

# 高速度ステレオカメラを用いた水中画像の 視野妨害ノイズ除去と3次元計測

## Removal of Scene Occluders and 3D Measurement of Objects in Underwater Images Acquired with High Speed Stereo Camera

○学 原田 真里 (静岡大) 正 山下 淳 (東京大)  
正 金子 透 (静岡大) 正 浅間 一 (東京大)

Masato HARATA, Shizuoka University  
Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo, yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp  
Toru KANEKO, Shizuoka University, tmtkane@ipc.shizuoka.ac.jp  
Hajime ASAMA, The University of Tokyo, asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp

In recent years, sensing of underwater environment and research of aquatic life become important. However, in actual subsea environment, sensing is difficult for bubbles, dust and other floating matter to interfere with the field of view as scene occluders. In this paper, we propose a method for removing scene occluders from underwater images by detecting moving objects with high speed cameras. And we execute 3D measurement from images removing scene occluders by using ray tracing method to accomplish high accuracy measurement in submerged objects. Effectiveness of the proposed method is verified through experiments.

**Key Words:** Underwater, High Speed Camera, Scene Occluder, 3D Measurement

### 1. 序論

近年、海洋生物調査や海底環境調査、サルベージなどで人間に代わって活動する水中ロボット、無人潜水艦のような観測・作業システムの必要性が増してきた。そこで、水中ロボットなどに搭載したカメラを用いて水中に存在する対象物の位置・形状を高精度に検出するために、画像センシングが用いられるようになってきている。

しかし、水中では気泡やチリ、その他の浮遊物体などが存在し、観測を妨害することがある(図1)。そのため、水中において計測対象を精度良く抽出し、3次元計測を行うためには画像中から気泡などの視野妨害ノイズを除去する必要がある。

この問題に関して、高速度カメラを用いて視野妨害ノイズを除去する手法が提案されている[1]。この手法では、時系列メディアンフィルタにより背景推定を行い、背景差分法により物体を抽出し、クラスタリングにより分類して気泡等の視野妨害ノイズのみを時系列画像を用いて補完を行うことにより除去している。

しかし、文献[1]では時系列メディアンフィルタを用いているため移動カメラに対応しておらず、水中ロボットなどを動作させて撮影する場合には視野妨害ノイズを除去することが困難となる。

そこで本研究では、高速度ステレオカメラを用いてカメラを移動させながら撮影した画像から視野妨害ノイズを除去する手法を提案する。さらに3次元計測を行うことで、計測における視野妨害ノイズ除去の有効性を提示する。



Fig. 1 Example of scene occluders

### 2. 視野妨害ノイズ除去

提案手法の処理手順を図2に示す。高速度カメラを用いて撮影し、高フレームレートの時系列画像を得る。取得した時系列画像に対してInpaintingにより各フレームについて背景推定画像を生成し、背景差分法により観測対象を抽出する。

また、取得した時系列画像からオプティカルフローを算出する。得られたオプティカルフローの情報により視野妨害ノイズを検出する。以上により得られた観測対象画像と視野妨害ノイズ検出画像を用いて、検出した視野妨害ノイズのみを時系列画像処理により除去する。

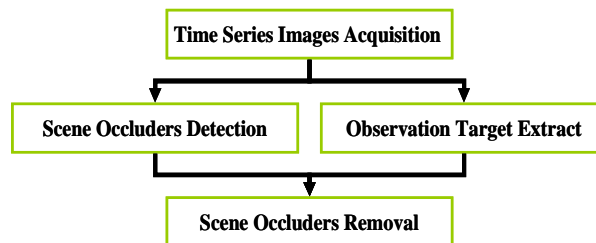


Fig. 2 Outline of occluder removal

#### 2.1 対象抽出

最初のフレームにおいて、観測対象の周辺領域を対象周辺領域として指定し、対象周辺領域に関してInpaintingを行う。本研究では、Inpaintingの基本的な手法であるNavier-stokes方程式をベースとした手法を用いる[2]。これは輝度値の連続性を考慮して、不要オブジェクトのような画像の欠落領域に対して周りから滑らかに輝度値を補間する手法である。これによって得られた画像を背景推定画像とする。

