

令和元年6月14日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00365

研究課題名（和文）アオリ光学系を用いた車載用周囲監視システムのための距離推定

研究課題名（英文）Depth estimation with tilted optics for automotive

研究代表者

池岡 宏（IKEOKA, Hiroshi）

福山大学・工学部・准教授

研究者番号：20579966

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：アオリ光学系を用いた距離推定方式を、車載用途で利用しやすい方式として確立することを目的とし、距離推定範囲の広範囲化を進めた。まず、画像解像度の低下や光学系に起因する画像歪による鮮鋭度の推定誤差を抑制するため、地面合焦画像より距離を推定する手法について、コントラストの影響を低減した手法を開発した。続いて、広角レンズでは光学理論との乖離が大きいことに起因し、距離推定精度の悪化が生じる問題に、ニューラルネットワークを活用することで対応することを提案した。加えて、鮮鋭度算出にもニューラルネットワークを採用する方式を提案した。以上、主に広範囲化またそれに伴って必要となる高精度化を実現する成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の主な成果は、距離推定精度の向上およびそれに伴うより推定範囲の広範囲化である。事故予防および自動運転を実現するうえで、車載の全周囲にわたって各物体までの距離を監視することが不可欠である。しかし、全周にわたって距離を推定するには、カメラなどの多くのセンサ・デバイスが必要になるが、デバイス一台で広範囲をカバーした距離推定が可能になれば、車両に搭載するデバイス数を低減でき、コスト面およびデザイン面で非常に有益である。よって、これを安価なアオリ光学系で実現できれば、その研究意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the study for our depth estimation method with tilted optics is obtaining depth for the circumference of a vehicle. To reduce optical distortion which occurred the error of sharpness value from image distortion, we developed a method which reduce the influence of contrast difference with ground-in-focus imaging. Moreover, we proposed using a neural network to solve the problem about the difference between the optical theory and the real optics for wide view angle of a lens. Additionally, we proposed using a neural network to obtain sharpness values. These proposals have realized a depth estimation method which have wide detectable range with tilted optics.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：距離推定 アオリ光学系 車載

## 1. 研究開始当初の背景

ステレオ画像による距離推定方式では、カメラ間の光軸関係の維持が重要になる。特に車載用途の場合「振動」「直射日光」「気温変化」といった外的要因により光軸関係に歪みが生じやすい。よって、カメラ間を結ぶ台座の頑健化が避けられず、装置が大型化する欠点がある。さらに、外壁やフェンスなど同じ模様が連続する対象物には対応できないという問題もある。一方、画像ぼけを利用する単眼方式では、一般に焦点距離の違いによる画像の拡大縮小が生じないテレセントリック光学系を使い入射光を平行光のみに限定するため、対象物体サイズがレンズ開口径に制限される。また、焦点距離を変化させながら極短時間で大量の画像を取得するため、夜間等では画像処理に必要な光量が得にくい問題がある。また単眼方式には、パターンマッチングにより対象の画像上の位置や大きさから距離を推定する方式もあるが、予め学習しておいたパターン（例えば、車両後面）にしか対応できず、使用状況が限定される。つまり、工場の自動化（FA）のような、平坦な床、一定光量、限定された対象物といった安定した環境下では、既存の方式は非常に有用であっても、屋外利用が前提となる車載用途では非常に扱いにくい。そこで、1) 低コスト、2) 少ない撮像枚数、3) 奥行き方向に広範囲、4) 外乱に頑健の4要件を備えた車両周囲監視用途で扱い易い新たな距離推定方式を開発している。具体的には、合焦位置と被写界深度が奥行き方向にのびるように配置されるアオリ光学系を利用した方式の実用化を目指す。

## 2. 研究の目的

ステレオ画像による距離推定方式では、カメラ間の光軸関係の維持が重要になる。特に車載用途の場合「振動」「直射日光」「気温変化」といった外的要因により光軸関係に歪みが生じやすい(図1)。よって、カメラ間を結ぶ台座の頑健化が避けられず、装置が大型化する欠点がある。さらに、外壁やフェンスなど同じ模様が連続する対象物には対応できないという問題もある。一方、画像ぼけを利用する単眼方式では、一般に焦点距離の違いによる画像の拡大縮小が生じないテレセントリック光学系を使い入射光を平行光のみに限定するため、対象物体サイズがレンズ開口径に制限される。また、焦点距離を変化させながら極短時間で大量の画像を取得するため、夜間等では画像処理に必要な光量が得にくい問題がある。また単眼方式には、パターンマッチングにより対象の画像上の位置や大きさから距離を推定する方式もあるが、予め学習しておいたパターン（例えば、車両後面）にしか対応できず、使用状況が限定される。つまり、工場の自動化（FA）のような、平坦な床、一定光量、限定された対象物といった安定した環境下では、既存の方式は非常に有用であっても、屋外利用が前提となる車載用途では非常に扱いにくい。そこで、申請者らは、1) 低コスト、2) 少ない撮像枚数、3) 奥行き方向に広範囲、4) 外乱に頑健の4要件を備えた車両周囲監視用途で扱い易い新たな距離推定方式を開発している。具体的には、図2のように合焦位置と被写界深度が奥行き方向にのびるように配置されるアオリ光学系を利用した以下の4方式を提案してきた。

