I_011

目鼻配置の整合性に基づく顔検出に関する検討

A Study on Face Detection based on Consistency in Layout of Eye and Nose

松尾 賢治　　橋本 真幸　　小池 淳
Kenji Matsuo　　Masayuki Hashimoto　　Atsushi Koike
株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories

1. まえがき

セキュリティや HMI への応用等，顔認識技術を使った様々なサービスが出現している．そのいずれにおいても，画像内から顔を高精度に検出する技術が求められており，特に顔検出では，顔の大きさ，回転，向きの変動への耐性が技術的課題である．この問題に対し，筆者らはこれまで目鼻配置の整合性に基づく正面顔の検出法を提案し，顔向きを除いて，大きさと回転への適応を実現した[1]．

そこで本稿では，正面だけでなく上下左右の顔向きを含んだ画像から顔を高精度に検出する方法について検討する．考案法は顔向きの推定に，単純かつ照明変動下でも比較的安定した抽出が可能な鼻突を用いる．この結果，照明および撮像系の光学特性の変化の影響を受け難い顔検出を実現すると同時に，最適な顔向きのテンプレートを特定し，効率の良い顔検出を実現できる特徴を持つ．

2．目鼻配置に基づく顔検出

リングフィルタにより画像内から黒色の孤立点を全て抽出する．孤立点の中から任意の 2 点を選択し，それらを両目と仮定した場合に切り出される部分領域を顔領域の候補として抽出する．画像内で顔の探索範囲を絞り込めるばかりでなく，副次的に両目と鼻突の候補に基づいて部分領域の大きさと回転角を特定できる．

さらに，部分領域内で単純かつ照明変動下でも安定した抽出が可能な，図 1 に示す鼻突を用い，その配置が整合性を満たす場合に限定して，正面顔テンプレートとの類似度を測定し，顔か否かを判定する．具体的には，両目の距離を D とした場合，図 2 に示す 1.7D×1.7D の領域を(a)部分領域と定義する．鼻突は照明によらず周辺より高い輝度値を持つため，単純かつ安定的に同図 (b)探索領域内で輝度最大の点として抽出できる．鼻突の候補点が(c)存在領域内に含まれる場合，目鼻配置が正しいと判定する．複雑な背景の画像の場合，2 点の孤立点の組み合わせが膨大となるため，単純かつ安定した抽出が可能な特徴点である鼻突を追加することで，候補数の増加を防げる．

3. 顔向きと鼻突の位置分布

顔向きを考慮に入れ，効率の良い顔検出を実現するためには，顔向きを推定し，最適な顔向きのテンプレートを特定する必要がある．前節で述べた従来法は目鼻配置の整合性を検証するためだけに鼻突を利用していた．一方，鼻突の位置によって顔の向きを推定できると考えられる．そこで，鼻突による顔向き推定の実現可能性を検討するにあたって，顔向きによる鼻突の分布変化に関する予備実験を行った．HOIP の顔画像データベース[2]の中から縦横それぞれ，-30°，0°，+30° の計 9 方向の顔画像を男女合計 300 名分ずつ用いて，各画像の両目座標を手動で求め，図 2 に定義した部分領域 (a)を抽出し，左上座標（0, 0）-右下座標（63, 63）の縦横 64 画素に正規化した．また，探索領域(b)を（22, 26）-（41, 54）で囲まれる長方形とし，この領域の中で輝度最大の位置に関し，各方向で 300 名分の分布頻度を調べた．図 3 に白点で結果を示す．

さらに，鼻突の候補となる輝度最大の画素について平均位置と平均位置からの距離の分散を求め，表 1 にまとめた．これらの結果から，顔の向きに応じて鼻突の候補となる輝度最大の画素の位置も変化することが確認できる．

4. 提案法

鼻突の候補となる輝度最大の画素の分布頻度は正規分布に従うと仮定する．図 4 に正規分布の 3 次元イメージ図を示す．各方向の確率密度分布の平均から新たに入力された部分領域内の輝度最大の画素までの距離が，ある設定されたしきい値 T の範囲内にある場合は，その方向の顔であると推定してテンプレートを選択する．例えば，分布の約 95%をカバーするためには T=2σ と設定する．以下，図 5 に示す横方向 1 次元の正規分布を用いて説明する．輝度最大の画素が図内 a 地点であった場合，顔向きが横-30° であると推定する．同様に，輝度最大の画素が図内 bb 地点であった場合，顔向きは横 0° もしくは横+30°，cc 地点であった場合，顔向きは横+30° であると推定する．

