

顔の面対称性を利用した視線感知法

青山 宏, 河越正弘

電子技術総合研究所

人間の顔の対称性を利用することにより, 視線がカメラ方向を向いているか否かを判定する方法を提案し, 顔の対称仮定からのずれによる方向の誤差について評価する. さらに, より精度の高い手法を求めて, 顔の傾きと目の変化の関係について考察する.

Gaze Perception with Plane-Symmetry of Human Face

Hiroshi AOYAMA, Masahiro KAWAGOE

Interactive Interface Systems Section, Electrotechnical Laboratory,
1-1-4, Umezono, Tsukuba Science City, Ibaraki, 305 JAPAN

We present a method for gaze perception without necessity of pre-registration. We explain the method based on the plane-symmetry assumption of human face, and estimate the error due to the image processing. In order to reduce the large error we introduce the supplementary method of horizontal face direction. Last, we consider the relation between vertical face direction and deformation of eyes.

1. はじめに

人間同志の対話においては、互いの顔の画像情報から、相手がどこを見ているかを始めとして、感情・関心に至るまでの多くの情報を抽出している。特に、人間は自分を見ているか否かについては、相手の顔の3次元的な構造を知らない初めて見る顔であっても、まさに動物的な感覚で判定することができる。

この人間にとっては1番基本的な問題も、計算機にとっては中々困難な課題である。

我々は、この問題に対して、アイカメラのように相手に機器を装着してもらったり[1, 2]、特定の観測のためのフィールドを設定したり[3, 4]、事前に相手の顔に特定したモデルを作ったりしないで、図1のように、人間同志と同じ条件下で解を求めるアプローチを追求してきた[5-7]。

本稿では、上述のアプローチに基づいて、第2章で顔の面対称性を利用した顔の向きの検出法と誤差について述べ、第3章で表情変化に強い水平方向の視線検出法について述べる。さらに第4章で人間にとっても検出精度の悪い[8]垂直方向の視線検出の考察を行ない、最後に今後の課題について述べる。

2. 面対称性を利用した顔の向きの検出法

画像中の視線がこちらを向いているか否かを検出するには、本来は目がこちらを向いているかをチェックすればよいので、目の向きのみを検出すれば良いことになるが、しかし目の部分の画像情報から絶対角を求めるには精度が出にくく、図2に示すように、顔が下を向いているa図から、こちらを向いている目の部分を抜きだして、顔が上を向いているb図にはめ込むと、目はこちらを向いているにもかかわらず上方を向いているように見える。つまり、人間も顔の向きとそれに対する目の向きの情報から検出しているので、我々も顔と目の両方の向きから

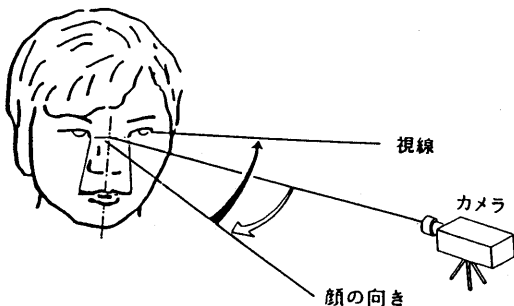


図1 視線の検出の原理



図2 顔の向きの視線への影響
(b図はa図の目をはめ込んだもの)

検出することを考える。

顔の向きを求めるには、普遍的で、かつ画像処理的にも検出し易い特徴点(例えば目頭、口元など)を利用できるようにする必要がある。

一般に3次元的向きを測定するには、ステレオとして2枚の画像が必要であるが、顔の構造の面対称性に着目し、図2に示すように2対の特徴点を結ぶ等脚台形に着目すれば、1枚の画面のみから、この台形の向きを求めることができ、これに基づき顔の向きが導き出せる。

これは、面対称物体を1点透視で撮影した1枚の画像は、その物体を対称軸で分けた半分の物体に対する、異なる方向からの2枚の画像と等価であるからである。

この面対称性を利用した方向検出法は、対を成しているという条件の下ではあるが、特徴点を自由に選べる長所があり、検出し易かつ観測方向の変化に対して安定な特徴点を選ぶことができる。

