

## 生体変動を吸収する差動型生体認証の提案：予備検討

村松 弘明<sup>†1</sup> 庭山 雅嗣<sup>†2</sup> 西垣 正勝<sup>†3</sup>

†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** 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。本研究では、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。本稿では、複素数で表される2点の生体情報の比をとることで生体情報に現れる変動を吸収できる仕組みについて考察する。また、提案方式の関連研究である、2点の生体情報の局所高次モーメントスペクトルの関係演算（内積演算を簡略化した演算）を用いた生体認証方式の動作原理を、提案方式と比較することにより分析する。

**キーワード** 生体認証, 差動増幅回路, 局所高次モーメントスペクトル, カーネル演算

## A Proposal of Differential Biometric Authentication to Absorb Biometric Fluctuations: Preliminary Discussion

Hiroaki MURAMATSU<sup>†1</sup> Masatsugu NIWAYAMA<sup>†2</sup>

and Masakatsu NISHIGAKI<sup>†3</sup>

†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, the authors have proposed 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. This paper investigates to explain the mechanism how to absorb a common mode fluctuation by taking the ratio of two biometric information of complex numbers. Besides, we try to analyze the operating principle of a related biometric authentication method using the relational operation (a simplified inner product operation) of two local higher-order moment spectra features, by comparing it with our proposed method.

**Keywords** biometric authentication, differential amplifier, local high-order moment spectra, kernel operation

### 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。

この問題に対し、著者らは、差動増幅回路の仕組みを生体認証に応用し、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している[7]。具体的には、ある1つの生体情報に対し、生体情報のセン

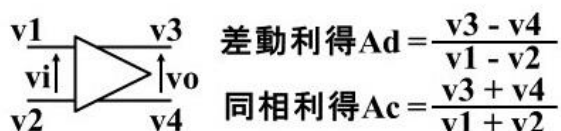


図 1 理想的な差動増幅回路図

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。文献[7]では、その第一歩として、人差し指と中指の 2 箇所血液量を測定し、両者の比を用いて個人識別を試みた。少人数の実験ではあったが、2 箇所の血液量の比をとることで生体情報の変動が相殺され、血液量単体での認証精度と比較して精度が向上することが確認できた。

本稿では、差動型生体認証がどのような仕組みで生体情報の変動を吸収しているかについての理論的な考察を行った。複素数で表される 2 点の生体情報の比をとることで、生体情報の角度成分における加法的ノイズと絶対値成分における乗法的ノイズが抑えられる結果が得られることを導出した。

一方で、差動型生体認証の関連研究として、2 箇所の生体部位の特徴量の関係演算を用いる方法が提案されている[3][4]。文献[3]では、生体部位の局所高次モーメントスペクトルを特徴量とし、2 部位の特徴量の内積 (カーネル関数) を用いることによって、虹彩認証の精度が向上することが報告されている。更に文献[4]では、内積演算を簡略化した場合にも認証精度改善が維持されることが確かめられている。本稿では、文献[4]の生体認証の動作原理を、差動型生体認証との対比により分析した。

以下、2 章にて差動型生体認証について記述する。3 章で、複素生体情報に対する差動型生体認証の頑健性について説明する。4 章では、局所高次モーメントスペクトルの関係演算を利用した生体認証の動作原理を、差動型生体認証との対比により解明する。5 章で本稿をまとめ、今後の課題について述べる。

## 2. 差動型生体認証

### 2.1. コンセプト

生体情報は読み取り時に発生する誤差や、生体情報そのものの変動により認証精度が低下する。しかし、こういった生体情報に発生するノイズはある特定箇所のみではなく同じまたは距離的に近い 2 点の生体情報であれば同様にノイズが発生すると考えられる。

