

PCA 相関フィルタによる目領域の探索 Eye Detection Using PCA Correlation Filter.

鈴木 亜紀子[†]
Akiko SUZUKI

滝口 哲也[†]
Tetsuya TAKIGUCHI

有木 康雄[†]
Yasuo ARIKI

1. はじめに

人間の顔、特に目は、注意や意図、感情といった心理状態に応じて様々な変化を表出するため、その変化を認識することは有用である。このため、目領域を高速かつ正確に抽出することは必要不可欠である。本研究では、画像を周波数領域上に変換することで高速化を実現し、PCA (Principal Component Analysis) を用いた画像の圧縮・復元により、照明変化や欠損にロバストな物体抽出を目指す。また、カメラ映像のみを用いることで非拘束的に、被験者に負担をかけずに目領域の抽出を行なう。

2. 相関フィルタ

画像上での相関を高速に求める方法として、画像をフーリエ変換し、周波数領域上でフィルタリングを行って逆フーリエ変換する方法が用いられる。画像を周波数領域上に変換すると、位相成分には照明変化にロバストな構造的特徴量が多く含まれるため、位相成分のみを用いて処理を行う方法が提案されている。これらの手法には、テンプレート画像との相関を測る POC (Phase Only Correlation) [1] や複数のトレーニングデータとの相関を測る MACE (Minimum Average Correlation Energy) フィルタ [2]、PCA 相関フィルタ [3] がある。

2.1 MACE フィルタ

相関をとった時にエネルギーの平均値が最小となるように設計されたフィルタで、以下のように表される。M 枚のフーリエ変換後のトレーニングデータ X_i を列ベクトルとした時、

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_M]$$

$$D = \sum_{i=1}^M D_i, \quad D_i(k, k) = |X_i(k)|^2 \quad (1)$$

とすると、

$$H = H_{MACE} = D^{-1} X (X^+ D^{-1} X)^{-1} U \quad (2)$$

で得られる。ここで、U は 1 を要素に持つ列ベクトルであり、 X^+ は X の複素共役転置ベクトルである。これを用いて、以下の処理を行なう。

$$c(\omega_1, \omega_2) = I(\omega_1, \omega_2) H^*(\omega_1, \omega_2) \quad (3)$$

これに逆フーリエ変換を適用することで、相関係数 C を得る。この時、フィルタと入力画像との相関が高ければ $C(0,0)$ にピークが得られる。

ただし、このフィルタでは学習データの情報で白色化を行なうため、入力画像に対して正確な位相成分を取り

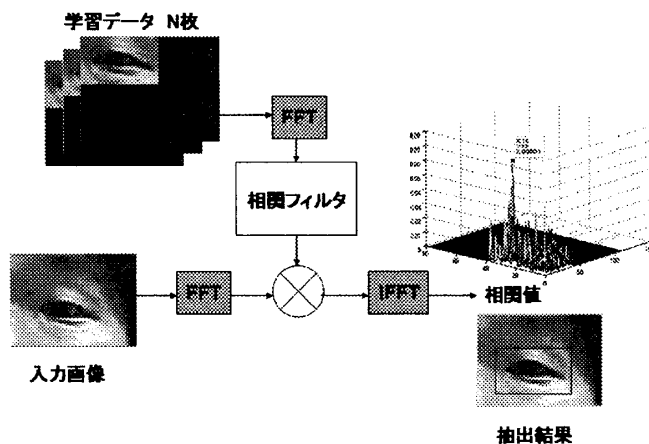


図 1: 相関フィルタによる目領域探索の概要

出すことができていない。このため、式 (3) を式 (4) に置き換えることで位相成分の相関を求めるように改良を加えた。

$$c(\omega_1, \omega_2) = \frac{I(\omega_1, \omega_2) H^*(\omega_1, \omega_2)}{|I(\omega_1, \omega_2)| |H(\omega_1, \omega_2)|} \quad (4)$$

2.2 PCA 相関フィルタ

フーリエ変換後の位相成分をトレーニングデータとし、これを主成分分析 (PCA) して、第 N 主成分までの固有ベクトル $V_{f_i}, \{i = 1, \dots, N\}$ を得る。この固有ベクトルを使用して、入力画像の位相成分 $I = e^{j\phi_I}$ を射影、復元することでトレーニングデータ空間で強調された位相フィルタ $e^{j\phi_T}$ が以下の式で得られる。

$$H = e^{j\phi_T} = \sum_{i=1}^N V_{f_i} V_{f_i}^+ e^{j\phi_I} \quad (5)$$

このフィルタ H を用いて、以下の処理を行なう。

$$c(\omega_1, \omega_2) = I(\omega_1, \omega_2) H^*(\omega_1, \omega_2) \quad (6)$$

$$C(x, y) = \sum_{\omega_1, \omega_2} c(\omega_1, \omega_2) e^{j\omega_1 x} e^{j\omega_2 y} \quad (7)$$

フィルタと入力画像との相関が高ければ $C(0,0)$ にピークが得られる。

3. 相関フィルタを用いた探索

図 1 に処理の概要を示す。2. 節で述べたフーリエ変換前のトレーニングデータに対して、ゼロパディングを行い探索領域と同サイズに揃えておく。図 1 に従って処理を行うことにより、対象物体の先頭座標にピーク値が得られる。これにより、物体の探索を行なうことができる。また、画素領域での探索とは異なり、周波数領域上で積演算を行うため、処理時間を大幅に削減することができる。