提案顔検出法のフローチャートを図 6 に示す．まず，リングフィルタにより黒色孤立点を抽出し，任意の 2 点を選択して部分領域を切り出す．次に，探索領域内で輝度最大

表 1. 輝度最大点の分布パラメータ

$(\mu_x, \mu_y), \sigma^2$	-30°	0°	+30°
+30°	(31, 35), 97	(35, 32), 39	(32, 37), 99
0°	(34, 44), 77	(34, 38), 31	(32, 42), 83
-30°	(27, 44), 64	(33, 41), 68	(36, 41), 77

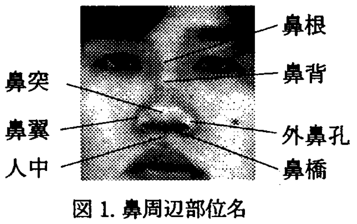


図 1. 鼻周辺部位名

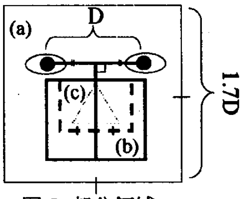


図 2. 部分領域

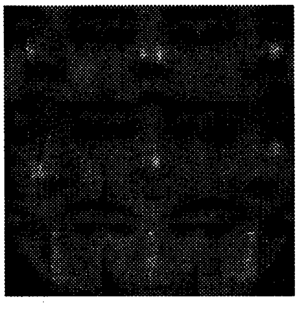


図 3. 顔向きと鼻突候補の分布

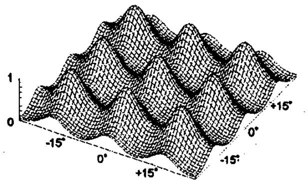


図 4. 鼻突候補の正規分布

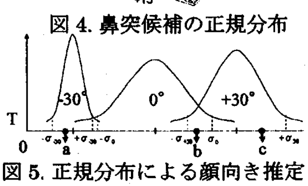


図 5. 正規分布による顔向き推定

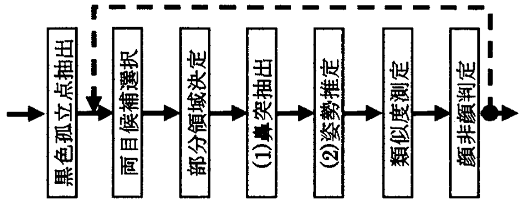


図 6. 提案顔検出法のフローチャート

表 4.顔向き推定の方向別の推定精度

	-30°	0°	+30°
+30°	89.6% 11.9%	100% 12.5%	80.0% 11.0%
0°	87.6% 11.7%	85.5% 11.5%	83.9% 11.6%
-30°	87.8% 11.7%	77.5% 10.8%	88.9% 11.8%

表 3. 輝度上位 3 点の分布パラメータ

$(\mu_x, \mu_y), \sigma^2$	-30°	0°	+30°
+30°	(31, 37), 69	(31, 31), 14	(32, 36), 70
0°	(32, 41), 63	(32, 38), 24	(32, 41), 60
-30°	(31, 42), 59	(32, 41), 58	(32, 41), 54

の画素を鼻突として抽出し，各方向の正規分布に従って顔向きを推定する．最後に，推定された顔向きのテンプレートを用いて類似度を測定し，顔か否かを判定する．

5. シミュレーション

顔向きの推定で利用する正規分布パラメータは，前節で述べた 300 名の HOIP 顔画像を用いて作成した，表 1 の値を用いる．また，これとは別に評価用に様々な大きさ，回転，向きの顔を含む 577 枚の画像を用意した．

まず，図 6 の(1)と(2)の処理に該当する顔向き推定方法の基本性能を調べるために，評価用画像から手動で両目の正確な座標を求め，切り出された部分領域の顔向きがどの程度正確に推定が行えるかを調べた．しきい値 T を σ，2σ，3σ と変化させたときの Recall と Precision を図 7 にプロットする．$T=\sigma$ のとき，577 枚の画像に対して，Recall が約 83%，Precision が約 12%を示した．ただし，Recall とは推定された顔の向きの中に正しい顔向きが含まれる割合を示し，Precision は推定された結果がどの程度正確であるか，を示す．Recall と Precision が共に高いほど，顔向きを良好に推定できていることを意味する．

