

ソナーと光切断法の融合による水中浮遊物探知手法の研究

Detection method of floating objects by fusion of Sonar and Light sectioning method

学籍番号 47116654 安井 風太

指導教員 浦 環 教授

(平成 25 年 2 月 5 日 発表予定)

Keywords: ソナー, 光切断法, AUV, グリッドマップ

Keywords: Sonar, Light sectioning method, AUV, Grid map

1. 序論

自律型海中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)は有人潜水機(HOV: Human Occupied Vehicle)や遠隔操作ロボット(ROV: Remotely Operated Vehicle)に比べ、コストや運用の利便性などで優位性を持つため、性能の向上にともない様々な分野で利用が広がっている。

しかし、沿岸域での AUV 運用の際、スラスタや機体の一部に廃棄された漁網や釣糸などの浮遊物が絡まり、航行不能となる可能性が指摘されている。アンビリカルケーブルを持たない AUV では、このような事態に対応することは難しく、機体の喪失につながる恐れもある。

海中で使用されるセンサーに音波を利用するソナー(Sound Navigation And Ranging)がある[1]。音波の減衰率が小さいため遠距離まで計測可能であるが、反射波の弱い浮遊物を安定して探知することは難しいとされる。ソナー以外ではステレオカメラを用いた手法やカメラとシートレーザーを使用した光切断法[2]が利用されている。微細な浮遊物も探知可能とされるが、水中では可視光の減衰率が大きく、水の透明度が必要になるなどの欠点がある。

本研究ではこのような浮遊物に対応するため、ソナーと光切断法の融合による海中浮遊物の探知手法を開発する。0.5 ノット(0.26m/s)で進むホバリング型 AUV が余裕をもって回避できるように、1m~3m の有効距離を目標とし、検出対象として釣糸を設定する。装置を製作し水槽実験により提案手法を検証し、ソナー、光切断法それぞれの結果より有効性が高いかを検証する。

2. ソナー(スキャニングソナー)

本研究では、ソナーと光切断法の統合装置として Fig.1 のような統合装置を製作した。上からシートレーザーと回転台、ソナー、カメラが配置されている。ターゲットとなるナイロン製釣糸 9 種類の反射強度を調べるため、東京大学生産技術研究所水中ロボット試験水槽で計測を行った。水深 2m に設置したソナーから、1m~4m まで 1m 間隔で釣糸の距離を変化させ、反射強度の測定を行った。結果として、Fig.2 に示す反射強度を得ることができた。1m から 3m までは距離に反比例して反射強度が低下する傾向があるが、4m ではそのような傾向はない。また、壁面によるマルチパスやサイドローブによるものと推測される様々なノイズが計測された。太さ 0.15mm の釣糸は、反

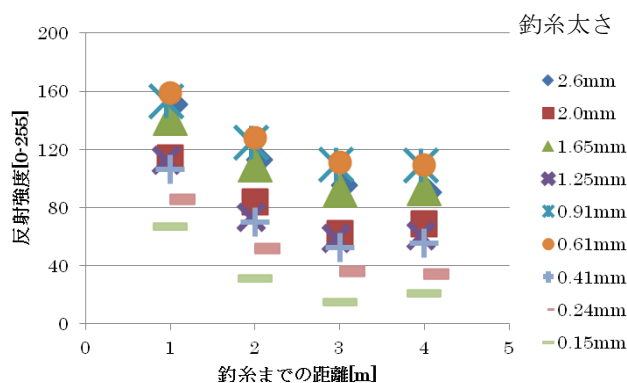


Fig. 2 Received signal



Fig. 1 Device

射強度が弱くノイズとの判別が難いため、ソナー以外の計測手法が必要であることが判明した。

3 光切断法

光切断法 (Light sectioning method)は、カメラとシートレーザーを使用し、非接触で物体の3次元形状を計測する手法である。統合装置では、カメラ、シートレーザー、角度を操作する回転台、耐圧容器から構成されている。

