

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18500129

研究課題名 (和文) 非接触型指紋照合センサとその照合アルゴリズムの開発

研究課題名 (英文) Contactless fingerprint image sensor and development of the verification algorithm

研究代表者

梅崎 太造 (UMEZAKI TAIZO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40193932

研究成果の概要：

まずはじめに、3波長合成LEDを指表面に照射した際の反射散乱光を利用して、非接触で指紋を撮影する装置を試作した。次に、非接触指紋センサーで採取した指紋画像は、接触型とは異なる特徴を持つため、従来とは異なる前処理(指紋の切り出しや強調など)手法を開発し、その有効性を示した。最後に、位置ずれや回転の影響を受けにくいフラクタル次元を用いた新しい照合法を提案し、従来手法との比較により本手法の有効性を検討した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	540,000	4,140,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：(1)指紋照合 (2)非接触 (3)スペクトル解析 (4)高輝度LED (5)ケプストラム

1. 研究開始当初の背景

これまでレーザー光を用いた非接触型センシング方法も研究レベルでは発表されているが、価格、システム規模の大きさ、焦点ぼけによる影響、指紋画像が光学式センサ(従来最も利用されてきた)より取得した画像と比べて低品質、などの要因で実用化には至っていない。そのため、市販化されている指紋照合装置は接触型のみであり、実用化を目指す非接触型センサ搭載の照合装置としては初めてのケースである。

フラクタル次元を利用した指紋照合アルゴリズムの開発は、国内外初の試みである。

2. 研究の目的

平成2年度より約15年間、各種接触型指紋読み取りセンサ(光学式、静電容量式、電界式、圧力式、熱式)を用いたときの指紋照合アルゴリズムの研究開発を行ってきた。その成果として、数社より前記アルゴリズムを組み込んだ指紋照合装置が販売されている。しかしながら、接触型センサを用いた指紋照合装置の場合、指をセンサに接触させる際の清潔性、残留指紋による影響、乾燥指による画像品質の劣化、シリコン樹脂等による不正コピー、位置ずれに弱い、などの問題があるため、高性能・小型・低価格な非接触型指紋読み取りセンサの開発が望まれている。本研究の

目的は、高輝度LEDによる非接触型指紋読み取りセンサの開発、および指紋画像のフラクタル次元を考慮した高精度な指紋照合アルゴリズムの開発を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 指紋照合アルゴリズムの開発

- ①指紋特徴点(中心位置にあたる)の自動検出アルゴリズムを開発する。
- ②指紋画像のフラクタル次元を用いた照合アルゴリズムを開発する。
- ③指紋画像をピラミッド構造に展開して照合するアルゴリズムを開発する。
- ④指紋領域の最適切り出しアルゴリズムを開発する。
- ⑤指紋の回転に対応するアルゴリズムを開発する。

(2) 評価実験

- ①(1)の各アルゴリズムに対する評価(照合)実験を行う。
- ②フラクタル次元を用いた照合アルゴリズムとピラミッド構造に展開して照合するアルゴリズムの違いについて考察する。
- ③これまで梅崎が研究開発してきた従来法(スペクトル解析に基づく照合法)との比較実験を行う。
- ④レーザー、多数LED(通常輝度)、高輝度LEDを光源に用いたときの比較を行う。

(3) 指紋読み取りセンサの開発

- ①高輝度LEDを用いた指紋読み取りセンサを2セット(梅崎と葛谷の研究室における指紋データ収集用)開発する。
- ②レーザーを光源とする非接触型指紋読取装置を1セット開発する。
- ③多数LEDを光源とする非接触型指紋読取装置を1セット開発する。

(4) 指紋読み取りセンサとパソコンとのインターフェイス回路を2セット開発

- ①まずは、アルゴリズムの開発を敏速に行えるようにするため、画像キャプチャーボード、光学実験用台座などの必要な実験器具を1セット用意する(梅崎実験用の器具を科研費にて購入する予定)。
- ②通常の平行・シリアルインターフェイスの場合とUSBインターフェイスを用いた場合の長所、欠点について検討する。
- ③センサとパソコン間をUSB接続できるインターフェイスを2セット開発する(できればUSB2規格に対応できるものを開発したいと考えている)。
- ④最適な拡散板(性能・価格・大きさなど)について検討する。

