

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Hand-Eye Calibration and Terrain Mapping under Extreme Light Conditions using Stereo Vision Camera for Humanitarian Demining Robot
著者(和文)	LiJianhua
Author(English)	Jianhua Li
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9972号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 玄,鈴森 康一,大熊 政明,小田 光茂,塚越 秀行,福島 E 文彦
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9972号, Conferred date:2015/9/25, 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	Li Jianhua	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	遠藤 玄	准教授	塚越 秀行	准教授
	審査員	鈴森 康一	教授	福島 E. 文彦	連携教授
		大熊 政明	教授		
小田 光茂		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Hand-Eye Calibration and Terrain Mapping under Extreme Light Conditions using Stereo Vision Camera for Humanitarian Demining Robot (人道的地雷探査ロボットのステレオ視カメラを用いたハンドアイキャリブレーションと極端な照明条件下での地形マッピング)」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章“Introduction(序論)”では、本論文の背景と目的を述べている。まず Gryphon 型人道的地雷探査ロボットにおいて屋外環境下で長期に亘り高い探査能力を発揮するためには、探査面に沿って金属探知機を搬送するロボットアームの運動学的較正と、探査面形状を計測するステレオ視カメラの位置・姿勢とアーム手先位置・姿勢関係の較正(ハンドアイキャリブレーション)を外部計測装置なしに実現できることが必要であると述べている。さらに金属探知機を探査面と一定の高さに保つための探査面形状の計測(地形マッピング)は、極端に照度差の大きい屋外環境でも頑健に実行できることが必要であると述べている。さらに、従来法とその課題を整理した上で、アーム上に設置された汎用ステレオ視カメラにより、複数の露出条件画像を用いて頑健に地形マッピングを行い、手先位置計測と高精度関節角度計測によって運動学的較正とハンドアイキャリブレーションを達成する較正法を提案し、その有効性を示すことが本論文の目的であると述べている。

第2章“Kinematic Calibration and Hand-Eye Calibration with Pure Rotation Method through Fitting Circular Arc in 2D Space with Joint Angle Constraint (関節角度拘束を有する平面円弧近似単回転法による運動学的較正とハンドアイキャリブレーション)”では、従来法である Pure Rotation Method (単回転法)は高精度の外部計測装置が必要で、屋外実運用環境で較正することが困難であることを指摘し、Gryphon 型ロボットアームに装備しているセンサのみで実現可能な新たな較正法を提案し、その有効性を明らかにしている。すなわち、Gryphon 型ロボットアームの高精度な関節角度計測に着目し、単回転法による較正パラメータ最適化計算の評価関数の一部に関節角度を用いることを提案し、これによりアーム上に設置された汎用ステレオ視カメラによる運動学的較正精度とハンドアイキャリブレーション精度を向上できることを数値シミュレーションおよび実験により明らかにしている。また地雷探知に十分な金属探知機出力信号が得られるアーム手先位置精度の要求仕様は±20mm であるのに対し、本手法を適用した実機実験での位置精度は±11mm であり、外部計測装置を用いた較正精度に匹敵する性能を汎用ステレオ視カメラによって達成していることを明らかにしている。

第3章“Hand-Eye Calibration with Pure Rotation Method through Directly Fitting Circular Arc in 3D Space with Joint Angle Constraint (関節角度拘束を有する空間直接円弧近似単回転法によるハンドアイキャリブレーション)”では、第2章で提案した較正法の精度と計測ノイズに対する頑健性をさらに向上するため、単回転法により得られた計測値に対する新たな円弧近似法を提案し、その有効性を明らかにしている。すなわち、ステレオ視カメラで計測した円弧軌道を RANSAC(Random Sample Consensus)を用いて空間内で直接円弧近似する手法を提案し、数値シミュレーションならびにパンチルトカメラによる実験から、従来法ならびに第2章で提案した較正法に比して、精度と頑健性がさらに向上することを明らかにしている。

第4章“Terrain Mapping under Extreme Light Conditions with Direct Stereo Matching Method (直接ステレオマッチング法による極端な照明条件下での地形マッピング)”では、極端に照度差の大きい屋外環境においても汎用ステレオ視カメラで頑健に距離画像を得ることができる新たなステレオマッチング法を提案し、距離測定精度が向上することを明らかにしている。すなわち、100~100000lux の照度が混在する屋外環境光下において、左右画像から視差を得るための十分な数の画像特徴点を得るため、従来法では複数の露出条件で撮影した画像を部分ごとに最適画像を抽出し合成することで視差を算出するのに対し、本提案手法では撮影したすべての画像を積み付きで直接視差算出に用いることで、特徴点の数が増加し距離の測定精度が向上することを明らかにしている。また、複数の露出条件での撮影後に各々の画像の傾きを揃える画像処理を行うことで、移動ロボット上のカメラ位置・姿勢が変動する場合であっても頑健に距離画像が得られることを数値シミュレーションならびに実験により明らかにしている。

第5章“Conclusions and future work (結論と今後の課題)”では、本研究で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本論文はロボットアームのハンドアイキャリブレーション精度と、極端に照度差の大きい環境におけるステレオ視精度を向上する手法を提案し、Gryphon 型人道的地雷探査ロボットに適用することでその性能を明らかにしたものであり、工学上、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。