ノート

Gaborフィルタの変形による耳介認証の撮影角度差への対策

南谷 崇成, 崔 英泰, 渡部 大志

埼玉工業大学

Manipulation of Shooting Angle using Modified Gabor Filter

Takanari MINAMIDANI, Hideyasu SAI and Daishi WATABE

Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya-shi, Saitama 369-0293, Japan

Abstract : In order to realize the use of ear biometrics to support criminal investigations, it is essential to study the methods for adjusting the difference in the shooting angles between the security camera and suspect database images. To make up the difference between the shooting angles, previous works have attempted to estimate the feature values of different shooting angles by using multivariate analysis and machine learning techniques. In this study, we propose a method to obtain the feature values using a modified Gabor filter; moreover, we conduct comparative experiments between our proposed method and the conventional method using only using multivariate analysis and machine learning techniques. The experimental results demonstrate that our proposed method achieves an improvement of approximately two percent in terms of equal error rate.

Keywords : Ear biometrics, Modified Gabor-filter, Manipulation of shooting angle

1. は じ め に

現在, 装着するだけで耳の形状から個人を識別する使いやすしいイヤホンの設計 [1] や, 耳の形状から個人を識別し画面をアンロックするスマートフォンの設計等に耳の形状の計測値が利用されている [2, 3]. これらにみられるような耳介形状の計測値による個人認証の可能性は, 1896年にフランスの犯罪学者 Bertillon の著書 [4] の中で論じられている. また米国でのカリフォルニア警察の Iannarelli の研究 [5] を基に, ドアなどに残る耳紋が犯罪捜査に用いられてきた. 日本の鑑識の現場でも, 防犯カメラで撮影された現場画像中の耳介形状だけで被疑者と現場画像の異同識別の鑑定を行うことがある [6, 7]. 耳介の個人差は軟骨の作る複雑なパターンにあらわれる. このパターンは指紋や虹彩のパターンに比較して大きい機器に接触しなくても自動的に識別できる可能性がある. しかし耳介は髪の毛による隠れ, 角度変化, 照明変動の影響をうけるため, これらにロバストに対応できる耳介の検出アルゴリズムと認証アルゴリズムが必要になる [8].

これまで, パターンスペクトル [9], 主成分分析 [10], force field [11], GA [12] などを利用した手法を始め多数の手法が提案されている [8, 13-15] もの, 特に上記の角度変化の問題への対応を試みた研究は高精度な3次元 (3D) の入力データを利用した [16, 17], および連続的ビデオ画像を利用した [18] があるのみである. ところが防犯カメラ画像から得られる入力画像は通常3Dではなく2Dである. また認証に利用できる解像度を持つ防犯カメラはフレームレートが高くなく連続的なビデオ画像ではない. もしもフレーム

レートの低い2Dの入力画像だけで3D的な撮影角度の変化にロバストな耳介認証ができれば, 防犯カメラ画像中の耳介画像で捜査対象者のリストが作成できる捜査支援システムができることになる. 現在既に実用化されている顔画像を利用したそのような捜査支援システムは横顔に弱いとされるので, 耳介を利用した捜査支援システムが実用化されれば相補的に利用でき有益である.

そこで筆者らは2Dの入力画像のみで3D的な姿勢変化にロバストな耳介認証システムの研究開発を開始した. この捜査支援システムでは現場画像を前科者データベース等に照会すると候補者を決められた数 (たとえば10人) 提示するシステムである. 前科者の画像は正面と真横 (米国), または正面と斜め45° (日本) で, 耳介が映っている画像は1枚しかないため, 撮影角度は1方向を仮定して機能するものが妥当と考えた. 一方, 現場画像は1枚でも複数枚でもよく, 複数枚ある場合は複数枚ある画像それぞれにリストを作成し共通の候補者を出す処理ができるシステムを検討することとした.

