

熱画像と可視光画像を用いる目の周辺認証

中村 匠^{1,a)} 吉浦 裕² 市野 将嗣¹

概要: 目の周辺認証は口元が隠れていてもその影響を受けずに認証を行うことができるという利点を持っているため、顔認証に代わって広い場面での実用が期待される。しかし、照明条件や表情の変化に影響を受けて、精度が低下してしまうという問題点もある。そこで本研究では、熱画像を可視光画像に加えて用いることでこれらの変化に影響を受けない目の周辺認証の手法を提案する。提案手法の有効性を評価するため、表情や照明条件に変化をつけて撮影された顔の熱画像と可視光画像を含むデータベース NVIE を用いて、83名の被験者の画像での認証実験を行った。そして、提案手法は従来の可視光のみを用いる認証に比べて高い認証精度が得られたことを示した。

キーワード：生体認証，目の周辺認証，可視光画像，熱画像

Periocular Recognition by Integrating Thermal and Visible Light Images

TAKUMI NAKAMURA^{1,a)} HIROSHI YOSHIURA² MASATSUGU ICHINO¹

Abstract: Compared to face recognition, periocular recognition has the advantage of being able to perform authentication even when the mouth is hidden. However, the accuracy of this method is affected by the lighting conditions and changes in facial expressions. In this study, we propose a new authentication method using a thermal image in addition to a visible light image. It is not affected by these changes. In order to evaluate the effectiveness of the proposed method, we conducted an experiment using the database NVIE. As a result of the experiments, the proposed method was able to perform authentication with higher accuracy than the conventional authentication using only visible light.

1. はじめに

今日、携帯電話のロック解除や施設の入場者管理などの場面において安全で利便性の高い個人認証の必要性が高まっている。現在用いられている個人認証の方式は、本人の所有物による認証、本人の知識による認証、本人の身体的・行動的特徴による認証の3つに分類できる。中でも身体的・行動的特徴による認証を生体認証といい、安全性や利便性が高いことから注目を集めている。生体認証の中でも、現在特に広く用いられている手法である顔認証は、非接触で本人が意識することなく認証できることなどの利点

を持つ。しかし、昨今のコロナウイルス感染拡大に伴って、外出時にはマスクをすることが常識となり、口元が隠れていることによって正しく顔認証ができない場面があるという問題点が出てきた。

一方、近年注目を集めている方式として目の周辺認証がある。この方式では顔の中でも目の周辺の領域に着目して認証を行うことで口元が隠れていても影響を受けずに認証を行うことができる。よってマスクをしたままでの生体認証手法として広い場面での利用が期待される。先行研究では主に可視光画像や近赤外光画像を使う手法が提案されてきた。しかし、これらの手法には照明条件や対象者の表情の変化に影響を受けて認証精度の低下が起きるという問題点があることも指摘されている [1] [2]。実用を考慮すると登録時とは異なる照明条件や表情で認証することも起こり

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications

² 京都橘大学
Kyoto Tachibana University

a) tkm.nakamura@uec.ac.jp

えるので、これらの変化への対策は重要な課題の1つとなっている。

そこで本研究ではこうした変化の影響を抑えて目の周辺認証を行うために、サーモグラフィカメラを用いて取得した熱画像を認証に利用することを検討する。人の顔の熱画像は照明条件の変化に影響を受けずに取得できる。また、表情の変化による影響も小さい。よって熱画像から得られる特徴を活用することで、照明条件や被験者の表情の変化による精度への影響が抑えられることを期待する。

しかし、熱画像のみを用いる認証にも周囲の温度変化などの影響を受けて精度が低下するといった問題点が考えられる。そこで従来用いられてきた可視光画像と組み合わせる認証を行うことも検討する。これによって双方が補い合い、さらに精度と安定性が向上することを期待する。

サーモグラフィカメラは近年入場者の体温測定を目的に施設などの出入りに設置される例も多く見られることから、提案手法の有効性が示されれば、こうした設備において個人認証用の機器として併用することも可能である。

