

## 3次元モデルを利用した顔画像データベース

有馬 展子, 渡邊恵理子, 小舘香椎子  
日本女子大学理学研究科 数理・物性構造科学専攻

(2004年10月15日受理)

**要旨** 入退出管理などの顔画像認識システムでは、セキュリティチェックを希望する本人の正面平常顔をカメラで取得し、IDと併用したデータベース画像との1:1照合が行われている。これに対して街頭や空港に設置された監視カメラからのモニタリングや乳幼児を対象とする本人認証などのシステムは、全くカメラを意識していない人の顔画像を画面上から検出・認識するので、角度変化にも十分対応可能なデータベースと高いロバスト性を持った認識アルゴリズムの確立が要求されている。著者らは光相関器とデジタルコンピュータを組み合わせたハイブリット光並列顔認識システムを構築してきており、正面平常顔において、90%を越す認識率が得られている。さらにマッチトフィルタを用いて毎秒1,000 facesの高速光並列相関器FARCO (Fast Facial Recognition Correlator)を実現した。この装置の持つ高速データ処理能力を利用し、一人に対して多くのカテゴリデータを登録することで、斜めの顔画像など様々な条件に対応が可能なロバスト性の高い認識システムが構築できると考えている。

一方、3次元情報を得るためのセンシング技術としては、計測対象・用途・要求に応じて光スポット法、光切断法、正弦波位相シフト法など様々な手法が提案されており、高精度かつ高速な測定装置も開発されている。これらのシステムは、被験者にレーザなどを照射し計測を行うものでレンジファインダなどの特殊な装置を必要とする。計測対象が人の場合、機械部品などの計測と異なり非接触で瞬時に計測可能であることが望まれる。

これらの要求に対して、我々はステレオ法を用い3台のデジタルカメラでの顔画像の同時撮影と市販ソフトによる3次元モデリングにより、上下・左右に角度変化をつけた顔画像データベースを作成した。さらに作成した顔画像データベースを用い、角度変化のある顔画像を入力し、構築した高速光並列相関器を用いた実証実験により動画像認識用アルゴリズムの検討を行っている。3次元モデルを利用した顔画像データベースの作成は、まず3台のカメラにより、正面と左右15度の顔画像を取得する。この顔画像から3次元モデルを作成し、上下・左右に5度刻みで3次元モデルを動かし、角度変化をつけた顔画像を作成し、データベースとした。今回は一人あたり57枚のデータベース画像を5名分作成した。このデータベースを用い、作成した角度変化のある顔画像285枚(5名分57枚)を入力とし、シミュレーション実験により相関演算を行った。その結果、従来のシステムでは認識ができなかった斜めの顔画像においても3次元モデルを利用した顔画像データベース中の画像の中から正しく本人を1位と認識し、角度変化にも十分対応可能なデータベースとして、有効である結果を得た。今後は、作成した高速光相関器を用いて、動画像に対応したアルゴリズムやデータベースの最適化を進めていく。

キーワード：3次元モデル, ステレオ法, 顔認識用データベース, 動画像認識用アルゴリズム, 高速光相関器

### 1. はじめに

『情報通信研究開発基本計画—21世紀における情報通信技術の研究の在り方—』(2000年の電気通信技術審議

Contribution No.: MP 04-1

会答申(総務省))<sup>1)</sup>にあるように、バイオメトリクスによる個人認証として、日本では2010年からの顔画像認識の実用化が掲げられており、顔画像認識技術は、安心・安全な社会に向けたセキュリティ技術として実現が期待されている技術である。また、2001年9月11日の「同時多発テロ」を境にしてニューヨークでは、これまで警官



Fig. 1 Samples of recognizable facial images in a conventional system with front images database.

などによる巡視を行っていた地区を中心として監視カメラを設置し、顔認識を導入し抑止効果が表れ犯罪率が低下しているという報告もある<sup>2)</sup>。さらに2005年秋から生体情報を記録したICチップを組み込んだ電子パスポートが導入され、パスポートの顔写真の照合と組み合わせた出入国管理強化が進められている<sup>3)</sup>。

入退出管理やコンピュータログインなど、固定場所における顔画像認識システムでは、セキュリティチェックを希望する本人の正面平常顔をカメラで取得し、IDと併用したデータベース画像との1対1照合が行われている。これに対して街頭や空港に設置された監視カメラからのリアルタイムでの被疑者検索や乳幼児を対象とする本人認証などのシステムは、全くカメラを意識していない人の顔画像を画面上から検出・認識するので、角度変化、照明変化にも十分対応可能なデータベースと高いロバスト性を持った認識アルゴリズムの確立が要求される。これらの要求に対して、3次元顔モデルの利用<sup>4, 5)</sup>や動画画像を用いた検討<sup>6)</sup>が、姿勢や照明変動に頑健なシステムとして確立が進められている。

著者らは光相関器とデジタルコンピュータを組み合わせたハイブリット光並列顔認識システムを構築してきており、正面平常顔をデータベースとした場合、Fig. 1に示すように照度変化、表情変化、3ヶ月の経時変化などに対しても90%を越す認識率が得られている<sup>7)</sup>。さらにマッチフィルタを用いて毎秒1,000 facesの高速光並列相関器 FARCO (Fast Facial Recognition Correlator) を実現した<sup>8)</sup>。この装置の持つ高速データ処理能力を利用し、一人に対して多くのカテゴリデータを登録することで、斜めの顔画像など様々な条件に対応が可能なロバスト性の高い認識システムが構築できると考えている<sup>9)</sup>。