(5) 指紋データの収集

- ①一人当たり6指(両手の親指・人差し指・中指)の指紋を50人以下の条件で収集する。
 - (a)指表面に特にノイズを付けず協力的に指紋を入力する。
 - (b)指表面にボールペンもしくはマジックインキを付けた状態で協力的に入力する(ノイズ付加の実験)。
 - (c)指表面に水を付けた状態で協力的に入力する(ノイズ付加の実験)。

(d)意識的に指を傾けて入力する(回転付加の実験)。

(e)(a)~(d)の指紋データ収集を1月ごとに収集する(約6ヶ月間)。

これにより6(指)×50(人)×4(種類)×6(月)=7200個の評価実験用データベースを作成する。

(6) 非接触型指紋照合装置の試作

平成19年度に開発予定の指紋照合アルゴリズムを組み込んだFPGAチップ搭載の非接触型指紋照合装置(小型・安価・高性能な)を試作する。

(7) 研究総括

これまでの研究成果を整理し、特許化できるものは申請する(特許申請については最終年度の研究計画に上げたが、必要に応じて年度毎に行う予定である)。

(8) 研究報告書作成

最終年度報告書を作成する。

4. 研究成果

(1) 非接触型指紋入力装置の開発Ⅲ

現在、指紋入力装置には指をセンサに直接置く接触型方式が用いられているが、かすれ指紋、水濡れ指紋、残留指紋による認証率の低下、さらに清潔面の問題がある。これらの諸問題を改善するため、我々は、3波長合成LEDを指表面に照射した際の反射散乱光を利用して非接触で指紋を撮影する装置を試作した。高い認証率を得るには色の組み合わせと明るさが重要であり、LEDの発光色が緑&青、指紋画像の切り出し範囲256×256のとき、最高の認証率が得られた。

実験装置と方法

図1に指紋認証に用いた実験装置を示す。非接触型指紋入力装置はCCDカメラと3波長合成LEDからなり、CCDカメラで撮影した指紋画像をモニターで確認しながらキャプチャし、パソコンに保存する。指紋画像は、画像サイズ256×256の範囲に切り出し、指紋認証ソフト(UB-Rate)を用いて照合し、認証率を求める。

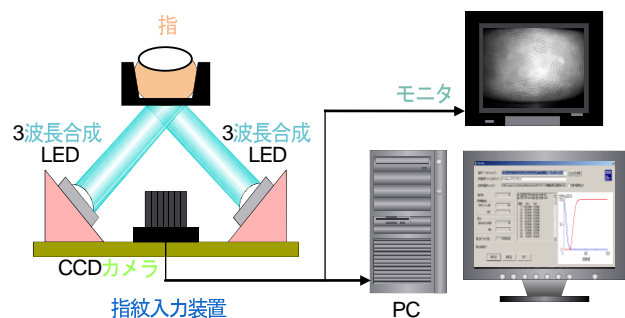


図1 実験装置

実験結果

最も高い認証率が得られた条件をさらに詳しく調べるため、LEDに流れる電流を変化させ、LEDの明るさによる認証率の違いを調べた。なお、LEDの明るさのみによる認証率の違いを求めるために、指を固定して指紋画像を撮影し、認証実験を行った。

電流による認証精度の変化の様子を図2に示す。

認証精度とは図3(b)に示すように、本人拒否率と他人受入率が共に0%のときの照合距離値である。この距離値

が大きいほど精度が高いことを表す。図2の結果より、認証精度はLEDに流れる電流値が上がるとともに高くなり、電流値15mA付近で最大となった。さらに電流値を上げると認証精度は低下した。LEDに流れる電流値を15mAに設定したとき、最も精度が高い認証率が得られた。

