

# 測域センサを用いた自律型水中ロボットの 障害物回避シミュレーション

杉山 友亮

辻 順平

能登 正人

神奈川大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

## 1 はじめに

狭い水中洞窟などの人間が侵入することが困難な場所での調査において大きなリスクが伴うため、水中ロボットが必要になる。水中ロボットの自律的な潜航の実現にあたり、進路上の障害物の認識および回避は重要でありセンサの使用が不可欠となる。今回は搭載するセンサの中で測域センサ (LRF) に着目した。LRF は応答速度や角度分解能、測距精度に優れる一方、水中下においては屈折により誤差が生じるという問題点がある。我々は、過去の研究で水中下での LRF の誤差を得ているが、水中ロボットにおいてこの誤差が障害物回避に与える影響の程度は明らかではない。

本研究では、水中下における洞窟を模擬したシミュレーションを実行した。シミュレーションに LRF の測定データを反映した際に、障害物回避に生じる結果を評価した。

## 2 先行研究

先行研究 [1] では未知の複雑な環境で自律型水中ロボットのために障害物回避アルゴリズムが提案されている。この研究で水中ロボットシミュレーションに搭載するセンサとして前方ソナー (Forward Looking Sonar) を採用している。3つの未知の環境下でのシミュレーションを実行して、得られた障害物回避の軌道が安全で滑らかであるかを評価している。結果として、提案アルゴリズムの複雑な未知環境における柔軟性が示されている。

我々が過去に行った研究 [2] では、LRF の防水カバーによって生じる屈折が測定に及ぼす影響について実験を行った。実際の LRF は防水加工をしていないため防水カバーなどが必要がある。この防水カバーの形状の違いがそれぞれの測定に与える影響について明らかに

するために、異なる形状の防水カバーを用意し、障害物を模擬した測定物の距離測定を行った。水中下での測定の結果から屈折が測定に及ぼす影響について評価した。

結果として水中による屈折率による変化に比べて防水カバーの形状における屈折率が測定に与える影響が大きいことが確認された。この実験の結果から空気中での測定において 0.5 m 時点での誤差は  $-0.084$  m、水中での測定において 0.5 m 時点での誤差は  $0.060$  m であった。また、空気中、水中共に LRF から測定物までの距離が離れるほど誤差が大きくなることが確認できている。

## 3 シミュレーション環境

本研究では、1. 誤差を考慮しない条件、2. 空気中での誤差を反映した条件、3. 水中での誤差を反映した条件の3通りでシミュレーション実験を行った。今回のシミュレーションで使用する LRF の水中下での誤差のデータは上記で述べた実験結果で得られたデータを使用する。上記での研究では LRF から測定物までの距離を測定し、誤差を算出した。距離に対する誤差から最小二乗法を用い、距離に対する誤差の方程式を算出した。空気中に対する誤差の式を式 (1)、水中に対する誤差の式を式 (2) に示す。式 (1) の  $e_{air}$  は空気中での誤差、式 (2) の  $e_{water}$  は水中での誤差を表す。また、 $d$  は LRF が取得してきた障害物までの距離を表す。

$$e_{air} = -2.10 \times d + 0.02 \quad (1)$$

$$e_{water} = 0.10 \times d + 0.02 \quad (2)$$

今回のシミュレーション上で LRF が取得してきた障害物までの距離を上記の式に代入する。その結果を誤差としてシミュレーションに反映させる。

算出した誤差をシミュレーションで測定した LRF の測定データに反映した。今回想定した水中ロボットのパラメータを以下に示す。

**Obstacle Avoidance Simulation of Autonomous Underwater Robot Using Laser Range Sensor**  
Yusuke Sugiyama, Junpei Tsuji and Masato Noto  
Graduate School of Electrical, Electronics and Information Engineering, Kanagawa University

- 初期位置 (0.0, 0.0)
- 目標位置 (120.0, 160.0)
- LRF の検出距離 : 4.0 m
- 速度 : 0.5 m/s
- 制動距離 : 5.0 m
- 障害物 : 9 個