一方、3次元モデルを作成するための計測技術としては、2章で詳しく述べるように計測対象・用途・要求に応じて光スポット法、光切断法、正弦波位相シフト法など様々な手法が提案されており、高精度かつ高速な測定装置も開発されている<sup>10, 11)</sup>。これらのシステムは、被験

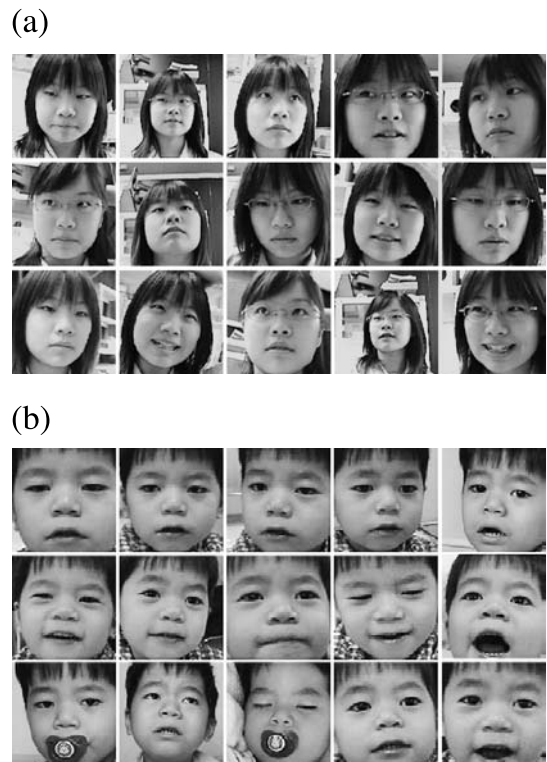


Fig. 2 Facial images.

- (a) Non-specifics taken by monitoring the object face image.
- (b) Infants taken without their own wills nor intentions.

者にレーザなどを照射し計測を行うものでレンジファインダなどの特殊な装置を必要とする。しかし計測対象が人である場合には、機械部品などの計測と異なり非接触で瞬時に計測可能であることが望まれる。

これらの要求に対して、我々はレーザなどを照射しないため被験者への負担が少ない方法として、3台のデジタルカメラでの顔画像の同時撮影と市販ソフトにより3次元モデルを作成し、上下・左右に角度変化をつけた顔画像データベースを作成した。この方法は、監視カメラなどの動画画像から得られる顔画像や撮影を意識しない乳幼児の顔画像の取得の際にも、Fig. 2に示したように様々

測定原理	光スポット方式	光切断方式	正弦波格子位相シフト法	ステレオ方式
測定方法	レーザスポット光を当て、そのスポット位置をCCDカメラにより計測	スリットレーザ光を被験者に照射し、その反射光強度分布を利用。	干渉縞を被験者に照射し、干渉縞の位相差により位置を計測	3台のカメラ間から三角測量の原理により、位置を計測
測定時間	数秒	数秒	数秒	シャッタースピード (数十ms)
撮影カメラ	特注品	特注品	特注品	市販のデジタルカメラ
特徴	小型、環境を選ばない。高精度。	短時間で高精度な測定が可能。	短時間で高精度な測定が可能。	ソフトウェアだけで実装可能
代表的な製品	パルステック工業 TDS 	ミノルタ VIVID910 	NECエンジニアリング Danae100 	デジタルカメラ 

Fig. 3 Methods and devices for three-dimensional shapes by optical sensing.

な向きの顔画像入力に従って、入力画像を想定したデータベースの作成が必要である。

本論文では、まず2章で代表的な3次元計測システムの原理・特徴について述べ、今回用いたステレオ法の位置付けを明確にする。3章では、ステレオ法の基本原理である三角測量や3次元モデルを作成するための手法であるステレオマッチングについて述べ、実際に作成した顔の3次元モデルとその作成手順について述べる。4章では、3次元モデルから作成した顔画像データベースを用い、角度変化のある顔画像を入力対象画像とした時の光相関演算結果について記述し、最後にまとめる。

## 2. 3次元計測システム

人・物体などの3次元情報は、CTスキャンに代表される医学・歯学分野、建築物の設計や遺跡復元など建築・測量分野、被服・デザインの分野、さらにはAFMやSEMのようにマイクロな測定に至るまで幅広い分野において必要とされている。これまでの3次元情報のセンシング技術は、機械的な接触プローブを用いて、対象物体上の一点ずつに順々に当てながら表面上の各点の3次元座標値を得ていく方式が多かった。しかし、近年、光を利用して3次元形状をセンシングする技術として、Fig. 3に示すように数多くの手法が提案・報告され、装置の開発がされている。光を用いたセンシングの利点は非接触で瞬間的に形状情報の検出が可能のため電気的ノイズの排除、計測の画像化が可能で、波長単位オーダの測定可能などが挙げられる<sup>11)</sup>。

Fig. 3に示した3次元形状測定装置は、計測手法として大きく点計測・線計測・面計測に分類することができる。点計測である光スポット法は、対象物体に光スポッ

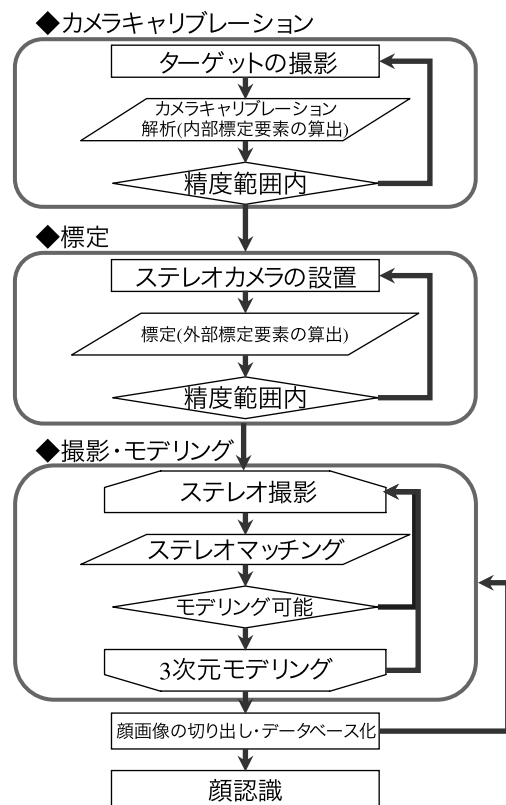


Fig. 4 Flowchart of the three-dimensional modeling using the stereo method.

