

3次元形状計測による正面顔の生成

堀 磨伊也[†] 日浦 慎作 佐藤 宏介

大阪大学大学院 基礎工学研究科
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

あらまし セキュリティ分野において顔画像を用いた個人認証技術が重要な要素技術として研究されている。通常の顔認証システムでは、認証する人物にカメラに正対するように求めることができるが、通路や室内を自由に移動する人物を認証しようとした場合、必ずしも正面からの映像を撮影することができるとは限らない。そこで本研究では、入力画像において顔が斜めを向いたとき、顔を3次元計測することにより、その3次元形状から特徴点として鼻先を用い、顔の左右対称性に基づき顔の方向を求め、最後にレンダリングにより頭部姿勢によらず正面顔を生成するシステムを構築した。

Reconstruction of Front Face based on 3-D Shape Measurement

Maiya HORI[†], Shinsaku HIURA and Kousuke SATO

Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3, Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-8531 Japan

Abstract Authentication based on facial image is one of the most important issue of biometric security technology. Especially, unconscious recognition from the surveillance camera is useful for monitoring moving persons, but most facial recognition system requires the frontal view of the face of the target. In this paper, we propose a method to reconstruct the frontal face image using range image sensor. Our system detects only one feature point, the nose, and then calculate the orientation of the face using the symmetry of the shape of human face. The image of the face is simply generated by CG rendering technique with texture mapping.

1. はじめに

一般生活環境において現在監視カメラなどが多く設置・運用されており、犯罪の抑止や事

件の記録に役立てられている。しかしこれらの映像中に写されたイベントを認識する作業は主として人間に頼っており、多大なコストや労力を必要とする。特に記録された映像を証拠などにして事後に利用することは多いがリアルタイムにシーンで発生するイベントを検出することは難しくなっている。そこで計算機によ

[†]現 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute
of Science and Technology

りイベントの検出や認識を自動化するシステムの構築が必要である。しかし以下に述べるような原因により従来の画像認識技術は一般シーンのモニタリングのためにそのまま利用することができない場合が多く、この点が研究課題となっている。

一般シーンにおける画像処理において問題となる要因の1つに、対象の見え方の多様性が挙げられる。例えば通常の顔画像を利用した認証システムの場合では、認証する人物に対してカメラに正対するように求めることができるが、通路や室内を自由に移動する人物を認証しようとした場合、必ずしも正面からの映像を撮影することができるとは限らない。またカメラの設置場所としても、顔認証のためにはおおよそ顔の高さにカメラを置くことが望ましいと考えられるが、天井などに設置する場合に比べて目障りとなったり、対象とする人物の身長差に対応することができないなどの問題がある。そこで我々は、対象人物がカメラに対して斜めを向いている場合に顔を3次元計測し、顔の左右対称性に基づき、顔が向いている方向を求め、レンダリングすることによって正面顔を生成するシステムを提案する。

また幾何学的な多様性の他に、光源状況の多様性も問題となる。特に天候や時刻の変化による太陽光成分の変化は屋外だけでなく屋内環境にも影響を及ぼすことが多い。そこで例えば多数のカメラを利用し様々な方向や条件での顔画像を登録するもの[1]や2枚の顔画像から任意の方向の顔が像を生成するもの[2]がある。しかしこのように画像の変化に対応可能とすることと顔認証の精度を向上させることには一般にトレードオフの関係があるため、我々は通常の濃淡画像センサの代わりに距離画像を計測することができるレンジセンサを用い、正面顔の生成を容易かつ安定に行うことを考えた。

2. システム構成

まずグレイコードパターン光投影法により3次元形状計測するための基本システム構成

図を図1に示す。パターン光が届かずに計測不能となる不可視領域を小さくするためにプロジェクタをカメラの上に配置している[3]。カメラに入力されたカラー画像はPCに取り込まれる。プロジェクタからはディスプレイに表示されたものと同じ映像が投影され、これによりグレイコードパターンを時系列にディスプレイ上で描画する事でプロジェクタからパターン光が投影される構成となっている。

