熱画像を用いた人物全身像の実時間姿勢推定

岩 澤 昭一郎^{† †}, 正会員 海老原 一 之[†], 大 谷 淳[†],
中 津 良 平[†], 正会員 森 島 繁 生^{† †},

Real-Time Estimation of Human Body Postures
from Monocular Thermal Images

Shoichiro Iwasawa^{† †}, Kazuyuki Ebihara[†], Jun Ohya[†],
Ryohei Nakatsu[†] and Shigeo Morishima^{† †}

Abstract This paper proposes a new real-time method for estimating human body postures from thermal images acquired by an infrared camera, regardless of the background and lighting conditions. Distance transformation is performed for the human body area extracted from the thresholded thermal image, in order to calculate the center of gravity. After the orientation of the upper half of the body is obtained by calculating the moment of inertia, significant points such as the top of the head and the ends of the hands and feet are heuristically located. In addition, the elbow and knee positions are estimated from the detected (significant) points, using a genetic-algorithm-based learning procedure. The experimental results demonstrate the robustness of the proposed algorithm and real-time performance (faster than 20 frames per second).

1. ま え が き

人物の動作解析に関する研究が、コンピュータビジョンの分野で近年活発になっている。特に、人物の姿勢推定処理はコンピュータとの将来型のインタフェースだけでなく、映画におけるコンピュータグラフィックスキャラクタ作成の省力化や、仮想環境におけるキャラクタの動きの自動入力処理¹⁾として、期待が大きい。

本論文では、背景・照明条件等への制限がない一般的な環境において、人物に特殊な負担を課すことなく、人物全身像の姿勢を実時間で推定することが可能な手法の検討を行う。

人物の姿勢や動作を計測する方法は接触型と非接触型に大別できる。接触型とはデータグローブや磁気センサなどのデバイスを身体に装着する形態のものであり、近年比較的簡単に利用可能になってきており、計

キーワード：熱画像、姿勢推定、人物像処理、遺伝的アルゴリズム、実時間

1996年9月27日、電子情報通信学会画像工学研究会に概要を発表

1997年1月21日受付、1997年4月14日再受付

[†] ATR 知能映像通信研究所 (〒 619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2, TEL 0774-95-1401)

^{† †} 成蹊大学 工学部 (〒 180 武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, TEL 0422-37-3726)

[†] ATR Media Integration & Communications Research Laboratories (2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02, Japan)

^{† †} Faculty of Engineering, Seikei University (3-3-1 Kichijoji Kita-machi, Musashino-shi, Tokyo 180, Japan)

測精度も高い。しかし、センサデバイスの装着は利用者のストレス増大を招いたり、応用範囲の制限につながる。また高反射素材のマーカを身体各部に貼付けてその動きを複数カメラにより追跡する手法があるが、やはり身体に物理的な拘束を伴う。

一方、非接触型には、一般に画像などから得られる情報に基づいて人物動作を獲得するというアプローチがあり、接触型計測に比べ利用者への負担が軽減されるという利点がある。特に、均一色の背景を用意し、クロマキーにより人物像を実時間で抽出する方式は映像編集の分野等で実用に供されているが、特殊な背景が使用できない一般的な環境への適用は困難である。画像から人物動作の検出・認識を行う従来の研究としては、静止画像から人体姿勢の記述を得ようとする試み^{2)~5)}がある。この例として画像を領域分割し個々の領域を動的輪郭モデルにより近似する手法⁴⁾⁶⁾があるが、距離画像が必要となるため実用的ではない。対象に依存せず関節物体の姿勢の推定を行う例⁵⁾⁷⁾では、あらかじめ推定対象物体をモデル化しておく必要があるため、任意の人物を対象とする場合などに課題が残る。また、時系列単眼画像中の人物動作を追跡する場合、拘束条件あるいは人体各部の動作に関する知識を導入したモデルとのマッチングを行う例⁶⁾⁸⁾⁹⁾が多く見られる。知識や拘束条件により3次元動作を扱うことができるが、任意の実画像に対して拘束条件を適用することは容易ではない。また、ある時点の姿勢を推定するためには過去の画像系列が必要不可欠である。複数カメラ画像を用いた3次元姿勢の推定¹⁰⁾¹¹⁾では計算コストが膨大になる傾向があり、オフライン処理が妥当と思われる。一方、実時間性を追求した手法としては、例えばWrenらの提唱するPfindex¹²⁾がある。Pfindexでは輪郭と色情報を解析し予測フィルタを用いて頭や手足の追跡を実現している。しかし、扱える全身姿勢の自由度が低く、照明や背景、衣服の色に処理結果が大きく影響される等の問題点が挙げられる。