5. 1. 考察 1～鼻突候補の採用画素数による改善

ここで，顔向きの推定に失敗した画像について詳しく考察する．実験の結果から，失敗の原因の大きくは次に挙げる理由からであることが判明した．

- 頬の突起部が輝度最大値を取る場合がある
- めがねのふちの反射光の影響を受ける

また，これらに該当する失敗画像の例を図 8 に示した．提案法の顔向き推定は，最大輝度という 1 点に依存して行われるため，変動の影響を受け易いと考えられる．そこで，最大輝度ではなく，輝度の大きいものから順に複数個の画素を採用し，その平均位置を鼻突の候補点として抽出する方法を試みる．そこで，先の実験と同じテンプレートおよび評価用画像 577 枚を用い，顔向き推定実験を行った．しきい値 T を数段階に変化させたときの結果グラフを図 9 にプロットする．しきい値 $T=\sigma$ に固定した鼻突の候補の採用画素数の増加と共に，Recall が上昇し，20 個のとき Recall は約 83%，Precision は約 12%を示した．したがって，

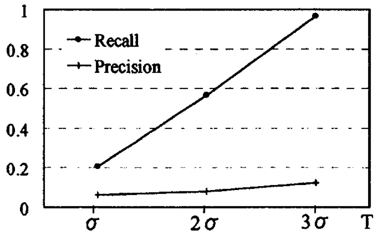
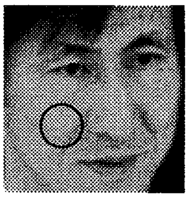


図 7. しきい値と顔向き推定精度



頬の突起

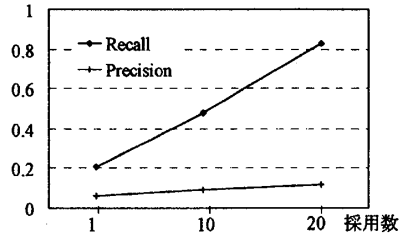
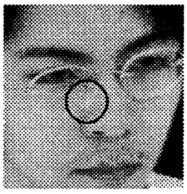


図 9. 採用数と顔向き推定精度



めがね

図 8.顔向き推定の失敗画像例

部分領域内の輝度最大の画素だけを用いて顔向きを推定するのではなく，輝度上位から複数個の画素を使用する方法が有効であり，変動を除去し，高精度な顔向き推定を行えることが確認できた．

5. 2. 考察 2～探索範囲の変更による最適化

各方向の正規分布の分散が大きいほど，前節で述べた通り変動による顔向きの推定が失敗するケースが増えると考えられる．したがって，推定精度を一定に保ち，かつ各方向の正規分布の分散ができる限り小さくなるように，探索範囲を様々に変更し，実験により最適な範囲を総当りで調べた．結果として，(29, 30)-(34, 50)の探索範囲内を輝度値の大きい画素から 3 画素を鼻突の候補として採用した場合に，表 3 の推定精度が得られることを確認した．ただし，各項目上段が Recall，下段が Precision を示しており，平均で Recall が約 86%，Precision が 12%であった．特に x 軸方向で探索領域が大幅に減っており，顔の向きを判定するためには，広い探索領域を必要としないことが確認できる．また，先の予備実験と同様に，探索範囲内の輝度上位から 3 個の画素の平均位置と平均位置からの距離の分散を表 4 にまとめた．表 1 よりも分散の値が小さく，顔の向きに応じて鼻突の候補となる輝度上位から 20 個の画素の平均位置が，安定的な配置で得られていることが確認できる．

6. まとめ

本稿では，正面だけでなく上下左右の顔向きが含まれた画像から顔を検出する方法を提案した．その実現のために鼻突の配置を利用した顔向きの推定方法の性能を評価した．精度面で改善の余地が多く，今後はテンプレートに含まれない角度の顔画像への対応方法を追求する．

文献

[1] 松尾，橋本，小池，“目鼻候補点の配置関係を利用した顔検出に関する検討，”映情メ年大，20-6，Aug. 2006.

[2] ソフトピアジャパン顔画像データベース(HOIP-F)，http://www.softopia.or.jp/rd/facedb/top.html.

※本論文で使用した顔画像データは，財団法人ソフトピアジャパンから使用許諾を受けたものである．権利者に無断で複写，利用，配布等を行うことは禁じられている．