

セグメント自己適合型テンプレートによる顔検出の検討 (2) ～ 横顔の検出 ～

廉田 浩[†] 若谷 彰良[‡]

[†]九州大学大学院芸術工学研究院 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

[‡]甲南大学理工学部 〒658-8501 神戸市東灘区岡本 8-9-1

E-mail: [†] kadota@design.kyushu-u.ac.jp [‡] wakatani@konan-u.ac.jp

あらまし 横顔を含む被検査画像中の顔をテンプレートマッチングにより検出する手法の検討を行う。顔部品を含むセグメントに分かれた顔テンプレートを作成し、これと被検査画像双方に対して二次元 Harr-like 変換の特徴抽出を行い、相関強度と顔検出率および検出正誤率との関係の評価する。顔テンプレート集合は、正面向き 左右 45° 左右 90° の 5 方向を作成する。テンプレート枚数を減らし処理時間を短縮するため、テンプレート集合のグルーピングを行い、各グループ代表を選ぶことで元の約 1/4 のコンパクト集合を生成する。これを使って各方向単独の検出特性と、5 方向を統合したテンプレートによる検出特性と顔の向きの識別特性を測定する。各方向単独の検出特性では、正面向き、左右 45° に関しては適切な閾値を設定すれば比較的高い顔検出率と低い誤検出率が実現できるが、左右 90° ではこの特性が劣っている。また、顔の向きの識別に関しては、1～数%の誤り率の範囲で識別可能である。処理時間の更なる短縮や総合的な顔検出系の性能についても議論する。

キーワード 顔検出, 横顔の検出, テンプレートマッチング, Harr-like 変換

A Study of Face-Detection Methods by Using Self-Adaptive Segmented Template Matching (2) ～ Profile Detection ～

Hiroshi KADOTA[†] and Akiyoshi WAKATANI[‡]

[†] Faculty of Design, Kyushu University Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815-8540 Japan

[‡] Faculty of Science and Engineering, Konan University Okamoto, Higashinada-ku Kobe, 658-8501 Japan

E-mail: [†] kadota@design.kyushu-u.ac.jp [‡] wakatani@konan-u.ac.jp,

Abstract Template-matching methods to detect the faces, frontal and profile, within images have been studied. Two-dimensional Harr-like transform is performed to extract the features on the segmented templates and the images under test, then their correlation is computed. According to the face-pose condition: frontal, profile +/-45, profile +/-90, five directional template sets are prepared. To reduce the number of templates and the processing time, we have introduced a template-grouping procedure and decreased the number of the templates to a quarter of its original by choosing a few representative templates for each group and making compact template sets. The rates of misdetection of faces and detection errors have been measured by using each directional template set, and the total detection rate and characteristics of face-pose discrimination have been also measured by using the total-unified template set. The face-detection rates are good, if the threshold level is suitably set, except for the profile +/-90 cases. The total performance of the unified template detection system and the characteristics of face-pose discrimination are fare with error rates under few percents. Further reduction of processing time for face detection by this scheme is also discussed.

Keyword Face Detection, Profile-Detection, Template-Matching, Harr-like Transform

1. まえがき

監視カメラやロボット視覚での特定個人の識別・追跡などのオブジェクト認識応用では、最初に不特定多数の人物が写った映像中で顔位置を検出し、次に検出位置で更に詳しく個人識別を行う。この前段処理である顔検出処理については、従来から非常に多くの手法が研究されてきているが[1], [2], 特に Ada-Boost 手法[3]では、顔の要素を分解しその相対位置に多少の自由度を許容し顔向き変化に対してもある程度ロバストで実用的な検出が可能になっている。

しかし、顔検出で有効な手法の多くは、後段の識別処理では有効性が必ずしも確認されていないので、後段では異なったアルゴリズムを使用して処理をおこなうことになる。また、顔検出・識別で提案されている多くの手法では事前の学習が極めて重要で作業時間も大きい。識別応用の場合特にこの事前準備の多さが問題になることもある。

以上のことを考慮して我々は、特に後段の識別での事前の準備作業が比較的少ないと考えられるテンプレートマッチング手法を前後段通して採用し、検出・識別性能（正答率と処理速度）や事前準備作業の評価を行い実用的なシステムの構築を目指している。

