

## 対称 SIFT 特徴量を用いた対称性平面物体検出

佐野 友祐<sup>†</sup> 呉 海元<sup>††</sup> 和田 俊和<sup>††</sup> 陳 謙<sup>††</sup>

<sup>†,††</sup>和歌山大学システム工学部 〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930

E-mail: <sup>†</sup>sy-sano@vrl.sys.wakayama-u.ac.jp, <sup>††</sup>{wuhy,twada,chen}@sys.wakayama-u.ac.jp

**あらまし** 本論文では、対称 SIFT 特徴量を提案する。対称 SIFT 特徴量とは、SIFT 特徴量記述の際に、特徴点の周辺領域の座標系を正規化して得られる特徴量である。対称ペアである特徴点間の類似度評価が可能となり、擬似的に対称性平面物体のアフィン変換にも対応する。提案手法では、対称 SIFT 特徴量とスケール情報を用いて、一枚の入力画像から対称性平面物体の検出を行う。提案手法の有効性を、複数枚の実物体を用いた実験で確認した。

## Plane-Symmetric Object Detection using Symmetrical SIFT Features

Yuusuke SANO<sup>†</sup>, Haiyuan WU<sup>††</sup>, Toshikazu WADA<sup>††</sup>, and Qian CHEN<sup>††</sup>

<sup>†,††</sup>Graduate School of System-Engineering Wakayama University

930 Sakaedani, Wakayama, 640-8510 Japan

E-mail: <sup>†</sup>sy-sano@vrl.sys.wakayama-u.ac.jp, <sup>††</sup>{wuhy,twada,chen}@sys.wakayama-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, a mirrored SIFT feature is proposed for detecting plane-symmetric objects. This feature can be used to evaluate the symmetric-pair likeness of feature points of a pseudo affine transformed plane-symmetric object. Plane-symmetric object detection is carried out by using the proposed mirrored SIFT feature and scale feature. The effectiveness has been confirmed through several experiments using real images.

### 1. はじめに

本研究では、一枚の入力画像から、鏡対称性の性質をもつ平面物体を検出する問題を扱う。以下、本論文で対称性とは鏡対称性を指し、対称性をもつ平面物体を対称性平面図形と呼ぶ。

我々が暮らす環境下には、窓、乗用車、樹木の葉、人間の顔等、対称性を待つ物体が数多く存在する。これは対称性検出の適応領域が、環境によらず、非常に幅広いことを意味する。

入力画像中に“何”が存在するかを認識する「一般画像認識」は、コンピュータビジョンで最先端な研究分野の一つである。一般画像認識では、様々な手法が提案されているが、これと言う有効な手法はまだ確立されていない。我々は、入力画像中に存在する“何か”は、対称性をもつことが検知できれば、“何か”を認識する上で、重要な手掛を得ることができると考える。

対称性に関する研究は従来から存在するが、提案された手法は対称性以外に様々な仮定条件をもうけたものが多かった。河越ら [1] は目尻・口両側の 4 点が検出できる場合の、顔の面対称性を用いた視線推定方法を提案している。K.Huangら [2] は画像には繰り返し対称パターンが多く存在し、それらの特徴点が既に検出されたと仮定した上で、投票によりそれらのパターンを含む平面の方向を推定するアルゴリズムを提案している。D.Q.Huynh [3] は鏡の前に物体を置いた一枚の入力画像から、その物体の 3 次

元構造を復元する方法を提案している。

それらに対し、本論文では、検出対象は対称性平面物体であるという仮定のみで、一枚の入力画像からの対称性平面物体を検出する手法について述べる。この様な研究は今まで行われていない。その理由として、第一に、検出の対象が、対称性という性質である点である。通常の検出問題と違い、対象物体に依存して形状情報や色情報が変化する。第二に、透視投影の場合、対称性平面物体の 3 次元姿勢に依存して、得られる投影像も変化する点である。この投影像の対称性が保たれる保証はない。

そこで、本論文では、対称 SIFT 特徴量を提案する。対称 SIFT 特徴量とは、SIFT 特徴量記述の際に、特徴点の周辺領域の座標系を正規化して得られる特徴量である。対称 SIFT 特徴量は、対称ペアである特徴点間の類似度評価が可能な特徴量であり、擬似的に対称性平面物体のアフィン変換に対応する。対称性平面物体のグローバルな形状情報を直接検出するのではなく、対称 SIFT 特徴量を用いて局所的な特徴点の対応付けを行う。これにより、対象物体に依存して変化する形状情報によらない、対称性平面物体の検出が可能となる。また、複比を用いて、絞り込んだ対称ペアから対称性平面物体を検出する。複比は射影変換に対して不変量であるため、対称性平面物体の 3 次元姿勢によらない、画像面上での対称性平面物体の検出が可能となる。