Fig.3 のようにカメラの画角内にシートレーザーを照射する。このとき、カメラの画像からターゲットにあつたレーザーの位置を認識し、シートレーザーの回転中心とカメラの距離 z_L 、カメラ画角 θ_c 、 ϕ_c 、シートレーザーの角度 α からセンサー座標系における位置 $p(x,y,z)$ を計算する。 α を変化させることで、カメラの画角全体をスキャンする。本システムでは、カメラからグレースケールの画像を取得し、画像処理ソフト OpenCV[3]を使用し動的閾値法で2値化処理を行った。

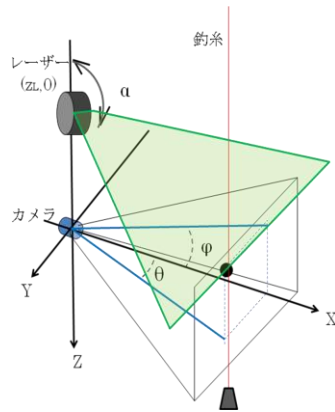


Fig.3 Light sectioning method

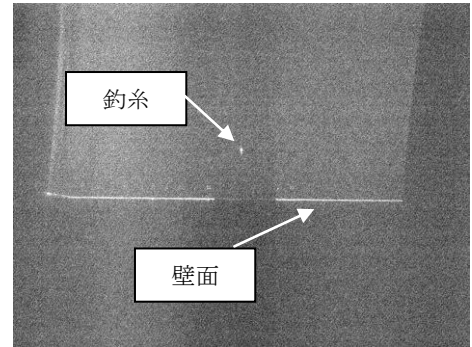


Fig.4 Camera image

Fishing line 1.25mm range=2m $\alpha=101$

Fig.3 のようにカメラの画角内にシートレーザーを照射する。このとき、カメラの画像からターゲットにあつたレーザーの位置を認識し、シートレーザーの回転中心とカメラの距離 z_L 、カメラ画角 θ_c 、 ϕ_c 、シートレーザーの角度 α からセンサー座標系における位置 $p(x,y,z)$ を計算する。 α を変化させることで、カメラの画角全体をスキャンする。本システムでは、カメラからグレースケールの画像を取得し、画像処理ソフト OpenCV[3]を使用し動的閾値法で2値化処理を行った。

ソナーと同一条件で、画像処理の閾値を変化させ、水中ロボット試験水槽でナイロン製釣糸を計測した。色彩調整を行った画像を Fig.4 に示す。画像中央にレーザーが当たった釣糸が確認できる。閾値を低くすると、より細く遠距離の釣糸が計測できたが、ノイズが増加し計測結果の精度が悪化した。高い閾値では、精度の高い計測結果を得ることができたが、計測可能な距離が短くなった。ノイズの原因として、水中を漂う微粒子や、水槽壁面の金属製ボルトが耐圧容器から漏れた光で計測されたものと考えられる。

4 ソナーと光切断法の融合による探知手法

4.1 概要

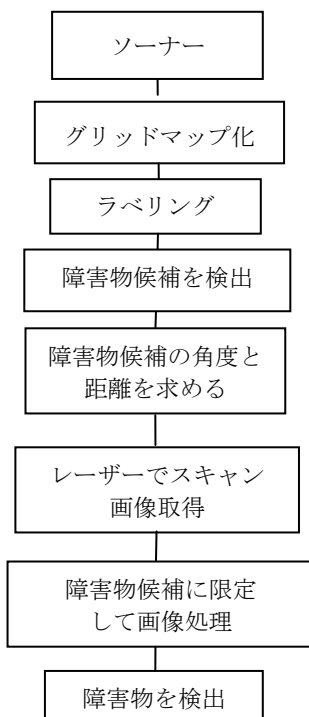


Fig.5 Flowchart of method

上記の結果を踏まえ、本研究では Fig.4 のような手法を提案する。第一にソナーによる探知を予測フェーズとして、ソナーデータからグリッドマップを作製し、閾値以上の反射強度の格納されるグリッドを障害物候補とし、各障害物候補までの距離と角度を求める。次に光切断法による探知を検出フェーズとして、予測フェーズで求めた各障害物候補に対して画像処理を行い、障害物を検出する。このとき、各障害物候補の距離と角度から画像処理の領域を限定することで、ノイズの影響を低減する。