トを照射し、測定部位を特定するとともに、点の位置座標を検出する。この方法は、測定精度は高いが測定時間がかかる。光切断法は、回折格子などによりシート状にした光を投影することによって切断面が得られ、これを順次移動して全体の形状をとらえることができるもので、

同時に多数のスリット光を投影するマルチスリット光方式といったものも開発されている。医用画像診断装置として有名なCTスキャン<sup>12)</sup>は、X線測定対象物体にあらゆる方向から当て、反対側に通り返ってくるX線を検出し、得られた画像を解析することにより、物体中の様子を画面に映し出し3次元情報を得ることができる。ステレオ法<sup>10)</sup>をはじめ、モアレ等高線法<sup>10)</sup>、パターン光投影法<sup>10)</sup>などの面計測は、測定対象の全面を同時にとらえることができる。従って、対象物を拘束する時間は短くて済むという特徴がある。位相シフト法<sup>10)</sup>は、モアレ法の欠点を補うもので、モアレパターンを移動し見かけの感度を高めたものである。

本研究では、表面が柔らかい「人の顔」を対象としているため、市販のデジタルカメラによる計測が可能で、測定時間がシャッタースピードであるステレオ法による顔の計測とモデリングを行なった。

### 3. ステレオ法による3次元モデルの作成

ステレオ法による3次元モデリングのフローチャートをFig. 4に示す。カメラキャリブレーション、標定、撮影・モデリングとプロセス毎に精度を確認しながら、進めていくプロセスとなっている。

#### 3.1 ステレオ法

距離を計測するために三角測量法は最も一般的な手法として行なわれ、ステレオ法はこの三角測量を基本原理とし、2枚のステレオ画像から対応点の検索を行い奥行き情報を求めるものである。すなわち右のカメラによって得られる画像の中の一点が、左のカメラによって得られる画像のどの点に対応するかを決定し、3次元情報を得る。この対応点を検索する処理がステレオマッチングと呼ばれているもので、計算量が多いため様々なアルゴ

リズムが提案されている<sup>13)</sup>。Fig. 5にステレオ法の原理図を示す。フィルム面は本来レンズの後ろ側に来るはずであるが、像が逆転してしまうため、図ではレンズよりも対象点P側にあるように描かれてある。2台のカメラ間距離をH、カメラの焦点距離をC、点Pを右カメラに投影した点を $P_R(x_R, y_R)$ 、左カメラを $P_L(x_L, y_L)$ とすると、計測点を $P(x, y, z)$ は、

$$x = \frac{x_L \cdot H}{x_L + x_R}, y = \frac{y_L \cdot H}{y_L - y_R} = \frac{y_R \cdot H}{x_L - x_R}, z = \frac{f \cdot H}{x_L - x_R} \quad (1)$$

と表すことができる。

今回はこのステレオマッチングの処理を3D画像計測ステーションPI-3000((株)トプコン製)を用いて行った。

### 3.2 撮影環境の設定(カメラキャリブレーション)

#### (1) カメラキャリブレーション

どのような高級なカメラでも必ず光軸のずれやレンズの歪みが存在し、収差を引き起こす。なかでも、歪曲収差(distortion)は、像の形状を幾何学的に歪ませてしまうため、ステレオマッチングの際の対応点検索に大きな影響を及ぼす。従って撮影された写真座標から真の(理想的なカメラで撮影したときの)写真座標を得るため、カメラキャリブレーションによりカメラの内部定位(レンズの光軸中心、焦点距離、レンズのひずみ係数)を算出した。カメラの構造を表すパラメータであるカメラの内部定位は、レンズの投影中心とフィルム面の関係を決める要素であり、共線方程式を最小二乗法で解くことによって求めることができる<sup>14)</sup>。共線方程式は、カメラの原点(レンズ中心) $O_R$ もしくは $O_L$ 、計測点の座標 $P$ とその画像上の点 $P_R$ もしくは $P_L$ の3点が一本の直線上に存在する( $(O_R, P, P_R)$ 、 $(O_L, P, P_L)$ )位置関係の幾何学的条件から得られ、Fig. 5において右カメラに投影した点 $P_R(x_R, y_R)$ における共線方程式は、

$$x_R = x + D_x + \frac{m_{11}(X-X_0) + m_{12}(Y-Y_0) + m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) + m_{33}(Z-Z_0)} \cdot c = 0 \quad (2)$$

$$y_R = y + D_y + \frac{m_{21}(X-X_0) + m_{22}(Y-Y_0) + m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) + m_{33}(Z-Z_0)} \cdot c = 0 \quad (3)$$

となり、このとき

$$D_x = -x_p - \frac{\bar{x}}{c} d_c + \bar{x} (K_1 \bar{r}^2 + K_2 \bar{r}^4) + P_1 (2\bar{x}^2 + \bar{r}^2) + 2P_2 \bar{x}\bar{y} + a\bar{x} + b\bar{x} \quad (4)$$