本論文の構成は以下となる。まず、第 2 章で提案手法の概要を

のべる。次に、第3章で従来のSIFTについて説明し、第4章で対称SIFT特徴量を提案する。第5章では、対称弁別度の提案と、それをを用いた対称ペアの絞り込み手法について説明する。第6章では、複比を用いて、絞り込んだ対称ペアから対称性平面物体を検出する手法について説明する。第7章では、一般画像を用いた実験結果を報告し、第8章でまとめを述べる。

## 2. 提案手法の概要

### 2.1 対称性平面物体の定義

図1(a)に示すように、対称性平面物体を、同一平面上の4点 $P_1, P'_1, P_2, P'_2$ により定義する。 $P_1$ と $P'_1, P_2$ と $P'_2$ を対称ペアと呼び、 $\{P_1P'_1\}, \{P_2P'_2\}$ と表す。また、それぞれのペアの中心点を $P_{M1}, P_{M2}$ とし、それらの中心点を繋ぐ直線を対称軸 $\{P_{M1}P_{M2}\}$ とする。これらの点は、以下の関係を満たす。

$$P_1P'_1 \perp P_2P'_2 \quad (1)$$

$$P_{M1}P_{M2} \perp P_1P'_1 \quad (2)$$

$$P_{M1}P_{M2} \perp P_2P'_2 \quad (3)$$

次に、図1(b)の透視カメラモデル $X_w$ を考える。3次元空間中の対称性平面物体が画像面に投影され、 $P_1, P'_1, P_2, P'_2$ の投影点を、 $p_1, p'_1, p_2, p'_2$ とする。同じように、 $P_{M1}, P_{M2}$ の投影点を $p_{M1}, p_{M2}$ とする。投影像における対称ペア、対称軸は、 $\{p_1p'_1\}, \{p_2p'_2\}, \{p_{M1}p_{M2}\}$ とそれぞれ表す。

本論文の目的は、対称ペアの投影点 $\{p_1p'_1\}$ 、及び対称軸の投影像 $\{p_{M1}p_{M2}\}$ を、入力画像から検出することである。

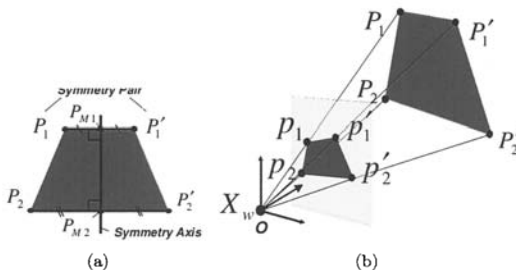


図1 対称性平面物体の定義

### 2.2 提案手法の流れ

提案手法では、まず、対称弁別度を用いて、検出した特徴点から対称となるペアを絞りこむ。対称弁別度とは、特徴点間の対称ペアらしさを表わす度合であり、特徴点の対称SIFT特徴量とスケール情報を用いて求められる。次に、射影不変量である複比を用い、絞り込んだ対称ペアから対称性平面物体を検出する。提案手法の流れは、以下となる。

- (1) SIFTを用いて特徴点を抽出し、各特徴点に対して対称SIFT特徴量とスケール情報を求める。
- (2) 特徴点から2点を選ぶ全ての組み合わせペアで対称弁別度を求め、閾値以上のペアを対称ペアとする。
- (3) 対称ペアから、複比を用いて、対称性平面物体を検出。

本論文では、処理(1)(2)について、詳しく説明する。ページ制約により、処理(3)は基本アイデアのみの説明とする。

## 3. 従来のSIFT [4]

SIFTは、特徴点の検出と特徴量の記述を行うアルゴリズムである。特徴点検出では、特徴点検出とスケールの決定を行い、特徴量記述では、オリエンテーションの割り当てと、SIFT特徴量記述を行う。記述される特徴は、スケールや回転、照明変化に対して不変な特徴量となる。その為、SIFT特徴量は、物体認識や画像のマッチング等に多く用いられている。これらの手法では、SIFT特徴量間のEuclidean距離による評価で、特徴点のマッチングを実現している。本手法では、SIFT特徴量を用いて、対称ペアとなり得る特徴点ペアの絞り込みを行う。