4.2 予測フェーズ

予測フェーズの中でソナーデータから障害物候補を検出するため、X-Y 平面上でソナー中心から前方 5m、左右 3.6m ずつを 1 グリッド 10cm 四方に分割し、50x72 マスのグリッドマップを作成する。前方 90°を 3.6 度刻みでスキャンし、ソナーデータから各グリッドに反射強度を格納する。ソナーは X-Z 平面に約 30 度、X-Y 平面に約 6 度の扇形の音波を発するので、波形の中に含まれるグリッドに反射強度を格納し障害物候補とする。複数の障害物候補のグリッドが連続している場合、一つのグループとして扱うため、グリッドマップにラベリング[4]を行う。

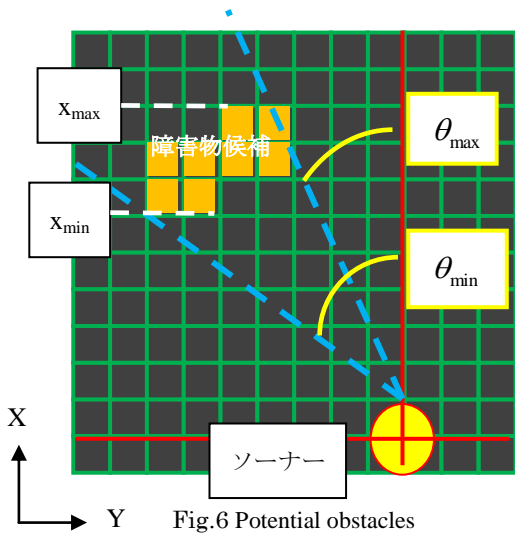


Fig.6 Potential obstacles

4.3 検出フェーズ

光切断法で画像処理を行う際、各障害物候補ごとに画像に表示される領域を求め、画像処理の範囲を限定する。

Fig.6 に示すようなグリッドマップ上で同一のラベル番号をもつ障害物候補に対して、X 軸方向の最大距離 x_{max} と最少距離 x_{min} を求める。このとき、レーザーの角度 α から、Fig.7 のように ϕ_{max} 、 ϕ_{min} を求め、光切断法で画像処理する領域の Z 軸方向の最大値 v_1 と最小値 v_2 を(1),(2)で求める。

次に X-Y 平面上でソーナー前方方向を 0 度として、障害物候補に対し最大角度 θ_{max} と最少角度 θ_{min} を求める。 θ_{max} と θ_{min} 、カメラの焦点距離 f から、画像処理の Y 軸方向の最大値 w_1 と最小値 w_2 が(3),(4)で求められる。結果として、Fig.8 のように、画像処理領域を限定することが可能となる。