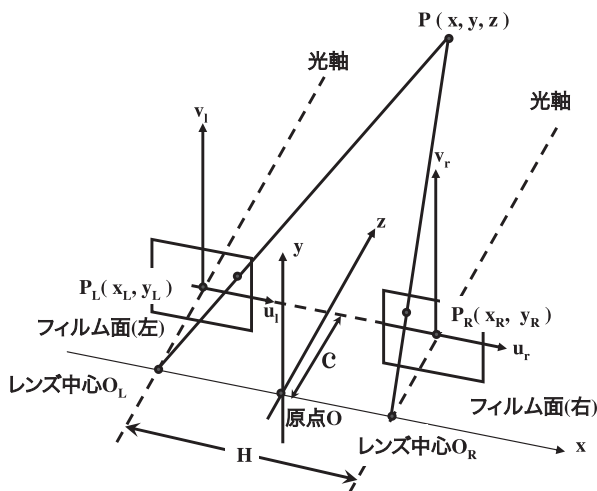


Fig. 5 Principle of the stereo method.

$$D_y = -y_p - \frac{\bar{y}}{c} d_c + \bar{y} (K_1 r^2 + K_2 r^4) + 2P_1 \bar{xy} + P_2 (2\bar{y}^2 + r^2) \quad (5)$$

ここで  $\bar{x}_p = x - x_p$ ,  $\bar{y}_p = y - y_p$ ,  $r^2 = \bar{x}_p^2 + \bar{y}_p^2$ , a, b はひずみのパラメータ, c は画面距離 (焦点距離),  $x_p$ ,  $y_p$  はカメラの主点位置 (レンズの中心を通り画面に垂直な光軸が画面と交わる点) の画像座標, 撮影点座標 ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) である。また,  $m_{ij}$  は, カメラの回転行列  $M = (m_{ij})$  である。

本研究では既知点ターゲットとソフトを用い, カメラの内部定位を求めた。ここでは, 対象点とそれが投影された撮像面の画像座標の関係から間接的に求めるセルフキャリブレーション付きバンドル調整法<sup>15)</sup>を用いて行った<sup>16)</sup>。

算出されるパラメータの数は, バンドル調整法・直線線形変換法 (DLT 法)・平面基準点を用いる同時キャリブレーション法など, 各計算手法<sup>13)</sup>により異なり, 4~9 個程度のモデル (ステレオ画像から再構成される 3 元空間) が採用され<sup>13, 17)</sup>, ここでは, 7 個のパラメータを算出した。

(2) 使用したカメラ

今回は撮影用として, 小型・軽量な特徴を持つデジタルスチルカメラ Optio S (PENTAX 株製) を用いた。このカメラの仕様およびカメラの設定を Table 1 に示す。ステレオ撮影に使用するカメラは, 通常, 高解像度のものの方が 3 次元モデルの精度が高く, 一般的に 500 万画素程度の 1 眼レフタイプのデジタルカメラが使われる。しかし, 高解像度であればその分ステレオマッチングの処理時間がかかってしまい, 撮影のセットも大きいものになってしまう。したがって本研究では, 被験者に圧迫

感を与えないよう小型なカメラを用いることとし, また計算時間を考慮して低解像度の画像を用いることの検討を行なった。基礎実験では 1536\*2048 [pixel] と 640\*480 [pixel] と 2 種類の画像でカメラキャリブレーションを行い, その結果から 640\*480 [pixel] でもカメラキャリブレーションが可能で, 顔画像データベースには十分であることから, 解像度は 640\*480 [pixel] とした。また, これまでの顔画像の撮影と同様に被験者とカメラの距離 (焦点距離) は 1 [m] と固定し, カメラの画角いっばいに顔が入るようにズームは tele の状態とした。照明は, 顔に影を作らないよう工夫し, 室内で照度 100 [lx] とした。撮影の条件を Fig. 6 に示す。カメラは 3 台使用し, Fig. 6 (a) のように被写体からの距離が 1 [m] と均等になるよう円弧状に設置した。また, 3 次元モデリングが難しいとされる髪の毛の影響が少なくなるよう, 背景は黒とした。カメラとカメラ台は Fig. 6 (b) のように設置し, 基線長 (カメラ間の距離) が 25 [cm] となるようにカメラの傾きは左右 15 度とした。

3.3 標定

3.2 で得られたキャリブレーションデータ (内部定位) がレンズの投影中心とフィルム面の間決める要素であるのに対して, レンズから被写体に至る空間の幾

Table 1. Specification and condition of the camera; OptioS (PENTAX Co., Ltd.).

有効解像度	3.2 [mega pixel]
記録解像度	640×480 [pixels]
焦点距離	1.0 [m] (Manual focus)
大きさ	83 (W)×52 (H)×20 (D) mm <sup>3</sup>
重さ	115 [g]
照明	100 [lx]

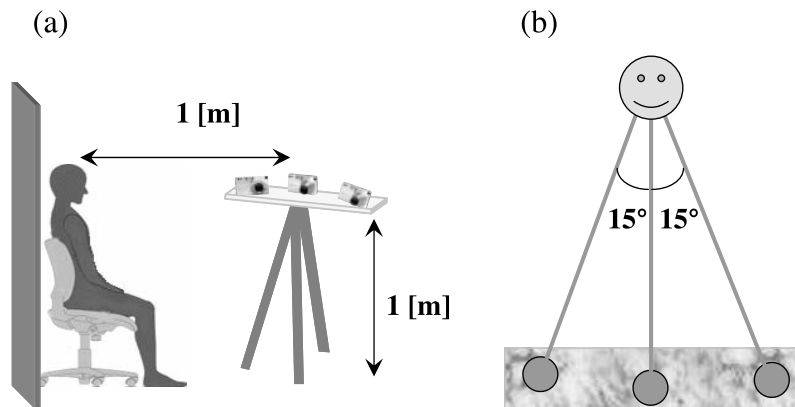


Fig. 6 Conditions of photographing using three cameras.

