

生体変動を吸収する差動型生体認証の提案：予備実験

村松 弘明^{†1} 庭山 雅嗣^{†2} 西垣 正勝^{†3}

†1 静岡大学大学院総合科学技術研究所 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

†2 静岡大学工学部電気電子工学科 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

†3 静岡大学創造科学技術大学院 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし 動的生体認証の精度を向上させるためには、生体情報そのものの変動を吸収できることが望ましい。本稿では、差動増幅回路の仕組みを生体認証に応用することでこの要求の実現を試みる。すなわち、ある1つの動的生体情報に対し、生体情報のセンシングを2点（2箇所あるいは2状態）で行い、2点間の生体情報の差（または比）を求めることによって、生体情報に含まれる生体情報自体の変動を吸収する。その第一歩として、同時刻における2箇所の血流量の比を用いた認証方式の実装・評価を行った。具体的には、血流量単体を用いるのではなく、人差し指と中指の2点間での血流量を測定しそれらの比を用いて個人識別を試みた。被験者3名による実験を行った結果、血流量単体では3名の個人識別ができない一方で、血流量の比をとることで3名の個人識別が可能となることを確認した。

キーワード 動的生体認証, 差動増幅回路, 血流量, 比

A Proposal of Differential Biometric Authentication to Absorb Biometric Fluctuations: Preliminary Experiment

Hiroaki MURAMATSU^{†1} Masatsugu NIWAYAMA^{†2}

and Masakatsu NISHIGAKI^{†3}

†1 Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University,
3-5-1, Johoku, Naka, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan

†2 Department of Electrical and Electronic Engineering, Shizuoka University
3-5-1, Johoku, Naka, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan

†3 Graduate school of Science and Technology, Shizuoka University,
3-5-1, Johoku, Naka, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract To improve the accuracy of the dynamic biometric authentication, it is desirable to be able to absorb the fluctuation of biometric information itself. To achieve this, this paper proposes to apply a structure of the differential amplifier to the biometric authentication. More specifically, we aim to absorb the fluctuation of biometric information by taking a difference or a ratio of two biometric information measured at different places/states. As a first attempt, we develop an authentication method using a ratio of blood flows in two places of blood vessels. Through a basic experiments with three subjects, we confirmed that blood flow at the index finger and blood flow at the middle finger are both too fluctuate to identify users, but, the ratio of blood flows of two fingers can be a feature for the user identification.

Keywords dynamic biometric authentication, differential amplifier, blood flow, ratio

1. はじめに

生体認証には人間の身体的な特徴を用いた静的生体認証と人間の行動的特徴を用いた動的生体認証がある。一般的に生体情報は曖昧であり、同一人物であっても入力の度に誤差が含まれるため、本人拒否率を抑えようとすると、ある程度の他人受入れを許容する必要がある。特に動的生体認証においては、（生体情報の読み取りの際に混入する誤差の影響だけに留まらず）生体

情報自体が大きく変動し得るため、認証精度の低さが顕著となる[1]。例えば、心拍速度（より正確には心電のR-R間隔）には本人認証に適用可能な個人性があることが知られている[2]が、心拍速度はユーザの肉体的・精神的状況によって大きく変動するため、その認証精度は極度に低い。動的生体認証の精度を向上させるには、読み取り時の誤差と生体情報そのものの変動の両者を吸収する必要がある。