また、テンプレートマッチング手法の一般的な課題として従来から言われている処理量の多さに関しては、サンプリング処理によりある程度の軽減を図り、最終的には専用の並列処理プロセッサを開発して大幅な高速化を図ることを検討している。これにより将来的にはリアルタイム応用にも適応可能と考えている。

我々は前回、正面向きの顔テンプレートによる顔検出特性の評価について報告したが[4]、本稿では、更に横顔のテンプレートを追加した場合の検出特性評価について報告する。マッチングは前回同様、何れも二次元 Harr フィルタ処理（輪郭抽出処理）を行ったテンプレート画像と被検査画像との相関により評価する。

次節以降では、全体処理フローを示した後、テンプレートのセグメント構成とそのグルーピングによるテンプレート枚数の圧縮を説明し、次に検出実験結果を示し、正面向きの場合と比較し横顔検出の特徴を分析する。最後に、リアルタイム顔検出・識別システムを構成するために必要なマッチング処理専用ハードウェアエンジンの性能についても議論する。

2. 全体の処理フローとテンプレート生成

今回は、複数の人物が写った被検査画像の中で水平方向で正面向き顔と横向き (45° , 90°) の顔が混在している場合の各顔の検出率と誤検出の頻度について検討する。被検査画像とテンプレート顔画像とは独立に準備する。テンプレート用として (財)ソフトピアジャパン顔画像データベース[5]の一部を使用し、被検査画像としては、正面向きに近い顔が数人から 50 人が写ったものに上記顔データベースでテンプレートに未使用な横顔 (45° , 90° 半分ずつ) を人為的に挿入し顔の数が全体で約 1.7 倍になったものを使用する。

2.1. 全体の処理フロー

図 1 に全体の処理フロー概要を示す。顔位置探索範囲を減らすために、被検査画像中の拡張された肌色領域 ($Y > Y_{th}$, $Cr > 0$, $Cb < 0$) を検出し、そこだけでテンプレートとの相関計算を行う。また、相関計算は直接色情報どうしではなく、比較的輝度の影響が少ない Wavelet 系の処理 (2D-Harr: Gabor-Wavelet を単純化したもの) 後の一種の輪郭情報 (以降、輪郭強度と略称する) どうしで行う。次にテンプレートのセグメント分割について述べる。

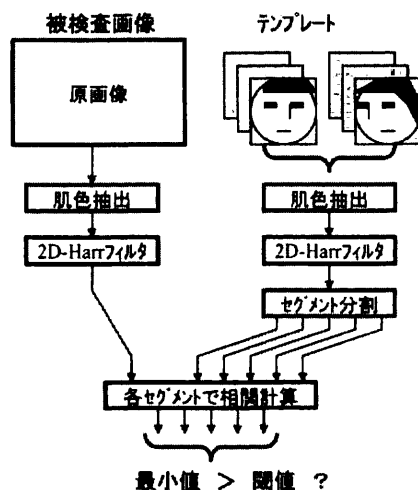
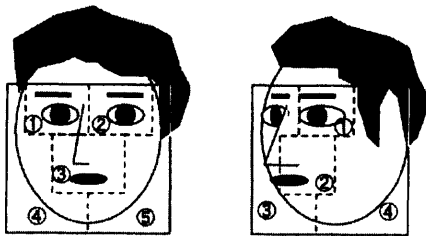


図 1 全体の処理フロー概要

2.2. テンプレートのセグメント分割と相関計算手順

各テンプレートは顔の主要部が約 35×50 画素



(a)正面顔 (b)横顔
図2 テンプレートのセグメント分割

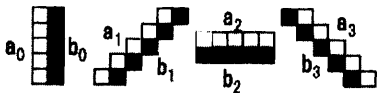


図3 2D-Harr フィルタの構成と計算式

に入るものを用意し、それをセグメント分割し、セグメント単位で相関計算をおこなう。従って、各セグメントが Ada-Boost 法における識別子に相当する。図 2(a) に示すように、正面顔では、5 セグメントに分割したが、横顔の場合、同図(b)のように 4 セグメントに分割する。