### 3.1 特徴点検出とスケールの決定

SIFTで検出される特徴点は、スケールの異なる平滑化画像間の差分画像DOG(Difference of Gaussian)画像における極値として求められる。入力画像を $I(x, y)$ 、ガウシアンカーネルを $G(x, y, \sigma)$ 、平滑化画像を $L(x, y, \sigma)$ とした時、DOG画像 $D(x, y, \sigma)$ は次のように求められる。

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (4)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (6)$$

上のような処理で、初期のスケール $\sigma_0$ から $k$ 倍ずつ大きくしたスケールでDOG画像 $D(x, y, k\sigma)$ を求め、図2のようなDOG画像 $D(x, y, k\sigma)$ のスケールスペースを構築する。このスケールスペースの極値が、特徴点として検出される。

DOG画像は、異なるスケールで平滑化された差分画像であり、その値が大きくなる $\sigma$ は、そのスケールの変化領域にエッジ等の多くの特徴を含むと考えられる。ゆえに、その極値を特徴点として検出することは妥当であると言える。

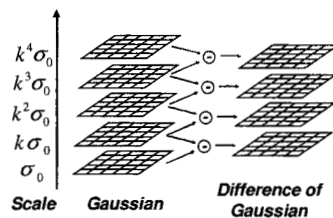


図2 特徴点検出

### 3.2 オリエンテーションの割り当て

SIFTでは、検出した特徴点に対してオリエンテーションを割り当てる。まず特徴点が出たスケール $\sigma$ の平滑化画像 $L(x, y, \sigma)$ から、勾配強度 $m(x, y)$ と勾配方向 $\theta(x, y)$ を次式で求める。

$$m(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \quad (7)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{f_x(x, y)}{f_y(x, y)} \quad (8)$$

$$\begin{cases} f_x(x, y) = L(x+1, y, \sigma) - L(x-1, y, \sigma) \\ f_y(x, y) = L(x, y+1, \sigma) - L(x, y-1, \sigma) \end{cases} \quad (9)$$

この勾配強度 $m(x, y)$ 、勾配方向 $\theta(x, y)$ から、36方向の重み付方向ヒストグラム $h(\theta)$ を以下のように求める。

$$h(\theta') = \sum_x \sum_y w(x, y) \cdot \delta[\theta', \theta(x, y)] \quad (10)$$

$$w(x, y) = G(x, y, \sigma) \cdot m(x, y) \quad (11)$$

$w(x, y)$  は重みであり、勾配方向  $\theta(x, y)$  及び、特徴点が検出されたスケール  $\sigma$  をスケールとしてもつガウシアンカーネル  $G(x, y, \sigma)$  から求められる。  $\delta$  は、Kronecker のデルタ関数であり、 $\theta(x, y)$  が量子化方向  $\theta$  に含まれる時、1 を返す。オリエンテーションは、このヒストグラム  $h(\theta')$  の最大値の 80% 以上をもつピークとして割り当てられる。なお、ピークが複数個存在する場合には、オリエンテーションは複数個割り当てられる。

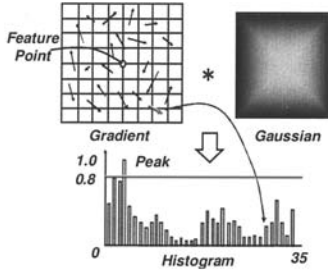


図3 オリエンテーション割り当て

### 3.3 SIFT 特徴量記述

特徴量記述では、まず、特徴点の周辺領域を、求めたオリエンテーションに従い回転させることで正規化する。なお、特徴点の周辺領域は、特徴点のスケールによって定まる。次に、その正規化された周辺領域で輝度勾配ヒストグラムを求める。輝度勾配ヒストグラムは 8 方向とし、周辺領域を  $4 \times 4$  の計 16 ブロックに分割し、その各ブロック毎でヒストグラムを求める。この輝度勾配ヒストグラムは、オリエンテーションを求めた時と同様の手法で求められる。

以上により、各特徴点について、 $4 \times 4 \times 8 = 128$  次元の特徴量を記述することが可能となる。特徴量記述の際に、周辺領域を特徴点のスケールによって定めることで、画像の拡大、縮小に対して不変な特徴量が得られる。また、特徴点のオリエンテーションで正規化した周辺領域を用いることにより、回転に対しても不変な特徴量が得られる。

