



指静脈パターンによる個人の認証

柳川 堯^{*1} · 青木 敏^{*2}

Recognizing Persons by Their Finger Veins

Takashi YANAGAWA^{*1} and Satoshi AOKI^{*2}

Abstract— This document describes the personal identification by using finger vein patterns, one of the recent enterprises conducted by the TRAFST (Transdisciplinary Federation of Science and Technology). First, a brief review is given on the biometrics using finger prints and iris. Next, an equipment of personal identification by using finger veins developed by Hitachi Co. Ltd. is illustrated. Then diversity of human finger vein images is shown by extracting their patterns, by using the equipment, from the right and left index fingers, and middle fingers of 506 person and finally the usefulness of finger veins patterns for personal identification is shown by evaluating the false acceptance rate (FAR) and false rejection rate (FRR). These rates depend on the cut-off point C ; when $C = 0.295$ those rates are estimated to be 0.00000001% and 0.00005%, respectively.

Keywords— biometrics, false acceptance rate, false rejection rate, finger veins

1. はじめに

日立中央研究所は、ヒトの指静脈パターンを読み取り、本人特定を行う方法を開発した [1, 2]。皮膚に覆われた静脈のパターンを目で見た人など有史以来誰もいなかったし医学的にも何も分かっていなかった。そのような中で、指静脈のパターンが一人ひとり異なり、個人識別に応用できることなど誰が想像できたであろうか。驚くべき洞察力と、それによって切り開かれた画期的な発明であった。

(株)日立製作所はこの方法を適用して銀行などの自動払い出し機などで本人確認を行うための指静脈認証装置を製造・販売し、現在、国内金融機関の7万台以上のATMに搭載されている。この装置の精度は、一体どれくらいだろうか。製造されるに至った背景には当然、指紋など他の個人認証法と比べて優れた精度を有しているという日立内部の研究に基づく技術者たちの確固たる確信があったはずである。しかしその確信は企業内部でのそれに過ぎない。海外諸国で販売する目的のためには、企業内部の技術者にいかに強い確信があっても何の役にも立たない。企業とは無関係な第三者機関によって公正

な学術的研究が行われ、その精度の卓越性が国際的学術誌において論文として保証されてはじめて地球上で認められたものとなる。国外での販売に道を開くためには、第三者機関による卓越性の証明が決定的に重要であった。

第三者機関としての白羽の矢が立ったのは発足したばかりの横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)であった。横幹連合は、傘下の団体と相談し、応用統計学会から青木、日本計量生物学会から柳川がこのプロジェクトに加わることになった。

まず、2006年8月に横幹連合と(株)日立製作所との間で調査委託契約が締結され、次いで鹿児島大学と横幹連合および久留米大学と横幹連合の間で調査委託契約書が結ばれ、さらに研究に従事する当事者が所属する鹿児島大学理学部、および久留米大学バイオ統計センターと(株)日立製作所の担当部門であるセキュリティ事業部との間で秘密保持契約が締結されプロジェクトが発足した。ちなみに、プロジェクトの名を「万人不同性」プロジェクトという。国内で発明され、将来巨万の利益を上げることが見込まれる卓越した新技術が他者に漏れないため日立技術者たちの注意深さや配慮の細やかさは格別で、最後まで手の内を見せてくれず、私どもとの間に信頼関係が醸成され研究が円滑に進展するまで相当な時間がかかった。

本稿では、まず生体認証法、特に指紋と虹彩を用いる認証法をレビューし、次に本プロジェクトの研究成果である指静脈パターンの多様性と、この多様性を利用する

^{*1}久留米大学バイオ統計センター 久留米市旭町 67

^{*2}鹿児島大学理工学研究科 鹿児島市郡元 1-21-35

^{*1}Biostatistics Center, Kurume University, Asahi-Machi 67, Kurume-Shi

^{*2}Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Korimoto 1-21-35, Kagoshima

指静脈認証法の FAR, および FRR について報告する。なお, 詳細に興味がある読者は Yanagawa, Aoki, and Ohyama [3] を参照されたい。

2. 生体認証法のレビュー

ヒトの身体の一部を利用する個人認証法は, 一般に生体認証法 (バイオメトリックス) とよばれ, よく知られた方法に, 顔, 音声, 指紋, 虹彩などを利用する方法がある。本節では, 最もよく使われている指紋を利用する個人認証法と精度が極めて高いといわれている虹彩による認証法を簡単にレビューする。