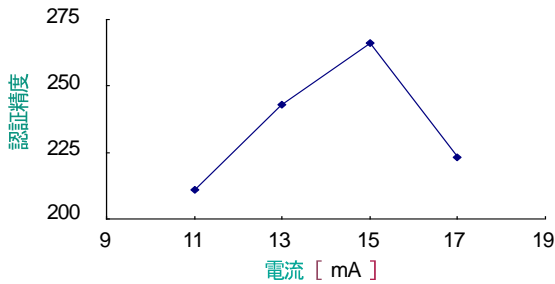


図2 電流による認識率の変化

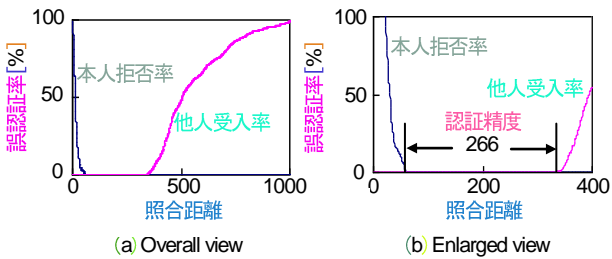


図3 15mAの電流における認識結果

(2)フラクタル次元を用いた指紋照合法

マニューシャ(指紋隆線の端点や分岐点)やスペクトル特徴を用いた照合法では、指紋入力時の位置ずれや回転の影響を受けやすく照合率の低下を招く。対象図形的位置ずれや回転の影響を受けにくいフラクタル次元を用いた新しい照合法を提案し、スペクトル特徴による手法との比較により本手法の有効性を検討した。

特徴抽出

フラクタル次元をボックスカウント法により求める。

<ボックスカウント法>

- 図4のように画像をボックスサイズ r のボックスで分割する。 $(r=1,2,\dots,10)$
- ボックス内の黒画素数 s がボックスの総画素数 $S(=r^2)$ に対して占有する割合 a により、ボックスをカウントする条件を次式により変更する。
- $$\begin{cases} a=0 & \text{のとき} & s \geq 1 \\ 0 < a \leq 1 & \text{のとき} & s \geq a \cdot S \end{cases} \quad (1)$$
- カウントされたボックスの総数 N とすると、ボックスサイズ r のときのカウント数 C_r を(2)式により求める。
$$C_r = \log(N \cdot r^2) \quad (2)$$
- x軸にボックスサイズ r の対数、y軸にカウント数 C をとるグラフの傾き A を最小二乗法により求める(図5)。フラクタル次元 D を(3)式より算出する。
$$D = 2.0 - A \quad (3)$$

<特徴抽出手順>

指紋画像は、入力ミスにより関節部分まで入力されることが多くあり、照合率に影響を及ぼす。そのため、指紋画像を適切な長さに切り出す処理を行う。

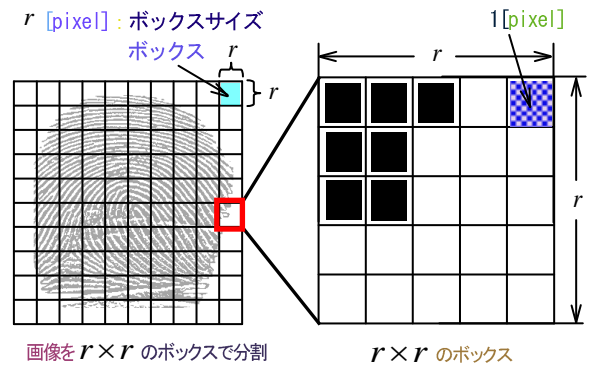


図4 ボックスカウント法

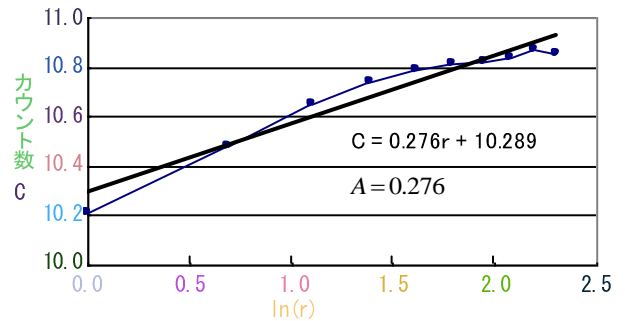


図5 傾き A を求めたグラフ

指紋のセグメンテーション後の画像に対して以下の手順により特徴を抽出する。

- 画像サイズ 280×280 [pixel]の正規化画像を作成する(図6)。
- 指紋の二値画像 g_0 を作成する(図7)。
- g_0 の画像をDaubechiesの4タップウェーブレットを用いて多重解像度解析して、画像サイズ 140×140 [pixel]の画像4枚を得る。それぞれの画像をスケール関数の画像 g_1 、垂直成分の画像 g_2 、水平成分の画像 g_3 、対角成分の画像 g_4 とする(図8)。
- 画像 g_i ($0 \leq i \leq 4$)に対してボックスカウント法を行う。ボックスサイズ r ($1 \leq r \leq 10$)のカウント数 C_{ir} を求める。50個の特徴パラメータを得る。