- (a) Scene.
- (b) Arrangement of three cameras.

何学的な関係を決定する要素は外部標定要素と呼ばれる。言い換えると、正しいカメラの位置関係のことであり、これを求める作業を「標定」と言う。今回は、3台のカメラを用いているため3台のカメラの位置関係を知る必要があり、Fig. 7に示すような複数の基準点となる印を付けたマネキンを3台のカメラで撮影することにより標定を行った。この標定決定にもステレオマッチングと同様にPI-3000を使用した。

本来標定には、絶対標定と相互標定があるが、ここでは特別な基地点ターゲットを準備せず、今後どのような環境においても3次元モデルの作成が可能なように相互標定と言われる、マネキン上の7点をバスポイントとして利用する方法を採用した。このカメラの位置パラメータはカメラを動かさない限り有効であるため、データベース作成の効率化を測ることができる。

撮影した画像をPCに取り込みキャリブレーションデータを登録する。3枚の画像を構成する2組の左右ペアのステレオ画像において、共通の7点以上をバスポイントとして手動で登録し各カメラの座標値を算出する。Table. 2に標定結果例を示す。標定結果では、基線長  $B[m]$  がおよそ  $1[m]$  となり、撮影距離  $H[m]$  は  $5[m]$  となった。ここでは相互標定結果であるため、基線長および撮影距離は、絶対距離ではなく相対距離で表されている。また、各カメラの位置  $(X_0, Y_0, Z_0)$  は相対座標となっている。カメラの傾き  $\omega [deg]$ ,  $\phi [deg]$ ,  $\kappa [deg]$  は、x軸、y軸、z軸における回転であり、 $\omega$  や  $\kappa$  値が大きい場

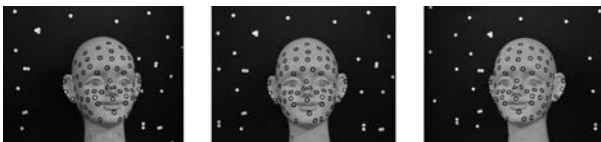


Fig. 7 Facial image for orientation.

合はもう一度水準器でカメラ台を水平にし、カメラ2の  $\phi$  が0から離れている場合には被写体からのカメラの位置を均等にする必要がある。

この標定により得られたカメラの位置パラメータ(相対位置  $(X_0, Y_0, Z_0)$ 、傾き  $(\omega, \phi, \kappa)$ ) と3.2で得られたカメラの内部定位を用いて、3次元モデリングを行った。

### 3.4 ステレオ撮影

Fig. 8にステレオ撮影のフローチャートを示す。まず

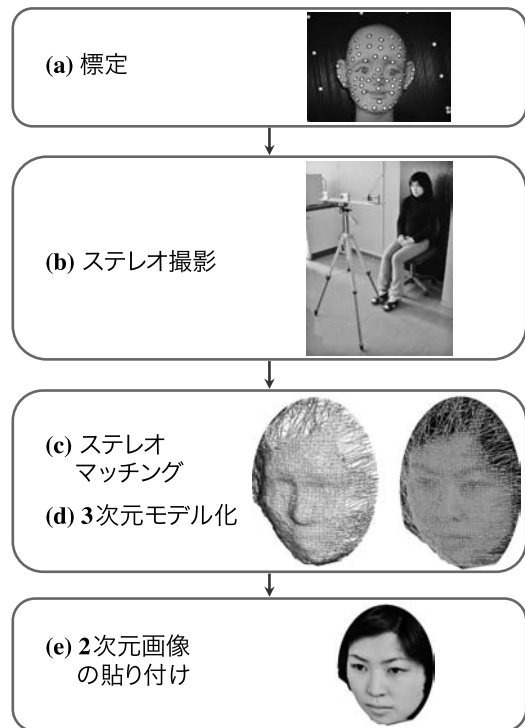


Fig. 8 Flowchart of the stereo photography.

Table 2. Experimental results from the orientation examination.

ステレオ画像の撮影状況と地上分解能						
ペア名	基線長 $B[m]$	撮影距離 $H[m]$	B/H比	平面分解能 $[m]$	奥行分解能 $[m]$	
IMG P5158 - IMG P...	0.9996	5.1117	0.20	0.0027	0.0138	
IMG P4845 - IMG P...	1.0421	5.0902	0.20	0.0027	0.0131	
IMG P5158 - IMG P...	2.0417	5.1117	0.40	0.0027	0.0067	

カメラの位置と傾き						
画像名	$X_0 [m]$	$Y_0 [m]$	$Z_0 [m]$	$\omega [deg]$	$\phi [deg]$	$\kappa [deg]$
IMG P5158	0.0042	0.0003	0.0017	0.002	5.360	-0.293
IMG P4845	1.0038	0.0001	-0.0000	0.493	-4.427	0.297
IMG P2204	2.0458	-0.0077	-0.0117	0.364	-15.128	0.399

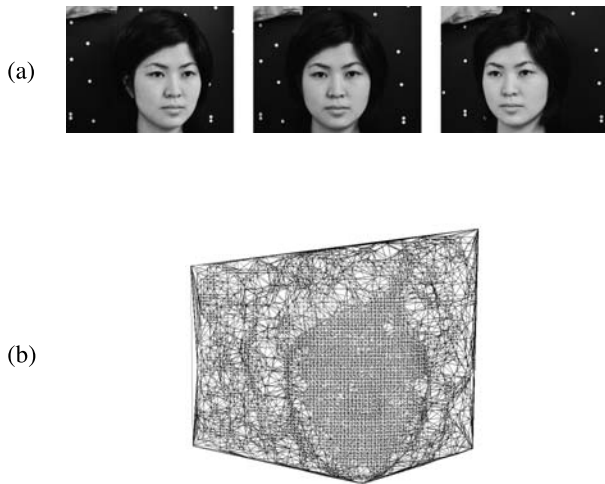


Fig. 9 (a) Three facial images by the stereo photograph.  
(b) Facial images using wire frame model created from (a).