この背景推定画像と背景推定に利用した元の画像を用いて背景差分法を適用することで対象領域を抽出し、対象領域画像(図3)を得る。

次のフレーム以降に関しては、前のフレームから得られた対象領域画像をもとに対象周辺領域を決定する。このとき、高フレームレートで画像を取得しているため、観測対象の動きは微小であると考えられることから対象領域に膨張処理を

行うことで対象周辺領域を求めている。

本手法では各フレームに対して、これらの処理を行っているため移動カメラへの対応が可能であり、さらに背景の揺動の影響を受けにくい。

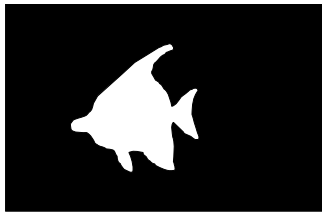


Fig. 3 Target region image

## 2.2 視野妨害ノイズの検出

視野妨害ノイズの検出にはオプティカルフローを用いる。オプティカルフローは画像上の動きのベクトル場を表し、これを求めることにより画像上での物体の動きの情報を得ることができる。

ここで、視野妨害ノイズは観測対象よりも動きが速いという前提条件を設定することにより、視野妨害ノイズのみに対してオプティカルフローを算出し、視野妨害ノイズを検出する(図4)。

本研究では、輝度勾配に基づく手法でオプティカルフローを算出する。この手法は連続するフレーム間で輝度値に大きな変化がないという条件の下、精度良くオプティカルフローを算出することができる。また、高フレームレートで画像を取得することにより、気泡のような高速で移動する物体に対してもオプティカルフローを算出できる。

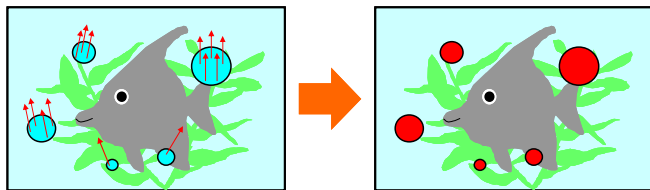


Fig. 4 Detection of scene occluders

## 2.3 視野妨害ノイズの除去

2.1 節、2.2 節で得られた対象領域画像と視野妨害ノイズの検出結果を用いて、時系列画像処理により視野妨害ノイズの除去を行う。除去の処理手順を図5に示す。

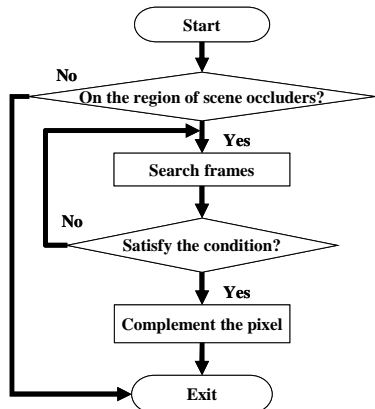


Fig. 5 Process flow of occluder removal

注目フレームにおいて検出した視野妨害ノイズ領域上に存在する画素を探索する。視野妨害ノイズ領域上に存在してい

る画素に対して、対応する画素が視野妨害ノイズ領域上に存在しないフレームを時系列画像から探索する。このとき、対応する画素は注目画素が対象領域上にも存在しているかどうかで画素の補完に使用するフレームの条件が異なる。

フレーム探索の条件は、注目画素が対象領域上に存在していない場合には、注目画素と同じ位置で視野妨害ノイズ領域上でなく対象領域上でない画素があるフレームを探索する。

また、注目画素が対象領域上に存在している場合には、まず観測対象の移動量をテンプレートマッチングにより算出する。算出した観測対象の移動量だけ注目画素からずらした位置で視野妨害ノイズ上でなく、対象領域上である画素があるフレームを探索する(図6)。