図6 正規化



図7 g_0

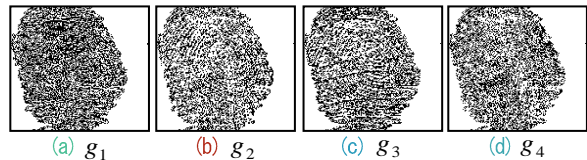


図8 多重解像度表現された画像

照合方法

40名分の指紋データの内、1名(本人)のデータ1個を登録パターン(R_1)、その他599個を未知入力パターン(T_1, T_2, \dots, T_{599})とする。登録パターンと未知入力パターンの距離 d を計算し、しきい値より小さいとき本人、大きいときを他人とする。

<距離 d の算出方法>

登録パターンのカウント数 RC_{ir} と未知パターンのカウント数 TC_{ir} の相関値 M より距離 d を求める。

$$d = 1.0 - M \quad (4)$$

$$M = \frac{\sum_{i=0}^4 \sum_{r=1}^{10} RC_{ir} \cdot TC_{ir}}{\sqrt{\sum_{i=0}^4 \sum_{r=1}^{10} RC_{ir}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^4 \sum_{r=1}^{10} TC_{ir}^2}} \quad (5)$$

実験

<フラクタル次元>

$a=0, 0.1, 0.25, 0.5$ と変更してボックスカウントを行う。ボックスサイズ r でカウントされたボックスを黒色で塗りつぶした画像についてフラクタル次元を求めた(図9)。

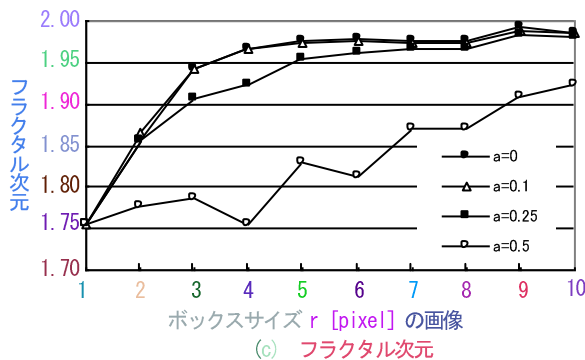
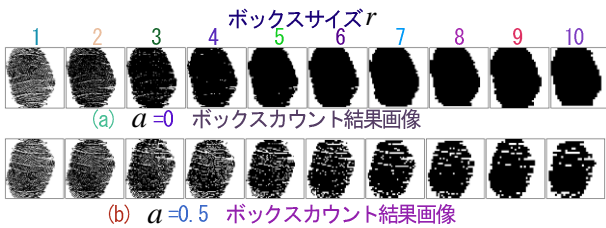


図9 カウントの結果画像とそのフラクタル次元

<照合実験>

カウントの条件を $a=0, 0.1, 0.25, 0.5$ と変更したボックスカウント法で以下の実験を行う。

実験1: すべての特徴量を使用した照合実験

実験2: ボックスサイズ r の特徴量を使用した照合実験

実験1, 実験2の結果を図10, 図11に示す。

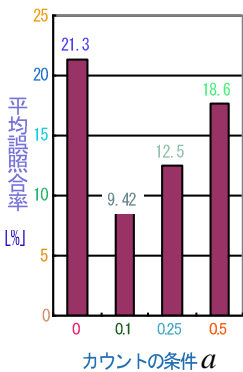


図10 実験1の結果

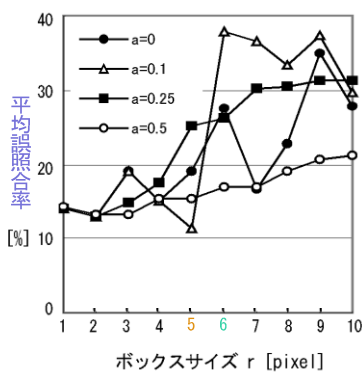


図11 実験2の結果

図9と図11より、フラクタル次元が大きくなると誤照合率が増加する傾向がある。

<LPC 指紋照合法との比較実験>

登録パターンは、回転させないで、未知パターンにつ

いては、特徴抽出を行う画像に対して回転させる。画像の回転角を $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ で照合実験をした結果を図12に示す。