相関計算は図 3 に示すような 2D-Harr フィルタ処理後の輪郭強度と最大傾斜角度情報を使って行う。長さ 5 画素の 2 本の線対部分から画像の色情報をサンプリングし加減算を行うことで、線対の方向と直交する方向の色情報変化率が計算される。

計算量を減らすために、相関計算を行う画素位置を 1/4 にサンプリングする。まずテンプレート中の各セグメント内の全画素に対して、 $E(i,j)$ の平均値 E_{av} を求め、隣接する 4 画素 (2x2) 中の $E'(i,j) = E(i,j) - E_{av}$ の絶対値が最も大きい画素をその 4 画素の代表点とし、その点における $E'(i,j)$ と 2D-Harr の方向成分(最大傾斜方向)を第 0 次テンプレート情報として一旦登録する。次にこの代表点だけの E' 分布の標準偏差: E_s を計算し、 E' を



図4 テンプレート代表点パターン例

表1 テンプレートの各セグメント平均代表点数

種類	S1	S2	S3	S4	S5
正面	68	67	89	86	96
横 45	44 [*]	84	72	201	—
横 90	41 [*]	53	45	113	—

(テンプレートサイズ: 原寸 x 1.25 の場合)

^{*}2 画素に 1 代表点のサンプリングの場合を含む)

$[-E_s, +3E_s]$ の範囲で飽和演算を使って、 $-4 \sim +11$ の整数値に量子化し、更にこの量子化された分布で、各セグメント内で平均値が 0 になるように全数値を微調整する。この飽和演算を含む非線形量子化により、相関計算時に必要になる乗算が 4 ビット精度ですみ、専用の並列処理プロセッサの乗算器が極めて簡単な構造で実現できる。

図 4 に正の代表点位置と方向成分表すテンプレートパターン例を示す。また、各セグメント内の代表点数の平均値を表 1 に示す。

次にテンプレートと被検査画像間の相関計算の手順について述べる。相関計算は(1)式で示すように、各セグメントごとに規格化された状態で行い、5 ないし 4 セグメントの相関値の中で最低値を一致度として採用する。

$$CS_i(X,Y)$$

$$= \sum_n D \cdot T(x_n, y_n) / TAS_i \cdot M(X+x_n, Y+y_n) / MA \cdots (1)$$

但し

X, Y は被検査画像中の座標

x_n, y_n はテンプレート内セグメント i 代表点の座標
 $CS_i(X,Y)$ はセグメント S_i と被検査画像の相関強度
 D は方向相関係数で、以下の規則で値が決まる

$T(x_n, y_n), M(X+x_n, Y+y_n)$ がともに正の場合

2D-Harr 処理結果得られる各最大傾斜方向角度

$dT, dM(0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4)$ を比較し、差の絶対値が 0 の時 $D=1.0$, $\pi/4$ の時 $D=0.5$, $\pi/2$ の時 $D=0.25$

$T(x_n, y_n), M(X+x_n, Y+y_n)$ の一方でも負の場合 $D=1.0$
 T, M はテンプレート・被検査画像の輪郭強度

TAS_i, MA は同じく平均輪郭強度振幅: 規格化係数
従って、テンプレートと同一画像を被検査画像と

して使い、中心位置を合わせると(1)の結果は 1.0 となり、それ以外の場合通常、-1.0 から 1.0 までの値になる。また、方向相関係数 D は注目している画素 1 点の情報だけでなく、周辺の情報も含んでいるので、特に今回のようにサンプリングして相関計算を行う場合には有効になる。但し、汎用の処理装置（パソコン中の CPU 等）でこの処理を行う場合、この処理は手続きが多いので、処理時間はかなり増加する。

