触覚情報を利用したバイオメトリクス認証法*

中野 健^{*1}, 兵頭 潤^{*2}, 立石 朋也^{*2}

Biometric Authentication Method using Tactile Information

Ken NAKANO^{*3}, Jun HYODO and Tomoya TATEISHI^{*3} Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University,
79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 240-8501 Japan

In recent years, security problems have been concerned in the well-developed information society. Although authentication methods such as password-systems and key-systems are used widely, various problems are pointed out. Therefore, biometric authentication which uses the information of personal characteristics is highly paid attention to. In the present study, a new biometric authentication system using finger friction is proposed. This system utilizes tactile information of which recording and playing technologies have not been established, in contrast to visual and auditory information. Moreover, it is using both physical characteristics related to the 3-D shapes of fingerprints and behavioral characteristics related to the way of rubbing. In the present system, PZT sensors generate frictional signals when a subject rubs them with its finger. As the result of verification, it is found that some statistics and dynamic programming enable to identify the subject with the frictional signals.

Key Words: Friction, Sensor, Dynamic Programming, Biometric Authentication, Tactile Sensation

1. はじめに

近年の情報通信技術の発展は、インターネットをはじめとする新たな情報インフラ基盤を構築し、社会・経済活動の形態そのものが大きく変化しつつある。それにともない様々な情報の電子化が急速に進み、情報セキュリティの観点から、主としてオンライン上で個人認証を必要とする場面が増加している。

こうした社会的背景のもと、注目を集めているのがバイオメトリクス認証^{(1)~(9)}である。バイオメトリクス認証では、手指の指紋や眼球の虹彩など、個々に特有な生体情報によって個人認証を行うため、従来のパスワード方式における忘却・漏洩や、証明書(鍵・カード)方式における紛失・盗難などのトラブルを回避することができる。しかし、システムのコストやサイズなどの技術的問題や、偽造という新たな社会的問題などから、その普及が妨げられている。

本研究で提案する新しいバイオメトリクス認証法は、手指と力感知型センサ間の摩擦信号を生体情報と

して利用する。以後この手法を『摩擦認証』と呼ぶことにする。バイオメトリクス認証は、身体的特徴を利用する手法と行動的特徴を利用する手法に大別できるが、指紋認証に代表される前者は偽造に弱く、署名認証に代表される後者は認証率が低いと言われている。摩擦認証では、指紋を含む手指の立体的な凹凸形状(身体的特徴)と、手指の押しつけ方やすべらせ方(行動的特徴)によって摩擦信号が決まるため、両特徴を融合した手法であると言える。

また視点を変えれば、既存のバイオメトリクス認証が視覚情報または聴覚情報を利用してきたのに対して、本手法が利用するのは触覚情報である。視覚・聴覚情報は既存のテクノロジーによって記録・再生が可能のため、比較的偽造が容易になるが、触覚情報を記録・再生する術を持たない現在、本手法は偽造に対する高い頑強性が期待できる。さらにそのシステムを安価に構築できれば、社会的ニーズの高い技術を提供できるはずである。

以上のコンセプト成立の可否を探るために、単純な試作システムを用いた実験的検討を行った。ただし力感知型センサとしては、上記経済性の要請から、安価な板状圧電素子を用いた。その結果、本システムは今回依頼した被験者 14 名全員を識別することができたので、その詳細を報告する。

* 原稿受付 2004 年 11 月 5 日。

^{*1} 正員、横浜国立大学大学院環境情報研究院(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7)。^{*2} 横浜国立大学大学院環境情報学府。

E-mail: nakano@ynu.ac.jp

2 摩擦認証試作システム

試作機の概観写真と模式図を図1に示す。本試作機は、力感知型センサとしての2枚の板状圧電素子と、それらの上端をなめらかに手指でこすするためのガイドから構成されている。

用いたセンサは市販のセラミックスピーカ用素子(応用電子研究所製)で、基板材質:42アロイ、基板サイズ:25mm×12mm×0.05mm、圧電材質:チタン酸ジルコン酸鉛のユニモルフ型である。今回は信号取得の容易さから、手指で摩擦する方向(X方向)に対して面が垂直、長手方向が縦向き(Z方向)になるように、同センサ2枚を配置した。センサユニット周辺の構造を図2に示す。本ユニットは、行動的特徴を排除した場合の実験(3.1節参照)のために、ステッピングモータ駆動のX軸直動ステージ上に設置した。

