

## 携帯情報端末のための局所輝度変化符号化法を用いた虹彩認証 Iris Recognition Using Local Luminance Variation for Personal Digital Assistant

國宗 高志<sup>†</sup>  
Takashi Kunimune

高野 博史<sup>†</sup>  
Hironobu Takano

中村 清美<sup>†</sup>  
Kiyomi Nakamura

### 1. はじめに

近年、携帯情報端末を利用した電子商取引等のサービスが急速に展開するに伴い、携帯情報端末の盗難・紛失時の悪用防止策として、利用者の本人認証の必要性が高まっている。本人認証の方法として、所有物による認証、パスワードによる認証、生体認証がある[1]。所有物による認証は、ICカード等を用いた認証方法であるが、盗難や偽造の危険性がある。パスワード認証は、利用者がパスワードをキー入力する認証方法であるが、パスワードの漏洩や忘却という危険性がある。それに対して、指紋や静脈、虹彩等を用いた生体認証は、利用者の身体的特徴を用いて個人の識別を行う方法であり、盗難や紛失、忘却等の危険がないため注目されている。生体認証の中でも特に虹彩認証は、認証精度が高い、非接触で認証が可能である、偽造が困難である等の利点がある。

虹彩認証は、カメラで撮影した目の画像から虹彩領域を検出し、虹彩模様から抽出した特徴量を用いて登録または認証が行われる。従来の虹彩認証アルゴリズム[2][3]では、認証時にカメラで撮影して得られた虹彩模様に回転変化が生じた場合、あらゆる回転方位でマッチングを行う必要があり、認識に時間がかかったり認識率が低下したりするという問題がある。それに対して、回転拡散型ニューラルネット(回転拡散ネット)[4]を用いた虹彩認証法[5]は、虹彩模様の回転方位を認識できるため、高速に回転変化を補正できる。したがって、カメラ搭載型の携帯情報端末を手で持って虹彩認証を行う状況では、認証時に撮影した画像には登録虹彩画像に対して回転変化が生じるため、本認証法が有効であると考えられる。しかし、回転拡散ネットは高い方位認識精度(方位認識誤差:  $0.46 \pm 2.88 [^\circ]$ )を有している[6]が、拡散パターンを用いた虹彩認識性能が他の手法に比べて劣るという結果になっている[7]。そこで、虹彩認識率を向上させるために局所輝度変化符号化法を提案する。この認識法は、虹彩の極座標変換画像における局所領域の相対的な輝度変化を特徴量として用いる方法である。

本論文では、拡散パターンを用いて虹彩認識を行う従来法と、局所輝度変化符号化法によって虹彩認識を行う提案法との認識精度の比較を行う。さらに、局所輝度変化符号化法を用いた虹彩認証法を携帯情報端末の個人認証システムに応用するために、アルゴリズムの高速化を行う。

### 2. 虹彩認証法の概要

本研究で提案する虹彩認証法は、回転拡散ネットで生成された拡散パターンを用いてベクトル合成法により虹彩画像の回転変化量を認識して方位補正し、その後、虹彩認識を行う。虹彩認証法の概要を図1に示す。虹彩認識には、