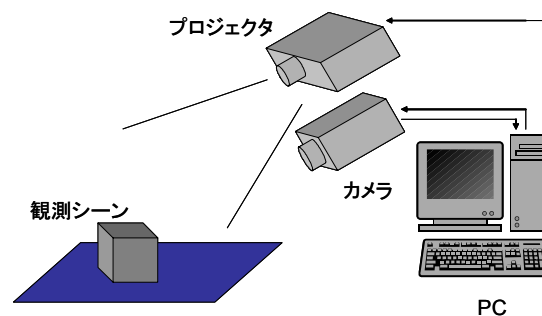


図1. システム構成図

実験では可視光を投影しているが、これを赤外光にすることで相手に不快感を与えることなく計測を行うことができると考えられる[4]。また実験で用いたシステムでは、能動型ステレオ法を用いているために計測に時間がかかり、計測対象が固定される必要があるが、これには市販品として入手可能なステレオカメラやビデオレートでの計測が可能なレンジセンサ[5]を用いることで対応できると考えられる。

この装置のキャリブレーションには、基準物体として図2に示すように各面に基準点が描かれている一辺160mmの立方体を用いる。本研究での形状の計測は、キャリブレーションと同様、グレイコードパターン光投影法による。これにより得られた距離画像およびカラー画像よりポリゴンモデルを生成し、CGとして描画する。この3次元形状モデルは、パラメータを変化させることによって世界座標空間内で任意の位置姿勢に配置することができる。ここでCGモデルにおいて、世界座標系の座標軸を基準物体において、図2のように取り、カメラパラメータをCGの座標変換に用いることによってカメラからの入力画像と同じ視点から

対象を見たときの CG 画像を生成することができる。

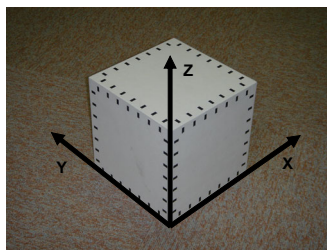


図 2. 基準物体と世界座標系の座標軸

3. 正面顔生成の原理

本システムでは顔の特徴点として鼻先のみを使用し、顔の左右対称性を利用して正面顔を生成する。図 3 に示すように CG モデルの対称面について鼻先を中心に CG モデルを回転させ、鼻先がカメラ画像の中心となるように CG モデルを平行移動することにより正面顔を生成する。

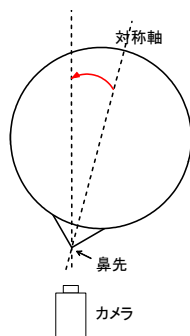


図 3. 正面顔生成に必要な回転角

以下では、カメラに対して右に回転した入力顔を例に対して正面顔を生成する流れを示す。なお入力顔に関し、光軸まわりの回転はないものと仮定する。すなわち顔の CG モデルは鼻先を通る垂直平面を対称面にして左右対称であるとする。光軸周りの回転がある場合は後の考察で述べる。

3.1 鼻先の検出

本研究では正面顔生成に顔の特徴点として鼻先を使用する。CG モデルにおいて鼻先の検出を行う。人間の鼻は顔のほかの部分に対して突出しているため、図 4 に示すように世界座標

系におけるカメラの位置からの距離が最も近い点 $O(X_0, Y_0, Z_0)$ を鼻先と仮定する。入力顔がカメラに対して大きく傾き、鼻先の検出が不可能な場合については後の考察で述べる。

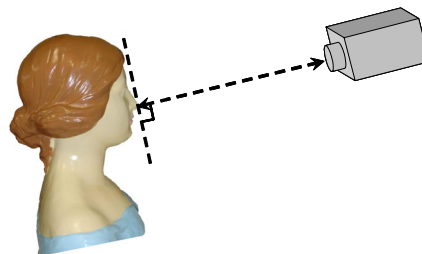


図 4. 鼻先の検出

3.2 基準点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ の抽出

基準点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ は CG モデルの鼻先を通る垂直平面で CG モデルを二分したとき、カメラに写っている面積の多い半面から抽出する。なお分割は、鼻先の画像における 2 次元座標を (x_0, y_0) とし、CG モデルを画像において x_0 で切断することにより行う。我々のセンサは物体上を等間隔で計測するため、CG モデルのポリゴン数はその面積と比例関係がある。