手指のすべりをサポートするためのガイドはアクリル製で、手指を押しつけたときに手指の腹部がガイド下端を越えてセンサ上端に接触するよう、幅6mmの窓つきV字溝(半頂角:60度)とした。また、ガイド下端とセンサとの間隔を調節するために、ガイド

(a) Photograph of experimental apparatus

(b) Schematic diagram of experimental apparatus

Fig.1 Experimental apparatus

はZ軸直動ステージ上に設置した。本実験ではその間隔を0.1mmに設定した。

手指との摩擦によってセンサが発する2系列の摩擦信号は、デジタルデータレコーダを用いて取得した。本実験ではサンプリング周波数を2.5kHzとした。以上により得られた摩擦信号は、デジタルフィルタによるデータ処理、DPマッチングによる照合計算など、すべてパーソナルコンピュータ上で解析を行った。

3 生体情報としての摩擦信号

3・1 身体的特徴に関する検討

冒頭に述べたコンセプト成立のための大前提として、指紋を含む手指の凹凸形状情報が摩擦信号に内包される必要がある。すなわち行動的特徴を排除して、身体的特徴のみを抽出したとき、それが終生不変かつ万人不同であることが望ましい。そこでまず、被験者の右手示指先端をガイド上に置いてもらい、X軸直動ステージによってセンサユニットを移動して摩擦信号を取得した。ただし物体表面の自然なこすり方を念頭に置いて、手指の配置およびセンサユニットの移動はX軸負方向、速度は10mm/sとした。

被験者Aの2回分の結果を図3に示す。ここで図中のCh.1は図1(b)において左側(上流側)のセンサの信号、Ch.2は右側(下流側)のセンサの信号である。まず図3(a)に着目すると、得られる信号は長周期振動と短周期振動の合成となっていることがわかる。さらにCh.1とCh.2にほぼ同一の振動波形が現れ、上流側Ch.1の波形は下流側Ch.2に対して約0.5秒進んでいる。また図3(b)との比較から確認できるように、本振動波形には定量的な再現性がある。

次に被験者4名分の結果を図4に示す。それぞれの被験者の信号について上記特徴が認められるが、異なる被験者間で比較すると、得られる振動波形はそれぞれ明らかに異なっている。

Fig.2 Schematic diagram around sensor unit

Fig.3 Waveforms of subject A obtained by moving the sensor unit

Fig.4 Comparison with different subjects (waveforms obtained by moving the sensor unit)

以上の検討結果は、個々の身体的特徴に関する情報が、同振動波形に含まれることを意味している。よって本摩擦信号は、個人認証のための生体情報として、必要条件を満たすことがわかる。

また、上述の短周期振動の卓越周波数は20～25Hz程度であり、これは指紋の隆線間隔0.4～0.5mm、センサユニットの移動速度10mm/sの関係と定量的に一致する。さらにこの周波数がセンサの共振周波数2300Hzよりも十分低いことを考慮すると、長周期振動は手指の立体的な形状と機械的性質（粘弾性）に起因し、指紋の立体的な凹凸により短周期振動が付加されたと推察できる。

3・2 行動的特徴に関する検討 本システムの摩擦信号は手指の身体的特徴を含むことが確認できたので、次にX軸直動ステージを静止した状態で、ガイドに沿って被験者の右手手指先端をすべらせてもらい、行動的特徴に関する検討を行った。ただし手指の配置はX軸負方向、すべりはX軸正方向とし、その他のこすり方の詳細は個々に自由に決めてもらった。

Fig.5 Waveforms of subject A obtained by moving a finger

Fig.6 Comparison with different subjects (waveforms obtained by moving each finger)

被験者Aに同一のこすり方を2回要請した際の結果を図5に示す。まず図5(a)に着目すると、長周期振動と短周期振動の合成波形となっていることは図3と共通しているが、得られる振動波形そのものが図3の場合と異なっていること、さらにCh.1の振動波形とCh.2の振動波形に明確な差があることが特徴である。また図5(b)との比較から、同一のこすり方をした場合に得られる振動波形には、定量的な再現性が認められる。

得られた振動波形を異なる被験者4名について比較したものが図6である。それぞれの被験者の信号について上記特徴が認められるが、異なる被験者間で比較すると、得られる振動波形はそれぞれ明らかに異なっている。