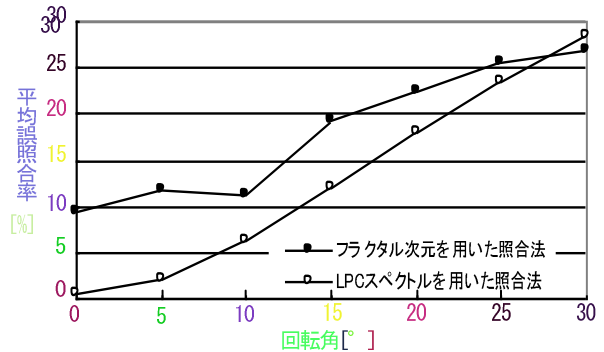


図12 回転指紋による影響

<特徴パラメータの検討>

指の概形の変化が大きい5[人]と変化が小さい5[人]のボックスカウント法のカウント数 C_{01} と C_{010} の相関関係を示したグラフを図13に示す。

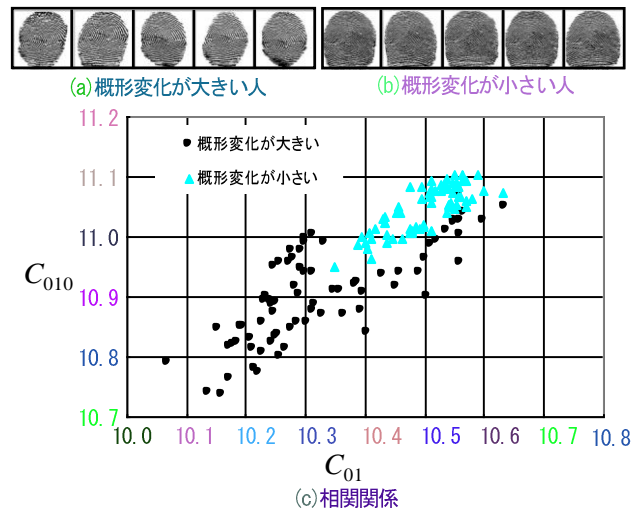


図13 指の概形による相関

むすび

フラクタル次元を用いた新しい照合法を提案し、本手法の有効性を検証した。ボックスカウント法のカウント条件が $a=0.1$ のときに平均誤照合率 9.42% が得られた。LPC スペクトルによる指紋照合法との比較では、角度 0° から 10° までの回転に対しては本手法の方が影響を受けにくいという結果を得た。また、ボックスカウント法で得られる特徴パラメータの相関関係を検討した結果、フラクタル次元が指の概形に影響されることが判明した。今後は、指紋の個性が隆線の微細構造に現れることを考慮に入れて、指の概形に影響されない指紋のコア領域のみからフラクタル特徴を抽出する方法を検討する予定である。

(3)非接触型指紋画像に適した前処理手法の開発

接触型で得られる指紋画像(図14-a)は、指を装置に押し付けるため歪むが、輝度値オフセット(平均輝度値)は均一である。指の乾燥により指紋画像が不鮮明になる(かすれ)、残留指紋(センサ部に残留する以前の指紋)が存在

するという問題がある。一方非接触型(図14-b)では、指の形状が平らではないため、部位により照明強度が変化して輝度値オフセットが均一でない。血流の影響により部位ごとに皮膚の輝度値が変化する、背景が写りこむという問題がある。

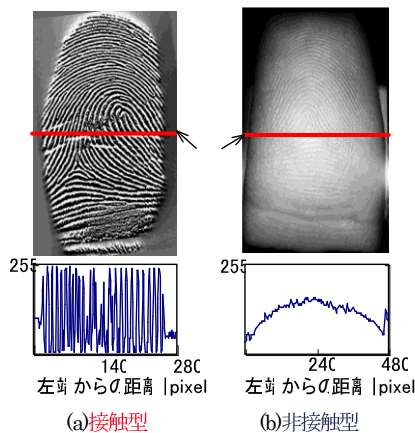


図14 各装置の指紋画像例

指紋認証の流れ

1)画像の前処理 特徴抽出の前に前処理として、切り出し、オフセット除去、エッジ抽出を施す(図15)。

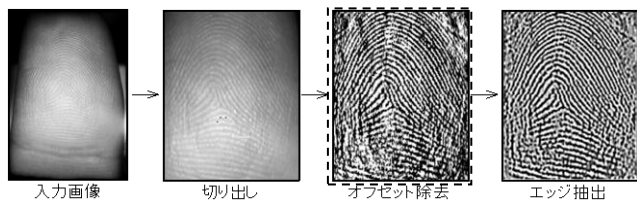


図15 前処理の流れ

2)特徴抽出 画像から横1ライン分の輝度値情報を取り出す。輝度値情報を音声の波形信号とみなしてLPCスペクトルに変換し、指紋のスペクトル情報を取得する。さらにLPCケブストラムに変換して、個人の特徴とする。