そこで本研究では 2 点の生体情報に対して差動増幅回路の仕組みを応用し、2 点の生体情報に共通して発生するノイズを相殺することで認証精度を向上させる。具体的には差動増幅回路における同相入力電圧を 2 点の生体情報に共通して現れるノイズ、差動入力電圧を 2 点の生体情報の差とすることにより、2 点間に共通して現れるノイズを 2 点の差分をとることにより相殺し、生体情報の差分情報のみを取り出す。

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。

### 2.2. 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  $\alpha$ 」と「 $v_2$  の増幅に関与する部分回路  $\beta$ 」の両者に等しく影響する。 $\alpha$  も  $\beta$  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。

### 2.3. 血液量を用いた差動型生体認証

ある生体部位 (例えば指先の血管) の血液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液量も変動してしまう[5][6]。しかし、この血液量の変化は、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液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 箇所血液量を計測し、その差 (あるいは比) をとることによって、血液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液量はほぼ等しいため、近傍部位 2 箇所の血液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液量は相関が低く、遠方部位 2 箇所

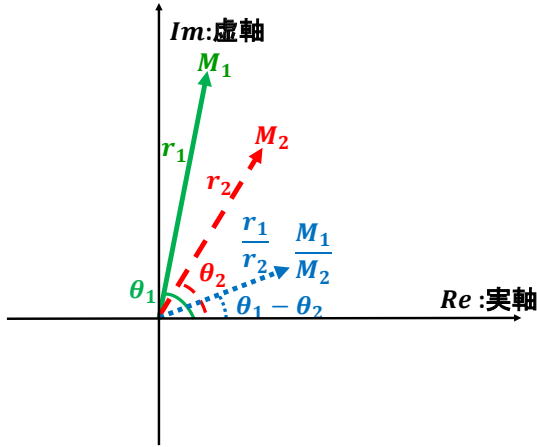


図 2 2つの複素数の比

の血液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。

このことから、筆者らは同一部位から分岐した2箇所部位の血液量の差（あるいは比）をとる方式を提案し、人差し指と中指の血液量それぞれに現れる変動を2指の血液量の比をとることにより吸収できるかを実験により検討した。被験者数3名による小規模な実験ではあるが、上腕の位置を変化させた場合に、各被験者の人差し指と中指には共通の血液量の変動が見られ、2指の血液量の比をとることによりその変動が抑えられることを確認した。

### 3. 複素生体情報に対する差動型生体認証

複素数で表される生体情報は複素平面上のベクトルとして考えることができる。ある複素数 $M$ を極座標系に変換すると、式(1)のように、複素平面上の角度 $\theta$ と絶対値成分 $r$ によって表されるベクトルとなる。

$$M = a + bi = r(\cos\theta + isin\theta) \quad (1)$$

2.3節で概説した差動型生体認証は、読み取り時の誤差や生体情報の変動による影響が共に及ぶ2箇所部位の生体部位を使い、両部位における生体情報 $M_1$ 、 $M_2$ の比 $M_1/M_2$ を認証に用いる。極座標形式で $M_1/M_2$ を表すと、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{M_2} &= \frac{r_1(\cos\theta_1 + isin\theta_1)}{r_2(\cos\theta_2 + isin\theta_2)} \\ &= \frac{r_1(\cos\theta_1 + isin\theta_1)(\cos\theta_2 - isin\theta_2)}{r_2(\cos^2\theta_2 + \sin^2\theta_2)} \\ &= \frac{r_1}{r_2}(\cos\theta_1 + isin\theta_1)(\cos\theta_2 - isin\theta_2) \\ &= \frac{r_1}{r_2}\{\cos(\theta_1 - \theta_2) + isin(\theta_1 - \theta_2)\} \quad (2) \end{aligned}$$