以上の検討結果は、個々の身体的特徴が決定する振動波形を、個々の行動的特徴（押しつけ方・すべらせ方）が変化させることを意味しており、個人認証への応用では、冒頭のコセプトどおり、本摩擦信号が身体的特徴と行動的特徴の両者を含む生体情報となることを示唆している。

Fig.7 Change in waveforms by individual intention (subject A)

3.3 行動的特徴の任意性 前節で摩擦信号に行動的特徴が含まれることを述べたが、こすり方は必ずしも一意的でなく、行動的特徴には任意性があると考えられる。そこで手指とセンサの接触位置、押付け方、すべらせ方など、被験者にこすり方のパターンを意識的に複数用意してもらい、3.2節と同様な検討を行った。

ここでは代表的に被験者 A の結果を図 7 に示す。同図 (a) ~ (d) すべて同一被験者の信号に関わらず、振動波形の異なる 4 種類の信号が得られている。また、それぞれ 4 種類のパターンについて、図 5 に示したような定量的再現性があることを確認した。

個人認証への応用を考える際、この行動的特徴の任意性については 2 面性がある。この任意性を否定的にとらえると、同一の手指を用いても異なる信号が発生することから、試行ごとのわずかなこすり方の違いによって、本人を本人ではないと誤認し、本人拒否率が高くなる可能性がある。しかし肯定的にとらえるならば、それぞれの信号パターンについて定量的再現性が認められることから、本人がそのこすり方を正確に記憶できさえすれば、より偽造に強い個人認証システムを構築できると考えられる。すなわち、本人のみが知るそのこすり方自体が、従来の個人認証におけるパスワードの役割を受け持つことになる。以上のような 2 面性のバランスをとるためには、センサユニットをはじめとするハードウェアと、照合アルゴリズムをはじめとするソフトウェアの両方向から、実用場面に即した具体的検討が必要であろう。

Fig.8 Low-pass and high-pass filtered waveforms (subject A)

4. 摩擦信号に基づく照合

4.1 照合方法 被験者 14 名 (男性: 12 名, 女性: 2 名, 年齢: 22 ~ 26 歳) を対象とし、3.2 節の方法で 2 回分の摩擦信号を取得して、一方を標準信号 (事前に個人登録された信号)、他方を入力信号 (照合時に入力する信号) とみなし、14 × 14 (196 通り) の照合を行った。ただし被験者には、行動的特徴

Fig.9 Optimized path between different two signals of subject A

Fig.10 Optimized path between signals of subject A and subject B

Table 1 Results of verification with dynamic programming (low-pass filtered signals)

	Subject A	Subject B	Subject C	Subject D	Subject E	Subject F	Subject G	Subject H	Subject I	Subject J	Subject K	Subject L	Subject M	Subject N
Subject A	1.00	11.36	32.69	4.06	2.83	17.73	3.24	9.75	19.74	13.93	6.45	5.92	4.86	26.38
Subject B	8.21	1.00	5.69	4.10	4.94	3.39	4.68	3.62	10.28	3.35	4.32	2.17	3.86	4.51
Subject C	7.03	3.04	1.00	3.68	3.80	3.20	4.01	3.16	6.61	1.97	3.63	1.56	4.01	3.63
Subject D	2.31	6.53	19.41	1.00	1.01	8.55	1.48	5.71	7.62	7.92	2.34	3.44	1.98	13.96
Subject E	2.87	6.30	17.25	1.07	1.00	7.61	1.53	5.32	5.81	7.11	1.65	3.24	1.92	12.25
Subject F	6.58	2.12	4.27	2.81	3.43	1.00	3.34	2.73	5.76	2.54	2.75	1.00	2.82	4.50
Subject G	2.53	7.58	23.20	2.27	2.34	11.15	1.00	6.51	11.88	9.32	3.73	4.01	2.76	17.80
Subject H	6.75	2.57	7.37	3.53	4.32	5.31	3.54	1.00	9.94	4.93	4.36	1.67	3.38	6.40
Subject I	4.54	3.63	7.82	1.74	1.93	3.61	1.96	3.41	1.00	3.09	1.57	1.76	2.42	6.33
Subject J	7.31	3.20	4.39	3.70	3.94	3.72	4.04	4.22	6.95	1.00	3.55	2.21	4.04	3.69
Subject K	4.92	3.52	6.98	1.47	2.21	2.66	2.16	3.51	3.40	3.10	1.00	1.70	1.92	5.26
Subject L	5.78	3.56	10.75	2.56	3.52	3.81	2.60	3.03	6.55	4.68	3.09	1.13	2.47	9.13
Subject M	5.72	4.94	15.41	1.49	3.13	5.26	2.16	4.14	6.51	6.43	2.31	2.29	1.00	10.85
Subject N	7.39	2.69	4.09	3.30	3.70	1.89	3.85	3.07	6.17	2.27	2.94	1.83	3.23	1.00

