

配置および画像処理による水中作業用ARマーカ認識の強化

Enhancement of AR Marker Recognition for Underwater Operations through Placement and Image Processing

○MA BOCHEN*, 河田 さくら*, 小山*, 三好 扶*

○MA BOCHEN*, Sakura KAWATA, Tasuku MIYOSHI

*岩手大学

*Iwate University

キーワード：水中ロボット (Underwater Robot), ARマーカ (AR Marker), 水中建設作業 (Underwater construction), 画像処理 (image processing)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5 岩手大学 理工学部 システム創成工学 花原
研究室 MA BOCHEN, Tel.: 019-621-6357, E-mail: s3222009@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

1.1 背景

近年の十数年間で、特に海洋資源開発や持続可能なエネルギー源の探求において、海洋開発の必要性が急速に増加している[1]. このような要求に応じて、水中ロボット研究の進展は、水中視覚調査やデータ収集の分野の進歩をもたらしており、作業リスクが軽減され、データ収集の範囲と時間が拡大している。しかし、現在の水中ロボット技術では多くの課題が残されており、特に複雑な環境や水中建設作業においては弱点が顕著である (Fig. 1)。その中で、複雑な水

中環境において、作業対象の位置および姿勢をリアルタイムで正確に取得することは極めて重要である。

本研究では、配置および画像処理を通じて、水中での組立および挿入作業 (Fig. 2) 用ARマーカの識別能力を強化する。また、水中実験を通じて、本手法が水中ARマーカの挿入穴位置に対する精度を向上させることを検証する。

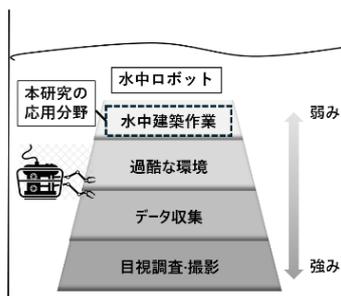


Fig. 1 水中ロボットの弱みと強み

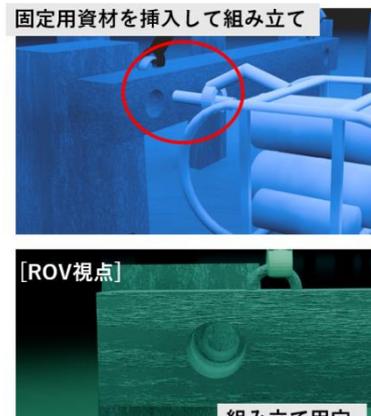


Fig. 2 水中組立および挿入作業

1.2 先行研究とその課題

ARマーカ―は様々な分野で広く使用されている技術であり、その有用性が高く評価されている。一般的なのは、ARマーカ―を他のセンサーと融合して精密な位置決めを行う方法である (Matthias Neges, 2015) [2]。水中環境での応用も試みられており、いくつかの研究では水中でのARマーカ―の使用が提案されている。TWINBOTはARマーカ―を使用して、水中ロボットが作業地点を見つける (Roger Pi, 2021) [3]。しかし、水中環境には独自の課題が存在し、これがARマーカ―の性能に大きな影響を及ぼす。

- ・ 正対問題：従来のARマーカ―の測定原理では、垂直方向の位置決定の精度低下の問題がある。
- ・ 精度の低下：水中では光の屈折や散乱が起これやすく、これがARマーカ―の認識精度を低下させる。
- ・ 認識範囲の制限：水中の特性により、ARマーカ―の認識範囲が陸上に比べて著しく狭くなる。
- ・ 遮蔽の影響：水中では浮遊物や障害物が多く存在し、これがARマーカ―の認識を困難にする。
- ・ 視認性の問題：特に濁った水中では、ARマーカ―の視認性が大きく低下し、正確な認識が難しくなる。

2. 提案手法

2.1 配置による認識強化

本研究の最終目標は、ARマーカ―を用いて組立作業の固定穴を正確に見つけることである。ここでは、ARマーカ―の精度を向上させるとともに、水中での遮蔽の影響を排除し、ARマーカ―の認識範囲を拡大するために、複数のARマーカ―を垂直線形に配置する手法を提案する。具体的には、穴の中心を原点として、ARマーカ―を四方向に配置し、穴の平面に対して一定の角度を持たせる (Fig.3)。