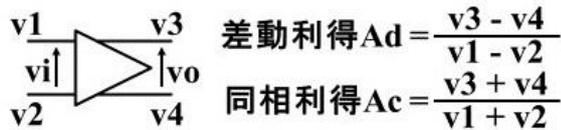


図 1 理想的な差動増幅回路図

そこで本稿では、差動増幅回路の仕組みを生体認証に応用し、動的生体認証における生体情報そのものの変動を吸収する仕組みを提案する。すなわち、ある 1 つの動的な生体情報に対し、生体情報のセンシングを 2 点（2 箇所あるいは 2 状態）で行い、2 点間の生体情報の差（または比）を求めることによって、生体情報に含まれる読み取り誤差や生体情報自体の変動を吸収する。今回はその第一歩として、生体情報の変動の相殺に焦点を当て、血流量の比を用いた認証方式の実装・評価を行う。具体的には、血流量単体を用いるのではなく、人差し指の血流量と中指の血流量の 2 箇所での血流量を測定しそれらの比を用いて個人識別を試みる。2 箇所の血流量の比をとることで、生体情報そのものの変動成分が相殺され血流量単体での認証精度と比較して精度が向上することが期待される。

以下、2 章にて差動増幅回路について記述する。3 章で提案方式について記述し、4 章で基礎実験と実験結果を記述し、5 章で考察を行い、6 章で本稿をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 差動増幅回路

理想的な差動増幅回路は図 1 の特性を有する。ここで、同相入力電圧 v_c と差動入力電圧 v_d をそれぞれ $v_c = (v_1 + v_2)/2$, $v_d = (v_1 - v_2)/2$ と定義すると、任意の入力 v_1 , v_2 は同相入力成分と差動入力成分の一次結合 $v_1 = v_c + v_d$, $v_2 = v_c - v_d$ で表すことができる。したがって、その出力は $v_3 = A_c \cdot v_c + A_d \cdot v_d$, $v_4 = A_c \cdot v_c - A_d \cdot v_d$ となるため、 $v_3 - v_4$ を回路の出力とすれば、同相成分 v_c は出力に現れず、差動成分 v_d だけが A_d 倍されて出力に現れる。

ここで、環境ノイズ（例えば温度変化）は、差動増幅回路内の「 v_1 の増幅に関与する部分回路 α 」と「 v_2 の増幅に関与する部分回路 β 」の両者に等しく影響する。 α も β も当該回路内の部分回路なのでどちらも同じ温度であり、両者のノイズ量は等しいため、等価的に $v_1 = v_2$ の状態のオフセット入力に換算できる。すなわち、環境ノイズとは同相入力成分（同相ノイズ）であり、 v_o を出力とした差動増幅回路によって相殺することが可能である。

3. 提案方式

ある生体部位（例えば指先の血管）の血流量は心臓の脈動や血管の伸縮などの状態に影響して変化する。そのため、運動などの身体状態の変動、緊張などの精神状態の変動、温度変化などによる血管の弾性の変動が起こると血流量も変動してしまう[3][4]。しかし、この血流量の変化は、血管のある特定部位でのみ生じるものではなく、同一血管内であればどの箇所においてもその血流量は同様に変化していると考えられる。このことから、ある時刻における同一の血管の 2 箇所での血流量を計測し、その差（あるいは比）をとることによって、血流量の変動の相殺が可能であると期待できる。

ただし、任意の時刻において同一の血管の近傍部位の血流量はほぼ等しいため、近傍部位 2 箇所の血流量の差をとる場合には、誰であろうと常にその値はゼロとなってしまう、本人認証になり得ない。一方で、遠方過ぎる部位の血流量は相関が低く、遠方部位 2 箇所の血流量の差をとる場合には、本人であってもその値は安定しないと考えられる。

このため、同一部位から分岐した 2 箇所の部位の血流量の差（あるいは比）をとる方式を考える。例えば、「ある時刻の右手人差し指の血流量 p_1 」と「同時刻の右手中指の血流量 p_2 」を考えよう。人差し指と中指の血管の形状が異なるため、平静時であっても個人ごとに p_1 と p_2 の値は異なり得る。よって、 p_1 と p_2 の比を「個人を表す特徴量」として使用することができる。その後、運動によって右手の血流量が $d\%$ 増加した場合、その変動は p_1 にも p_2 にも同じように及ぶため、 p_1 と p_2 の比は変化せず同じ値が維持されると考えられる。