本研究の主な貢献の概要は以下の2点である。

- (1) 従来、可視光画像などを用いて行われてきた目の周辺認証が持つ、照明条件や表情の変化が精度に影響するという問題点に対処するため、熱画像を用いて認証を行う手法を新しく提案し、比較実験などから有効性を確認する。熱画像を用いて目の周辺認証を行うことは、筆者らの調査の範囲では未だ提案されていない。
- (2) 更なる精度の向上と安定性を得るために、熱画像と可視光画像を組み合わせる目の周辺認証を行う手法も提案し、実験から有効性を確認する。これも、筆者らの調査の範囲では未だ提案されていない。

なお、本研究は文献[3]の内容をさらに発展させたものである。

2. 先行研究

本章ではまず目の周辺認証の先行研究について調査した内容を述べる。また、熱画像を利用した目の周辺認証はこれまでに行われていないが、顔認証において熱画像を利用する手法やこれを可視光画像と合わせる手法が提案されている。手法の一部を参考にするため、これらの先行研究についても触れる。

2.1 目の周辺認証

目の周辺領域の生体情報を用いる認証方式のことを目の周辺認証という。認証に使われる領域について明確な定義はないが、一般的にはまぶたや周辺の皮膚、眉まで含む領域を用いて認証が行われる。認証は主に可視光画像や近赤外光画像を用いて行われ、特徴量、照合方法などは先行研究によって様々である。

Millerら[4]によって目の周辺領域の可視光画像から特徴

量として抽出したLBPを用いて個人認証を行う手法が提案され、その後も他の特徴と組み合わせることなどによって精度を高める方法が検討されてきた。Vermaら[5]は、LBP、HOG、SIFT、SURFの4つの特徴量を統合する認証手法を提案し、実験から画像特徴量を組み合わせることによって精度が向上することを示した。Alonsoら[6]は、LBP、HOG、SIFTに加えてSAFEという特徴量を用いて認証実験を行い、画像の取得時のカメラと被験者の距離の変化に対して頑健な認証を行うことができると示した。

目の周辺認証は多くの利点を持ち、複数の特徴量を組み合わせることなどによって高い精度で認証を行う手法が提案されていることから、広い場面での利用が期待される。

一方で、いくつかの課題も指摘されている。Parkら[1]は、GO、LBP、SIFTを用いた認証実験を行って、様々な要因が与える影響について調査し、表情の変化を精度が低下する要因の一つとして挙げた。Karahanら[2]も実験結果より、照明の当たり方の変化や表情の変化といった要因によって精度が低下するという問題点を指摘した。

2.2 熱画像を用いた顔認証

一般的に顔認証は可視光画像を用いて行われるが、サーモグラフィカメラを用いて撮影される熱画像を用いた手法も提案されている。可視光画像を用いる手法に比べて、照明による影響を受けづらいこと[7]や表情の変化の影響を受けづらいこと[8]が主な利点として挙げられる。

Mendezら[9]はLBPを使って顔の熱画像による認証の実験を行い、有効性を示した。また、Hermosillaら[10]は、LBP、LDP、WLD、HOGの4つの特徴量について、熱画像を用いる顔認証における性能を比較し、HOGやLBPを使う手法が高い精度であったことを報告した。他にもHanmandluら[11]は、顔の熱画像を簡易的に血流灌漑データに変換してからPCAやFisherface法によって顔認証を行う手法を提案した。

2.3 熱画像と可視光画像を用いる顔認証

熱画像を用いた顔認証には上記のような利点がある一方で周囲の気温や体調の変化による温度分布への影響、眼鏡着用による情報の遮断などの課題も示されている。これらの課題解決策の一つとして、熱画像と可視光画像の両方を用いて認証を行うことが提案されている。

Heoら[12]やKongら[13]は熱画像と可視光画像の統合画像を生成して市販のソフトウェアで顔認証を行う手法による実験を照明条件に変化のあるデータベースを用いて行い、熱画像のみ、可視光画像のみで行う認証に比べて精度が向上したことなどを報告した。Wangら[14]は熱画像と可視光画像を用いる顔認証について、PCAによる特徴抽出をベースとした様々な手法の比較を行い、データレベル統合より特徴レベル統合の性能が高かったことなどを報

告した。Dong ら [15] は事前に可視光画像で学習を行ったニューラルネットワークモデルを使って、熱画像と可視光画像それぞれから特徴を抽出し、特徴レベルでの統合とスコアレベルでの統合を行う場合の精度比較実験から、スコアレベルでの統合がより精度の高い認証となったことを示した。