速度はシミュレーション全体で 0.5 m/s を維持する。また、今回のシミュレーションでは水流, LRF の応答時間, 舵角の応答遅れについては考慮しない。

#### 4 シミュレーション結果

今回のシミュレーションは 3 通り行った。3 通りの条件での目標位置までの移動経路のシミュレーション結果を図 1 に示す。

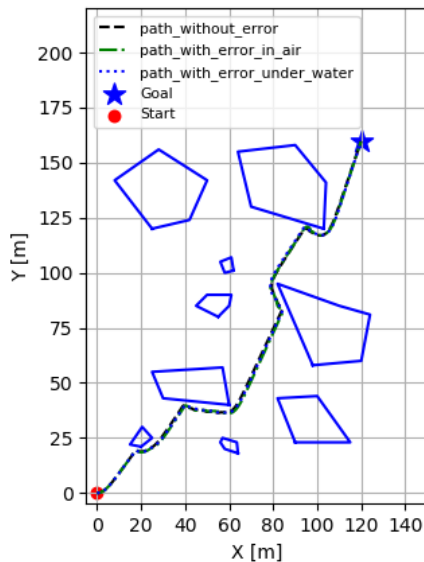


図 1: 各条件の移動経路

各条件での目標到達時間の比較を表 1 に示す。この表での到達時間はそれぞれの条件で 5 回ずつシミュレーションを行い、出力された到達時間の平均値をそれぞれ算出したものである。

#### 5 考察

図 1 より、それぞれの条件共におおよそ同じ経路を辿っていることが確認できる。表 1 より誤差を考慮しない条件と空気中での誤差を考慮した条件を比較するとその差は 4.8 s、誤差を考慮しない条件と水中での誤差を考慮した条件を比較するとその差は 4.6 s となっている。空気中での誤差を考慮した条件と水中での誤差

表 1: 各条件の到達時間

条件	到達時間 [s]
(1) LRF の誤差 考慮なし (path_without_error)	462.0
(2) 空気中の誤差を考慮 (path_with_error_in_air)	466.8
(3) 水中の誤差を考慮 (path_without_error_under_warer)	466.6

を考慮した条件を比較するとその差は 0.2 s と上記の差に対して小さいことから空気中と水中での環境の違いによる影響が相対的に小さいことも確認できる。

以上から水中下における屈折による LRF の誤差が水中ロボットにおいて障害物回避に与える影響は十分小さいと考えられる。今回のシミュレーション環境では LRF の測距範囲よりも大きい障害物を設定した。LRF の測定の数値に乱れが生じた場合、乱れた数値に対して障害物が十分大きいため、LRF の数値の乱れによる水中ロボットの移動に対しての影響が相対的に小さかった可能性がある。そのため、LRF の測距範囲よりも十分小さい障害物を乱雑配置し、1 回の測定で複数個認識されるようなシミュレーション環境での水中ロボットの挙動について議論する必要がある。

#### 6 おわりに

本研究では、水中下における洞窟を模擬したシミュレーションを実行し、シミュレーションに LRF の測定データを反映した際に障害物回避に生じる結果を評価した。実験の結果から水中下での LRF の誤差が水中ロボットにおいて障害物回避に与える影響は小さいことが明らかになった。一方で今回のシミュレーションでは経路の安全性については考慮していないため、実機において実験を行う場合では経路の安全性についても議論する必要がある。

#### 参考文献

[1] Yan, Z., Li, J., Zhang, G. and Wu, Y.: A Real-Time Reaction Obstacle Avoidance Algorithm for Autonomous Underwater Vehicles in Unknown Environments, *Sensors*, Vol. 18, No. 2, 428 (2018).

[2] 杉山友亮, 辻 順平, 能登正人: 測域センサを用いた水中計測における防水カバー形状の影響, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 16, No. 3, pp. 219-220 (2017).