

外乱光に対応した高速・高精度顔認証センサ

High-Speed High-Precision Face Recognition Sensor Unaffected by Ambient Light

河原 英喜* · 広野 淳之* · 中元 栄次* · 遠藤 淳平* · 森 康洋*
Hideki Kawahara Atsuyuki Hirono Eiji Nakamoto Junpei Endo Yasuhiro Mori

変調光同期検波方式による外乱光の影響を受けにくい顔認証システムにおいて、認証対象となる顔情報の変化による影響を大幅に軽減する独自の顔向き推定テンプレート自動生成処理とめがね・前髪検出フィルタ処理アルゴリズムを開発するとともに、これを処理する並列処理構成の回路を開発したことにより、汎用 PC を必要としないコンパクトで利便性に優れた顔認証センサを実現した。

これにより、従来方式に比べて認証精度が約 2 倍に向上し、認証処理時間 0.3 秒を実現している。

In the face recognition system based on the light modulation detection method for minimizing the effects of external light, a compact face recognition sensor has been developed by creating an algorithm for automatically generating a face angle estimation template for substantially reducing the effects of face information variations along with an eyeglass and forelock detection and filtering algorithm made into hardware.

The compact sensor provides approximately twice the recognition accuracy compared to the previous method and recognition processing time of 0.3 sec without requiring a general-purpose PC.

1. ま え が き

近年、わが国では個人情報保護法や J-SOX 法などの法規制にみられるように企業の社会的責任が増大しており、個人情報等の重要情報の漏洩リスクを軽減するため、重要情報への物理的なアクセスを厳格に管理するニーズが高まっている。また住宅への侵入犯罪やキャッシュカードの不正使用などの防止等、個人レベルにおいても自分自身の財産や情報を守ることができるセキュリティ製品へのニーズは強い。バイオメトリクス（生体認証）は、その人固有の生体情報を使って個人を特定する方法であることから、①偽造カードなどによる不正なアクセスを防止できる、②カードやタグなどを持つことなく認証できる、などの特徴から注目が集まっている¹⁾。

現在、指紋、顔、静脈、および虹彩などを対象とするさまざまな生体認証製品が実用化されている。このなかで、顔認証は非接触で離れた場所から認証できるため利便性に優れ、子供、老人、病人などにも使いやすい方法として注目されている。しかし、明るさや顔向きの変動などの影響を受けやすいという問題があり、とくに太陽光を主とする外乱光の影響は顔認証普及の大きな妨げとなっていた²⁾。こ

の問題に対して筆者らは、外乱光の影響を排除した安定な画像が得られる新たな画像入力センサ（以下、アクティブ画像センサと記す）を開発し、顔画像入力装置として有用であることをすでに報告している³⁾。

今回開発した顔認証システムは従来のシステムと同様に、アクティブ画像センサからの入力画像とあらかじめデータベースに登録されている顔画像の特徴などを示すデータとを比較することにより、その人物が登録者であるか非登録者であるかを判断し、たとえばゲートの開閉などの制御に使用するものである。

従来、このような制御では一般にソフトウェアを用いた処理のため、①高度なアルゴリズム処理や登録人数が多数になると処理時間が長くなる、②従来処理方式では顔の向きやめがね、前髪といった顔情報の変化により、登録者を誤って拒否してしまうという問題があった。

そこで筆者らは、これらの変化に強い認証アルゴリズムを考案し、認証処理をハードウェアで構成した認証装置を開発した。これにより、利用者の負担を軽減するとともに、PC やサーバを必要とせず、単独で使用することができる。本稿では利便性を向上させるロバストで高速な顔認証処理技術について述べる。

* 情報機器事業本部 情報機器 R & D センター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

2. 顔認証処理

2.1 顔認証処理概要

顔認証処理のフローを図1に示す。これは、アクティブ画像センサからの入力画像中に顔が存在するか否かを判断して概略の顔位置を決定する粗顔（あらがお）検出処理と、概略の顔位置情報に基づいて本人か他人かを判断する顔認証処理とで構成される。

粗顔検出処理では、一般化ハフ変換を用いて検出対象の顔の位置、大きさ、回転角を検出する。一般化ハフ変換に用いるテンプレート顔画像は、検出対象となる性別や年齢の範囲を網羅した複数枚の顔画像から作成している。