一般に, 認証法の精度は, 本人拒否率 (False rejection rate, FRR) と他人受入率 (False acceptance rate, FAR), 即ち数理統計学でいう第 1 種と第 2 種の過誤の確率で測られるが, 指紋の場合, FAR=1%, FRR=0.1% [4], 虹彩の場合, 以下に示されるような FAR の値が報告されている。

2.1 指紋の利用

紀元前 6000 年頃の中国で指紋がすでに本人特定に使われたという記録があるようである。しかし, 本人特定に指紋が有用であることを最初に数量的に示したのは F. Galton (1822-1911) であった。Galton は, 世界トップクラスの統計学学術誌 *Biometrika* を創刊した 3 人の学者の中の一人として高名であるが, 指紋による個人認証法のパイオニアとしてもよく知られている。Galton の著書 [5] では, 指紋が whorl (渦状紋), arch (弓状紋), loop (蹄状紋) の 3 種類に大別され, さらにそれぞれについて ridge (隆線) の端点や分岐点などに関する指紋の特徴が究明され, これらの特徴が統計的に整理されて指紋の「万人不同性」が示されている。さらに, 同一人について 10 年後 ~ 30 年後にこれらの特徴の比較が行われ, 指紋の「終生不変性」も示されている。今日, 技術の大幅な進展の中で指紋の読み取り方法や特徴点の利用の仕方などさまざまな方法が開発・実用化されており, これらの方法は指紋を利用する認証装置を製造している企業ごとに異なって企業機密とされている。その概要については瀬戸 [6] を参照されたい。

2.2 虹彩の利用

すでに 1930 年代に, アメリカの眼科医が虹彩を個人識別に利用することを提唱している (瀬戸 [6])。しかしながら, 虹彩が幅広く個人認証に利用され始めたのは Daugman and Downing [7] による, 虹彩を利用する本人特定法の精度の統計的評価後のことである。Daugman-Downing が対象とした虹彩認証法は (1) 虹彩の 2048ヶ所を測定してデータを取る (2) そのデータから, 2048

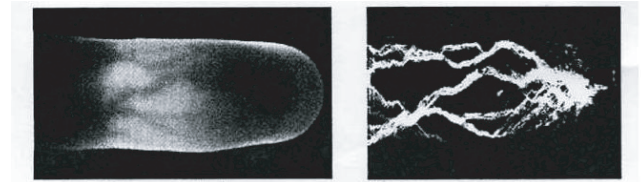


Fig. 1: Extracted finger vein image (left) and patterns (right)

個のビットからなるアイリスコードとよばれるコードを作成する (3) 二つの虹彩 A と B のアイリスコードについて, 対応する場所のビットが一致すると 1, そうでないと 0 としてハミング距離を算出する (4) この距離がある定数以下なら同じ個体の虹彩, そうでない場合, A と B は異なる個体の虹彩と判定する。Daugman-Downing は, 2150 人から抽出された相異なる個体すべての組み合わせに関してハミング距離を算出し, ハミング距離のヒストグラムを描き, このヒストグラムに二項分布が見事に当てはまることを発見した。そして, この二項分布を利用して他人が同じ人であると判定される確率, 即ち FAR を評価した。この確率は 1.5×10^{-10} という小さな値であった。また, 彼らは遺伝的に近い者同士のハミング距離の分布や, 右目と左目の虹彩のハミング距離の分布が, 他人同士と同一の二項分布に従うことを明らかにしている。

3. 日立の指静脈認証

3.1 認証の仕組み

血液中の赤血球に含まれるヘモグロビンは, 近赤外光を吸収しやすく, 近赤外光を指に照射してカメラで撮影すると, Fig. 1 に示されるように表面近くの血管部分が暗く写り, 血管パターンを抽出することが可能となる。指静脈認証装置による本人確認では, センサを介して得られた指静脈血管パターンとあらかじめ登録された登録パターンとの照合を行い, 両者の一致度によって本人確認を行う。原理は簡単であるが, 実際には指の置き方などに依存しない測定の安定性や何度繰り返しても同一の結果がえられる再現性を確保するため巧妙な多くの工夫が加えられている。

具体的には, 二つの指静脈血管パターンの一致の判定は次に行われる。

- 1 血管画像の各ピクセルを「静脈」「判定不能」「静脈でない」のいずれかに分類する。
- 2 二つの血管画像を重ねてピクセルを対応させ, 一方が「静脈」, 他方が「静脈でない」場合に限り「不一致」と判定する。