方式A：合焦面位置の異なる2枚の画像を用いる方式

方式B：被写界深度の広がり幅が異なる2枚の画像を用いる方式

方式C：方式AとBの混合方式

方式D：ガウスフィッティングによる鮮鋭度推定を用いる方式

方式AからCは、合焦面位置や被写界深度の配置方法が異なる2枚の画像を使い、距離と鮮鋭度・y座標の関係より、画素ごとに距離を算出する方式である。方式Aはレンズ傾斜角で合焦面の位置を、方式Bは絞り量で被写界深度の深さを、2枚の画像間でそれぞれ異なるものを使用し距離を推定する。方式Cは、合焦面位置および被写界深度をともに変化させることでy座標ごとに複雑な距離の推定範囲および解像度を設定できる方式である。方式Dは、唯一1枚の入力画像のみで各画素の距離を推定する方式である。これは、各画素において重畳して存在するだけ広がりガウス関数の線形フィッティングにより算出し、距離を推定する方式である。

## 3. 研究の方法

アオリ撮像を使った車載用周囲監視システムで用いる距離推定技術を確立するため、本研究計画では、提案方式について以下内容を実施する。

監視方向に応じた撮像系・処理系の最適設定の検討

屋外用途・広範囲用途における問題点および外乱に対する頑健度の調査

車両走行時に生じる外乱を考慮した有効性・実用性の検討

まず、申請者らのこれまでの研究テーマであった前方監視用途に加え、後方・側方監視についても撮像系・処理系の各設定値に関する最適値または設定可能範囲の検討を行う。その検討結果に基づき車載用途に必要なフレームレートができるよう、処理部のハードウェア化にも取り組む。これは、その後続く実験の準備となる。次に、実験の場を屋外に移し、本提案システ

ムの屋外利用時や広範囲利用時の際に発生する問題の洗い出しを行い、その対策について検討を行う。その後、システムを車載し、実際の交通環境下にて車両移動を伴う実験を行い、動きぼけ対策などについて検討を行う。最終的には、本提案方式の有効性・実用性を示す車両周囲監視のためのアプリケーションを開発する。

なお、撮像系・処理系に類似点を多く持つが、光学系や鮮鋭度推定アルゴリズムが異なる4方式の研究を同時並行で進めることでリスク分散を図る。よって万が一、～の工程で目標とする結果が得られないことが判明した場合でも、他方式に研究資源を注力することで研究の行き詰まりを防ぐ。

また、本研究において、申請者は同大学工学部電気工学科の浜本教授と連携しており、浜本研究室に所属する大学院生・大学生が各方式を分担し、申請者と協力して研究を行っている。なお、申請者は、平成27年度から福山大学工学部情報工学科に所属が変わるが、今後も申請者、浜本教授および学生間で、TV会議システムによるミーティングを週1回さらに東京理科大学内でのミーティングを年3回程度実施する。

#### 4. 研究成果

これまでにアオリ光学系を用いた距離推定方式について、車載用途で利用しやすいシステムとして確立することを目的とし、研究を進めてきた。特に、車両の全周囲にわたって距離推定を行うことで、事故予防や自動運転等に活用できるよう、本方式の改良や工夫を行ってきた。その中でもメインとなる研究対象は、距離推定範囲の広範囲化である。

ただし、広範囲化によって対象となる個々の物体の画像解像度の低下や光学系に起因する画像歪によって、どうしても鮮鋭度の推定誤差が大きくなる。したがって、広範囲化と高精度化に同時に対応する必要がある。そこで、まずは1枚の地面合焦画像より距離を推定する手法について、コントラストの影響を低減した手法を開発し、これは国際会議 Image Electronics and Visual Computing Workshop (IEVC) 2017 で発表した。この成果は、距離推定の頑健化・高精度化に大きく寄与するものである。続いて取り組んだのは、ニューラルネットワークの利用により推定誤差の低減を図ることである。一般に、車両全周囲にわたって距離を監視する際、撮影装置の配置台数を抑制するため、また各装置間の連携を図りやすくするために、広角レンズの仕様が要望される。しかし、広角レンズにおいては収差が発生しやすく、特にレンズ外周で発生した収差は光学理論（近軸理論）との乖離が大きく、ぼけモデルに従った距離推定アルゴリズムでは精度の悪化が生じている。よって、これを人工知能技術として注目を集めているニューラルネットワークを活用することで対応した。この成果は、国際会議 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2018 で発表し、Best Paper Award を受賞するなど非常に高い評価を得た。この方式による距離推定精度の頑健化・高精度化をさらに進めるために、ニューラルネットワークの構造の改良を図った。前年では、画像座標に依存する歪の影響を吸収するようなネットワーク構造とするため、y座標および鮮鋭度を入力値としたが、今回はさらに鮮鋭度算出にもニューラルネットワークを採用した。これにより、精度がさらに向上した。この成果は、国際会議 International Workshop on Advanced Image Technology and International Forum on Medical Imaging in Asia (IWAIT-IFMIA) 2019 で発表し、高い評価を得た。以上のように、主に広範囲化またそれに伴って必要となる高精度化に力を注ぎ、成果を得た。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, "Simple Depth Estimation Method Using Single Image with Tilted Lens for Automotive Applications", The Fifth IEEE International Workshop on Image Electronics and Visual Computing 2017 (IEVC2017), 2017.

Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, "Depth Estimation from Tilted Optics Blur by Using Neural Network", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2018), 2018.

Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, "Improvement of Depth Estimation with Tilted Optics by Multi Neural Networks", International Workshop on Advanced Image Technology and International Forum on Medical Imaging in Asia (IWAIT-IFMIA2019), 2019.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等：無し

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

無し

(2)研究協力者

研究協力者氏名：浜本 隆之

ローマ字氏名：(HAMAMOTO, takayuki)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。