3. 提案手法

目の周辺認証は顔認証に対してマスクをしていても認証精度への影響が無いという利点を持つ方式であり、先行研究では主に可視光画像を用いた手法の検討が行われてきた。しかし、これらの手法には照明条件や表情が変化した際の精度低下という問題点があることが指摘されている。

そこで本研究では顔認証の先行研究において同様の問題に対してとられてきたアプローチを参考に、熱画像を認証に用いることでこうした変化の影響を抑えて目の周辺認証を行う手法を提案する。さらにこれを従来の可視光画像を用いた手法と統合することで、より精度と安定性を向上させる認証手法も併せて提案する。目の周辺認証を熱画像で行ったり、可視光画像と合わせて用いて行う手法は筆者らの調査の範囲では未だ提案されていない。

3.1 熱画像を用いた目の周辺認証

顔の熱画像から目の周辺領域を切り出して、画像特徴量 LBP, HOG, PCA を抽出し、登録画像との類似度を算出することで認証を行う。

3.2 可視光画像を用いた目の周辺認証

先行研究に倣って、目の周辺領域の画像から抽出した LBP, HOG, SIFT を特徴量として使用し、登録画像との類似度から認証を行う。

3.3 熱画像による認証と可視光画像による認証の統合

熱画像と可視光画像を組み合わせることで目の周辺認証を行うために、それぞれが持つ情報の統合を行う必要がある。本研究では、熱画像と可視光画像のそれぞれから抽出した複数の画像特徴量より算出された類似度をスコアレベルで統合することで認証を行う。

熱画像と可視光画像から取得する複数の特徴量から、認証に有効な特徴量を重視して選択するために XGBoost というブースティング手法を統合手法として採用する。XGBoost は弱識別器として決定木を用いるため外れ値への耐性を持つことでも知られている。この特性により照明や表情といった条件の大きな変化によって例外的なデータが存在しても、精度が高い識別器の構成を期待できる。

以下に適用方法を示す。

(1) 学習データ

XGBoost による学習を行う際の学習データとして、

3.1 節, 3.2 節に記述したそれぞれの特徴から得る類似度を結合したベクトルを説明変数とし、マッチングが本人同士の画像であるか他人同士の画像であるかを表す y を目的変数として用いる。ここで y は本人同士であるとき 1, 他人同士であるとき 0 とする。また学習データは、学習用画像 n 枚に対して考えられるペアの数 nC_2 通りを全て使用する。

(2) 弱識別器

ブースティングでは簡単な構造の弱識別器を複数組み合わせることで最終的な出力を決定するための強識別器が構築される。XGBoost においては、弱識別器として決定木に重みをつけたものが用いられる。決定木の学習の際には、予測値 \hat{y} に対する損失関数として式 (1) で表される交差エントロピーが用いられる。

$$l(y, \hat{y}) = -y \log \hat{y} - (1 - y) \log(1 - \hat{y}) \quad (1)$$

弱識別器の学習の際には、それまでに生成されてきた全ての弱識別器を用いた予測を踏まえて、式 (1) を最小化するような重みと決定木の分岐が貪欲に選択されていく。

(3) 強識別器

生成された弱識別器を全て組み合わせることで強識別器が構成される。強識別器を用いる際には、まず登録画像とクエリ画像から識別に使用する特徴量を抽出してそれぞれにおいて類似度の算出を行う。これらを結合したベクトルを全ての弱識別器に与えたときの出力の和を統合スコアとする。算出した統合スコアはロジスティック変換で 0 から 1 の値に変換してから扱う。得られた値と閾値の大小関係を比較することで本人 or 他人の判定を行う。