2.1 検出原理

図2に示すように、顔に2対の特徴点からなる等脚台形を考え、この法線方向を求める[9, 10]。

図3は、任意に傾けた等脚台形を、視点を原点O、視

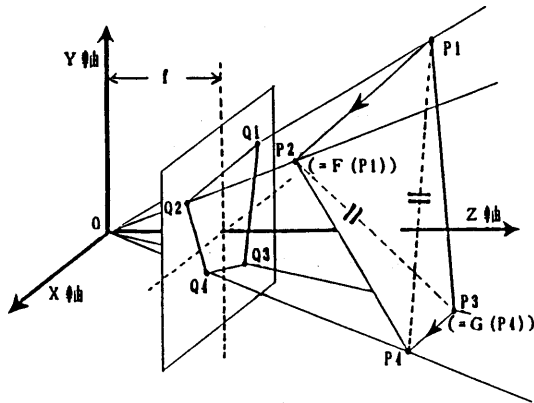


図3 対称面素と画像の関係

線をZ軸としたときの観測状況である。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である。

各 P_i は O, Q_i を通る直線上にあり、四角形 $P_1P_2P_3P_4$ は等脚台形であることから、以下のように P_1 を決めれば、 P_2, P_3, P_4 は唯一に決まるので、これに基づき、顔の方向を決定する。

いま、図4におけるO点および4つのP点を、図3の各々に対応しているとする。ここで、

α : OP_1, OP_2 が張る平面

β : OP_3, OP_4 が張る平面

l : α, β の交線 ($l = \alpha \cap \beta$)

m : P_1P_2 (等脚台形の上辺)

n : P_3P_4 (等脚台形の下辺) とすると、

m, n が平行であることから、 m, n は同一平面 (γ) 内にある。

すると、 $m = \alpha \cap \gamma, n = \beta \cap \gamma$ であることから、

$$\begin{aligned} \phi &= m \cap n = (\alpha \cap \gamma) \cap (\beta \cap \gamma) \\ &= (\alpha \cap \gamma) \cap (\beta \cap \gamma) \\ &= (\alpha \cap \beta) \cap \gamma \\ &= l \cap \gamma \quad \text{なので、} l \text{ と } \gamma \text{ とは平行である。} \end{aligned}$$

よって、 m と n も、それぞれ l に平行であり、 P_1 を決めれば P_2 は l に平行な点として一意に決まる。

次に、図5で示すように、一意に決まった P_1P_2 を上底として持つ、無数の台形の中から等脚台形を唯一に決める。

P_1, P_2, P_3, P_4 が等脚台形であるならば、上辺の垂直2等分面 (α) は、下辺も垂直2等分する。従って、下辺の2等分点の軌跡を l とすれば、 l と α との交点 (M) は唯一であり、等脚台形が唯一に決まる。

2.2 実験

向きの検出精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いものを選ぶ必要がある。ここでは、画像処理的に抽出が可能な、目尻と唇の端点を用いた。

図6 a は特徴点として目尻を抽出した画像であり、図6 b は唇を抽出した画像である。図6 c はこれらの特徴点を顔画像上に示した図で、カメラに対して上方 +5.0度、水平方向 -15.0度に位置して撮影したものである。この画像に対し本手法を適用した測定値は、上下回転角が +3.1度、水平回転角が -16.9度、面の法線軸周りの回転角が +1.2度であった。