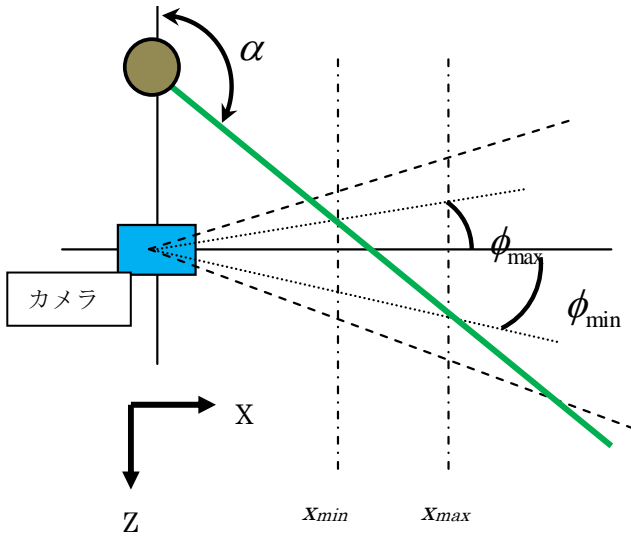


Fig.7 Limit of Z-axis direction

$$v_1 = f \cdot \tan \phi_{max} \quad (1)$$

$$w_1 = f \cdot \tan \theta_{max} \quad (3)$$

$$v_2 = f \cdot \tan \phi_{min} \quad (2)$$

$$w_2 = f \cdot \tan \theta_{min} \quad (4)$$

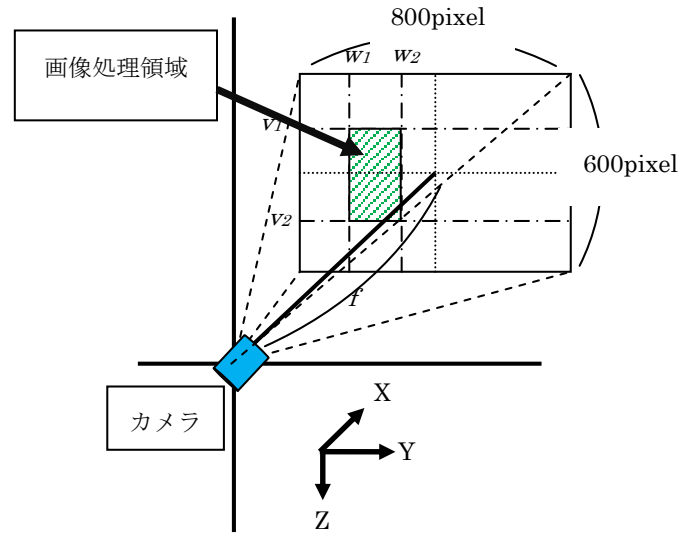


Fig.8 Limit of image processing area

5. 融合手法による計測

太さ 2.6mm の釣糸を計測した結果を、ソーナーによるグリッドマップ、ソーナー、光切断法、ソーナーと光切断法の融合による探知手法に分け、それぞれ Fig.9, Fig.10, Fig.11, Fig.12 に示す。Fig.9 のグリッドマップでは、距離 2m のグリッドマップを示している。釣糸のほかにも多数のノイズと水槽壁面が表示されている。Fig.10 のソーナー計測結果は閾値 >70 とし、ノイズを除去した計測結果を示している。1m から 4m の距離で、はっきりと釣糸が計測できているが、送信波に横方向の角度があるため、Y 軸方向に広がった結果となる。Fig.11 に示す光切断法の計測結果では、水槽壁面のノイズと水中の微粒子によるものと思われるノイズが計測されている。Fig.12 の融合による探知手法では、ノイズが少なく、精度の高い計測が行われている。

