

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラによる3次元距離計測
Title(English)	
著者(和文)	赤松俊弘
Author(English)	Toshihiro Akamatsu
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9866号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣田 薫,長橋 宏,佐藤 誠,柴田 崇徳,室伏 俊明
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9866号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 知能システム科学 専攻  
Department of  
学生氏名： 赤松 俊弘  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員 (主)： 廣田 薫  
Academic Advisor(main)  
指導教員 (副)：  
Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラによる3次元距離計測」と題し、和文6章から成っている。第1章「序論」では、従来からの基礎方程式を用いた3次元距離計測手法では最低7組以上の対応点情報が必要であり、対応誤差や誤対応を含む対応点群からより正確な計測を行うためには、対応点の選別、誤差の最小化が不可欠であること、またそれらから生じる計算コストの増大という課題を解決することが、今後の3次元距離計測の発展において重要であることを主張する。

第2章「カメラモデルと基礎行列を用いたカメラ校正法」では、本論文で用いられているピンホールカメラモデルを幾何学的に記述し、そのデジタルデータとしての扱い方について述べる。また実際のカメラにおいて考慮されるべきレンズ収差による誤差とその影響について考察する。さらに、カメラの内部パラメータおよび外部パラメータを決定するためのキャリブレーション法について2つの基本的手法を述べた後で、エピポーラ幾何学を用いたステレオカメラのセルフキャリブレーション法への展開を提案する。

第3章「6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラによる静止物体の3次元距離計測法」では、静止物体に対する高速な3次元距離計測実現のため、6軸モーションセンサから推定されるカメラの移動ベクトルおよび回転行列を用いて、3次元距離計測に必要な対応点数を削減する手法を提案する。予備実験として、6軸モーションセンサのデータからカメラ動作推定精度を計測し、多項式近似による移動ベクトル推定に関しては、9次および11次の多項式近似で平均誤差率3%を得ているが、オーバーフィッティングの観点から9次近似が最適である。また回転角度に関しては角速度を積分することで得られる結果が2%の平均誤差率に抑えられているため、積分による推定手法を用いる。さらに実画像を用いた3次元距離計測実験より、従来のステレオカメラ手法と比較して3.2倍の計算時間の向上を確認している。一方、精度に関しては1.7倍低下しているが、実際の誤差はカメラから対象までの距離の1%以下に抑えられており、従来法との差は1mm以下である。したがって提案手法は従来法とほぼ同等の精度を保ったまま高速での3次元距離計測が可能であるといえる。

第4章「6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラによる移動物体の3次元距離計測法」では、カメラと計測対象の両方が移動する状況下で高速な3次元距離計測を実現するために、6軸モーションセンサによるカメラの動作推定を利用した移動物体の3次元距離計測法を提案する。提案手法では計測対象が静止しているという仮定のもと、基礎方程式を用いて仮の3次元距離計測を行い、6軸モーションセンサから推定されるカメラの動作に基づいて、計測対象の実際の位置関係を再度計算することにより、移動物体の3次元距離計測を実現する。人形を計測対象とした実画像による移動物体計測実験を行い、従来のステレオカメラ手法と比較すると、約2倍の計算速度の向上を確認しているが、精度の点では約3倍の誤差が見られる。しかしながら、実際の誤差を考えると再投影誤差でおよそ0.28画素に抑えられているため、提案手法の誤差は工学上十分実用に耐えうるレベルに抑えられているといえる。

第5章「6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラによる3次元距離計測のための対応点分類手法」では、静止・移動物体が混在するシーンにおける3次元距離計測の計算コスト削減、および安定化のため、6軸モーションセンサから得られるデータと基礎方程式を用い、対応点を静止・移動物体に分類するための判定基準を提案する。CG画像を用いたシミュレーション実験により、正答率0.97、適合率0.96、再現率1.00、F値0.98の対応点分類結果を得ている。また、判定基準における外れ値をもつ対応点を除外することにより、誤対応の除去が可能である。センサノイズに対する頑健性を検証するため、ガウシアンノイズを付加したセンサデータを用いたシミュレーション実験を行い、結果として約20%の誤差まで耐えうることを確認している。さらに実画像を用いた実験により、正答率0.84、適合率0.93、再現率0.87、F値0.82の結果を得ており、静止物体の対応点を選別する精度は、提案手法を用いない場合と比較して約25%向上している。これにより、実環境における提案手法の有効性を確認、さらに3次元計測の安定性を向上させることが可能である。

第6章「結論」では、本論文で得られた成果である6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラを用いた静止・移動物体の3次元距離計測法、および6軸モーションセンサ装着移動単眼カメラを用いた静止・移動対応点分類手法を総括し、これらの技術が従来のアプリケーションに与える貢献について展望を述べる。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 知能システム科学 専攻  
Department of  
学生氏名： 赤松 俊弘  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員 (主)： 廣田 薫  
Academic Advisor(main)  
指導教員 (副)：  
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

To reduce computational costs and stabilize 3D measurement using cameras, the 3D measurement method for a still/moving object and the corresponding point classification method using a moving monocular camera with a 6-axis motion sensor are proposed.

A 3D measurement method for a still object using a moving monocular camera with a 6-axis sensor to reduce the number of corresponding point, which is necessary for 3D measurement, is proposed. Preliminary experiments to confirm precision of the sensor show that 9<sup>th</sup> polynomial approximation is suitable for distance estimation, and integral gives good rotation angle estimation results. From experimental results using actual images, the proposal is confirmed that its computational time is 3.2 times faster than that of an existing method using stereo camera.

A 3D measurement method, which measures distance to a moving object using a moving monocular camera with a 6-axis sensor, is proposed. The proposal measures faster than the stereo camera method in the situation that both object and camera move. Experimental results using real images show that computational time of the proposal is 2 times faster than that of the existing method.

To stabilize 3D measurement in the situation that still and moving objects are mixed, a corresponding point classification method is proposed using a moving monocular camera with a 6-axis sensor. Simulation experiments using CG images show results that accuracy is 0.97, precision 0.96, recall 1.00, and F-measure 0.98. In robustness validation experiments against the sensor noise, the proposal classifies corresponding points correctly even if 20% of noise is added to the sensor. Experiment results with real images show that accuracy is 0.84, precision 0.93, recall 0.87, and F-measure 0.82.

These three proposals achieve 3D measurement systems which needs quick measurement in the situation that still and moving objects are mixed, for instance, obstacle avoidance systems for vehicles.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).