複数のマーカ―を配置することで、ロバスト性と耐干渉性を向上させ、3つのマーカ―が遮蔽された場合でも認識を続けることができる。また、マーカ―の角度を設定することで、側面からのマーカ―認識範囲を拡大し、異な

る角度からのARマーカ―を正方向に観察することで、単一視点による認識誤差を回避し、精度を向上させる。

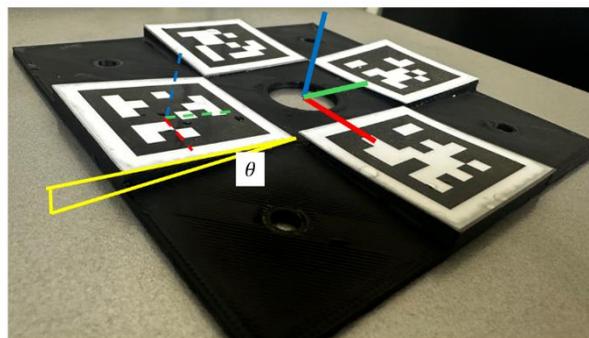


Fig. 3 ARマーカ―の配置手法

2.2 水中画像処理による認識強化

水中の画像処理技術はすでに相対的に成熟しており、水中の特殊な環境における画像処理のためのさまざまな方法が存在する。本研究では、ARマーカ―に対して、認識精度および水中視認性を向上させるための画像処理フローを提案する (Fig. 4)。

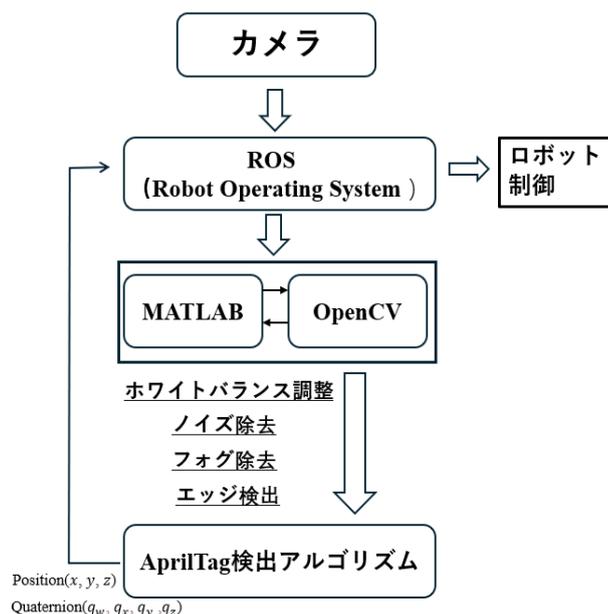


Fig. 4 ARマーカ―認識強化水中画像処理

3. 実験I：検出精度実験

3.1 実験目的・方法

本研究は、長さ1.5m、幅1.5m、高さ2mの水槽で行われた。実験では、長さ3mのアルミ棒にカメラとマーカ―ボードを固定し、X軸 (左右) およびY軸 (上下) を拘束して一致

させた。実験では、 θ 角 0° の単一マーカー、 θ 角 0° の複数マーカー、 θ 角 5° の複数マーカー、および θ 角 10° の複数マーカーの配置について、データの統計を容易にするため、それぞれの状況を(0c1, 0c, 5c, 10c)とラベル付けた。30cm, 60cm, 90cmの距離で検出精度実験を行った。

3.2 実験I結果

まず、画像処理を行わない場合と比較して、提案した配置手法が距離精度に与える影響を検証した。結果はFig. 5に示す通りである。Table.1 ARマーカーの測定値と実際の距離の誤差百分比を比較し、誤差百分比と精度を分析した。

Table. 1 ARマーカーの測定値と実際の距離の精度

| | 30cm | 60cm | 90cm |
|-----|--------|--------|--------|
| 0c1 | 86.5% | 88.85% | 89.70% |
| 0c | 85.52% | 89.84% | 91.00% |
| 5c | 87.07% | 91.15% | 92.52% |
| 10c | 90.60% | 92.28% | 92.42% |