また、同一部位の 2 状態の血流量の差（あるいは比）をとる方法も考えることもできる。例えば、「挙手した状態における右手人差し指の血流量 q_1 」と「その直後に腕を降ろした状態における右手人差し指の血流量 q_2 」を考えよう。重力の影響で挙手状態の血流は滞るため、平静時であっても q_1 と q_2 の値は異なる。よって、 q_1 と q_2 の比を「個人を表す特徴量」として使用することができる。その後、運動によって右手の血流量が $e\%$ 増加した場合、その変動は q_1 にも q_2 にも同じように及ぶため、 q_1 と q_2 の比は変化せず同じ値が維持されると考えられる。

本研究では、2 点間（2 箇所あるいは 2 状態）の生体情報の差（または比）を用いた認証を差動型生体認証と呼ぶ。そして、同一時刻における 2 箇所の生体情報



図 2 測定装置図

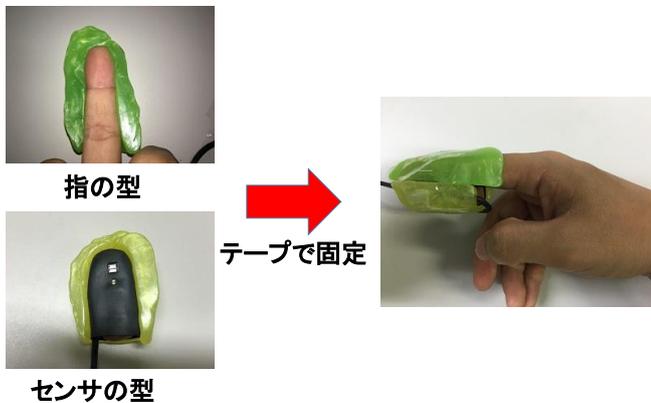


図 3 指とプローブを固定させるための型

の差（または比）を用いた認証を空間的差動型生体認証，同一生体部位における 2 状態の生体情報の差（または比）を用いた認証を時間的差動型生体認証と呼び分ける。

本稿では，空間的差動型生体認証の第一歩として，同一時刻の人差し指の指先の血流量と中指の指先の血流量の比を用いた個人識別を試みる。

4. 基礎実験

4.1. 実験目的

提案方式の有用性を確認するために，右手人差し指の血流量あるいは右手中指の血流量を単独で利用する場合の個人識別の精度と，右手人差し指の血流量と右手中指の血流量の比を利用する場合の個人識別の精度を，実験を通じて比較調査する。

4.2. 測定装置

血流量の測定は図 2 のパルスオキシメータ（トッカーレ（KN-15）：株式会社アステム製）を用いた。パルスオキシメータの仕様を表 1 に示す。図 2 の赤枠で示

した箇所にプローブ（センサ）が設置されており，プローブを測定部位（今回は人差し指と中指）に接触させた状態で血流量の測定が行われる。今回のパルスオキシメータの測定値としては，小数点第 6 位までの数値が得られる。本来であればパルスオキシメータの測定精度（有効数字）を考慮すべきであるが，基礎実験の現段階では小数点第 6 位までの測定値をそのまま利用することとした。

今回のパルスオキシメータは，プローブが接触する部位や密着度が異なると，血流量の測定値が変化してしまう。そこで，プラスチック粘土を用いて図 3 のように被験者の指の型 α とプローブの型 β を作成し，型 α と型 β によって指とプローブを包み込んでテープで固定するようにした。これによって，プローブが指の同じ場所と同じ密着度で接触する状態を確保する。

今回の空間的差動型生体認証では，同一時刻の人差し指の指先の血流量と中指の指先の血流量の比を測定するために，人差し指と中指の血流量を同時に測定する必要がある。このため，同機種のパルスオキシメータを 2 台使用する。型 α と型 β も，ユーザごとに人差し指用の型と中指用の型を製作する。

