

遠方からの虹彩撮像のための高速画像抽出 Fast image selection method for iris capturing at a distance

荻野 有加[†]
Yuka Ogino

蝶野 慶一[†]
Keiichi Chono

1. はじめに

虹彩認証は、個人認証精度の高い生体認証方式の一つである。認証に利用可能な品質の虹彩特徴量を取得するためには、直径約 12mm の虹彩を合焦した状態で高解像度に撮像する必要がある。現在普及している虹彩認証では、被認証者とカメラ間の距離は短く、合焦領域内で被験者が立ち止まる、もしくはオートフォーカス機能等を用いて合焦させることによって虹彩を撮像している。

近年、遠方から虹彩を撮像する Iris At A Distance (IAAD)[1]の需要が高まっており、遠方から、動く被認証者に対応した認証をする研究が進んでいる。ウォークスルーゲートのように被認証者が歩行している用途においては、オートフォーカス等による追従が困難である場合がある。そこで、レンズのフォーカスを固定した状態で、合焦領域を通過する人物を、図 1 のように高速に連続撮像することによって、合焦した画像を含む画像群を取得することが考えられる。

本稿では、上述した画像群に合焦画像が含まれるための撮像要件を定式化し、同画像群から合焦画像を高速に抽出する方法を検討する。

2. 虹彩撮像要件

虹彩撮像において、合焦範囲（被写界深度）をある速度で通過する虹彩を撮像するためには、適切にフレームレートを設定しなければならない。フレームレートが低い場合、被写体の合焦領域通過時を撮像できず、高すぎる場合は画像の撮像枚数が膨大になってしまう。したがって本節では、虹彩の解像度条件とカメラ設定から得られる被写界深度と、被写体の速度を考慮し適切なフレームレート要件を述べる。

2.1 被写界深度

虹彩認証において、虹彩は半径 80 画素以上で撮像されることが望ましいとされている[2]。これは、人の虹彩半径が 5.1mm-6.5mm であるため、1 画素当たり 15.68 μ m 以上の解像度が必要である。この解像度条件を r [mm/pixel] と置くと、あるカメラの焦点距離 f [mm]、イメージセンサの画素サイズ s [mm] から、カメラから被写体までの距離 p [mm] の最大条件は

$$p_{\max} = \frac{r \cdot f}{s}$$

である。また、被写体距離の最小値 p_{\min} は、虹彩がカメラの画角内に収まりきる下限を示し、焦点距離 f 、イメージセンサ全体のサイズ、つまりカメラ画角によって決定される。

レンズ光学系において、カメラから被写体までの距離 p [mm]、レンズ焦点距離 f [mm]、F 値（絞り値） F 、許容錯乱円径 CoC [mm] とした場合、被写体の後方被写界深度 d_f [mm] 及び前方被写界深度 d_n [mm] はレンズ光学系から幾何的に下記の式で示される。



図 1 ウォークスルーにおけるバースト撮像

$$d_f(p) = \frac{CoC \cdot F \cdot (p - f) \cdot p}{f^2 - CoC \cdot F \cdot (p - f)}$$

$$d_n(p) = \frac{CoC \cdot F \cdot (p - f) \cdot p}{f^2 + CoC \cdot F \cdot (p - f)}$$

したがって被写体距離 p を想定した場合の被写界深度は $DoF(p) = d_f(p) + d_n(p)$ である。許容錯乱円径 CoC は、イメージセンサに入射した光が、幾何学的にどこまで広がることを許容できるかどうかを示す値であり、一般的にはセンサの画素サイズ s [mm] を用いる。

2.2 フレームレート

前記の被写界深度と被写体速度を元に、適切なフレームレート要件を考える。被写体が遠方から接近する場合被写体の速度の最大が v [mm/s] であるとすると、

$$\frac{v}{DoF(p_{\max})} \leq fps$$

を満たすフレームレート fps であれば、少なくとも一枚以上合焦した画像が撮像可能である。2.1 節で示したようにカメラのレンズ設定から被写界深度条件が得られ、2.2 節の虹彩解像度条件から被写体距離 p が最大となる条件 p_{\max} がわかる。被写界深度は被写体距離が近づくほど短くなるため、 $p = p_{\max}$ である時がフレームレートの下限値である。

3. 合焦画像の高速抽出

前節の要件を満たす条件で撮像された時系列画像群からの合焦画像の抽出には、Daugman ら[3]の二次元ハイパスフィルタによる畳み込みに基づく手法を用いる。しかし、フレームレートが高くなる場合、画像群に含まれる画像数が膨大となるため、すべての画像にフィルタ畳み込みを適用すると処理時間が増大する。したがって高速に合焦画像を抽出する必要がある。

前節で設定した撮像条件を元に得られる合焦スコアは、図 2 に示すようにフレームに対して連続し、合焦フレームにおいて際立ったピークを持つ形状をしている。このピークの広がり形状は、撮像環境に依存して決まる。従って時

[†] 日本電気株式会社 NEC Corporation

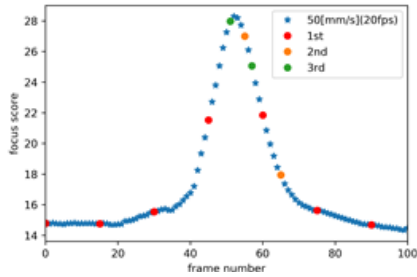


図 2 多段階探索

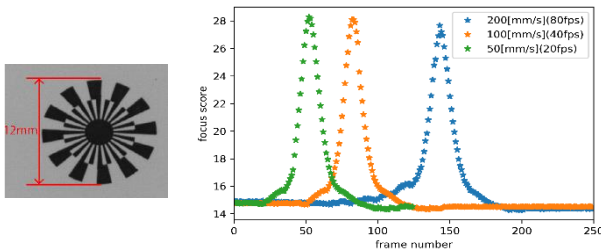


図 3 評価用パターン (左)、スコア値 (右)

