

# 勾配方向特徴量とパーティクルフィルタを用いた顔の向きやスケール変化に頑健な目検出法 Eye Detection Method Using Particle Filter and Gradient Directional Features Robust to Facial Pose and Scale Changes

小塩 達也†  
Tatsuya Ojio

浅野 誠之†  
Masayuki Asano

高野 博史†  
Hironobu Takano

中村 清実†  
Kiyomi Nakamura

## 1. はじめに

近年、人の情動、意志、疲労、覚醒度などを視線や瞳孔径変動、瞬きなど目の情報を用いて推定する研究が行われている[1]。画像処理により視線や瞳孔径、瞬きなどの生体情報を計測するためには、画像中における目の位置を正確に検出する必要がある。また、視線など目の情報を使った入力装置では、顔の向きやスケール変化に影響されことなく目の位置や状態（開閉眼や瞬きなど）を正確に検出する必要がある。従来目の検出法として、SSR (Six-Segmented Rectangular) フィルタを用いるもの[2]、AAM (Active Appearance Model) を用いるもの[3]などがある。本研究では、これらの手法の問題点の 1 つである顔の向きに対応し、かつ、スケール変化に頑健な勾配方向特徴量とパーティクルフィルタを用いた目検出法を提案した。

## 2. 勾配方向特徴量を用いた目検出法

本研究では、パーティクルフィルタを用いて目を検出する。また、パーティクルフィルタの尤度を算出するために勾配方向特徴量を用いる。図 1 に目検出のフローチャートを示す。まず、入力画像に対してグレースケール化処理を行い、パーティクルを画像全体にランダムにばら撒く。その後、パーティクルの位置とその下の一定領域の輝度値を比較する。ここで、パーティクルの位置の一定領域における平均輝度値がパーティクルの下の一領域の平均輝度値より低ければ、4 領域で勾配方向のチェックを行う（4 領域勾配チェック）。4 領域の勾配方向の組み合わせにより、目の状態を推定する。さらに、目の状態に応じた尤度計算を行うことで目の位置を特定する。次に、目の虹彩縦幅に応じて、次の時刻の勾配方向を算出する領域を変更する。その後、パーティクルのリサンプリングを行い、次の時刻の目の位置を推定するために上述した処理を行う。

## 3. 4 領域勾配チェック

4 領域勾配チェックでは、4 種類の Prewitt オペレータ  $\{P_1: \text{下から上}, P_2: \text{右から左}, P_3: \text{上から下}, P_4: \text{左から右}\}$  を用いる。ここで、勾配強度  $f'_{ij}$  は、パーティクルの位置を基準として、領域  $R_i (i = 1, \dots, 4)$  においてオペレータ  $P_j (j = 1, \dots, 4)$  をかけることで得られる。また、その合計値を  $g_{ij}$  とする。式(1)のように、 $g_{ij}$  が最大となるオペレータを  $D_i$  としたとき、4 領域における勾配強度が最大となる組み合わせ  $G = \{D_i | i = 1, \dots, 4\}$  が  $G = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}$  (条件 1) となるとき、パーティクルは虹彩領域内に存在していると判断する。しかし、顔の向きや視線が変わると目の形状が

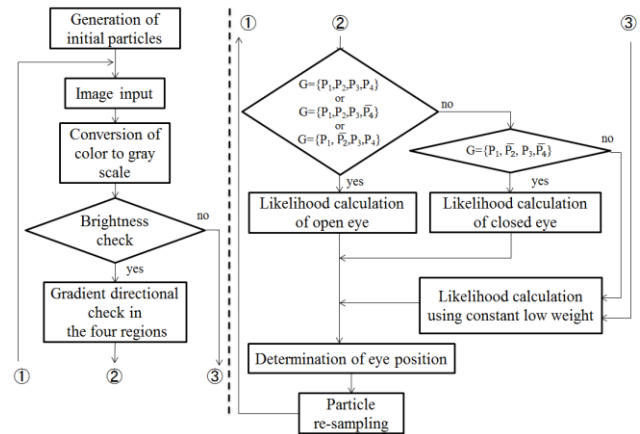


図 1: 目検出のフローチャート

変化するため、領域  $R_2$  と  $R_4$  の勾配方向はそれぞれ常に  $P_2$  や  $P_4$  になるとは限らない。よって、勾配方向の組み合わせが  $G = \{P_1, \bar{P}_2, P_3, P_4\}$  (条件 2) もしくは  $G = \{P_1, P_2, P_3, \bar{P}_4\}$  (条件 3) である場合もパーティクルが虹彩領域内に位置していると判断する。ここで、 $\bar{P}_j (j = 1, \dots, 4)$  は  $P_j$  の否定 (e.g.,  $\bar{P}_4 = P_1, P_2, \text{ or } P_3$ ) を意味する。次に、条件 1~3 を満たさず、かつ  $G = \{P_1, \bar{P}_2, P_3, \bar{P}_4\}$  (条件 4) を満たせば、閉眼と判断する。