2.3. テンプレートのグルーピング

テンプレートは、前述の顔データベースから特徴の異なる 50 人分の正面顔と横顔を各々選び、各セグメントを手で定義し、2.2 節で述べた手順で構築する。更に被検査画像中の各種大きさの顔に対応するため、被検査画像は、原寸(1.0)、1/2 縮小、1/4 縮小を用意し、テンプレート側は同一顔写真の 1.0 倍、1.25 倍、1.6 倍のスケール画像を用意する。これによって、1 倍から 1/6.4 倍までの被検査画像中の顔サイズスケールに対応が可能になる。しかしこのために一方向当たりのテンプレート枚数は 150 枚に増加し、処理時間の大幅な増大を招く。これを防ぐために、統計的に類似なテンプレートをまとめてグルーピングし、各グループに対して 1 から 2 枚を代表テンプレートとして残し、他を採用しないことで、テンプレートの枚数を数分の 1 することを考える。当初のテンプレート画像間類似性評価のため、テンプレートの元の顔画像を被検査画像の集合としてテンプレート集合との集合内相関を計算する。この相関値の大きさを類似性（或いは擬似的な距離の遠近）の大小と考える。具体的な手順は以下のようにする。

1. テンプレートに使った各顔画像に番号をつけ、 i 番目のテンプレートと j 番目の顔画像との相関強度を $CR(i, j)$ とする。 $CR(i, j)$ は 1 に近い値
2. $CR(i, i)$ を除いた $\{CR\}$ 中で相関最大のものから順に以下の処理を行う。 $CR(I, J)$ が次の最大値で
 - a) I, J とも未登録の場合：
 - b) I が起点登録済み、 J 未登録の場合：
 - c) I が終点登録済み、 J 未登録の場合：
 - d) I が未登録、 J が終点登録済みの場合：
 - I を起点に、 J を終点に登録
 - e) I が未登録、 J が起点登録済みの場合で
 - e1) $CR(J, I)$ が設定閾値以上の場合：
 - I を終点に登録
 - e2) $CR(J, I)$ が設定閾値以上の場合：
 - I を起点に登録
 - f) I, J ともに既登録の場合：
 - 何もせず

3. $\{CR\}$ 集合から、処理済を除き次の最大値を求め、その最大値が設定閾値未満になるまで繰り返す。
4. これらの手順で、最終的には図 5 に示すような矢印付結線図が出来上がる。但し矢印の先には終点がある。図 5 中、2 番のように一旦終点登録されても、後続の処理で起点に変わる場合もある。この時は終点の結線はリセットする。また、 CR の値が設定閾値以上の探索では結線がない番号もある(10 番)が、これは起点(孤立)に登録する。
5. 全ての起点登録された番号を結線で結ばれたグループの代表として選択し、以降の相関計算用のテンプレート集合とする。

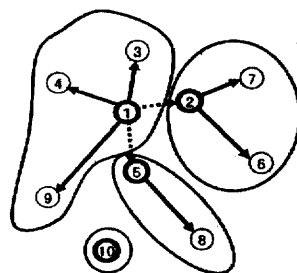


図 5 テンプレートグルーピング手順

この手順により、代表として残ったテンプレートは他のテンプレートの顔画像から十分近い距離にあるものが選ばれているので、元のテンプレート集合に比べて $1/4 \sim 1/5$ の個数になるが、検出率の劣化は少なく、計算時間は個数に比例して短くなる。この代表テンプレートからなる集合をコンパクトテンプレート集合（略称：コンパクト集合）と呼ぶことにする。コンパクト集合の検出特性に関しては、次節で検証する。

3. 各テンプレート集合による検出実験

実験に使用した被検査画像は、前回の報告と同様に集合写真、スナップ、雑誌その他からランダムに取ってきたカラー写真合計 25 枚である。ただし、今回横顔のテンプレートによる横顔の検出特性の評価を行うために、元の有効被写体（ほぼ正面向きの顔）以外に、水平に 45° および 90° 回転した横顔画像で、テンプレートに使用していないもの前述の顔データベースから選び、何種類かのスケールをかけて顔部分だけを切り出したものを元画像に人為的に挿入した合成画像を使用した。この結果、ほぼ正面向きの顔が 300 弱に、

左 90° 左 45° 右 45° 右 90° 各々が 35 個ずつ追加され、合計 460 弱となっている。このサンプル数は顔検出汎用システムとしての特性評価のためには必ずしも十分な数とはいえないが、今回は正面顔のテンプレートによるマッチングと横顔のテンプレートによるマッチング特性を中心に考えているのでサンプル数を限定した。