3)比較照合 登録画像と入力画像の距離を、端点フリーDPマッチングを用いて計算し、閾値より小さいときを本人、大きいときを他人とする。

画像データベースと実験法

グレースケールの指紋画像(169×258[pixel]、8bit階調)を取得する。左右の人差し指と中指を27人分、1指につき10枚取得した(計1080枚)。1指(本人)につき1枚を登録画像、その他9枚を入力画像とする(本人の組み合わせ数972通り、他人の組み合わせ数104004通り)。照合率は、本人を他人と誤認識した割合と、他人を本人と誤認識した割合が等しくなる閾値にて、本人を本人と正しく認識した割合とする。

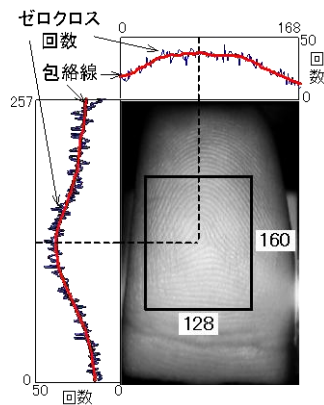


図16 中心点の検出

画像の前処理

1)切り出し

入力画像から指紋の中心点を検出し、これを中心に一定サイズ(128×160[pixel])で切り出す。中心付近の指紋は複雑であるため、ゼロクロス回数(1ラインのデータに移動平均処理して得た基準線とデータの交差回数)が多くなる。この特性を利用し、縦方向、横方向のゼロクロス回数の包絡線を求め、各々が最大となる位置を中心点とする(図16)。

2)オフセット除去

指紋画像から横1ラインの情報を取得して包絡線を算出しオフセットとする。データから包絡線成分を減じてオフセットを取り除く。包絡線の算出には、移動平均を用いる方法(手法1)とフーリエ変換を用いる方法を検討する。フーリエ変換を用いる方法では、空間周波数領域において*i*次成分以上の高周波成分を取り除き、逆フーリエ変換することで包絡線を算出する。高周波領域を単純に切断するフィルタ(式(6)、手法2)、線形に切断するフィルタ(式(7)、手法3)の2種類のフィルタによる切断法を検討する。上記3手法にて照合率を算出した結果、フーリエ変換を用いた11次成分までの線形に切断して求めた包絡線が最適であることが判明した。このときの包絡線の例を図17に示す。

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (0 \leq x \leq i) \\ 0 & (i < x \leq \pi) \end{cases} \quad (6)$$

$$f(x) = \begin{cases} -\frac{x}{i} + 1 & (0 \leq x \leq i) \\ 0 & (i < x \leq \pi) \end{cases} \quad (7)$$

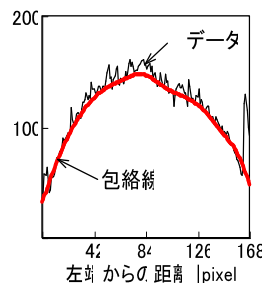


図17 包絡線の算出例



図18 血流による色変化

3)エッジ抽出 非接触型指紋入力装置から得られる指紋画像は、血流の影響により、部位ごとに皮膚の輝度値が変化する(図18)。画像にラプラシアンフィルタを掛けることで指紋の隆線を抽出した。この処理ではノイズ成分も強調されるため、平滑化処理を施した。

照合実験と考察

各前処理後の照合結果を表1に示す。

表1 照合結果

	切り出し	オフセット除去	エッジ抽出
照合率	92.4%	96.4%	98.1%

非接触型指紋入力装置を用いた個人認証法を提案した。指紋画像の前処理法について検討を行い、照合実験にて98.1%の照合率を得た。今後は、登録画像を複数枚にする

ことや、中心点の検出誤りを改善することにより、さらなる照合率向上を目指す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