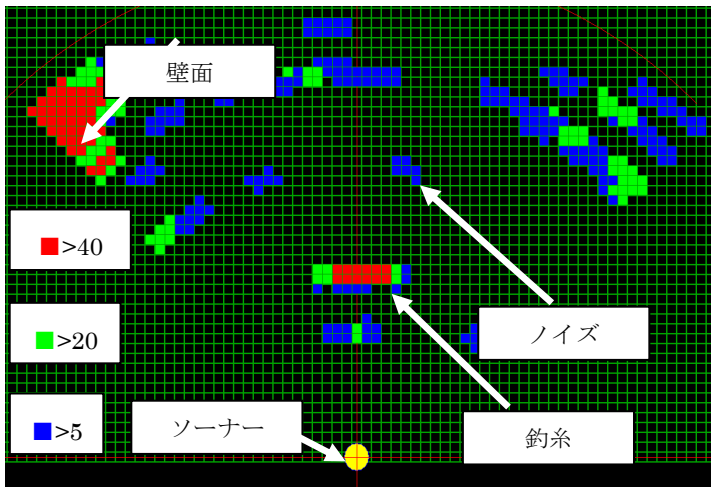


Fig.9 Grid map.Range of intensity.0-255

Fishing line 2.6mm range=2m

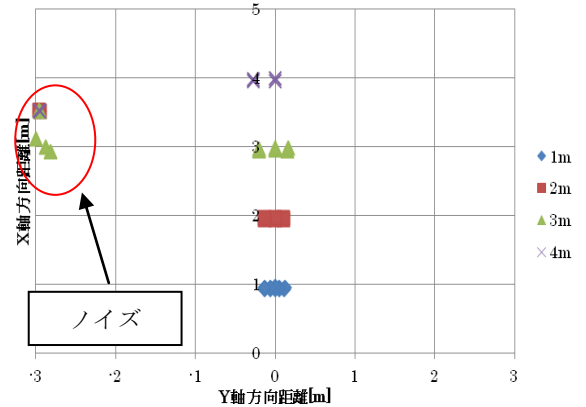


Fig.10 Sonar

Fishing line 2.6mm Threshold>70

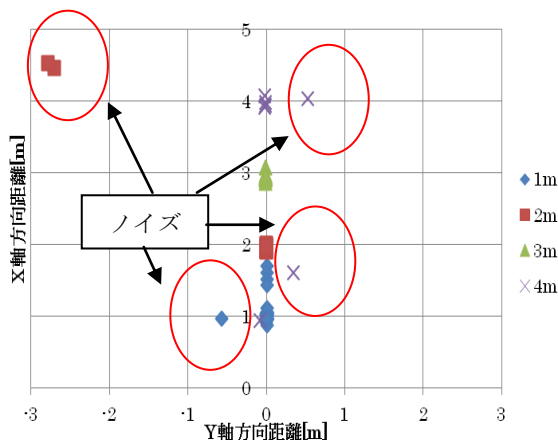


Fig.11 Light section method

Fishing line 2.6mm Threshold>30

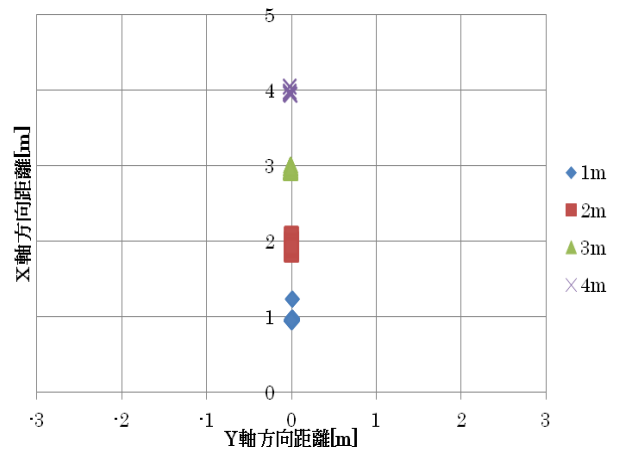


Fig.12 Fusion of sonar and Light section method

Fishing line 2.6mm

6. 結論

太さ 0.15mm~2.6mm の 9 種類のナイロン製釣糸を距離 1m~4m の範囲で、ソナーと光切断法を融合した探知手法によって計測したところ、ソナー・光切断法単体での計測結果よりノイズが少なく精度の高い結果を得ることができた。したがって、提案手法が浮遊物探知に有効であると結論する。

参考文献

- [1] 海洋音響学会(編).「海洋音響の基礎と応用」.成山堂出版,(2-10)
- [2]李枢浩:海底熱水チムニーの三次元形状モデルの作成に関する研究,東京大学修士論文(2010年)
- [3]奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック作成チーム.OpenCV プログラミングブック.株式会社毎日コミュニケーションズ.
- [4]山口智光,及川一美,大久保重範+et.al.,:視覚センサを用いた自律移動ロボットの行動決定,計測自動制御学会東北支部 第 231 回研究集会 (2006.10.31) 資料番号 241-4