

卒業論文概要書

Summary of Bachelor's Thesis

学科名 Department	情報理工	氏名 Name	稲田智仁	指導 教員 Advisor	渡辺 裕 印 Seal
研究指導 Research guidance	オーディオビジュアル情報処理研究	学籍番号 Student ID number	1w130054-1 CD		
研究題目 Title	ステレオ全天球カメラを用いたリアルタイム水中ノイズ除去 Real Time Underwater Noise Elimination Using Stereo Omnidirectional Camera				

1. まえがき

2018年現在、全天球のイメージを撮影可能なデバイスがコンシューマーに流行している。全天球イメージ技術は様々な社会の課題に用いられ、活躍の場を増やしている。近年、常に変化をし続けている水中環境の調査のため、多くの正確な情報を把握することが課題となっている。しかし、主な水中環境の画像では様々な浮遊物や魚等のノイズが存在するため、正確に把握することは困難である。本論文では、全天球のイメージを用いた水中環境でのノイズ除去の手法について提案する。

2. ノイズ除去

本論文では、ステレオ全天球カメラから得られる対象を2枚の全天球イメージの視差からノイズである気泡を除去する手法を提案する。気泡を水中環境化での対象ノイズと設定した。特徴点検出によって気泡を検出し、魚眼イメージにおける気泡まで三角測量の原理を用いて、距離測定を行う。気泡との距離の奥には背景イメージが存在するはずである。2枚のステレオ全天球イメージの視差を用いて、各背景イメージから気泡の位置情報データを取得し、画像処理を行うことで対象を除去する。

3. 実験結果

実験では従来の手法である時系列データからの水中ノイズ除去と比べ、リアルタイムでの水中ノイズ除去を行った。2枚の魚眼イメージの気泡までの距離と角度の情報から、気泡の奥に存在する背景イメージを補正することができた。全天球イメージでの画像処理による結果として、気泡を除去することができた。

4. まとめ

本研究では従来のステレオカメラによる時系列画像から物体検出法ではなく、リアルタイムでの物体検出での気泡検出を行った。ステレオカメラの画像の視差からそれぞれの画像を補正することで気泡であるノイズ除去画像を作成した。今後課題として、ステレオ間の視差の小ささから、遠距離時のノイズ除去の方法が挙げられる。

参考文献

- [1] RICOH 全天球カメラ(平成30年(2018年)1月現在), http://jp.ricoh.com/technology/tech/065_theta.html
- [2] 庄原, 竹中: "全天球撮像デバイス RICOH THETA の開発", 日本写真学会誌, 2014
- [3] 青木: "全天球カメラを用いたステレオ距離測定", 卒業論文 Feb.2017
- [4] 加藤, 山下, 金子: "ステレオカメラを用いた気泡ノイズにロバストな水中環境観測", 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, 2004

2017 年度 卒業論文

ステレオ全天球カメラを用いた
水中画像のリアルタイムノイズ除去

Realtime Noise Reduction of Underwater Images Using
Stereo Omni-directional Cameras

指導教員 渡辺 裕 教授

早稲田大学 基幹理工学部

情報理工学科

1W130054-1

稲田 智仁

目次

第1章 序論	
1.1 研究背景	1
1.2 目的	1
1.3 関連研究	1
1.4 本論文の構成	1
第2章 全天球カメラの特性	
2.1 はじめに	2
2.2 構造	2
2.3 全天球画像	2
2.4 水中ハウジング	3
第3章 物体検出法	
3.1 はじめに	4
3.1 背景差分法の概要	4
3.2 フレーム間差分法の概要	4
3.3.1 連続する3枚の画像	4
3.3.2 絶対値計算と差分画像	5
3.3.3 論理積と論理積画像	5
3.4 ORB 特徴量検出	6
第4章 提案手法	
4.1 特徴点の検出	7
4.2 特徴点マッチング	7
4.3 距離測定	8
4.4 画像補正	10
第5章 実験結果	
5.1 全天球画像での気泡除去	11
第6章 結論	
5.1 まとめ	13
5.2 今後の課題	13
謝辞	
参考文献	
図目次	

第1章 序論

1.1 研究背景

2018年現在、全天球画像を撮影可能なデバイスが普及している。全天球画像技術は様々な課題解決に用いられている。水中環境は地球温暖化や自然の状態が保たれた水域から人間の主な生活圏である都市部での産業の発展や生活環境の変化とともに変遷してきた。常に変化を続けている水中環境の調査のため、多くの正確な情報を把握することが課題となっている。搭載したカメラから多種多様な水中環境を正確に把握するために、画像の正確性が求められるようになってきた。毎年普及が進む全天球カメラを用いることでより多くの情報を得られると考えられる。しかし、主な水中環境での画像では様々な浮遊物や魚等のノイズが存在するため、正確に把握することは困難である。水中環境でのノイズの一つとして、気泡が挙げられる。気泡ノイズを除去することによって、水中環境の正確な観測を行うことを目的とする。