顔認証処理では、検出された顔の情報を基に、事前に登録されているテンプレート顔画像と入力された顔画像とのパターンマッチングを行って本人かどうかを判別する。

以下に処理の詳細について述べる。

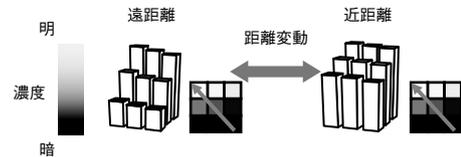
2.2 ロバスト顔認証アルゴリズム

顔認証の利便性を決定する項目として顔認証処理のロバスト性が挙げられる。ロバスト性を評価する項目としては、周囲の明るさの変動と認証する人の顔情報の変化が挙げられる。明るさの変動に対してはアクティブ画像センサを使用することによりロバスト性を確保できているが、認証する人の顔情報の変化に関しては顔認証アルゴリズムで対応する必要がある。認証する人の顔状態が変化する要因としては、めがねの有無、髪型、立位置、顔向きがあり、これらの変化への対応について以下に述べる。

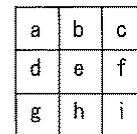
2.2.1 立ち位置変動への対応

認証時に顔を撮影するアクティブ画像センサが出力する画像は、外乱光（太陽光や照明光）の影響を受けない³⁾。しかし、これに内蔵されたLEDから近赤外線光を照射して対象物体で反射した光の強度は、アクティブ画像センサと対象物体との距離によって変化する。このため、アクティブ画像センサに近づき過ぎると顔全体が明るくなり、離れると顔は全体的に暗くなる（図2(c)）。

しかし、この場合でも顔表面の相対的な明暗関係は変化しない（図2(a)）ことから画像の明暗情報を用いるのではなく、画像の明暗が変化する方向を用いて一連の画像処理を行う手法を開発した。この明暗の変化する方向で構成されている画像を濃度勾配方向画像と称し、これによる認証処理の流れを以下に示す。



(a) 投影距離と相対的な明暗関係



(b) 式(1)と式(2)の対応画素

	遠い場合	近い場合
濃淡画像		
濃度勾配方向画像		

(c) 投影距離と濃淡画像、濃度勾配方向画像との関係

図2 濃度勾配方向画像

アクティブ画像センサが出力した濃淡画像に対してソール微分処理を行い、 dx （横）方向の明暗（濃度）変化量、および dy （縦）方向の明暗変化量を式(1)、式(2)から算出する。