3. 3で述べたように、撮影を行う前には必ず (a) 標定を行う。(b) 標定時と同じカメラの状態、ステレオ撮影を行い、(c) 撮影した画像をPCへ取り込み、カメラの内部定位、および外部標定要素を登録する。(d) ステレオマッチング処理を施し、3次元モデリングを行う。最後に (e) 3次元モデルを上下・左右に任意に動かし顔画像を切り出し、データベースとする。

ステレオ撮影して得られた3枚の顔画像を Fig. 9 (a) に示す。このとき顔の周りに4点以上のパスポイントが写るように撮影した。このパスポイントを利用して、ステレオマッチングの領域を選択し、ステレオマッチング処理を施した。右ペアと左ペアの2組のステレオマッチング結果は、Fig. 9 (b) に示すような3次元モデル (ワ

イヤーフレーム表示) である。この3次元モデルを任意に回転させ、切り出すことで Fig. 10 のような顔画像データベースを作成した。

#### 4. 顔画像データベースの構築

##### 4.1 認識シミュレーション

3次元モデルを用いて作成した顔画像データベースの評価として、著者らが構築している顔認識アルゴリズムを用いて、作成した3次元データベースと角度変化のある入力顔画像との相関演算をシミュレーションで行った。今回用いた認証のアルゴリズムを Fig. 11 に示す。画像は、光演算を行うために前処理として、大きさの正規化、エッジ抽出、2値化処理を行う。入力画像は、この後コンピュータによりフィルタ化<sup>8)</sup>され、同様の前処理を施してあるデータベース顔画像との相関演算を行う。相関演算は、入力画像1枚に対してデータベース内の全画像と行うため、1対N認証に対応可能なアルゴリズムとなっている。出力結果は、相関値の高い順に上位5つのデータベース内の顔画像を表示する。

実験に用いた入力画像を Fig. 12 (a) に示す。入力画像は、水平方向 $\pm 30$ 度の範囲を5度刻み取得したものと、水平方向0度および $\pm 15$ 度の位置において、鉛直方向に $\pm 30$ 度の範囲で5度刻みに取得した一人あたり57枚、5名分とした。このとき、カメラ側に設置した目標点 (×印) を見るように被験者に指示し、3台のカメラで同時に撮影を行った。今回は、3次元モデルから得た顔画像データベースの基礎評価を行うため、データベース画像は Fig. 12 (b) に示すように、入力画像と同数の57枚とした。

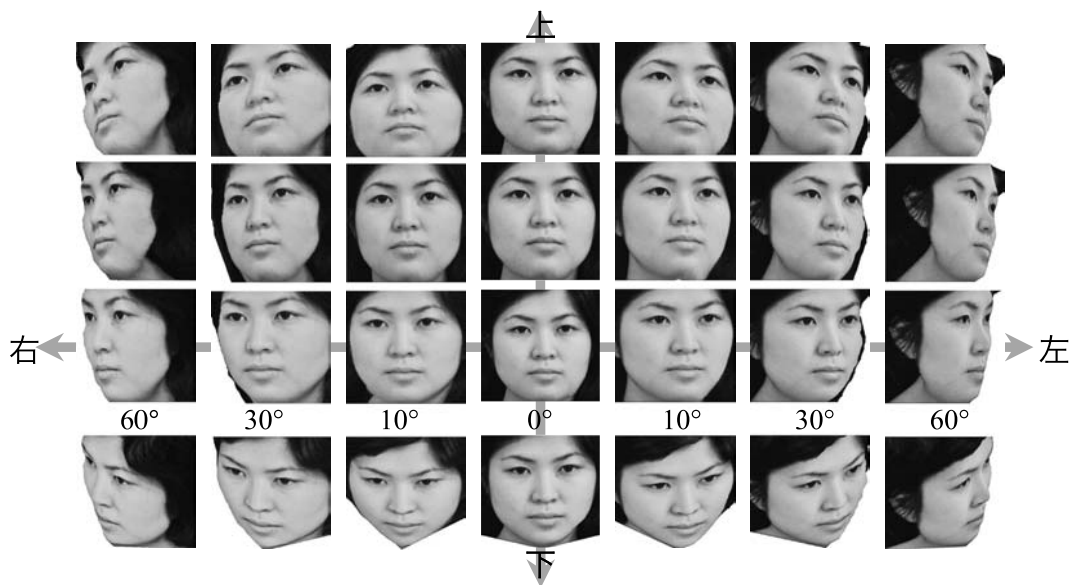


Fig. 10 Database containing three-dimensional facial models.

