

## 論文の内容の要旨

論文題目 高速移動環境下におけるアクティブビジョン技術とその応用

氏 名 早川 智彦

カメラ等のセンシングデバイスは、主に静的な環境で用いられてきており、動的な環境では使用が敬遠されてきた。一方、動的な環境でのセンシングが可能となることにより、従来困難であった高速移動しながら効率的に各種データを取得することが可能となるが、一般的に速度と精度はトレードオフの関係にあるため困難な課題であった。高速移動環境下ではセンシングの際にモーションブラー、サンプリングレート不足、自己位置情報の変化、振動といった複合的な問題点が生じることから、本論文の各章もしくは章をまたがって横断的に解決のアプローチを提案し、実際に本論文を通じて問題点の解決に寄与可能であることを示した。特に本論文では、高速移動環境下における二次元画像撮像技術の形成及び応用を主眼とし、自己位置推定、三次元スキャニング/光軸制御といった関連技術についての開拓も行った。

二次元画像撮像における従来のアクティブビジョン技術では、仮想的な広い視野角と対象を画角の中心に収めることで撮像系のダイナミクス向上を可能としてきたが、カメラ系が静止系でターゲットが動的であることが前提となっており、カメラ自身が動的に移動する状況は想定されていなかった。そこで、光軸を対象との相対速度に応じて高速で制御することで、時間軸の密度を積分し、センシング精度の大幅向上と制御ができることに着目し、基礎システムとしてモーションブラー補償装置の開発を行った。高速ビジョンとガルバノミラーからなる撮像系が対象との間に生じる相対速度を取得し、相対速度を相殺する回転動作をガルバノミラーが行うことにより仮想的に露光時間を延ばすことを可能とし、静止状態と遜色ない画質の画像を取得可能とする。高速移動環境下では従来のアクティブビジョンとは異なり、ターゲットが常に更新されることを想定しており、一意な特徴量を用いることができない。そこで、連続した撮像画像に対し、背景トラッキングによる探索範囲の大幅な削減とBayer配列画像に対して処理可能な高速ブロックマッチングを行うことで、高速に相対速度の取得を行う手法を提案した。高速走行中でも鮮明な画像を獲得できることで、モーションブラーの影響を受けにくくなる

だけでなく、画像の鮮明さにより画像探索精度が向上すると考えられ、この画像を用いて相対的に自己位置を推定することにも応用可能と考えられる。

しかしながら、ガルバノミラーの制御にはPID制御が用いられており、PID制御は生成軌道が急峻になると追従精度が低下することが知られており、動作特性限界による装置の駆動周期限界が存在した。そこで、通信工学で知られるプリエンファシス技術を用い、正弦波の軌道をゲイン0dBで追従できるプリエンファシス係数を予め求め、入力信号を補正することで、高精度の軌道追従精度を広範囲の周波数帯域で実現する手法を提案した。実験により、正弦波の周波数400Hz及び500Hzにおいて約3dBほど減衰が改善しただけでなく、333Hz周期でモーションブラーを補償した画像取得ができることを確認し、従来と比べ3.3倍のサンプリングレートを達成した。

次に、実験室で確認したプリエンファシス技術を実装したモーションブラー補償装置の応用として、一般車両に搭載し、高速で走行しながらモーションブラーを補償した画像取得を行うシステムの開発・検証を行った。インフラ維持・管理目的の点検では、インフラ機能自体を停止することが難しく、老朽化したインフラ、特に事故が起こったときに被害が甚大となるトンネルを維持・管理するためには高頻度の点検が必要なことから、インフラ上を車両で高速に移動しながら構造物等を撮影するといったことが求められていた。また、点検目的では高い精度の画像判定が要求されるため、本装置の実用化がインフラの安全に寄与すると考えられる。路面走行のために生じる振動対策を施し、複数回に渡る現地トンネルでの走行実験の結果、モーションブラーの補償無しでの撮像と比べ、画質は著しく向上し、時速120km相当で0.2mmの縞模様や0.1mmのひび割れが撮像できただけでなく、車両規制のないトンネルにおいて時速70kmで走行した際にも、モーションブラーを補償した画像取得を確認した。

ここで、インフラの点検において撮像された画像を活用する場面を考えると、画像に対し位置情報が付加されていることで、時系列で対象の変化の有無を調査するといったケースが考えられる。しかしながら、従来のアクティブビジョン技術と異なり、高速移動環境下では撮像時にカメラの自己位置が変化してしまうため、時系列の調査には撮像時の車両の自己位置推定が必要である。そこで、本論文では受信機や座標取得手法を変更することなくGNSS測定値の誤差範囲を縮小することで、絶対座標の位置精度を向上させる手法を提案した。提案手法では、1次元運動を想定して、データを後処理することにより補正した。運動を1次元に制約した場合、誤差範囲は直線と測定誤差を示す楕円体との交点間の距離にまで縮小された。生の測定値は、最小二乗線形回帰法を用いて生成された直線に投影された。したがって誤差範囲は、直線と測定誤差を示す楕円体との交点間の距離にまで縮小された。実験により、生データと比較して、局所的な誤差範囲は最大で15%減少することを実証した。

また、点検システムの実用化に際して二次元画像の取得だけでなく奥行き情報の取得も望まれる。一般的にレーザーによる三角測量は奥行き情報の取得で高精度とされてい

るが、ある一点の情報しか取得できないため、奥行き情報の取得を効率化するためスキャニング技術と併用することが重要である。しかしながら従来のスキャニング技術ではインフラにおける異常を検知することに対して十分と考えられる精度が得られないことから、本論文では光軸を高精度に制御する手法を提案し、実際に三次元スキャナを用いて距離の変化に対して高精度にセンシングできているか検証を行った。具体的に、高電圧をかけることで素材自体の厚さが変化する性質を有し、透明膜である誘電エラストマーを用い、膜の厚さが変化した分だけ光軸の位置が移動する設計を構成した。これにより、従来のスキャニング方式と比べて機械的な制御ではなく、また、ガルバノミラーのように角度に基づく光軸制御ではなく位置に基づいて光軸が決定されるため、本用途は長距離に有効であると考えられる。実験の結果、光軸制御・三次元スキャニング共にマイクロメートルのオーダーで制御できることがわかったため、今後インフラの点検等、様々な応用が期待される。

本研究により、高速移動環境下におけるアクティブビジョン技術の基盤を構築することが出来た。これは従来のアクティブビジョン技術を拡張する概念であり、高速移動体側から撮影するアクティブセンシングを行った点が新しく、これは従来のトラッキングと対になる概念であると共に、高速画像処理の一分野を切り開いたといえる。また、全体を通して「高速道路における点検技術の高度化に関する研究」における要求仕様及び機能要件を達成することができたため、今後本成果がインフラの点検及び安全に対し寄与すると考えられる。