

楕円パラメータの制約を用いた虹彩位置検出器の学習方法 Training Method for Iris Localization with using Constraint of Ellipse Parameter

坊良 翼[†] 荻野有加[†] 庄司悠歩[†] 戸泉 貴裕[†]
Tsubasa Bora Yuka Ogino Yuho Shoji Takahiro Toizumi

1. はじめに

虹彩認証は施設の入退や入国審査など様々な場面で利用が期待されている。一般に虹彩認証手法では近赤外カメラで撮影した虹彩画像を、虹彩検出器に入力して虹彩と瞳孔のそれぞれの中心座標と境界線を推定する。そして推定結果からドーナツ状の虹彩領域を Daugman のラバーシートモデル[1]を用いて長方形に切り開き、正規化した虹彩画像を生成する。次に正規化した虹彩画像から虹彩の模様を特徴量として抽出し、登録済みの特徴量との類似度を算出して照合する。このように虹彩認証では虹彩領域を正規化する処理があるため、虹彩と瞳孔の内外の境界線を正確に推定する必要がある。

近年では特徴点座標の回帰によって高速かつ正確に虹彩検出が可能な手法が提案されている[2]。一般的な虹彩画像は、被験者を正面から撮影するため、瞳孔や虹彩の境界線が円形状として撮影されることが多い。先行研究 [2]においても瞳孔や虹彩を真円と仮定し、虹彩画像から円パラメータを直接回帰することで円形状の虹彩を検出している。

実際には被験者の視線や撮影機器の設置位置などの要因により、瞳孔と虹彩が円形状ではなく楕円形状として撮影される場合がある。この場合、円虹彩検出器では検出精度が劣化する。楕円形状に撮影された虹彩画像から楕円パラメータを直接回帰できれば、被験者の視線が撮影機器から外れた場合でも高精度に虹彩領域を検出可能になる。一方で楕円は1つの楕円形状に対して複数の楕円パラメータの組み合わせの解が存在するため、単純な回帰の学習では正解が1つに定まらず、楕円虹彩検出器の検出精度が劣化する。

この問題を解決するため、本稿では楕円パラメータの範囲に制約を設けた楕円虹彩検出器の学習方法を提案する。楕円パラメータの範囲に制約を設けることで、1つの楕円形状に対して楕円パラメータの組み合わせを1つに定め、楕円虹彩検出器の検出精度を向上させる。実験では従来法である円虹彩検出器[2]や楕円パラメータを制約しなかった場合の楕円虹彩検出器と比較して、提案法を用いることで検出精度が改善することを示す。

2. 提案法

本稿では楕円パラメータの制約による楕円虹彩検出器の学習方法を提案する。初めに提案法である学習方法を適用先である楕円虹彩検出器について述べ、その後に楕円パラメータの制約を用いた学習方法について述べる。

2.1 楕円虹彩検出器

従来法の円虹彩検出器[2]を拡張した楕円虹彩検出器の一連の処理を図 1 に示す。楕円虹彩検出器はダウンサンプリング層と 19 層の VGG 構造を持つ特徴点検出ネットで構成

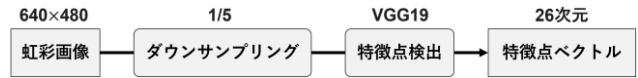


図 1 楕円虹彩検出器のネットワーク構造

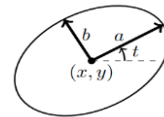


図 2 楕円パラメータと楕円図形の関係

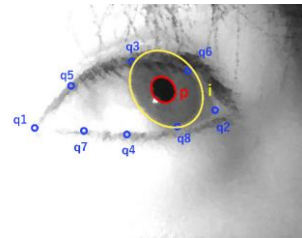


図 3 特徴点ベクトル (F_e) に対応する虹彩画像上の特徴点

されている。ダウンサンプリング層には VGA サイズの虹彩画像が入力され、画像サイズが 1/5 となるようにダウンサンプリングされる。特徴点検出ネットはダウンサンプリングされた画像を入力として、26 次元の特徴点ベクトルを出力する。