回転拡散ネットにより生成される拡散パターンを用いる方法(従来法)と、局所輝度変化符号化による方法(提案法)がある。

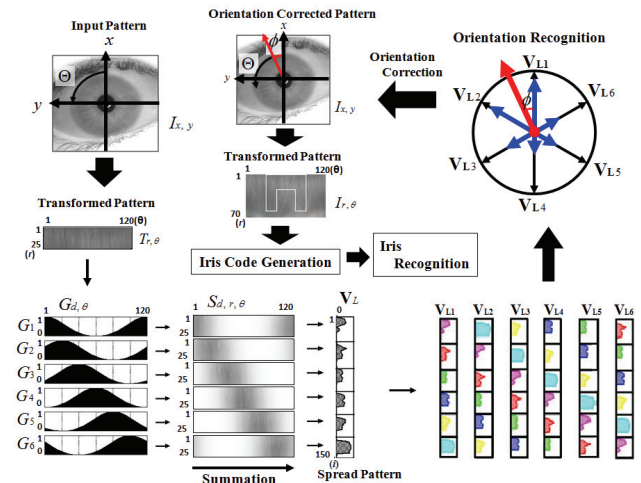


図1 提案する虹彩認証法の概要

#### 2.1 回転方位認識・補正法

回転拡散ネットを用いた方位認識では、極座標変換画像から拡散パターンを生成し、ベクトル合成法を用いて、認証時に撮影した画像と登録画像との回転変化量を認識する。以下に方位認識および方位補正の詳細について述べる。まず、虹彩模様の撮影を行い、瞳孔中心、瞳孔端、虹彩端を検出し、サイズの規格化を行う。虹彩模様は、IRパスフィルタを装着した近赤外カメラを用いて目に近赤外照明を照射しながら撮影する。次に、撮影画像の2値画像に対して片目部分テンプレート[8]を用いて瞳孔領域を検出した後、その周辺領域に対して黒画素の空間分布を作成し、黒画素分布のピークを瞳孔中心、黒画素数が閾値よりも少なくなる点を瞳孔端として検出する。虹彩端は、Prewittフィルタによりエッジ抽出を行い、累積エッジ強度が最大となる位置とする。サイズ規格化では、カメラより取得された画像から瞳孔中心を基準として  $300 \times 300$  pixels の画像を切り出し、瞳孔半径が 25 pixels、虹彩半径が 100 pixels になるように画像の拡大・縮小を行う。次に、サイズ規格化を行った画像に対して極座標変換を施す。極座標変換では、瞳孔中心を基準として、半径 30 pixels から 55 pixels の間の 25 pixels を 25 分割し、角度を  $3^\circ$  ごとに 120 分割することで、 $25 \times 120$  pixels の変換画像を生成する。この際、画素値の誤差を軽減するため、 $25 \times 120$  に分割された原画像上の各領域を更に  $3 \times 3$  に分割し、9個の格子点における各画素値をそれぞれ近傍の4点の画素値を用いて線形補間法により求め、9個の画素値を平均することにより極座標変換画像の各画素値とする。次に、極座標変換画像に対して、ガウス関数で表わされる6方位の拡散ウェイトを掛け合わせ、

<sup>†</sup> 富山県立大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

$\theta$  方向に加算することによって、6 個のブロックから成る登録拡散パターン  $\mathbf{V}_L$  を生成する。さらに、この拡散パターンの 6 個のブロックをそれぞれ 1 ブロックずつシフトすることによって、6 方位の登録拡散パターン  $\mathbf{V}_{L_i}$  ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) を得る。認証時は、各方位の登録拡散パターン  $\mathbf{V}_{L_i}$  と認証拡散パターン  $\mathbf{V}_R$  を掛け合わせて合成することで回転変化量を認識する。そして、認識方位  $\phi$  だけ極座標変換の開始位置を移動することで方位補正を行う。

## 2.2 虹彩認識方法

虹彩認識法には、拡散パターンを用いる虹彩認識と、局所輝度変化符号化法によって得られたコードを用いる虹彩認識がある。以下に、各虹彩認識法について述べる。

### 2.2.1 拡散パターンを用いる虹彩認識

拡散パターンを用いる虹彩認識では、回転方位補正を行った後、拡散パターン  $\mathbf{V}_R$  と方位  $0^\circ$  の登録パターン  $\mathbf{V}_L$  とのユークリッド距離を式 (1) により求め、閾値処理により個人の判別を行う。距離  $d$  は 0 から 2 の間の値であり、0 に近いほど本人との類似度が高い。

