

映像脈波を利用した手掌部生体認証の精度向上に関する研究

A study on improving the accuracy of biometric authentication in palmprint recognition using palm video plethysmography

○松崎宗真¹, 寺井孝則¹, 佐藤諒¹,
花木勇真², 吉澤誠³, 杉田典大^{1,3,4}

Shuma Matsuzaki¹, Takanori Terai¹, Ryo Sato¹,
Yuma Hanaki², Makoto Yoshizawa³, Norihiro Sugita^{1,3,4}

1: 東北大学工学研究科, 2: 東北大学工学部,
3: 東北大学サイバーサイエンスセンター, 4: 東北大学医工学研究科

1:Tohoku University School of Engineering(Graduate),
2:Tohoku University School of Engineering(Undergraduate),
3:Tohoku University Cyberscience Center,
4:Tohoku University School of Biomedical Engineering

キーワード : 映像脈波 (Video Plethysmogram), 生体認証 (biometrics),
ECC(Enhanced Correlation Coefficients)

連絡先 : 〒 980 - 8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05 東北大学工学研究科・工学部
サイバーフィジカルシステム研究室, 松崎宗真, Tel: 022-795-7130,
E-mail: shuma.matsuzaki.t1@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

1.1 研究背景

生体認証とは, 生体に対して身体的特徴や行動的特徴を用いて個人識別を行う認証技術のことである.¹⁾ 生体認証技術を用いる利点として, 鍵等の物的な認証やパスワード等の知識的な認証と比較して, 紛失や盗難のリスクが小さいこと, 他人のなりすましが困難であることが挙げられる.

生体認証は以下表 1 の 3 つの基本要件から成り, これらを備えた指紋, 顔, 虹彩, 静脈等の生体的特徴が既存の生体認証として応用されている.²⁾

しかしそれらの特徴は 3D プリンタ等の技術的發展に伴い偽造リスクが高まり, 近年では署名動作や歩容等, 動的かつ生体であることの必要性が高い認証に関心が向けられつつある.

Table 1 生体認証の基本要件

要件	概要
普遍性	誰もが持つ特徴である
唯一性	人により異なる特徴である
永続性	時間経過により変化しない特徴である

1.2 先行研究とその課題

弊研究室の先行研究では、緑色光により取得した手掌部の映像脈波の強度分布を用いた生体認証の基礎的検討が為された。具体的な実験条件については、被験者 8 名, 理想条件下 (定圧, 30frames の映像を 30 秒間取得) である。その結果, 同一被験者については最大 0.93 の相関があり, 本人, 他者を交えた精度評価においても EER2.3%という結果が得られ, 手掌部の映像脈波が生体認証に有用である可能性が示唆された。

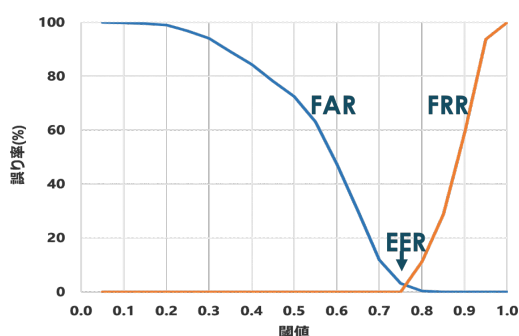


Fig. 1 先行研究における精度評価

一方で非理想的条件下での精度の低下も認められている。体温の変動によって、血管の収縮に伴い強度情報が変動して精度が悪化する事例や、経日変化に伴って生体内構造が僅かに変化したり、やはり体温変動により強度情報が変動して精度が悪化するといった課題が報告されている。