- ① Hideyo Takeuchi, Masahiro Hoguro, Tatsuki Yoshimine, Taizo Umezaki : "Skin Diagnosis Algorithm for Analysis of Skin Images Captured from a Fingerprint Sensor", International Journal of Computer Applications in Technology 2009, Inderscience Publishers, vol. 34, No.4, pp. 335-342, (2009) 査読有
- ② 竹内英世, 保黒政大, 松本憲幸, 梅崎太造 : "指紋領域・輪郭情報を用いた指紋画像の回転補正法", 電気学会論文誌, Vol. 127-C, No.4, pp. 497-505, (2007) 査読有
- ③ Hideyo Takeuchi, Taizo Umezaki, Noriyuki Matsumoto, Katsumi Hirabayashi : "Evaluation of Low Quality Images and Imaging Enhancement Methods for Fingerprint Verification", John Wiley & Sons Inc, Electronics and Communication in Japan, Part III, Vol. 90, pp.40-53, (2007) 査読有

[学会発表](計4件)

- ① Hideyo Takeuchi, Masahiro Hoguro, Tatsuki Yoshimine, Taizo Umezaki : "Skin Diagnosis Algorithm for Analysis of Skin Images Captured from a Fingerprint Sensor", Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Applications, pp.789-794 (2008) 査読有
- ② 榎田智英, 葛谷幹夫, 梅崎太造 : "非接触型指紋入力装置の開発Ⅲ", 平成20年度電気関係学会, 東海支部連合大会, 講論集, P-014, 愛知県立大学, 2008年9月18日
- ③ 保黒政大, 安藤彰洋, 梅崎太造 : "擬似指紋画像の棄却に関する研究", 平成19年度電気関係学会, 東海支部連合大会, 2007年9月27日, 信州大学若里キャンパス
- ④ 榎田智英, 葛谷幹夫 : "非接触型指紋入力装置の開発Ⅱ", 平成19年度電気関係学会, 東海支部連合大会, 2007年9月28日, 信州大学若里キャンパス

[産業財産権]

○出願状況(計4件)

- 1) 名称 : ハイブリッド生体認証装置、ハイブリッド生体認証方法、ハイブリッド生体認証用コンピュータプログラムを記憶したコンピュータ読み取り可能な記憶媒体
発明者 : 吉嶺達樹, 松尾匡章, 保黒政大, 梅崎太造
権利者 : (株)DDS, 梅テック(有)
種類 : 特許権
番号 : PCT/JP2009/051479
出願年月日 : H21. 1. 19
国内外の別 : 国内・外国

- 2) 名称 : 非接触型指紋入力装置及び指紋照合装置
発明者 : 梅崎太造, 葛谷幹夫
権利者 : (株)ディー・ディー・エス, 梅テック(有), 中央発條(株), 葛谷幹夫

種類 : 特許権
番号 : 特願2006-188565
出願年月日 : H18. 7. 7
国内外の別 : 国内

- 3) 名称 : 指紋画像の回転角度算出装置、指紋画像回転装置、指紋照合装置、指紋画像の回転角度算出プログラム、指紋画像回転プログラム及び指紋照合プログラム

発明者 : 竹内英世, 保黒政大, 松本憲幸, 梅崎太造
権利者 : (株)ディー・ディー・エス, 梅テック(有), 中央発條(株)

種類 : 特許権
番号 : 特願2007-49694
出願年月日 : H19. 2. 28
国内外の別 : 国内

- 4) 名称 : 指紋画像の回転角度算出装置、指紋画像回転装置、指紋照合装置、指紋画像の回転角度算出プログラム、指紋画像回転プログラム及び指紋照合プログラム

発明者 : 竹内英世, 保黒政大, 松本憲幸, 梅崎太造
権利者 : (株)ディー・ディー・エス, 梅テック(有), 中央発條(株)

種類 : 特許権
番号 : 特願2007-49719
出願年月日 : H19. 2. 28
国内外の別 : 国内

○取得状況(計1件)

- 1) 名称 : 指紋照合装置、指紋照合方法及び指紋照合プログラム

発明者 : 梅崎太造, 三吉野健滋, 杉本龍彦, 石坂寿朗
権利者 : (株)ディー・ディー・エス, 梅テック(有)

種類 : 特許権
番号 : 日本国特許権4221220
取得年月日 : H20. 11. 21
国内外の別 : 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅崎 太造 (UMEZAKI TAIZO)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 40193932

(2) 研究分担者

葛谷 幹夫 (KUZUYA MIKIO)
中部大学・工学部・教授
研究者番号 : 40139994