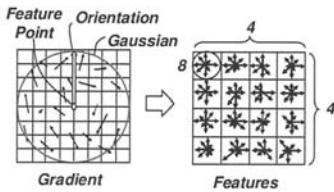


図4 特徴量記述

## 4. 対称 SIFT 特徴量の提案

ここでは、対称ペアである特徴点間の類似度評価が可能な、対称 SIFT 特徴量について説明する。対称 SIFT 特徴量は、SIFT 特徴量記述の際に、特徴点の周辺領域の座標系を正規化して得られる特徴量であり、擬似的にアフィン変換に対応する。

### 4.1 対称ペアの類似度評価

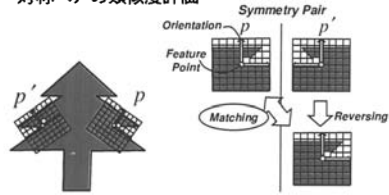


図5 座標系の反転

対称ペアとは、ある軸に関して対称な関係にある 2 点のペアである。対称ペアになる点同士がもつ情報は、形状情報の幾何学的な反転を考慮すれば、完全に一致するはずである。この性質は、この対称ペアを射影カメラに投影して得られる投影点のペアについても、言えるものである。

そこで本論文では、SIFT 特徴量を用いて周辺領域の類似度の評価を行うことで、対称となる特徴点のペアを絞り込むことを考える。しかし、図 5 のように、画面上の対称ペア同士の形状情報は幾何学的に反転している。その為、ただ単純に、対称ペアの周辺領域から求めた SIFT 特徴量を用いてマッチングするだけでは、対称ペアのもつ情報の類似性を評価できない。

これを解決する為には、SIFT 特徴量記述の際に周辺領域の座標系を反転させることによって正規化した後、特徴量を記述すれば良い。図 5 からわかるように、この座標系の反転により対称ペア同士の形状情報が一致し、対称ペアの SIFT 特徴量間のマッチングが可能になる。この周辺領域の座標系の正規化が、対称 SIFT 特徴量の基本的なアイデアとなる。

### 4.2 アフィン変換を考慮した対称 SIFT 特徴量の定義

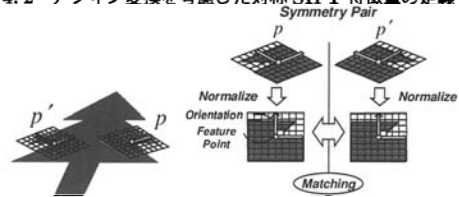


図6 座標系の正規化

図 6 のように、対称平面物体がアフィン変換された場合を考える。この時、対称平面物体上の対称ペアを類似度評価する為には、単純に周辺領域の座標系を反転して正規化するだけでは不十分である。座標系のアフィン変換までを考慮した正規化が必要である。本論文では、この正規化を実現し、対称ペアのアフィン変換までを考慮した、対称 SIFT 特徴量を提案する。

まず、周辺領域の座標系を、特徴点のオリエンテーションとその直交方向により定める。しかし、アフィン変換を考慮すれば、オリエンテーションの直交方向は未知となり、座標系は一意に定まらない。そこで、図 7 の様に、オリエンテーションに対して 60 度、30 度、30 度づつ回転させた 3 方向と、それを反転させた 3 方向の計 6 方向を、オリエンテーションの直交方向と仮定し、複数の座標系を定める。次に、図 6 の様に、定めた 6 方向の各座標系を直交座標系になるように正規化した後、SIFT 特徴量を記述する。これにより、特徴点 1 点に対して、定めた座標系の 6 個分の SIFT 特徴量が記述される。これらの特徴量が、対称 SIFT 特徴量となる (図 7 参照)。

マッチングの際には、対称 SIFT 特徴量すべてを用いてマッチさせる。これにより、対称ペアがアフィン変換されたとしても、対称ペアの各特徴点について少なくとも1つの座標系で記述される SIFT 特徴量間の類似度は高くなる。これにより、対称 SIFT 特徴量を用いれば、対称性平面物体がアフィン変換された場合でも、対称ペアである特徴点間の類似度評価が可能になると考えられる。本論文では、この対称 SIFT 特徴量を用いて、対称ペアの候補を絞り込む。