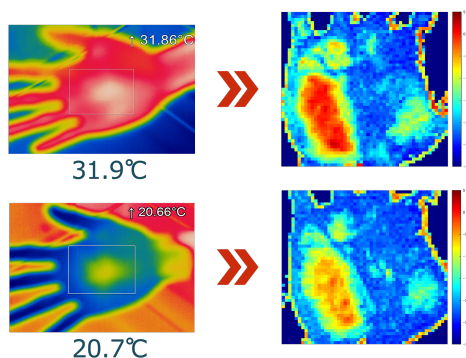


Fig. 2 体温変動による強度分布変化

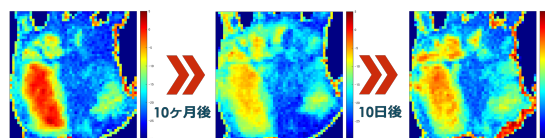


Fig. 3 経日変化による強度分布変化

2. 原理

2.1 映像脈波の原理

Fig. 4 に皮下の血管構造と映像脈波の原理を示す。皮下組織においては光を吸収する物質が存在し、皮膚への照射光に対する特性は物質の吸光特性によって決まる。人間の皮下は表皮、真皮、皮下組織の 3 層からなり、真皮には毛細血管や細動脈が、皮下組織には動静脈が含まれる。Anderson らは皮膚に光を入射した際の光の伝搬について Fig. 4 の様なモデルを提案した。³⁾ この内、拡散反射光は、増減が映像の輝度の変化として捉えられ、これにより拍動 (脈動情報) を捉えることが可能である。

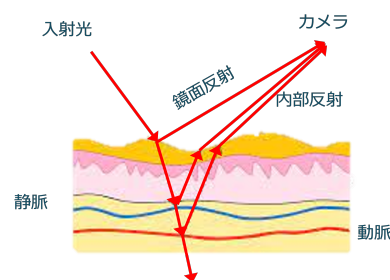


Fig. 4 皮下組織の光伝搬と映像脈波の原理

2.2 脈動強度分布の個人差について

Fig. 5 に手掌部の血管走行を示す。手掌部の血管は手の表層部から深部に渡って立体的に分布しており、血管密度は位置により異なる。⁴⁾ この密度の差異が脈動強度の位置的な差に繋がっており、またこの血管走行や各血管の密度が個

人により異なることから、脈動強度分布が個人差を持つことが原理的に推測される。

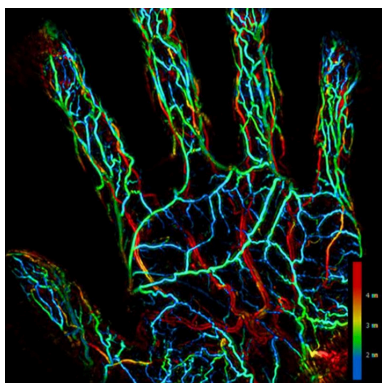


Fig. 5 掌の血管構造

2.3 生体組織の吸光散乱特性

Fig. 6 に生体組織内の光の吸収, 散乱の波長特性を示す。⁵⁾ この Fig. から緑色光 (490-550nm) はヘモグロビンの特性について高い吸光度をもつことが分かる。このことから緑色光は、脈動による血中ヘモグロビン量の増減を輝度値変化として映像化するのに適する。また近赤外光 (650-1000nm) はヘモグロビン, 水ともに吸光度が低く、さらに可視光に比べ散乱が小さいため、生体内深部の情報を抽出するのに適している。本実験では認証システムのマルチモーダル化による改良を目指し、緑色光に加えて新たに、より生体内深部の情報が反映される近赤外光を用いた認証の理想・非理想条件下 (経日) での有用性を検証する。

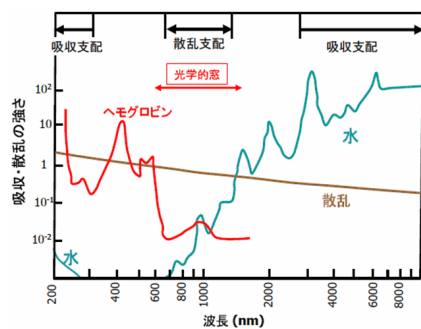


Fig. 6 生体組織の吸光, 散乱の波長特性

3. 実験方法

3.1 撮影手法

Fig. 7 のように、マルチスペクトルカメラを用い亚克力板に押し付けた手掌部に白色光と近赤外光を照射した映像 (30fps,30s) を取得した。本実験では、映像脈波の圧力依存性の観点から一定重量の錘 (2kgf) を乗せ、また周囲の環境光の影響を消すため暗室にて撮影を行なった。

