

# 水中画像における投票と領域抽出を用いた ロバストな物体移動量計測

加藤禎章 (立命館大学) 平井慎一 (立命館大学)

## 1. 緒言

水中下で画像処理を用いた物体の認識、追跡を行う際、水の濁りや照明変化、プランクトンといった外乱が大きく影響を及ぼす。

物体の特徴点を用いた追跡では KLT 法 [1] が知られている。ただし KLT 法は照明変化に弱く、回転やスケール変化に対応していないため水中下での使用は困難である。そこで本研究では、照明変化や回転・スケール変化にロバストである Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)[2][3] を用いる水中物体の移動量計測アルゴリズムを提案する。特に SIFT マッチングで問題となる背景への誤対応に対して、領域抽出と投票によって正しく物体移動量を計測できるアルゴリズムを構成する。

## 2. アルゴリズム構成

提案するアルゴリズムの流れを図 1 に示す。本システムは、まず 2 画像を差分、クロージングを行うことによりマスクを作成する。入力画像にこのマスク画像を適用することで対象物体の領域を抽出し、背景への誤対応を低減させる。次に SIFT マッチングを用いて移動量を計測する。なおマスク処理では、画像に対して階調イコライゼーションを行うことで、水の濁りによらないマスク画像の生成を実現する。また移動量を計測する際に、投票処理を行うことでマスク処理で除去できなかった背景による影響を除去し、正確な対象物の移動量計測を可能にする。



図 1 物体移動量計測アルゴリズムの流れ

## 3. 物体移動量の導出

テンプレート画像と入力画像の関係が相似変換で与えられると仮定し、相似変換における回転角度を  $\theta$ 、倍率を  $\alpha$ 、平行移動量を  $(x_{trans}, y_{trans})$  で表す。このとき、テンプレート側の特徴点の座標  $(x, y)$  と、これに対応する入力画像側の特徴点の座標  $(X, Y)$  は次式を満たす。なお本稿では、 $\cos \theta = C_\theta$ 、 $\sin \theta = S_\theta$  で表す。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} C_\theta & -S_\theta \\ S_\theta & C_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{trans} \\ y_{trans} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、図 2 におけるテンプレート画像側の 2 個の特徴点の座標を  $(x_i, y_i)$ 、 $(x_j, y_j)$ 、これらに対応する入力画像側の特徴点の座標を  $(X_i, Y_i)$ 、 $(X_j, Y_j)$  で表す。このとき、

$$\begin{bmatrix} X_i - X_j \\ Y_i - Y_j \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} C_\theta & -S_\theta \\ S_\theta & C_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - x_j \\ y_i - y_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

が成り立つ。したがって回転角度  $\theta$  と倍率  $\alpha$  はそれぞれ式 (3)、式 (4) で示せる。

$$\theta = \text{atan2}(y_i - y_j, x_i - x_j) - \text{atan2}(Y_i - Y_j, X_i - X_j) \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} \quad (4)$$

導出した回転角度  $\theta$  と倍率  $\alpha$  を式 (1) に代入することで平行移動量  $(x_{trans}, y_{trans})$  が求まる。

以上の処理を無作為に選択した 2 画像間で対応する特徴点の組を用いて複数回実行し、投票を行うことで物体の移動量を決定する [4]。

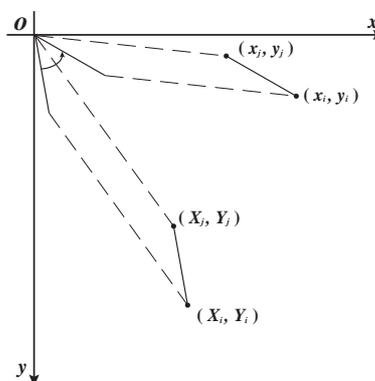


図 2 物体移動量モデル

#### 4. 画像による検証

提案したアルゴリズムが背景や濁りの影響によらず、正しく対象物体の移動量計測が可能か否かを検証する。そのために、濁りのみ、背景のみ、背景と濁りが混在している、3パターンの画像を用いて検証実験を行った。まず濁りのみの場合において、階調イコライゼーションを行わない場合と行う場合で領域抽出を実行し、対象物体が適切に抽出できているか比較を行う。次に残りの2パターンに関して、撮影した画像をSIFTマッチングのみで移動量を計測した場合と提案した手法で移動量を計測した場合で比較を行った。検証画像は、Canon EOS Kiss x2を用いて撮影した画像にトリミングと画像圧縮処理を施し、512×512[pixel]の画像として用いた。また、本報告では対象物体が背景に比べ大きく移動していることとし、背景の変動も微小であると定義する。

