

研究テーマ 顔の属性モデルに関する研究

研究者 伊藤秀昭 中京大学
興水大和 中京大学

共同研究員
兼業研究員

フェーズ I

1 研究の概要

実環境に耐え得る情報システム構築のための知的センシング技術には、人間センシング技術が不可欠である。本研究では、中でも人の顔に注目し、画像メディアとしての顔属性を画像処理によって自動的に検出・モデル化する基礎技術を開発すると共に、この顔属性モデルと顔概念モデル（丸い顔、若い顔、など）の対応関係検索の操作性を支援するためのデータベース化における基盤を確立した。

2 研究の目標

顔及び顔部品からの、輪郭線を用いた顔情報の記述手法として、顔部品のモデル化を確立する。モデル化した情報は人物属性（年齢や性別）の推定に用いられる。更に、顔属性（丸い顔、若い顔、などのキーワード）をモデル化し、顔属性モデルと顔概念モデルを対応させることで、キーワードからの探索が可能なデータベースの構築を目標とする。

顔画像から円の Hough 変換を用いた手法により瞳を検出し、瞳位置を基準に顔部品領域を検出する。検出した領域から顔属性モデルの一つとして K-L 展開を用いた瞳輪郭検出によるモデル化を行った。また、テクスチャ情報に着目し、Digital Template Hough Transform (DTHT) により皺を検出し、モデル化を行った。なお、この皺モデルを用いることで年齢や性別といった人物属性の推定が可能となる。

更に、これら顔属性モデルに対して、言語キーワード群である顔概念モデルを対応させて検索等を行うためのデータベース構築を目指し、特異値分解による検証を行った。

3 実施内容

3.1 瞳検出手法の開発

カメラで入力された画像から、瞳を検出する手法を開発した。

円の Hough 変換を用いて瞳を検出する。まず、瞳境界の候補となるエッジ点をパラメータ空間 (a, b, r) に投票する。ここで、 (a, b) は瞳の中心座標、 r は半径である。図 1 に円の Hough 変換パラメータ空間を示す。パラメータ空間サイズにおける a 値は、先に検出した顔領域の水平サイズから算出し、 b 値は $(0 \leq b < 480)$ の範囲で、経験的に算出したエッジ画像の上から 4 分の 1、下から 5 分の 2 の領域を除いた範囲に限定した。 r 値は、ノイズの影響による検出精度の低下を避けるため、経験的に $(8 \leq r < 14)$ に限定した。

下記生物学的基準による瞳の選択方法を用いて瞳候補対を選択する。

- ・左右の瞳は、ほぼ水平。
- ・左右の瞳の半径は、ほぼ同じ。
- ・前述の処理は瞳の存在する領域以外であっても候補を選出することがある。

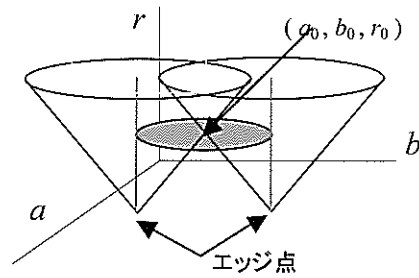


図 1. 円の Hough 変換におけるパラメータ空間

検出した多数の瞳候補から、先に検出した顔領域の中央を境界に、左右の瞳に分類する。上記の事実を満たす、瞳検出方法を以下に示す。

- Step 1. 投票数の最大値を K とする。
- Step 2. K 以上の円を瞳候補として選出する。
- Step 3. 顔領域中央を境界とし、Step 2. で選出した円と対になる円を全て選択する。
- Step 4. 左右の円間の垂直距離が閾値以上のものをリストから削除する。
- Step 5. 左右の円間の半径差が閾値以上のものをリストから削除する。
- Step 6. 左右の円間の水平距離 X が最短である X_{min} を求め、 $X_{lr} \geq X_{min} + \alpha$ (ただし α は定数) を満たす候補を削除する。

以上で円の候補が一つのみの場合、左右の瞳として検出する。候補が複数残っている場合、任意対を瞳として検出する。また、すべての円の候補が上記ステップにより削除された場合、 $K=K-1$ として Step 2 に戻る。

瞳を基準としたのは、形状に個人差が少なく安定した検出が期待できるからである。顔部品領域の検出は、顔画像を縦方向、横方向に射影し得られる 1 次元像を用いて行う。

3.2 主要顔部品検出手法の開発

顔の主要な部品として、目、鼻、口、眉などの顔部品領域を顔画像から画像処理により検出する技術を開発した。

2 値化した画像に対して、縦方向・横方向の濃度値の射影ヒストグラムを生成する (図 2)。縦方向の射影を走査し、射影ヒストグラム f の座標 i における値 f_i と f_{i-1} の差がある一定の閾値を越えた個所を顔領域の左右の位置とする。顔領域の上位置も同様に横方向の射影を走査することで決定する。画像中に示された線が顔領域として検出された位置である。また、ここでは額位置の検出も行。額位置の検出は、横射影ヒストグラムを走査対象に、顔領域上位置から走査を行い、最初に差分が閾値を越えた位置を額位置とする。

各々の顔部品領域は、まず顔画像を 2 値化し、これに射影処理を行うことによって検出する。各々の顔部品領域の上下位置は、瞳の位置を基準にして行う。顔部品領域検出までの流れを図 3 に示す。

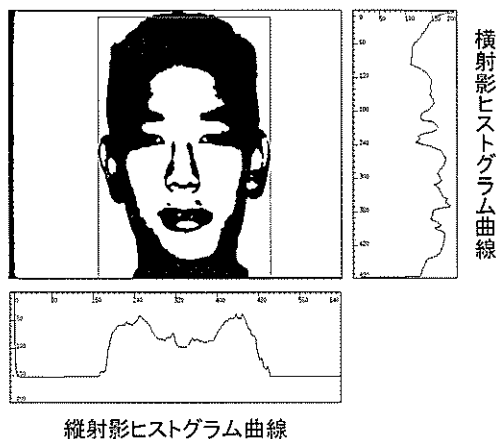


図 2. 顔領域と射影ヒストグラム曲線

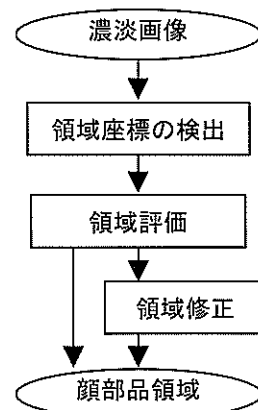


図 3. 顔部品領域検出の流れ

顔領域の中心を基準に、図 4 に示すように、左右幅 100 画素の領域に対して、部分横射影ヒストグラムを生成する。射影処理を部分的に用いるのは、顔領域全体に処理を施すと耳や顔輪郭も含むため、各顔部品位置を検出する指標が不明確になるからである。各々の顔部品の上下位置は先の部分横射影ヒストグラムを基に、瞳を基値として走査し、各射影ヒストグラムの座標 i における値 f_i と f_{i-1} の差がある一定の閾値を越えた個所と決めた。同様に、瞳位置から上方向に走査し、閾値を越える個所を順に、目領域の上位置、次を眉領域の下位置、さらにその次を眉領域の上位置とした。また、下方向にも走査し最初に閾値を越える個所を目領域の下位置、次を鼻領域の上位置、更に順に、鼻領域の下位置、口領域の上位置、下位置とした。各顔部品領域の左右の位置は、得られた各部品の上下位置の間の部分縦射影処理ヒストグラムをそれぞれ生成して決めた。具体的には、目領域・眉領域の左右の位置は、瞳位置を基に左右方向へ走査し、それぞれ最初に閾値を越える個所とした。また、鼻領域、口領域の左右の位置は、顔領域の中心を基に左右に走査し、それぞれ最初の閾値を越える個所とした。図中の番号は各顔部品の対応を示す。

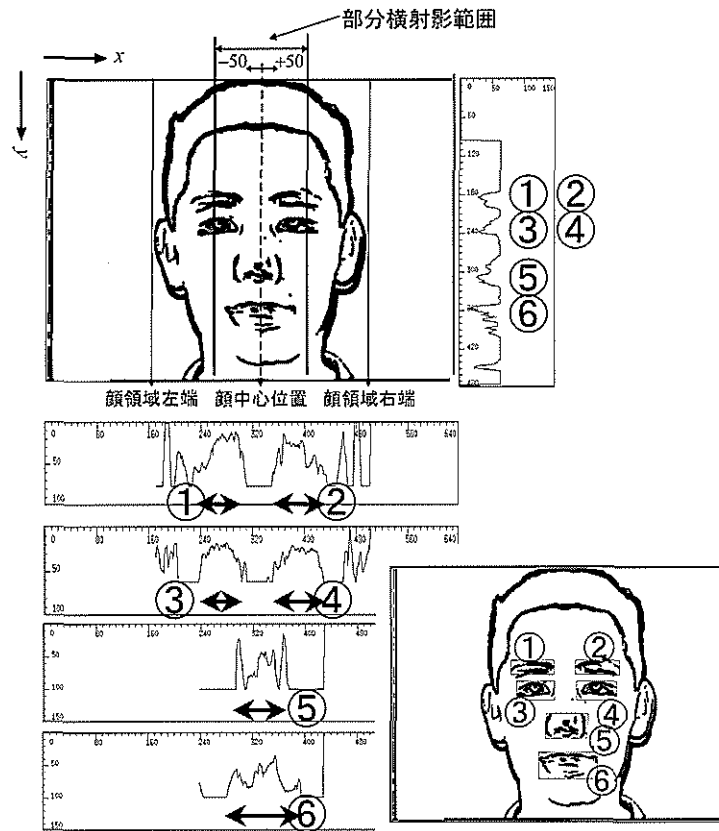


図 4. 部分射影範囲

3.3 瞳輪郭検出手法の開発

顔部品領域のうち、目領域内のエッジ点を検出し、それらを K-L 展開で学習した目形状に関する知識と照合し、目輪郭を検出する手法を開発した。目形状に関する知識は少数のパラメータで表現されており、照合は Hough 変換に相を得た方法で実現し、最良のパラメータの組を求めることによって特徴点として検出する。最終的に検出された特徴点群を目のモデルとする。