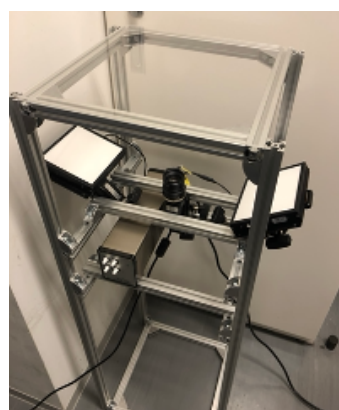


Fig. 7 撮影の実験系

3.2 解析手法

取得した映像データの各波長帯域について、まず ECC(Enhanced Correlation Coefficient) アルゴリズムによる位置合わせを行った⁶⁾。その後 10pixel 毎の平均輝度値を取りダウンサンプリングを行った上で、各ピクセルの輝度値時系列信号からパワースペクトル密度の脈情報に該当する 0.7-2.0Hz 中の最大信号を抽出し、各ピクセルの脈動強度をカラーマップ画像として出力した。

さらに評価指標として同一被験者間、他者被験者間で掌手部 ROI 内のピクセル毎の輝度値から画像間の 2 次元相関係数を計算し、閾値毎の FAR(他者受入率)[%],FRR(本人拒否率)[%] をプロットする。最終的に FAR,FRR の交点であ

る EER(等価エラー率)[%] の値から精度を評価した.

4. 実験結果

4.1 同日認証における精度評価

同日認証における結果について Fig. 8,9 から近赤外光の方が同じ閾値における FAR が低く, 他者との相関は低く現れる傾向にあるといえる. 一方で同じ閾値における FRR については緑色光の方が低く, 緑色光の方が本人同士の相関は高く現れる傾向にあるといえる. また等価エラー率は, 近赤外光が 13.3%, 緑色光が 11.7% であり, 緑色光から 1.6% 劣る結果が得られた.

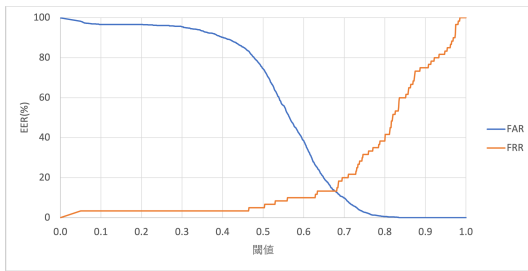


Fig. 8 近赤外光による同日認証精度

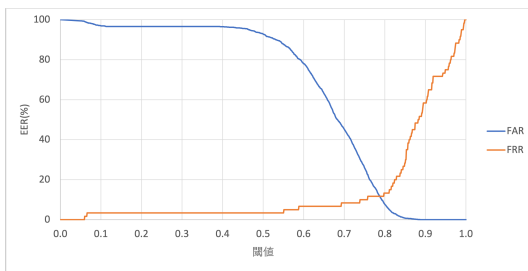


Fig. 9 緑色光による同日認証精度

4.2 精度検証に対する考察

改めて以下の Fig.10,11 にプロットしたように同じ閾値で比較した際に, 近赤外光の方が FAR が低く推移し, 他者との相関は低く現れる傾向にある. また FRR に関しては緑色光に比べ高く

推移することから, 本人画像を拒否する傾向にある.

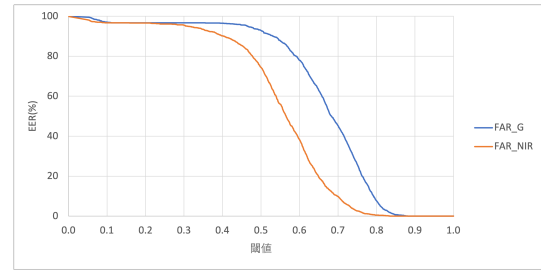


Fig. 10 同日認証における近赤外, 緑色光画像の FAR 推移

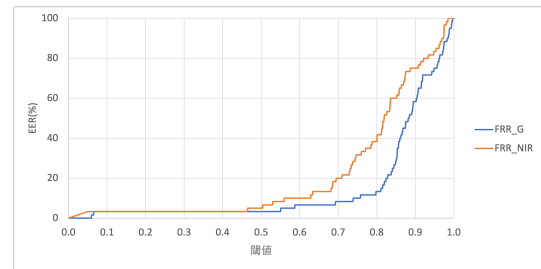


Fig. 11 同日認証における近赤外, 緑色光画像の FRR 推移

これらの原因検討のため, Fig.12,13 に FRR について緑色光の方が低く, FAR について近赤外光の方が低いデータのカラーマップ画像を示す. これらの画像から, 近赤外画像においては緑色光画像に比べて表出する特徴点が少ないため, 他人との差別化が生じやすいことが分かり, 結果として FAR の低下に寄与している.