認証について, 対輪後脚, 対輪前脚と対耳輪の Gabor Jet (Gabor変換による filter bank) を特徴量とし, 重判別分析と独立成分分析で強調することで, 2Dの範囲では顔認証さえ凌駕する精度が出ることが分かった [19, 20]. 様々な方向に波打った形状を有する Gabor関数による特徴量は, 様々な方向に波打った形状をしている耳介をとらえるのに適しているためと考えられる. さらに, 3D的に撮影角度の異なる Gabor Jetを推定し判別分析に学習させるといった, 耳介の3D的角度変化にもロバストな耳介認証の研究を行った [21]. そして撮影角度が20°違う場合, Rank 1 認証率を78.4%から

97.6%に、30°違う場合、56.1%から80.0%に向上できることがHOIP [22] の画像のうち耳介の見える約120人で調べた実験で分かった [21]。論文 [21] の手法で照合可能な撮影角度の範囲は、視認可能性の調査を行った論文 [6] とほぼ同じで、解像度、撮影角度ともに舟状窩が十分に観察できる範囲が望ましいことが分かった [23]。また、異なった撮影角度の特徴量を推定するために利用する統計モデル（モデル法線）作成の際に、防犯カメラ特有の歪曲収差などでの劣化画像も通常画像の他に利用することで照合率の低下を防げることもわかった [24]。さらに3D的に撮影角度の異なる Gabor Jet を推定する手法に機械学習の手法を利用し精度向上を図る試みを行った [25]。しかし、犯罪者の取り逃がしを防ぎ公共の安全を高めるためには更なる撮影角度や画像劣化へのロバスト性改善が望まれる。顔認証における撮影角度の変化を埋め合わせる手法には、

- (1) 機械学習を利用し局所特徴量の間の対応つける手法、
- (2) 大まかな顔の形にテクスチャを張り付けて3次的に

回転させ撮影角度を正規化する手法、

がある [26-28]。手法 [21, 25] は手法 (1) に分類されることができるとは、耳介認証において手法 (2) を検討した文献は、調べた範囲では存在しなかった。そこで耳の全体的な形状がある程度平面的であると少し大胆に仮定して、撮影角度の異なる耳介画像を耳介画像の台形変形でどの程度推定出来るか検討することとした。また、推定精度が高くない場合も考えられるので、(1) と (2) を合わせた手法も検討することとした。なお (2) の手法では耳介の向きの撮影角度を推定する手法が必要となるが、顔とは異なり、画像中の耳介の角度を実用的精度で推定する手法が確立されていない [29]。そこで入力画像中の耳介角度を推定し登録画像の角度に正規化する手法を取らず、[21, 25] と同様に登録画像（データベースの画像）の特徴量を様々な角度に変換させ機械学習に学習させておき、現場画像の撮影角度が分からなくてもよい手法を検討することとした。

2. 手 法

2.1 Gabor関数及びGabor特徴量

座標平面上の点を $\mathbf{x} = (x, y)$ 、波数ベクトル $\mathbf{k} = (k_x, k_y)$ とする。また σ をガウス関数の広がりとするときガウス関数は

$$G_{\mathbf{k}}(\mathbf{x}) = |\mathbf{k}|^2 / \sigma^2 * \exp(-|\mathbf{k}|^2 |\mathbf{x}|^2 / 2\sigma^2) \quad (1)$$

となり、波数ベクトル $\mathbf{k}$ の平面波は

$$W_{\mathbf{k}}(\mathbf{x}) = \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}) \quad (2)$$

となる。平面波をガウス関数で局所化した関数

$$\Psi_{\mathbf{k}}(\mathbf{x}) = G_{\mathbf{k}}(\mathbf{x}) [W_{\mathbf{k}}(\mathbf{x}) - \exp(-\sigma^2/2)] \quad (3)$$

を Gabor 関数という。 $\exp(-\sigma^2/2)$ の項は直流成分を無視するための補正項であるが σ が十分大きい場合は無視してよい。

Gabor 関数は平面波とガウス関数の積であることから画像との畳み込み積分である Gabor フィルタで平面波の波長・方向に対応する特徴点周辺の凹凸形状を捉えることが出来る。今回は既報 [21, 25] のパラメータを援用し $4, 4\sqrt{2}, 8, 8\sqrt{2}, 16$ の 5 波長、8 方向の平面波を $\sigma=2\pi$ のガウス関数で制限したマスク半径 51 の Gabor フィルタのフィルタバンクを利用して Gabor 特徴量を得ることとする。