顔部品輪郭を n 個の特徴点 (座標を表わす $2n$ 個のパラメータ) で表現する。その際、 $2n$ 次元のパラメータ空間には、対象とする顔部品形状ではありえないパターンも含まれる。そこで、 $2n$ 次元空間に、手入力による形状データを配置した時に、大部分が比較的低次の部分空間に集中するであろうことを予想し、その部分空間を K-L 展開 (Karhunen-Loeve expansion) で求めることとした。 $2n$ 次元空間を低次の空間に制限することが、人の視覚による顔部品形状認識の知識を利用することに相当している。目輪郭を 10 個の特徴点で表現する。手入力により目輪郭を 10 点の特徴点で表現したデータを、教師データとして多数用意する。瞳の特徴点から瞳の中心座標を求め、左右の瞳の

中心座標がそれぞれ $(-1, 0)$ 、 $(1, 0)$ となるように教師データを正規化する。正規化された教師データの目の特徴点座標系列を 20 次元の特徴ベクトルとして入力して K-L 展開し、それによって求まる固有値のうち、大きい方から 4 つを選択する。これは、大きい方から 4 つの固有値を用いることで、累積寄与率が 85% に達するため、このようにした。このとき、特定の目形状は、これら 4 つの固有値に対応する固有ベクトルによる展開係数によって、

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} + \sum_{k=1}^m \gamma_k \begin{pmatrix} v_{1,k} \\ \vdots \\ v_{n,k} \end{pmatrix} \quad (1)$$

のように表現できる。ここで、 q_j ($j=1, 2, 3 \dots 10$) は各特徴点の位置を表す 2 次元ベクトル、 u_j は j 番目の特徴点の位置ベクトルの平均値、 γ_k は k 番目の固有ベクトルに対するパラメータ係数 (展開係数)、 $(v_{1,k}, v_{2,k}, \dots, v_{n,k})^T$ は k 番目の固有ベクトルである。ただし、 n は特徴点の数 10、 m は固有ベクトルの数 4 である。式 (1) において、パラメータ係数 γ_k を全て 0 にすると平均目が得られる。このことから、 γ_k の値を適当に変化させることによって様々な目の形状が得られることがわかる。図 5 に式 (1) の 4 つのパラメータ係数 γ_k を個々に変化させた右目の形状を示す。図中において、目形状付近にある点は瞳の中心位置を表わす。図 5 から、 γ_1 を変化させると目形状の位置が上下に変化し、 γ_2 を変化させると左右の目の形状の大きさが変化し、 γ_3 を変化させると上まぶた下まぶたの長さが変化し、 γ_4 を変化させると目が回転することがわかる。

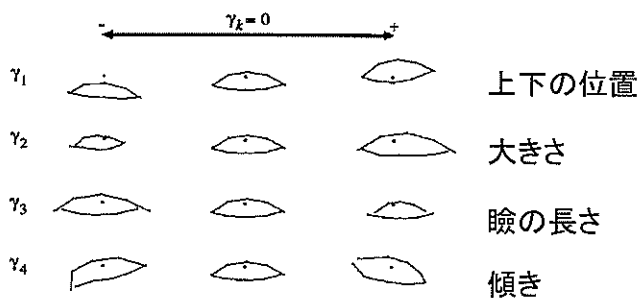


図 5. パラメータ変化に伴う目輪郭特徴点の変化

前処理として、顔の濃淡画像から検出した目領域内で、マッチング対象となるエッジを検出するため、エッジ強調、2 値化、細線化を行う。次に、領域の上下左右端それぞれより逆方向 (上端からなら下方向) に画像を走査する。この時、最初に見つかるエッジを選択する。全ての方向から走査し終わった時点で選択されていないエッジを削除することで、図 5-22 に示すような最も外側にのみ画素があるようなエッジ画像を生成する。最後に、学習時における画像の座標系 (左右の瞳の中心位置が $(-1, 0)$ 、 $(1, 0)$) と認識対象の画像の座標系を一致させるために、学習部で求めた各特徴点の平均位置 u_j と固有ベクトル $(v_{1,k}, v_{2,k}, \dots, v_{n,k})^T$ に対して、 $(-1, 0)$ 、 $(1, 0)$ を認識対象であるエッジ画像上での左右の瞳の中心位置に変換するような affine 変換 (平行移動、拡大縮小、回転) を施す。

図 5 にその例を示すように $\gamma_1 \sim \gamma_4$ の値を指定すると形状が定まる。そのため、検出される目輪郭がエッジ画像にできるだけ一致し、同時に平均目形状から過度に離れないようにする評価関数を定め、これに基づいて $\gamma_1 \sim \gamma_4$ を求める。 j 番目の特徴点 q_j に最も近いエッジ p_i までの距離の 2 乗

$$d_j = \min_i \|q_j - p_i\|^2 \quad (2)$$

を用いて、評価関数を

$$d = \sum_{j=1}^n d_j + \sigma^2 \sum_{k=1}^m |\gamma_k| \quad (3)$$

と定義する。ただし、 σ^2 は適当な正定数である。第 1 項はエッジと特徴点の一致度を表し、第 2 項

は平均目形状からのずれを表す。

特徴点の近くにエッジが検出されない場合、評価値が異常に高くなり、他が適切であっても、解として選ばれない問題が発生する。そのため、式(3)において d_j がある値 d_{max} を超すときには d_j の値を d_{max} に置き換えている。なお、 d_{max} の値は経験的に9とした。

この評価関数を最小にする $\gamma_1 \sim \gamma_4$ を求めることで、最適な目輪郭が得られるが、この評価関数は微分可能ではないので、ニュートン法等を用いて最小化することは困難である。そこで、Hough変換に想を得た以下のような方法で準最適解を求めることとした。

まず、エッジ $p_i (i=1, 2, 3 \dots M)$ (M はエッジ数) から任意に2点 p_a, p_b を選び、それらと $q_1 \sim q_{10}$ より任意に選んだ2点 q_s, q_t が一致すると仮定し、式(1)から導かれる連立方程式

$$\begin{aligned} p_a &= u_s + \gamma_1 V_{s,1} + \gamma_2 V_{s,2} + \gamma_3 V_{s,3} + \gamma_4 V_{s,4} \\ p_b &= u_t + \gamma_1 V_{t,1} + \gamma_2 V_{t,2} + \gamma_3 V_{t,3} + \gamma_4 V_{t,4} \end{aligned} \quad (4)$$

を解く。その解 $\gamma_1 \sim \gamma_4$ を式(1)に代入すれば全ての q_j が定まり式(3)から評価値が定まる。以上のような作業をエッジ $p_i (i=1, 2, 3 \dots M)$ 、特徴点 $q_j (j=1, 2, 3 \dots 10)$ のすべての組み合わせに対して行い、評価値が最小になる組み合わせにおける $\gamma_1 \sim \gamma_4$ を解とする。なお、組み合わせの総数は、 $M C_2 \times 10 C_2$ である。なお、式(3)の算出において、実際には特徴点とエッジの距離をその都度算出せず、あらかじめエッジ画像に対して距離変換を施しておき、特徴点の位置における画素値の2乗を累積するようにしている。

3.4 皺検出手法の開発

皺の検出手法を開発した。顔画像より検出した複数の皺をまとめて皺モデルとして扱う。

カラー顔画像を用いて、目や口といった肌以外の領域を除去した肌領域を検出する。肌領域検出は、HSV表色系へ変換した後、各チャンネルにおける肌の属する範囲を検出する。具体的には、RGB画像を

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1}(C_1 / C_2) \\ S &= \sqrt{C_1^2 + C_2^2} & C_1 &= R - Y = 0.7R - 0.59G - 0.11B \\ V &= 0.3R + 0.59G + 0.11B & C_2 &= B - Y = -0.3R - 0.59G + 0.89B \end{aligned} \quad (5)$$