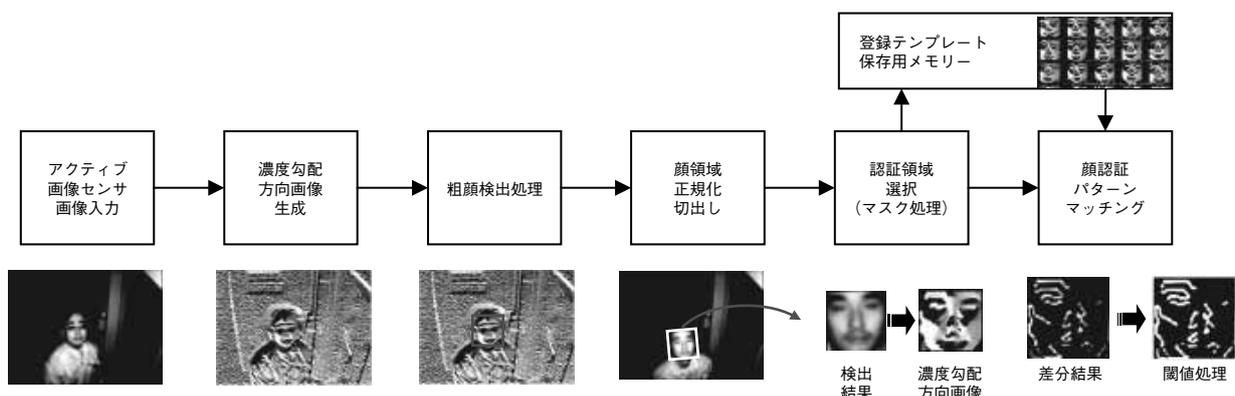


図1 顔認証処理の全体フロー

$$dx = (c + 2f + i) - (a + 2d + g) \quad (1)$$

$$dy = (g + 2h + i) - (a + 2b + c) \quad (2)$$

ここで、 $a \sim i$ は縦3画素×横3画素の各画素の濃度を表す(図2(b))。

次に、 $\theta = \tan^{-1}(dy/dx)$ によって明暗が変化する方向を求める。なお、関数 \tan^{-1} は -90 度から 90 度の範囲しか定義されていないため、 dx および dy の正負の符号を用いて 360 度表現に変換した濃度勾配方向値を求める。

さらに、各画素の値を濃度勾配方向値に置き換えた濃度勾配方向画像を作成し(図2(c))、この画像間でのパターンマッチング処理により顔認証処理を行う。

2.2.2 顔向き変動への対応

顔認証処理はパターンマッチング処理により行っているため、認証する人の顔の向きが登録しているテンプレートに対して3次元的に異なる場合、相関値が大きく低下する。そこで、テンプレート登録時にあらかじめ顔向き変動を想定したテンプレートを複数作成し、これらすべてのテンプレートと認証処理を行い、もっとも相関値が高いテンプレートの結果を閾値と比較することにより本人と他人の識別を行っている(図3)。

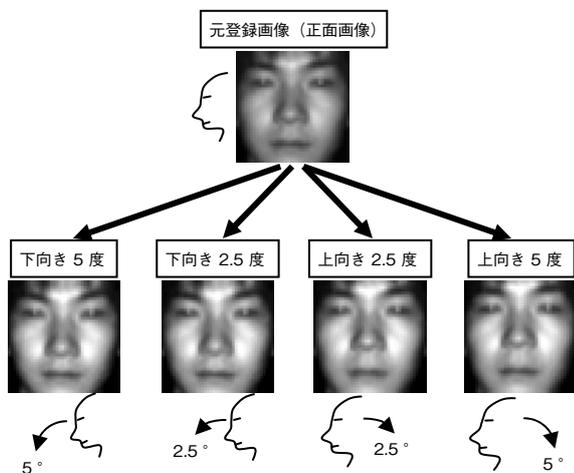


図3 向き変形処理後の追加テンプレート例

2.2.3 めがねの有無や髪型変化への対応

めがねを掛けていない人が掛けるなど、めがねや髪型などがあらかじめ登録している顔画像と異なる場合、一致度が低下して本人と認証できない可能性が高くなる。そこで、これらの変動部分を除外するマスク処理により対策を行う。この処理は一般的に用いられる微分強度の大きさを用いるのではなく、新たに考案した角度差分フィルタを用いて作成する。

角度差分フィルタ処理は濃度勾配方向の変動が大きい部分を抽出する処理であり、その処理フローを図4に示す。

任意の画素について、その周辺の画素との濃度勾配方向

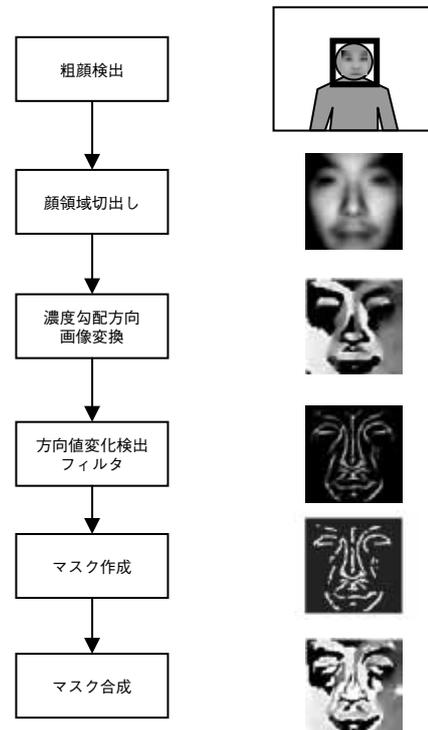


図4 角度差分マスクの生成処理フロー

の角度差を算出し、この総和をその画素の角度差分フィルタの値とする。この角度差分フィルタの値に対して閾値処理を行いマスク領域を設定する。

角度差分フィルタを使うことにより微分強度によるマスクでは抽出が難しい局所的な変化も容易に抽出することができ、前髪やめがねのフレーム部分のマスクが可能となる。

以上の処理により、認証する人の顔情報の変化に対してもロバストな認証処理を実現している。

2.3 顔認証処理の高速化

顔認証システムの使いやすさを決定する評価項目として認証処理時間の長さがある。従来のシステムではPCを使って認証処理を行っていたため処理に時間が掛かっていたが、開発した顔認証システムではアルゴリズムおよびハードウェア処理の両面から対策を行い高速化を図っている。