$$d = \|\mathbf{V}_R - \mathbf{V}_L\| \quad (1)$$

### 2.2.2 局所輝度変化符号化による虹彩認識

局所輝度変化符号化法は、極座標変換画像における局所領域の相対的な画素値変化をコード化し、登録コードとの類似度を求めることで虹彩認識を行う。まず、認識方位を基準として、コード化領域に対して極座標変換を施す。図 2 に示すように、コード化領域はまぶたやまつ毛の影響を受けにくい領域として設定した。ここで、 $r$  方向は 1 pixel、 $\theta$  方向は  $3^\circ$  ごとに変換を行う。次に、コード化領域の極座標変換画像に対して、 $4 \times 4$  pixels の局所領域の画素値平均を式 (2) および式 (3) により求める。ここで、 $I_{r,\theta}$  は  $(r,\theta)$  における画素値、 $L_m$  は各  $4 \times 4$  pixels 領域の画素値平均である。さらに、式 (4) により各  $4 \times 4$  pixels 領域に含まれる画素値の標準偏差  $\sigma_m$  を算出する。次に、 $2 \times 2$  pixels の局所領域の画素値平均を、式 (5) および式 (6) を用いて求める。ここで、 $S_n, \dots, S_{n+3}$  は各  $2 \times 2$  pixels 領域の画素値平均である。

$$I_{R,\Theta} = \sum_{r=4(R-1)+1}^{4(R-1)+4} \left( \sum_{\theta=4(\Theta-1)+1}^{4(\Theta-1)+34} I_{r,\theta} \right) \quad (2)$$

$$L_m = \frac{I_{R,\Theta}}{4 \times 4} \quad (3)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{r=4(R-1)+1}^{4(R-1)+4} \sum_{\theta=4(\Theta-1)+1}^{4(\Theta-1)+34} (I_{r,\theta} - L_m)^2}{4 \times 4}} \quad (4)$$

$$S_{i,j}^{R,\Theta} = \sum_{r=4(R-1)+2(i-1)+1}^{4(R-1)+2(i-1)+2} \sum_{\theta=4(\Theta-1)+2(j-1)+1}^{4(\Theta-1)+2(j-1)+32} I_{r,\theta} \quad (5)$$

$$S_n = \frac{S_{1,1}^{R,\Theta}}{2 \times 2}, S_{n+1} = \frac{S_{1,2}^{R,\Theta}}{2 \times 2}, S_{n+2} = \frac{S_{2,1}^{R,\Theta}}{2 \times 2}, S_{n+3} = \frac{S_{2,2}^{R,\Theta}}{2 \times 2} \quad (6)$$

$$\Theta = \begin{cases} 1, \dots, 15 & (R=1, \dots, 6) \\ 1, \dots, 4, 12, \dots, 15 & (R=7, \dots, 15) \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} 15(R-1) + \Theta & (R=1, \dots, 6) \\ 15 \times 6 + 8(R-7) + \Theta' & (R=7, \dots, 15) \end{cases}$$

$$(i, j = 1, 2)$$

$$n = \begin{cases} 4 \times 15(R-1) + 4(\Theta-1) + 1 & (R=1, \dots, 6) \\ 4 \times 15 \times 6 + 4 \times 8(R-7) + 4(\Theta'-1) + 1 & (R=7, \dots, 15) \end{cases}$$

$$\Theta' = \begin{cases} 1, \dots, 4 & (\Theta=1, \dots, 4) \\ 5, \dots, 8 & (\Theta=12, \dots, 15) \end{cases}$$

虹彩模様の特徴を抽出するコード化は、式 (7) を用いて行う。 $2 \times 2$  pixels 領域の画素値平均が、「 $4 \times 4$  pixels 領域の画素値平均 +  $\beta \times$  標準偏差」より大きければ 1、「 $4 \times 4$  pixels 領域の画素値平均 -  $\beta \times$  標準偏差」より小さければ -1、それ以外は 0 にコード化する。ここで、 $\beta$  は 1 か -1 にコード化される割合を調整するための係数である。また、図 3 (イ) のような cosine 成分の輝度変化があった場合、領域 (a) ~ (d) のいずれも 0 にコード化され、特長が抽出されないという問題がある。そこで、図 3 (ロ) に示すように  $\theta$  方向に 1 pixel ずらすことで、虹彩模様の特徴をコード化することができる。図 4 に示すように本虹彩認識法では、 $\theta$  方向に 1 pixel ずらした領域 (b)、 $r$  方向に 1 pixel ずらした領域 (c)、 $r$  と  $\theta$  の両方向に 1 pixel ずつずらした領域 (d) においても同様にコード化を行うことで sine 成分および cosine 成分への対応を行い、これら 4 つの領域のコードを認識に用いる。

