

面対称性を利用した顔の向きを検出法

5C-2

青山 宏, 喜多伸之, 河越正弘
(電子技術総合研究所)

1. はじめに

透過性の良いインタフェースは、使いやすい計算機システムを実現するうえで必要不可欠なものである。

我々は、視線をポインティング・インタフェースとして使うために、人間がどこを見ているかを感知する能力を計算機に持たせることを試みて来た[1, 2].

視線を検出するには、眼球の向きと顔の向きを検出する必要がある。前報告[1, 2]では、この顔の向きを、頭の水平断面を円と仮定し、顔の縁の位置から算出していたが、顔の縁の検出は画像処理的には精度が出にくかった。

そこで本稿では、顔の構造の面対称性に着目して、より精度の高い、顔の向きを検出法を提案する。

2. 顔の向きの決定法

顔の向きは、相対的なものであり、1枚の画像からでは決定し得ない。そこで、図1に示すように、カメラに対して正面を向いた画像を基準にして向きを決める。

(1) 対称面素の復元

顔などの面対称物体では、対応する2組の点は同一平面内にあり、等脚台形を形成する。

図2は、任意に傾けた等脚台形を、視点を原点(0)に、視線をZ軸に、それぞれ一致させて撮影する時の様子を示したものである。

ここで、 P_i は面対称物体上の2組の対応点、 Q_i はフィルム面上の P_i に対応する点、 f はレンズからフィルム面までの距離とする。

Q_i の座標を (x_i, y_i, f) とすれば、 $0, Q_i$ を通る直線は、

$$\frac{X}{x_i} = \frac{Y}{y_i} = \frac{Z}{f} \text{ で表せる.}$$

各 P_i は $0, Q_i$ を通る直線上にあるから、 P_i の奥行き値(即ち Z 座標値)を仮に Z_i とすれば、

$$P_i \text{の座標} = \left(\frac{x_i Z_i}{f}, \frac{y_i Z_i}{f}, Z_i \right) \dots \dots (1)$$

となる。また、四辺形 P_1, P_2, P_3, P_4 は等脚台形であるから、次の2つの条件を満たす。

$$\text{平行条件} \quad \overline{P_1 P_2} \parallel \overline{P_3 P_4} \dots \dots (2)$$

$$\text{等脚条件} \quad |\overline{P_1 P_4}| = |\overline{P_2 P_3}| \dots \dots (3)$$

条件(1)即ち、点 P_i が直線 $0, Q_i$ 上にあることと、条件(2)即ち、 $\overline{P_1 P_2}$ と $\overline{P_3 P_4}$ との各 X, Y, Z 成分比が等しいことから、 P_2 は P_1 のみの関数 (P_1 は P_2 のみの関数) となることが導け、同様に P_4 は P_3 のみの関数 (P_3 は P_4 のみの関数) となることが導ける。

即ち、点 $P_1(P_2)$ を、 0 と $Q_1(0 \text{ と } Q_2)$ の2点を通る直線上の任意の位置に固定すると、 0 と $Q_2(0 \text{ と } Q_1)$ を通る直線上の点 $P_2(P_1)$ は、 P_3, P_4 に無関係に一意に決まる(但し $Z_2(Z_1) > 0$)。 P_3, P_4 に関しても同様。

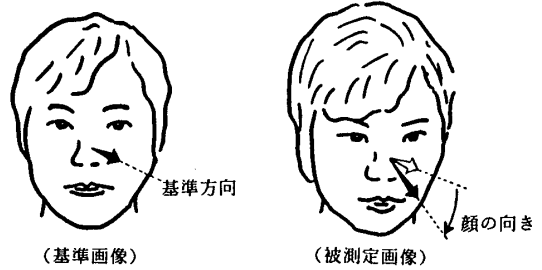


図1 基準画像と顔の向き

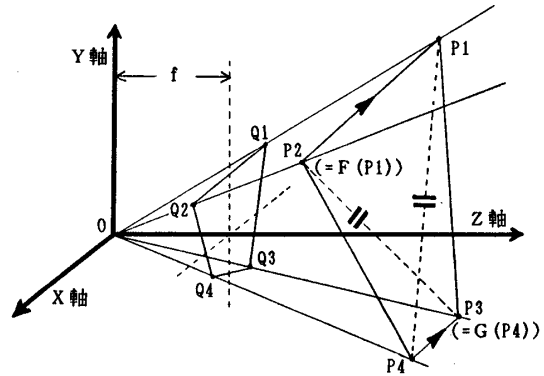


図2 対称面素と画像の関係

しかし、条件(1)・(2)のみからでは、1点 P_1 から P_2 が求まっても $\overline{P_1 P_2}$ に平行な $\overline{P_3 P_4}$ は、無数に存在し得て特定できない。そこで、条件(3)を用いて、 P_3, P_4 を一意に決める(但し $Z_i > 0$)。

条件(1)・(2)により、 P_1, P_2, P_3, P_4 のあいだに $P_2 = F(P_1), P_3 = G(P_4)$

なる関係が導かれており、これに条件(3)を適用すると次のようになる。

$$\overline{P_1 P_4} = \overline{F(P_1) G(P_4)}$$

即ち、 P_4 は P_1 の関数となり、 P_1 を固定すれば P_4 が決まる。また P_4 から $P_3 (=G(P_4))$ が決まる。

以上で、1点 P_1 の奥行きを Z_1 と仮定した場合の、3Dにおける4点の座標が決定した。

(2) 顔の向きの検出

顔の向きを、被測定画像の顔の向きと、基準(正面)画像の顔の向き(=Z軸方向)との差分で表す。

顔の向きは、各々の画像から復元される2つの対称面素及び、それらの法線から導けるが、以下の問題を伴う。

- 1) 基準画像における対称面素の法線方向は、一般にはZ軸と一致しないため、顔の動作に「首をかしげる」等の自由度を与えた場合は、被測定画像から求める対称面素の法線方向と、基準画像から求める同一の対称面素の法線方向との差分が直ちに顔の向きになるとは限らない。
- 2) 基準画像においては、対称面素が作る台形画像が真の台形となることがあるが、この場合、対称面素は復元出来ず、法線(特にアオリ角)も求まらない。