- i) CG モデルの左半面ポリゴン数 < CG モデルの右半面ポリゴン数 の場合
右半面より点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ 抽出
- ii) CG モデルの左半面ポリゴン数 > CG モデルの左半面ポリゴン数 の場合
左半面より点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ 抽出

図 5 は鼻先を通る垂直平面で CG モデルを 2 分割しカメラに写る面積の多い半面を表示したものである。基準点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ は $Z_1 = Z_0$ となる点を抽出する。

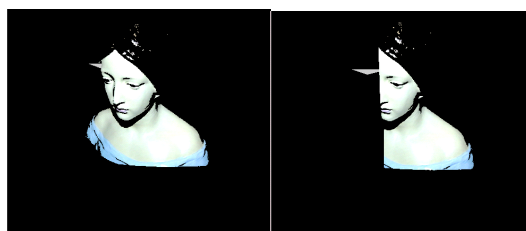


図 5. 入力顔(左)と半面顔(右)

3.3 対称点 $B(X_2, Y_2, Z_2)$ の算出

図6は鼻先を通る水平面でCGモデルを切断した図である。点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ をCGモデルの対称面に対して対称にした点を点 $B(X_2, Y_2, Z_2)$ とする。なおこのとき切断面は水平であるため $Z_2 = Z_1$ となる。現段階においてCGモデルの対称面は未知であるので、図6に示すように鼻先から等距離にある2点が左右対称であることを利用する。

そこで点Aから鼻先までの距離 d を求める。

$$d = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + (Z_1 - Z_0)^2}$$

次に鼻先とポリゴン数が少ない半面に存在する $Z_1 = Z_2$ である点との距離を求め、距離 d に最も近い点を $B(X_2, Y_2, Z_2)$ とする。

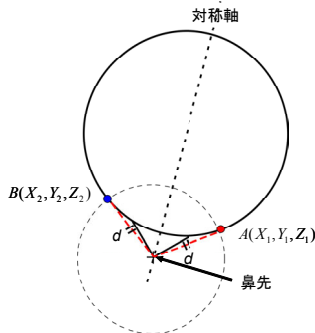


図6. 鼻先から等距離の点

3.4 対称点 $C(X_3, Y_3, Z_3)$ の算出

対称点 $C(X_3, Y_3, Z_3)$ は基準点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ を画面上で対称にした点である。図7は上述と同様、鼻先を通る水平面でCGモデルを切断した図である。

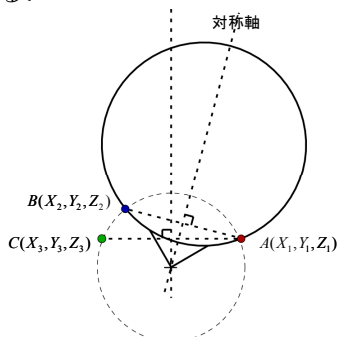


図7. 基準点を画面上で対称にした点

3.5 必要回転角

図8に示すように点 $B(X_2, Y_2, Z_2)$, 点

$A(X_1, Y_1, Z_1)$, 点 $C(X_3, Y_3, Z_3)$ によって得られる $\angle BAC$ は、正面顔を生成するのに必要な回転角に等しい。なお、顔の左半面上の点 $A(X_1, Y_1, Z_1)$ を変化させることにより点 $B(X_2, Y_2, Z_2)$, 点 $C(X_3, Y_3, Z_3)$ の組み合わせを複数得ることができる。同様に $\angle BAC$ は複数得られるが、その中央値を必要な回転角として用いることにより精度向上を図っている。