Table 2 Results of verification with dynamic programming (high-pass filtered signals)

	Subject A	Subject B	Subject C	Subject D	Subject E	Subject F	Subject G	Subject H	Subject I	Subject J	Subject K	Subject L	Subject M	Subject N
Subject A	1.00	3.28	2.94	1.71	2.22	1.78	1.79	1.74	3.82	1.65	2.70	1.67	1.62	3.19
Subject B	1.43	1.00	1.42	1.50	1.30	1.24	1.46	1.25	1.58	1.20	1.56	1.42	1.17	1.80
Subject C	1.25	1.41	1.00	1.41	1.16	1.13	1.35	1.20	1.59	1.07	1.74	1.16	1.08	1.68
Subject D	1.40	2.59	2.66	1.00	1.86	1.36	1.66	1.41	3.06	1.62	2.03	1.42	1.30	2.18
Subject E	1.22	1.53	1.51	1.27	1.16	1.02	1.28	1.10	1.73	1.16	1.56	1.13	1.00	1.49
Subject F	1.40	2.53	2.41	1.19	1.81	1.05	1.56	1.13	2.84	1.45	1.73	1.33	1.19	1.98
Subject G	1.34	2.33	2.27	1.53	1.68	1.42	1.00	1.37	2.67	1.37	2.03	1.44	1.29	2.23
Subject H	1.42	2.66	2.36	1.35	1.84	1.27	1.52	1.00	2.93	1.52	1.81	1.33	1.16	2.09
Subject I	1.21	1.05	1.18	1.32	1.00	1.08	1.28	1.15	1.00	1.08	1.46	1.26	1.06	1.36
Subject J	1.22	1.89	1.82	1.51	1.46	1.32	1.43	1.39	2.23	1.00	2.08	1.30	1.26	2.04
Subject K	1.40	1.57	1.85	1.14	1.37	1.10	1.35	1.08	1.84	1.36	1.00	1.35	1.09	1.48
Subject L	1.49	2.78	2.43	1.43	1.93	1.39	1.74	1.40	3.17	1.52	2.18	1.00	1.15	2.20
Subject M	1.30	1.99	2.00	1.31	1.53	1.10	1.49	1.16	2.20	1.32	1.80	1.16	1.03	1.79
Subject N	1.36	1.57	1.91	1.12	1.23	1.00	1.34	1.13	1.65	1.33	1.28	1.25	1.04	1.00

Table 3 Total results of verification by low-pass and high-pass filtered signals (threshold: 2.20)

	Subject A	Subject B	Subject C	Subject D	Subject E	Subject F	Subject G	Subject H	Subject I	Subject J	Subject K	Subject L	Subject M	Subject N
Subject A	2.00	14.64	35.63	5.77	5.05	19.51	5.03	11.48	23.57	15.58	9.15	7.60	6.49	29.57
Subject B	9.63	2.00	7.11	5.60	6.24	4.63	6.13	4.87	11.86	4.55	5.88	3.59	5.03	6.31
Subject C	8.27	4.45	2.00	5.09	4.96	4.33	5.37	4.36	8.20	3.04	5.37	2.72	5.09	5.31
Subject D	3.71	9.13	22.07	2.00	2.87	9.91	3.13	7.12	10.68	9.54	4.36	4.85	3.29	16.13
Subject E	4.08	7.82	18.76	2.34	2.16	8.64	2.82	6.42	7.54	8.26	3.21	4.37	2.92	13.74
Subject F	7.98	4.65	6.68	4.00	5.24	2.05	4.90	3.86	8.60	3.98	4.48	2.33	4.02	6.48
Subject G	3.87	9.91	25.47	3.80	4.03	12.57	2.00	7.88	14.54	10.69	5.75	5.45	4.05	20.03
Subject H	8.17	5.23	9.73	4.88	6.16	6.59	5.07	2.00	12.86	6.45	6.18	3.00	4.54	8.49
Subject I	5.74	4.68	9.00	3.06	2.93	4.69	3.24	4.56	2.00	4.18	3.03	3.02	3.48	7.69
Subject J	8.53	5.09	6.21	5.22	5.40	5.04	5.47	5.61	9.18	2.00	5.63	3.52	5.31	5.74
Subject K	6.32	5.10	8.83	2.61	3.58	3.76	3.51	4.59	5.24	4.46	2.00	3.05	3.01	6.74
Subject L	7.28	6.34	13.18	3.99	5.45	5.20	4.33	4.43	9.72	6.20	5.27	2.13	3.62	11.33
Subject M	7.03	6.94	17.41	2.81	4.66	6.36	3.64	5.30	8.71	7.75	4.11	3.46	2.03	12.65
Subject N	8.75	4.25	6.00	4.41	4.93	2.89	5.20	4.20	7.82	3.60	4.22	3.09	4.27	2.00