$$C_j = \begin{cases} 1 & (S_j > L_i + \beta\sigma_i) \\ 0 & (L_i - \beta\sigma_i \leq S_j \leq L_i + \beta\sigma_i) \\ -1 & (S_j < L_i - \beta\sigma_i) \end{cases} \quad (7)$$

$$(i = 1, \dots, 162)$$

$$(j = 4(i-1) + k)$$

$$(k = 1, \dots, 4)$$

虹彩模様を認識する際は、式 (8) を用いて登録コードとのマッチングを行う。ここで、コード化を行った 4 つの領域における全情報量は 2592 bits である。また、 $LC_i$  は登録時に得られるコード、 $RC_i$  は認証時に得られるコードとする。距離  $D$  は 0 から 2 の間の値であり、0 に近いほど本人との類似度が高い。なお、局所輝度変化符号化による虹彩認識法は虹彩模様の回転変化に対して  $3^\circ$  程度しか許容しないため、認識方位を基準に  $\pm 5^\circ$  の範囲を  $1^\circ$  ごとに方位補正を行うことで距離  $D$  を求め、最も短い距離を用いて閾値処理により認証を行う。

$$D = \frac{1}{2592} \sum_{i=1}^{2592} |LC_i - RC_i| \quad (8)$$

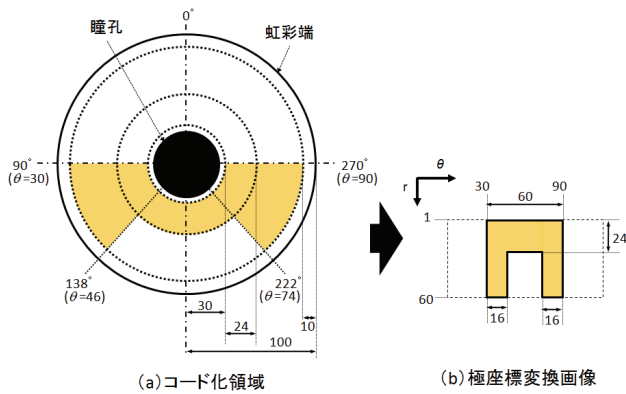


図2 コード化領域の極座標変換

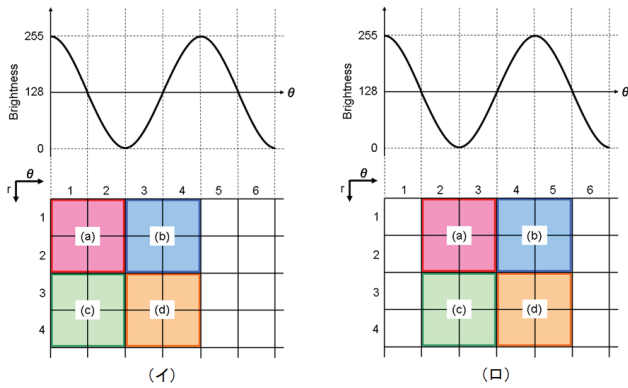


図3 cosine成分への対応

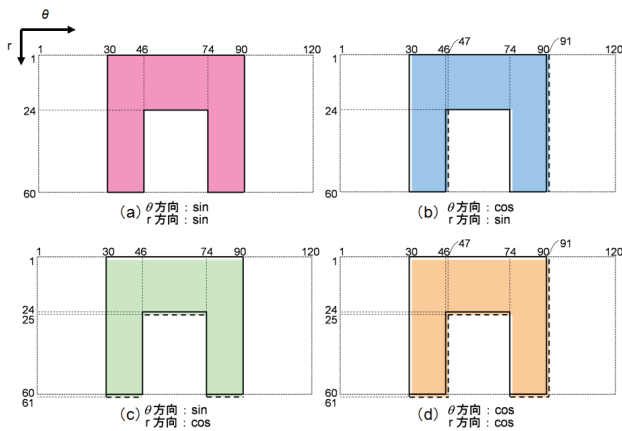


図4 コード化を行う4領域

### 3. 局所輝度変化符号化法における虹彩認識精度

局所輝度変化符号化法における虹彩認識精度の調査を行い、拡散パターンによる虹彩認識との比較を行った。実験における認証精度の評価基準として、他人受入率と本人拒否率が同率となる EER (等誤り率) を用いた。EER は低いほど頑強なセキュリティシステムであり、0% のとき本人と他人を完全に判別することができる。実験にはカメラに対して正面を向いた状態で撮影された 20 人分の登録画像および認証画像の 2 種類の虹彩画像を用いて、提案法と従来法の認証精度を求めた。1 人分の登録画像に対し 20 人分の認証画像で認証を行い、登録する画像を入れ替えることにより、本人 20 試行、他人 380 試行の結果が得られた。局所輝度変化符号化法と拡散パターンによる実験結果をそ

れぞれ図 5, 6 に示す。図 5 に示す結果より、局所輝度変化符号化法を用いた虹彩認証法における EER は、コード距離が 0.65 から 0.7 の間で 0% となった。ここで、1 かー1 にコード化される割合を調節する  $\sigma$  の係数  $\beta$  を 1/3 とした。また、図 6 より拡散パターンを用いた場合の虹彩認識精度は、判定閾値を 0.32 とした時、EER が 0.8% であった。以上の結果から、提案手法を用いることで認識精度が大幅に向上した。また、提案手法では EER が 0% となり、本人と他人を完全に識別することができた。

