

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	THE DESIGN OF STEREO CAMERA SYSTEM AND IMAGE PREPROCESSING FOR DIRECT VISUAL ODOMETRY
著者(和文)	MiaoYinming
Author(English)	Yinming Miao
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12178号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山口 雅浩,熊澤 逸夫,中村 健太郎,金子 寛彦,小尾 高史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12178号, Conferred date:2022/9/22, 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	繆寅明	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	山口 雅浩	教授	小尾 高史	准教授
	審査員	熊澤 逸夫	教授		
		中村 健太郎	教授		
金子 寛彦		教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「The Design of Stereo Camera System and Image Preprocessing for Direct Visual Odometry (ビジュアルオドメトリのためのステレオカメラ設計および画像前処理)」と題し、英文 5 章から構成されている。

第 1 章「Introduction (序論)」では、ビジュアルオドメトリ (VO) の技術を概観し、既存手法の課題を整理している。はじめに、画像系列からカメラの自己位置推定を行う VO の技術について、特徴点に基づく手法と直接法に分類して説明している。そして、これらのうち特徴点に基づく手法では、テクスチャが豊富な領域で高い精度が得られるものの、処理に時間がかかることと、再構成されたマップが疎になることを問題点として指摘している。一方、直接法は特徴抽出を必要とせず、高密度のマップを構築できるが、撮影時の露出の変化に弱いと述べている。加えて、直接法に用いるキーポイントの選択が結果の精度に影響するが、この点選択の既存の戦略には改善の余地があると述べている。また、これらの手法は単眼カメラまたはステレオカメラで実装でき、ステレオカメラを用いることで高精度かつロバストなシステムを実現できるが、ステレオカメラを用いた VO の手法には未成熟な部分が残されていると述べている。

以上の背景のもと、VO に適したステレオカメラを設計するとともに、主にステレオカメラを用いた直接法による VO の課題を解決する手段を提案することが本研究の目的であるとしている。

第 2 章「Design of stereo camera system (ステレオカメラシステムの設計)」では、VO に適したステレオカメラとして、グローバルシャッター方式かつ高解像度・高フレームレートで、9 軸の IMU (慣性計測装置) を搭載したカメラの設計・開発について紹介し、実用的なカメラを実現するための様々な問題の解析を行い、解決策を示している。具体的には、ディスプレイに表示したチェッカーボードパターンを自動的に撮影してカメラの幾何学的校正を行う技術、ステレオカメラの 2 つのレンズの焦点面の調整手法、画像の安定性の検査ツールなど、実用面で有効な技術に関して具体的に解説している。

第 3 章「Photometric calibration for direct visual odometry (直接ビジュアルオドメトリのための測光的校正法)」では、VO の直接法において、ステレオカメラで取得される光量の校正を行う新しい手法を提案している。VO においてカメラの測光特性を校正する方法は既に数多く存在するが、提案手法は、直接法においてステレオカメラからの情報を効果的に用いる点で新規性があると述べている。具体的には、ステレオカメラの左画像と右画像の対応点を求め、加えて時間方向のフレーム間での対応点の輝度を用いることで周辺減光の特性を求めるとともに露光時間の変動を推定している。この処理ではガンマ応答関数の階調特性を仮定し、対応点の輝度からガンマ値を算出することで安定な推定を可能にしている。本手法において、対応点の探索は GPU の並列計算を用いた視差マップ生成により高速に処理できることから、リアルタイム処理に向いていると述べている。

そして、本手法をステレオによる直接スパースオドメトリ (DSO) とスケール最適化 DSO に適用した実験結果を提示している。まず、公開データセットでの実験の結果、提案手法による測光的校正の適用がオドメトリの精度を向上させること、既存の測光的校正法では、一部のシーケンスで限界があることが示されている。次に、自ら作成したステレオカメラデータに提案手法を適用し、露光時間率推定において提案手法が従来のキャリブレーション手法を上回る性能を持つことを示している。さらに、オドメトリの結果をレーザー測距計測データから再構成した地図と目視で比較し、提案手法の有効性を確認している。

第 4 章「Edge based point selection method for direct visual odometry (直接ビジュアルオドメトリのためのエッジに基づく点選択法)」では、直接法の DSO やループ閉じ込み DSO (LDSO) において、画像中のキーポイントを抽出するために、エッジ検出法による新しい点選択方法を提案し

ている。この手法では、エッジ領域の長さや滑らかさの記述を用いることで、ノイズや動く木の葉のような不安定な物体の一部をキーポイントとして選択することを回避している。

そして3つのオープンデータセットに対して実験を行った結果が示されている。人工物と自然物の両方が含まれるシーンにおいて、提案する点選択法はDSOとLDSOの精度を向上させることが示されている。実験結果をもとに提案手法の意義・優位性について考察し、計算コストが若干増加する点はデメリットであるものの、特に自動運转向けの屋外の映像など人工物と自然物から成るシーンにおいて提案手法の優位性が高いと述べている。

第5章「Conclusion (結論)」では、本研究を総括するとともに、今後の課題について議論を行っている。

以上を要するに、本論文はVOに適したステレオカメラを設計・開発した結果を示すとともに、直接法によるステレオVOに適した新たな測光的校正法及びキーポイント選択法を提案し、その有効性を実験的に示したものであり、工学上・工業上寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(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。