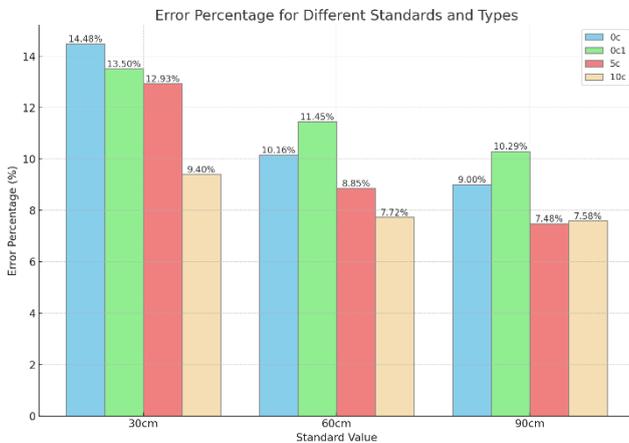


Fig. 5 ARマーカーの測定値と実際の距離の誤差百分比

4. 実験II：フィルタ処理効果

4.1 実験目的・方法

水中画像処理実験では、処理の効果を単独で分析した。実験1のデータからランダムに抽出画像を処理し、処理前と処理後の画像を比較した (Fig.6)。マーカーがカメラに対して正対して配置されるため、上下のマーカーは同一直線上にあり、左右のマーカーは別の直線上にあり、これらの直線は互いに直行する。

したがって、上下に配置されたマーカーのY軸の相対誤差および左右に配置されたマーカーのX軸の相対誤差を評価基準とする。比較の際には、カメラの内部パラメータ行列と歪み係数の影響を排除し、平均相対誤差 (MRE)

(Eq.1) を算出した。ここで、AおよびBはそれぞれ上下に配置されたマーカーのY軸座標と左右に配置されたマーカーのX軸座標を表す。

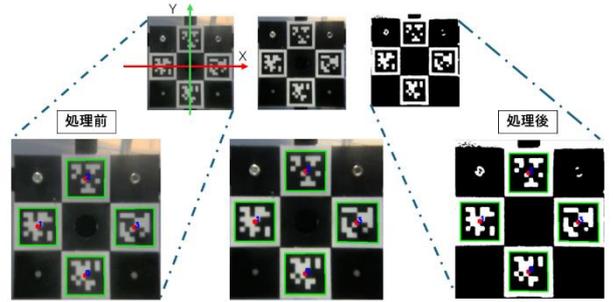


Fig. 6 処理後の画像におけるARマーカーの認識

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - B_i|}{\max(|A_i|, |B_i|)} \quad (1)$$

4.2 実験II結果

未処理画像のXY軸上のARマーカーの相対誤差と、処理後画像のXY軸上のARマーカーの相対誤差については、AprilTag認識アルゴリズムを使用した。50回で同一画像において、未処理画像の二対のマーカー間のX軸またはY軸の相対平均誤差は0.0071であり、処理後の相対平均誤差は0.0056であった。

5. 考察

実験結果から、提案手法は3つのデータセットすべてで距離精度の向上が見られ、特に10度の複数配置は0度の単一ARマーカーに比べて識別精度が3.51%向上したことがわかる。また、提案した水中画像処理フローは、水中ARマーカーの認識精度を顕著に向上させる。今後の目標は、これら二つの方法を融合させて、水中ARマーカーの認識精度をさらに向上させ、水中での精密作業の要求を満たすことである。

謝辞

本研究の一部は公益財団法人前田記念工学振興財団令和6年度研究助成によって実施した。

6. 参考文献

- [1] Gilbert AJ, Alexander K, Sardá R, Brazinskaite R, Fischer C, Gee K, Jessopp M, Kershaw P, Los HJ, Morla DM, O'Mahony C, Pihlajamäki M, Rees S, Varjopuro R Marine spatial planning and good environmental status: a perspective on spatial and temporal dimensions. 2015 *Ecol Soc* 20(1):64. doi:10.5751/ES-06979-200164
- [2] Matthias Neges, Mario Wolf, Michael Abramovici, Secure Access Augmented Reality Solution for Mobile Maintenance Support Utilizing Condition-Oriented Work Instructions, *Procedia CIRP*, Volume 38, 2015, Pages 58-62, doi.10.1016/j.procir.2015.08.036
- [3] R. Pi, P. Cieślak, P. Ridaó and P. J. Sanz, "TWINBOT: Autonomous Underwater Cooperative Transportation," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 37668-37684, 2021, doi:2021.3 10.1109/ACCESS.2021.3063669.