より HSV表色系へ変換し、色相画像・彩度画像・明度画像を生成する。

次に、顔画像データの統計的解析より定義された

$$LowerTh. < SKINColor < HigherTh. \quad (6)$$

にしたがって、肌領域を検出する。本処理の目的は、ヒストグラム均等化処理を行う際に必要な濃度変換カーブを求めるためであり、肌のみ領域が得られることが望ましい。ヒストグラム均等化処理は、等濃度領域を強調表現でき、肌領域から作成した濃度変換カーブを画像全体に対して用いることにより、皺を強調した結果を得る効果がある。

次に、検出した肌領域の濃淡画像から、ヒストグラムを作成し、肌領域におけるヒストグラム均等化処理を行うことで、皺のコントラストを強調する。ヒストグラム均等化処理は、ほぼ等濃度領域内の濃淡差のディテールを強調することができる。具体的には、最初に検出した肌領域のヒストグラムを作成する、次に累積ヒストグラムを作成した後、累積ヒストグラムの高さを濃度階調幅に正規化し、濃度変換カーブとする。この濃度変換カーブを肌領域に対して使用することにより、皺のコントラストを強調する。

次に、皺を強調した画像から、線分検出処理を施すことで皺を検出する。具体的には、エッジ検出、細線化、孤立点除去などの前処理を行った画像に対して、Hough変換を行い、線分として皺を検出する。ここで、投票度数のピークを閾値として用いる通常のHough変換では、皺のような長短の線分が混在する画像から両者を同等に検出することが困難であるため、線分の密度を閾値に用いて長短の線分を同等に検出するDTHT(Digital Template Hough Transform)を用いた。線分として検出した皺から、目、鼻、口などの輪郭である線分を削除することで、最終的に皺モデルとして扱う。

3.5 人物属性（性別、年齢）推定手法の開発

皺モデルと年齢の比較テーブルを用いることで年齢推定を行う手法を開発した。検出した皺モデルと、顔全体での位置や皺モデルの長さおよび太さのテーブルとを比較することで、年齢を推定する。テーブルの作成については、「顔画像データベースの構築」における15歳から64歳までの男女300人分の正面顔画像を用いて、皺検出により、5歳毎に共通する皺を検出する。また同時に、似顔絵生成手法であるPICASSOシステムを用いて、上記顔画像から平均顔を作成する。作成した平均顔に対して、年代毎に共通する皺をアフィン変換によってはめ込んだ線画を作成する。作成した線画を被験者に提示し、皺を含んだ線画の顔から年齢を推定させることで「見た目の年齢」のテーブルを作成する。

図6に示すように女性の場合、化粧などにより顔部品の線分は検出されるものの、皺はほとんど検出できない場合がある。女性が化粧をする目的は、自分を綺麗に見せるためであり、年齢を見極められやすい目尻の皺などを化粧によって隠すことは、当然である。しかしながら、化粧で皺を隠すことはできても、頬の部分における脂肪の緩みなどといった顔輪郭の形状変化は、整形などを行わない限り隠すことができないことから、年齢を推定するためには皺のみではなく、顔輪郭形状なども判定評価の基準に加えることが望ましいと考えられる。そのため、図7に示すように先に性別推定を行い、判定後にそれぞれ専用の年齢推定を行う。



図6. 化粧によって皺検出ができない例

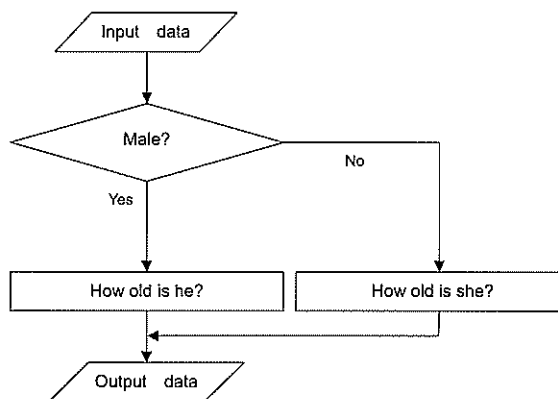


図7. 性別・年齢推定処理の流れ

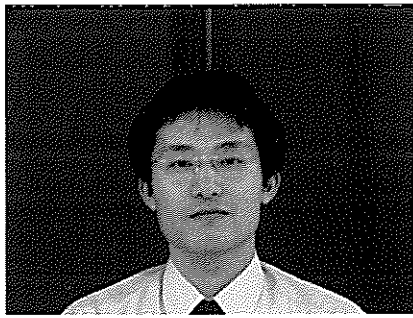
3.6 顔属性モデルのデータベース化における基盤構築

言語キーワードである顔概念モデルから顔画像を検索するシステムを支援するデータベース基盤を構築する。

人間は顔を見るとき、数値的なデータだけで認識をしているのではなく、顔全体から受けるイメージや印象を受けそれらを記号として捉え、それらがキーワードとして顔と一体化されて認識していると考えられる。例えばある人物の顔を、「色白」「面長」「茶髪」「性別」「眼鏡」などといった身体的な特徴を表す用語が顔と一体化されている。したがって、数値的なデータだけではなく、用語で表されるようなデータを顔データと一体化して扱うことにより、顔属性モデルと、用語（顔概念モデル）に基づく検索機構の実験が可能となる。

キーワードが付与されている対象とキーワードの関連度を見つける方法の1つに隠れ意味処理処理と呼ばれる方法が情報検索の分野では提案されており、情報検索だけではなくビデオのキーワード付け（注釈）支援システムに応用されている。隠れ意味処理は、特異値分解を用いたキーワードの出現頻度に基づきキーワードとキーワードが付与されている対象の距離を求める手法の一つである。

キーワード付与の対象である一人の顔データ o_i に対して、いくつかのキーワード $K = \{ k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, \dots, k_{in} \}$ が与えられる。この対象とキーワードの対をオブジェクト記述と呼ぶ。オブジェクト記述の例を図8に示す。



(a) 顔データ

{男, メガネ, さわやか, 首が太い}

(b) キーワード

図 8. 顔データの例

オブジェクト記述より、行をオブジェクト、列をキーワードとする出現頻度行列 T が得られる。行列 T に対して特異値分解を適用すると、キーワード行列 K 、特異値行列 Σ および顔行列 F が得られる。すなわち、

$$T = K\Sigma F \quad (7)$$

顔データにキーワードを付与して隠れ意味処理を適用した際、得られる出現頻度行列 T の例を図 9 に、特異値分解により得られた特異値行列の一部を図 10 に示す。

	o1	o2	o3	...	oN-1	oN													
男	1	1	1	...	0	0	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
そばかす	1	0	0	...	0	0	0.00	3.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
耳が大きい	1	0	0	...	0	1	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
髪がぼさぼさ	1	0	0	...	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
...	0	1	0	...	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図 9. 出現頻度行列 T

図 10. 特異値行列の一部

特異値分解適用の結果として、キーワードおよび対象（顔データ）から成る空間が得られる。空間の次元数は特異値の数に依存するが、画面に表示可能な次元は 2 または 3 次元である。本研究では 2 次元または 3 次元表示を可能とするインターフェースを開発した。

4 結果

顔画像からの顔部品検出、皺検出および性別・年齢推定の実験を行った。実験では、対象顔画像の条件として、ブルーバック、8bit グレースケール、画像サイズ 640×480 とした。図 11 に瞳検出手法によって検出した結果を示す。100 枚の画像に対して瞳検出実験を行った結果、94%の検出結果を得た。



図 11. 瞳検出実験 検出率 94%

図 12 に主要顔部品検出手法による結果を示す。その際、顔部品毎に瞳を基準とした評価領域を設定し、評価領域内になければ、誤った領域検出結果として、顔部品領域の自動的に修正を行うこととした。右眉領域を例に、図 13 に判定・修正の定義を示す。判定領域は画像中の顔のサイズから、経験的にある程度の大きさになるよう定めた。修正する場合は、顔部品毎に左右の瞳を基準にした固定領域で置きかえる。この固定領域は、判定領域よりは小さく、本来検出されるはずの領域より大きめのサイズを経験的に定めてある。

なお、右眉の評価領域は、

1. 上位置：額位置より下
2. 下位置：瞳中心から上に設定値以内
3. 左位置：瞳中心と顔領域中心の間
4. 右位置：瞳中心と顔領域端の間

とした。修正領域の上下左右位置は、瞳中心位置を基準とし、画像サイズから経験的に定めた距離（図 13 中 A～D）の位置とした。他の顔部品の判定・修正領域についても同様に、瞳中心位置を基準とし、画像サイズから経験的に設定した。