2.2 Gaborフィルタの変形

耳が平面的であるという少し大胆な仮定を行うと、台形変形で異なる撮影角度の耳介画像の推定を試みる。畳み込み演算は可換なので耳介画像への台形変形に対応する Gabor フィルタの台形変形を行って推定を試みることにした。

2.3 提案手法

まず座標平面上の点を 3 次元空間上の $z=0$ である xy 平面の点とみなす。すなわち

$$\mathbf{x} = [x \quad y \quad 0] \quad (4)$$

とする。次に 3 次元空間上で回転を行う。

$$[x' \quad y' \quad z']' = R(\alpha, \beta, \gamma) \mathbf{x}' \quad (5)$$

R は回転行列であり、パラメータ α, β, γ はそれぞれ回転角に対応する。最後に 3 次元座標を 2 次元座標に投影し、Gabor 関数に与える。

$$\mathbf{x}_R = [x' \quad y'] \quad (6)$$

(6) 式は平行投影であり、奥行きに関係なく見かけの大きさが変わらない非現実的なものである。しかし奥行きの差が小さい場合問題にはならない。

3. 実 験

3.1 CAS-PEAL-R1 データベース

このデータベース [30] は 1040 名を 21 方向から撮影した顔画像のデータベースである。図 1 に顔画像から切り出した耳介画像の例を載せる。撮影角度は顔の正面から yaw 角が 22.5 度刻み (22.5, 45, 67.5) のものと 15° 刻み (0, 15, 30, 45, -15, -30, -45) の 2 種類あり、22.5° 刻みで撮影したものが 101 名、15° 刻みで撮影したものが 939 名である。

0 度は顔の正面、45 度は顔の右側である。このデータベースで耳は縦 80 ピクセル横 60 ピクセル程度である。このデータベースの画像を左右反転し、別人とすることで疑似的に計 2080 名からなるデータベースを作成した。

図1 CAS-PEAL-R1 データベースの顔画像と耳介画像

Gaborフィルタの変形による耳介認証の撮影角度差への対策

3.2 HOIPデータベース

このデータベース [22] は、300名511方向から撮影した顔画像データベースである。図2に顔画像から切り出した画像の一例を載せる。0度は顔の正面、45度は顔の右側である。このデータベースで耳は縦100ピクセル横80ピクセル程度である。このデータベースの画像を左右反転し、別人とすることで疑似的に計600名のデータベースを作成した。

3.3 使用する耳介特徴点

研究にあたり図3に記載する対耳輪前脚、対耳輪後脚、対耳輪、前切痕、対耳珠、珠間切痕、耳珠の7点の正解座標データを作成した。機械学習により自動的に耳介を検出させる際にもあらかじめ正解データ (Ground Truth) が必要となるが、これらの点は多くの人に存在する医学的に名称のついた点であり、Ground Truthデータを人の手で作成しやすいのが利点である。これらの特徴点を利用した耳介検出手法は [19] や [23] で発表しており、サーベイ論文 [8] ではある一定の評価をいただいている。

3.4 実験内容

実験では検索画像群の撮影角度を右側45度、想定現場画像の撮影角度を15度と30度とする。図3の7点の中で前切痕、対耳珠、珠間切痕、耳珠の4点が登録画像及び入力画像の全ての角度で確認できるCAS-PEAL-R1の735名とHOIPの106名を利用する。Gabor特徴量はこれら4点における特徴量を利用するため合計複素160次元となる。まずGabor関数の変形による効果を見る実験として、

(A) Gabor関数を変形させるもの (3Dモデルにテクスチャを張り付け回転させる手法。以下「変形あり」と表記)

(B) Gabor関数は変形させないもの (「変形なし」と表記) を比較することとした (図4, 図5)。この実験 (A) では耳介の入力画像 (想定現場画像) の撮影角度はあらかじめ与えてあるものとし、登録画像 (検索画像群) を想定現場画像の撮影角度

