LI-8

精度を制御可能なマルチモーダルバイオメトリクス認証

Accuracy Control for Multimodal Biometrics Authentication

高橋 健太† **三村 昌弘**† **磯部 義明**† **瀬戸 洋一**†
Kenta Takahashi Masahiro Mimura Yoshiaki Isobe Yoichi Seto

1．まえがき

パスワード等に替わる安全性の高い本人認証手段として生体認証への関心が高まっているが、本人拒否や心理的抵抗といった生体認証特有の問題のため、広範な普及には至っていない。利用者を拡大するためには、安全性を確保しつつ可用性や受容性を高めることが課題となる。

認証精度を高め安全性と可用性を向上する方法として、複数の生体認証を組合せるマルチモーダル生体認証が有効であるが、予め決められた複数の生体情報を入力しなければならないため、受容性や利便性の低下が問題となる。受容性の低下を防ぐためには、認証時に利用者が入力生体情報を自由に選択可能とすることが必要である。また利便性の低下を防ぐため、認証時に入力回数を固定せずに、十分な情報が得られた時点で認証処理を終了し、無駄な入力を省くことが望ましい。しかしこのような柔軟なインターフェースを持つマルチモーダル生体認証システムにおいては、認証精度が利用者の選択に依存してしまうため、選択方法に依らない安全性の確保が課題となる。

本稿では、利用者が逐次的に入力生体情報を選択可能とした上で、認証精度を定量的に制御可能なマルチモーダル生体認証システムを提案する。

2．従来技術

一般的なマルチモーダル生体認証システムの機能構成を図 1 に示す。照合サブシステムは、センサを介して取得した生体情報を、予め登録してある生体情報と照合する。融合判定機能は各照合結果を受け取り、生体情報の入力者が本人か他人かを判定する。

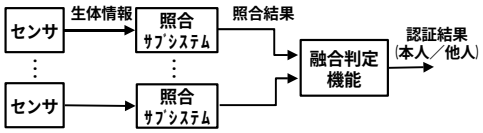

図１．マルチモーダル生体認証システムの機能構成

従来融合判定方式としては、照合結果として一致／不一致の二値をとり論理的に結合する方法や、照合結果として類似の度合いを示す値（類似度）をとり、多次元空間上で本人の類似度分布と他人の類似度分布の境界面を学習データから計算する方法[1,2]、ベイズ決定を用いる方法[3,4]などが提案されている。しかしこれらの融合判定に基づくマルチモーダル生体認証は、いずれも生体情報の組合わせと入力回数が認証開始時に決定していることを前提としており、無駄に多くの入力回数が要求される可能性がある。認証時に利用者が逐次的に入力生体情報を選択可能とし、入力回数を固定しないマルチモーダル生体認証の方式は十分研究されていない。

†（株）日立製作所　システム開発研究所

3．提案システム

3.1　機能構成

提案するマルチモーダル生体認証システムの機能構成を図２に示す。選択機能は利用者が選んだ入力生体情報に従って処理を分岐する。融合判定機能は照合結果を逐次的に受け取り、本人／他人／情報不十分を判定する。情報不十分の場合は生体情報の選択から繰り返す。１種類の生体情報を複数回選択することも許すが、入力生体情報は毎回異なるものとする（例：人差指の指紋と中指の指紋）。

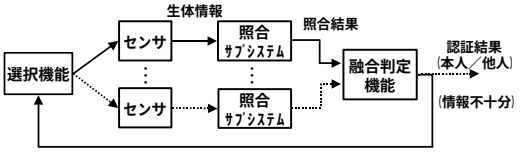

図２．提案システムの機能構成

3.2　融合判定方式

融合判定機能は、各サブシステムから照合結果を受け取る度に、本人らしさの評価値の計算を繰返し、あるしきい値αを超えた時点で本人、別のしきい値βを下回るか、入力回数がある値 N を越えた時点で他人と判定する（図３）。