を利用することを通知した上で、自由な動作での試行を依頼した。なお、1名の被験者の実験に要した時間は、動作に慣れるための練習時間を含めて約5分であった。

照合計算の前に、すべての標準信号と入力信号にデジタルフィルタ処理を施し、低域通過信号と高域通過信号に分割した。今回の実験では、いずれの被験者の場合も、先述した短周期振動の卓越周波数が150～200Hz程度となったので、低域通過信号に先述の長周期振動、高域通過信号に短周期振動が含まれるように、周波数の閾値は30Hzとした。図5に示したデータについて、同処理を施した結果を図8に示す。

本照合では、動的計画法に基づき2系列の離散信

号を対応づけ、一方の信号の横軸（時間軸）に最適な非線形伸縮を施すDPマッチング^{(4)～(6)}を用いて、標準信号と入力信号の距離計算を行った。

チャンネル数Nの離散信号をN次元ベクトル $\mathbf{a}_i$, $\mathbf{b}_j$ で表記し、対応づけるべき信号列A ($\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_i, \dots, \mathbf{a}_N$), B ($\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_j, \dots, \mathbf{b}_N$) からなる平面を考えると、A, B両信号列間の時間軸の対応関係は、この平面上の格子点 $\mathbf{c} = (i, j)$ の系列、すなわち時間伸縮関数Fで表すことができる。

$$\mathbf{F} = (\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2, \dots, \mathbf{c}_k, \dots, \mathbf{c}_K), \quad \mathbf{c}_k = (i_k, j_k) \quad (1)$$

$\mathbf{a}_i$ と $\mathbf{b}_j$ との距離を $d(\mathbf{c}) = d(i, j)$ とすると、系列Fに沿った距離の総和は次式で表される。

$$D(F) = \sum_{k=1}^K d(c_k) \cdot w_k / \sum_{k=1}^K w_k \quad (2)$$

ただし,

$$d(c) = |a_i - b_j| \quad (3)$$

$$w_k = (i_k - i_{k-1}) + (j_k - j_{k-1}) \quad (4)$$

ここで, w_k は F に関連した正の重み係数であり, 1 または 2 の値をとる.

距離 $D(F)$ の値を最小にするような最適マッチング系列 F_{opt} は, 動的計画法^{(4)~(6)}を用いることにより見つけることができる. そして最適経路において得られた距離が小さいほど, 両信号は似ているとみなすことができる. ただし今回は, 低域通過信号および高域通過信号の距離を個別に計算・規格化し, 両者の和を評価値とした. 最終的には評価値に適切な閾値を設けることにより, 被験者 14 名の識別を試みた.

4・2 照合結果 例として, 被験者 A の標準信号と同者の入力信号の最適マッチング系列を図 9, 同標準信号と被験者 B の入力信号の最適マッチング系列を図 10 に示す. 本プロットでは, 時間軸の非線形伸縮なしに 2 系列の離散信号が対応付けられると, 右斜め上 45 度に点が結ばれる.

同一被験者信号の対応付けを表す図 9 では, 同図 (a) の低域通過信号, (b) の高域通過信号ともに 45 度の線分が多く現れており, 図 8 で述べた信号の類似性を改めて確認することができる. 一方, 異なる被験者間の信号を対応付けた図 10 では, 低域通過信号と高域通過信号ともに不連続なステップが現れ, 両者の非類似性を示唆している.

