

審査の結果の要旨

氏 名 末石 智大

本論文は、「高速光軸制御を用いた画像計測の研究」と題し、6章より構成されている。

本論文では、高速光軸制御を用いた画像計測において、再帰照明系を用いた画像計測手法を提案し、高速に運動する対象の画像計測における高い空間精度と高いS/N比を実現するとともに、三次元計測やダイナミックプロジェクションマッピング、さらには、実飛行体における衝撃波非定常状態の観測を実現したものである。

第1章は「序論」であり、運動する対象物の画像計測を行う際に制約となる画角と解像度のトレードオフ、速度と光量のトレードオフ、被写界深度と光量のトレードオフを整理し、高速光軸制御系などの動的制御の有用性を示すとともに、高速光軸制御系の課題を整理し、本論文の位置づけを述べている。

第2章は、「高速光軸制御技術」と題し、高速光軸制御について詳述するとともに、既存技術との違いを述べ、瞳転送光学系、ガルバノミラー、高速ビジョンを用いた構成を示している。また、高速光軸制御系を用いた応用システムを概説し、高速光軸制御における課題を改めて指摘し、画像計測における高い三次元空間精度ならびに高いS/N比の追及が本論文の目的であると説明している。

第3章は、「高速光軸制御系の高精度構成手法」と題し、三次元空間精度の向上を目指し、高速光軸制御系の高精度な校正手法を提案している。高精度化のためには、校正処理において被写界深度とPan/Tiltの機械的構造が課題となることを指摘し、カメラ校正手法を概観した上で、再帰照明系を用いた被写界深度増大手法と、駆動鏡面式のPan/Tiltカメラモデルならびにその単眼でのバンドル調整手法を提案し、実験的にその有用性を示すとともに、形状計測システムや触覚情報提示システムへの有用性を示している。

第4章は、「照明変動に頑健なダイナミックプロジェクションマッピング」と題し、高いS/N比の実現を目指して、再帰照明系を用いた高速トラッキング手法を提案し、ダイナミックプロジェクションマッピングへの応用を示している。高速光軸制御系で映像を同一光軸で投影する場合の条件を抽出し、暗環境や投影コンテンツなどの照明条件に頑健にトラッキング対象のシルエットを認識する再帰照明系による手法を提案している。さらに、背景差分法や適応的ウィンドウ法を提案し、遮蔽に対する高速トラッキングの継続性も改良している。応用例として、手に持った紙や跳躍するボールに対するダイナミックプロジェクションマッピングの実験を示している。

第5章は、「高速飛翔体の衝撃波画像計測」と題し、提案した高速トラッキング手法を利用して、トラッキングBOS法(Background Oriented Schlieren法)による高速飛翔体の衝撃波画像計測を提案した。シュリーレン法など既存の光学的可視化手法の問題点を述べ、Background Oriented Schlieren (BOS) 法と呼ばれる背景テクスチャを利用した光学的可視化手法を高速トラッキングと共に実現するため、背景を含む再帰照明系と高速光軸制御系から成るトラッキングBOSシステムを考案している。第4章で示した方法と同時に、シルエット認識により高速飛翔体のビジュアルフィードバックを行い、高速飛翔体の長時間高解像度画像計測を実現している。背景の縞を含む高解像度計測画像一枚から参照画像を生成する画像処理手法を提案し、計測画像と参照画像から衝撃波を可視化することを実現した。これにより、衝撃波の非定常状態とみられる揺らぎを観測することに成功している。

第6章は「結論」であり、本研究の成果がまとめられている。

以上要するに、本論文は、高速に動く対象物に対する撮像・投影において、高速ビジョンを用いて高速光軸制御を実現することにより、モーションブラーの影響を著しく低減するものであり、既存技術とは一線を画する画像計測が実現されている。本論文で提案した再帰照明系による画像計測技術は、更に広い分野へ応用展開するための基本技術として、特に、高臨場感のある拡張現実感だけでなく、今まで観測が困難だった実飛翔体の衝撃波非定常状態という物理現象の可視化まで実現している。本論文の成果は、高速対象物に対する撮像・投影技術を飛躍的に向上させ、様々な応用展開を可能とするものであり、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。