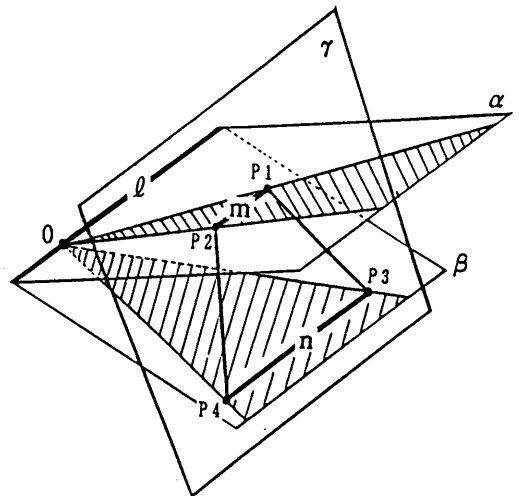


図4 平行条件より上底と下底の向きが唯一に決まる説明

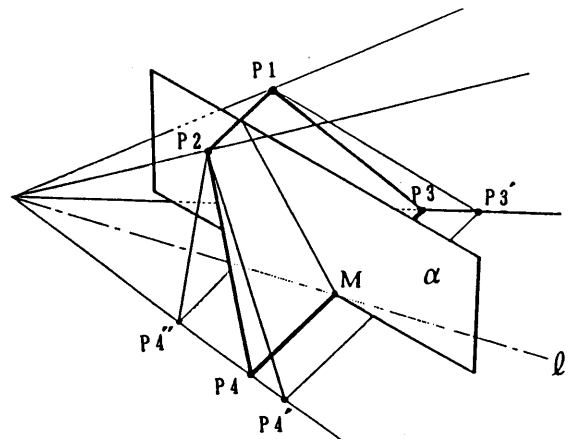


図5 等脚条件より台形が唯一に決まる説明

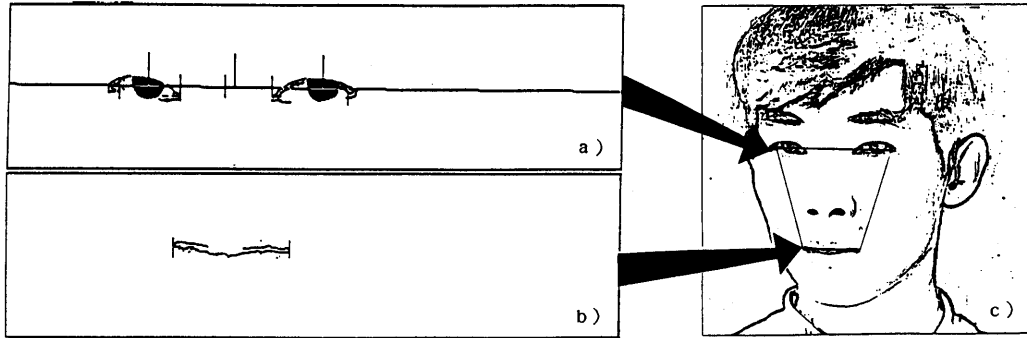


図6 対称面素の向きを求める実験例

2. 3 誤差の評価

特徴点を画像処理的にとる場合、1 pixel の誤差は避けられない。図5から判るように、本手法は水平方向が正面に非常に近い場合には Q と α が浅い角度で交わるので、画像面上での誤差は拡大されて測定値の誤差になる。しかし水平方向に傾いている場合には、拡大されることはない。目の間が約300pixelの場合、正面から1度ず

れている場合には1 pixel のずれは10度の誤差になるが、20度ずれている場合は逆に1 pixel のずれは1度の誤差にすぎない。

そこで、水平方向で正面に近い場合には、より誤差に対する影響が少ない補完的な検出方法が必要である。

3. 水平の方向の検出法

3. 1 検出原理

正面に近い場合は、図7のように目頭と目尻が両方も観測できるので、これを手がかりにする。図8に示すように、人間の目尻は目の中央に対して、目の半径の約70%下がっている、これに対して目頭は、ほぼ目の中央部分と同じ高さである。図7に示すように、この高さの差が、両目尻の重心位置と両目頭の重心位置の差に及ぼす変化は、水平角度を θ とすれば $\sin(\theta)$ となる。これは θ に対する1次の微小量であり、前章の手法がほぼ $\cos(\theta)$ の変化に基づく、つまり θ が小さいときは2次の微小量になっているのに対して、 θ が小さい範囲では優れた手法であると言える。