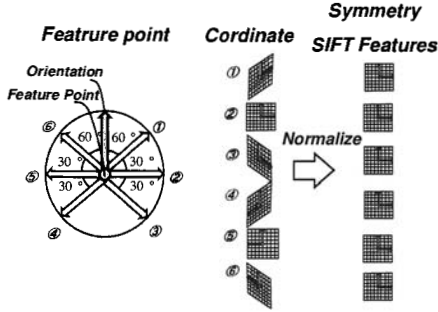


図7 対称 SIFT 特徴量

## 5. 対称弁別度を用いた対称ペアの絞り込み

本論文では、対称弁別度を提案し、それを用いて検出された特徴点から対称ペアの候補を絞り込む。対称弁別度とは、特徴点間の対称ペアらしさを表す尺度であり、対称 SIFT 特徴量と特徴点のスケール情報を用いて表現する。

### 5.1 対称弁別度

ここでは、対称弁別度の求め方について説明する。

まず、特徴点  $P, P'$  間の相違度  $D_{PP'}$  を、対称 SIFT 特徴量の Euclidean 距離により、以下の様に定義する。

$$D_{PP'} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (s_k^P - s_k^{P'})^2} \quad (12)$$

ここで、 $s_k^P$  は、特徴点  $p$  における対称 SIFT 特徴量の  $k$  番目の要素、 $d$  は、対称 SIFT 特徴量の次元数である。

ここで、ある特徴点  $q$  に対して、一番目に低い相違度をもつ特徴点を  $p$  とし、二番目に低い相違度をもつ特徴点を  $p'$  とする。この時、対称ペアである特徴点間の相違度は、対称ペアではない他の特徴点間の相違度に比べ、非常に低いと考え、特徴点  $q, p$  間の、対称 SIFT 特徴量に関する弁別度  $J_{qp}^F$  を次のように定義する。

$$J_{qp}^F = \frac{D_{qp'} - D_{qp}}{D_{qp'} + D_{qp}} \quad (13)$$

次に、特徴点  $q$  のスケールを  $S_q$  とし、特徴点  $p$  のスケールを  $S_p$  とする。この時、対称ペアである特徴点同士のスケールは類似すると考え、特徴点  $q, p$  間の、スケールに関する弁別度  $J_{qp}^S$  を次のように定義する。

$$J_{qp}^S = \frac{\min(S_q/S_p, S_p/S_q)}{-\min(S_q/S_p, S_p/S_q) + 2} \quad (14)$$

以上の  $J_{qp}^F, J_{qp}^S$  より、特徴点  $q, p$  間の対称弁別度  $J_{qp}$  は、次のように定義される。

$$J_{qp} = \alpha J_{qp}^F + (1 - \alpha) J_{qp}^S \quad (15)$$

ここで、 $\alpha$  は、 $J_{qp}^F, J_{qp}^S$  の重みであり、0 から 1 の値をとる。  $J_{pq}$  は 1 に近いほど、特徴点  $q, p$  のペアは対称ペアらしい。

## 5.2 対称ペアの絞り込み

本論文では、SIFT より検出された特徴点から、2 点のペアを選ぶ全ての組み合わせを考え、各ペアについて対称弁別度を計算する。そして、対称弁別度が閾値以上のペアを対称ペアの候補とすることで、対称ペアの絞り込みを実現する。以下では、この絞り込みについて、詳しく説明する。

前章で述べた様に、対称 SIFT 特徴量は特徴点 1 点に対して 6 個の特徴量が記述される。ゆえに、対称弁別度は、検出した特徴点によって記述される全ての対称 SIFT 特徴量から、2 つのペアを選ぶ組み合わせで計算する。ただし、対称弁別度を計算する必要のない対称 SIFT 特徴量のペアも存在する。それは、対称 SIFT 特徴量記述の際の、周辺領域の座標系が一致するペアである。対称ペアの形状情報は対称軸に関して反転するので、それぞれの周辺領域の座標系が一致することはない為である。

具体的な流れは、図 8 のようになる。今、SIFT より  $N$  個の特徴点が検出され、6 個の座標系で対称 SIFT 特徴量を記述したとする。ここで、 $k$  個目の特徴点の  $i$  番目の座標系により記述された SIFT 特徴量を、 $SSF_i^k$  と表す。

まず、ある  $SSF_i^k$  をクエリとして選択する。同時に、記述した全ての対称 SIFT 特徴量から、 $q$  個目の特徴点により記述された特徴量、及び、 $q_i$  番目の座標系により記述された特徴量を除いた、対称 SIFT 特徴量のデータベースを構築する。