図2 HOIPデータベースの耳介画像 ([31] のFigure 6)

図3 使用する耳介特徴点

に変更したGabor特徴を相関計算に加えることとした。また

- (1) 機械学習を利用し局所特徴量の間の対応をつける手法、と
 - (2) 大まかな顔の形にテクスチャを張り付けて3次元的に回転させ角度を正規化する手法の2つを合わせた手法に対応して、
 - (ア) Gabor関数の変形と重回帰による対応付けも追加した手法 (変形あり+機械学習と表記)
 - (イ) Gabor関数の変形は行わず、重回帰による対応付けを追加した手法 (変形なし+機械学習と表記。既報 [21, 25] に対応) を比較する実験も行うこととした (図6, 図7)。
- この実験では、入力画像 (現場画像) の耳介の撮影角度が分からないことを前提として、登録画像 (検索画像群の画像) の特徴量を様々な角度に変換させ機械学習 (重判別分析) に学習させておくことで、入力画像 (現場画像) の耳介の撮影角度が分からなくてよい手法をとった。

図4 等誤差率 (Gabor関数の変形のための効果)

図5 Rank1 認証率 (Gabor関数の変形のための効果)

図6 等誤差率 (Gabor関数の変形と機械学習の効果)

図7 Rank1 認証率 (Gabor関数の変形と機械学習の効果)

3.5 評価基準

ISO/IEC 19795-1 [32] Biometrics performance testing and reporting Annex Fに基づいて、ROC 曲線、CMC 曲線を作成し、等誤差率と Rank1 認証率を求めて精度の評価・比較することとした。等誤差率（本人拒否率＝他人受入れ率となるときの誤差）は低いほどよく、Rank1 認証率（いわゆる正解率）は高いほど良い。

4. 実験結果

Gabor 関数の変形のみおこなった実験結果を図4, 図5に示す。

多くの角度において Gabor 関数の変形には効果があることがうかがえる。次に、特徴量を様々な角度に変換させ機械学習に学習させておき、入力画像（想定現場画像）の耳介の撮影角度が分からなくてよい手法と、Gabor 関数の変形との併用の効果を調査した実験結果を示す。

最大約2パーセントの識別精度の向上が確認できるが、全体として効果は必ずしも大きくないことが確認できる。また、図4, 図5と図6, 図7を比較すると機械学習を入れた手法のほうが、圧倒的に精度が高いことも読み取れる。

5. 考察

耳介画像を大まかに平面ととらえ、台形近似で撮影角度の異なる耳介の形状を推定する手法は、現場画像の耳介に対する撮影角度が何らかの手法である程度わかる場合、特に前方において有効な可能性がある。また、機械学習を利用することで入力画像の角度が不明でも対応できれば簡便かつ精度が向上するため、機械学習を利用したほうがよい。しかし、既報 [21, 25] からの改善の効果はあるものの限定的である。効果が限定的であった理由は、耳介形状を平面で近似するというのがあまりにも大胆な近似だったことによると思われる。

6. まとめ

本稿では既報 [21, 25] のロバスト性改善をめざし、大まかな耳の形（今回は大胆に平面を仮定した）にテクスチャを張り付けて3次元的に回転させ撮影角度を正規化する手法を利用することの効果について検討を行った。実験は等価な処理となる Gabor 関数自体の変形により行った。従来から利用してきた機械学習による特徴量の対応付けと併用することで、若干ではあるが精度の向上が望めることが分かった。平面よりもロバスト性向上に効果のある耳介の統計的モデルが作れるかどうか今後の検討課題となる。

日本感性工学会の創始者、椎塚氏は感性工学を感性ハニカムで説明する [33]。その中心となるのが「いかす」であり、「いかす」を周辺で支える分野の一つに「はかる」がある。そして、その中に人の形状や行動を「はかる」学問の感性人間工学がある。人の耳の形状を「はかる」手法の発展も、

イヤホンの使いやすさの追求や、耳介形状によるアンロック機能をもつスマートフォンの認証時に、スマートフォンの撮影角度を固定しなくてもよいといったような使いやすさの改善などに「いかさ」れていくものと考えている。