本論文で提案する手法では、非接触かつ実時間での人物全身像の姿勢推定の実現を目指し、赤外線カメラにより入力される熱画像から照明条件や背景、衣服の色彩によらず安定して人物領域を抽出し、その輪郭を解析することにより手先等の特徴点の位置を求める。次に、推定された特徴点の位置から、遺伝的アルゴリズム (GA; Genetic Algorithm)¹³⁾を利用した学習により肘等の関節位置を推定する。

以下、姿勢推定アルゴリズムの概要を2章に、3章で特徴点の検出について述べ、4章ではGAを用いて肘・膝位置を推定する手法を説明する。そして5章に

図1 キャリブレーションのための姿勢
A posture used in the calibration.

において提案手法による実験結果を示す。

2. 姿勢推定処理の概要

本論文において姿勢推定とは、人物の手先等の特徴点と肘および膝関節の熱画像平面上での位置情報を求めることを指す。以下では画像の左下隅を原点として水平右向き、垂直上向きをそれぞれ正方向に座標系を定義する。

本推定法では、まず、赤外線カメラによって姿勢推定の対象となる人物をビデオレートで撮影し時系列の熱画像を得る。そして各フレームにおける熱画像から、特徴点 (頭頂, 手先, 足先) の位置検出を以下に示す手順で進める。

- (1) 熱画像から人物のシルエットを抽出し距離変換を行った後、身体重心を求める。
- (2) 上半身距離画像の主軸方向を計算し、上半身の傾き角を得る。
- (3) 特徴点位置をシルエットの輪郭情報から人物像の形状に関する事前知識に基づいて求める。

初期フレームにおいて姿勢推定に先立ち、キャリブレーションを行う。キャリブレーションの姿勢は図1に示すように直立した状態で、両手を左右に広げて水平に保つものである。この姿勢に対して3章で述べる処理を施し、特徴点の位置を求める。推定処理の過程において逐次参照するため、人物のシルエット領域への外接四角形の高さ及各特徴点の位置を初期値として保持しておく。

特徴点の位置を求めた後、肘および膝関節の位置を推定する。これら関節位置は、既知である特徴点位置を、あらかじめGAによって決定された推定式に代入することによって計算する。

図2 熱画像の例
An example of a thermal image.

図3 距離変換画像とシルエット輪郭
A distance-transformed image with a silhouette contour.

3. 特徴点の検出処理

3.1 身体重心点

一般に、可視光画像を用いて任意の背景・照明・服装条件下のシーンから人物シルエット領域を安定かつ高速に抽出することは困難である。前述の条件が変化すると画像の輝度や色彩情報がその影響を受け易いためである。本推定法では通常の室内環境を対象とし、特別な背景や照明装置を用いず安定に人物シルエットを得るため赤外線カメラを用いる。

赤外線カメラは、観測しているシーン中の物体が放射する熱エネルギーを検出することにより、画素の値が温度値である熱画像の入力を行う。したがって、赤外線カメラによりシーン中の人物を観測することにより得られる熱画像においては、一般に図2に示すように人物の表面温度（以下、人物温度）と、背景の温度とが異なるため簡単な閾値処理により、安定に人物像に対応する領域の抽出が可能である。すなわち、通常の空調の作動している室内であれば人物温度以上の部分はほとんど存在せず、また存在しても人物領域に比べて微小な面積である。また人物によって人物温度は異なることが予想されるが、背景温度との差と比較してその変動は非常に小さいために、人物毎に人物温度を再調整する必要は通常認められない。

赤外線カメラにより得られる熱画像を閾値処理することにより得られる2値画像をシルエット画像 $\{f_{ij}\}$ と呼ぶことにする。 i, j は画像上でそれぞれ水平、垂直位置を示す。ここで $f_{ij} = 1$ であるような画素集合は人物シルエットを含んでおり、また $f_{ij} = 0$ は背景領域に相当する。

腕や脚等の姿勢に関わらずシルエットから身体重心を安定に求めるために、画像 $\{f_{ij}\}$ 上の $f_{ij} = 1$ なる画素に対し距離変換¹⁴⁾を施す。距離変換された画像 $\{d_{ij}\}$ (図3) の各画素 d_{ij} は最近傍のシルエット境

図4 上半身距離画像
A distance-transformed upper half of the body image with PAU.