1.2 目的

本研究では全天球画像を用いた水中環境でのノイズ除去の手法について提案する。従来の手法である時系列データからの水中ノイズ除去と比べ、リアルタイムでの水中ノイズ除去を行い、2枚の全天球イメージのみで水中観測を行う。観測により得られた画像に含まれるノイズを除去することで精度の高い画像を作成することを目的としている。

1.3 関連研究

ステレオカメラを用いた水中観測における気泡ノイズの影響を軽減させる研究が報告されている。加藤ら[4]の研究では背景差分法から対象ノイズを検出し、クラスタリングによって対象ノイズの要素数が一定値以上のクラスを除去することで気泡除去を行っている。浦尾ら[5]の研究ではフレーム間差分法から得られる差分データを画像変化領域のデータとすることで、背景変化の影響を軽減し、抽出対象を比較的安定して検出する方法を提案している。これらの手法では時系列の画像を必要としており、リアルタイムでのノイズ除去が出来ないという問題点があると考えられる。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第1章は本章であり、研究背景、目的、関連研究を述べている。

第2章では全天球カメラの特性について述べる。

第3章ではフレーム間差分について述べる。

第4章では特徴点から検出したステレオイメージの視差による気泡除去手法を提案する。

第5章では実験によって得られた画像結果を示す。

第6章では本論文の結論と今後の課題について述べる。

第2章 全天球カメラの特性

2.1 はじめに

本章では、本論文で用いる全天球カメラ Theta S と水中ハウジングケース TW-1 について述べる。Theta S と水中ハウジングケース TW-1 は RICOH の製品である。

2.2 構造

Theta S は前後につけている2つの魚眼レンズから全天球画像を生成している。Theta S の撮影方法と視野について説明する。方法として、静止画と動画を選択し、カメラに搭載されているシャッターボタンを押下することで撮影することができる。また、Wi-Fi を用いてスマートフォンからの撮影が可能であり、専用のアプリケーションを使用することで遠隔での操作が可能となる。動画を撮影する際、遠隔でのスマートフォン操作を行う場合、画面は表示されない。記録される解像度はフルHD(1920×1080)画素である。

2.3 全天球画像

Theta S で撮影される全天球画像は 360 度の視野を確保している。まず、2つの魚眼カメラから得られる画像データを用いて基本画像処理を行う。次に、2枚の画像の繋ぎ画像処理を行う。繋ぎ位置を検出し、繋ぎ位置と各光学系レンズ特性を考慮して、2枚の画像をそれぞれ全天球イメージ形式に変換する。最後に、この2枚の全天球画像形式の画像を組み合わせることで1枚の全天球画像が生成される。全天球画像は、正距円筒図法を用いており、各画素の位置が球体の表面の座標と対応している。Theta S に用いられている全天球画像の形式は Equirectangular 形式と Sphere 形式である。2つの形式について Equirectangular 形式を図 2.3.1, Sphere 形式を図 2.3.2 に示す。



図 2.3.1 Theta S で得られる Equirectangular 形式の全天球画像



図 2.3.2 Theta S で得られる Sphere 形式の全天球画像

Equirectangular 形式は Theta S 撮影した画像を PC に保存するときに用いられている。Equirectangular 形式とは図 2.3.1 のように、緯度と経度をそのまま直角かつ等間隔に撮影した地図投影法の一つで、正距円筒図法のように展開した画像である。Sphere 形式は RICOH THETA という専用のアプリケーションで閲覧できる。カーソル移動によって視野を変更させることができ、図 2.3.2 は専用のアプリケーションで閲覧した全天球画像である。

2.4 水中ハウジングケースの特性

本研究で使用した水中ハウジングケース TW-1 は水中での 360° 撮影を実現し、水深 30 cm まで防水性能を備えた水中ハウジングである。対象機種は RICOH Theta V, RICOH Theta SC, RICOH Theta S である。三脚座を備えているので、カメラアクセサリに取り付けることが可能である。

第3章 物体検出法

3.1 はじめに

本章では物体検出法について述べる。従来の方法として、水中環境において時系列画像を用いたノイズ検出法が提案について述べ、さらに本研究で使用した特徴量における物体検出について述べる。

3.2 背景差分法の概要

背景差分法とは観測画像と事前を取得しておいた画像を比較することで、事前を取得した画像に写っていなかった物体を抽出する処理である。事前を取得した画像を背景画像と呼び、背景画像が必要になってくることから固定で設置されたカメラに適している。

3.3 フレーム間差分法の概要

フレーム間差分法は移動物体の検出法の一つであり、連続する画像の差分から動物体を検出することが可能である。時系列画像を用いることで動物体を検出する。この方法の大きな特徴としては、背景差分法のように背景画像を用意する必要がない点である。しかし、フレーム間差分法を用いる問題点として、検出した移動物体領域が同一テクスチャを持つ場合に領域が分断される恐れがある。静止物体についてフレーム間差分法では検出することが出来ない。フレーム間差分法のアルゴリズムの処理手順を下に示す。

3.3.1 連続する3枚の画像

フレーム間差分法を行う際、まずは連続する3枚の画像 I_1 と I_2 , I_3 を用意する。3枚の画像 I_1 と I_2 , I_3 をそれぞれ図 3.3.1.1, 図 3.3.1.2, 図 3.3.1.3 に示す。



図 3.3.1.1 画像 I_1



図 3.3.1.2 画像 I_2



図 3.3.1.3 画像 I_3

3.3.2 絶対値計算と差分画像

画像 I_1 と I_2 , I_2 と I_3 それぞれの差分の絶対値を計算し, 差分画像を2枚(I_{d1} , I_{d2})作成する.

$$I_{d1}(x, y) = |I_1(x, y) - I_2(x, y)| \quad (3.3.2.1)$$

$$I_{d2}(x, y) = |I_2(x, y) - I_3(x, y)| \quad (3.3.2.2)$$

差分画像2枚(I_{d1} , I_{d2})を図3.3.2.1, 図3.3.2.2示す.

