

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Energy-Aware Coordinated Image Sampling with Multi-drone Systems for 3D Model Reconstruction
著者(和文)	LUZHIYUAN
Author(English)	Zhiyuan Lu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12850号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:畑中 健志,天谷 賢治,三平 満司,中臺 一博,倉林 大輔
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12850号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	路	至遠	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名 職名	
	主査	畑中 健志	教授		倉林 大輔 教授	
	審査員	天谷 賢治	教授	審査員		
		三平 満司	教授			
	中臺 一博	教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Energy-Aware Coordinated Image Sampling with Multi-drone Systems for 3D Model Reconstruction」と題し、全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、研究動機、関連研究および本論文の貢献について述べている。まず、多様なドローンの用途の中で、複数ドローンを利用した3次元再構成のための画像サンプリング制御が本論文の主題であることを示している。また、本オペレーションにおけるカメラ姿勢の制御とドローンのエネルギー管理の重要性について論じている。つぎに、本論文の基礎を成す被覆制御、二次計画制御、制御バリア関数に基づく充電ステーションへの帰還制御、交互方向乗数法に関する既存研究を紹介している。最後に、カメラ姿勢の制御と効率的なエネルギー管理を実現する協調画像サンプリング法の提案が本論文の貢献であると述べている。

第2章「Preliminaries: Coverage Control and ADMM」では、本論文の基礎理論である被覆制御と交互方向乗数法について説明している。はじめに、被覆制御問題を定式化し、その最も基礎的な解法である勾配法に基づく被覆制御法を紹介している。つぎに、被覆制御の発展として持続的被覆制御、制御バリア関数に基づく被覆制御、さらに多角度撮影型被覆制御について既存の結果をまとめている。最後に、代表的な分散最適化手法である交互方向乗数法の問題設定とアルゴリズムについて述べている。

第3章「Coordinated Image Sampling with Multi-drone Systems」では、カメラ姿勢の制御を考慮した新たな多角度撮影型被覆制御問題を定式化し、二次計画制御に基づく解法を提案している。はじめに、カメラ姿勢を含めたドローンの位置姿勢運動学モデルおよび撮影角度を含めた5次元環境モデルを定義している。つづいて、カメラ姿勢を変数とする新たな性能関数と、それに基づいて環境上に定義された重要度指数を更新する規則を定式化している。つぎに、制御系設計の仕様を不等式制約条件として表現し、これにカメラ角度のハードウェア制約、ドローン間衝突回避制約、フィールド逸脱回避制約を加えたすべての制約を充足する二次計画制御を提案している。さらに、カメラ姿勢の考慮に起因する計算時間の増大に対して、実行時コンパイラとGPUを併用することで実時間での実行可能性を示している。最後に、ROS(Robot Operating System)2上に構築されたシミュレータを用いて、提案法の有効性とカメラ姿勢制御の効用を検証している。

第4章「Energy-Aware Coordinated Image Sampling with Dynamic Charging Station Assignment」では、状況に応じて各ドローンに最適な充電ステーションを割り当てることで、画像サンプリングの効率への影響を低減しつつエネルギーの持続性を保証する手法を提案している。まず、電池モデルと充電ステーション帰還用制御バリア関数を定義している。つぎに、充電ステーションの最適割り当て問題を整数計画問題として定式化し、割り当て変更によって生じる帰還失敗を回避するため、制御バリア関数値に基づく評価関数の重み係数設定手法を提案している。つづいて、制約行列の完全ユニモジュラ性を証明することにより、本整数計画問題が厳密に線形計画問題に帰着できることを理論的に明らかにしている。さらに、帰着された線形計画問題に交互方向乗数法を適用することで、充電ステーションの割り当て問題が分散的に求解可能であることを示している。最後に、ROS2上のシミュレータを用いて、充電ステーションの最適割り当てが画像サンプリングの効率を向上させることを例証している。

第5章「Experimental Verification」では、屋内/屋外での実機実験を通して、第3章で提案した多角度撮影型被覆制御の有効性と、カメラ姿勢制御が3次元復元モデルの精度に与える影響について検証している。はじめに、屋内実験におけるモーションキャプチャシステム、屋外実験におけるRTK-GNSSの双方に対応可能な新たな実験システムについて詳述している。つぎに、屋内実験において、カメラ姿勢制御を考慮しない従来の多角度撮影型被覆制御がフィールド上に設置された物体の復元に失敗するのに対して、カメラ姿勢の制御を考慮することで復元に成功することを示している。さらに、キャンパス内に設置された圃場での屋外制御実験を通して、提案法の屋外での実装可能性を実証するとともに、カメラ姿勢制御が圃場の3次元復元モデルの精度向上に寄与することを明らかにしている。

第6章「Conclusion」では、本論文の研究成果についてまとめ、今後の研究の方向性について議論している。

以上を要するに、本論文は、複数ドローンの協調による3次元再構成用画像のサンプリングとエネルギー管理の双方を効率化する設計法を提案し、理論、シミュレーション、屋内/屋外実験を通してその有効性を示したものであり、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。