界画素までの距離を画素値として保持している。シルエットの重心 (I_c, J_c) は次式を用いて求める。

$$I_c = \mathcal{M}(\{d_{ij}\}, 1, 0) / \mathcal{M}(\{d_{ij}\}, 0, 0) \quad (1)$$

$$J_c = \mathcal{M}(\{d_{ij}\}, 0, 1) / \mathcal{M}(\{d_{ij}\}, 0, 0) \quad (2)$$

ここで $\mathcal{M}(\{I_{ij}\}, p, q)$ は

$$\mathcal{M}(\{I_{ij}\}, p, q) \equiv \sum_i \sum_j i^p j^q I_{ij}$$

とし、画像 $\{I_{ij}\}$ における i, j それぞれについての p, q 次モーメントを表す。つまり I_c と J_c は距離値で重み付けされた画像 $\{d_{ij}\}$ の重心位置となる。腕や脚などに相当する狭いシルエット領域では全体的に小さな距離値となるため、重心位置への影響を抑制できる。

3.2 上半身の主軸方向検出

腕領域の除去処理のため、距離変換画像 $\{d_{ij}\}$ において身体重心の水平位置よりも上方 ($\{d'_{ij} | j \geq J_c\}$) に対し、前フレームの上半身主軸（後述）を対称軸とするガウス関数を乗じる。得られた画像 $\{g_{ij}\}$ (上半

図5 骨格画像
A skeleton image.

身距離画像と呼ぶ、図4)の重心を求める。 $\{g_{ij}\}$ の主軸(PAU)方向は(3)式の解として得られ¹⁸⁾、 θ ($|\theta| < \pi$)は上半身の傾きとみなす。

$$\tan^2 \theta + M_g \tan \theta - 1 = 0 \quad (3)$$

ただし

$$M_g = \frac{\mathcal{M}(\{g_{ij}\}, 2, 0) - \mathcal{M}(\{g_{ij}\}, 0, 2)}{\mathcal{M}(\{g_{ij}\}, 1, 1)}$$

である。 $\{g_{ij}\}$ の重心点を通り、傾きが θ の直線を上半身主軸と呼ぶ。

3.3 特徴点の検出

シルエット画像 $\{f_{ij}\}$ において身体重心点(3.1節参照)からラスタ走査し、最初に発見される輪郭(境界)画素を開始点として境界線追跡を行う。なお境界線上の画素を1画素、それ以外を0画素とする2値画像を輪郭画像と呼ぶことにする。ここで仮頭頂点として、上半身主軸から最短距離、かつ上半身重心よりも上方に位置する輪郭点を選ぶ。

(1) 足先点

身体重心点の算出に用いた距離変換画像の極大値を求めることにより、図5に示すような骨格画像を作成する。下半身(身体重心の垂直位置より下方)かつ左(右)半身(身体重心点の水平位置を中心として左あるいは右側)に存在する骨格の端点の中から「身体重心点からの距離(図6参照)が最大」である端点を足先点として選ぶ。

(2) 手先点

輪郭上で仮頭頂点から足先点までに相当する輪郭を、図7に示すように画素数比 $l_h : m_h : n_h$ の各セグメントに分割し、中央セグメントを手先点の候補セグメントとする。なお l_h, m_h, n_h は経験的に定めるが、1:2:2等の値を与えるだけでほぼすべての人物像に対して有効である。

候補セグメントにおいて垂直位置が最高(手先候補

図6 足先点の検出
Detection of an end of foot.

図7 手先点の候補セグメント
Candidate segment for an end of hand.