本システムはOpenCV1.0[5]とGSL(GNU Scientific Library) ver.1.8を用いて作成した。また、SIFTマッチングには公開されているソースコード[6]を改良して使用した。SIFTにおけるパラメータはこのソースコードに準拠する。ただし、コントラストに対する閾値SIFT\_CONTR\_THRは0.01に変更している。

検証実験での出力結果で用いられる記号の内訳を表1に示す。

表1 出力結果の内訳

記号	内訳
SIFT match only	SIFT マッチングのみで移動量計測した場合
proposed method	提案した手法で移動量計測した場合
degree	回転角度 [deg.](反時計回り正)
scale	出力倍率
x_trans	$x$ 方向の平行移動量 [pixel]
y_trans	$y$ 方向の平行移動量 [pixel]

##### 4.1 濁りのみの場合

用いる画像を図3に示す。ここでは対象物体として、水深15cmに沈めた状態で撮影したジュースパック画像を使用する。また、水の濁りは25lの水に対してアクリル絵の具1.0gを混合した環境である。

2画像間を階調イコライゼーションを行わなかった場合と行った場合における出力画像の比較を図4に示す。

図4より階調イコライゼーションを行わない場合、背景と対象物体のコントラストに差がほとんどないため、二値化処理で分離できずに領域抽出ができていない。一方、階調イコライゼーションを行った場合、正しく領域抽出が行われていることが分かる。このことから、階調イコライゼーションを領域抽出の前処理に加えることは、水の濁りがある環境で対象物体の領域を抽出する上で有効である。

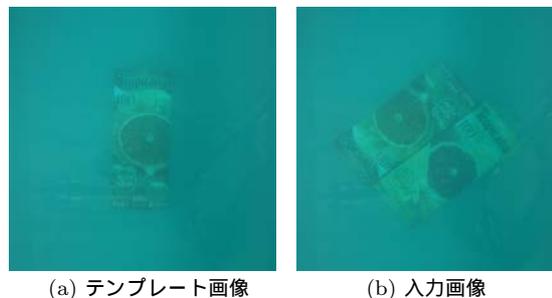
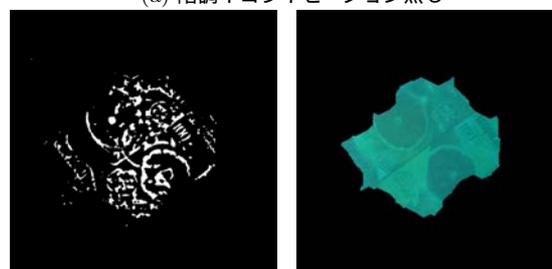


図3 検証画像(濁りのみ)



二値化画像 領域抽出した画像  
(a) 階調イコライゼーション無し



二値化画像 領域抽出した画像  
(b) 階調イコライゼーション有り

図4 画像の比較

##### 4.2 背景のみの場合

用いる画像を図5に示す。ここでは対象物体として、水深15cmに沈めた状態で撮影したジュースパック画像を使用する。2画像間をSIFTマッチングのみで移動量計測した結果と提案した手法で移動量計測した結果を表2に示す。また、各手法でマッチングした際の対応関係、出力結果をもとにテンプレート画像と入力画像との比較をそれぞれ図6、図7に示す。

出力結果より、SIFTマッチングのみで移動量計測をした場合、対応する特徴点が対象物体より背景に多いため背景の移動量が計測されている。一方、提案した手法では図6で示されるように領域抽出によって背景に対する対応が減少していることが確認できる。また、領域抽出では除去しきれなかった背景に対する誤対応が残っているが、移動量計測時における投票処理により図7のように対象物体の移動量を計測できていることが分かる。

表2 出力結果(背景のみ)

method	degree	scale	x_trans	y_trans
SIFT match only	0.0	1.0	0.2	0.6
proposed method	-89.5	1.0	-20.0	100.6



(a) テンプレート画像 (b) 入力画像

図5 検証画像



(a) SIFT マッチングのみ



(b) 提案した手法

図6 2画像間の対応点



入力画像 編集した画像  
(a) SIFT マッチングのみ



入力画像 編集した画像  
(b) 提案した手法

図7 2画像の比較

### 4.3 背景と濁りが混在している場合

用いる画像を図8に示す．ここでは対象物体として、水深 15cm に沈めた状態で撮影したジュースパック画像を使用する．また、水の濁りは 25l の水に対してアクリル絵の具を 1.0g 混合している．2 画像間を SIFT マッチングのみで移動量計測した結果と提案した手法で移動量計測した結果を表3に示す．また、各手法でマッチングした際の対応関係を図9に、出力結果をもとに編集したテンプレート画像と入力画像との比較を図10に示す．