$$\epsilon = \arg \max_j (g_{ij}), \quad D_i = P_\epsilon \quad (1)$$

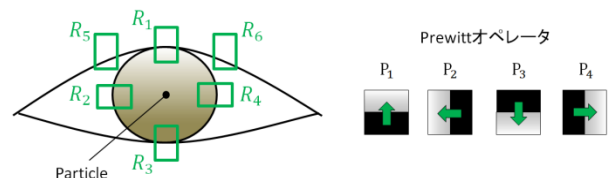


図 2: 勾配をチェックする領域

## 4. 尤度計算

### 4.1 開眼時の尤度計算

パーティクルフィルタの尤度計算には、図 2 の各 6 領域  $R_j (j = 1, \dots, 6)$  における勾配強度の上位  $k$  個の値を用いる。なお、領域  $R_5, R_6$  には Prewitt オペレータ  $P_1$  を用いる。上位  $k$  個の勾配強度の平均値を  $\gamma_m (m = 1, \dots, 6)$  とし、時刻  $t$  における  $N$  個のパーティクルの尤度  $\pi_t^{(n)} (n = 1, \dots, N)$  を式 (2), (3) で定義する。ここで、 $q$  は  $\gamma_m$  の重み係数である。

$$\omega_t^{(n)} = \frac{q}{4 \times 255} \sum_{i=4}^4 \gamma_i^{(n)} + \frac{1-q}{255^2} \prod_{j=5}^6 \gamma_j^{(n)} \quad (2)$$

$$\pi_t^{(n)} = \frac{\omega_t^{(n)}}{\sum_{n=1}^N \omega_t^{(n)}} \quad (3)$$

† 富山県立大学大学院 工学研究科

## 4.2 閉眼時の尤度計算

パーティクルが閉眼状態の目付近に位置する場合、勾配強度の組み合わせは、条件 4 ( $G = \{P_1, \bar{P}_2, P_3, \bar{P}_4\}$ ) を満たしていると推定できる。その場合の尤度計算には、テンプレートマッチングを用いる。尤度計算では、マッチング度  $M$  を用いて  $\omega_t^{(n)} = \beta M$  とした。ここで、マッチング度  $M$  は SAD (Sum of Absolute Difference) により求め、また、 $\beta$  は 6 領域の勾配強度により得られる尤度より低くするための重み係数である。一方、輝度値チェックの条件や 4 領域勾配チェックの条件 1~4 のいずれにも当てはまらないパーティクルの尤度に 0 に近い一定の値  $z$  を与える。

## 5. 虹彩縦幅計測

顔のスケール変化に対応させるために、推定した目の虹彩縦幅を計測し、図 2 に示す勾配強度計算領域を画像中の虹彩サイズに適した大きさに変動させる。本研究では、勾配強度計算領域を 5 種類 (虹彩クラス 21, 25, 31, 37, 41) 用意し、虹彩直径がディスプレイ上で 21~41 pixels の大きさに対応させる。例えば虹彩クラス 31 の領域は、虹彩直径 31 pixels を基準として拡大率 1.4, 縮小率 0.6 として求める。虹彩縦幅は勾配強度の分布を用いて計測される。虹彩縦幅計測方法を図 3 に示す。領域  $R_7$  では  $P_1$  オペレータを、領域  $R_8$  では  $P_3$  オペレータを用いて勾配強度を計算する。図 3 に示すように、各領域で得られる勾配強度を  $x$  軸方向に足し合わせた勾配強度ヒストグラムを作成し、上位 5 個の勾配強度における荷重平均位置  $W_{R_7}$ ,  $W_{R_8}$  を用いて虹彩縦幅  $I_w$  を算出する (式(4))。その後、 $I_w$  の過去 5 点の平均  $I_{w\_ave}$  に応じて虹彩クラスを変更する。