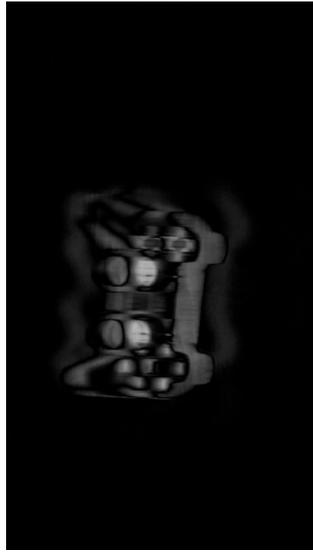


図 3.3.2.1 画像 I_{d1}



図 3.3.2.2 画像 I_{d2}

3.3.3 論理積と論理積画像

2枚の差分画像 I_{d1} , I_{d2} の論理積を計算し, 論理積画像 I_a を作成する.

$$I_a(x, y) = I_{d1}(x, y) \wedge I_{d2}(x, y) \quad (3.3.3.1)$$

論理積画像 I_a を図3.3.3に示す.

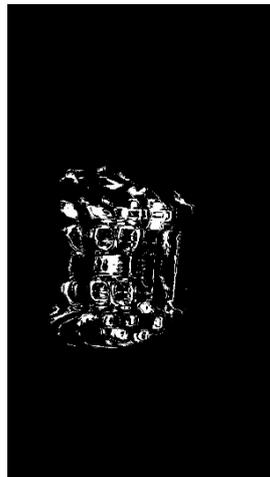


図 3.3.3 画像 I_a

3.4 ORB 特徴量検出

局所特徴量は物体認識を行う際, スケール変化・平行移動・回転・隠蔽に対して有効である. ORB (Oriented Fast and Rotated Brief) 特徴量検出とは画像内の特徴点を検出するアルゴリズムの一つである. スケール空間を用いた回転や拡大縮小にロバストでありながら, 高速処理が可能である. ORB のオリエンテーション方向は特徴点を中心としたパッチ内の高度のモーメントから算出し, パッチの高度重心の方向ベクトルとして求める. オリエンテーションに従って光度値を規格化することで回転普遍性を得る.

第4章 提案手法

4.1 特徴点の検出

局所特徴量を得るためには Open CV の 2D 画像特徴検出器及び記述子抽出器の抽象基底クラスを使用した。Open CV では特徴点検出・特徴記述・特徴点マッチングについて様々なアルゴリズムが実装されている。特徴点検出の種類として、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) ・SURF (Speed-Upped Robust Feature) ・ORB・AKAZE (Accelerated KAZE) を比較した結果、ORB を用いることとした。理由として、ORB は回転普遍性があり、SURF の 10 倍、SIFT の 100 倍の処理速度を兼ね備えている。更に、リアルタイムでの処理をより可能としているからである。特徴点を検出したステレオカメラで得られた左右の水中グレースケール画像を図 4.1 に示す。

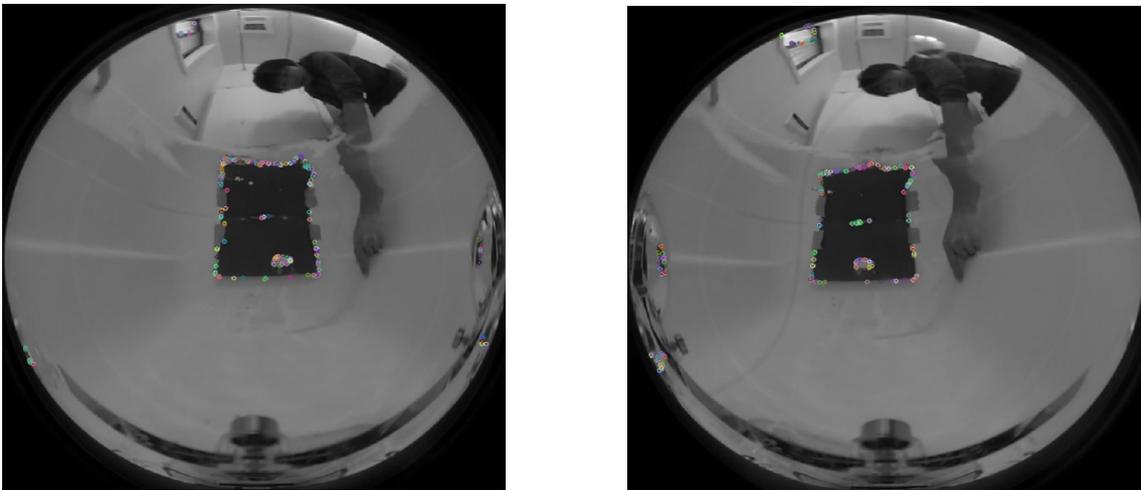


図 4.1 特徴点を示した左カメラで得た画像(左)と右カメラで得た画像(右)