検出した各顔部品領域の信頼性を確認するための評価を 300 数十枚の画像に対して行った。各顔部品領域の検出率を図 14 に示す。



図 12. 主要顔部品領域の検出結果

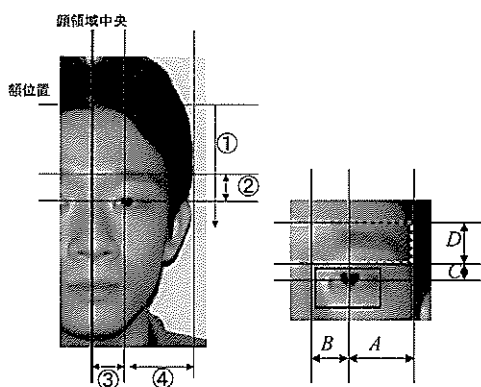


図 13. 判定基準領域および修正領域（右眉）

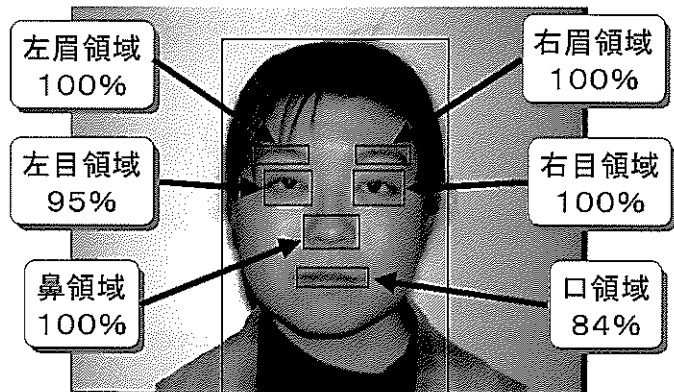


図 14. 顔部品検出率

目のモデルとして目輪郭を検出した結果を図 15 に示す。図中では検出された特徴点は 8 点に見えているが、目の上側と下側を構成する始終点の 4 点が、目尻、目元の位置で重なっているため、目輪郭を構成する 10 点全てが良好に検出できている。図 16 は K-L 展開による目輪郭検出結果と手入力による特徴点を比較したものである。目元、目尻の位置にあたる目輪郭の上下の特徴点が、自動検出結果では重なっているが、手入力に近い良好な検出結果が確認できた。

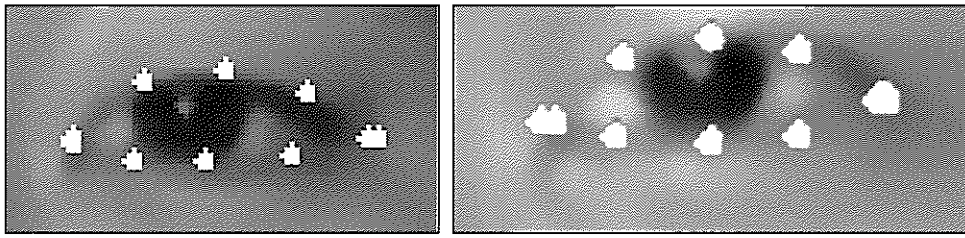
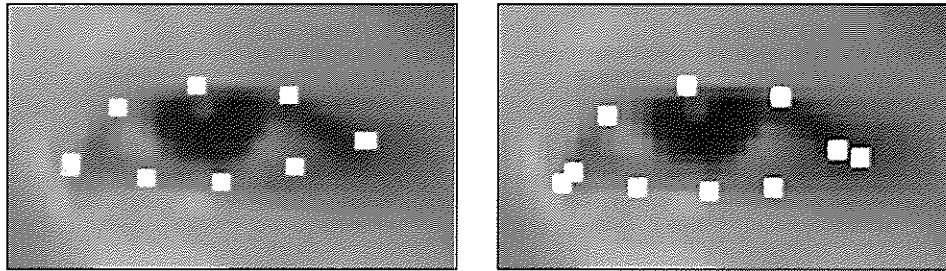


図 15. 目輪郭検出結果

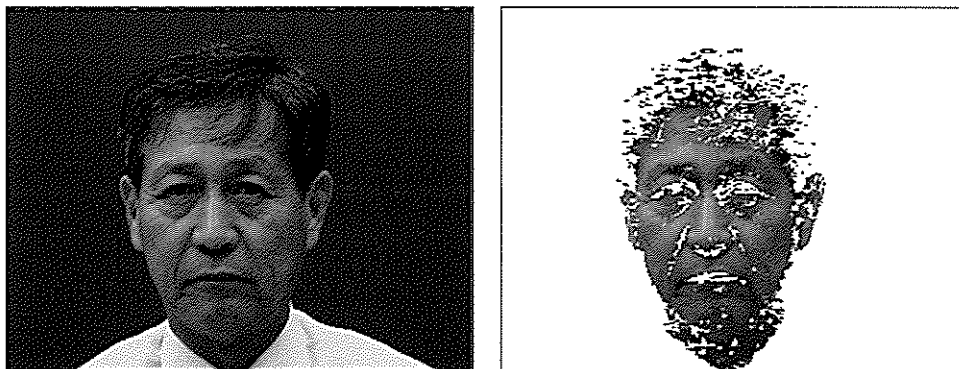


(a) 自動検出結果

(b) 手入力

図 16. 自動検出と手入力の比較

皺モデルの生成結果を図 17～図 19 に示す。各図(a)は原画像であり、(b)は顔領域に対して、顔画像から肌領域を検出した結果を示す。各図(c)に皺の強調結果を示す。肌領域のディテールが強調されている。図 18(a)と図 18(c)の額の部分で明確に確認できるが、(c)の強調画像ではコントラストが高くなっており、皺検出が容易に行うことが可能になっている。更に各図(d)に、DTHT による線分検出を行い、皺をモデル化した結果を示す。



(a) 現画像

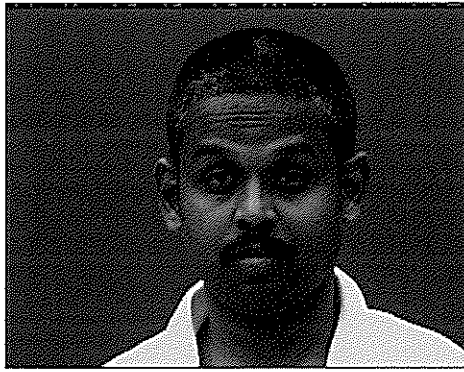
(b) 肌領域検出結果



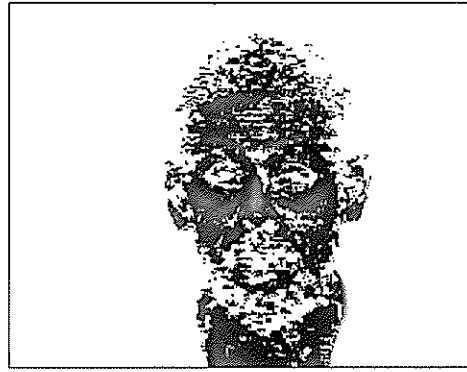
(c) 皺強調結果

(d) 皺モデル

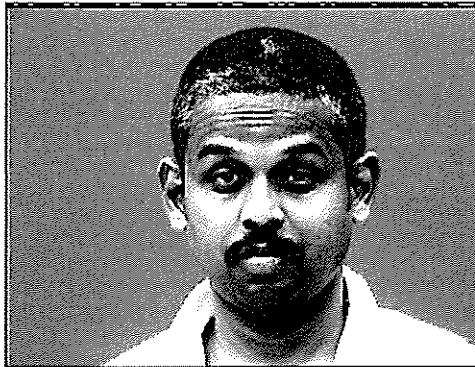
図 17. 皺モデル生成結果（黄色人種）



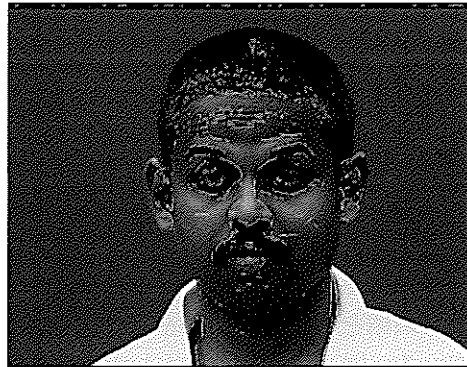
(a) 現画像



(b) 肌領域検出結果

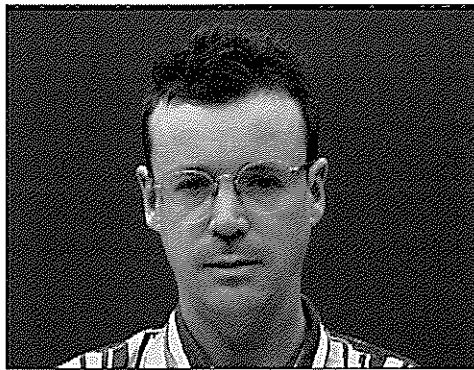


(c) 皺強調結果

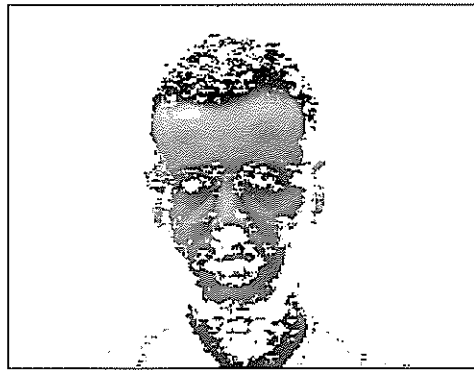


(d) 皺モデル

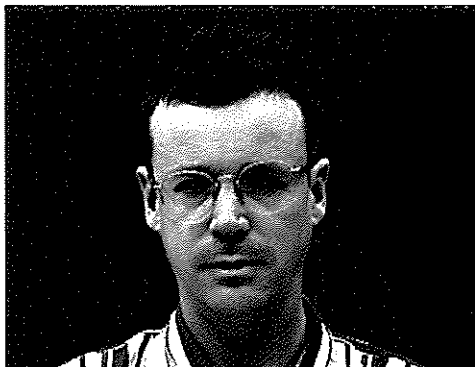
図 18. 皺モデル生成結果 (黒色人種)