次に、 $SSF_i^k$  の対称弁別度を求める。ここで、 $SSF_i^k$  の相違度に対する 2-最近傍点  $SSF_{p1j}^{p1}, SSF_{p2j}^{p2}$  が必要であるので、構築したデータベースから 2 点を探索する。そして、得られた 2-最近傍点  $SSF_{p1j}^{p1}, SSF_{p2j}^{p2}, SSF_i^k$  の 3 つの対称 SIFT 特徴量、及び、スケール情報より、対称弁別度  $J_{pq}$  を求める。

最後に、対称弁別度  $J_{pq}$  による閾値処理を行う。  $J_{pq}$  が閾値  $T_J$  以上の対称弁別度をもつ場合にのみ、特徴点のペア  $\{p, q\}$  を対称ペアの候補として絞り込む。

すべての対称 SIFT 特徴量のペアについて弁別度計算する為には、クエリの選択をすべての対称 SIFT 特徴量で行えばよい。以上により、対称ペアの絞り込みは実現される。

本論文では、対称 SIFT 特徴量の 2-最近傍探索の際に、Kd-Tree による最近傍探索を用いてその処理時間を短縮する。

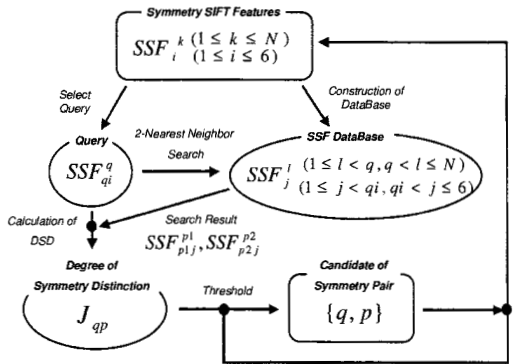


図8 対称ペア絞り込みの流れ

## 6. 対称性平面物体の検出法

### 6.1 対称性平面物体と複比 [5]

一般の透視カメラで平面を撮影した場合、その投影は2次元の射影変換となる。今、2次元の射影変換は群をなす変換群であり、この透視カメラのもとで不変量を射影不変量という。複数の異なる視点に置かれた射影カメラによって、一つの平面を投影した場合、それらの投影像より計算した射影不変量は視点によらず一定であり、射影的に等しい。この射影不変量として、射影平面上の一直線上に4点における複比が挙げられる。ここでは、対称性平面物体と複比の関係について述べる。

3次元空間に配置された対称平面物体と、射影カメラへの投影像が、図9の様を得られたとする。ここで、 $P_1, P_1'$ を通過する直線の無限遠点を  $P_V$  とし、その投影点を  $p_v$  とする。 $p_v$  は、消失点と呼ばれる。今、 $P_1, P_1', P_{M1}, P_V$  は一直線上の4点であるので、射影変換のもとでの不変量である複比を求めることができ、下の式が成り立つ。

$$\frac{{}^1P_1P_{M1}{}^1P_1'P_V}{{}^1P_1'P_{M1}{}^1P_1P_V} = \frac{{}^1p_1p_{m1}{}^1p_1'p_v}{{}^1p_1'p_{m1}{}^1p_1p_v} \quad (16)$$

ここで、 $\frac{{}^1P_1P_V}{{}^1P_1'P_V} = 1$  であり、また、 $P_{M1}$  は、 $P_1$  と  $P_1'$  の中点であるので、式 (16) は次のようになる。

$$\frac{{}^1p_1p_{m1}{}^1p_1'p_v}{{}^1p_1'p_{m1}{}^1p_1p_v} = -1 \quad (17)$$

以上より、画像面上において、対称ペア  $p_1, p_1'$ 、対称ペアの中点  $p_{m1}$ 、及び消失点  $p_v$  の4点のうち、3点が既知であるなら、もう1点は式 (17) より求めることができる。

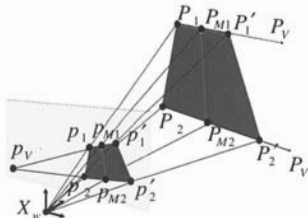


図9 一直線上の4点による複比と対称性平面物体

### 6.2 対称性平面物体の検出

対称弁別度を用いて絞り込んだ対称ペアから、対称性平面物体を検出する手法について説明する。ここでは、基本アイデアのみの説明とする (図10参照)。

対称ペア、その中点、及び消失点の4点の内、3点が既知であるなら、他の1点は求めることができる。今、対称ペアは絞り込まれているので、2点は与えられる。次に、消失点について考える。消失点とは、複数の平行な直線の投影像の交点であり、これは無限遠点の投影点を表わす。対称ペア同士は3次元空間中で平行であるので、それらの投影像における交点は、消失点となる。ゆえに、絞り込んだ対称ペアから、消失点を求めることができる。