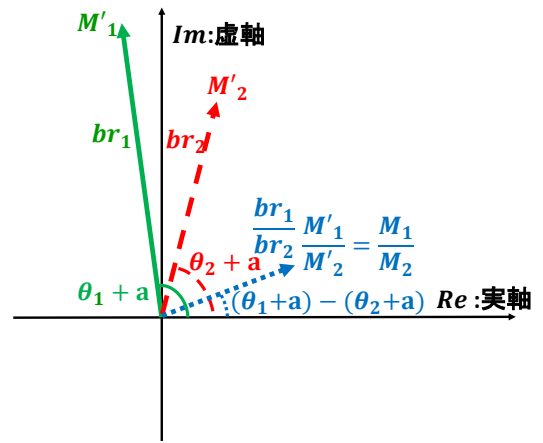


図 3 角度成分と絶対値成分にノイズが発生した場合

今、読み取り時の誤差や生体情報の変動の影響によって、登録時には $M_1$ 、 $M_2$ であった生体情報が、認証時にそれぞれ $M'_1$ 、 $M'_2$ となったとする。極座標平面においては、任意の変動は角度成分ノイズと絶対値成分ノイズの一次結合でモデル化される。生体情報の変動による影響が共に及ぶ2箇所部位の生体部位を用いる差動型生体認証では、 $M'_1$ と $M'_2$ には同相ノイズが加わっている。図3のように、 $M'_1$ と $M'_2$ に加わった同相ノイズが加法性の角度成分ノイズ(+ $a$ 度)と乗法性の絶対値成分ノイズ( $b$ 倍)であった場合、 $M'_1$ と $M'_2$ はそれぞれ下式となる。

$$M'_1 = br_1\{\cos(\theta_1 + a) + isin(\theta_1 + a)\} \quad (3)$$

$$M'_2 = br_2\{\cos(\theta_2 + a) + isin(\theta_2 + a)\} \quad (4)$$

したがって、2部位の生体情報の比 $M'_1/M'_2$ を用いることによって、下式のように各成分に発生した同相ノイズを相殺することができる。

$$\begin{aligned} \frac{M'_1}{M'_2} &= \frac{br_1}{br_2}\{\cos((\theta_1 + a) - (\theta_2 + a)) \\ &\quad + isin((\theta_1 + a) - (\theta_2 + a))\} \\ &= \frac{r_1}{r_2}\{\cos(\theta_1 - \theta_2) + isin(\theta_1 - \theta_2)\} = \frac{M_1}{M_2} \quad (5) \end{aligned}$$

このように、登録時の生体情報 $M_1$ 、 $M_2$ の比 $M_1/M_2$ をテンプレートとし、認証時の生体情報 $M'_1$ 、 $M'_2$ の比 $M'_1/M'_2$ をテンプレートと比較する差動型生体認証を採用することで、生体情報の変動に対する生体認証の頑健性を高めることが可能である。