3. 2 検出手続き

1) 目の位置の抽出

与えられた顔画像の中から処理の基準となる黒目部分を見つけ出すために、TVカメラなどから得られる動画像を使い、瞬きを検出することにより、目領域を抽出する。

2) 目の角度の検出

目領域の画像から目の角度および顔の向きを検出する

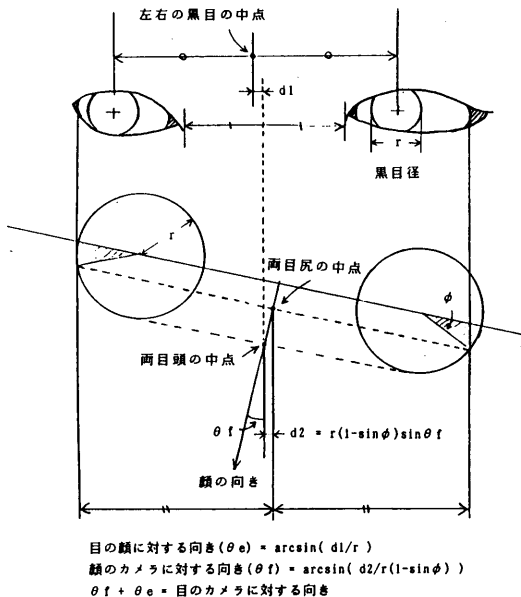


図7 目頭と目尻を用いた視線検出

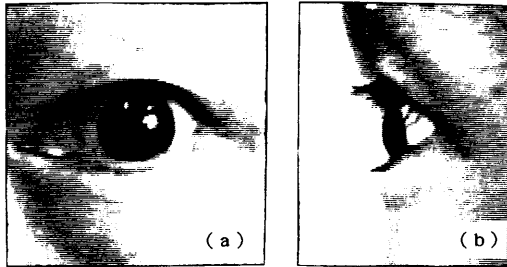


図8 黒目の径と目尻の奥行き



過程を次に示す。

(1) エッジ抽出

瞬き画像を利用して得た黒目の候補領域から目の近傍の画像を図9 a から切り出して図9 bとする。

(2) 眼領域の検出

図9 bのエッジを2値化して得た各連結領域で、外接四角形が黒目候補領域の中心を含み、左右方向に最も長くなるものを抽出し、処理範囲を眼領域へ限定する(図9 c)。

(3) 目頭位置の推定

眼領域の2次微分し尾根線を抽出し、さらに2値化して目頭位置を決定する(図9 d)。

(4) 黒目領域の抽出

図9 dに現れる閉ループのうち、黒目領域の中心を含み、かつ最も内側に存在する閉ループを塗りつぶして図9 eとする。

(5) 黒目径(幅)と左右の黒目間の中点を求める

図9 eの塗りつぶした黒目に相当する領域の最大幅を測定し中心位置を求め、左右の黒目の中心を結んだ線分の中点を求める(図9 f)。

(6) 目尻および左右の目尻間の中点を求める

左右の黒目の外側にある白目部分を抽出し、両目尻の位置および両目尻間の中点を求める(図9 g)。

(7) 以上より求めた、両目頭の中点と両目尻の中点より図7に基づいて顔の向きを算出し、次に両目の中点より目の方向を求める。

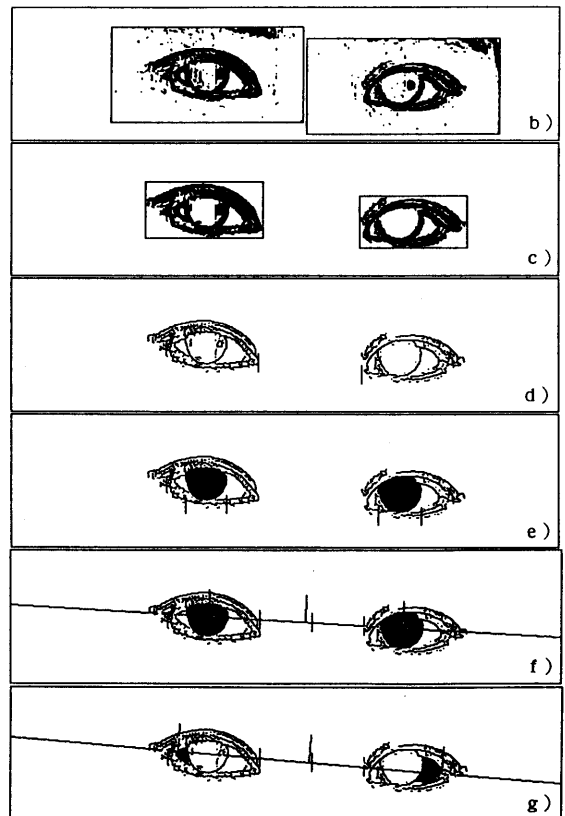


図9 視線検出過程

(a) 原画像。(b) 目領域の切り出し。(c) 眼・黒目領域の切り出し。(d) 尾根線より目頭を検出。(e) 黒目の抽出と黒目径の測定。(f) 左右の黒目の中心と目頭の中点のズレの測定。(g) 目尻側の白目部分の抽出および、左右の目尻の中心と目頭の中点とのズレの測定

