

PS-31 海底地形計測による AUV 自己位置推定手法について

海洋先端技術系 * 佐藤 匠, 金 岡秀

1. はじめに

自律型水中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle, 以下 AUV とする) は, 搭載された人工知能による高度な運動制御により, 海底資源調査に多く用いられている. 海上技術安全研究所では, 戦略的イノベーションプログラム (SIP) において「AUV 複数運用手法等の技術開発」として, 複数台の AUV を研究開発している¹⁾.

AUV には慣性航法装置とドップラー流速計 (以下, DVL とする) が搭載されており, センサーから取得した速度・姿勢から自己位置を計算する. しかしながら, 数時間単位の潜航を行う AUV では, 時間経過によって自己位置に誤差が蓄積してしまう. 水中は陸上のロボットと違い自分の位置を GPS で計測することはできないため, GPS を持つ洋上の支援船から, 音響測位・通信によって位置補正を行っている. しかしながら, 外部機器を必要とするため, コスト・準備のための時間・機器トラブルを増大させる. 音響通信・測位は, 海底地形・AUV と支援船との位置関係・騒音による音響のノイズに影響され, AUV 本体のみで自己完結するナビゲーションシステムは, 外部機器のトラブルリスクを防ぎ, 調査成功率を十分に高めることが期待できる.

2. 提案手法

2.1 概要

海底地形情報を利用して自己位置を推定する手法として, 陸上においては無人飛行体に利用されている TERCOM (Terrain Contour Matching) が存在する. これは, 予め持っている地形情報と, リアルタイムに計測する地形情報をマッチングさせ自己位置の誤差を補正するものである. AUV に利用されている例はあるが²⁾, 通常の調査運用では, 調査域は調査主体側のニーズに応じて決定されるため, 調査域の海底地形が単調であった場合, 地形照合が成功する確率は大きく下がってしまう.

また, AUV の自己位置に誤差が大きく発生するのは, 投入から目標深度までの間であることが多い. 例えば, 海底が 1000m 深度の場合, AUV は自己位置を慣性航法装置と, DVL から得る AUV の対水速度に頼ることとなる. 一般的に対水速度は対地速度よりも誤差が大きいため, 対地速度が計測できない状況では大きな位置誤差が発生する. そこで本研究では,

(1) 地形照合の成功確率を上げる, (2) 計測航走前に誤差を補正する, の2つを達成するため, (1) 潜航前に調査域内で地形照合しやすい場所を選定し, (2) 潜航開始後, 計測航走前に地形照合による位置補正を行う手法を提案する.

2.2 提案手法

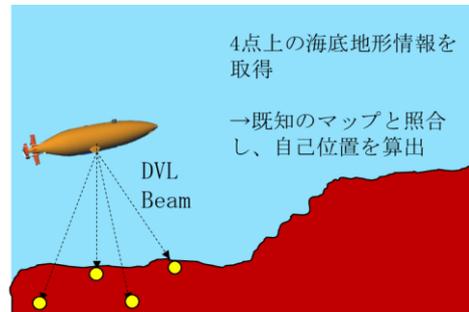


図-1 海底地形情報調査による自己位置算出

本手法では, 図-1 に示す様に, 深度計, DVL から得られる AUV 下の点情報のみを使用することで, 少ない計算量で実装可能である様に設計した. DVL は, ロボット固定座標系 XY 平面 (前方: X, 右舷方向: Y) において前方を 0 度とした場合に, 45 度, 135 度, 225 度, 315 度の方向に俯角 60 度の 4 本の音響ビームを放射し, 計測を行う.

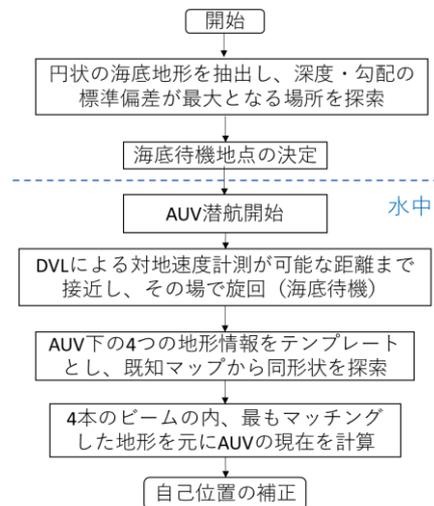


図-2 提案手法の流れ

図-2 に提案手法の流れを示す. 提案手法は, 大きく分けて①潜航前と②潜航中の2つのフェイズに分けられる. 図-2 では, 青線によって水上・水中を分けており, これが上記①・②に対応する.