ここで、3点が既知となるので、絞り込んだ対称ペア、それぞれの中点の投影像も求めることが可能となる。対称ペアの各中点の投影像が分かれば、対称軸はそれらの点を通る直線として与えられる。対称性平面物体は、対称ペアと対称軸により定義される。ゆえに、画像面上でそれらの投影点が得られることは、対称性平面物体が検出されたことを意味する。

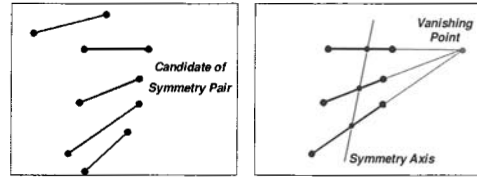


図10 対称軸検出

## 7. 実験

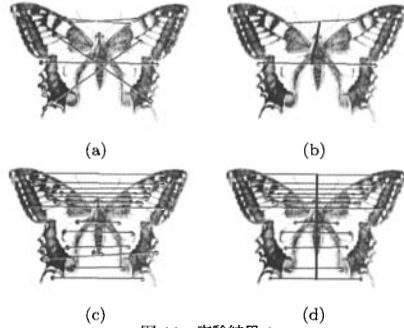


図11 実験結果1

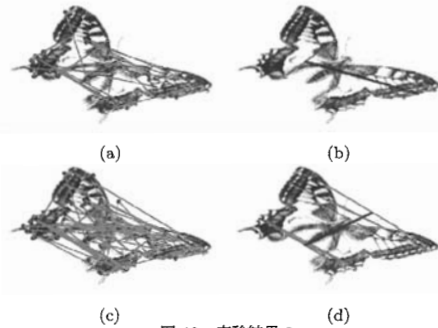


図12 実験結果2

### 7.1 5.2の予備実験1

この実験では、SIFT特徴量記述の際に、周辺領域の座標系反転による正規化を行って得られる特徴量を用いて、対称弁別度を求め、対称ペアを絞り込んだ。さらに、絞り込んだ対称ペアから、対称性平面物体を検出した。

図11(a)は、通常のSIFT特徴量を用い、5.1で定義される対称弁別度  $J_{dp}^N$  により、対称ペアを絞り込んだ結果である。(b)は、絞り込んだ対称ペアから、対称性平面物体を検出した結果である。図11(c)は、周辺領域の座標系反転による正規化を行い得られるSIFT特徴量を用い、5.1で定義される対称弁別度  $J_{dp}^R$  により、対称ペアを絞り込んだ結果である。(d)は、対称性平面物体を検出した結果である。 $\alpha = 0.8, T_J = 0.25$  とした。

結果から、 $J_{dp}^N$  では対称ペアを絞り込むことが行えず、対称平面物体を検出できていない。それに対し、 $J_{dp}^R$  では対称ペアの絞り込みが行えており、対称性平面物体が検出されている。以上より、SIFT特徴量記述の際の、周辺領域の座標系反転の有効性が確認された。

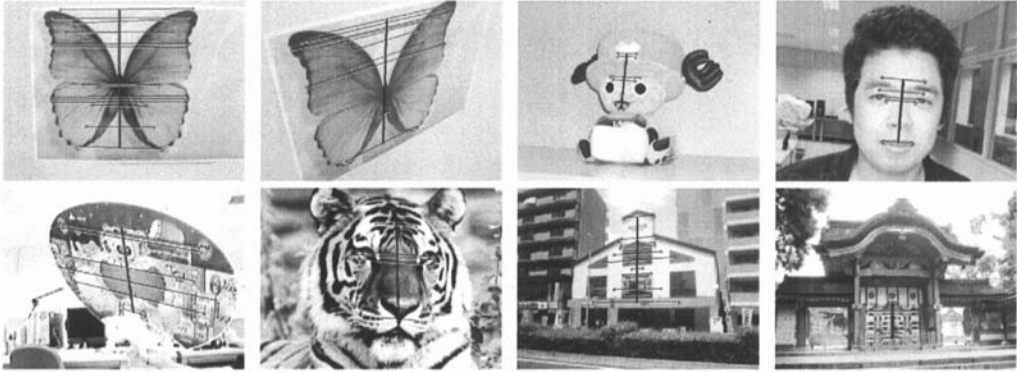


図 13 実験結果

### 7.2 5.2の予備実験2

この実験では、対称 SIFT 特徴量を用いて対称弁別度を求め、対称ペアを絞り込んだ。さらに、絞り込んだ対称ペアから、対称性平面物体を検出した。ここで入力画像は、7.1 の入力画像をアフィン変換したものとした。