謝 辞

この研究は科研費番号 JP15K00191, JP24500260, JP22700219 の助成を受けた。

参 考 文 献

- [1] NEC : http://jpn.nec.com/press/201603/20160307_01.html (最終閲覧日 2016/10/18)。
- [2] 崔英泰, 南谷崇成, 渡部大志, 小林俊 : 耳介認証のモバイル化 : Android 端末への実装の試み (A-23-1), 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会講演論文集, 2015。
- [3] NTTdocomo : <https://www.nttdocomo.co.jp/service/suguden/about/> (最終閲覧日 2016/10/18)。
- [4] A. Bertillon: Signaletic Instructions: Including the Theory and Practice of Anthropometrical Identification, Kessenger Legacy Reprints, 1896。
- [5] A. V. Iannarelli: Iannarelli system of ear identification, Foundation Press, Brooklyn, NY, 1989。
- [6] 森好浩行, 三好美紀, 日野大樹, 中山英樹, 森川俊雄, 中木真一, 糸原幸次 : 耳介各部の形態分類と各部における形態特徴間の関連性に関する研究, 日本法科学技術学会誌, 12(1), pp.27-34, 2007。
- [7] 森好浩行, 三好美紀, 日野大樹, 中山英樹, 森川俊雄, 中木真一, 糸原幸次 : 耳介各部の形態分類と各部における形態特徴間の関連性に関する研究, 日本法科学技術学会誌, 14(2), pp.61-70, 2009。
- [8] S. Barra, M. De Marsico, M. Nappi, and D. Riccio: Unconstrained Ear Processing: What is Possible and What Must Be Done, Signal and Image Processing for Biometrics, pp.129-190, 2014。
- [9] 篠原克幸, 南敏, 結城義徳 : モルフォロジー演算を用いた耳介画像による個人識別, 画像電子学会誌, 21(5), pp.528-534, 1992。
- [10] K. Chang, K. W. Bowyer, S. Sarkar, and B. Victor: Comparison and combination of ear and face images in appearance-based biometrics, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 25(9), pp.1160-1165, 2003。
- [11] D. J. Hurley, and M. S. Nixon: Force field energy functionals for image feature extraction, Image Vis. Comput., 20(5-6), pp.311-317, 2002。
- [12] Y. Wang, H. Tsurusawa, T. Yuizono, K. Sato, and S. Nakayama: Study on Human Recognition by Ear Image Based on Genetic Local Search, IEEJ Trans. Electron. Inf. Syst., 124(6), pp.1267-1273, 2004。