4. 垂直方向の検出法

4. 1 等脚台形の正面画像からの垂直方向の検出法

等脚台形による検出法は、斜め画像からは精度良く4辺の比がわかるので、正面の時も今まで観測してきたデータから、4辺の比は既知とする事ができる。そこで、上底をa、下底をb、高さをh、垂直角を θ とすれば、 h/b は既知である。図10から、(1)式が成り立つ。

$$b' : b = h' : h \cdot \cos(\theta) \quad \dots\dots (1)$$

観測画像より比 h' / b' を求めて、(1)より導出した(2)式:

$$\theta = \cos^{-1} [h' / b' \cdot (b / h)] \dots\dots (2)$$

に入れば、垂直角 θ が求まる。

4. 2 水平にもわずかに傾いていた時の垂直方向の検出

等脚台形が水平方向に ε ずれていた場合を考えてみると、この場合の観測比を h'' / b'' とすれば、(2)式は(3)式に変わる。

$$\theta = \arccos [h'' / b'' \cdot (b / h) \cdot (1 - \alpha \varepsilon)]$$

$$\alpha = [a - h \cdot \sin(\theta)] / [Q - h \cdot \sin(\theta)] \dots\dots (3)$$

ここで、 $a \approx 10 \text{ cm}$ 、 $h \approx 7.5 \text{ cm}$ 、 $Q \approx 100 \text{ cm}$ と仮定すると、

$\alpha \approx 0.05 \sim 0.1$ となり、 $\varepsilon < 0.2$ (約12度)と考えられるので、 $\alpha \varepsilon < 0.02$ で1に較べて無視できるので、2章の方式で誤差の大きい正面に近い画像に対しては(2)式を(3)式の代わりに使ってもよいと考えられる。

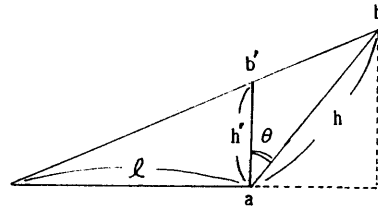
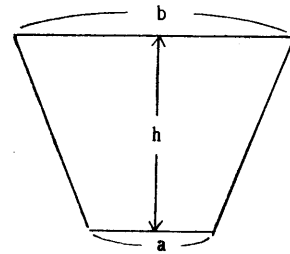


図10 等脚台形の正面画像からの垂直方向の検出法

4. 3 顔の垂直角と目の変形の関係

付録に示すように、目の形は顔の向きによって、かな

顔の形	
顔の向き	

図11 顔の形状・顔の向きと視線の関係

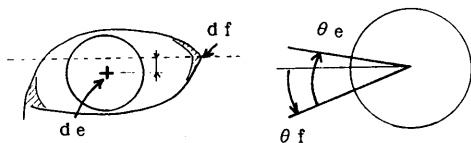


図12 目の向きによる目尻位置の変化

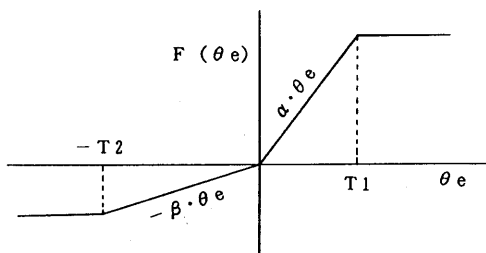


図13 目の向きと目尻の移動量の区分線形近似グラフ

り大幅に変形する。顔が下を向いている時に、上目使いで見ると、上瞼が平になり、逆の場合は下瞼が平になる。図2が不自然に見えたのは、このためである。そこで、視線がこちらを向いているかを判定するには、図11のように顔の角度、目の形の2つの情報が必要である。