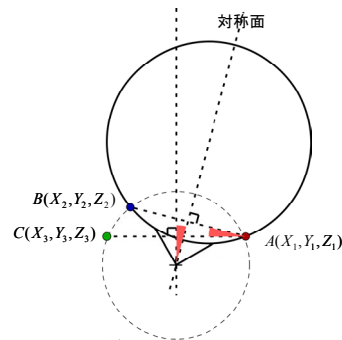


図8. 必要回転角

4. 精度評価実験

4.1 実験概要

図9に示す人物頭部模型をターンテーブル上で回転させることによって入力顔を変化させ、それぞれに対して正面顔を作成し、ターンテーブルの制御角度と正面顔生成に必要なCGモデルの回転角との相関により、正面顔の精度評価を行う。

まず、オブジェクトを肉眼でカメラに対して正面に近い位置に設置し、3次元形状計測する。その位置から、左右5度、10度、15度、20度、25度、30度の回転をターンテーブルで制御し、同様に3次元形状計測を行う。

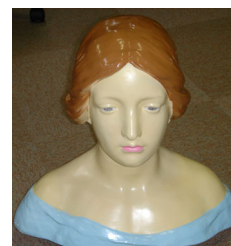


図9. 実験に利用した頭部模型

4.2 実験結果

0度, 左右5度, 10度, 15度, 20度, 25度, 30度の回転を与えたオブジェクトを入力顔としたときの入力値と本システムにより推定された回転角を表1に示す. 本システムでは, 左右30度の回転を与えた場合に示されるように鼻の検出に失敗した場合, 正確な回転角が得られない.

次に本システムにより推定された正面顔生成に必要な回転角とターンテーブル制御角度との関係を以下の図10に示す. 図10に示すように, 鼻先の検出が可能な場合には, 本システムにより推定された回転角と実測値であるターンテーブルの角度の誤差は小さいので, 本システムにより推定された回転角を用いて正面顔を生成できることがわかる.

鼻先の検出が可能で正面顔の生成に成功した中で, ターンテーブルの回転角が, 右25度, 右10度, 左10度, 左25度のそれぞれの場合の入力画像と生成された正面顔を図11(a)-(h)に示す.

表1. ターンテーブル回転角と本システムによる推定角度との誤差

ターンテーブル回転角 (度)	鼻先の検出	推定角度 (度)	誤差
-30	×	—	—
-25	○	-24.27	0.73
-20	○	-20.07	0.07
-15	○	-15.37	0.37
-10	○	-9.92	0.08
-5	○	-4.58	0.42
0	○	+0.98	0.98
+5	○	+4.42	0.58
+10	○	+7.71	2.29
+15	○	+13.73	1.27
+20	○	+17.91	2.09
+25	○	+23.48	1.52
+30	×	—	—

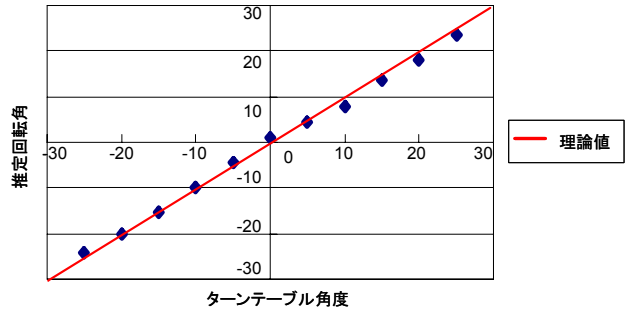


図10. ターンテーブル角度と本システムによる推定角度

4.3 計測可能な入力顔の傾き

計測可能な入力顔の傾きについて考察する. 以下に挙げる上下方向の傾きとは図12に示すY軸を回転軸とする回転, 左右方向の傾きとは, Z軸を回転軸とする回転, 光軸まわりとはX軸を回転軸とする回転をさす.