系列画像群の合焦スコア値が必ずピークを持つと仮定し、時系列を多段的に間引き評価することによって合焦画像を探索する。

具体的には、図 2 に示すようなピーク形状の合焦スコア値に対して、まず一段階目として時系列画像群 $I = \{I_0, I_1, \dots, I_N\}$ の合焦判別を R_0 [frame] おきに行い (図 3 赤点)、間引きフレーム群 $F = \{I_{R_0}, I_{2R_0}, \dots, I_{KR_0}\}$ 及び対応する合焦スコア群 $S_0 = \{f_{R_0}, f_{2R_0}, \dots, f_{KR_0}\}$ を取得する。この S_0 が最大となる $i_0 (= \text{argmax}(S))$ 番目のフレームを基準とし、探索領域を i_0 を中心とした $[i_0 - R_0, i_0 + R_0]$ の範囲に狭める。得られた範囲内で更に幅 R_1 同様の探索を行い (図 3 黄点)、 S_1 から i_1 を算出して探索領域を狭めてゆくことで、最終的に真のピーク位置を検出することが可能である。

4. 実験

以下で示す 4.1 節の評価実験により、2 節のフレームレート要件を満たす条件で撮像された一定速度で動く微細パターンの時系列画像群を撮像する。また合焦スコアを算出し、時系列でピーク形状をもつため 3 節で示した手法により合焦画像を高速抽出できることを示す。4.2 節の評価実験により、被験者の速度が一定ではないウォークスルー虹彩撮像においても同様に合焦画像を高速抽出できることを示す。

4.1 パターン撮像による合焦スコア評価

提案手法の評価の為、図 3 (左) に示すパターンを用いて合焦を評価する。被写体は虹彩の大きさに近い直径 12mm の形状をしており、速度設定が可能な可動台に取り付けて異なる速度で前後方向に動作させ、撮像要件を満たすフレームレートで時系列画像群を取得する。カメラ設定値と、被写体移動パラメータから 2 節で述べた撮像要件を満たすフレームレートを表 1 に示す。図 3 (右) に取得した全てのフレームに対し 3 節の合焦スコアをプロットした結果を示す。移動速度に応じてフレームレートを適切に設定したことにより、いずれの移動速度でも同じ形状を取得できていることを確認した。また、各速度に対し、3 節の高速抽出方法を適用することでそれぞれ 62 回、39 回、27 回の合焦判別によってピークを検出できることを確認した。

表 1 カメラ設定、被写体移動パラメータ、及び算出されたフレームレート

レンズ焦点距離[mm]	50[mm]
画素サイズ[mm/pixel]	3.45×10^{-3} [mm]
画像サイズ[pixel ²]	1024×1080 [pixel ²]
F 値	4
ピント位置[mm]	約 600[mm]
被写界深度[mm]	2.48[mm]
被写体移動範囲[mm]	500 – 800[mm]
被写体移動速度[m/s]	0.2[m/s], 0.1[m/s], 0.05[m/s]
フレームレート[fps]	80[fps], 40[fps], 20[fps]
撮像枚数	500, 250, 125

表 2 撮影条件

平均 v	最大 v	最小 v	DoF	Fps
1.35[m/s]	1.77[m/s]	0.92[m/s]	9.89[mm]	120fps

4.2 ウォークスルー虹彩撮像による合焦スコア評価

4m 先からカメラと照明に向かって歩行する被験者の虹彩を用いて合焦を評価する。カメラのピント位置は約 2m 先である。5 人の被験者に対して早歩き、通常歩行の 2 パターンを撮影し、平均速度、最大速度、最小速度は表 2 の通りであった。被験者の速度は、歩行動線上に人感センサを設置し、通過時間を計測することによって求めた。なお、カメラ設定から被写界深度は 9.89[mm]、被験者速度が 1.19[m/s] 未満であると仮定し、2.2 節のカメラのフレームレートは全て 120[fps] で撮像した。

10 回の試行のうち 8 回は、3 節の高速抽出方法を適用することで 239 枚の画像から 36 回の合焦判別によってピークを検出できた。ピーク検出に失敗した 2 回の要因は、下記の 2 つである。第 1 の原因は、被験者が照明に接近し、取得した画像の全体的な輝度値が上がるにつれて合焦スコアが増加する傾向があり、合焦ピークの他に照明による局所的なピークが発生したことである。第 2 の原因は、失敗した被験者の速度がいずれも $v=1.57$ [m/s] 以上であり、想定速度を上回っていたことから合焦スコアを十分密に取得することができず、間引き処理時に照明による局所的ピークを検出したことである。

5. おわりに

本稿では、遠方から虹彩認証できる品質で虹彩映像を撮像する要件と合焦画像の高速抽出手法を述べた。また、一定速度の被写体と速度が不定の被験者に対して実験を行い、提案手法の有効性を確認した。今後の課題は、照明など撮像環境の設定を考慮したより高精度な合焦画像の高速抽出手法の考案である。

参考文献

- [1] Nguyen, Kien, et al. "Long range iris recognition: A survey." *Pattern Recognition* 72, 2017. 123-143.
- [2] ISO/IEC 2nd CD 29794-6:201x, "Information technology – Biometric sample quality – Part 6: Iris image," 2011.
- [3] Daugman, John. "How iris recognition works." *The essential guide to image processing*. Academic Press, 2009. 715-739.