[†]神戸大学自然科学系先端融合研究環

[‡]神戸大学大学院自然科学研究科

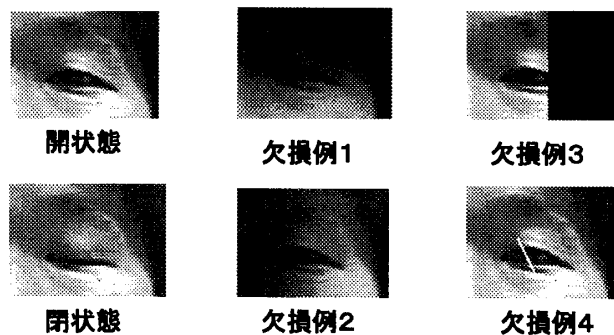


図 2: 探索画像例

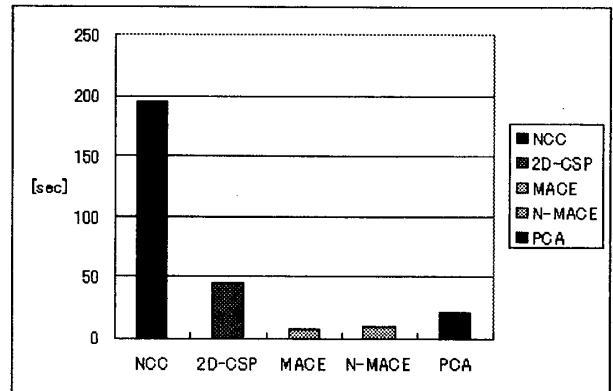


図 3: 処理時間の比較

4. 評価実験

4.1 実験データ

[トレーニングデータ]

被験者1名の左目領域を切り出したものを学習データとして用いる。データサイズは 40×67 画素であり、それぞれゼロパディングによりテストデータと同サイズ (90×120 画素) に揃えた。

- ・テンプレート画像 T : 1 枚 (開状態)
- ・トレーニング画像 T_s : 20 枚 (開状態)

[テストデータ]

被験者1名の顔領域の左半分を用いる。データサイズは 90×120 画素である。

- ・開目画像: 100 枚
- ・欠損画像: 400 枚
- ・閉目画像: 20 枚

欠損画像は、図2のような目尻・目頭・黒目の一部を隠蔽したものや、濃淡を加えたものである。

4.2 実験内容

画素単位での探索である正規化相互相関法 (NCC: Normalized Cross Correlation), 周波数成分上でのテンプレートとのマッチングを行う二次元 CSP (CSP: Crosspower-Spectrum Phase) [4], MACE フィルタ (式 (3)), 正規化 MACE フィルタ (N-MACE, 式 (4)), PCA 相関フィルタをそれぞれ探索に用いた手法について抽出精度、処理速度の比較を行う。

4.3 実験結果

処理速度 (Pentium 4, CPU 3GHz) を、図3に示す。周波数領域上での処理が高速であることがわかる。NCC が 520 枚あたり 195.03 [sec] であるのに対し、2D-CSP では 46.24 [sec], MACE フィルタによる探索で 7.14 [sec], N-MACE フィルタによる探索で 9.79 [sec], PCA 相関フィルタによる探索で 22.02 [sec] であった。次に抽出精度を表1に示す。開状態に関しては全手法とも、正しく抽出ができた。しかし、NCC や 2D-CSP, MACE, N-MACE フィルタによる探索では欠損画像に対して誤抽出が多く含まれ、2D-CSP や MACE, N-MACE フィルタによる探索では、構造的変化が生じる閉目状態での誤抽出が起こった。これに対し、PCA 相関フィルタによる探索

表 1: 実験結果

手法	学習	開状態 (%)	欠損 (%)	閉状態 (%)
NCC	T	100.0	84.75	100.0
2D-CSP	T	100.0	79.00	90.0
MACE	T_s	100.0	70.00	80.0
N-MACE	T_s	100.0	75.25	85.0
PCA	T_s	100.0	98.00	100.0

では欠損でも 98.00% と、高い抽出精度を得ることができた。

5. おわりに

4.3 で得られた様に、周波数領域上での探索を行うことで処理時間が大幅に削減された。PCA 相関フィルタによる探索でも、 $22.02[\text{sec}]/520[\text{枚}] = 0.042[\text{sec}/\text{枚}]$ と、ほぼリアルタイムでの処理が可能と考えられる。また、PCA 相関フィルタを用いることで、探索領域に部分的な欠損が含まれていても復元が可能となり、抽出の精度を保つことができた。今後は、相関フィルタの改良を含め、照明変化や顔角度の変化などに対応した目領域抽出について検討する予定である。

参考文献

- [1] 伊藤康一, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次, 樋口龍雄, "位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズム," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006), pp.370-375, 2006.
- [2] Abhijit Mahalanobis, B.V.K. Vijaya Kumar, David Casasent, "Minimum average correlation energy filters," Appl. Opt., Vol. 26, pp.3633-3640, 1987.
- [3] Marios Savvides, B.V.K. Vijaya Kumar, P.K. Khosla, "Corefaces" - Robust Shift Invariant PCA Based Correlation Filter for Illumination Tolerant Face Recognition, CVPR'04, Vol. 2, pp.834-841, 2004.
- [4] 鈴木亜紀子, 滝口哲也, 有木康雄, "二次元 CSP による目領域探索の高速化," 第5回情報科学技術フォーラム (FIT2006), pp.49-50, 2006.