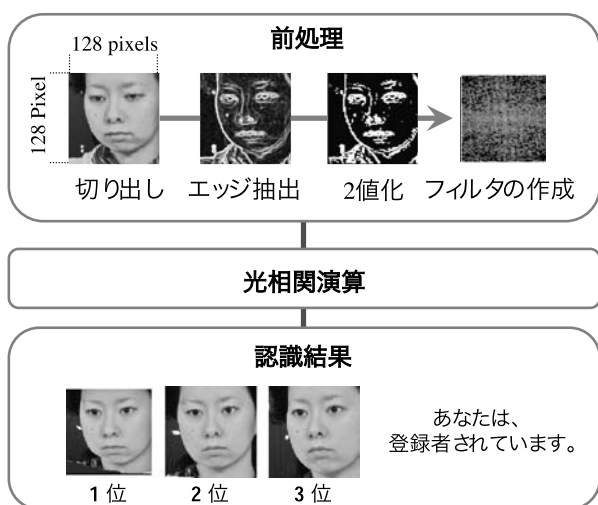
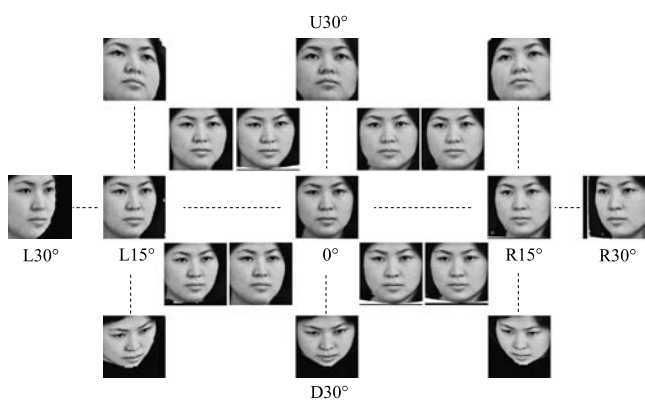
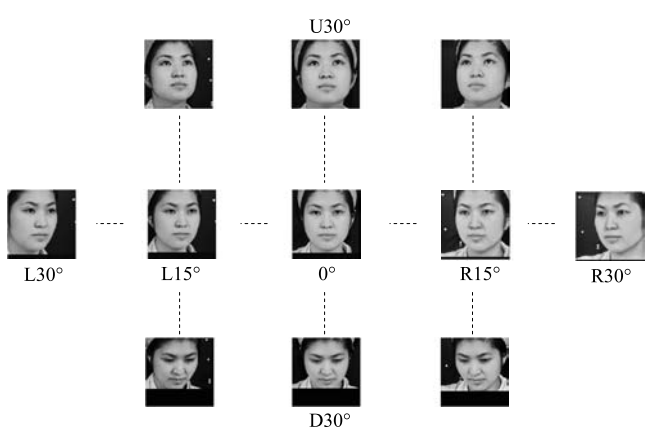


Fig. 11 Algorithm for facial recognition.



(a) Facial images for the database.



(b) Input facial images.

Fig. 12 Facial images used in the experiment for correlation.

これらの入力画像およびデータベース画像とで相関演算を行い、3次元モデルを利用した顔画像データベースの有効性について検討した。

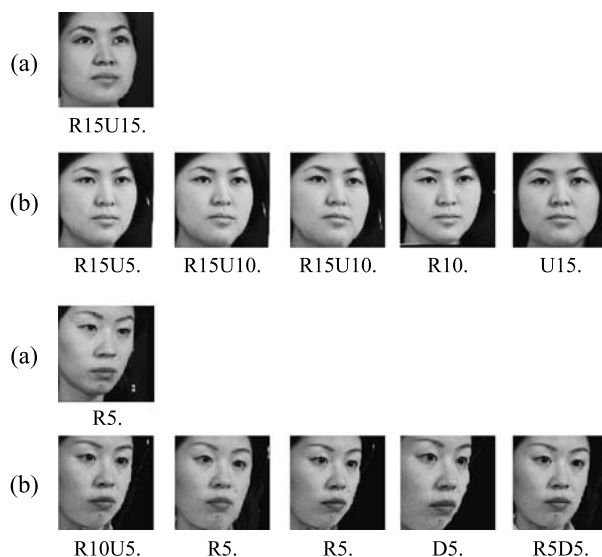


Fig. 13 Experimental results for facial recognition with three-dimensional database.

#### 4.2 認証実験評価

Fig. 13 にシミュレーション実験による相関演算結果例を示す。ここで (a) は入力画像, (b) は (a) と相関値の高かった上位 5 つのデータベース画像である。入力画像が R15U15 (右向き15度・上向き15度) であるのに対して, R15U5 (右向き15度・上向き5度) の画像との相関値が最も高く, 上位 5 位までが同一人物となった。同様に R5 (右向き5度) の画像が入力された場合も上位 5 位が本人として出力された。また, 入力した 285 枚の顔画像 (5 名分・57 枚) においては, 平均 95% が正しく本人を 1 位とし, 3次元モデリングの有効性を確認した。これらの結果より, 従来のシステムでは認識が困難だった斜めの入力顔画像に対しても 3次元データベースを用いることにより正しく本人を 1 位として認識できることがわかった。3次元モデルを利用した顔画像データベースが本人認証, および角度の絞込みに有効であるといった結果を得た。

#### 5. ま と め

監視カメラ・モニタリングなどの動画画像や撮影意識のない乳幼児の顔画像から得られる正面以外の様々な向きの顔画像を対象とする本人認証システムのための顔画像データベースの作成と基礎評価を行った。

3次元モデルを作成するにあたって, まず準備として使用するカメラのキャリブレーションを行い内部定位を求めた。撮影にあたっては, カメラの標定により個々のカメラの位置関係を求めた上で, 顔画像を撮影し, ソフトを用いて 3次元モデルを作成した。作成した 3次元モデルから, 認識時に入力される顔の向きを想定し, 回転



させ顔画像を切り出し、角度変化、照明変化にも対応可能な顔画像データベースを構築した。

作成した顔画像データベース（一人あたり57枚5名分）を用い、角度変化のある285枚の顔画像を入力したシミュレーション実験により相関演算を行った。その結果、平均95%が同一人物の顔画像を1位として認識し、従来のシステムでは認識ができなかった斜めの顔画像においても3次元モデルを利用した顔画像データベース中の画像の中から正しく本人を1位と認識した。今後、被験者数を増やし、動画画像入力を用いた実証実験を進め、認証アルゴリズムおよび最小なデータベース枚数を検討し、最適化を進めていく。