### 4. 局所高次モーメントスペクトルの関係演算を用いた生体認証

差動型生体認証の関連研究として、2箇所部位の特徴量の関係演算を用いる方法が提案されている

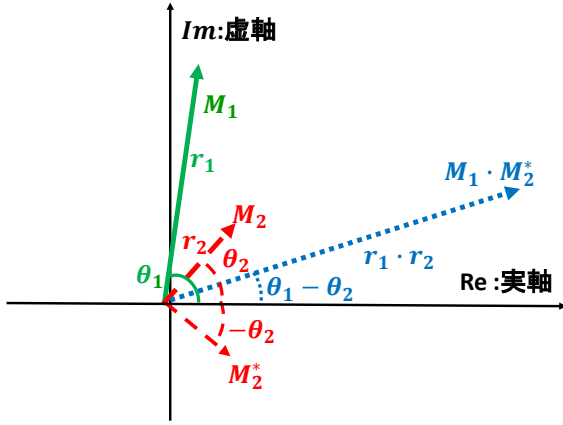


図 4 2つの複素数の積

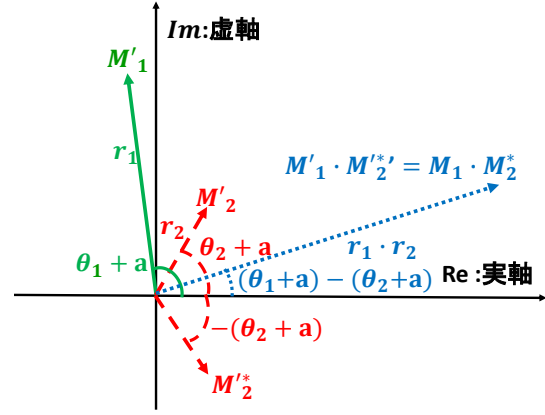


図 5 角度成分にノイズが発生した場合

[3][4]. 本章では、文献[4]の生体認証の動作原理を、差動型生体認証との対比により分析する。

#### 4.1. 局所高次モーメントスペクトルを利用した虹彩認証

虹彩認証は照明変動などの観測条件の変動により認証精度が低下する。この対策として、虹彩画像内の局所高次モーメントスペクトルを特徴量とし、2点の特徴量の内積(カーネル関数)を用いることによって、認証精度を達成する方式が提案されている[3]。また、同研究グループは、カーネル関数を簡略化し、カーネル関数内の被積分関数のみを用いた場合でも、カーネル関数を用いた場合と同程度の認証精度が得られることを報告している[4]。

文献[4]の方式の認証手順は以下の通りである。

1. 眼の画像から虹彩部分の切り出しを行い、座標変換を行うことにより虹彩画像を矩形画像 $s(x)$ に変形する。ここで、 $s(x)$ は $R^2$ 上で定義される画像信号を表す。
2. 矩形虹彩画像を $N$ 個のブロックに分割し、各ブロックの局所 $n$ 次スペクトル特徴量 $M_{s,w,n,x_i}$  ( $i=1 \dots N$ )を以下の式から計算する。以降、 $M_{s,w,n,x_i}$ を $M_i$ とする。ここで、 $x_i$ は矩形虹彩画像中の $i$ 番ブロックの位置を示す。

$$M_{s,w,n,x_i}(\varrho_{n-1}, x_i) = S_w^* \left( \sum_{k=1}^{n-1} \omega_k, x_i \right) \prod_{k=1}^{n-1} S_w(\omega_k, x_i) \quad (6)$$

$$S_w(\omega_k, x_i) = \int s(t + x_i) w(t) \exp(-j\omega^T t) dt \quad (7)$$

3.  $M_i$  ( $i=1 \dots N$ )に対し、異なる2個の局所高次スペクトル $M_i$ ,  $M_j$  ( $j=1 \dots N$ )の組み合わせから $M_i \cdot M_j^*$  ( $i \geq j$ )を計算することによって $N(N-1)/2$ 個の $M_i \cdot M_j^*$ を得る。 $M_i \cdot M_j^*$ は複素数であり、個々の $M_i \cdot M_j^*$ の実部と虚部それぞれに対して、符号に応じて2値化を行い、それらをすべて連結することで虹彩コードを生成する。
4. 1~3を登録時と認証時に行い、登録時に得られた虹彩コードAと認証時に得られた虹彩コードBの類似度を平均ハミング距離により計算する。平均ハミング距離が閾値よりも小さい場合に、虹彩コードAとBは同一であると判定する。 $L$ は虹彩コード長を表す。

$$HD = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L A_j \oplus B_j \quad (8)$$

#### 4.2. 頑健性に関する分析

文献[4]の認証方式においては、虹彩画像中の $N$ 箇所の特徴量 $M_i$  ( $i=1 \dots N$ )に対して、2箇所の特徴量の積 $M_i \cdot M_j^*$ を用いることが頑健性に寄与している。複素平面上では、2つの特徴量 $M_1$ ,  $M_2$ は、それぞれ図4のように、絶対値 $r_1$ と角度 $\theta_1$ の複素ベクトル、絶対値 $r_2$ と角度 $\theta_2$ の複素ベクトルとして表される。 $M_2$ の複素共役である $M_2^*$ は、 $M_2$ の角度 $\theta_2$ の符号を反転させたベクトルとなる。極座標形式で $M_1$ ,  $M_2^*$ を表すと、次式のようになる。

$$M_1 M_2^* = r_1 r_2 (\cos\theta_1 + isin\theta_1)(\cos\theta_2 - isin\theta_2) = r_1 r_2 \{\cos(\theta_1 - \theta_2) + isin(\theta_1 - \theta_2)\} \quad (9)$$