検討を行うマッチングは前述の通り、テンプレート集合と被検査画像原寸(1.0)、または 1/2 倍のものについて行い、各テンプレートとの相関の最大値をその画素位置の値として登録する。被検査画像の各顔の中心位置や検出に関連するパラメータ(顔の向き・テンプレートに含まれない形態)は事前に登録しておき、評価時に使用する。

また、計算量を減らすため、被検査画像側も相関をとる画素位置を縦横ともに 1/2 にサンプリングする。また、以降の実験結果では、式(1)で計算される各テンプレートとの相関強度を 32 倍した値で比較する。

3.1. コンパクト集合による検出特性の評価

前節で述べたとおり、コンパクト集合でテンプレートマッチングを行うのが、計算時間的には圧倒的に有利であるので、以降この方式で実験を行うために、検出特性を元の集合と比較する。特性が明らかな正面顔のテンプレート集合で実験を行う。また、マッチングを行う場合、各テンプレートのセグメント相対位置が±2 画素移動でき、その中で最も相関強度が高いものを自動的に選んでくる「自己適合型」[4]の方式を採用している。前節の手順で 150 枚→36 枚に圧縮した時の実験結果を図 6-1 (元の集合)、図 6-2 (コンパクト集合)に示す。規格化相関強度に対する正面顔の未検出率が実線、誤検出率が点線であり、両方を比較すると、閾値 11 で検出を判断する場合の検出特性に差が無いことがわかる。

3.2. 横顔テンプレート集合による顔検出

被検査画像としては前述の通り、ほぼ正面顔が複数並んだ元の写真に、横顔(左右 45° 90°)を元の顔数の約 1/5 ずつ人為的に挿入した画像を使用する。

一方、テンプレート用の顔画像としては、まず左 45° および左 90° 向きの集合を用意し、これから各左向きテンプレート集合を作成する。右向きテンプレートは、数値的に左右を反転して生成した。また、各方向でのテンプレートはコンパクト集合に圧縮している。(正面、45° : 約 1/4 90° :

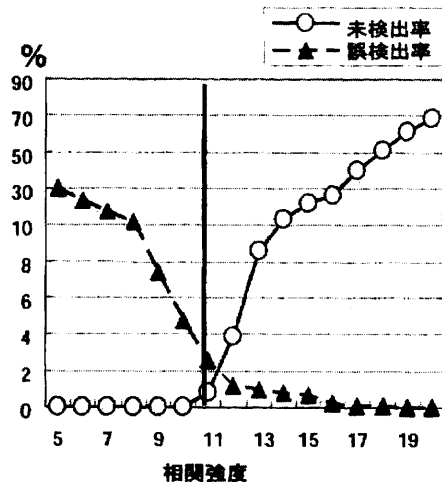


図 6-1 元のテンプレート集合を使った顔検出
(テンプレート枚数 150)

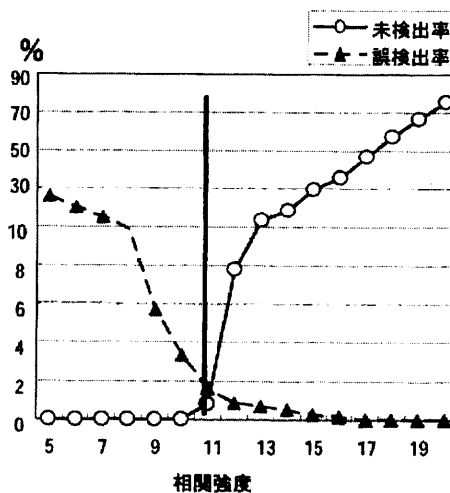


図 6-2 コンパクト集合を使った顔検出
(テンプレート枚数 36)

約 1/2.5)

テンプレートマッチングによる検出実験は、まず単一方向のテンプレート集合で実施した。図 7、図 8 に各々左 45° 左 90° 未検出率、誤検出率の特性を示す。但し、この場合の「誤検出」とは、被検査画像中の顔の向きに関係なく顔以外の部分を検出している割合であり、また「検出率(1-未検出率)」とは各テンプレートと同じ向きの顔を検出