また、3次元モデリングの応用展開として、対象を顔から花びん、置物、仏像などへ広げ、モデルの対象とする物体の材質、色、反射率などの条件の解析を行い、一般的な画像を対象とする3次元モデルのための最適化に向けた検討を行っていく。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり、3次元データベースの作成について、ご助言を頂きました株式会社トプコン研究所の小泉 浩氏、高地伸夫氏に感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 情報通信研究開発基本計画—21世紀における情報通信技術の研究の在り方—(総務省)  
[http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/policyreports/japanese/teletech/00228b01.html](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/japanese/teletech/00228b01.html)
- 2) 山田慎一郎：バイオメトリクスは果たして産業活性の種になるか。日本自動認識システム協会機関誌えいむ **Sep 8** (2002).
- 3) 電子政府行政情報化事業『各国バイオメトリクスセキュリティ動向の調査』独立行政法人、情報処理推進機構 **1** (2004).
- 4) 稲田大輔, 倉持 基, Charndrasiri N.P., 苗村 健, 原島博：日本顔学会誌 **4** 89 (2004).
- 5) 稲葉利江子, 小館香椎子：日本女子大学紀要理学部 **8** 25 (2000).
- 6) NHK 放送技術研究所技研だより：**67** 39 (2001).
- 7) Kodate K, Inaba R, Watanabe E, Kamiya T, and Kodate K: *Meas Sci. Technol.* **13** 1756 (2002).
- 8) Watanabe E and Kodate K: MOC' 03 *TECHNICALDIGEST* 380 (2003).
- 9) 有馬展子, 渡邊恵理子, 小館香椎子：3次元画像コンファレンス **193** (2004).
- 10) 吉澤 徹：光によるヒトの3次元計測。計測と制御 **39** 267 (2000).
- 11) 吉澤 徹：光三次元計測。新技術コミュニケーションズ (1998).
- 12) 財団法人画像情報教育振興協会発行：画像処理標準テキストブック。
- 13) 服部 進, 秋元圭一, 岡本 厚, 長谷川博幸, 井本治孝：信学会誌 **D-II** 1391 (1999)
- 14) 秋元圭一, 服部 進：岡山職業能力開発短期大学校紀要 **11** (1997).
- 15) 野間孝之, 伊藤忠之, 大谷仁志, 山田光晴, 高地伸夫：第9回画像センシングシンポジウム講演論文集, **35** (2003).
- 16) 高地伸夫, 伊藤忠之, 渡邊広登, 大谷仁志, 門林理恵子, 太記祐一, 伊藤重剛：第10回画像センシングシンポジウム講演論文集 **323** (2003).
- 17) 高地伸夫：2003年度精密工学会春季大会学術講演論文集 **415** (2003).

# Database for Facial Recognition Based on Three-dimensional Model

Nobuko Arima, Eriko Watanabe and Kashiko Kodate  
The Graduate school of Science, Division of Mathematical and  
Material Structure Science, Japan Women's University

(Received October 15, 2004)

**Abstract:** In a face recognition system used for entry/exit security control, ID card as well as facial photographed image are normally checked through one-to-one verification. In contrast to this conventional system, those using CCDcameras installed in the street and at airports are discreetly trained on members of the public. As an example, they can be used to identify criminals or unaccompanied children. In these cases, they require higher robustness for recognition algorithm and diversified data capture capabilities. The authors have proposed a hybrid facial recognition system, which combined the optical correlator with the digital computer. The results indicate a recognition rate of greater than over 90%. Moreover we designed and fabricated the FARCO (Fast Facial Recognition Correlator) based on Vanderlugt Correlator, the speed of which is 1000 faces/s. Using fast data processing capability of FARCO, it is considered that the recognition system of the robustness in which the correspondence is possible for diversified facial image can be constructed by registering many category data for one person.

On the other hand, light spot method, light section method and phase shift method have been are among many techniques to obtain three-dimensional data. There are also highly precise and speedy measuring devices developed that the high-precise and high-speed measuring system. These systems need special equipments for example range finders, for irradiating and measuring the subject with lasers. Unlike the measurement of parts of a machine, etc., it is desirable to possess the capacity of measuring in a moment and in a non-contacting way, when the object is a person.

To meet these requirements, we took photographs and created database of facial images using three digital cameras based on the stereo method. Three simultaneously-photographed images were given angular variations from top to bottom and from left to right by three-dimensional modeling by use of the software. Using our database and inputting these facial images with angular variations, we proceeded on the examination, the algorithm for moving images.

To begin with, the first database for facial images using three-dimension model was constructed, with those image files made by three cameras. Photographs were taken from the front and to right and left 15 degrees. The three-dimensional model is constructed by these facial images. Making the database from the three-dimensional model, two-dimensional facial images are clipped from part of the model at shifting each from top to bottom, and from left to right with 5 degrees. Thus we created database which facial image in the database have angular variations. This time, we created 5 persons' images for the database, for the 57 sheets per one person. Using the simulation method, correlations were subsequently checked with 5 persons' facial images taken from various angles. As a result, the facial images with angular variations were rightly recognized in the database. Therefore, the 3-D modeling system proved to be the most effective. Examining applicability to algorithm for animation, system optimization is underway, utilizing a fast facial recognition correlator.

**Key words:** three-dimensional model, the stereo method, database for face recognition, fast facial optical correlator, algorithm for recognition of moving faces.