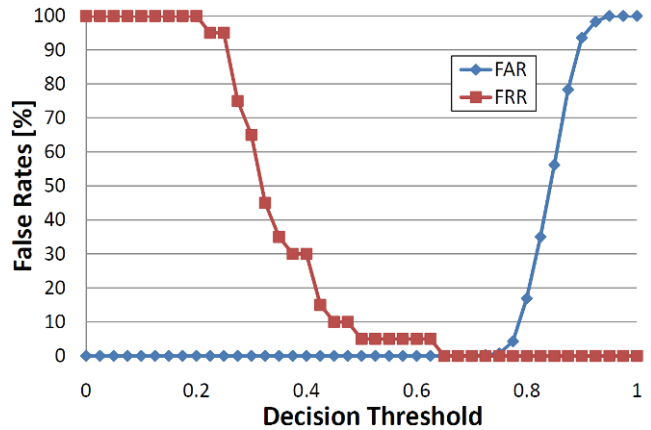


図5 局所輝度変化符号化法を用いた虹彩認識精度

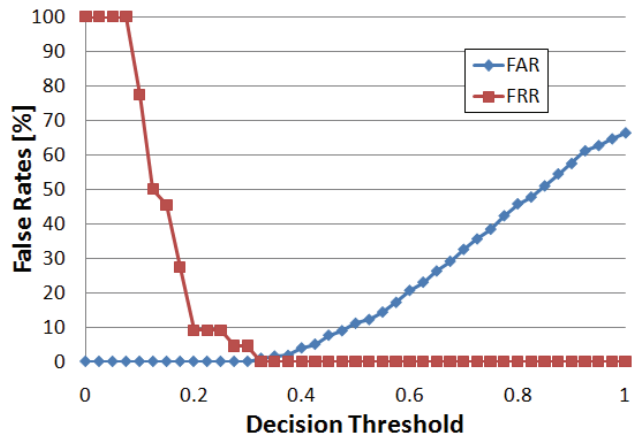


図6 拡散パターンを用いた虹彩認識精度

### 4. アルゴリズムの高速化

局所輝度変化符号化法による虹彩認識アルゴリズムの携帯情報端末上での実行時間を調査するため、携帯情報端末開発プラットフォームである Sophia Systems 社の Sandgate III-P に本認識アルゴリズムを用いた虹彩認証ソフトウェアを実装した。そして、あらかじめ虹彩画像取得用のカメラで撮影して得られた虹彩画像を Sandgate III-P 上に移動し、その画像を用いて登録および認証に要する時間を計測した。携帯情報端末に搭載される CPU は、近年の PC と比べて処理能力が劣る。Sandgate III-P に搭載される CPU の動作周波数は 624MHz である。Sandgate III-P における本虹彩認証アルゴリズムの実行時間を表 1 に示す。コード化の際の極座標変換は 1 方位あたり 0.990 秒、コード生成は 1 方位あたり 0.334 秒を要した。認証時は、 $\pm 5^\circ$  の範囲を  $1^\circ$  ごとに 11 方位についてコード化処理を行うため、それぞれ 11 倍の時間を要することになる。また、画像読み込みから

登録までが 2.734 秒, 画像読み込みから認証までが 17.12 秒であった. 実行時間の計測により, 極座標変換と認証時の方位補正処理に多くの時間を要していることが分かった. そこで, それぞれについてアルゴリズムの高速化を図った. 以下に, 極座標変換処理の高速化方法と, 虹彩認識時の方位補正方法の変更について詳しく述べる.

表 1 各処理における実行時間

	実行時間 [sec]
虹彩画像読み込み	0.045
極座標変換(拡散パターン生成用)	1.099
拡散パターン生成	0.055
極座標変換(コード化領域)	0.990 (× 11)
コード生成	0.334 (× 11)
登録	2.734
認証	17.12