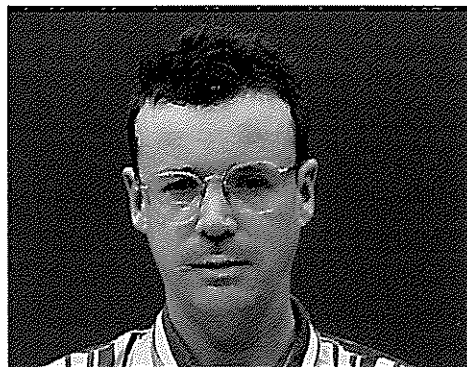
(a) 現画像



(b) 肌領域検出結果



(c) 皺強調結果



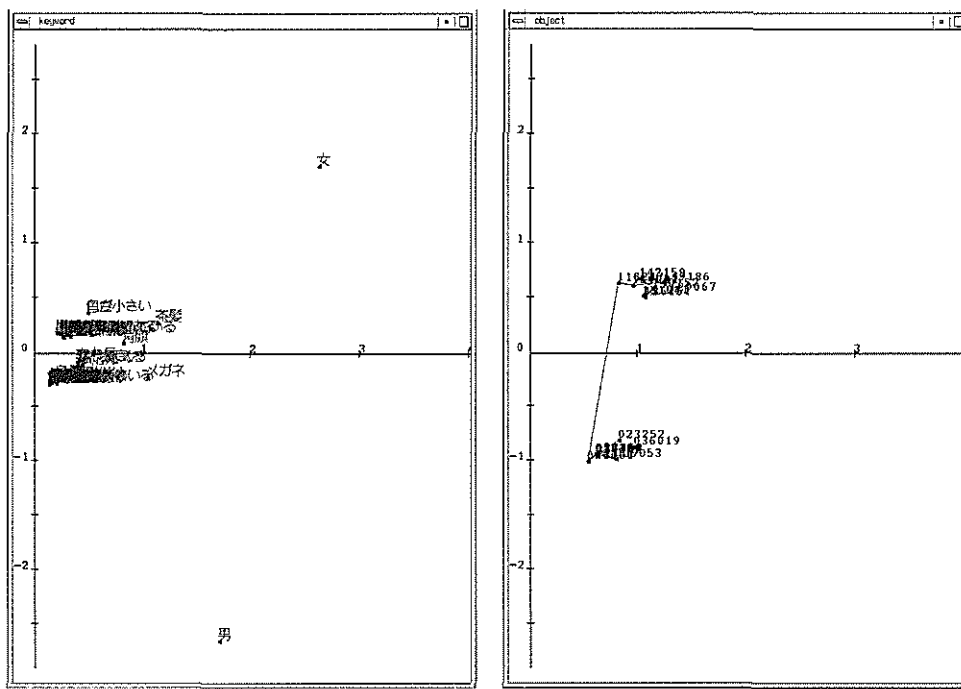
(d) 皺モデル

図 19. 皺モデル生成結果 (白色人種)

顔属性モデルと顔概念モデルの探索データベース構築に際して予備実験として20人分の顔データにキーワードを付与して隠れ意味処理を適用した。特異値分解の結果として、キーワードおよび対象（顔データ）から成る空間が得られる。開発したインタフェースを用いた2次元および3次元に表示されたキーワードと顔データの位置を図20および図21にそれぞれ示す。

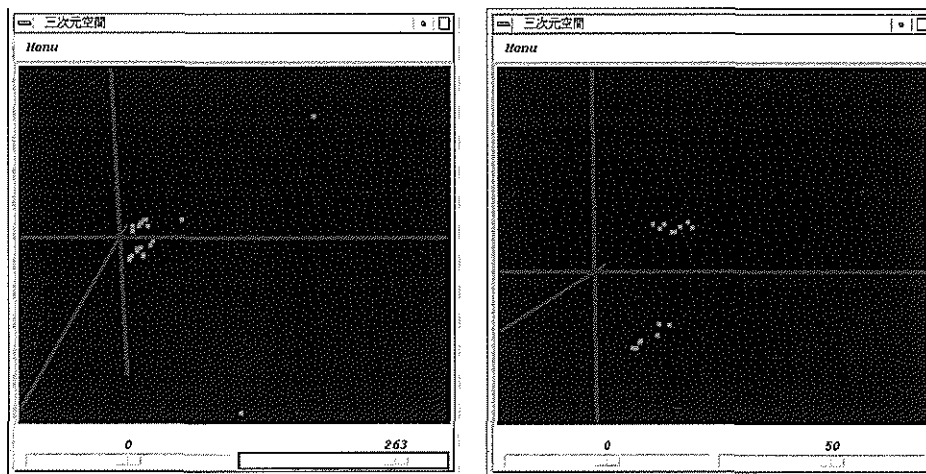
更に、男性に限定し150名の顔データに対してキーワードを付与し、特異値分解を行った。表1にキーワードを、図22に結果を示す。キーワード配置について検討すると、水平軸及び垂直軸の値が高い位置に、「目尻皺」や「薄い眉」、「薄い髪」などが位置していることが分かる。これらのキーワードは、顔の各部位において、高齢者を表すキーワードであると予測できる。今後、これらのキーワードと年齢など人物属性の関連について、特異値分解を用いてどのように評価できるのか検討する必要がある。

以上、顔部品から輪郭線を検出することによるモデル化を確立すること、また、皺モデルを用いた人物属性（性別、年齢）の推定方法を確立し、実験および検討を行った。今後、顔画像データ分析の充実、顔に対するキーワード検索の更なる可能性の検討を行うことが重要である。