4. 評価実験

熱画像と可視光画像を用いた目の周辺認証の有効性の評価を目的として、以下の通り実験を行った。

4.1 データベース

本実験では CCSL[16][17] が作成した顔の熱画像と可視光画像のデータセット NVIE を使用した。NVIE は被験者 107 人の同時に撮影された顔の熱画像と可視光画像を含むデータベースである。画像は照明条件や被験者の表情に変化をつけて撮影された。同条件の熱画像と可視光画像 1 枚ずつのペアを 1 サンプルとして数えると、1 人当たり最大 37 サンプルを含んでいる。内訳としては、照明を当てる方向として front, right, left の 3 パターン、被験者の表情に anger, disgust, fear, happy, sadness, surprise の 6 パターン、眼鏡をかけた場合と外した場合の 2 パターンの変化があり、全ての変化の組み合わせについて 1 サンプルずつで $3 \times 6 \times 2 = 36$ サンプルと、neutral 画像として何も

変化のない1サンプルである。

ただしデータの欠損などによって使用できるサンプルの数が少ない被験者も存在する。本実験では眼鏡をかけていない画像のみを使い、またサンプル数の少ない被験者を除いた83名の被験者から1人当たり16サンプルを認証実験用のデータセットとした。これには neutral 画像は含まないこととした。残りの画像は目の周辺領域の検出及び切り出しに用いるカスケード分類器(4.2.1項で述べる)の学習用画像として用いた。

4.2 識別器の構成

顔の熱画像と可視光画像から、目の周辺領域を使って個人認証を行うための識別器を以下の手順で構成した。

4.2.1 目の周辺領域の切り出し

熱画像における顔全体から目周辺領域の切り出しについては、Hussien ら [18] によって提案されたカスケード分類器を用いる検出手法で行った。

可視光画像における切り出しについては、先行研究では Hough の円検出により取得される虹彩の中心座標と半径を利用して切り出しを行う手法が主に用いられていたが、虹彩検出は被験者の表情の変化によって目を閉じていたり細めていたりする場合に対応できないことがある。

そこで本研究では、可視光画像における目周辺領域の切り出しもカスケード分類器を用いる検出手法で行った。

認証実験に使わない画像から目周辺領域を手動で指定して正解データとし、それ以外の領域を不正解データとして使用した。これらのデータを用いて熱画像と可視光画像それぞれに対応した目周辺の領域を検出する分類器の学習を行った。

学習を終えた分類器を用いて認証実験に使う画像から目周辺領域を検出し、切り出しを行った。目周辺領域でない場所を切り出してしまっていたり何も検出しなかった場合は検出失敗と判断してその画像からは手動で目周辺領域を切り出すことで図1のように認証用のデータセットを用意した。切り出した目周辺領域について、それぞれサイズが一定になるように Bicubic 補間によって熱画像は 120×80 ピクセル、可視光画像は 100×100 ピクセルにリサイズを行った。

4.2.2 輝度の正規化

切り出した画像について画像の明るさを正規化するため、式(2)によって、輝度平均値と標準偏差を統一した。

$$S'(x, y) = ((S(x, y) - ave) \div var) \times var' + ave' \quad (2)$$

ここで、 $S(x, y)$ は対象画像の座標 (x, y) の輝度値、 ave は対象画像の輝度平均値、 var は対象画像の輝度値の標準偏差、 $S'(x, y)$ は正規化後の輝度値、 ave' は変更後の輝度平均値、 var' は変更後の標準偏差とする。変更後の値について、本研究では $ave' = 128$ 、 $var' = 32$ に統一した。

輝度の正規化を行った後、それぞれの画像から特徴量の抽出と類似度の算出を行った。

4.2.3 データの分割

83被験者 \times 16サンプルの画像群を、83被験者 \times 8サンプルの識別器学習用データと、83被験者 \times 8サンプルの精度テスト用データに分割して以降の操作を行った。

更に本実験では試行回数を増やすためにクロスバリデーションを行った。具体的には、上記の16サンプルから8サンプルずつの学習データとテストデータへの分けかたを無作為に変更しながら後述する認証実験について50回の試行を行った。

4.2.4 特徴抽出

識別器の学習とそれを用いた認証実験において、図2と図3に示すように特徴抽出を行った。熱画像からは LBP, HOG, PCA を、可視光画像からは LBP, HOG, SIFT を特徴量として抽出した。

4.2.5 各特徴量による認証

抽出した特徴量について以下の手法で各マッチングにおける類似度を算出した。

- PCA 抽出した特徴量どうしのユークリッド距離の符号を反転して類似度とした。
- LBP 抽出した特徴量どうしの cityblock 距離の符号を反転して類似度とした。
- SIFT (対応点の数)/(対応点間の距離の平均) の値を類似度とした。
- HOG 抽出した特徴量どうしの cityblock 距離の符号を反転して類似度とした。