した割合を言う。他の向きの顔検出に関しては次節以降で議論する。

これらの結果から明らかなように、横顔 45° の場合は正面顔の場合に比べ、誤検出率が幾分増加するが同じ閾値で検出が可能である。一方横顔 90° の場合は、閾値を多少下げても未検出率が高く課題が多い。この原因としては、横顔 90° の場合髪に隠れる等して見えている肌色部分が少なく判別が難しい割には、形状特徴の個人差が大きいためではないかと考えられる。テンプレートに使用した横顔でも 90° のものは代表点数が他に比べ少ない。

3.3. 各テンプレート集合による顔向き識別特性

ある向きの顔画像から生成したテンプレート集合はそれに近い(±20° 程度) 向きの顔を被検査画像から選択的に検出されることが期待される。このような顔向きに対する識別特性を検証する。正面顔、横顔 45、横顔 90、各々のテンプレート集合に関して、同方向未検出率と異方向検出率を測定した結果を、図 9 から図 11 に示す。

これらの結果から、顔の向きに対する各テンプレート集合の識別特性は各々単独では十分でないことが分かる。例えば、正面顔のテンプレート集合の場合、左右 45° の顔の 1/4 程度は閾値 11 以上で検出される。これを改善するには、単に閾値を超えたかどうかだけでなく各テンプレート集合との相関強度の大小も比較して方向を識別する必要がある。次節でこの結果を検証する。

4. 統合テンプレート集合による顔検出評価

各方向のテンプレート集合を統合し、被検査画像中の水平方向の顔の向きにたいして幅広い範囲で検出ができる顔検出システムの構築について検討し、検出特性を評価する。

4.1. 統合テンプレート集合の構成検討

各方向のテンプレート集合単体の検出特性は、相関強度 11 で未検出率と誤検出率がバランスしている状態なので単純に各テンプレート集合を合併して全て閾値 11 で判別するような統合も考えられるが、横顔 90° テンプレート集合の誤検出率が高く、VGA サイズの被検査画面内に 10 以上の誤検出箇所が現われるので可能性があり、前段の顔検出に続く個人識別処理の場合にも処理候補点が多くなり計算時間などの点で課題が多い。全体の未検出率と誤検出率のバランスや後段の処理を