(a) キーワードの表示 (b) 顔データの表示

図20. 2次元上でのキーワードと顔データの表示



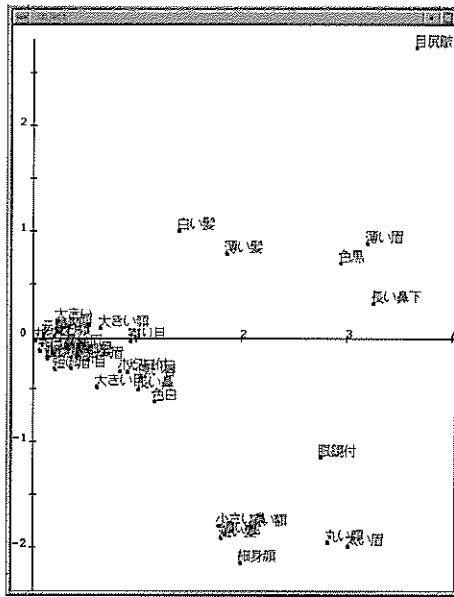
(a) キーワードの表示 (b) 顔データの表示

図21. 3次元上での表示

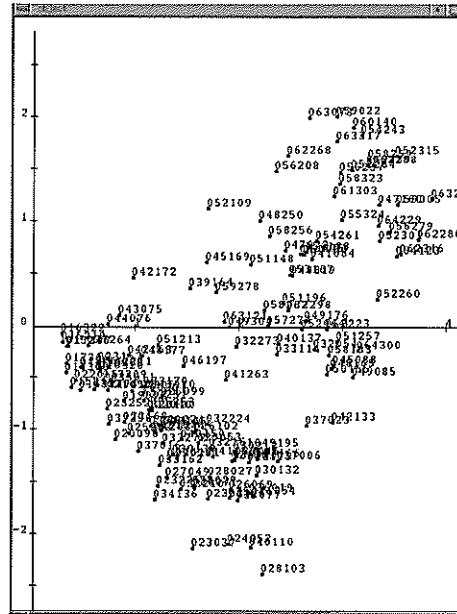
表 1. 男性 150 名のキーワード

015218	短い髪, 細身顔, 一重瞼, 丸い鼻
015219	短い髪, 二重瞼
015246	短い髪, 二重瞼, 丸い鼻, 厚い唇
016318	身顔, 一重瞼, 細い眉
016320	い髪, 細身顔, 額に皺, 細い目, 一重瞼, 厚い唇
016321	細身顔, 一重瞼, 太い眉, 厚い唇
016322	大きい目, 二重瞼, 厚い唇
017305	短い髪, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 一重瞼, 長い鼻, 厚い唇, ホクロ付
017306	色白, 長い髪, 一重瞼, 丸い鼻, 厚い唇
017307	短い髪, 二重瞼, 細い眉, 大きい口
017308	細身顔, 一重瞼, 細い眉
017309	短い髪, 細身顔, 二重瞼, 太い眉, 長い鼻, 長い鼻下, 厚い唇
018265	色黒, 小さい目, 一重瞼, 細い眉, 丸い鼻, 厚い唇
018266	細身顔, 一重瞼, 薄い眉, 厚い唇, そばかす
019093	長い髪, 細身顔, 広い額, 小さい目, 一重瞼, 大きい鼻, 厚い唇
020096	短い髪, 細身顔, 大きい目, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 眼鏡付
020100	色白, 丸い顔, 広い額, 小さい目, 離れ目, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻
021038	色白, 広い額, 二重瞼, 長い眉, 大きい鼻, 小さい口, 眼鏡付
021098	細身顔, 小さい目, 二重瞼, 太い眉, 小さい鼻
021254	広い額, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
022040	色白, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 大きい口, 厚い唇, 眼鏡付
022065	細身顔, 一重瞼, 長い鼻, 大きい口, 厚い唇
023037	短い髪, 丸い顔, 広い額, 一重瞼, 太い眉, 小さい口, 濃い髭, 眼鏡付
023039	丸い顔, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 小さい口, 眼鏡付
023157	短い髪, 細身顔, 丸い目, 二重瞼, 長い眉, 大きい鼻, 大きい口, 厚い唇
023168	長い髪, 小さい目, 一重瞼, 厚い唇, 濃い髭, 眼鏡付
023225	丸い顔, 広い額, 二重瞼, 小さい鼻, 小さい口, 濃い髭
023251	丸い顔, 広い額, 小さい目, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻
023252	短い髪, 細身顔, 小さい目, 一重瞼, 細い眉, 大きい口, 厚い唇
024052	短い髪, 丸い顔, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
025253	短い髪, 細身顔, 広い額, 小さい目, 二重瞼, 長い眉, 大きい鼻, 大きい口, 眼鏡付
025283	広い額, 小さい目, 寄り目, 一重瞼, 太い眉, 厚い唇, 濃い髭
026069	短い髪, 丸い顔, 広い額, 小さい目, 離れ目, 二重瞼, 短い眉, 小さい口, 薄い唇
026099	色黒, 細身顔, 広い額, 細い目, 一重瞼, 長い鼻, 長い鼻下, 薄い唇
026102	エラ顔, 小さい目, 二重瞼, 短い眉, 長い鼻, 小さい口, 薄い唇
026181	細身顔, 細い目, 一重瞼, 小さい口, 薄い唇, ホクロ付
027049	色黒, 細身顔, 広い額, 小さい目, 一重瞼, 小さい鼻, 小さい口
027166	色白, 細身顔, 小さい目, 二重瞼, 大きい鼻, 長い鼻下, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
028027	細身顔, 額に皺, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 小さい口, 濃い髭
028029	短い髪, 大きい目, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇
028071	細身顔, 大きい目, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇
028103	短い髪, 丸い顔, 広い額, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
029028	大きい顔, 広い額, 大きい目, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 小さい口, 厚い唇, 濃い髭
029053	エラ顔, 小さい目, 二重瞼, 小さい鼻, 短い鼻下, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡
029063	細身顔, 小さい目, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 短い鼻下, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡
030132	広い顔, 小さい目, 目のタレ, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 長い鼻下, 小さい口, 薄い唇, ホクロ付
030212	薄い髪, 広い額, 小さい目, 一重瞼, 短い眉, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇
032031	丸い顔, 一重瞼, 薄い唇, 濃い髭, ホクロ付
032054	色黒, 額に皺, 大きい目, 二重瞼, 薄い眉, 小さい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
032161	小さい目, 一重瞼, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇
032224	色白, 丸い顔, 大きい目, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, 大きい口, 薄い唇, 濃い髭
032273	色黒, 細身顔, 額に皺, 細い目, 一重瞼, 長い鼻, ほほの皺, 小さい口, ホクロ付
032298	寄り目, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 長い鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
033104	小顔, 二重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 大きい口, 濃い髭
033114	丸い顔, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 大きい口, 薄い唇
033162	細身顔, 目のタレ, 一重瞼, 細い眉, 小さい鼻, 小さい口, 濃い髭
033170	広い額, 寄り目, 二重瞼, 薄い唇, 濃い髭
033210	細身顔, 小さい目, 寄り目, 一重瞼, 太い眉, 小さい口, 眼鏡付
033272	色黒, 短い髪, 小さい目, 一重瞼, 長い鼻下, 小さい口
034136	丸い顔, 一重瞼, 太い眉, 小さい口, 濃い髭
035011	短い髪, 小さい目, 一重瞼, 大きい鼻, 大きい口
035044	丸い顔, 一重瞼, 小さい鼻, 長い鼻下, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
035080	短い髪, 丸い顔, 広い額, 二重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇
036019	色黒, 短い髪, 丸い顔, 一重瞼, 細い眉, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
037006	丸い顔, 広い額, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
037016	小さい目, 一重瞼, 小さい鼻, 小さい口
037023	丸い顔, 小さい目, 一重瞼, 太い眉, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, ホクロ付
037045	細身顔, 小さい目, 二重瞼, 薄い眉, 長い鼻, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
037146	短い髪, 広い額, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 大きい口, 厚い唇, 濃い髭, 眼鏡付, ホクロ付
037258	一重瞼, 小さい口, ホクロ付
037264	二重瞼, 太い眉, 長い鼻下, 大きい口, 厚い唇
038077	色白, 細身顔, 小さい目, 一重瞼, 大きい鼻, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
038274	大きい顔, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 小さい口, 眼鏡付
039138	丸い顔, 小さい目, 二重瞼, 小さい鼻, 長い鼻下, 小さい口, そばかす

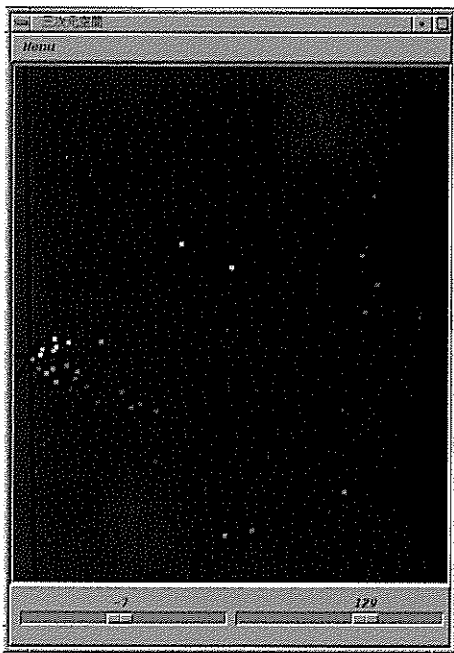
039164	色黒, 寄り目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 厚い唇
040110	短い髪, 細身顔, 広い額, 小さい目, 一重瞼, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭, 眼鏡付
040137	目のタレ, 二重瞼, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
040145	色白, 長い顔, 小さい目, 寄り目, 二重瞼, 小さい鼻, 長い鼻下, 小さい口
040150	短い髪, 額に皺, 小さい目, 一重瞼, 薄い眉, 小さい鼻, 小さい口
041094	額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇, 濃い髭, こぶ
041156	色黒, 丸い顔, 細い目, 一重瞼, 薄い眉, 小さい口, 薄い唇
041263	細身顔, 大きい目, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 小さい口
042133	丸い顔, 小さい目, 一重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
042163	色白, 薄い髪, 広い額, 小さい目, 二重瞼, 薄い眉, 小さい鼻
042172	色黒, 額に皺, 寄り目, 目のタレ, 二重瞼, 長い鼻下
042211	短い髪, 額に皺, 一重瞼, 眼鏡付
043010	色黒, 細身顔, 額に皺, 二重瞼, 長い鼻, 小さい口
043075	色黒, 大きい顔, 額に皺, 小さい目, 二重瞼
043175	色白, 短い髪, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 二重瞼, 太い眉, 長い鼻, 小さい口, 薄い唇
044076	薄い髪, 額に皺, 二重瞼, 濃い髭
045088	額に皺, 小さい目, 目のタレ, 一重瞼, 太い眉, 小さい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
045154	長い髪, 丸い顔, 一重瞼, 薄い唇, 濃い髭
045169	白い髪, 大きい顔, 広い額, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 濃い髭
046197	白い髪, 細身顔, 額に皺, 目のタレ, 二重瞼, 細い眉, 長い鼻, 長い鼻下, 小さい口
046275	小顔, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 大きい口, 薄い唇
047032	色黒, 短い髪, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 細い眉, ほほの皺, 薄い唇
047160	色白, 額に皺, 寄り目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
048165	色黒, 丸い顔, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 小さい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
048177	色黒, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 一重瞼, 薄い眉, 長い鼻
048250	色黒, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 細い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 大きい口, 厚い唇
048319	色白, 薄い髪, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 一重瞼, ほほの皺, 薄い唇
049085	色黒, 丸い顔, 小さい目, 寄り目, 目のタレ, 一重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
049176	額に皺, 目のタレ, 一重瞼, 長い鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
049195	短い髪, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 二重瞼, 長い鼻下, 小さい口, 薄い唇
049304	薄い髪, 広い額, 目のタレ, 一重瞼, ほほの皺, 小さい口
050060	短い髪, 額に皺, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 大きい口, 薄い唇, 眼鏡付
050155	細身顔, 額に皺, 小さい目, 二重瞼, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
051148	小顔, 額に皺, 一重瞼, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇
051196	薄い髪, 額に皺, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, 鼻髭, ほほの皺, 大きい口, 薄い唇, 濃い髭, あごひげ
051213	色黒, 白い髪, 額に皺, 小さい目, 一重瞼, 薄い眉, 眼鏡付
051257	色黒, 長い髪, 大きい顔, 小さい目, 離れ目, 目のタレ, 二重瞼, 太い眉, 長い鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
052064	色白, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 小さい口, 眼鏡付, ホクロ付
052109	額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 細い眉, 大きい鼻
052260	色黒, 短い髪, 丸い顔, 額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 小さい口, 濃い髭
052284	色黒, 額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇, 眼鏡付
052301	色黒, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 二重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 眼鏡付
052315	色黒, 白い髪, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇
053167	額に皺, 小さい目, 離れ目, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇
054243	薄い髪, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇, ホクロ付
054261	色黒, 白い髪, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇, 眼鏡付
055324	額に皺, 目尻皺, 二重瞼, 薄い眉, 長い鼻, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
056188	長い髪, 細身顔, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇
056208	額に皺, 小さい目, 目尻皺, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, ほほの皺
056237	色黒, 白い髪, 額に皺, 目尻皺, 二重瞼, 太い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇, 眼鏡付
056279	薄い髪, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 長い眉, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
057271	色黒, 白い髪, 広い額, 離れ目, 一重瞼, 太い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇, 眼鏡付
058183	額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇, 濃い髭
058256	色黒, 薄い髪, 額に皺, 小さい目, 目のタレ, 二重瞼, 太い眉, 小さい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 大きい, 厚い唇
058259	色黒, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇
058262	色白, 短い髪, 大きい顔, 広い額, 細い目, 二重瞼, 薄い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇, 眼鏡付
058323	薄い髪, 丸い顔, 広い額, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇
059005	色黒, 白い髪, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 大きい, 薄い唇
059022	白い髪, 額に皺, 寄り目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇
059278	色黒, 薄い髪, エラ顔, 広い額, 一重瞼, 大きい鼻, ほほの皺, 厚い唇, 眼鏡付
059289	薄い髪, 丸い顔, 額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇
060140	色黒, 白い髪, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, ほほの皺, 薄い唇
060201	白い髪, 丸い顔, 広い額, 小さい目, 二重瞼, 太い眉, 長い鼻下
061303	薄い髪, 広い額, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口
062223	薄い髪, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 寄り目, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口
062268	色黒, 額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 太い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 厚い唇
062280	額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 小さい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
062288	額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 薄い唇, ホクロ付
062316	白い髪, 小顔, 広い額, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 薄い眉, 鼻髭, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
063121	色白, 長い髪, 額に皺, 小さい目, 寄り目, 目のタレ, 二重瞼, 長い眉, 大きい鼻, 大きい口, 薄い唇
063244	色黒, 薄い髪, 長い顔, 額に皺, 大きい目, 目尻皺, 目のタレ, 二重瞼, 大きい鼻, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇, 眼鏡付
063317	白い髪, 額に皺, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 大きい鼻, ほほの皺, 薄い唇
064123	短い髪, 大きい顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 薄い唇
064229	薄い髪, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 長い鼻下, ほほの皺, 小さい口, 眼鏡付
064300	色白, 薄い髪, 丸い顔, 額に皺, 小さい目, 目尻皺, 目のタレ, 一重瞼, 薄い眉, 小さい鼻, 小さい口, 薄い唇