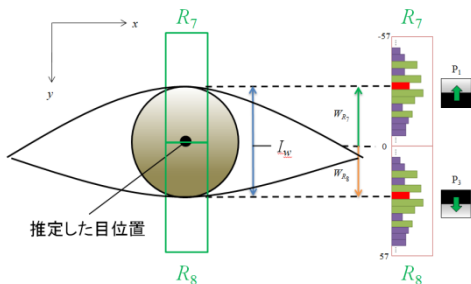


図 3 : 虹彩縦幅計測方法

$$I_w = W_{R_8} - W_{R_7} \quad (4)$$

## 6. 誤検出除去機能

本システムでは、顔の roll 方向において、 $\pm 40^\circ$  の回転まで対応させた。さらに、目以外の検出を誤検出と判断するために、パーティクル群 1, 2 で推定した目位置より顔の回転角度  $\theta$  と両目間距離  $d$  を式(5), (6)より計算する。なお、パーティクル群 1, 2 で推定した目中心位置の座標を  $(u_1, v_1)$ ,  $(u_2, v_2)$  とする。ここで、両目間距離の上下限を  $d_{max}$ ,  $d_{min}$  とすると、検出した両目の角度および距離が式(7)を 10 フレーム連続で満たせば、どちらか一方のパーティクル群が誤検出していると判断し、誤検出をしているパーティクル群を再生成する。なお、どちらの目が誤検出しているかは、過去 5 フレーム間において、各パーティクル群の尤度の最大値を累積した値の大小によって判断する。

$$d = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1} \right) \quad (6)$$

$$40^\circ < |\theta| < 140^\circ \text{ or } d < d_{min} \text{ or } d > d_{max} \quad (7)$$

## 7. 目検出精度

本研究では、財団法人ソフトピアジャパン顔画像データベースを用いて目検出精度の評価を行った。実験では、300 人分の顔画像を用い、顔の回転角 roll ( $-30^\circ \sim 30^\circ$ ), yaw ( $-30^\circ \sim 30^\circ$ ), pitch ( $-15^\circ \sim 15^\circ$ ) に対して、虹彩直径をそれぞれ 21~41 pixels にスケール変化させて目検出率を求めた。なお、本研究では検出した両目の位置座標から求められる顔の両目間距離と回転角度、2 つのパーティクル群の虹彩クラスの違いを用いた誤検出除去機能を付加した。実験では、 $c = 20$ ,  $k = 20$ ,  $q = 0.3$ ,  $\beta = 0.05$  とし、パーティクル数は 500 個 (両目検出で 1000 個)、虹彩クラス 31 を初期値とした。表 1 に誤検出除去機能を用いた場合の目検出精度を示す。ここで、両目とも正検出できた割合を両目検出率、片目を正検出 (もう片目は誤検出) した割合を片目検出率、両目とも誤検出した割合を誤検出率とする。表 1 より、各回転方向のスケール変化における両目検出率が 90% に近い値であることがわかる。また、顔のスケール変化に対して目検出率のばらつきが少ないことから、本手法が顔の向きやスケール変化に頑健であることがわかる。

表 1 : 虹彩直径 21~41 pixels での各回転方向における平均目検出率と標準偏差

	roll	yaw	pitch
両目検出率[%]	87.7 $\pm$ 2.6	91.1 $\pm$ 1.9	89.2 $\pm$ 2.3
片目検出率[%]	10.3 $\pm$ 2.1	7.0 $\pm$ 1.4	8.2 $\pm$ 1.8
誤検出[%]	2.0 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.5	2.6 $\pm$ 0.5

## 8. おわりに

本研究では、勾配方向特徴量とパーティクルフィルタを用いて、顔の向きやスケール変化に対して目を安定して検出できることを確認した。今後の課題として、動画に対する性能評価を行う。

**謝辞** 本研究で使用した顔画像データは、財団法人ソフトピアジャパンから使用承諾を受けたものである。権利者に無断で複写、利用、配布等を行うことは禁じられている。

## 参考文献

- [1] T.Partala and V.Surakka, "Pupil size variation as an indication of affective processing," International Journal of Human-Computer Studies, Vol.59, pp.185-198, 2003.
- [2] S.Kawato, N.Tetsutani, and K. Hosaka. "Scale-adaptive face detection and tracking in real time with SSR filters and support vector machine," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E88-D, No.12, pp.2857-2863, 2005.
- [3] A. Kobayashi, J. Satake, T. Hirayama, H. Kawashima, and T. Matsuyama, "Person-independent face tracking based on dynamic AAM selection," Proc. FG 2008, pp.1-8, 2008.