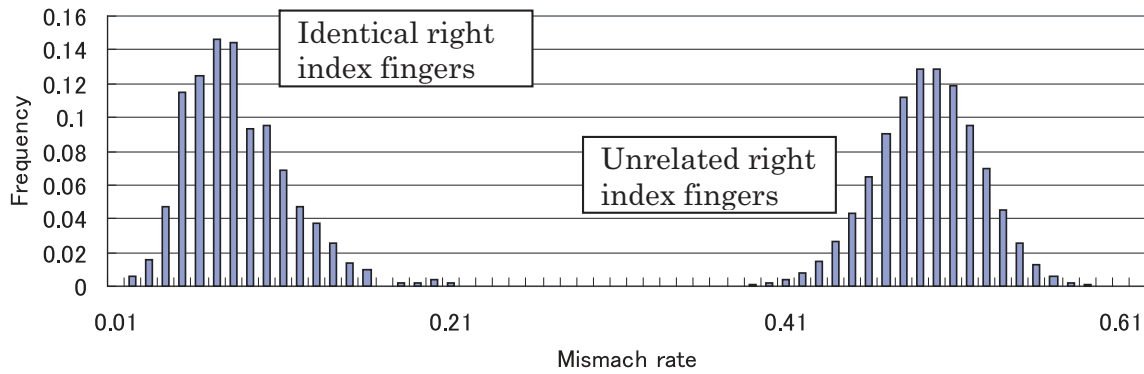


Fig. 2: Histograms of mismatch rates computed (MMR) from 1,012 pairs of identical right index finger and 255,530 pairs of unrelated index finger

3 次式で定義された画像全体の不一致割合 (MMR: mismatch rate) を算出する。

$$\text{MMR} = (\text{ピクセルの不一致ペア総個数}) / (\text{いずれかの画像で静脈と判定されたピクセルの総個数}).$$

4 あらかじめ定めたカットオフポイント (cut off point) とよばれる定数 C に対して

$$\text{MMR} > C \rightarrow \text{登録された人と別人と判定}$$

$$\text{MMR} \leq C \rightarrow \text{登録された人と同人と判定.}$$

3.2 指静脈パタンの多様性

Fig. 2 (上図) に, 506 名の右手人差し指から測定された 506×2 個のペアからなる同一静脈パタンの MMR の分布を与えた。同じ図上 (右図) に同じ 506 名について, 相異なる人の右手人差し指から測定された静脈パタンの MMR の分布を与えた。図は, 二つの分布が完全に分離している様子を示している。つまり, 指静脈のパターンは一人ひとり違うということが図より示唆される。

私どもは, まず 506 名の右手人差し指静脈パターンを 10 回くり返し測定し, MMR の分布が毎回ほぼ同等な分布であることを確認した。次に, 同じ 506 名について (i) 本人の右手人差し指と他人の右手人差し指 (ii) 同一人の右手人差し指と右手中指 (iii) 同一人の左右の手の人差し指について同様な分布を求めた。その結果, いずれの分布も Fig. 2 の右側の分布と一致した。このことは, 同一人でも指が異なれば指静脈パターンは相異なる人の場合のように異なること, いいかえれば, 同一人の同一の指からとられた指静脈パタンの特異性を示している。

3.3 指静脈認証の精度

個人認証法の精度は, 本人拒否率 (FRR) と他人受入率 (FAR) で評価できる。指静脈認証では, FRR は条件付確率 $P(\text{MMR} > C | \text{本人})$, FAR は $P(\text{MMR} \leq C | \text{他人})$ で表される, ただし C は cut off point である。これらの確率を計算するためには Fig. 2 の二つの分布のそれぞれ

に適合する確率分布を求めなければならない。二つの指静脈血管パタンの一致の判定は, 上述のように対応するピクセルを重ねて, 一方が「静脈」, 他方が「静脈でない」場合に限り「不一致」と判定された。その特徴は次のようである (i) 一致か不一致の二通りしかない (ii) 不一致の確率はピクセルごとに異なる (iii) ピクセルの個数は未知である。これら 3 つの特性を数学的に次のように考えて定式化した。

- 二つのピクセルの不一致確率はパラメータ α と β をもつベータ分布に従う確率変数である。
- ピクセルの個数も確率変数である。
- ピクセルの不一致確率, 及びピクセルの個数が与えられたと条件付けると, MMR は二項分布に従う。