4.2 特徴点マッチング

特徴点マッチングは図に示した特徴点を用いてマッチングを行う。Open CV では特徴点マッチングを行うクラスが選択できる。全探索で最も良い点を探す手法でマッチングを行い、そのうちの気泡を示したマッチング結果を気泡の点を選択する。特徴点マッチングを行い、選択した点の特徴点マッチング画像を図 4.2 に示す。

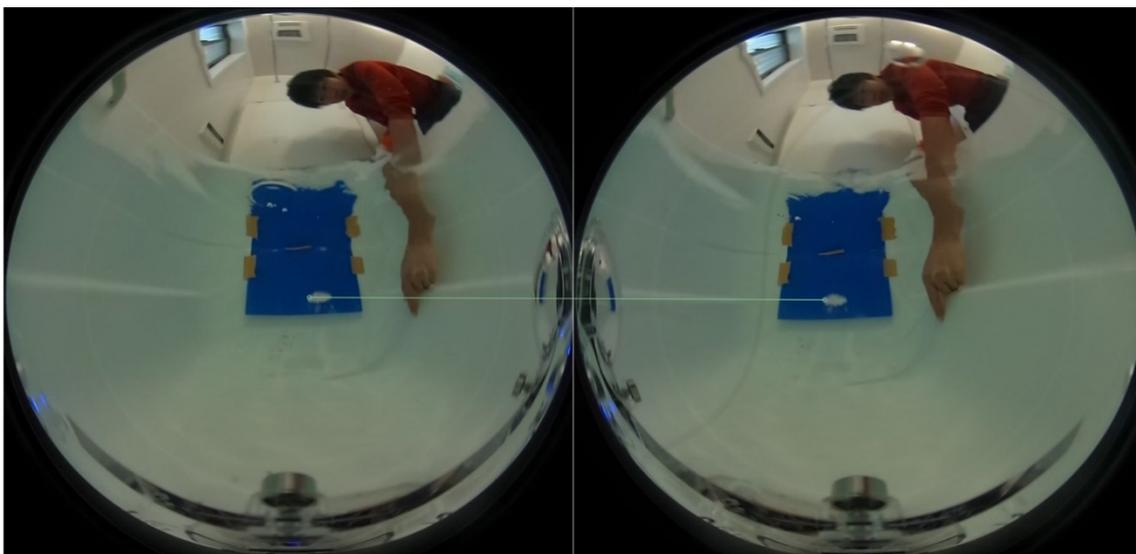


図 4.2 左右のカメラで得た画像の特徴点マッチング画像

4.3 距離測定

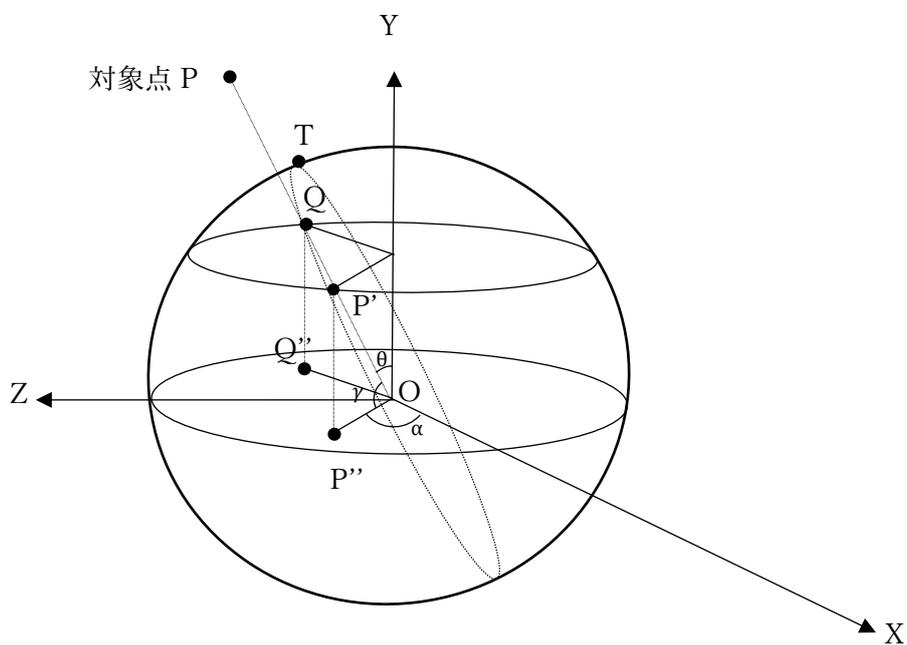


図 4.3.1 魚眼レンズの対象点の座標関係[3]