一方で緑色光画像に比べ全体的に強度が低いため, 僅かな特徴の変化でも本人間の相関が低下しやすい. 特に被験者 A の例では顕著であり, 1 回目には生じていた中央部の表出点が 2 回目には生じていないことが分かる. 緑色画像でも 1 回目と同様の表出点があるため, 恐らくアクリル板との接触面の不良等が要因として考えられるが, このような事象による FRR 悪化への寄与は近赤外画像の方が大きいと推察できる.

また定性的には近赤外, 緑色光画像の特徴点と

して、共通している部分のみでなく一定独立するような特徴点の分布も見られた。

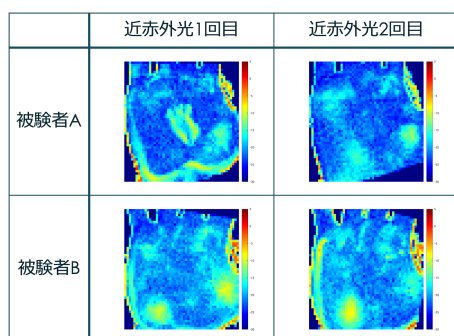


Fig. 12 近赤外光抽出によるカラーマップ画像

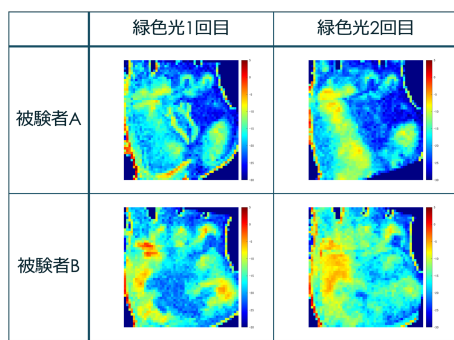


Fig. 13 緑色光抽出によるカラーマップ画像

5. 結言

今回の実験結果から、近赤外光による脈動抽出は認証時における他者との区別という観点においては従来の緑色光を用いる場合よりも他者との差別化を行えている一方で、本人同士の相関は低下してしまう傾向が示された。結果として同日経日、いずれにおいても等価エラー率は緑色光での抽出に劣るもののその精度の差が小さいこと、また定性的には緑色光画像に対する一定の直交性が見られることが明らかになった。現時点で近赤外光を用いる直接的な優位性を十分には示せていないが、より定量的に緑色光画像と近赤外画像の直交性、補完関係を示すことにより、マルチモーダル式システムへの応用を

目指す。また先行研究における課題として挙げた温度変化や経日変化に伴って特徴量の絶対値が変動する点や、単純なピクセルごとの輝度値相関の比較により経日認証時の精度が低下することと似た性質であることから、近赤外光抽出での精度向上手法の確立はこれら課題の間接的な対策になり得るとも考えている。

参考文献

- 1) N. Miura, A. Nagasaka, and T. Miyatake: Automatic feature extraction from non-uniform finger vein image and its application to personal identification. IAPR, Proceedings of the MVA2002, Nara, Japan 253/256,(2002)
- 2) 三浦直人：生体認証技術：からだで守るセキュリティ, Andy Oram and Jhon Viega (伊藤真浩訳), ビューティフルセキュリティ, オライリー・ジャパン, (2010)
- 3) R. R. Anderson and J. A. Parrish: The optics of human skin, Journal of Investigative Dermatology, 77-1, 13/19,(1981)
- 4) Y. Matsumoto, Y.Asao, et al.: Label-free photoacoustic imaging of human palmar vessels: a structural morphological analysis, Scientific Reports volume 8, Article number: 786 (2018)
- 5) 文部科学省「第3章健康なくらしに寄与する光3光を用いた非侵襲生診断」, <https://www.mext.go.jp/bmenu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/1333543.html>, (accessed November 21,2023)
- 6) G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis : Parametric image alignment using enhanced correlation coefficient maximization, IEEE Transaction on Patterns Analysis Machine Intelligence, 30-10, 1858/1865, (2008)