4.3. 実験方法

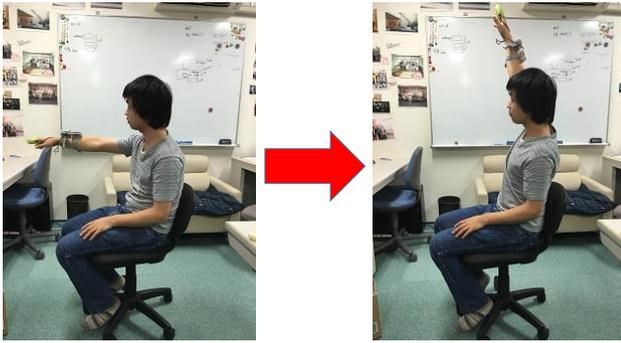
被験者は情報系学科に在席している学生 3 名（A～C）である。各被験者には，実験開始時に血流量を 1 回測定してもらった（テンプレート登録に相当）後，実験開始時から 1 時間後と 2 時間後に血流量を 1 回ずつ測定してもらった（認証試行に相当）。

毎回の血流量の測定において，各被験者は，各自の人差し指用の型と中指用の型を使って 2 つのプローブを人差し指と中指にセットする。測定時，手の 5 本の指を開いた状態にした場合と閉じた状態にした場合は血流量が異なることが判明したため，今回はすべての指を開いた状態にするよう指示した。

1 章で述べたように，生体情報自体が大きく変動し得るモダリティを用いた生体認証の認証精度を向上させることが，差動型生体認証の大きな目的である。そこで，今回の実験では，血流量の変動が引き起こされるような状態変化を恣意的にユーザに課すようにした。具体的には，図 4 のように腕を水平に保った状態を 30 秒間維持してもらった後に，腕を挙手した状態で 30 秒間維持してもらい，計 1 分間の血流量の計測をもって 1 回の測定とした。

表 1 測定装置仕様

製品名	トッカーレ(KN-15)
測定項目	酸素飽和度 rSO2(%)
	総ヘモグロビン指数 T-Hbi
測定範囲	rSO2(%) 0~99%
	T-Hbi 0 ~1.0
サンプリング間隔	0.5秒
光源	LED(770nm, 830nm:公称値)
光出力	1mW以下
測定方法	SRS-NIRS(空間分解分光法)



水平に向けた状態(30秒間)

挙手した状態(30秒間)

図 4 血流量の変動を引き起こすための状態変化

4.4. 前処理

パルスオキシメータによって測定された血流量に含まれるノイズを除去するために、1 分間の測定によって得られたデータ列にローパスフィルタをかけ平滑化処理を行う。具体的には、取得した血流量データに対してフーリエ変換を行い、0.05Hz 以上の周波数を取り除いた上で逆フーリエ変換を行う。

4.5. 実験結果

図 5 に被験者 3 名の実験開始時、1 時間後、2 時間後に測定した各 1 分間の人差し指の血流量の時間変化を示す。同様に、図 6 に被験者 3 名の実験開始時、1 時間後、2 時間後に測定した各 1 分間の中指の血流量の時間変化を示す。そして、図 7 に被験者 3 名の実験開始時、1 時間後、2 時間後に測定した各 1 分間の人差し指の血流量と中指の血流量の「各時刻の比」を計算した結果を示す。

図 5 および図 6 より、人差し指の血流量あるいは中指の血流量は、被験者間での重なりが大きいいため、これらの血流量を単独で用いた場合には 3 人の被験者を識別することは不可能であることが分かる。これらに対し、図 7 より、人差し指の血流量と中指の血流量の比は、被験者間での重なりが小さく、3 人の被験者を識別し得る特徴量となっていることが分かる。