魚眼レンズから対象点との関係を図 4.3.1 に示す. 座標の原点はカメラの中心を O , 対象点を P , 魚眼レンズの対象点の光線が入社する点を P' , P' が魚眼画像に射影される点を P'' とする. 対象

点の光線とZ軸とのなす角度を θ ，対象点が画像平面へ射影された点とX軸とのなす角度を α とする． P' と P'' の座標は

$$P' = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha \sin\theta \\ \sin\alpha \sin\theta \\ \cos\theta \end{pmatrix} \quad (4.3.1)$$

$$P' = \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \quad (4.3.2)$$

で求められる．よって α は

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{Y}{x} \quad (4.3.3)$$

となる． θ は対象点が魚眼レンズのどの角度から入射しているか示している．魚眼レンズは等距離射影方式であるので画像平面最大 pixel を L とすると θ は

$$\theta = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{L} \quad (4.3.4)$$

と求められる．

次に，魚眼レンズ2個から得た魚眼画像を用いた距離測定の手法として三角測量の原理を用いる．三角測量の原理を使った距離測定の手法は青木貴大[3]から引用する．図4.3.2に2台の魚眼レンズと対象点との関係について示す．

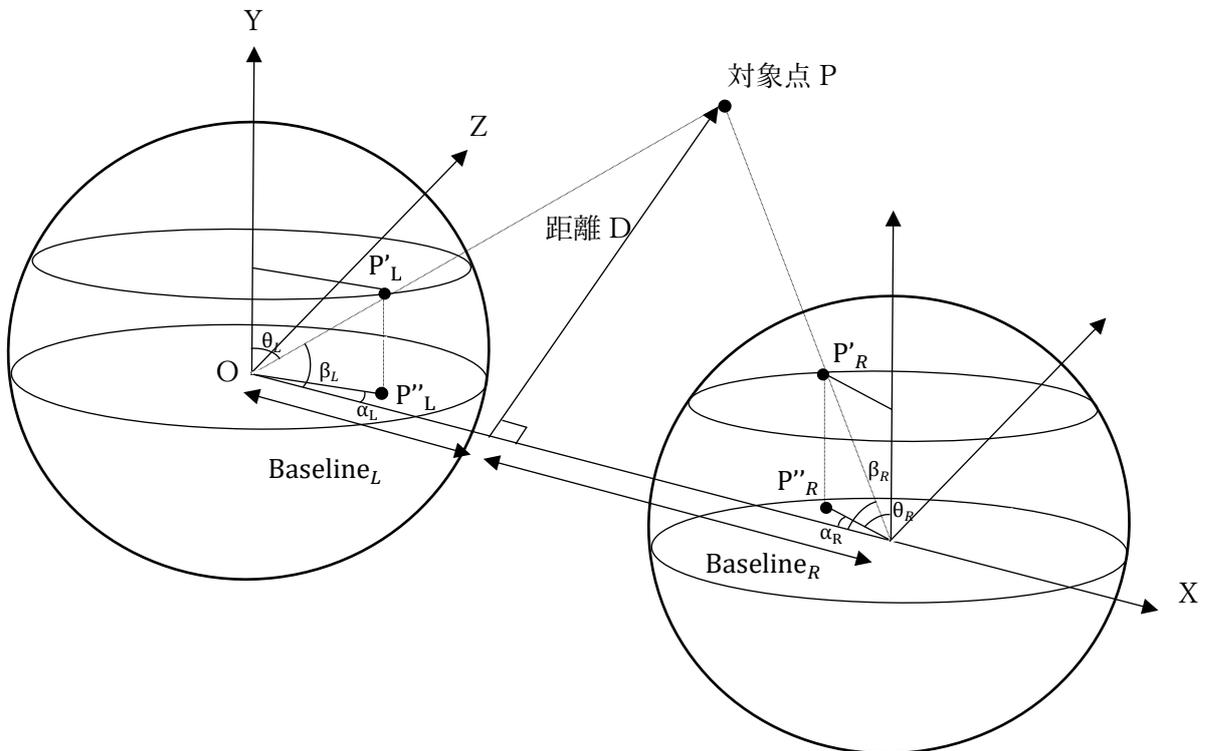


図 4.3.2 2台の魚眼レンズと対象点の関係[3]

対象点 P に対して，距離 D を求めるためにはX軸の基線長と対象点とのなす角 β_L, β_R を使用する

必要がある. $\cos\beta_L$ と $\cos\beta_R$ はそれぞれ P'_L と P'_R の X 座標を表している. β_L, β_R は式(4.3.5)と式(4.3.6)で求まる.

$$\beta_L = \cos^{-1}(\cos\alpha_L \cos\theta_L) \quad (4.3.5)$$

$$\beta_R = \cos^{-1}(\cos\alpha_R \cos\theta_R) \quad (4.3.6)$$

Baseline_L+Baseline_Rの値を 10 とした. よってBaseline_L+Baseline_Rは基線長なので

$$\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R = \frac{D}{\tan\beta_L} + \frac{D}{\tan\beta_R} \quad (4.3.7)$$

$$D = \frac{\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R}{\left(\frac{1}{\tan\beta_L} + \frac{1}{\tan\beta_R}\right)} = \frac{10}{\left(\frac{1}{\tan\beta_L} + \frac{1}{\tan\beta_R}\right)} \quad (4.3.8)$$