条件を満たしたフレームの画素を注目画素に補完することで視野妨害ノイズの除去を行う。これを注目フレームの全画素について繰り返し行い、終了したら次のフレームの処理に進む。全フレームに関して以上の処理を行うことで視野妨害ノイズを除去する。

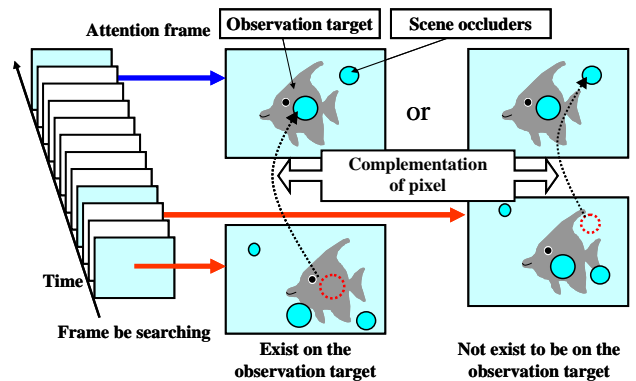


Fig. 6 Search conditions of frames

## 3. 光の屈折を考慮した3次元計測

本研究では、空気中から水中に存在する物体を撮影した画像からステレオ法を用いて3次元計測を行う。このとき、屈折率の異なる物質中に存在する物体を観測するため光の屈折による計測の誤差が問題となることが分かっている[3]。したがって、屈折面に対する光の屈折を考慮した光線追跡法を用いる。

### 3.1 対応点探索

まず、エピポーラ線を推定する。エピポーラ線とは、ステレオ視において片方のカメラ画像に写った点の投影軌跡(光線)をもう片方のカメラ画像上に投影することにより、画像中に現れる線のことである。ステレオ視では、エピポーラ線に対対応点探索の範囲を限定できるため、対応点を求めるのに有効である(図7)。

左カメラのレンズ中心から画像上のある点に向かう光線を算出する。このとき、屈折面で屈折した光線ベクトル(図8)はスネルの法則を用いて、式(1)のように導出する。

$$\mathbf{r}_2 = \frac{n_1}{n_2} \mathbf{r}_1 + \left( \sqrt{1 - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_1} - \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_1 \right) \mathbf{v} \quad (1)$$

ここで、屈折前の媒質の屈折率を  $n_1$ 、屈折後の媒質の屈折率を  $n_2$  とし、入射角を  $\theta_1$  とする。また、屈折前の光線ベクトルを  $\mathbf{r}_1$ 、屈折後の光線ベクトルを  $\mathbf{r}_2$ 、屈折面の法線ベクトルを  $\mathbf{v}$  とする。

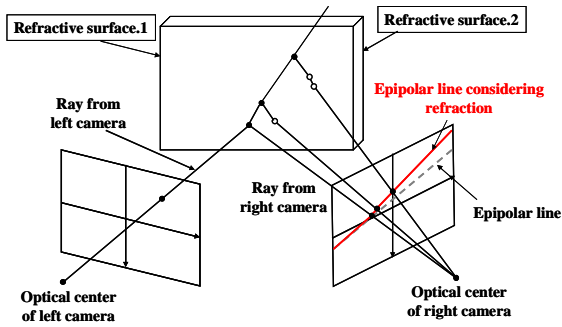


Fig. 7 Epipolar line for case of observing submerged objects

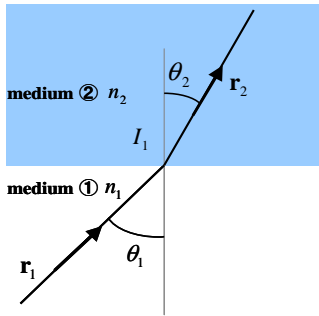


Fig. 8 Change of the light ray vector

算出された左カメラ光線を右カメラ画像上に投影することで、屈折の影響を考慮したエピポーラ線を推定する。

次に、エピポーラ線上をテンプレートマッチングによって対応点探索をすることにより対応点を求める。

### 3.2 光の屈折を考慮した3次元計測

3.1節で求めた左右それぞれの画像の対応点に対して、左カメラ光線と右カメラ光線を求める。この2つの光線の交点を3次元計測点として算出する。しかし、ステレオカメラの校正の誤差や光線の計算による丸め誤差の影響により、厳密に2つの光線が交わることは少なく、ねじれの位置関係となる。