ここで、顔の角度は今までの手法により、定量的に求まるが、垂直方向の目の角度は、目尻・目頭・瞼の全てが目に関連して動くので、固定された測定の基準がなく、定性的な分類になってしまう。人間の場合も大筋においては、パターンの判定しているのであろうが、図11の「見ている」と囲った内部においては、水平角度に対しては精度が良くないけれども、定量的な検出がされていると思われる。

そこで、我々は計算機にも何等らの目安を与えるべく、図12に示すように、目尻の動きを目の角度の関数と表わすことにより、定量的な判定が可能か調べた。

◎目尻を結ぶ線と黒目の中心

真正面の画像では、両目尻を結ぶ線に黒目の中心が乗っているか否かで、視線がこちらを向いているか判定可能なので、この拡張を考える。つまり、図12で目玉の半径を1、目の顔に対する角度を θ_e 、顔の角度を θ_f 、目尻の位置を df 、黒目の中心を de とすると、

$$de = \theta_e - \theta_f$$

$$df = F(\theta_e) = \alpha \cdot \theta_e \quad (0 < \theta < T1)$$

$$= -\beta \cdot \theta_e \quad (-T2 < \theta < 0)$$

図13参照

$$\Delta d = de - df : \text{画像から測定}$$

$$= (1 - \alpha) \theta_e - \theta_f$$

これより、 θ_e を求めて、 θ_f と突き合わせることで、視線がこちらを向いているかを判定する。

角度を変えて写真を撮って、調べたところ、ほぼ、 $\alpha \approx 1.8$ 、 $\beta \approx 0.4$ 、 $T1 \approx 40$ 度、 $T2 \approx 55$ 度、の推測値を得た。

5. まとめと今後の課題

視線がこちらを向いているか否かを、面对称性を基に完全非接触で顔画像から感知・判定する手法を提案した。正面画像に近い場合は、本手法は誤差が大きくなるので、正面画像に近い場合の補完手法も併せて提案した。

目の垂直方向の向きに関しては、人間の認識実験により、顔の角度と目の縁の形状変化が大きな影響を与えているので、これに基づいた手法を試みた。個人差の問題が、どのくらいカバーできるか、これからの実験に負うところが大きい。

ところで、実際に人間同志相対しているときには、顔画像の解像度から分かる以上の精度で相手の視線を感知できている。これは、自分の動きに同調した相手の動きを動画として見て判定しているからと考えられる。

参考文献

- 1) J. Merchant, R. Morrisette, J. L. Portfield: Remote Measurement of Eye Direction allowing Subject Motion Over One Cubic Foot of Space, IEEE Trans., vol. BME-21, no. 4, pp. 309-371 (1974)
- 2) NEWS「視線の動きをとらえる7体インターの開発」, 電子情報通信学会誌, vol. 71, no. 10, p. 1098 (1988)
- 3) H. D. Crane, C. M. Steele: Accurate Three-Dimensional Eyetracker, Applied Optics, vol. 17, no. 5, pp. 691-705 (1978)
- 4) 伴野明, 飯田宗夫, 小林幸雄: 非接触視線検出のための特徴抽出法, 通学技報 PRU88-73, pp. 17-24 (1988)
- 5) 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)
- 6) 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資料, pp. 17-24 (1988)
- 7) 青山宏, 河越正弘: 顔画像センシングに基づく視線感知法, 第4回産業における画像センシング技術シンポジウム論文集, pp. 131-136 (1989)
- 8) NEC文化センタ(編): C&Cのマルチメディア系, NEC (1987)
- 9) 青山宏, 河越正弘: 面对称性を利用した顔の向きの検出法, 情報処理学会第38回全国大会 5C-2 (1989)
- 10) 青山宏, 河越正弘: 面对称性を利用した顔・視線方向の計測と認識法, 計測自動制御学会第11回ヒューマンインタフェース部会研究会, (1989)

付録 顔の向き・視線の向きによる目の形状変化

上段：顔を上方へ向けて、目を上方から下方へ変化させた場合

中段：顔を正面へ向けて、目を上方から下方へ変化させた場合

下段：顔を下方へ向けて、目を上方から下方へ変化させた場合