2.3.1 対称フィルタ処理

認証処理にパターンマッチング処理を用いた場合、あらかじめ登録されている顔のテンプレート画像と認証対象の顔画像のサイズ、回転角、位置が正確に合わなければ一致度が低くなってしまい、認証精度に大きな影響を及ぼす。

一方、粗顔検出処理は水平・垂直の位置精度、回転精度が粗いため、検出された結果をそのまま使うと探索範囲が広くなり、認証処理時間が長くなる(図5)。

そこで、認証精度を確保しながらこの顔認証処理時間を短縮するため、顔領域の回転角度を詳細に検出することでマッチングの回数を減らす方法として対称フィルタ処理を

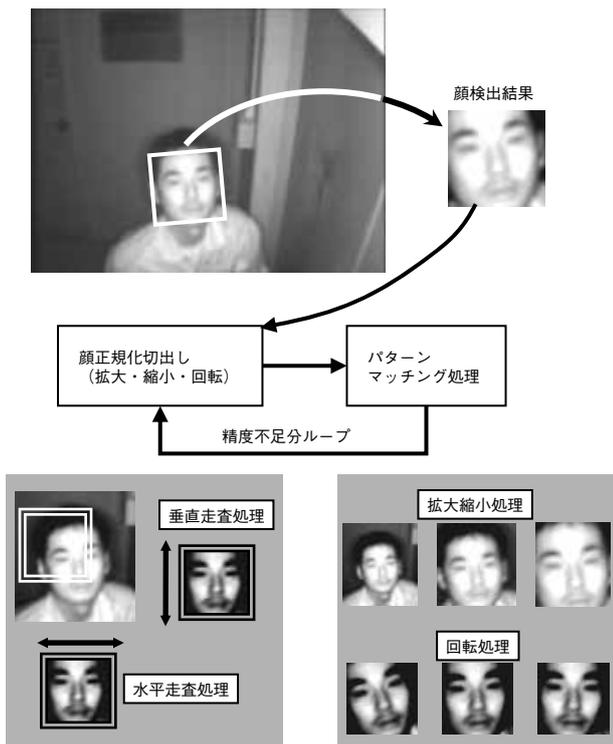


図5 顔検出処理

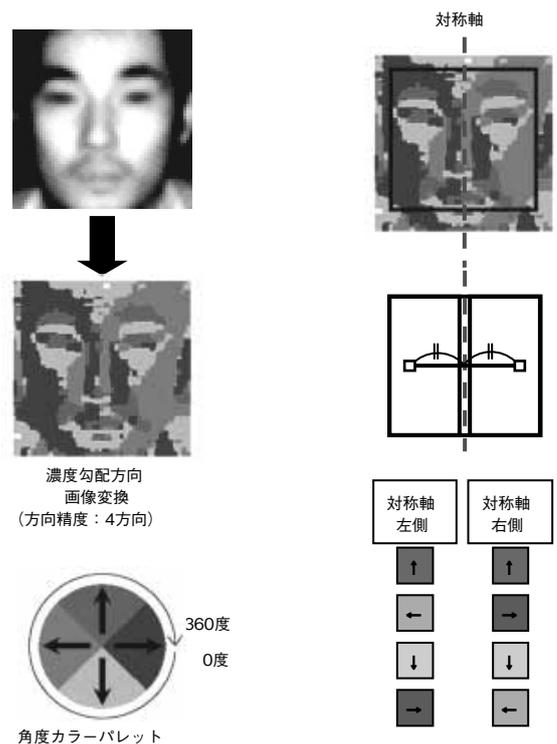


図6 対称フィルタ処理

考案した。これは顔が左右対称なことに注目し、顔領域の水平中心位置、回転角を検出する処理である。

この処理はまず、粗顔検出結果に基づいて顔領域を切り出して正規化を行う。次に、切り出した画像に対して垂線(対称軸)を設定し、この対称軸に対して等距離にある画素の濃度勾配方向値が対称となっている数を積算して対称フィルタの値とするものである(図6)。