ここでは、以下の手順で顔の向きを求める。ただし、正面を向いている時の顔の向きはZ軸方向に一致し、かつ対称面素の上(下)辺はX-Y平面に平行であると仮定する。

- 1) 被測定画像から得られる2組の対応点の2次元座標値および、この内の任意の1点の仮の奥行き値から、対称面素を復元し、4辺の長さの比を求める。
- 2) 1)で求めた比を、基準(正面)画像上の対応線分に当てはめ、基準画像の対称面素を復元する。
- 3) 2)で求めた対称面素の法線を求め、これと正面方向(Z軸)とのなす角度、即ちZ軸に垂直な平面 π と対称面素とがなす角度 θ を求める(図3 a)。
- 4) 1)で復元した被測定画像の対称面素の下辺(または上辺)を通り、かつ、この対称面素に角度 θ で交わる面 π^* を求める(図3 b)。
- 5) 4)で求めた面 π^* の法線方向を求め、これを顔の向きとする。

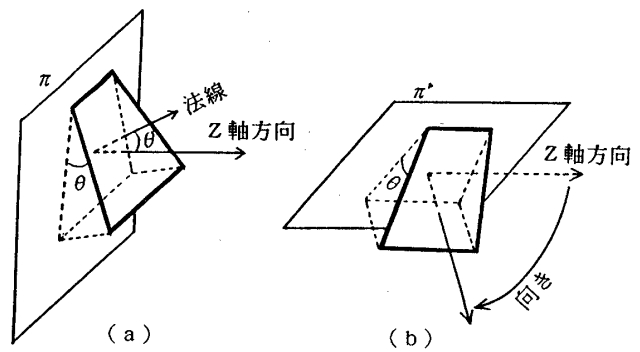


図3 対称面素からの向きの導出

3. 実験結果

1) 理想物体画像による実験

図4 aは、正確な等脚台形の板を上下角(アオリ角)+15度で正面から撮影した画像であり、図4 bは、これを向き軸(この場合はZ軸)の周りに+15度、上下方向に+30度、水平方向に+30度、それぞれ回転させて撮影した画像である。

この2つの画像に対し本手法を適用したところ、上下回転角が+31.7度、水平回転角が+28.6度、向き軸周りの回転角が+13.3度という結果を得た。

2) 実際の顔画像による実験

顔は完全な面対称物体ではないため、対応点の作る四辺形は、等脚台形になるとは限らない。

したがって、向きの検出確度を上げるためには、採用する点として、対応点間の距離が大きく、かつ、それらが作る対称面素の上下辺が、基準(正面)画像上で平行となっているものを選ぶ必要があるが、ここでは、画像処理的に抽出が容易な、目頭と唇の端点を用いた。

図5 aは正面からの顔画像であり、図5 bは同一の顔に対し、カメラを上方+15.0度、水平方向-15.0度に位置して撮影したものである。

この2つ画像に対し本手法を適用したところ、上下回転角が-17.2度、水平回転角が+16.9度、向き軸周りの回転角が+3.2度という結果を得た。

4. まとめと今後の課題

視線感知において重要な要素である、顔の向きの検出法を提案した。本手法では、4つの基準点として、髪などで覆われてしまうことが少なく、かつ画像処理的にも検出しやすい、目・唇をとることができるので、精度の高い検出が可能となった。

更に正面画像を基準モデルに用い、それからの差分を顔の向きとすることにより、課題であった垂直方向の傾きのみならず、任意方向の傾き角・回転の検出も可能となった。

また、人間の顔は正確には面対称とは言えないが、一般的な顔面に対しては、本手法で十分対応できることを確認した。

今後は、視線の動きを考慮に入れることにより、「凝視しているのか、ぼんやり眺めているのか」まで判定できる手法を開発したい。

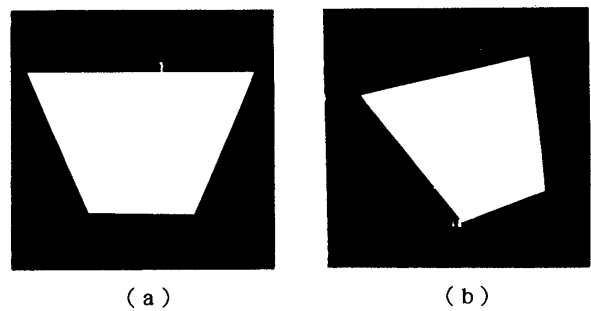


図4 理想的な面対称物体像

	実測値	計算値
上下回転角	+30.0°	+31.7°
水平回転角	+30.0°	+28.6°
軸回転角	+15.0	+13.3°



図5 実際の顔画像

	実測値	計算値
上下回転角	-15.0°	-17.2°
水平回転角	+15.0°	+16.9°
軸回転角	0.0°	+3.2°

謝辞 本研究の機会を与えて頂いた 弓場敏嗣 知能システム部長、有益な御助言を頂いた 藤村是明 対話システム研究室長 および 同研究室の皆様へ感謝致します。

参考文献

- 1) 青山宏, 河越正弘: 顔画像からの視線感知法, 情報処理学会第37回全国大会 5T-1(1988)
- 2) 青山宏, 河越正弘: 顔画像計測に基づく視線感知法, 計測自動制御学会第5回パターン計測部会研究会(1988)