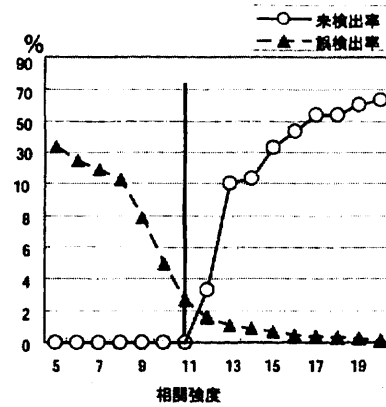


図 7 横顔 45° テンプレート集合の検出特性

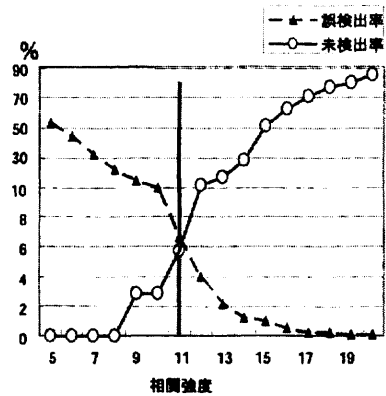


図 8 横顔 90° テンプレート集合の検出特性

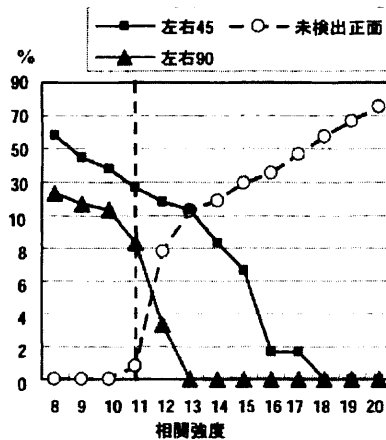


図 9 正面顔テンプレートの異方向検出特性

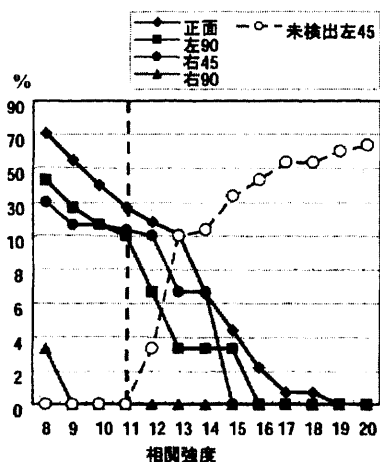


図 10 横顔 45° テンプレートの異方向検出特性

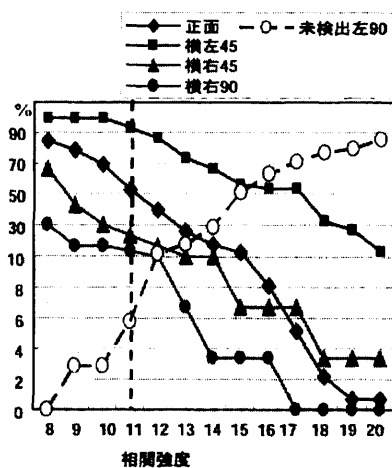


図 11 横顔 90° テンプレートの異方向検出特性

考慮して、今回は横顔 90° の未検出率を犠牲にして、このテンプレート集合のみ閾値を 13 に設定し、誤検出率を 2% 強に下げた状態で統合する。

また、各方向のテンプレートの枚数はコンパクト集合をそのまま単純に合わせたものとした。横顔 90° のテンプレート枚数は他集合より多いが、代表点数が少ないので計算時間はバランスしている。

4.2. 相関強度による向き識別を含む顔検出

図 12 に前述の統合化テンプレート集合を使った顔検出系の処理例を示す。同図中、白線長方形枠および白線五角形枠は正面顔あるいは左右向き

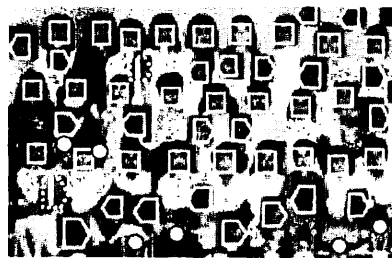


図 12 統合テンプレートによる顔検出例

表 2 統合テンプレートによる検出特性(各誤り率)

正	誤	同類内%	全体%
非顔領域	誤検出	—	2.5
正面顔	未検出	0.8	0.4
	横顔 45	0.8	0.4
	横顔 90	0.8	0.4
横顔 45	横顔 90	6.7	1.7
	正面顔	1.6	0.4
	逆横顔 45	1.6	0.4
横顔 90	未検出	11.7	3.0
	横顔 45	1.6	0.4

顔を正しく検出している部分、白点線と縦白線は顔未検出の部分、白抜き黒丸は誤検出部分である。顔の未検出部分では、横顔 90° の相関強度が閾値以下であり、誤検出部分は主に横顔 90° のテンプレート集合とのマッチング時に生成されている。

表 2 にこの検出系で実験を行った全サンプルの結果をまとめた。横顔 90° の判別閾値を 11→13 としたため、未検出率は同一グループ内(横顔 90)では約 12%、全顔に対しても 3% と大きい誤検出率も低減し、全体としては未検出率と誤検出率とがバランスする結果となっている。一方、顔の向きの識別は、数%の誤りはあるが、正面(±20° 程度)、横 45 (30~60° 程度)、横 90 (90° 付近)の顔に対して各々対応するテンプレート集合を用いることで十分に分離できることがわかった。

4.3. 処理速度の比較検討

一般的に画像系のテンプレートマッチング手法では、その汎用性を高めるために多くのテンプレートを用意し、被検査画像との間で距離計算、即ち相関計算を実行して一致・不一致を判定するため処理時間がかかることが課題である。

今回検討している手法においても、テンプレートおよび被検査画像の両方で、サンプリングを行う等して計算時間の圧縮を行っているが、汎用の

コンピュータ上でソフトウェア的に処理する条件で比較すると、高速の顔検出法として技術的に確立されつつある Ada-Boost 系（以降 AB 系と略称）の手法に比べて数十倍程度処理時間が多くかかる。この理由としては次の二点が考えられる。