この処理を切出しの回転角を変化させた画像群に対して行い、対称フィルタの値がもっとも大きい回転角を顔の回転角とする。

回転角が決定した後、粗顔検出で精度が不足している水平方向の範囲に対しても同様に対称フィルタ処理を行い、対称フィルタの値がもっとも大きくなった位置を水平方向の中心として設定する。対称フィルタの処理の結果例を図7に示す。

この処理により水平方向の位置精度は±1画素、回転精度は±1°とすることができ、パターンマッチング回数を1/50にまで削減し、顔認証処理時間を短縮している。

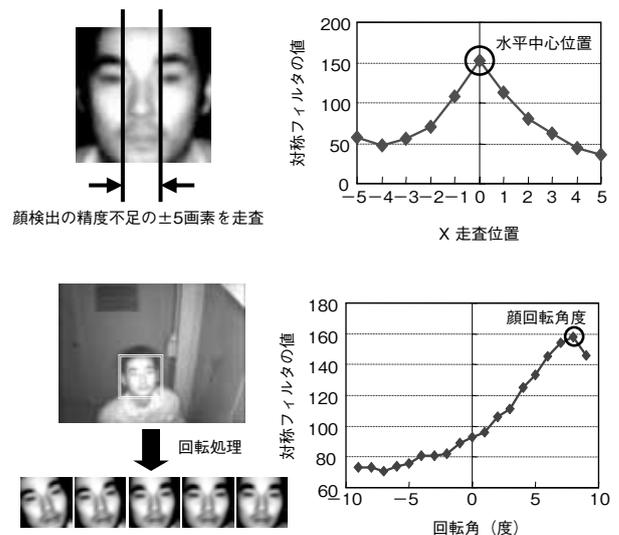


図7 対称フィルタ処理結果例

2.3.2 パターンマッチングの並列処理

前述の対称フィルタにより水平方向の位置と回転角の精度が向上するが、垂直位置については顔の個人差が存在して顔領域の詳細検出が困難であるため、並列処理構成のハードウェア処理回路による高速化を行っている。

図8に並列処理のブロック図を示す。この処理はテンプレートデータ1列分の画像データおよび認証対象データの垂直走査範囲の画像データを読み込み、シフトレジスタ構成で保持する。ここで、各レジスタにパターンマッチング処理回路を接続し、一列分のパターンマッチング処理を1クロックで処理可能としている。このような構成とするこ

とにより、テンプレート側のシフトレジスタを1画素分シフトさせるたびに1画素走査させたパターンマッチング結果を出力できることから走査処理時に重複する画素をメモリから読み込む処理を省略することが可能となり、大幅な高速化を達成している。

前述の対称フィルタ処理とこの並列パターンマッチング処理により目標の認証処理時間0.3秒を実現している。

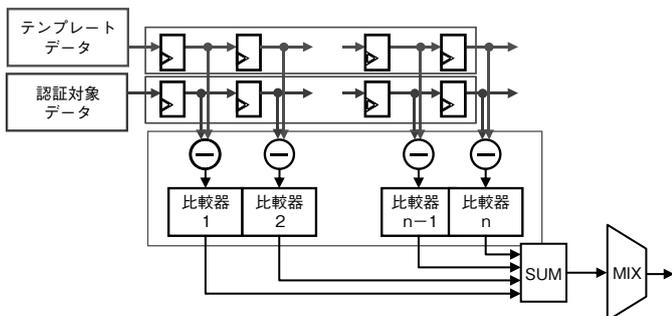


図8 並列パターンマッチング処理

2.4 認証評価結果

開発した認証アルゴリズムによる顔認証の性能を評価するために実験を行う。実験はアクティブ画像センサで撮影した被験者320人について、顔向きや立位置の変動、めがねの有無や前髪の変化などの多様な条件における顔画像データを用い、認証精度を従来方式と開発方式とで比較する。表1にその評価結果を示す。開発した方式はめがねなどの変動要因を含まない標準条件では他人受入率（FAR）1%に対し、本人拒否率（FRR）は0%、各種変動要因を含む条件でのFRRは1%となり、従来方式と比べて大幅に性能が向上していることがわかる。