4.2.6 識別器の学習と適用

4.2.3項で用意した学習用データを用いて、以下のようにして学習を行った。図2にも概要を示す。

まず学習用データ内の全てのペアについて、それぞれの特徴量による類似度を結合したベクトルを説明変数として用意した。このベクトルに対して、マッチングが本人同士であれば1を、他人同士であれば0をラベル付けして目的変数とした。これらのデータを用いて XGBoost による学習を行い、識別器を生成した。

学習済みの識別器は2つのサンプルがどれほど本人らしいかを出力する。テスト用データに対して識別器を図3に示すように適用して認証実験を行った。

4.3 特徴量の組み合わせ

表1に示すように特徴量の組み合わせを変えて実験を行った。実験1として熱画像から抽出した特徴量のみ使う認証、実験2として可視光画像から抽出した特徴量のみ使う認証、実験4として両方を統合した認証の実験を行った。特徴量の数による精度への効果についても評価するため、実験3として熱画像から抽出した特徴の中で単体での認証性能が最も良かった HOG と可視光画像から抽出し

表 1 特徴量の組み合わせ

実験番号	目	画像	特徴量の組み合わせ	特徴量数
1	片目	熱	熱 LBP, 熱 PCA, 熱 HOG	3
	両目	熱	熱 LBP, 熱 PCA, 熱 HOG	6
2	片目	可視	可視 LBP, 可視 HOG, 可視 SIFT	3
	両目	可視	可視 LBP, 可視 HOG, 可視 SIFT	6
3	片目	熱+可視	熱 HOG, 可視 SIFT	2
	両目	熱+可視	熱 HOG, 可視 SIFT	4
4	片目	熱+可視	熱 LBP, 熱 PCA, 熱 HOG, 可視 LBP, 可視 HOG, 可視 SIFT	6
	両目	熱+可視	熱 LBP, 熱 PCA, 熱 HOG, 可視 LBP, 可視 HOG, 可視 SIFT	12

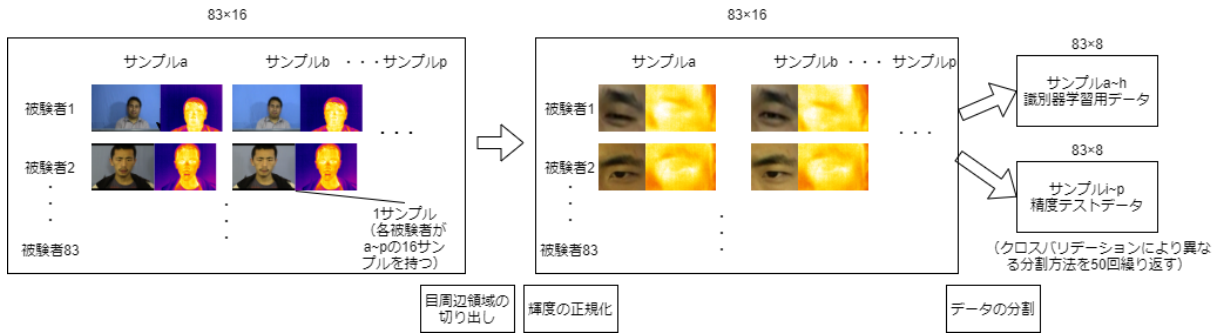


図 1 実験の準備

た特徴量の中で単体での認証性能が最も良かった SIFT の 2 つの特徴量のみを統合する実験も行った。なお、両目による認証では、それぞれの目から抽出した特徴量で個別に類似度算出を行ってから、他の特徴量どうしと同様に統合を行った。どの実験においても、複数の特徴量の統合には XGBoost を用いた。

4.4 精度評価

テスト用のサンプル同士の全てのペアについて、図 3 の通りに識別器の出力を統合スコアとして取得し、ROC カーブと EER を算出して 1 対 1 認証の性能評価を行った。ROC カーブは各軸に FRR, FAR の二つの指標をとって、閾値が変化したときの各値の変化をプロットすることで得られる曲線で、原点に近いほど精度が高いと考えられる。EER は FRR と FAR が等しくなる時の値であり、この値が 0 に近いほど精度が高いと考えられる。本実験では全てのペアに対する出力からこれらを得た。