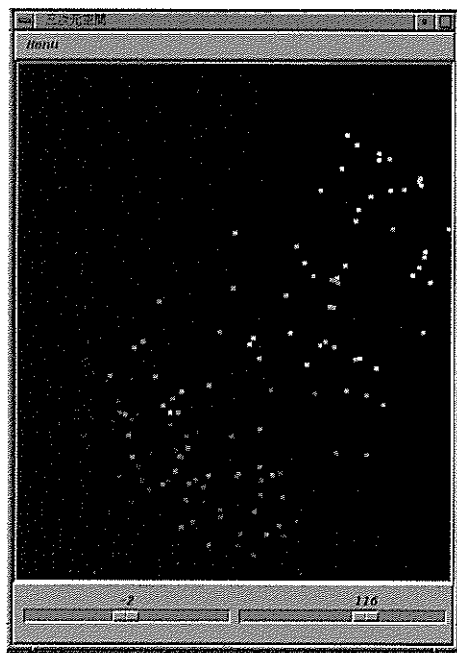
(a) キーワードの3次元表示



(b) 顔データの3次元表示



(c) キーワードの3次元表示



(d) 顔データの3次元表示

図 22. 男性 150 名のキーワードによる特異値分解実験

フェーズ II

1 研究の概要

フェーズ I では顔画像から、顔属性を画像処理によって自動的にモデル化する基礎技術を開発し、顔属性モデルと顔概念モデルの対応関係検索の操作性を支援するための、顔属性モデルのデータベース化における基盤技術を確立した。

フェーズ II では顔属性モデルのデータベースをより実用的なものとするべく、動画像、リアル映像から、顔属性となる顔部品の更なる検出技術を確立した。

2 研究の目標

実環境に耐え得る顔属性データベースの構築を目標としている。顔の主要な属性部品である目、鼻、口、眉を顔画像から画像処理により、実環境や動環境においても高精度に検出する技術を開発する。本研究では、動画像を用いて、顔領域全体の検出及び各顔部品領域検出を行った。

人に優しいユーザインターフェースを考慮し、人の身体および頭部を非拘束とするため、CCD カメラを用い、パターンマッチングによって広い視野で被験者をトラッキングする。更に、パン・チルト・ズーム (PTZ) カメラを用いることで、トラッキングした被験者の顔領域を詳細に取り込む。PTZ カメラを利用することで、人の目の「動いている物体を感知して目で追う」といった感性的なトラッキングシステムが実現できる。

PTZ カメラにより得られた高解像度の顔画像に、フェーズ I で確立した瞳検出技術を用いたところ、遠距離から撮像した固定カメラでは検出できない場面でも、検出できることが確認された。

3 実施内容

3.1 PTZ カメラによる顔画像の取得

ユーザインターフェースの向上を考慮し、被験者の身体を非拘束とすると、1 台の CCD カメラからの撮像では、顔の詳細な認識ができるほどの解像度の顔画像は得られない。そのため撮影位置を変更、拡大等できるパン・チルト・ズーム (PTZ) カメラを併用することで、画像処理に適した顔画像を得る機構を構築した。図 23 に示すように、対象となる環境の全体を写すカメラ (CCD カメラ) と、全体から対象物を追跡する PTZ カメラの 2 つのカメラを用いた。CCD カメラを用いてカメラの前で自由に振る舞う人物の動画像を取得し、テンプレートマッチングを行って顔領域を検出する。検出した顔領域の位置情報をもとに PTZ カメラを左右、上下方向に動作及び拡大／縮小動作させ、検出した顔領域を追跡し、精細かつ高解像度の顔画像を取得する。

はじめに、任意の初期テンプレートを設定し、入力フレームに対してテンプレートマッチングを行う。類似度の判定には正規化相関係数

$$R(m, n) = \frac{\sum_j \sum_i (T_{ij} - \bar{T}_{ij})(F_{i+m, j+n} - \bar{F})}{\sqrt{\sum_j \sum_i [T_{ij} - \bar{T}]^2 \cdot \sum_j \sum_i [F_{i+m, j+n} - \bar{F}]^2}} \quad \left(\bar{T} = \frac{\sum_j \sum_i T_{ij}}{N} \quad \bar{F} = \frac{\sum_j \sum_i F_{i+m, j+n}}{N} \right) \quad (8)$$

を用いた。

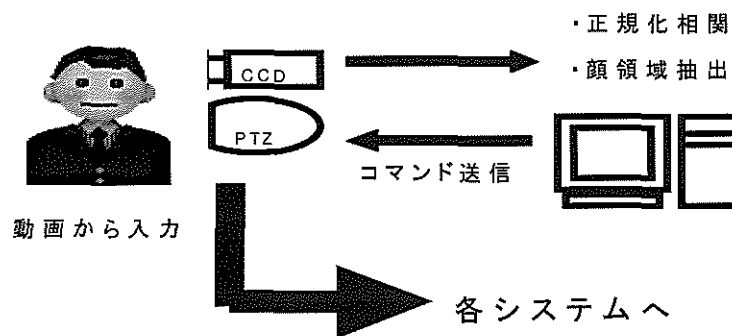


図 23. 頭部トラッキング

人物がカメラに近づく、もしくは離れた場合、テンプレートサイズの拡大／縮小を行う。得られた顔領域を新規テンプレートとして採用し、次フレームに適用する。本手法は、常にテンプレートの更新を行いつつ顔の追跡を継続するため、大きさ、向き、表情の変化に影響されにくいという利点がある。具体的なテンプレート更新を以下に示す。

任意に設定した初期テンプレートと背景の差分画像を生成し、2 値化処理を適用した後水平／垂直方向の投影を行う (図 24)。水平方向の投影結果より前フレームのテンプレート座標から水平方向に走査し、垂直投影値が中心座標の 1/3 となる位置をテンプレートの更新値とし、テンプレート