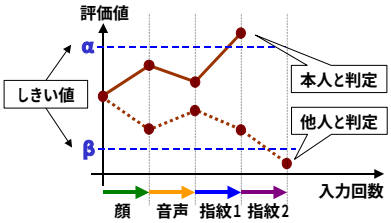

図３．融合判定のアプローチ

評価値としては、利用者が本人である確率（以下、本人確率）を用いる。通常、異なる生体情報は独立と考えてよいため[5]、融合判定機能が受け取った照合結果の列を $x_1, x_2, \cdots, x_n$ としたとき、本人確率はベイズの定理により以下の式で表される。

$$P(Gen \mid x_1, \cdots, x_n) = \frac{\prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid Gen)}{\prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid Gen) + \prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid Imp)}$$

ここで、本人及び他人の生体情報を照合した場合の x_i の生起確率頻度 $P(x_i|Gen)$、$P(x_i|Imp)$ は、照合サブシステムの精度に関する情報であり、既知とする。

3.2　精度の制御

認証目的に応じた安全性要件を達成する為には、FAR（False Acceptance Rate：他人受入率）を定量的に制御する必要がある。しかし本方式の認証精度は、利用者が選択した生体情報の組合せや順序（以下、入力パターン）に依存してしまう。そこで、他人を最も受け容れ易いパターンで入力したときの FAR（以下、最大 FAR）を、要求値（以下、要求 FAR）以下に制御することを考える。

最大 FAR を要求 FAR 以下とするαの計算方法としては、αを動かしながら最大 FAR を計算し、最適なしきい値を探索する方法が考えられるが、一般にαと入力パターンが

定まっても、FAR の計算には困難な積分が伴う。また入力パターンの総数はサブシステムの数および最大入力回数 N の増加と共に指数関数的に増加し、計算が困難になる。

そこで筆者らは本人確率と FAR の関係を考察し、要求 FAR（FAR_{Req}）に対しαを式(1) とすることで、最大 FAR が FAR_{Req}以下となることを明らかにした。

$$\alpha = \frac{1}{1 + FAR_{Req}} \quad \cdots\cdots(1)$$

以下これを証明する。照合結果の列を **x** で表し、対応する本人確率を $p(\mathbf{x})$とする。本人と他人が等確率で認証を行ったとき、照合サブシステムからの照合結果の出力列が **x** となる確率を $q(\mathbf{x})$とし、またこのとき本人と判定された利用者が実際に本人である確率を p_{fusion} とおくと、p_{fusion} は以下の式により計算される。

$$p_{fusion} = \frac{\int_R p(\mathbf{x})q(\mathbf{x})d\mathbf{x}}{\int_R q(\mathbf{x})d\mathbf{x}} \quad \cdots\cdots(2)$$

ただし積分領域 R は、融合判定機能により本人と判定される **x** の領域とする。この領域内において $p(\mathbf{x}) \geq \alpha$ となるため、式(2) の右辺は以下の不等式を満たす。

$$\frac{\int_R p(\mathbf{x})q(\mathbf{x})d\mathbf{x}}{\int_R q(\mathbf{x})d\mathbf{x}} \geq \frac{\int_R \alpha \cdot q(\mathbf{x})d\mathbf{x}}{\int_R q(\mathbf{x})d\mathbf{x}} = \alpha \quad \cdots\cdots(3)$$

一方 p_{fusion}は FAR、FRR（False Rejection Rate：他人受入率）を用いて以下の式で表せる。

$$p_{fusion} = \frac{1 - FRR}{1 - FRR + FAR} \quad \cdots\cdots(4)$$

従って式 (1) (2) (3) (4) より、以下が成立する。

$$\frac{1 - FRR}{1 - FRR + FAR} \geq \frac{1}{1 + FAR_{Req}} \quad \cdots\cdots(5)$$