また、1 対 N 認証の性能についても評価するため、実験の結果から CMC カーブと識別率も算出した。CMC カーブは 1 対 N 認証において本人同士のスコアが上位何番目までに出現するかを表した曲線である。横軸は本人ペアの順位を、縦軸はその順位までに本人ペアのスコアが含まれている割合を表す。この曲線が上によっているほど 1 対 N 認証の精度が高いと考えられる。

本実験では各被験者 83 名が 1 サンプルずつ画像を登録しているという状況を想定して識別性能を評価した。CMC カーブの算出に当たっては、1 つのクエリデータに対して

登録画像の組を無作為に変えて識別実験を 50 回行い、その結果を用いた。この識別実験において本人同士のスコアが最も高かった場合を識別成功とみなし、その割合を識別率とした。

先述したクロスバリデーションも考慮して、本実験全体で本人同士の照合は $8C_2 \times 83 \times 50 = 116200$ 回、他人同士の照合は $(_{(83 \times 8)}C_2 - (2324)) \times 50 = 10889600$ 回行われた。識別実験については登録画像の変更と合わせて $83 \times 8 \times 50 \times 50 = 1660000$ 回行われた。

5. 実験結果

表 1 に示した組み合わせの統合を行った際の、EER と識別率を表 2 に示す。

表 2 各実験での EER と識別率

実験番号	EER[%]		識別率 [%]	
	左目	右目	左目	右目
	両目		両目	
1 熱画像のみ	7.99	8.48	87.5	85.7
	6.19		91.7	
2 可視光画像のみ	13.0	13.0	75.9	75.3
	10.3		82.4	
3 統合 (特徴量数少)	6.32	6.39	90.2	89.7
	4.43		95.1	
4 統合	4.12	4.49	95.0	93.8
	2.70		97.2	

実験 1, 2, 3, 4 について、ROC カーブを図 4 に、CMC カーブを図 5 に示す。

表 2, 図 4, 図 5 より、熱画像から取得した特徴量を使う

像から抽出した PCA と可視光画像から抽出した SIFT で 11.7%の上昇があり、最も上昇が小さかったペアは可視光画像から抽出した LBP と HOG で 0.7%の上昇しか見られなかった。以上のことから、どちらか一方の画像を用いた認証に比べて、両方の画像を用いて認証を行うことの効果が高いことがうかがえる。

理由についても検討するため、それぞれの特徴量から算出した類似度間の相関係数についても調べたところ、熱画像から抽出した特徴量同士の相関係数は平均 0.38、可視光画像から抽出した特徴量同士の相関係数は平均 0.39、別々の画像から抽出した特徴量同士の相関係数は平均で 0.21 となっていた。相関が小さいほど統合の効果は大きくなると考えられるため、今回熱画像と可視光画像それぞれの画像から抽出した特徴量を組み合わせた時のほうが識別率が上昇したと考える。

表 3 各組み合わせでの識別率 [%]

特徴量	熱 LBP	熱 PCA	熱 HOG	可視 LBP	可視 SIFT	可視 HOG
単体	84.2	82.2	88.5	73.0	79.0	68.1
熱 LBP	-	89.7	90.5	93.0	94.0	91.9
熱 PCA	89.7	-	90.6	93.1	93.9	91.4
熱 HOG	90.5	90.6	-	94.3	95.1	93.5
可視 LBP	93.0	93.1	94.3	-	82.4	73.7
可視 SIFT	94.0	93.9	95.1	82.4	-	80.5
可視 HOG	91.9	91.4	93.5	73.7	80.5	-

6.2 表情と照明の影響

表情と照明が認証に与える影響を詳細に調査するため、登録画像とクエリ画像の条件をそれぞれ指定した場合における識別率を図 6 のようにそれぞれの条件ごとで算出した。この調査においても両目を使った識別実験の結果を用いた。これらの結果から、図 6 に橙色で示した表情と照明に変化がある場合、水色で示した表情変化はなく照明条件が変化する場合、赤色で示した照明条件の変化はなく表情が変化する場合の、それぞれ手法での識別率の平均と標準偏差を表 4 に示す。今回使用したデータベースは同じ条件の下で撮影された本人同士のサンプルのペアを含まないため、照明条件・表情がともに変化しないという状況との直接の比較はできない。そのため先に挙げた 3 つの場合の結果を比較することで表情と照明の影響について考察する。