点a)および最低の点(手先候補点b)と、身体重心からの水平距離が最長の点(手先候補点c)を選ぶ。そして以下の条件を順に評価し、最初に条件を満たす候補点を手先点とする。

- (a) 手先候補点aの垂直位置 > 仮頭頂点の垂直位置 - T_1
- (b) 手先候補点bの垂直位置 < 身体重心の垂直位置 + T_1
- (c) 手先候補点cの水平位置 < 身体重心の水平位置 + T_2
- (d) 候補セグメントの終端点

ここで T_1, T_2 はそれぞれシルエットの外接矩形の高さによって定まる定数である。

(3) 頭頂点

輪郭上で仮頭頂点から手先点までに相当する輪郭を画素数比 $l_p : m_p : n_p$ のセグメントに分割し、中央のセグメントを頭頂点の候補とする。そして上半身主軸までの距離が最短である点を首位置とし、左右の首位置に挟まれている輪郭の2等分点を頭頂点とする。手先点検出の場合と同様に l_p, m_p, n_p は経験的に求めた定数である。

4. 肘および膝関節位置の推定

3章で述べた特徴点だけでは、人物の姿勢推定処理としては不十分であり、肘と膝の位置情報も重要である。しかし、これらの部位は輪郭において明確な形状特徴を備えておらず、輪郭の形状を解析するだけでは検出が困難な部位である。各関節の状態をエネルギー関数で表現し、拘束条件を与えて関節の角度を決定するというアプローチ¹⁵⁾もあるが、一般に計算コストがかかるため実時間処理は難しい。

本論文では、GAを利用して、あらかじめ学習サンプルにより特徴点と肘および膝の関係を求めておき、姿勢推定において3章の方法により検出された特徴点を関節位置として変換する。

4.1 GAによる推定式の導出

GA¹³⁾¹⁶⁾では対象問題の解の候補は、遺伝子型として染色体で1次元的に表現する。まず染色体の初期集団を乱数的に発生させ、評価関数に応じた選択淘汰・交叉・突然変異の遺伝的操作を行いながら、並列的に解の探索を進めて行く。

本論文では、肘および膝の関節位置を3章で述べた特徴点(身体重心、頭頂、手先、足先)の位置座標の線形結合式で表現する。その結合式の係数を集団中の各個体の遺伝子として割り当て、GAにより推定誤差を最小化するような係数の組合せを探索する。膝(肘)の位置を x_i 、推定される位置を $\hat{x}_i$ とするときの適応度(評価関数) f を、推定誤差 $x_i - \hat{x}_i$ の平均値 $\bar{e}$ と誤差の分散の和の逆数として定義する。

$$\frac{1}{f} = \bar{e} + \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i - \hat{x}_i - \bar{e})^2 \quad (4)$$

$$\text{ただし } \bar{e} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i - \hat{x}_i$$

4.2 肘関節

身体重心点(x_g, y_g)、頭頂点(x_p, y_p)、手先点(x_h, y_h)、足先点(x_f, y_f)の各位置の加重線形和を用いて(5)式のように肘の位置(x_e, y_e)を表現する。なお各部位は $\tilde{x} = x - x_g$ のように身体重心からの相対位置で表している。前述のように、(5)式の係数 C_i をGAにより推定する。

$$\begin{aligned} \tilde{x}_e &= C_1(x_h - x_p) + C_2(y_h - y_p) \\ &\quad + C_3\tilde{x}_h + C_4\tilde{y}_h + C_5 \\ \tilde{y}_e &= C_6(x_h - x_p) + C_7(y_h - y_p) \\ &\quad + C_8\tilde{x}_h + C_9\tilde{y}_h + C_{10} \end{aligned} \quad (5)$$

4.3 膝関節

手先点から足先点までの輪郭において、身体重心と足先の垂直位置を2等分した位置に存在する輪郭点(x_l, y_l)を探索しておく。これに、身体重心(x_g, y_g)、頭(x_p, y_p)、足先(x_f, y_f)を加えた各位置の加重線形和を用いて次式のように膝の位置(x_k, y_k)を表現し、GAにより係数 W_i を推定する。

$$\begin{aligned} \tilde{x}_k &= W_1\tilde{x}_p + W_2\tilde{y}_p + W_3\tilde{x}_f + W_4\tilde{y}_f \\ &\quad + W_5\tilde{x}_l + W_6\tilde{y}_l + W_7 \\ \tilde{y}_k &= W_8\tilde{x}_p + W_9\tilde{y}_p + W_{10}\tilde{x}_f + W_{11}\tilde{y}_f \\ &\quad + W_{12}\tilde{x}_l + W_{13}\tilde{y}_l + W_{14} \end{aligned} \quad (6)$$