(1) 処理点数（代表点数）が多い

我々の提案手法のセグメントが概ね AB 系の識別器に相当し、処理点数は平均すると前者が 10 倍程度多い。

(2) 1 点の処理に必要な演算数が多い

AB 系の演算は加減算のみであるが、我々の手法では、加減算・乗算・方向比較・方向係数乗算であり数倍の演算ステップ数である。

これらの差はアルゴリズムの基本的な相違によるものであり、単純な改善等で差を大幅に縮めるのは困難である。

我々は、最終的にはビデオ映像中の顔検出～個人識別といったリアルタイム応用を目指している。更に多様な顔向きに対応するため、テンプレート枚数は 300-400 枚用意する必要がある。これらを使った顔検出処理は最悪でも 100ms で終了する必要がある。このためには、VGA サイズの被検査画像に対して現在の処理速度の最低 200 倍以上（～400 倍程度が望ましい）が必要で、その手段としては、専用の並列演算器アレイや内部メモリをもったプロセッサチップ[6]の導入を想定している。

このような専用演算器により、上記課題(2)の演算ステップ数は実効的に 1 ステップ相当になり、解決可能である。また上記課題(1)は、元々並列化が容易な計算スキームなので、クロック周波数 200MHz 程度で動作する演算器アレイの並列数を 500 程度にすることで解決できると考えている。

5. まとめ

横顔を含まれた検査画像中の顔をテンプレートマッチングにより検出する手法について検討を行った。テンプレート集合としては、顔部品を含むセグメントに分かれた集合を顔の向きごとに、正面向き、左右 45°、左右 90° の 5 方向を用意する。但し正面向きではセグメント数が 5、横顔では 4 とする。テンプレートおよび被検査画像双方に対して二次元 Harr-like 変換の特徴抽出を行い、相関強度と顔検出率および検出正誤率との関係の評価する。また、テンプレート枚数を減らし処理時間を短縮するために、新たにテンプレートのグルーピング手順を提案し、各グループ代表テンプレートによる

コンパクト集合の生成を行い、これにより処理時間を約 1/4 に短縮した。これらを使って各方向単独の検出特性と、5 方向を統合したテンプレート集合による検出特性と顔の向きの識別特性を測定した。各方向コンパクト集合単独の検出特性では、正面向き、左右 45° に関しては適切な閾値を設定すれば、99% 程度の比較的高い顔検出率と 2% 程度の低い誤検出率が実現できた。しかし左右 90° の顔ではこの特性が劣っていた。また、全テンプレートを統合した検出システムでは、左右 90° のテンプレートに対する判別閾値を調整することで、全体の顔未検出率、非顔領域誤検出率ともに 2.5～3% 程度に抑えることができた。顔の向きの識別に関しては、1～数% の誤り率の範囲で識別可能であった。最後に処理時間の更なる短縮や総合的な顔検出系の性能についても議論し、水平方向回転以外の顔の向きにも対応できるようにテンプレートの種類を増やしたテンプレートマッチング顔検出システムでも、並列演算器アレイ等を内蔵した専用プロセッサを用いればリアルタイム処理の可能性が十分あることを言及した。

文 献

- [1] M.-H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, "Detecting Faces in Images: A Survey," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 1, pp. 34-58, Jan. 2002.
- [2] H. Schneiderman and T. Kanade, "A Statistical Method for 3D Object Detection Applied to Faces and Cars," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 746-751, 2000.
- [3] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," Proc. of IEEE Conf. CVPR, pp. 511-518, 2001.
- [4] 笠木伸悟, 若谷彰良, 藤田浩, "セグメント自己適合型テンプレートによる顔検出手法の基礎検討", 信学技報, Vol. 105 No. 98 pp. 31-36, PRMU2005-98, 2005 年 10 月
- [5] (財) ソフトピアジャパン顔画像データベース・製作メディアドライブ(株) <http://www.hoip.jp/>
- [6] H. Kadota, Y. Hori, A. Wakatani, "A New Reconfigurable Architecture with Smart Data-Transfer Subsystems for the Intelligent Image Processing," Proc. FPT04, pp. 429-432, Dec., 2004