#### 4.1 極座標変換処理の高速化

極座標変換を行う際,  $\theta$  方向の分解能は事前に設定しているため, 処理を高速化するために極座標変換に用いる正弦関数のテーブル化を行った. また, 極座標変換によって生じる画素値の変換誤差を軽減するため,  $r$  方向および  $\theta$  方向に分割された原画像上の領域をさらに  $3 \times 3$  に分割して, 9 個の格子点における画素値を線形補間によってそれぞれ求め, 9 個の画素値を平均して極座標の各画素値としている. しかし, 極座標画像の 1 画素あたり 9 点の演算を行うため, 処理に多くの時間を要する. そこで, 1 個の格子点における画素値のみを線形補間によって求めて極座標画像の 1 画素とすることで, 極座標変換の高速化を図った.

#### 4.2 局所輝度変化符号化法の高速化

局所輝度変化符号化による虹彩認識法は, 回転変化に対する許容範囲が狭いため, コード化領域の極座標変換とコード化を 11 回繰り返すことで回転方位補正の微調整を行っている. しかし, 回転拡散ネットの方位認識精度が  $0.46 \pm 2.88 [^\circ]$  であることや, 本虹彩認識法の回転変化に対する許容範囲が  $\pm 3^\circ$  程度であることから, 方位補正の間隔を  $3^\circ$  程度としても認証精度は低下しないと考えられる. そこで, 極座標変換画像の  $\theta$  方向の分解能が  $3^\circ$  であることを利用して, 回転方位補正の微調整を  $\pm 6^\circ$  の範囲で  $3^\circ$  ごとに行うことで, 必要な極座標変換の回数を 1 回とし高速化を図った. まず, 図 7 に示すように極座標変換の領域を拡張する. なお, 図中に示す領域は, cosine 成分への対応を考慮した領域であるため, 図 2 に示すコード化領域とは若干異なる. 次に, 各補正角度においてコード化を行う. この際, コードが重複する範囲での計算を省略することで高速化を行った. コード化領域の重複例を図 8 に示す. コード化は,  $4 \times 4$  pixels からなる局所領域の画素値平均と, その領域を 4 分割した  $2 \times 2$  pixels の局所領域における画素値平均の大小関係により行うため, 図 8 (a) に示す領域と同図 (b) に示す領域のように  $\theta$  方向に 4 pixels ( $12^\circ$ ) ずれた領域では多くの部分のコードが重複する. したがって, 重複領域のコード化処理を省略することが可能である. ま