と距離Dが求められる. 図の2点の特徴点マッチングから距離Dと角度 $\cos\beta_L, \cos\beta_R$ とBaseline_L, Baseline_Rを求めると,

$$D = 31.865 \quad (4.3.9)$$

$$\beta_L = 82.811 \quad (4.3.10)$$

$$\beta_R = 79.632 \quad (4.3.11)$$

$$\text{Baseline}_L = 4.077 \quad (4.3.12)$$

$$\text{Baseline}_R = 5.923 \quad (4.3.13)$$

と計算できる.

4.4 画像補正

2 台の Theta S から得られた画像から対象物を極小の点と仮定する. 4.3 で対象物との距離 D と角度 β_L, β_R が求められた. 左右のカメラの視差の背景画像から移動物体を除去する. 透明度は環境によって変化するため, 気泡との距離 D と背景画像 A' との距離を S と仮定し, 距離 S は距離 D の整数倍と仮定する. 視差の関係を図 4.4.1 に示す.

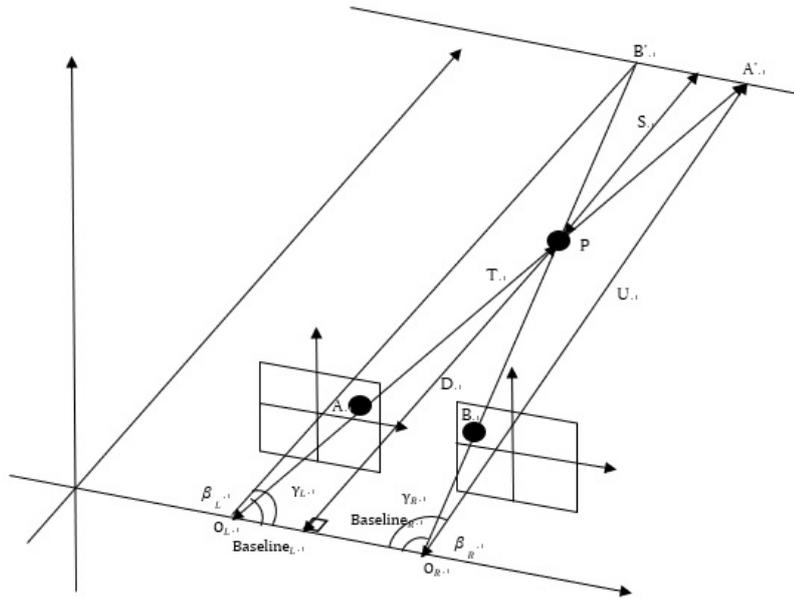


図 4.4.1 左右の魚眼画像の視差の関係

魚眼レンズ O_L , O_R で写した対象物 A, B から背景画像の点を A' , B' が得られる. 左右の魚眼レンズ O_L , O_R の式()で求められた角度を用いて, 仮想の魚眼レンズに写った対象物 P の距離は D である. このとき, 対象点 A' , B' を左右の魚眼レンズ各々で比較することで, 左の魚眼レンズで写された対象物 A は右の魚眼レンズで写された点 A' で示された画像の視差から除去することが可能であると考える. 対象物 A を除去するために角度 γ_R を求める必要がある. まず, 余弦定理から距離 $O_L P$ は

$$O_L P = \sqrt{D^2 + \text{Baseline}_L^2} \quad (4.4.1)$$

と求まる. よって距離 $O_L A'$ を T とすると,

$$T = (1 + S)\sqrt{D^2 + \text{Baseline}_L^2} \quad (4.4.2)$$

と求まる. さらに距離 $O_R A'$ を U とすると,

$$U^2 = T^2 + (\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R)^2 - 2T\text{Baseline}_L \cos\beta_L$$

と求まる. 式()を用いて角度 γ_R を求めると,

$$\cos\gamma_R = \frac{U^2 + (\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R)^2 - T^2}{2U(\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R)} \quad (4.4.3)$$

$$\gamma_R = \arccos\left(\frac{U^2 + (\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R)^2 - T^2}{2U(\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R)}\right) \quad (4.4.4)$$

となった. 距離 S を距離 D と等しいと仮定したときの角度 γ_R は

$$\gamma_R = 106.706$$

と計算できた. 角度 γ_R を用いて, 左レンズでの気泡の位置から右レンズでの背景画像が確認でき

る. 以上を気泡の各特徴点で行い気泡の大きさを確定させる. 結果, 背景画像から A を除去することが出来た. A と対象にしたものを B で行うと同様に B の気泡も消すことができる. 角度 γ_R を用いて, それぞれの対象物の対象点 A', B' から気泡を除去した結果を図 4.4.2 に示す.