5. 実験結果と考察

5.1 実験システム

本提案手法をワークステーション(SGI社 Indy R4400/150 MHz)上に実装した。対象とする熱画像は赤外線カメラ((株)NikonサーマルビジョンLAIRD3)により撮影した。本赤外線カメラは $-20 \sim 50^\circ\text{C}$ の観測範囲を有し、雑音等価温度差は 27°C 黒体において 0.15°C 以下の性能を持ち、焦点距離27mmのレンズを装着している。本赤外線カメラにより撮像された熱画像は水平方向160画素×垂直方向120画素の解像度で、温度値(画素値に相当)は8ビットにて計算機へと入力される。

5.2 特徴点抽出実験結果

まず、3次元CG人体モデル(200頂点)によるシミュレーション実験を行った。すなわち、CGモデルを正面に正投影して合成した画像を用いて、3章で述べた検出処理の実験を行った。

実験の結果を図8に示す。上半身主軸の傾斜角は 75° 程度まで検出できることがわかった。仮頭頂位置の妥当性は上半身主軸角の検出可能範囲に依存しており、仮頭頂の誤検出は手先点や頭頂点の検出結果にも影響する。また足先を大きく上げている姿勢についても検出が可能であった。

同様に、実熱画像に対する実験結果を図11に示す。同図左と中央の列がそれぞれ入力熱画像と特徴点の検出結果である。図中の小さな四角形が特徴点の推定位置を表しており、推定が正しく行われていることが明らかにになった。

本推定法では単眼画像から得られるシルエット輪郭の解析を用いているため、両手を身体の前で交差したり、手先が胴体と重なるなどの姿勢は正しく検出することができない。しかし、すべての特徴点が身体部位同士の自己遮蔽のない状態であれば推定が可能である。

図8 特徴点検出のシミュレーション結果
Detected significant points (target images are generated by using the 3-D human body model).

5.3 肘・膝位置の推定結果

関節位置推定の有効性を確認するため以下に述べるような実験を行った。

まず、GAによる学習処理のため「腕を曲げる」「腕を上げる」「屈伸をする」「横にステップを踏み出す」「足を上げる」等の肘や膝の動きを中心とした一連の動作を赤外線カメラにより撮影した。次にマニュアルにて肘と膝の位置を入力し、これを目標値としてGAにより (5), (6) 式の係数 C_i , W_i を求めた。GAの各パラメータは以下の通りである。

- 個体数：2000
- 世代数：3000
- 交差確率：0.02
- 突然変異率：0.003

そして評価のために (5), (6) 式にGAで求めた係数と姿勢情報を代入して肘および膝の位置推定を行い、実測値との誤差を調べた。その結果を図9と図10に示す。図中のグラフの実線は実測値を、破線は本手法による推定値を表している。図に見られるように誤差は平均で1~2pixelの範囲に収まっており、肘・膝とも実測値に良く近似していることがわかる。180cmの身長的人物が画像垂直サイズの2/3の大きさに撮像されていると仮定すれば1画素は約2cmに相当することから、誤差は最大で4cm程度になる。計算機の処理

図9 肘関節の位置推定結果
Estimation results of an elbow joint position.

図10 膝関節の位置推定結果
Estimation results of a knee joint position.

図 11 姿勢推定結果と CG モデルによる姿勢再現
Experimental results and reproduced Kabuki characters.