円虹彩検出器と楕円虹彩検出器の違いは、円虹彩検出器が真円パラメータを含む 22 次元の特徴点ベクトルを出力するのに対して、楕円虹彩検出器は楕円パラメータを含む 26 次元の特徴点ベクトルを出力する点である。一般に円形状は中心座標・半径の 3 つのパラメータで表現可能であり、楕円形状は中心座標・長半径・短半径・回転角の 5 つのパラメータで表すことができる。これらを用いて式(1)と式(2)にそれぞれ円虹彩検出器が出力する特徴点ベクトル F_c と楕円虹彩検出器が出力する特徴点ベクトル F_e を表す。

$$F_c = [x_p, y_p, r_p, x_i, y_i, r_i, x_{q1}, y_{q1}, \dots, x_{q8}, y_{q8}] \quad (1)$$

$$F_e = [x_p, y_p, a_p, b_p, t_p, x_i, y_i, a_i, b_i, t_i, x_{q1}, y_{q1}, \dots, x_{q8}, y_{q8}] \quad (2)$$

ここで x, y は入力画像上の座標を表し真円・楕円の中心座標とまぶたの特徴点を示す。 r は瞳孔・虹彩を真円とした場合の半径、 a, b は瞳孔・虹彩を楕円とした場合の長半径と短半径を表す。 t は瞳孔・虹彩を楕円とした場合の楕円の x 軸からのなす角を表す。添字 p は瞳孔のパラメータ、 i は虹彩のパラメータであることを表し、 $q1, \dots, q8$ は 8 つのまぶたのパラメータであることを表す。図 2 に楕円形状と楕円パラメータ (x, y, a, b, t) の関係を図示する。また図 3 に式(2)の F_e に対応するそれぞれの点の画像上での座標を示す。

[†] NEC バイオメトリクス研究所 NEC Biometrics Research Laboratories

2.2 楕円パラメータの制約

単純に楕円形状を楕円パラメータで表現すると長半径と短半径の入れ替えや回転によって、同じ楕円形状を表すパラメータの解が複数生じる。例えば、ある楕円形状の解を式 (3) と式 (4) に示す。

$$e_1 = [x, y, a, b, t + n\pi] \quad (3)$$

$$e_2 = \left[x, y, b, a, t + \frac{\pi}{2}(2n + 1) \right] \quad (4)$$

ただし、 n は整数である。同じ楕円形状に対して複数のパラメータの解が存在することによって、楕円虹彩検出器を学習できないという問題が発生する。そこで、ある楕円を表すパラメータの解の一つに定めるために、楕円パラメータの値の範囲に制約を加える。まず長半径と短半径の入れ替えについては $a > b$ という制限を加える。次に楕円の角度 t の値は 0 以上から π より小さい値に制限する。これらの条件を付与した楕円の解 e を式 (5) に示す。

$$e = [x, y, a, b, t] \quad (5)$$

ただし、 $a > b$ かつ、 $0 \leq t < \pi$ とする。制約を加えることで、楕円形状を表す楕円パラメータが一意に定まり、回帰を用いた楕円虹彩検出器の精度向上が可能となる。

3. 評価実験

本章では虹彩が楕円状になるように撮影された画像を用いて、瞳孔・虹彩の検出精度の評価を行う。提案法の導入によって瞳孔・虹彩の検出精度が向上することを示す。比較には従来法の円虹彩検出器と、提案法を導入していない楕円虹彩検出器を用いる。

3.1 学習条件

提案法を用いて楕円虹彩検出器を学習した。最適化手法は確率的勾配降下法を用い、その設定値はそれぞれ学習率を 0.01、バッチサイズを 16、荷重減衰率を 0.0001、モーメントを 0.9 に設定した。学習のイテレーション回数は 100000 回とした。90000 イテレーション目で学習率を 0.1 倍して 0.001 とした。また学習時には 6 種類のデータ拡張を行った(輝度・コントラスト、左右反転、ブラー、平行移動、拡大縮小、回転)。輝度・コントラストは画像の輝度値とコントラストを $\pm 20\%$ の範囲で変化させる。ガウシアンブラーのパラメータ σ が 1 から 25 の範囲になるようにブラーを適用した。また平行移動・拡大縮小・回転は虹彩が画像内に存在するようにデータ拡張を適用した。6 種類のデータ拡張はそれぞれ 50% の確率で適用した。

