

審査の結果の要旨

氏名 喬 暁蕊

喬 暁蕊氏の博士論文は、「Image Enhancement and 3D Reconstruction for Underwater Environments (水中環境の画像補正と3次元復元)」と題し、全7章より構成される。本論文では、水中環境の3次元復元について光の減衰と光の屈折の問題を解決するため、水中画像の補正アルゴリズム、屈折を考慮した3次元復元アルゴリズムの構築を行っている。

第1章では、本論文の背景である水中環境の3次元センシングの重要性について述べられている。シングルカメラを用いた **Structure from Motion** の手法の優位性について議論がなされた上で、水中環境での **Structure from Motion** の問題点・チャレンジングポイントが抽出され、本論文の主なコントリビューションが説明されている。具体的には、水中環境における光の減衰の問題に対する画像補正手法の提案、水中環境における光の屈折の問題に対する屈折を考慮した **Structure from Motion** の提案、および、水中環境に対する新たな **Structure from Motion** パイプラインの提案に関して述べられている。

第2章では、関連する研究が調査され、水中環境の画像補正と3次元復元に関する従来研究と本論文との関係がまとめられている。水中の光伝搬の特有な現象である吸収、散乱、屈折などについて説明されている。水中での画像形成について光モデルとカメラモデルが述べられている。水中画像補正についての関連研究、水中3次元復元についての関連研究の概要や特徴が説明された上で、水中環境の画像補正と3次元復元における問題点とチャレンジングポイントが述べられている。

第3章では、本論文が注目する水中環境の物理的性質が説明された上で、本論文のチャレンジングポイント、目的とアプローチが述べられている。具体的

には、画像減衰、不均一照明、浮遊パーティクルノイズ、屈折などにより、水中環境のための **Structure from Motion** パイプラインが必要不可欠であることが説明されている。また、光の減衰と屈折がある環境の 3 次元復元を行う手法を構築することが述べられている。

第 4 章では、水中環境の光の減衰による画像劣化問題を解決するため、画像補正のための新しいモデルの提案が行われている。提案モデルでは、従来モデルでは取り扱われていなかった水中ノイズと不均一環境光を考慮することが説明されている。提案モデルにより、浮遊パーティクル除去手法が提案されている。また、複数フレームの情報を用いてパーティクル領域を検出し、統計的に解析した情報を用い、正確的なパーティクル領域を決定する方法が提案されている。更に **Gaussian Mixture Model** を用いた浮遊パーティクル領域の復元がなされている。続いて、赤チャネル情報を用いたトランスミッション推定手法と **Maximum Reflectance Prior** を用いた人工光の推定手法が提案されている。検証実験では、実画像を用いた画像補正の評価結果により、提案手法の有効性が確認されている。

第 5 章では、屈折を考慮した **Structure from Motion** 手法について述べられている。従来の **Structure from Motion** パイプラインについて説明がなされた上で、提案した **Structure from Motion** パイプラインのオリジナリティが従来手法と比較されて述べられている。まず、任意形状の屈折面を対応できるカメルシステムのモデリング手法が提案されている。続いて、カメラシステムモデリングのため、カメラと屈折面の相対位置姿勢を推定するカメラキャリブレーション手法が提案されている。次に、モデリングしたカメラシステムの相対位置姿勢の推定手法が提案されている。最後に、観測対象の 3 次元座標を計算するための、三角測量の説明と定式化がなされている。更に、計測の精度と安定化を図るため、新たなバンドル調整手法が構築されている。提案手法の検証実験では、シミュレーション実験と実画像を用いた 3 次元復元実験により、提案手法の有効性が示されている。

第 6 章では、福島第一原子力発電所 3 号機原子炉格納容器内部調査の映像に関して、提案した **Structure from Motion** パイプラインを用いた 3 次元復元結果について述べられている。内部調査の映像では、原子炉格納容器内部の状態調査として、水中ロボットに防水ハウジングを付けるカメラを搭載し、ロボットが移動しながら内部の映像を撮影した。従来の **Structure from Motion** と比較して、提案したパイプラインでは密な 3 次元復元が可能であることが示されている。

また、提案手法であるデンスオプティカルフローを用いた 3 次元復元手法の結果と、格納容器の設計形状データが一致することが確認されている。従来の **Structure from Motion** パイプラインの結果と比較して、提案手法の結果がより正確に 3 次元復元されていることが示されている。最終的に、実際の水中環境においても提案手法の有効性が示されている。

第 7 章では、本論文の成果が総括されている。今後の研究の方向性として、多視点での計測の精度向上などについて述べられている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。