②「照明条件の変化：あり、表情の変化：なし」のときの精度と①「照明条件の変化：あり、表情の変化：あり」のときを比べることで表情の変化：なし→ありによる影響を見ると、可視光画像のみ使う手法の精度が 10.1%低下するのに対して、熱画像のみ使う手法での精度の低下は 3.9%である。このことから熱画像を使うことで表情変化による精度低下の影響を抑えることができていることがわかる。

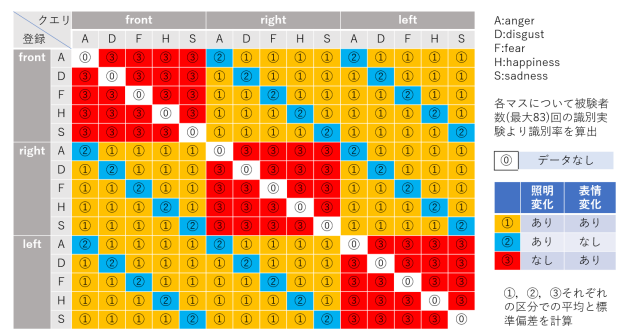


図 6 表情と照明の影響の評価

また、③「照明条件の変化：なし、表情の変化：あり」のときの精度と①「照明条件の変化：あり、表情の変化：あり」のときを比べることで照明条件の変化：なし→ありによる影響を見ると、可視光画像での認証では 5.2%の精度低下が見られたのに対して、熱画像での認証では精度低下は見られなかった。このことから、熱画像を使った認証は照明条件の変化の影響を受けないと考えられる。

両方の画像を統合して行う認証では、表情の変化：なし→ありによる精度低下を 1.9%に、照明条件の変化：なし→ありによる精度低下を 0.9%に抑えることができおり、熱画像の持つ条件の変化への耐性を取り入れながら、精度の高い認証を実現できていることが確認できる。

標準偏差については、値が小さいほど精度が安定している条件変化の影響が少ないと解釈できる。表 4 を見ると、可視光画像のみを用いる認証に比べて、熱画像のみを用いる認証や両方を用いる認証の値が小さくなっていることから、熱画像を使うことで表情や照明条件による影響を抑えることができていると考えられる。

表 4 照明条件と表情の変化ごとの平均識別率及び標準偏差

番号	識別率 [%]			識別率の標準偏差 [%]		
	①	②	③	①	②	③
照明条件の変化	あり	あり	なし	あり	あり	なし
表情の変化	あり	なし	あり	あり	なし	あり
熱画像	92.4	96.3	92.2	0.032	0.005	0.025
可視光画像	86.3	96.4	91.5	0.084	0.016	0.037
両方を統合	97.2	99.3	98.1	0.026	0.006	0.016

6.3 実際に統合によって識別可能になった例

識別実験において、可視光画像から得る特徴量のみでは識別に失敗し、熱画像との統合によって識別可能となった本人同士のペアの例を図 7 に示す。この例では、表情の違いによって目の形が大きく異なっており、可視光画像における識別は失敗していた。しかし、目の形の変化は熱画像にはほとんど反映されておらず、熱画像における識別は成功していた。統合した場合の識別の結果も成功となってお



図 7 統合により識別可能となった例 1

り、熱画像の特徴量が追加されることで識別が可能になったものと考えることができる。

逆に熱画像から得る特徴量のみでは識別に失敗し、可視光画像との統合によって識別可能となった本人同士のペアの例を図 8 に示す。この例では、正確な要因は不明だが熱

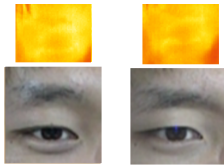


図 8 統合により識別可能となった例 2

画像の温度分布が本人同士であるにも関わらずかなり異なっており、熱画像による識別は失敗した。しかし可視光画像では問題なく識別を行うことができ、統合した場合の識別結果も成功となった。