ここで $FRR \geq 0$ より、以下が導出される。

$$FAR \leq FAR_{Req} \quad \cdots\cdots(6)$$

任意の入力パターンに関して以上の議論が成立するため、最大 FAR も要求 FAR 以下となる。（証明終わり）

なお入力回数が N を超えたときに本人と判定すれば、最大 FAR のかわりに最大 FRR を要求値以下に制御することができる。また十分多くの独立な生体情報が利用可能で、最大入力回数 N が十分大い場合、FAR と FRR は独立に制御可能となる。例えば要求 FAR を小さくしても、最大 FRR は要求値以下に留まり、かわりに平均入力回数が増加する。要求 FRR を変化させる場合も同様である。

4．実験と評価

提案方式の精度制御能力を、シミュレーションおよび実データを用いた実験により評価した。

4.1 実験方法

（１）シミュレーション

3.3 節で述べた最大 FAR の制御方法の理論的な正当性を検証するため、シミュレーションによる評価を行った。具体的には３つのサブシステム（照合精度を表１に示す）からなるマルチモーダル生体認証を考え、生体情報の独立性を仮定して全入力パターンに対する FAR を計算し、最大 FAR を求めた。複数の要求 FAR に対しこれを繰り返し、最大 FAR との関係を調べた。N=0、β=0 とした。

表1．シミュレーション実験におけるサブシステムの精度

照合サブシステム	A	B	C
本人が不一致となる確率	0.2	0.1	0.1
他人が一致する確率	0.1	0.05	0.01

（２）実データ

５人の被験者から、顔、音声、指紋の組を合計 254 組採取し、これを用いて評価を行った。各々の照合サブシステムの精度は表２の通りである。各生体情報は最大 1 回のみ選択可能とし、N=3、β=0 とした。

表2．実データに基づくサブシステムの精度

照合サブシステム	顔	音声	指紋
本人が不一致となる確率	0.18	0.094	0.0031
他人が一致する確率	0.13	0.081	0

4.2 評価結果

シミュレーションおよび実データを用いた実験によって得られた、要求 FAR に対する最大 FAR の関係を、図４に示す。両実験において常に最大 FAR は要求 FAR 以下となり、提案方式の精度制御能力を確認した。

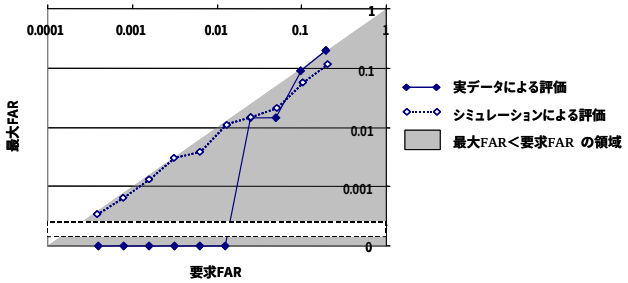

図４．実データに基づく評価結果

5．まとめ

入力生体情報を認証時に利用者が逐次的に選択可能なマルチモーダルバイオメトリクスシステムを提案した。またベイズ則に基づく本人らしさの事後確率と認証精度の関係を考察し、提案システムにおいて FAR を要求値以下に制御する方法を示した。これにより受容性、利便性が高く、かつ認証目的に応じて安全性を定量的に制御可能なマルチモーダル生体認証が実現可能となる。

また本方式は FAR と FRR を独立かつ定量的に制御できる可能性を持ち、従来の生体認証と比較して、安全性、可用性、利便性に関する自由度の高い制御が可能となる。

参考文献

[1]P.Verlinde, et.al. “Decision Fusion using a Multi-Linear Classifier”, in Proc. FUSION’98, vol.1, pp.47-53, 1998

[2] S.Ben-Yacoub, “Multi-Modal Data Fusion for Person Authentication using Support Vector Machine”, in Proc. 2nd AVBPA, 1999

[3]E.S.Bigun, et.al. “Expert consiliation for multi mordal person authentication systems by Bayesian statistics”, in Proc. 1st AVBPA, pp.327-334, 1997

[4]P.Verlinde, et.al. “Applying Bayes based classifiers for decision fusion in a multi-modal identity verification system”, in Int. Sym. “In Memoriam Pierre Devijver”, 1999

[5] 坂野, “バイオメトリクス個人認証技術の動向と課題”, 信学技法, PRMU99-29, 1999