

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 1277 号
------	----------------

氏 名 木下 雅之

論 文 題 目

高速二眼カメラを用いた可視光通信・車両前方距離推定統合システム

(Visible Light Communication and Ranging Integrated System
Using High-speed Stereo Cameras)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	山里 敬也
委員	名古屋大学	教授	片山 正昭
委員	名古屋大学	教授	藤井 俊彰
委員	名城大学	教授	中條 渉

論文審査の結果の要旨

木下雅之君提出の論文「高速二眼カメラを用いた可視光通信・車両前方距離推定統合システム」は、送信機に交通信号機や車両ライトなどの道路上に存在するLED光源、受信機に車載カメラ、特に撮影速度が1000 fpsを超える様な高速度カメラを用いた高度道路交通システム(Intelligent transport system: ITS)のための可視光通信(ITS可視光通信)について検討を行っている。従来のイメージセンサ(カメラ)を用いるITS可視光通信に関する研究単眼カメラを受信機に用いることが一般的であったが、本論文では、距離情報の取得が可能である高速二眼カメラを受信機に利用することで、一つのデバイスで車両前方認識と通信の両方の機能を兼ね備えるシステムを提案した。各章の概要は以下の通りである。

第一章では、本研究の背景と目的に加え、可視光通信の研究動向と本研究の位置付けについて述べた。本論文の主題は高速二眼カメラを用いた可視光通信・車両前方距離推定統合システムの提案である。この目的を遂行するため、本論文では次に掲げる3つの点について検討を行っている。

1. LED送信機の正確かつ高速な検出・追跡
2. ステレオ画像を活用した通信性能の向上
3. ステレオ画像とLED送信機の特徴量を利用した高精度な距離推定

第二章では、市場動向の側面と技術的な側面からイメージセンサをITS可視光通信に用いる利点について述べた。

第三章では、本論文で提案する高速二眼カメラを用いた可視光通信・車両前方距離推定統合システムのシステムモデルを示し、提案システムを構成する3つの要素、送信機、受信機、チャンネルモデルについて述べると共に、実験に使用する機器の説明をした。

第四章では、1.に関する検討として、車両走行が画像上の送信機位置に与える影響の統計的性質を解析し、その結果を利用した送信機追跡システムの効率化を図った。画像 n 投影関係を示すピンホールカメラモデルを導入し、車両の移動と振動の影響を考慮することで、画像上における送信機の振る舞いをモデル化した。また、車両振動測定を行い、得られた結果から画像上の送信機位置に影響を与える車両振動成分は路面凹凸を示すガウス確率過程でモデル化できることを示し、その妥当性を評価した。提案した車両振動の簡略化モデルと推定パラメータを用いた数値解析を行ったところ、撮影速度が1000 fps以上の高速度カメラを受信機に用いる場合、画像上における送信機の移動量が1 pixelを超える確率は極めて低い。この結果を用い、送信機の探索範囲を制限することで十分な追跡性能を保ちつつ、計算時間の削減を達成した。

第五章では、2.に関する検討を行った。高速二眼カメラのための受信手法の確立として、ステレオ画像を活用した受信手法について検討を行った。ステレオ画像を利用した受信手法として、画素選択受信及び最大比合成受信の2種類の手法を提案した。画素選択受信では、トレーニングシーケンスを用いて推定した各LEDの誤り率を基に左右の受信シンボルの内、通信状態の良い方を選択して復調する。最大比合成受信では、トレーニングシーケンスを用いて推定した各LEDのチャンネル利得によって重み付けした左右の受信信号を合成し、復調する。提案手法を静止環境及び走行環境の両方で実験により評価したところ、単眼高速度カメラによる従来の受信手法を上回る通信性能を示し、その有効性を確認した。画素選択受信では、左右のカメラの内、通信状態の良い方を選択して復調するため、送受信機間の位置関係によるシンボル誤り率(Symbol error rate: SER)のばらつきを低減することができるが、両カメラが同時に誤った場合には対処することができない。故に、理想的な選択ができた場合が通信性能の下限に相当し、さらなる向上は見込めない。一方、最大比合成受信は最も良い通信性能を示し、画素選択受信の下限さえも上回った。この結果から、最大比合成受信を高速二眼カメラの受信手法に採用する。

第六章では、3.に関する検討を行った。LED送信機の高輝度・高速点滅を利用した対応点探索と等角直線フィッティングによるサブピクセル精度視差推定を導入した距離推定手法を提案した。提案手法を実験により評価したところ、距離推定に広く用いられる評価関数にSADを用いたブロックマッチング法に比べ、LED送信機検出手法を対応点探索に利用することで0.5 pixelの視差推定精度改善を達成した。さらに、等角直線フィッティングによるサブピクセル精度視差推定を用いることで、視差推定誤差が0.2 pixel から0.02 pixel まで改善される。これにより、距離推定精度は、LEDの飽和の影響がない状態で、誤差10 cm 以下の推定を達成した。また、提案手法は、従来手法に対し、より短い計算時間で距離推定が可能であることを示した。

第七章では、本論文の結論を与えている。

以上のように、本論文は、高速二眼カメラにより得られるステレオ画像を利用した受信手法を提案し、従来の単眼高速度カメラとの通信性能比較を通して高速二眼カメラ受信機の有効性について述べている。また、二眼カメラに

論文審査の結果の要旨

よる距離推定に対し、可視光通信の特性を利用することで、推定誤差10cm以内の高精度な距離推定を可能とした。これらは、他に類を見ない試みであり、可視光通信の新たな枠組みを切り開くことが期待されることから、学術的意義は大きい。よって、本論文の提出者である木下雅之君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。