出力結果より、前項と同様に SIFT マッチングのみで移動量計測をした場合には背景の移動量が計測されている．しかし、提案した手法で移動量計測をした場合、図10のように対象物体の移動量を計測できていることが分かる．以上の結果より提案した手法は、背景や水の濁りによらず対象物体の移動量を計測できることが示せた．これより、今後テンプレート更新を用いた移動物体のリアルタイム追跡を行う場合、背景に対する影響は領域抽出と移動量計測における投票処理によって除去でき、正確な追跡が可能になると考えられる．

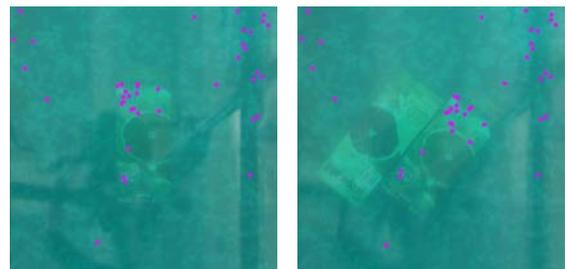


(a) テンプレート画像 (b) 入力画像

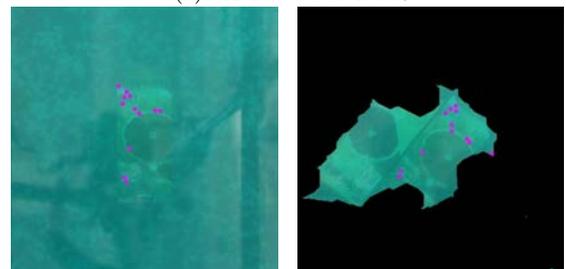
図8 検証画像

表3 出力結果 (背景+濁り)

method	degree	scale	x_trans	y_trans
SIFT match only	-0.1	1.0	0.0	0.1
proposed method	-38.8	1.0	17.7	29.6

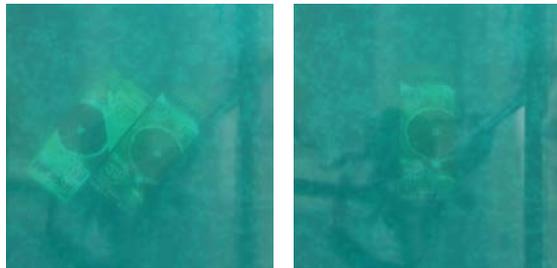


(a) SIFT マッチングのみ

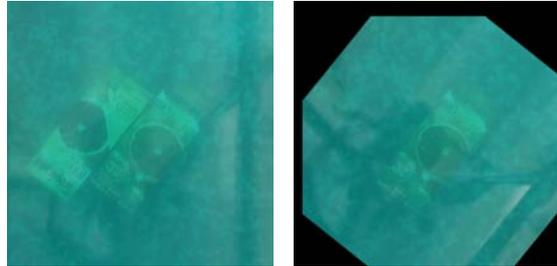


(b) 提案した手法

図9 2画像間の対応点



入力画像 編集した画像  
(a) SIFT マッチングのみ



入力画像 編集した画像  
(b) 提案した手法

図 10 2 画像の比較

## 5. 結言

本稿では，水中下で生じる濁りや背景に対して有効な画像処理アルゴリズムを提案した．また画像を用いて提案したアルゴリズムの有効性を示した．

今後，テンプレート更新を利用したアルゴリズムのリアルタイム化を進め，水中ロボットを用いた検証を行う予定である．

## 謝辞

本研究を進めるにあたって，多大なご助言，ご協力を下さった大日本スクリーン製造株式会社の皆様に深く感謝いたします．

## 参考文献

- [1] Carlo Tomasi, Takeo Kanade: “Detection and tracking of point features”, Technical report, CMU-CS-92-132, 1991
- [2] David G. Lowe: “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, Journal of Computer Vision, 2004
- [3] 藤吉弘亘: “Gradient ベースの特徴抽出 - SIFT と HOG - ”, 情報処理学会 研究報告 CVIM 160, pp. 211-224, 2007
- [4] 加藤 禎章, 平井 慎一: “投票による SIFT を用いた物体移動量計測”, ロボティクス・メカトロニクス'10 講演論文集 CD-ROM, 2010
- [5] “OpenCV-1.0 リファレンス マニュアル”, <http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/>
- [6] Rob Hess: “A C implementation of a SIFT image feature detector”, <http://web.engr.oregonstate.edu/~hess/index.html>