速度が向上すれば実時間性を保ったまま、画像の空間分解能を高く設定することが可能となり、推定精度の向上が期待できる。また実熱画像に対しても図 11 に示されるように正しく推定が行われている。

5.4 デモンストレーション

本手法の評価および応用として、SIGGRAPH 96 Digital Bayou においてインタラクティブデモンストレーション¹⁷⁾を行った。これは人物の表情や動作が、コンピュータグラフィックスで再現される仮想歌舞伎役者キャラクタに実時間で反映するというものである¹⁾。デモンストレーションにおいて多数の人物（大人から子供まで）による姿勢推定の実演が行われ、本推定法は問題なく動作した。この結果は、3 章で述べた特徴点の検出のために必要な画素数比 ($l_h : m_h : n_h$ 等) のような人物像に関する経験的な定数の有効性を示すものである。また、人物の背景は様でなく、照明もほとんどなく薄暗い状態であったにもかかわらず、

本方式による姿勢検出は実時間に近い速度で安定に動作した。ただし、スカートなどの熱伝導率の低い着衣の対象人物に対する姿勢推定については不正確な場合があった。

姿勢推定結果と併せて再現された歌舞伎役者のキャラクタの例を図 11 に示す。お辞儀のように上体を前方に曲げた 3 次元的な姿勢も再現されているが、対象人物がカメラの光軸方向に移動しないという拘束条件下では、画像上で身体重心から頭頂点までの距離が短くなれば上体を前方に曲げていると解釈できるからである。

処理速度は 15～20 フレーム/秒となり、実時間に近付いておりレスポンスも良好であった。応用としてヴァーチャルリアリティなどのインタラクティブな環境においても実用的な速度が達成できたと思われる。

従来手法の Pfinder¹²⁾では同等の計算機において 10 フレーム/秒の処理速度となっており、本推定法はこれを上回っている。Pfinder では背景の差分処理を行うことで人物シルエットを求めているため、背景と同色系の服装や影を伴う場合に正しいシルエットが得られないと考えられる。したがって、照明や服装条件に対する頑健性が本手法に比べて低い。本手法は照明条件には基本的に依存しないため、極端な例として完全な暗闇でも適用可能である。また、衣服と背景の色彩には特別な制約を必要としないという特徴がある。

6. む す び

熱画像を用いて、人物全身像の姿勢を実時間で推定することが可能な手法を提案した。本手法では、まず熱画像から人物のシルエットを抽出した後、その輪郭をヒューリスティックスを用いて解析し、手先等の特徴点を検出する。次に GA に基づく学習により、検出された特徴点の位置から、肘および膝の関節位置を推定する。実験により、実時間に近い速度で安定な姿勢推定が可能であることを示した。また本手法は一般の CCD カメラ等を使用する場合と比較して背景・照明条件の制限を緩和できる。また、モデルマッチングを必要としないので複雑な人物モデルが不要であり、簡易なキャリブレーションだけで任意の人物への適用が可能である。今後は体の回転等の 3 次元姿勢の推定へと拡張していくとともに、より柔軟な服装条件への対応が課題である。

本研究を進めるにあたり、ご指導いただきました(株) ATR 知能映像通信研究所 酒井会長に感謝いたします。また、有益なご討論、ご助言をいただいた第一研究室の皆様へ感謝致します。