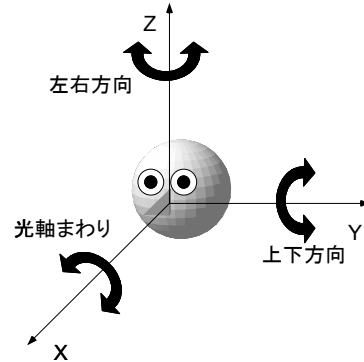


図12. オブジェクトの回転軸

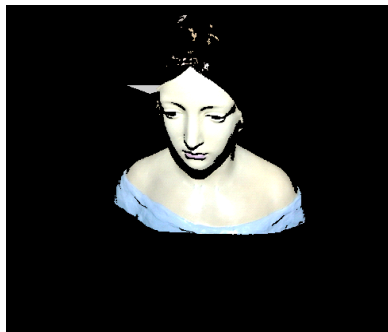
正面顔生成には, 入力顔において鼻先検出が可能な範囲に限られる. 本システムでは, カメラから最も近い点を鼻先としているため, カメラに対して鼻先よりも近い点がある場合には検出できない. 具体的には, 図13に示すとおりである.



(a)入力顔(右 25 度)



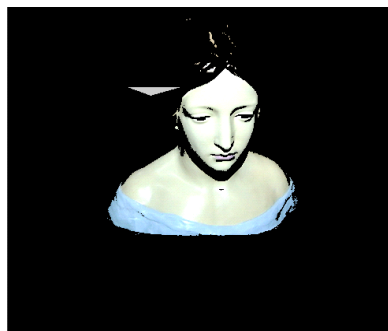
(b)生成された正面顔(右 25 度)



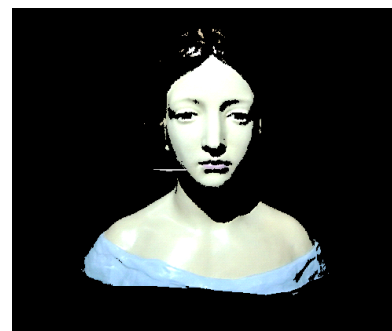
(c)入力顔(右 10 度)



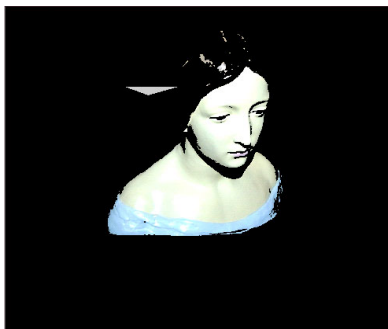
(d)生成された正面顔(右 10 度)



(e)入力顔(左 10 度)



(f)生成された正面顔(左 10 度)



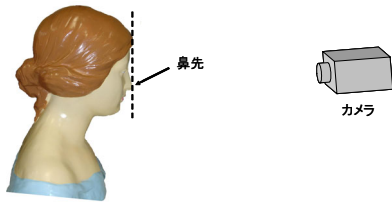
(g)入力顔(左 25 度)



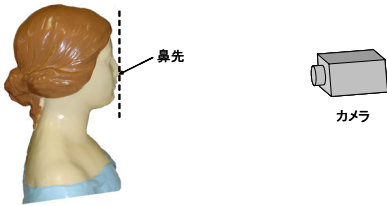
(h)生成された正面顔(左 25 度)

図 11. 入力顔と生成された正面顔

(1) 上下方向の傾き



(a) 下向き限界



(b) 上向き限界

図 13. オブジェクトの上下方向の傾き限界

(2) 左右方向の傾き

本研究の実験ではカメラに対して正面より左右 25 度の回転に対応することができる。これは上下方向の傾きと同様、鼻先検出が可能な範囲に限られるためである。

(3) 斜め方向の傾き

本研究では鼻先を中心として顔の左右対称性を利用して正面顔を生成している。そのため図 14 に示すように入力顔に斜め方向の傾きがある場合、入力顔は左右対称にはならない。しかしながら鼻先周辺の平面部分において図 6 に示す点 A をとることによって、近似的に左