楕円虹彩検出器の学習に用いる損失関数は[2]を参考に式(6)の重み付きの L1 loss を用いた。

$$L = \sum_{j=1}^{26} w_j \left| |f(I)_j - k_j| \right|_1, \quad (6)$$

ここで I は入力画像を示す。 $f(I)_j, k_j, w_j$ はそれぞれ推定した特徴点ベクトル、正解の特徴点ベクトル、重みの j 番目の要素を示す。26 次元の特徴点のうち、瞳孔楕円と虹彩楕円のパラメータに対応する $j = 1, \dots, 10$ では $w_j = 3$ とし、 $j = 11, \dots, 26$ では $w_j = 1$ とし、楕円形状の検出精度が向上するように重みを付けた。

3.2 データセット

楕円虹彩検出器の学習及び評価に用いるデータセットとして、CASIA-Iris-Degradation[3]を用いた。このデータセッ

トには目周辺を含めた虹彩を近赤外カメラで撮影した照明変化・オフアングル・オクルージョンなどの劣化した虹彩画像が含まれている。このデータセットからオフアングル画像を取り出して学習・評価に用いた。学習データと評価データにはそれぞれ 1954 枚、526 枚を用いる。学習データと評価データに被験者の重複はない。

3.3 評価方法

楕円虹彩検出器及び円虹彩検出器の検出精度の評価指標として、Intersection over Union (IoU) と Dice, Hausdorff Distance (Hdis) を用いた。IoU と Dice は正解領域と推定領域の積を正解領域と推定領域の和で割った値であり、正解領域と推定領域の重なり度合を表す。どちらも 1 に近いほど検出精度が高い指標である。また、Hdis は図形同士の距離を表す指標であり、低いほど図形が近いことを表し検出精度が良いことを示す。さらに瞳孔の境界線の検出精度と虹彩の境界線の検出精度は別々に算出した。

3.4 実験結果

表 1 にそれぞれの手法の瞳孔検出精度、虹彩検出精度の平均値を示す。同表の制約は楕円パラメータの制約を意味する。表 1 から提案法である楕円パラメータの制約を導入していない楕円虹彩検出器は瞳孔及び虹彩の IoU がそれぞれ 0.843, 0.876 となった。一方で提案法を導入した楕円虹彩検出器の IoU はそれぞれ 0.941, 0.903 となった。またその他の評価指標でも提案法の導入によって楕円虹彩の検出精度が向上することが確認できる。

表 1 楕円虹彩の検出精度

		円虹彩 検出器	楕円虹彩 検出器	楕円虹彩 検出器
制約の有無		-	無し	有り
瞳孔	Dice \uparrow	0.930	0.913	0.941
	IoU \uparrow	0.873	0.843	0.891
	Hdis \downarrow	9.742	13.030	8.556
虹彩	Dice \uparrow	0.938	0.933	0.948
	IoU \uparrow	0.884	0.876	0.903
	Hdis \downarrow	16.427	20.552	15.933

4. おわりに

本稿では楕円虹彩検出器の検出精度向上のために、楕円虹彩検出器の学習手法を提案した。一意に定まらない楕円虹彩パラメータに対して、その値の範囲に制約を設けることによって、楕円虹彩パラメータを一意に定める。楕円虹彩検出器の検出精度を改善する。実験では提案法の有無によって楕円虹彩検出器の瞳孔・虹彩の検出精度全ての評価指標で向上することを確認した。

参考文献

- [1] J. Daugman, "New Methods in Iris Recognition," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), vol. 37, no. 5, pp. 1167-1175, Oct. 2007.
- [2] Takahiro Toizumi, Koichi Takahashi, Masato Tsukada; Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2023, pp. 991-1000.
- [3] Biometrics Ideal Test, CASIA-Iris-Degradation v1.0, <http://www.idealtest.org/>.