の更新を行う。次に、検出した顔領域テンプレートの中心座標を基に、PTZ カメラの上下左右方向の移動量を決定し、テンプレートサイズ L の最大限界値 L_{max} 、最小限界値 L_{min} 、及び図 25 で検出したテンプレートサイズ I を用いて、拡大縮小率（ズーム値） Z を

$$Z(\text{ズーム値}) = \frac{Z_{max}(\text{最大ズーム値})}{L_{max} - L_{min}} \times (L_{max} - L) \quad (9)$$

として求め、制御する。以上の処理により取得した値を、PTZ カメラにコマンド送信し、顔の追跡を行う。固定 CCD カメラでサイズや位置が変わる顔領域が、PTZ カメラにより顔画像のみとして効率良く撮像できる。



図 24. 水平/垂直投影



図 25. テンプレートサイズの決定

CCD カメラからの取り込み制御には、動画像処理専用ボード IP5010 を用いた。この動画像処理ボードを用いることにより、高速な顔追跡が可能になる。なお、CCD カメラからの取り込みでは、画質よりも速度を重視するため、サイズを 256×220 とした。PTZ カメラでは 640×480 のサイズの画像を取得する。CCD カメラと PTZ カメラの関係を図 26 に示す。被験者は図中斜線範囲内で自由に行動できる。カメラから約 700mm の距離で横方向約 370mm 、約 1500mm の距離で横方向約 800mm の移動が可能であり、似顔絵生成において十分な動作範囲と考えられる。

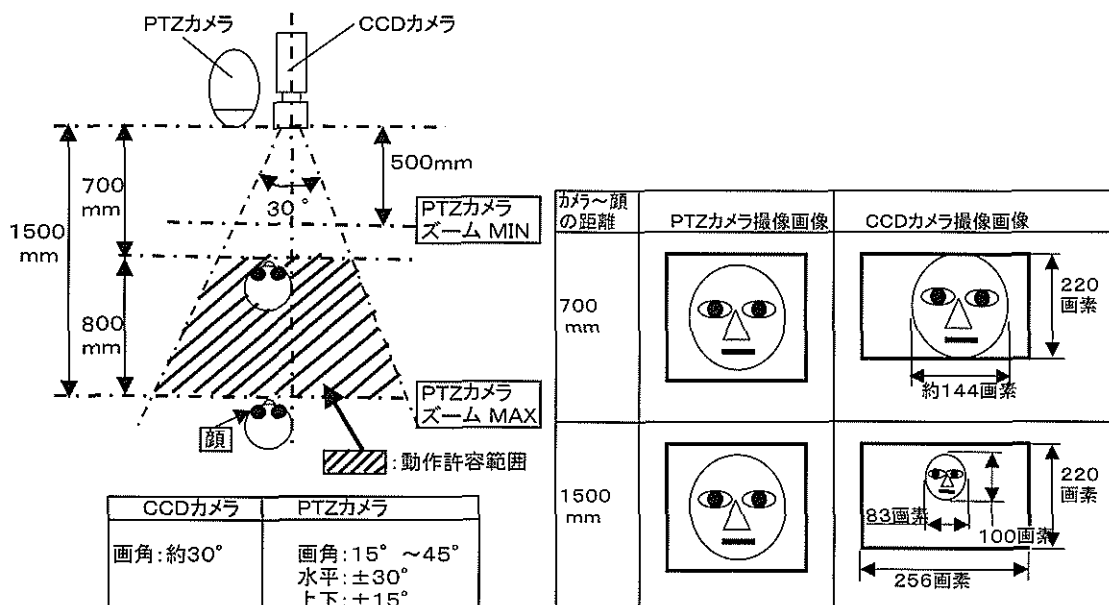


図 26. CCD カメラとパン・チルト・ズームカメラの関係

3.2 動画像からの瞳および主要顔部品検出手法の開発

フェーズ I で確立した円の Hough 変換を用いた手法を用い、PTZ カメラにより取得した顔動画像から瞳を検出する。更にフェーズ I で確立した主要顔部品検出手法を適用した場合、PTZ カメラでは顔全体が大きく撮像できていることから、人物が動く状態であっても安定して顔部品検出処理を行うことができる。

顔部品輪郭を輪郭点である座標値の集合として認識する手法を開発した。瞳輪郭の検出は、フェーズ I において K-L 展開による手法を用いて確立できていること、本研究では口の輪郭を対象とした手法を提案する。

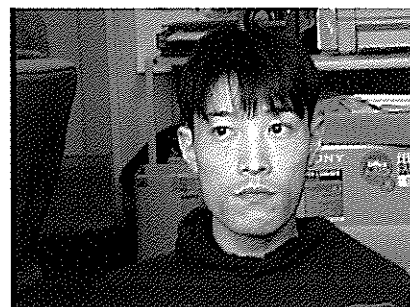
口は言葉を紡ぐことによって変形するため、動画の 1 フレーム目は手入力(もしくは標準的な輪郭線)として特徴点を指定する。初期特徴点の位置を基準に 2 フレーム目以降の連続する画像に対して、フレーム間差分を行い、各特徴点の 5×5 の近傍領域に存在し、かつ、特徴点の持つ濃度情報が最も近い画素を、移動後の特徴点とみなし特徴点の移動を行う。以上の処理を繰り返し、口輪郭の検出を実現する。

4 結果

特別な照明装置を使用しない一般的な室内環境において頭部の追跡実験を行った。図 27 は、顔領域検出の結果である。頭部移動や、表情変化に影響しない結果を得ることができた。図 28(a) に検出した顔領域を、PTZ カメラによって追跡した結果を図 28(b) に示す。図 28(a) にて検出した領域に対し PTZ カメラを操作した結果が同図(b)である。



図 27. CCD カメラによる顔領域トラッキング



(a) CCD カメラによる顔領域検出

(b) PTZ による顔領域追跡

図 28. PTZ カメラによる頭部トラッキング

動画像に対して主要顔部品領域の検出を行った。人物の背景を見ると位置や大きさの変動があることが確認できる。結果を図 29 に示す。なお、実環境での実験の結果、ブルーバック背景の静止画を用いた顔部品領域検出率の 84% を超えることはできなかった。

また、主要顔部品領域より、口の輪郭を一連のフレームで検出した。結果を図 30 に示す。白い線が初期フレームに手入力で与えたものであり、グレーの輪郭が提案手法により追跡・検出した結果を示す。

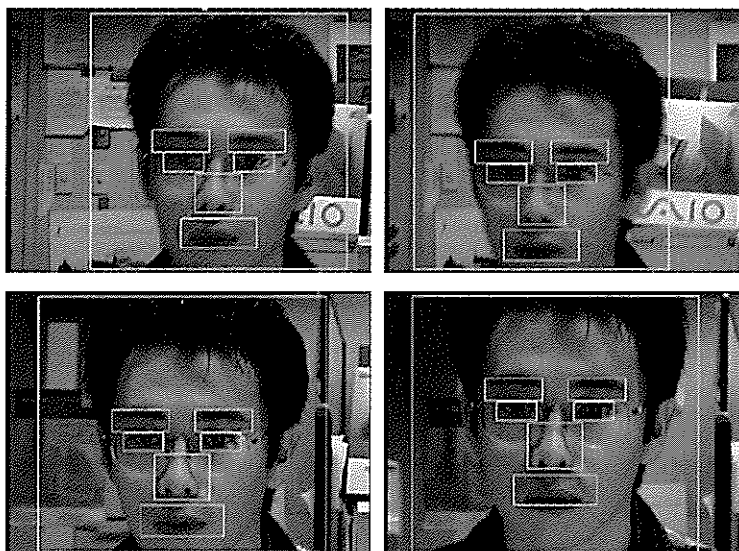


図 29. 動画像を用いた顔領域検出結果

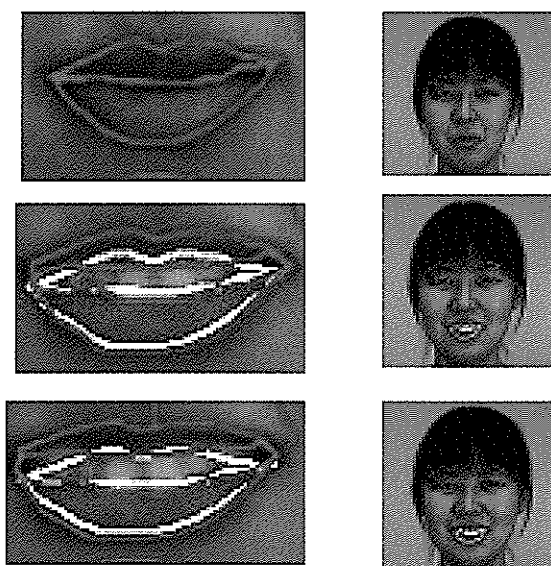


図 30. 顔部品輪郭の認識

フェーズ III

今後の取り組み

フェーズ I において基盤技術の確立を、フェーズ II において実環境での利用を見据えた研究を行った。しかしながら、顔属性モデルをデータベース化し、実環境にてこれを利用するためには、更にロバストな顔部品検出、顔輪郭検出および、顔データに対するキーワードの特異値分解結果の考察が必要である。フェーズ II に続く研究に関しては共同研究を行った大学で引き続き研究を重ねていく。