

氏 名 Xie Chun (謝 淳)

学位の種類 博士 (人間情報学)

学位記番号 博甲 第 9621 号

学位授与年月 令和2年3月25日

学位授与の要件 学位規則 第4条第1項該当 (昭和28年4月1日文部省令第9号)

審査組織 グローバル教育院

学位論文題目 Projector Calibration for Spatial Augmented Reality  
in Large-Scale Space

(大規模空間における投影型拡張現実のための  
プロジェクタキャリブレーション法)

(大学名 職名)

(学位)

(氏名)

主査	筑波大学 教授	博士 (工学)	北原 格
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	亀田 能成
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	矢野 博明
副査	筑波大学 准教授 (グローバル教育院)	博士 (工学)	影広 達彦

## 論文の要旨

本論文では、大規模空間における投影型拡張現実感 (Spatial Augmented Reality) を実現するための基盤技術である、プロジェクタ・カメラシステム (PROCAMS) のキャリブレーション手法について論じている。対象空間の大規模化に伴い、設置後の装置着脱が困難となるため、手元に機材があることを想定した従来手法による内部パラメータ推定が困難であること、プロジェクタから投影面までの距離が、観察者視点から投影面の距離に比べ著しく遠くなるため、微小なキャリブレーション誤差が観察映像に与える影響が甚大であること、を踏まえ、レーザラインポイントの投影像を手がかりにして、大規模プロジェクタ・カメラシステムのレンズ歪を簡易かつ高精度に推定する手法を考案している。さらに、適用シーンの拡大を目指し、多視点映像から3次元形状を復元するコンピュータビジョン技術と空間パターン光投影法を組みわせることによって、非平面形状の投影面への正確なプロジェクションを可能とする投影法を提案している。

序論となる第1章では、本論文の主題であるプロジェクタ・カメラシステムの大規模化によって実現される投影型拡張現実感の特徴について述べた後、キャリブレーション処理に及ぼす影響や課題を調査

し、それらをコンピュータビジョン技術によって解消する手法について論じている。

第2章では、従来研究されているプロジェクタ・カメラシステムの幾何学的キャリブレーション手法をオンラインキャリブレーション、オフラインキャリブレーション、セルフキャリブレーションといった属性に基づいて整理し、大規模空間空間において有効に機能するキャリブレーション手法がこれまで存在していないことを指摘し、提案する手法の優位性について論じている。また、観察距離、レンズ歪など、従来手法では解決困難である課題を実現する手段について述べている。

第3章では、小学校の体育館の天井に設置した4台のプロジェクタと4台のカメラからなる、大規模床面プロジェクションシステム（面積 90.2 m<sup>2</sup> (11m×8.2m)）を紹介し、“straight lines have to be straight”のコンセプトに基づいた高精度レンズ歪補正手法について述べている。床面上に投影したレーザラインポイントの像から、カメラとプロジェクタのレンズ歪パラメータを自動かつ高精度に推定することに成功している。

第4章では、非平面形状物体を投影対象とすることを目的として、モバイルカメラを用いた投影面の3次元形状計測と、パターン光投影法によってモバイルカメラ撮影像とプロジェクタ投影像の対応点探索を組み合わせることにより、任意の3次元形状を有する物体への高精度なプロジェクションマッピング法を考案し、大規模空間における実証実験を通じてその性能を確認している。3次元形状推定の手がかりとなる投影面に空間パターン光を投影することにより、高精度な3次元形状復元とプロジェクタ投影像とモバイルカメラ撮影像の対応付けを同時に実現する斬新なアイデアと、それを足がかりにした大規模空間における任意形状の物体への投影は、過去に例を見ない優れたものである。

第5章は、結論として論文全体のまとめと、今後検討すべき課題、提案手法を活用した応用の考察が述べられている。

## 審査の要旨

### 【批評】

大規模空間におけるプロジェクタ・カメラシステムのキャリブレーション手法は、これまでに実現例を見ない挑戦的な問題であるが、“straight lines have to be straight”のコンセプトに基づき、床面上に投影したレーザラインポイントの像から、カメラとプロジェクタのレンズ歪パラメータを自動かつ高精度に推定する優れた成果をあげている。非平面形状物体を投影対象とすることを目的として、モバイルカメラを用いた投影面の3次元形状計測と、空間パターン光投影法によるモバイルカメラ撮影像とプロジェクタ投影像の間の対応点探索を組み合わせることにより、任意の3次元形状を有する物体への高精度なプロジェクションマッピング法の実現に成功しており、この点も高く評価できる。撮影から提示までに要する処理コストや、投影物体の3次元形状の複雑さが投影精度に与える影響の検討など、実用化に向けて必要となる踏み込んだ議論が不足している印象は否めないが、博士論文として十分な水準にあると認められる。

### 【最終試験の結果】

令和2年1月28日、専門委員会において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（人間情報学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。