ピクセルの個数 (未知) が与えられたという条件の下では, 上のことから理論的にベータ二項分布が導かれるので, ピクセルの個数を動かしながらベータ二項分布のモーメントと Fig. 2 の各ヒストグラムの元データから算出したモーメントと一致するようにピクセルの個数とパラメータ α と β を定めた。Figs. 3, 4 にこのようにして求めた理論分布と, 元データのヒストグラムを重ねて図示した。ただし, FAR の場合 α, β の推定値はそれぞれ 369.6, 391.1 となり, このような大きなパラメータ値をもつベータ二項分布は正規分布でよく近似できることが知られていることから正規分布の適合を行った。二つの図より, 理論分布が MMR のヒストグラムとよく一致していることがわかる。

Table 1 に, いくつかの cut off point (c-o point) C の値に対するこの理論分布を用いて算出した FRR と FAR の値を与えた。これらは, 506 名から算出された値にすぎないため用心のため, FAR についてだけであるが, ブートストラップ法を用いて信頼度 95% の信頼区間を求め, 同じ表に与えた。信頼区間は母集団における FAR を評価する。算出された信頼区間は, 精度に変動があったとしても, オーダーまでは変わらないことを示している。

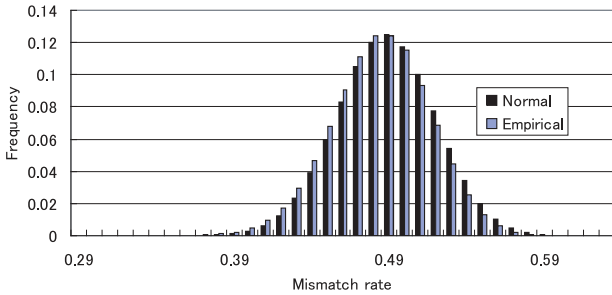


Fig. 3: A sample figure

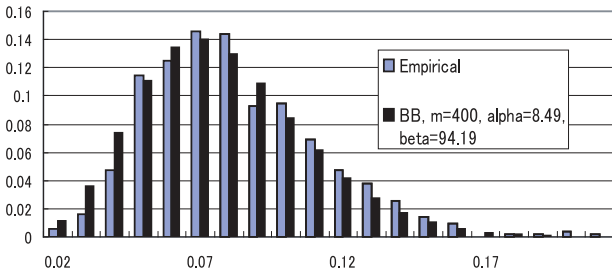


Fig. 4: A sample figure

3.4 なりすまし確率

指静脈認証装置が「本人」と判定した者が、悪意のある「なりすまし」である確率を評価する。この確率は、条件付き確率を用いて $P(\text{他人} | \text{本人と判定})$ のように表現できるから、事前確率 $P(\text{本人})$ 、および FAR, FRR を与えれば、この確率はベイズの定理より算出できる。例えば、cut off point を $C = 0.28$ と定めると Table 1 より $FRR = 1.30 \times 10^{-6}$, $FAR = 1.25 \times 10^{-11}$ をえる。したがって、事前に本人である可能性（事前確率）が本人でない可能性と同様に分からない人、すなわち $P(\text{本人}) = 0.5$ の人、のなりすまし確率は、ほぼ FAR の値に等しい。さらに、本人である可能性が 100 万人に 1 人しかない人のなりすまし確率は 1.2×10^{-5} と算出される。これらの考察から、本装置がなりすましを防ぐ高い性能を持っていることが示唆される。

3.5 万人不同性

対象となる集団のサイズを N として、集団の各個体に番号をつけて考える。確率変数 $Y_i, i = 2, 3, \dots, N$, を次のように定義する。

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{個体 } i \text{ が個体 } 1 \text{ と同一人と判定される} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

このとき、この集団で個体 1 と同一人と判定される個体の総数は $Y = \sum_{i=2}^N Y_i$ で表される。よって、 Y の期待値は

$$E(Y) = (N - 1) FAR \approx N FAR.$$

Table 1: False acceptance rate (FAR) and False rejection rate (FRR)

c-o point	FRR	FAR	95% CL of FAR	
0.270	3.16E-06	1.31E-12	6.32E-13	2.56E-12
0.275	2.03E-06	4.10E-12	2.07E-12	7.80E-12
0.280	1.30E-06	1.25E-11	6.41E-12	2.45E-11
0.285	8.23E-07	3.73E-11	2.00E-11	6.96E-11
0.290	5.20E-07	1.08E-10	5.82E-11	1.94E-10
0.295	3.27E-07	3.07E-10	1.74E-10	5.49E-10
0.300	2.04E-07	8.47E-10	4.84E-10	1.46E-09
0.305	1.27E-07	2.28E-09	1.35E-09	3.85E-09
0.310	7.86E-08	5.97E-09	3.69E-09	9.81E-09