図 12(a) は、7.1 で定めた対称弁別度  $J_{Rp}^R$  により、対称ペアを絞り込んだ結果である。(b) は、絞り込んだ対称ペアから、対称性平面物体を検出した結果である。図 12(c) は、4.2 で述べた対称 SIFT 特徴量を用い、5.1 で定義される対称弁別度  $J_{qp}$  により、対称ペアを絞り込んだ結果である。(d) は、対称性平面物体を検出した結果である。 $\alpha = 0.8, T_J = 0.1$  とした。

結果から、 $J_{Rp}^R$  では対称ペアを絞り込むことが行えず、対称性平面物体を検出できていない。それに対し、 $J_{qp}$  では対称ペアの絞り込みが行えており、対称性平面物体が検出されている。以上より、対称 SIFT 特徴量は、アフィン変換された物体に対しても、対称ペアの絞り込みが可能であり、対称性平面物体の検出が可能であることが確認された。

### 7.3 対称性平面物体の検出結果

提案手法の有効性を確認する為、一般画像から対称性平面物体を検出する実験を行った。各入力とも、SIFT によって抽出される特徴点数が 1000 点程度となるように、SIFT パラメータを調整する。対称弁別度のパラメータ  $\alpha$  を 0.8 とし、対称弁別度の閾値  $T_J$  を 0.1 とする。

図 13 が、実験結果となる。様々な入力に対して、対称性平面物体が検出されているのが確認できる。今、対称性平面物体がうまく検出される状況を考える。それは、対称性平面物体の画像面への透視投影が、弱透視投影で近似できる場合である。この時、対称性平面物体の投影像に対して考慮すべき変換はアフィン変換となる。ゆえに、アフィン変換に対応した対称 SIFT 特徴量を用いることで、対称ペアの絞り込みが実現でき、対称性平面物体の検出が可能となる。

対称ペアの絞り込み精度は、対称 SIFT 特徴量記述の際に仮定する周辺領域の座標系の数に依存する。しかし、処理時間は、特徴点数  $n_1$ 、及び、周辺領域の座標系の数  $n_2$  で決定し、 $O(n_1 \cdot n_2 \cdot C_2)$  となる。その為、座標系の数  $n_2$  を増やせば検出精度は向上する

が、処理時間は増大する。本論文では、 $n_1 = 1000, n_2 = 6$  を、検出精度と処理時間のトレードオフ点とした。

以上より、条件はあるが、アフィン変換に対応した対称性平面物体の検出が可能であることが確認出来た。

## 8. まとめ

本論文では、1枚の入力画像から、対称性平面物体を検出する手法を提案した。提案手法は、様々な入力画像に対して対称性平面物体の検出が可能であることを、一般画像を用いた実験により確認した。ページの都合上、複比を用いて対称性平面物体を検出する手法については、詳しく説明出来なかつたので、今後、新たな研究成果を含めた上で発表する。

今後の予定として、対称 SIFT 特徴量の射影変換への対応を行う。一般のカメラは射影カメラでモデル化される為、射影変換に対応した対称ペアの絞り込みが行えれば、提案手法の適応範囲も格段に広がると考えられる。また、対称性をもつ平面物体だけではなく、面对称までを考慮した物体の検出を行う。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)18500131、ならびに基盤研究(C)19500150の補助を受けている。

## 文 献

- [1] 河越正弘, 青山 宏. 顔の面对称性を利用した視線感知法. コンピュータビジョン 61-2, 1989.
- [2] KUN HUANG WEI HONG, ALLEN YANG YANG and YI MA. On symmetry and multiple-view geometry: structure pose and calibration from a single image. *International Journal of Computer Vision* 60(3), pp. 241-265, 2004.
- [3] D.Q.Huynh. Affine reconstruction from monocular vision in the presence of a symmetry plane. *ICCV*, pp. 476-482, 1999.
- [4] 藤吉 弘亘. Gradient ベースの特徴抽出-SIFT と HOG-. *CVIM* 160, pp. 211-224, 2007.
- [5] 佐藤 浄. コンピュータビジョン-視覚の幾何学. コロナ社. 1999.