表1 カテゴリーごとの評価結果 (FRR)

	標準	顔向き 立位置変動	めがね有無 前髪変化
従来方式	0.9 %	1.5 %	12.9 %
開発方式	0 %	0.65 %	1.0 %

3. 顔認証システムの概要

図9にスタンドアロンモードの構成例を示す。また、表2に開発した顔認証システムの仕様を示す。



図9 スタンドアロンモード

表2 顔認証システムの仕様

項目	仕様
認証距離	50~100 cm
照合時間 (1:1認証)	0.3秒以下
登録可能人数	最大 3000人
使用周囲照度	0~10万 lx

これには認証処理を行うことにくわえてシステム全体として次のような特徴がある。

- (1) 認証行為を行ったときの顔画像を履歴情報としてセンサ本体内に記憶し、かつシステムに接続した管理用PC等に情報を送信・保存することができる。
- (2) 「1:1照合」、「1:N照合」の二つの方式に対応し、設置場所の運用状況に合わせたセキュリティー性と利便性のバランスを確保できる。

「1:1照合」は、ID入力用テンキーからID番号を入力し、アクティブ画像センサで撮像する認証対象者の顔画像とID番号に対応する登録画像とを照合するという方式であり、ID番号入力と顔認証を両方使うことによりセキュリティー性を高め、重要室などセキュリティー性が要求されるような場所への運用に対応する。

一方「1:N照合」は、前述のID番号を使用せずアクティブ画像センサで撮像した認証対象者の顔画像がデータベース内のいずれかの登録画像と一致するかを照合する方式で、ID番号の入力が不要であるため、ユーザビリティが高く、子供、老人、病人などに適した方法といえる。

また、セキュリティー性と利便性を両立したい場合には、非接触カードリーダーと組み合わせることによって、ポケット等にある非接触カードやアクティブタグでID番号を認識して煩わしいテンキー操作をせずにセキュリティー性の高い「1:1照合」を行うことも可能としている。

さらに、内蔵の熱線センサ（図10）により人がセンサの付近に近づいたとき以外はアクティブ画像センサと認証処理部がスリープ状態になり、待機電力を抑える工夫も行っている。

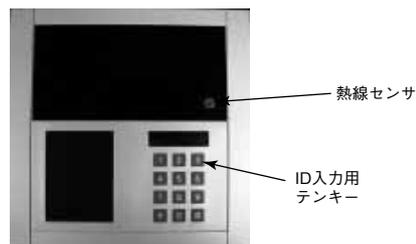


図10 熱線センサとID入力用テンキー

4. あとがき

変調光同期検波方式による外乱光の影響を受けにくい顔認証システムにおいて、認証対象の顔向きやめがね等の影響を大幅に軽減する独自の認証アルゴリズムを開発するとともに、これを処理する並列処理構成の回路を開発したことにより、汎用 PC を必要としないコンパクトで利便性に優れた顔認証センサを実現した。

これにより、従来方式に比べて認証精度が約 2 倍に向上し、認証処理時間 0.3 秒を実現した。

今後は、動きのある人物の顔でも高精度に認証できるように開発を進めていきたい。

*参考文献

- 1) 2008 セキュリティ関連市場の将来展望, 株式会社富士経済 (2008)
- 2) 鷲見 和彦: 顔のバイオメトリクス, 計測と制御, 第 43 巻, 第 7 号, 計測自動制御学会, p. 554-557 (2004)
- 3) 河原 英喜, 広野 淳之, 中元 栄次, 萩尾 健一: 光変調アクティブカメラによる屋外対応顔認証システム, 松下電工技報, Vol. 55, No. 1, p. 49-53 (2007)

◆執筆者紹介



河原 英喜

情報機器 R & D センター



広野 淳之

情報機器 R & D センター



中元 栄次

情報機器 R & D センター



遠藤 淳平

情報機器 R & D センター



森 康洋

情報機器 R & D センター