低域通過信号および高域通過信号それぞれについて, DP マッチングにより得られた規格化距離を表 1, 2 に示す. ここで規格化距離とは, ある被験者の入力信号について, すべての被験者の標準信号に対する距離 $D(F_{opt})$ を求め, その最小値で除すことにより規格化した量である. 同表では, ある被験者の入力信号に対する規格化距離の値を表中の列に示し, その最小値のセルの色を, 反転して表示してある. その結果, ほとんどすべての組合せについて, 同一被験者の場合の距離が最小となったが, 異なる被験者同士の距離が最小となる場合が低域通過信号に 1 組, 高域通過信号に 3 組現れた.

総合的な判定の試みとして, 低域通過信号 (表 1) と高域通過信号 (表 2) の値を単純に加算して得られる評価値を表 3 に示す. 同表の評価値に対して閾値を 2.20 とし, その値を下回るセルの色を反転して表示した. 結果として本実験においては, 本条件を満た

Fig.11 Array type sensor unit

すのは, 標準信号と入力信号が同一被験者の場合に限定されていることから, 本手法によって被験者 14 名全員を完全に識別できたことがわかる.

5. 摩擦認証のポテンシャル

以上の実験的検討により, 摩擦信号を生体情報として用いた摩擦認証は, 身体的特徴と行動的特徴を利用したバイオメトリクス認証法として, 十分条件を満たしていることを示した. また, すべり摩擦方向に力感知型センサを 2 枚配置することで, 行動的特徴を抽出できることが明らかになった.

既存のバイオメトリクス認証法の 1 つに声紋認証がある. 我々が発する声は, 個々の発音器官の振動音響学的特性に基づく身体的特徴を利用し, その上でしゃべり方という行動的特徴を利用している. すなわち両特徴を利用しているという点で, 摩擦認証と声紋認証には共通点がある.

しかし声紋認証が利用できる生体情報は, 1 系列の音声信号のみである. また音声の録音・再生による偽造に対して脆弱である点が問題視されている. 一方, 摩擦認証の場合には, 偽造困難な触覚情報を利用して, 力感知型センサの数を増やせば, その分だけ利用できる情報量が増加する.

例えば図 11 に示すように, 接触面内にアレイ化した縦 2 × 横 4 チャンネルの力感知型センサユニットを考える. センサを縦 (すべり摩擦方向) に配置すると, 行動的特徴を抽出できることは先に述べたとおりである. 一方, 横に配置した場合には, 図中 4 列のセンサは指紋の異なる場所を走査するので, それぞれ独立した身体的特徴を得ることができる. すなわち縦横のチャンネル数の適切な配分により, 身体的特徴と行動的特徴のバランス, 言い換えれば, 認証率と頑強性のバランスをとることができる. このようなセンサのアレイ化と, それにともなう照合アルゴリズムの開発が, 本研究の次の課題である.

6. おわりに

手指の摩擦信号を生体情報として利用する, バイオ

メトリクス認証の新たな手法を提案した。試作システムを用いた実験的検討により、次のことが明らかになった。

- (1) 手指の摩擦信号には、身体的特徴と行動的特徴の両者が含まれる。
- (2) 摩擦信号に及ぼす行動的特徴の影響は一意的でなく、こすり方によって、同一の手指でも複数の異なる信号が発生する。ただしそれぞれの信号には、十分な再現性がある。
- (3) 上記性質を有する手指の摩擦信号は、個人認証のための生体情報として利用可能である。
- (4) 手指の摩擦信号を利用したバイオメトリクス認証のための照合アルゴリズムとして、DP マッチ

ングは有効である。

文 献

- (1) 日本自動認識システム協会, これでわかったバイオメトリクス, (2001), オーム社.
- (2) 瀬戸洋一, サイバーセキュリティにおける生体認証技術, (2002), 共立出版.
- (3) J.D.Woodward, N.M.Orlans and P.T.Higgins, *Biometrics*, (2003), McGraw-Hill.
- (4) 上坂吉則・尾関和彦, パターン認識と学習のアルゴリズム, (1990), 文一総合出版.
- (5) 吉井貞熙, 音声情報処理, (1998), 森北出版.
- (6) 春日正男・船田哲男・林伸二・武田一哉, 音声情報処理, (2001), コロナ社.