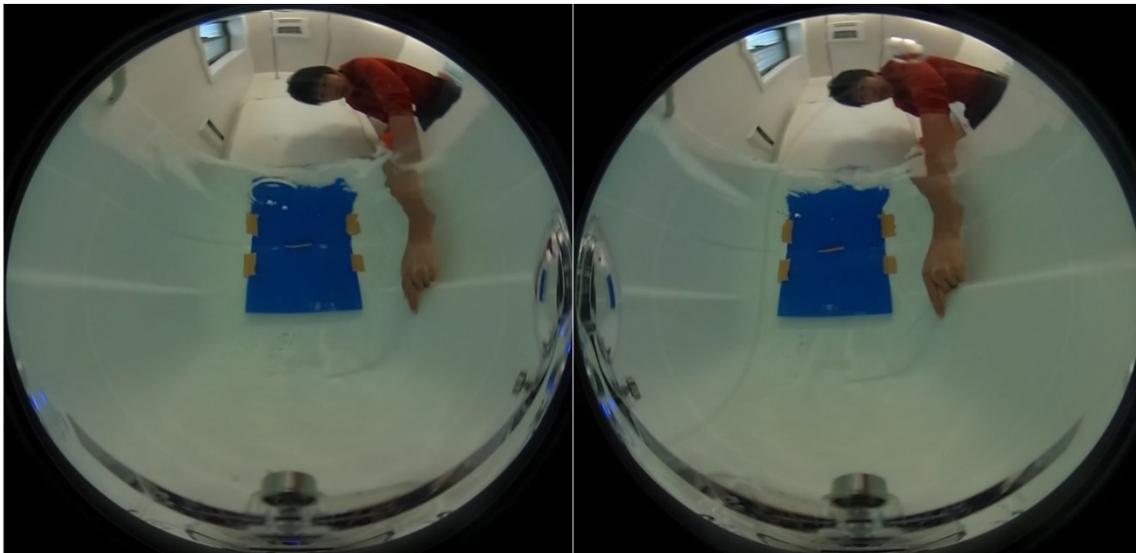


図 4.4.2 左右の魚眼画像の視差から気泡除去を行った画像

左右の視差から対象物を除去することが出来たことが確認できる. 気泡の面積 81.6%の除去ができた.

第5章 実験結果

5.1 全天球画像での気泡除去

図から魚眼画像の気泡除去が確認でき, 左右の魚眼画像の Equirectangular 形式での結果を図 5.1.1, 図 5.1.2 に示す.