右方向の傾きを求め、正面顔生成を行った。図 15 に示すように生成された正面顔は、入力顔同様、斜め方向に傾いたままであるが、これは鼻先を中心として生成顔を斜め方向に回転させ、左右の対称性が最も高い位置を正面顔とすることにより斜め方向の傾きを持った入力顔も対応することができると考えられる。

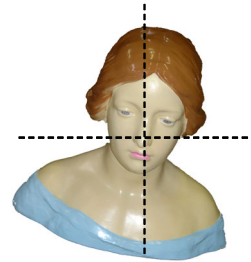
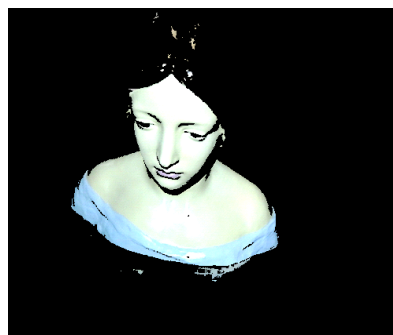


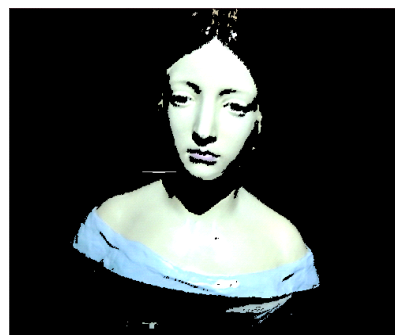
図 14. 斜め方向に傾いたオブジェクト

5. まとめと今後の展望

本研究では特徴点として鼻先のみを用い、顔の左右対称性を利用して、左右 25 度までの傾きを持つ入力顔に対して正面顔を生成することに成功した。しかしながら、これは顔の 3 次元形状が正確に得られ、鼻先の検出が可能である条件のもとで行った結果である。そこで任意の条件下で正面顔生成を可能にする必要がある。ここでは問題点を挙げ、その改良方法を述べる。



(a) 入力画像



(b) 生成された正面顔

図 15. オブジェクトが斜め方向の傾きを持つ場合の入力画像と生成された正面顔

5.1 実用性の向上

本研究ではグレイコードパターン光投影法により 3次元計測を行っているためにパターン光があたっている間は測定対象が固定されている必要がある。これは、測定対象となる人物に精神的負担を与えるだけでなく、実用性にかける。これには高速で高精度なセンサを使用する手段があるが、その他にパターン光を可視光から赤外光に変える手段がある。測定対象人物にはパターン光が、不可視になり、精神的負担が軽減する。また、本研究では能動的な 3次元形状計測法であるグレイコードパターン光投影法を用いたが、距離画像の稠密性や解像度に関して劣る受動的で動物体計測可能であるステレオ画像法を用いることによって測定対象人物が静止状態でなくとも計測可能である。

5.2 複数カメラによる正面顔生成

正面顔生成に可能な入力顔の傾きに限度があるため、入力顔がカメラに対して大きく傾いた場合、正面顔が生成できない。その問題を解決するためにカメラを複数設置し、複数の方向から形状計測を行うことによって鼻先を検出し、正面顔生成を可能とする。

参考文献

- [1]加藤丈和, 向川康博, 尺長健, “安定な顔認識のための分散協調登録,” 電子情報通信学会論文誌(D-II), vol.J84-D-II, no.3, pp.500-508, 2001.
- [2]向川康博, 中村裕一, 大田友一 “2枚の顔写真を用いた任意の方向の顔画像の生成”, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.4, pp.635-644, 1996.
- [3]井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990.
- [4]日浦慎作, 佐藤宏介, 井口征士 “リアルタイム距離画像センサによる動物体の多視点観測”, 信学技報, pp.35-40, 1995.
- [5]日浦慎作, 眞鍋佳嗣: “高機能画像センシング”, 情報処理学会研究報告 2005-CVIM-147, pp.35-50, 2005.