Table 2: Expected number of persons who judged as “identical” to some specific person in the population of size N

C	$N = 1.2 \text{ million}$	$N = 65 \text{ million}$
0.290	0.013	0.702
0.295	0.037	2.00
0.300	0.102	5.51
0.305	0.274	14.8
0.310	0.716	38.8

Table 2 に Table 1 のカットオフポイント C を与えて算出した $E(Y)$ の値を与えた。 $N = 1.2$ 億は日本の総人口、 $N = 65$ 億は世界の総人口である。表より $C = 0.29$ にとっておけば、本認証装置を世界のすべての人に適用した時、ある個体と同一人物と判定される件数の期待値は 1 より小にできる。いいかえれば、地球上で同じ指静脈パターンをもつ人の期待値は 1 人以下である、という意味で指静脈のパタンの「万人不同性」が証明され、併せてこの「万人不同性」が (株) 日立製作所が開発した指静脈認証装置で識別できることが示唆される。

4. おわりに

指静脈認証装置は、自動払い出し機などで本人確認を行う他にも、もっと過酷な状況の下での多様な利用が考えられる。自動払い出し機の場合であっても、階段を汗まみれになって駆け上がってきた人が利用することも考えられる。また、指静脈パターンは、老化とともに変化する恐れはないのかという問題もある。さらに、一卵性双生児の場合なども含めて私どもは指紋や虹彩で Galton や Daugman-Downing が調査を行ったのと同様なレベルの指静脈認証装置の安定性や精度の評価を行っておきたかった。また、上で示した「万人不同性」は日本人 609

人のサンプルからのそれにすぎず、少なくとも数カ国の人からのデータが欲しかった。しかし、許された研究期間内に、そのようなデータを手に入れることは出来なかった。何よりも、企業機密の壁が厚く、そこまで踏み込むことは期待されていなかった。今後、これら残された課題について私どもが開発した方法を発展させ、研究が深められることを期待している。

参考文献

- [1] M. Kouno, H. Ueki, and S. Umemura: A New Method for the Identification of Individuals by Using of Vein Pattern Matching of a Finger, Proceedings of the Fifth Symposium on Pattern Measurement, (Yamaguchi, Japan), pp. 9-12, 2000.
- [2] N. Miura, A. Nagasaka, and T. Miyatake: Feature Extraction Finger Vein Patterns Based on Iterative Line Tracking and its Application to Personal Identification, Systems and Computers in Japan, Vol.35, No.7, pp. 61-71, 2004.
- [3] T. Yanagawa, S. Aoki, and T. Ohyama: Diversity of Human Finger Vein Patterns and its Application to Personal Identification, Bulletin of Informatics and Cybernetics, Vol.41, pp. 1-9, 2009.
- [4] C. Wilson, A. R. Hicklin, H. Korves, B. Ulery, M. Zoepfl, M. Bone, P. Grother, R. J. Micheals, S. Otto, and C. Watson: Fingerprint Vendor Technology Evaluation 2003, Summary of Results and Analysis Report, NIST Internal Rep. 7123, 2004, http://fpvte.nist.gov/report/ir_7123_summary.pdf

- [5] F. Gauton: Finger Prints, Prometheus Books, 1892.
- [6] 瀬戸洋一: 生体認証技術, pp. 1-174, 共立出版株式会社, 2002.
- [7] J. Daugman and C. Downing: Epigenetic Randomness, Complexity and Singularity of Human Iris Patterns, Proc. of the Royal Society, B, 268, Biological Sciences, pp. 1737-1740, 2001.

柳川 堯



1966年九州大学大学院理学研究科修士課程統計数学専攻修了。博士(理学)。2004年より久留米大学バイオ統計センター教授、現在に至る。九州大学名誉教授。統計科学、バイオ統計学の研究に従事。日本計量生物学会賞、日本統計学会賞を受賞。

青木 敏



1996年東京大学工学部計数工学科卒業。1998年東京大学大学院情報理工学系研究科計数工学専攻修士課程修了。2000年同博士課程退学。同年、同専攻助手。2004年博士(情報理工学)。2005年鹿児島大学理学部准教授、現在に至る。数理統計学の研究に従事。