①では, 既知の海底地形情報から複雑な地形を探索し, 位置補正を行う場所を決定する. ②で行う地形照合では, 一定の姿勢・速度を保ちやすい旋回航跡で得られた地形情報を元に照合するため, 旋回航走時に AUV 直下の高度情報が得られると仮定して, 円状の海底地形で最も複雑 (深度・勾配の標

準偏差が大きい場所を選択) な場所を特定する。

次に、②では海底付近(対地速度が計測可能な100m高度程度)において一定直径・一定深度で巡回待機させる。4本のDVLビームで得られた地形データをテンプレートとし、既知海底地形データとマッチングを行う。深度・緯度方向の勾配・経度方向の勾配の3つのパラメータに対し、各々SSD(Sum of Squared Difference)を計算後、合算した値が最小値となる部分をマッチング結果とする。解の探索法としては最急降下法を使用した。得られた結果には正しい位置情報が含まれているため、位置補正を行う。

2.3 シミュレーションについて

本手法の有効性を検証するため、シミュレーションを実施した。②で使用する巡回時の艇体動作は、航行型AUV2号機の実海域試験ログを使用した(前進速度1.5m/s, 直径約120m)。緯度・経度・深度・姿勢から、DVLのビームベクトルが海底で反射する点を算出・海底地形データを抽出した。抽出された地形点群データを誤差無しの模擬センサーデータとし、4本の地形データをテンプレートとして既知海底地形データから同形状の地形を探索した。なお、AUVに搭載されているジャイロによる方位誤差は無視する。(例: IX blue社のAHRS「QUADRANS」の場合、方位精度は0.23deg)

海底地形は、2mメッシュデータであり、メッシュ面にビームが入射する場合は線形補間にて算出した。使用した海底地形データは、2018年6月に実施された実海域調査において取得されたものである。

3. シミュレーション結果と考察

3.1 シミュレーション結果

提案手法では、AUVの位置は緯度・経度・深度で述べたが、図-3では位置関係をわかりやすくするため、m表示とした。図-3はBeam2の地形計測データと、既知マップから探索した収束解を合わせて示している。また、図-4には、4つのビームから計算されたAUV自己位置と、正しい自己位置の誤差を示す。

3.2 考察

ビーム毎に海底地形情報が得られることから、海底の傾斜によっては計測できないビームがあった場合でも、別のビームから位置補正が可能であると考えられる。また、マッチングが成功した場合に数mの誤差範囲(最小で1m以下)に補正可能であることが示されている。世界トップレベルの測位精度を持つIX blue社「Gaps」では、測位精度はスラントレンジの0.06%(カタログ値)であるため、理想的には深度1000mのAUVを最小0.6mの誤差範囲で計測可能であるが、洋上支援船のGPS精度、音響通信の遅延で数m程度まで補正誤差が拡大する。したがって、本手法での補正精度がAUVの深海底での位置補正手法として有効であることが示された。

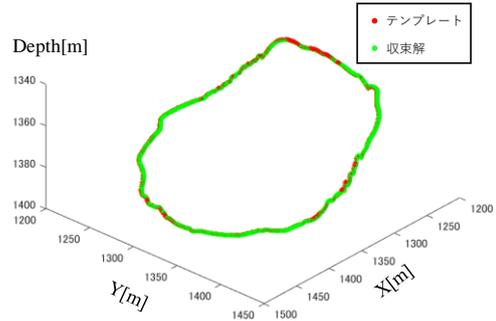


図-3 地形マッチングの結果(図-4のBeam2)

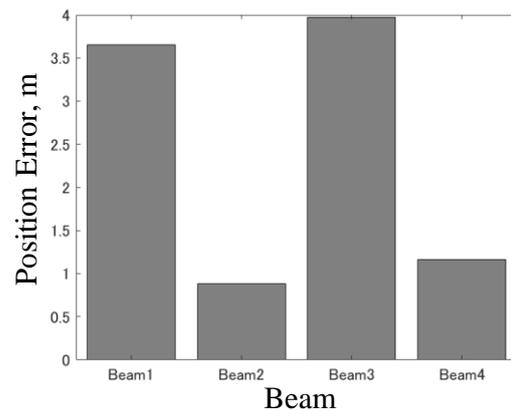


図-4 位置補正誤差

5. 結言

本研究では、現状では外部装置による自己位置補正が必須であるAUVに対して、既知の地形情報を元に投入位置を決定し、地形照合によって自己位置推定を行う自己位置補正手法を提案した。手法の有効性を検証するため、実海域で取得した海底地形情報と、実際の潜航ログを元に、自己位置補正の模擬シミュレーションを実施した。結果として、音響測位・通信と同等、またはそれ以上の精度での自己位置補正が可能であることが示された。外部音響装置を必要としない自己完結的なAUVの実現を目指して、さらに詳細なシミュレーション、および水槽実験を行う予定である。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代海洋資源調査技術」(管理人: JAMSTEC)の一環として実施されました。実海域調査においてAUV運用を担当された海洋調査協会様には厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Takumi Sato, et al., : Exploring hydrothermal deposits with multiple autonomous underwater vehicles, Proc. of IEEE/OCEANS 2018, 2018.
- 2) Ye Li, et al., : Terrain Matching Positioning Method Based on Node Multi-information Fusion, The journal of navigation (2017), 70, pp. 82-100.