〔参 考 文 献〕

- 1) J. Ohya, K. Ebihara, J. Kurumisawa and R. Nakatsu, "Virtual Kabuki Theater: Towards the Realization of Human Metamorphosis Systems", Proc. of 5th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.416-421 (1996)
- 2) A. Pentland: "Automatic Extraction of Deformable Part Models", International Journal of Computer Vision, 4, pp.107-126 (1990)
- 3) A. Pentland and S. Sclaroff: "Closed-form Solutions for Physically Based Shape Modeling and Recognition", IEEE Trans. on PAMI, 13, 7, pp.715-129 (1991)
- 4) D. Terzopoulos and D. Metaxas: "Dynamic 3D Models with Local and Global Deformations: deformable superquadrics", IEEE Trans. on PAMI, 13, 7, pp.703-714 (1991)
- 5) Y. Kameda, M. Minoh and K. Ikeda: "Three Dimensional Pose Estimation of an Articulated Object from Its Silhouette Image", Proc. of Asian Conference on Computer Vision, pp.612-615 (1993)
- 6) A. Pentland and B. Horowitz: "Recovery of Nonrigid Motion and Structure", IEEE Trans. on PAMI, 13, 7, pp.730-742 (1991)
- 7) 亀田, 美濃, 池田: "シルエット画像からの関節物体の姿勢推定法", 信学論 (D-II), **J79-D-II**, 1, pp.26-35 (Jan. 1996)
- 8) Z. Chen and H. Lee: "Knowledge-guided Visual Perception of 3-D Human Gait from a Single Image Sequence", IEEE Trans. on SMC, 22, 2, pp.336-342 (1992)
- 9) K. Rohr: "Incremental Recognition of Pedestrians from Image Sequences", Proc. IEEE CVPR, pp.8-13 (1993)
- 10) J. Ohya, F. Kishino: "Human Posture Estimation from Multiple Images Using Genetic Algorithm", Proc. 12th ICPR, pp.750-753 (1994)
- 11) D. Gavrilu, L. Davis: "3-D Model-based Tracking of Humans in Action: a Multi-view Approach", Proc. CVPR'96, pp.73-80 (1996)
- 12) C. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrel, A. Pentland: "Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body", Proc. of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.51-56 (1996)
- 13) D. Goldberg: Genetic Algorithm in search, optimization, and machine learning, Addison-Wesley (1989)
- 14) 高木, 鳥脇, 田村, "別冊 O Plus E 画像処理アルゴリズムの最新動向", 新技術コミュニケーションズ, pp.84-107 (1986)
- 15) 柴藤, 岸野: "ステレオ輪郭像を入力とした物体の一般化円筒複合体による記述", 信学論 (D-II), **J73-D-II**, 9, pp.1402-1412 (Sep. 1990)
- 16) 北野: "遺伝的アルゴリズム", 人工知能学会誌, 7, 1, pp.26-37 (Jan. 1992)
- 17) K. Ebihara, J. Kurumisawa, J. Ohya, F. Kishino, R. Nakatsu: "Virtual Kabuki System", SIGGRAPH 96 Visual Proceedings, p.87 (1996)
- 18) 田村 他: "コンピュータ画像処理入門", 総研出版 (1985)

いわさわしろう

岩澤 昭一郎 1994年, 成蹊大学工学部電気電子工学科卒業. 1996年, 同大学院修士課程修了. 現在, 同大学院博士課程在学中. 1996~1997年, ATR 知能映像通信研究所研修研究員. ヒューマンインタフェース, コンピュータグラフィックス, コンピュータビジョンなどの研究に従事. 工学修士.

えびはらかずゆき

海老原 一之 1982年, 金沢工業大学工学部情報処理工学科卒業. 1984年, 日本ビクター(株)に入社. テレビ研究所において文字放送, ゴーストキャンセラ等デジタル映像信号処理の研究に従事. 1993年, (株) ATR 通信システム研究所, 現在, (株) ATR 知能映像通信研究所研究員, 顔画像の表情検出・再現の研究に従事. 正会員.

おおや じゅん

大谷 淳 1977年, 東京大学工学部精密機械工学科卒業. 1979年, 同大学院修士課程修了. 同年, NTT 横須賀電気通信研究所入所. 以来, コンピュータビジョン, フルカラー記録等の研究に従事. 1988年より1年間, 米国メリーランド大学客員研究員. 1992年, (株) ATR 通信システム研究所に出向. 以来, 臨場感通信会議のシステム化や要素技術に従事. 現在, (株) ATR 知能映像通信研究所第一研究室室長. 工学博士.

なかつ りょうへい

中津 良平 1969年, 京都大学工学部電子工学科卒業. 1971年, 同大学院修士課程修了. 同年, NTT 武蔵野電気通信研究所入所. 1980年, 横須賀電気通信研究所. 主として音声認識の基礎研究, 応用研究に従事. 1991年, NTT 基礎研究所研究企画部長. 1992年, NTT 基礎研究所情報科学研究部長. 1995年より, ATRに移り, 現在, (株) ATR 知能映像通信研究所代表取締役社長. マルチメディア要素技術の研究及びマルチメディア技術を応用した通信方式の研究などに従事. 工学博士.

もりしま しげお

森島 繁生 1982年, 東京大学工学部電子工学科卒業. 1984年, 同大学院修士課程修了. 1987年, 同大学院博士課程修了. 同年, 成蹊大学工学部電気工学科専任講師. 1989年, 同大助教授, 現在に至る. 1994年より1年間, トロント大学コンピュータサイエンス学部客員教授, 音声信号処理, 画像処理, 音声と画像の知的符号化などの研究に従事. 工学博士. 正会員.