.17-24, 1990.
- [5] 徳見修, 植村哲也, 増田功, "モザイク顔画像による個人照合", 1991 画像電子学会年次大会予稿 7, pp.25-28, 1991.
- [6] M.Turk and A.Pentland, "Face Recognition without Feature", Proc. of MVA '90 IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.267-270, 1990.
- [7] M.Kirby and L.Sirovich, "Application of the Karhunen-Loève Procedure for the Characterization of Human Faces", IEEE Trans. PAMI, Vol.12, No.1, Jan.1990.
- [8] 上野邦和, 加藤雅弘, 高橋和樹, 中村納, 南敏, "顔画像による個人識別", 信学技報, ISEC90-16, pp.1-8, 1990.
- [9] H.Midorikawa, "The Face Pattern Identification by Back-Propagation Learning Procedure", Abstracts of the First Annual INNS Meeting, Boston, p.515, 1988.
- [10] 小杉信, "ニューラルネットを用いた顔画像識別の一検討", テレビジョン学会技術報告, Vol.14, No.50, pp.7-12, VAI '90-30. Sep.1990.
- [11] G.J.Kaufman and K.J.Breeding, "The Automatic Recognition of Human Face from Profile Silhouettes", IEEE Trans. Syst., Man. & Cybern., SMC-6, No.2, pp.113-121, 1976.
- [12] L.D.Harmon, M.K.Khan, R.Lasch and P.F.Ramig, "Machine Identification of Human Faces", Pattern Recognition, Vol.13, No.2, pp.97-110, 1981.
- [13] 阿部亨, 阿曾弘具, 木村正行, "3次元データより得られる横顔輪郭線を用いた人間の顔の自動識別", 信学論, Vol.J73-D-II, No.9, pp.1468-1476, 1990.
- [14] J.Y.Cartoux, J.T.Lapresté and M.Richetin, "Face Authentication Or Recognition By Profile Extraction From Range Images", Proc. IEEE Workshop on Interpretation of 3D Scene, pp.194-199, 1989.
- [15] J.T.Lapresté, J.Y.Cartoux and M.Richetin, "Face Recognition from Range Data by Structural Analysis", NATO ASI Series, Vol.F45, Syntactic and Structural Pattern Recognition, Springer-Verlag, 1989.
- [16] 阿部亨, 阿曾弘具, 木村正行, "3次元表面形状による人間の顔の自動識別 - Bスプライン曲面の制御点を利用して -", 信学論, Vol.J73-D-II, No.9, pp.1477-1484, 1990.
- [17] 増井信彦, 赤松茂, 末永康仁, "3D計測による顔画像認識の基礎検討", テレビジョン学会技術報告, Vol.14, No.36, pp.7-12, ICS '90-51, AIPS '90-43, June.1990.
- [18] 田中弘美, 岸野文郎, "面曲率を用いた顔の同定", 情処研報, 91-CV-73, pp.17-24, 1991.
- [19] 上杉満昭, 猪股雅一, "イメージエンコーダを用いた3次元曲面形状計測 - スリット光走査によるマクロ形状計測 -", 第4回産業における画像センシング技術シンポジウム論文集, pp.235-240, 1989.