た, 図 8 (c) に示すように, 基準方位に対して  $-3^\circ$  で方位補正を行う際のコード化領域は,  $-6^\circ$  で方位補正を行う際の  $\theta$  方向の cosine 成分 ( $\theta$  方向に 1 pixel シフト) に対応する領域と一致する. このように, 共通領域に対しては, 1 回だけコード化を行い共用することで計算量を削減し高速化を行った. 高速化前は, コード化領域の極座標変換を 11 方位に対して行いコード化することで, 28512 コード (2592 コード  $\times$  11 方位) を生成していた. これに対して, 以上に示したような処理の削減を行うことにより, 必要となるコード数を高速化前の約 1/5 となる 5568 コード (648 コード  $\times$  8 領域 + 重複しない領域 384 コード) とすることができると, 大幅に処理時間の短縮ができる.

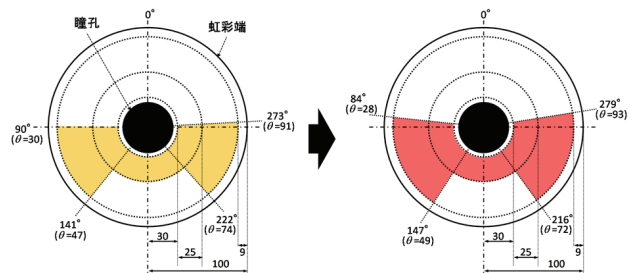
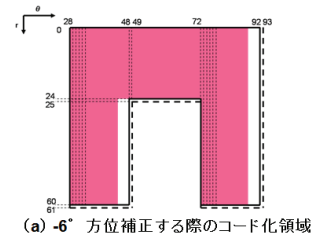
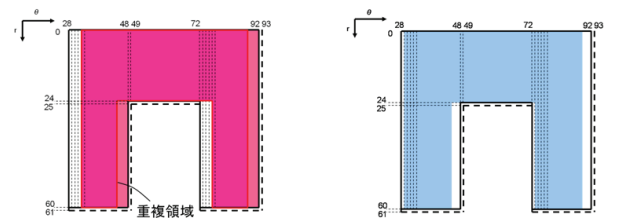


図 7 極座標変換領域の拡張



(a)  $-6^\circ$  方位補正の際のコード化領域



(b)  $6^\circ$  方位補正の際のコード化領域 (c)  $-3^\circ$  方位補正の際のコード化領域

図 8 重複するコード化領域

### 5. 高速化による影響

前節で述べたアルゴリズムの高速化による実行時間および認証精度への影響を調査した.

#### 5.1 実行時間の変化

高速化を行った虹彩認証アルゴリズムを Sandgate III-P に実装し, 実行時間の計測を行った. 表 2 に, 高速化前と高速化後の実行時間を示す. 表 2 より, 極座標変換に要する時間が大幅に短縮された. さらに, コード生成に要する時間は, コード数の削減量に比例して約 1/5 倍となり, 理論通りに高速化された. また, 登録全体に要する時間は 2.7 秒から 0.7 秒, 認証全体に要する時間は 17.1 秒から 1.1 秒に短縮され, 携帯情報端末を用いても実用的な認識時間に抑えることが可能となった.