そこで、左カメラ光線と右カメラ光線の距離  $L$  が最短となる時の光線間の midpoint を3次元計測点とする (図9)。

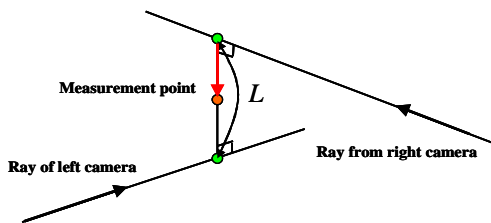


Fig. 9 Position of measurement point

## 4. 実験

本研究では、気泡によって視野が妨害されている環境中を移動する魚の模型を観測するために、視野妨害ノイズを除去する実験を行った。また、計測における視野妨害ノイズ除去の有効性を確認するために、視野妨害ノイズの除去された画像中から魚の模型を3次元計測する実験を行った。

### 4.1 実験環境

実験には、背景として青い画用紙を貼り付けた水槽、海藻の模型、エアシャワー (気泡発生装置)、魚の模型を用いた (図10)。魚の模型を観測対象とし、気泡を視野妨害ノイズとする。

撮影には、高フレームレート撮影が可能なデジタルカメラ (CASIO 製 EXILIM EX-F1) を2台使用した。撮影した動画の解像度は  $512 \times 384$  pixels, フレームレートは 300fps である。

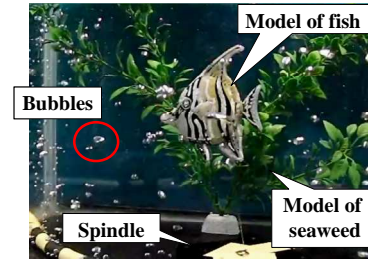


Fig. 10 Experiment environment

### 4.2 視野妨害ノイズの除去実験

この実験では、2台のカメラの位置関係を変化させずに、動かしながら撮影した。また、観測対象も動かしている。

Inpainting によって得られた背景推定画像を図11に示す。また、背景差分法によって得られた対象領域画像を図12に示す。対象領域画像には対象周辺の海藻の模型の影響が表れているが、対象領域を抽出できていることが分かる。



Fig. 11 Estimated background image

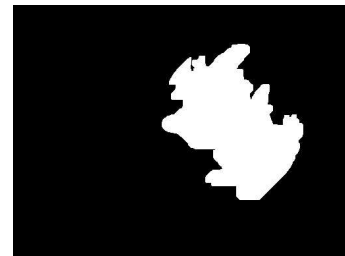


Fig. 12 Extracted target region image

オプティカルフローを用いて気泡を視野妨害ノイズとして検出した結果を図13に示す。視野妨害ノイズと判断された領域を赤く表示している。検出にはオプティカルフローのみを用いているため、小さい視野妨害ノイズやフレーム間で動きの小さい視野妨害ノイズを検出することは難しいと考えられる。しかし、視野妨害ノイズ領域を頑健に検出できていることが分かる。



Fig. 13 Detected scene occluders



以上により得られた対象領域画像と視野妨害ノイズの検出結果を用いて視野妨害ノイズを除去した結果を図 14 に示す。一部分ではあるが、視野妨害ノイズが除去できないことがある。これは視野妨害ノイズが小さい場合やオプティカルフローが取れない場合に視野妨害ノイズを検出できず、除去ができなくなると考えられる。