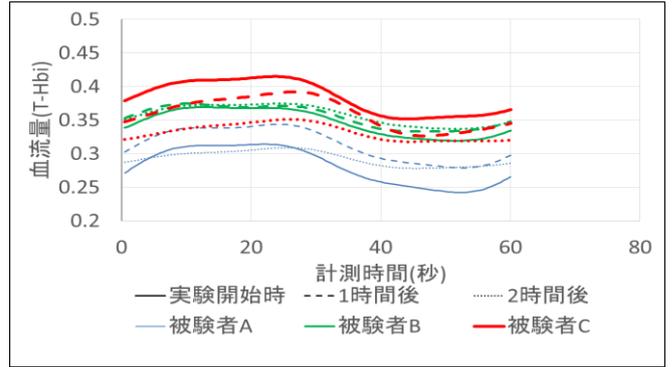


図 5 各被験者の人差し指の血流量

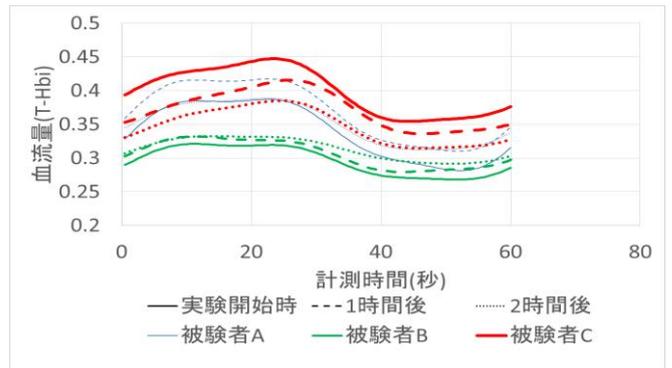


図 6 各被験者の中指の血流量

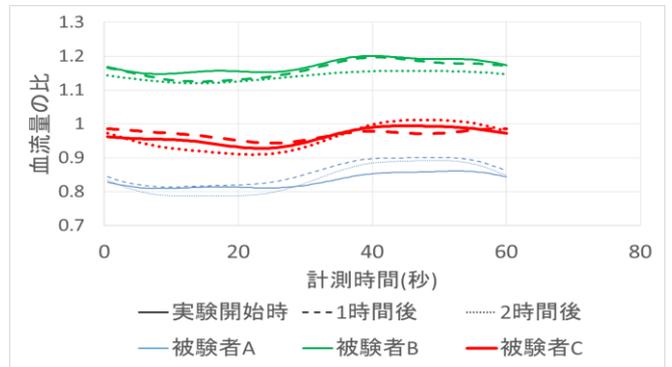


図 7 各被験者の人差し指と中指の血流量の比

図 5 と図 6 から、腕を水平にした状態から挙手の状態に移行する際に、人差し指の血流量と中指の血流量が相関を持って変化していることが見て取れる。これが、人差し指と中指の血流量の比をとることによって血流量の変動が相殺される理由であり、差動型生体認証の動作原理となっている。

5. まとめと今後の課題

本稿では、差動増幅回路の仕組みを応用し、生体情報の変動を相殺し、動的生体認証の精度を向上させる方法を提案した。今回は、人差し指と中指の血流量比を利用した個人識別について試行した。被験者 3 名による実験を行った結果、人差し指あるいは中指の血流量を単独で用いた場合には、3 名を識別することがで

きない一方で、人差し指あるいは中指の血流量の比をとることで 3 名の識別が可能となることを確認した。今後は、他の部位または他の状態による差動型生体認証について更なる検討を行う予定である。

参考文献

- [1] バイオメトリクスセキュリティコンソーシアム：バイオメトリックセキュリティ・ハンドブック，オーム社，東京，2006.
- [2] Y.N.Singh, S.K.Singh: Evaluation of Electrocardiogram for Biometric Authentication, *Journal of Information Security*, vol.3, no.1, pp.39-48, 2012.
- [3] 近藤 徳彦：人の体温調節反応，神戸大学発達科学部研究紀要，vol.5, no.2, pp.55-66, 1998.
- [4] 山崎 文夫：暑熱ストレスと人の血圧調節，産業医科大学雑誌，vol.32, no.4, pp.329-340, 2010.