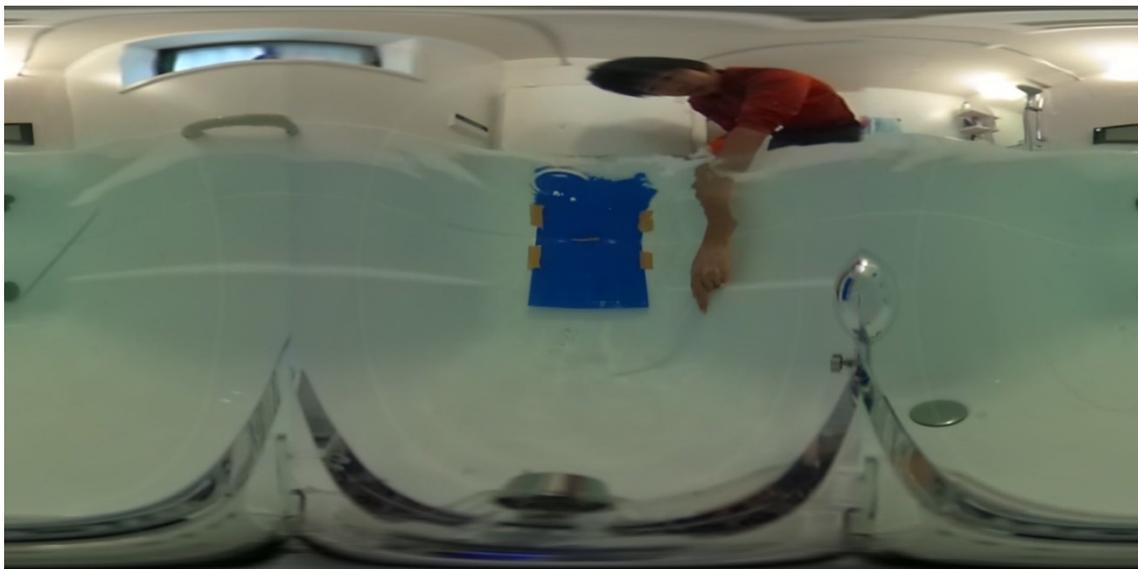


図 5.1.1 左の魚眼レンズの Equirectangular 形式気泡除去画像

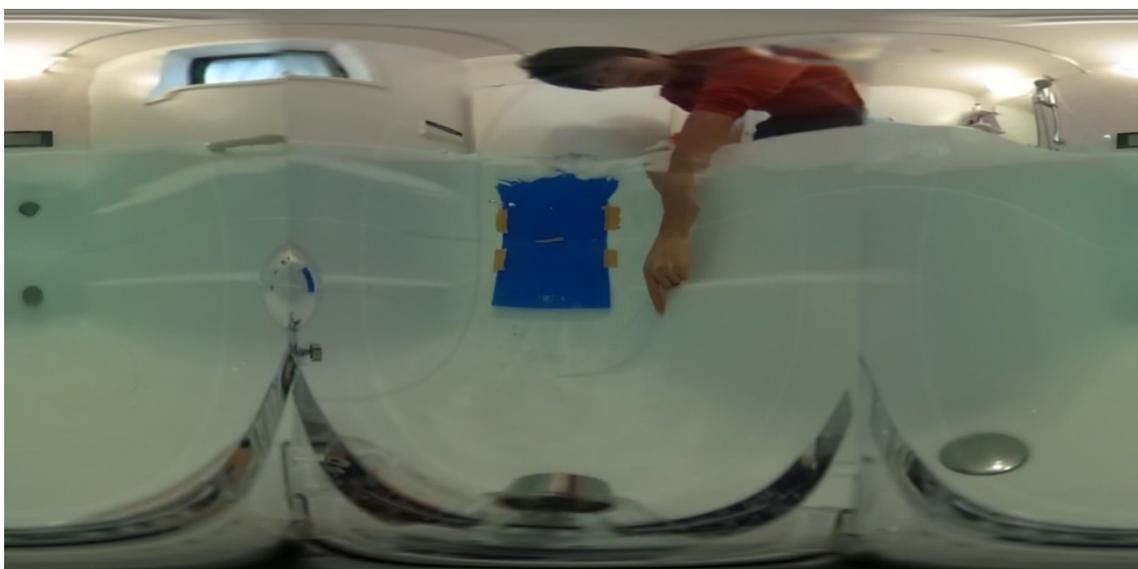


図 5.1.2 右の魚眼レンズの Equirectangular 形式気泡除去画像

RICOH THETA 専用のアプリケーションを用いて, Sphere 形式で確認した結果, 水中ノイズ除去全天球画像を確認できた.

第6章 結論

5.1 まとめ

本研究では従来のステレオカメラによる時系列画像から物体検出法ではなく、リアルタイムでの物体検出での気泡検出を行った。ステレオカメラの左右の画像の視差からそれぞれの画像を補正することで気泡であるノイズ除去画像を作成した。

5.2 今後の課題

本研究では水中環境化の背景画像までの距離を仮定したが、本来の水中環境は時刻や撮影ポイントによって変わってしまう。さらに,Theta S のステレオ間の距離を大きくすることが現実的でないため、遠距離のノイズ除去が困難であることが想定され、遠距離のノイズ除去が課題である。

謝辞

本研究の実験に協力して頂いた渡辺裕教授と早稲田大学国際情報通信研究センター招聘研究員の原潤一博士に心から感謝いたします。実験に必要な専用の器具を揃え、研究に専念する環境を作って頂き感謝いたします。

日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた渡辺研究室の皆様にお礼申し上げます。

最後に、私を今この瞬間まで育ててくださった家族に感謝いたします。

参考文献

- [1] RICOH 全天球カメラ(平成 30 年(2018年)1 月現在),
http://jp.ricoh.com/technology/tech/065_theta.html
- [2] 庄原, 竹中:”全天球撮像デバイス RICOH THETA の開発”, 日本写真学会誌, 2014
- [3] 青木貴大:”全天球カメラを用いたステレオ距離測定”, 卒業論文 Feb.2017
- [4] 加藤進, 山下淳, 金子透:”ステレオカメラを用いた気泡ノイズにロバストな水中環境観測”, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, 117-124, 5. 2004
- [5] 浦尾隆寛, 山口順一:”フレーム間差分における停止者追跡と MRF を用いた移動体認識”, 第 53 回自動制御連合講演会, 279-279, 5. 2010
- [6] Arief Suryadi Satyawan:”Motion Estimation on Fish-Eye Images Using Modified Motion Model”, FIT2017(第 16 回科学技術フォーラム), H-023, Sep. 2017
- [7] オープンソースコンピュータビジョン
<https://docs.opencv.org/3.1.0/index.html>

図目次

図 2.3.1 Theta S で得られる Equirectangular 形式の全天球画像	2
図 2.3.2 Theta S で得られる Sphere 形式の全天球画像	3
図 3.3.1.1 画像 I_1	4
図 3.3.1.2 画像 I_2	4
図 3.3.1.3 画像 I_3	4
図 3.3.2.1 画像 I_{d1}	5
図 3.3.2.2 画像 I_{d2}	5
図 3.3.3 画像 I_a	5
図 4.1 特徴点を示した左カメラで得た画像(左)と右カメラで得た画像(右)	7
図 4.2 左右のカメラで得た画像の特徴点マッチング画像	8
図 4.3.1 魚眼レンズの対象点の座標関係図	8
図 4.3.2 2 台の魚眼レンズと対象点の関係図	9
図 4.4.1 左右の魚眼画像の視差の関係図	10
図 4.4.2 左右の魚眼画像の視差から気泡除去を行った画像	11
図 5.1.1 左の魚眼レンズの Equirectangular 形式気泡除去画像	12
図 5.1.2 右の魚眼レンズの Equirectangular 形式気泡除去画像	12