Gabor フィルタの変形による耳介認証の撮影角度差への対策

- [13] A. Abaza, A. Ross, C. Hebert, M. A. F. Harrison, and M. Nixon: A Survey on Ear Biometrics, *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, 9(4), pp.39:1-39-31, 2010.
- [14] A. Pflug, and C. Busch: Ear biometrics: a survey of detection, feature extraction and recognition methods, *IET Biometrics*, 1(2), p.114, 2012.
- [15] L. Yuan, Z. C. Mu, and F. Yang: A Review of Recent Advances in Ear Recognition, *Proc. 6th Chinese Conf. Biometric Recognit. CCBR*, pp.252-259, 2011.
- [16] H. Chen, and B. Bhanu: Human ear recognition in 3D, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 29(4), pp.718-737, 2007.
- [17] P. Yan and K. W. Bowyer: Biometric recognition using 3D ear shape, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 29(8), pp.1297-1308, 2007.
- [18] S. Cadavid, and M. Abdel-mottaleb: 3D Ear Modeling and Recognition from Video Sequences using Shape from Shading, *Proc. of the 19th International Conference on Pattern Recognition*, pp.1-4, 2008.
- [19] D. Watabe, H. Sai, K. Sakai, and O. Nakamura: Ear biometrics using jet space similarity, *Proc. of the IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp.1259-1264, 2008.
- [20] D. Watabe, H. Sai, T. Ueda, and K. Sakai: ICA, LDA, and Gabor Jets for Robust Ear Recognition, and Jet Space Similarity for Ear Detection, *Int. J. Intelligent Computing Med. Sci. Image Process.*, 3(1), pp.9-29, 2009.
- [21] 渡部大志, 黄子チュウ, 相馬貢士, 崔秀泰, 酒井勝弘, 中村納: 1枚の登録画像による耳介認証の平面外回転へのロバスト化, *映像情報メディア学会誌*, 65(7), pp.1016-1023, 2011.
- [22] 丹羽義典, 本郷仁志, 棚橋英樹, 渡辺博己, 富永将史, 佐藤雄隆: HOIPプロジェクトの紹介, *画像電子学会第194回研究会講演予稿*, p.1, 2003.
- [23] D. Watabe, Y. Wang, T. Minamidani, H. Sai, K. Sakai, and O. Nakamura: Empirical Evaluations of a Single-view-based Ear Recognition when Rotated in Depth, *Kansei Eng. Int. J.*, 11(4), pp.247-257, 2012.
- [24] D. Watabe, T. Minamidani, W. Zhao, H. Sai, and J. Cao: Examining Barrel Distortion, Super-resolution on Single-view-based Ear Biometrics Rotated in Depth, *Int. J. Affect. Eng.*, 14(2), pp.1-8, 2015.
- [25] D. Watabe, T. Minamidani, H. Sai, and J. Cao: Comparison of Ear Recognition Robustness of Single-View-Based Images Rotated in Depth, *Fifth International Conference on Emerging Security Technologies (EST)*, pp.19-23, 2014.
- [26] S. Z. Li, and A. K. Jain, Eds., *Handbook of Face Recognition*, Springer, London, 2011.
- [27] W. Zhao, R. Chellappa, P. Phillips, and A. Rosenfeld: Face recognition: A literature survey, *ACM Comput. Surv.*, 35(4), pp.1-72, 2003.
- [28] S. Prince: *Computer Vision (Models, Learning, and Inference)*, Algorithms, pp.1-75, 2013.
- [29] D. Watabe, T. Minamidani, H. Sai, T. Maeda, T. Yamazaki, and J. Cao: Estimating a Shooting Angle in Ear Recognition, *Lecture Notes In Computer Science*, K. Saeed and W. Homenda, Eds. Cham, Springer International Publishing, pp.559-568, 2015.
- [30] W. Gao, B. Cao, S. Shan, X. Chen, D. Zhou, X. Zhang, and D. Zhao: The CAS-PEAL large-scale Chinese face database and baseline evaluations, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part A Syst. Humans*, 38(1), pp.149-161, 2008.
- [31] D. Watabe, T. Minamidani, and H. Sai: Single-view-based ear biometrics rotated in depth: effects of variations in angle of ear overhang, *2013 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2013)*, SS-BioX-1, pp.87-92, 2013.
- [32] ISO/IEC: Information technology – Biometric performance testing and reporting – Part 1: Principles and framework, *ISO/IEC 19795-1*, 2006.
- [33] 椎塚久雄: 感性工学ハンドブック, 朝倉書店, 2013.

南谷 崇成 (非会員)

2010年 埼玉工業大学工学部情報システム学科卒, 2012年 同大学大学院工学研究システム工学専攻博士前期課程修了, 現在同専攻博士後期課程在学中. 修士(工学). 生体認証の研究に興味をもつ.

崔 英泰 (非会員)

2002年 埼玉工業大学工学部電子工学科卒, 2007年 同大学大学院工学研究科システム工学専攻博士前期課程修了, 2010年 同専攻博士後期課程修了, 博士(学術). 現在, 同大学先端科学研究所研究支援員. 主に生体認証の研究に従事.

渡部 大志 (正会員)

1998年 東北大学大学院理学研究科博士前期課程修了, 2000年 同研究科博士後期課程修了, 博士(理学). 現在埼玉工業大学工学部情報システム学科教授, 同大学大学院工学研究科システム工学専攻教授. 人間工学, セキュリティ, 生体認証, 数値計算, 画像処理などの教育研究に従事.