今、読み取り時の誤差や生体情報の変動の影響によって、登録時には $M_1$ ,  $M_2$ であった生体情報が、認証時にそれぞれ $M'_1$ ,  $M'_2$ となったとする。図5のように、 $M'_1$ と $M'_2$ に加わったノイズが角度成分に対する加法性

の同相ノイズ(+a度)であった場合、 $M'_1$ と $M'_2$ はそれぞれ下式となる。

$$M'_1 = r_1\{\cos(\theta_1 + a) + isin(\theta_1 + a)\} \quad (10)$$

$$M'_2 = r_2\{\cos(\theta_2 + a) + isin(\theta_2 + a)\} \quad (11)$$

したがって、2つの特徴量の積 $M'_1 \cdot M'^*_2$ を用いることによって、下式のように角度成分に発生した同相ノイズを相殺することができる。

$$\begin{aligned} M'_1 \cdot M'^*_2 &= r_1 r_2 \{\cos((\theta_1 + a) - (\theta_2 + a)) \\ &\quad + isin((\theta_1 + a) - (\theta_2 + a))\} \\ &= r_1 r_2 \{\cos(\theta_1 - \theta_2) + isin(\theta_1 - \theta_2)\} = M_1 \cdot M_2^* \quad (12) \end{aligned}$$

文献[4]の認証方式(式(12))と差動型生体認証方式(式(5))の比較から、文献[4]の認証方式は2点の複素生体情報の角度成分に共通して加わる同相ノイズを、差動型生体認証と同様の原理により吸収していることが分かる。また、文献[4]の認証方式において、2箇所の特徴量 $M_1$ 、 $M_2$ を $M_2$ を基準に正規化する( $M_1$ 、 $M_2$ にそれぞれ $1/M_2$ を乗じる)ことにより、差動型生体認証と等価となることを確認できる。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、差動型生体認証が生体情報の変動を吸収する仕組みを考察した。差動型生体認証においては、2箇所の生体部位の複素生体情報に対して共に生じる角度成分の加法性同相ノイズと絶対値成分の乗法性同相ノイズの相殺が可能である。また、2点の局所高次モーメントスペクトルの積(内積演算の簡略形)を用いる虹彩認証方式[4]の動作原理を、差動型生体認証の仕組みと比較することにより分析した。その結果、文献[4]の認証方式において、複素生体情報の絶対値成分の正規化を行うことで、文献[4]の認証方式が差動型生体認証と等価となることを示した。今後は、認証精度を評価する実験を通じて、差動型生体認証と文献[4]の認証方式の等価性の確認を行う予定である。

## 謝辞

3章、4章を執筆するうえで、筑波大学システム情報系亀山啓輔教授、日野英逸准教授にご教示を頂きました。本研究は一部、JSPS 科研費 JP15K12036 の助成を受けました。ここに御礼申し上げます。

## 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] Keisuke Kameyama, Trung Nguyen Bao Phan, and

Miharu Aizawa, "Noise-robust iris authentication using local higher order moment kernels", In International Conference on Neural Information Processing, pp.419-427.Springer,2015

- [4] 相澤美晴, 亀山啓輔, "局所スペクトル特徴量とその関係演算を用いた虹彩認証", 信学技報, vol. 116, no. 263, BioX2016-32, pp. 83-88, 2016年10月.
- [5] 近藤 徳彦: 1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.
- [6] 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.
- [7] 村松弘明他, "生体変動を吸収する差動型生体認証の提案: 予備実験" 信学技報, vol.116, no.182, BioX2016-8, pp.7-11, 2016年8月.