表2 各処理の実行時間の比較

	高速化前 [sec]	高速化後 [sec]
極座標変換(拡散パターン)	1.099	0.035
極座標変換(コード化領域)	0.99 (×11)	0.039
コード生成(方位補正あり)	0.334 (×11)	0.721
登録	2.734	0.716
認証	17.12	1.134

## 5.2 認証精度への影響

次に、アルゴリズムの高速化によって生じる認証精度への影響を調査した。実験における認証精度の評価基準にはEER（等誤り率）を用いた。実験では、3章で述べた認証精度の評価実験と同様に、20人分の登録画像および認証画像を用いて高速化後の認証精度を求めた。図9に高速化前と高速化後の実験結果の比較を示す。同図において、高速化前を破線、高速化後を実線で表わしている。この結果より、高速化前と比べてFAR（他人受入率）とFRR（本人拒否率）が特定の閾値で上昇しているが、判定閾値が0.65から0.7の間でEERがともに0%となっており、高速化による認証精度への影響はほとんどないと考えられる。

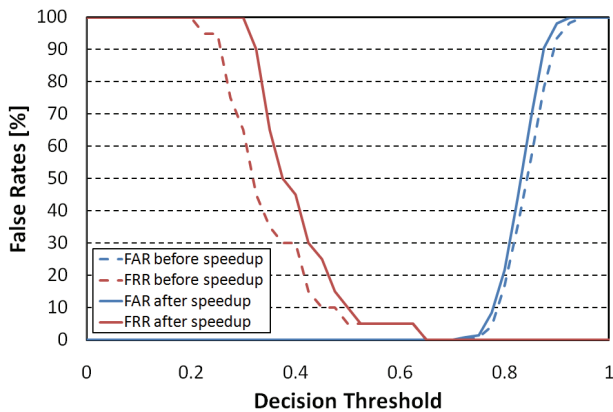


図9 高速化前と高速化後の虹彩認証精度

## 6. おわりに

本研究では、局所輝度変化符号化法を提案した。そして、拡散パターンを用いた虹彩認識法との認識精度の比較を行うことで、高い虹彩認識性能を示した。また、携帯情報端末を用いた虹彩認証システムを実現するために、局所輝度変化符号化法を用いた回転拡散ネットによる虹彩認証アルゴリズムをSandgate III-P上に実装し、高速化を行った。高速化により、Sandgate III-P上での実行時間は、実用的な実行時間まで短縮された。また、高速化による認証精度の低下は見られず、本研究における高速化アルゴリズムが有用であることを示した。

虹彩認証は一般に、角膜による反射光の影響を無くすため近赤外光領域で撮影が行われる。しかし、携帯情報端末に搭載されるカメラは可視光領域の撮影を目的としているため、可視光領域での鮮明な虹彩模様の抽出方法を検討する必要がある。

## 参考文献

- [1]日本自動認識システム協会編，これでわかったバイオメトリクス，オーム社，2001.
- [2]J. Daugman, "How Iris Recognition Works", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.14, No.1, pp.21-30, 2004.
- [3]R. P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceedings of the IEEE, Vol.85, No.9, 1997.
- [4]吉川 忠孝, 中村清実, "回転拡散型ニューラルネットの認識性能と内部パラメータ設定法の検討", 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J83-D-II, No.5, pp.1332-1343, 2000.
- [5]H. Takano, H. Kobayashi, and K. Nakamura, "Rotation Invariant Iris Recognition Method Adaptive to Ambient Lighting Variation", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E90-D, No.6, pp.955-962, 2007.
- [6]H. Takano and K. Nakamura, "Rotation Independent Iris Recognition by the Rotation Spreading Neural Network", Proc. ISCE2009, pp.651-654, 2009.
- [7]國宗 高志, 高野 博史, 中村 清実, "携帯情報端末のための回転拡散ネットによる虹彩認証", 第8回情報科学技術フォーラム, Vol.3, pp.163-164, 2009.
- [8]S. Miyazaki, H. Takano, and K. Nakamura, "Suitable Checkpoints of Features Surrounding the Eye for Eye Tracking Using Template Matching", Proc. SICE Annual Conference 2007, pp.356-360, 2007.