しかし、大半のフレームでは視野妨害ノイズを除去できており、観測対象のテクスチャも再現できている。



Fig. 14 Result of removal of scene occluders

#### 4.3 3次元計測実験

この実験ではカメラと観測対象を動かさずに撮影した。また、視野妨害ノイズとして観測対象よりも比較的大きい物体を用いている。

視野妨害ノイズの除去をせずに 3次元計測を行った結果と視野妨害ノイズを除去して 3次元計測を行った結果を図 15 に示す。図 15 では近くに存在する点をより青い色で、遠くに存在する点をより赤い色で表示している。この結果を比較すると、除去を行うことによって対象の形状を精度良く計測できていることが分かる。よって、水中に存在する物体の計測において視野妨害ノイズを除去することは有効であるといえる。

## 5. 結論

本研究では、Inpainting により背景推定画像を生成することで観測対象を抽出し、カメラを移動させながら撮影した画像中から視野妨害ノイズのみを除去する手法を提案した。また、実験結果から水中に存在する物体の計測において視野妨害ノイズを除去することの有効性を確認できた。したがって、本手法を用いれば視野妨害ノイズの多く存在する環境でもロボットによる高精度な計測が可能となる。

しかし、オプティカルフローのみを用いて視野妨害ノイズの検出をしているため、小さい視野妨害ノイズやフレーム間で動きの小さい視野妨害ノイズを除去することはできない。したがって、今後の課題として Inpainting にテクスチャを用いた手法を導入して背景推定を行うことや、視野妨害ノイズの検出において視野妨害ノイズ特有の特徴量などを利用するなど、視野妨害ノイズの検出方法を改善する必要がある。

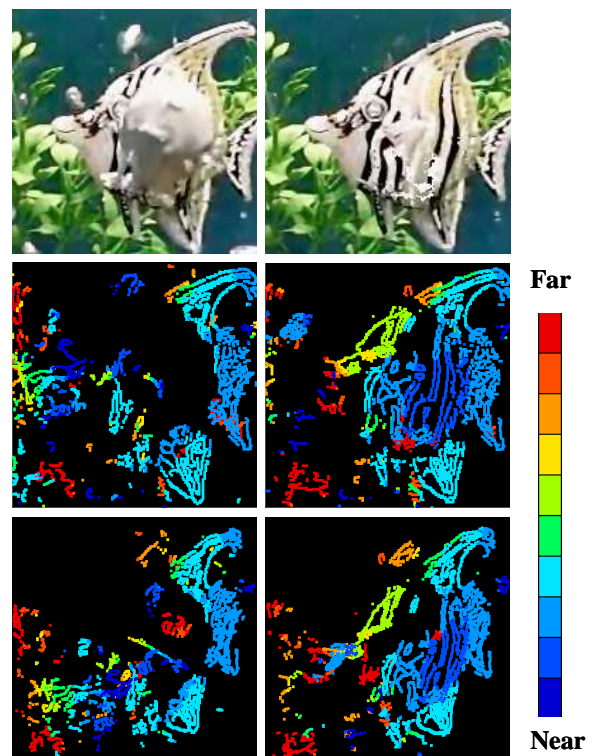


Fig. 15 Result of 3D measurement. Column 1: Without removal of scene occluders. Column 2: removal of scene occluders. From top of figure, measurement image, front view, oblique view.

## 謝辞

本研究の一部は、科研費若手研究(A)22680017 および旭硝子財団の助成を受けたものである。

## 文献

- [1] 南川豊浩, 山下 淳, 金子 透, "高速度カメラを用いた移動物体追跡による水中画像からの視野妨害ノイズ除去", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.8, pp.13-16, 2011.
- [2] M. Bertalmio, A. L. Bertozzi, and G.Sapiro, "Navier-stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting", *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol.I, pp.1355-1362, 2001.
- [3] R. Li, H. Li, W. Zou, R. G. Smith and T. A. Curran, "Quantitative Photogrammetric Analysis of Digital Underwater Video Imagery", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol.22, No.2, pp.364-375, 1997.