これらの例のように、どちらか一方での識別が失敗するような場合でも統合によって識別が可能となることがあり、これによって全体の認証精度が向上したと考えられる。

7. 結論

本研究では、照明や表情の変化にも対応できる目の周辺認証方式として熱画像と可視光画像から得られる特徴量を組み合わせる手法を提案した。そして提案手法の有効性を確認するため、実際に照明条件や被験者の表情にばらつきがあるデータベースを用いて精度を評価する実験を行った。結果より、熱画像と可視光画像を合わせて用いることで照明条件や表情の変化の影響を抑えながら認証精度が向上することを実験的に確認した。

今後の展望としては、特徴抽出や統合手法の検討をさらに重ねてより精度の高い認証を実現することや、眼鏡の着用や気温の変化といった要因が認証精度に与える影響について調査することなどが挙げられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19K04370 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Park, Unsang, et al.: Periocular biometrics in the visible spectrum., *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol.6, no.1, pp.96-106 (2010)

[2] Karahan, amil, et al.: On identification from periocular region utilizing sift and surf., *Proc.22nd European Signal Processing Conference*, pp.1392-1396, IEEE (2014)

[3] Nakamura, T., Yoshiura, H., and Ichino, M.: Periocular Recognition Based on Features from Thermal and Visible-Light Images., *Proc. IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics IEEE* (2021)

[4] Miller, P.E., Rawls, A.W., et al.: Personal identification using periocular skin texture., *Proc. ACM symposium on Applied Computing*, pp.1496-1500, ACM (2010).

[5] Verma, Suneeta, C.B.B. Singh.: Efficient person identification from periocular region using intelligent fusion of local and global features., *Proc. 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies*, pp.1-5, IEEE (2017)

[6] Alonso, F., Fernando, A.M., et al.: Compact multi-scale periocular recognition using SAFE features., *Proc. 23rd International Conference on Pattern Recognition*, pp.1455-1460, IEEE (2016)

[7] Diego, A.S., Lawrence, B.W., Joshua, D.N., et al.: Illumination invariant face recognition using thermal infrared imagery., *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.1 (2001)

[8] Gil, F. and Yehezkel, Y.: Seeing people in the dark: Face recognition in infrared images., *Proc. In International Workshop on Biologically Motivated Computer Vision*, pp.348-359 (2002)

[9] Mndez H., San M., C., Kittler, J., Plasencia., et al.: Face recognition with LWIR imagery using local binary patterns., *Proc. International Conference on Biometrics*, pp.327-336 (2009)

[10] Hermosilla, G., Farias, G., San, M. et al.: Study of local matching-based facial recognition methods using thermal infrared imagery. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol.29, no.8 (2015)

[11] Hanmandlu, Madasu, and Shantaram Vasikarla.: On-line biometric authentication using facial thermograms., *Proc. 2012 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, pp.1-6, IEEE (2012)

[12] Heo, J., Kong, S. G., et al.: Fusion of visual and thermal signatures with eyeglass removal for robust face recognition., *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, pp.122-122, IEEE (2004)

[13] Kong, S. G., Heo, et al.: Multiscale fusion of visible and thermal IR images for illumination-invariant face recognition, *International Journal of Computer Vision*, vol.71, no.2, pp.215-233 (2007)

[14] Wang, N., Li, Q., Abd El-Latif, et al.: Multibiometric complex fusion for visible and thermal face images. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol.6, no.3, pp.1-16 (2013)

[15] Dong, Xingbo, Wong, et al.: A Secure Visual-thermal Fused Face Recognition System Based on Non-Linear Hashing., *Proc. IEEE 21st International Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp.1-6, IEEE (2019)

[16] Wang, S., Liu, Z., Lv, S., et al.: A natural visible and infrared facial expression database for expression recognition and emotion inference., *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.12, no.7, pp.682-691, IEEE (2010)

[17] Wang, S., Liu, Z., Wang, Z., et al.: Analyses of a multimodal spontaneous facial expression database., *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol.4, no.1, pp.34-46 (2012)

[18] Hussien, M.N., Lye, M.H., et al.: Comparative analysis of eyes detection on face thermal images., *Proc. 2017 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, pp. 385-389, IEEE (2017)