

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：35409

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730160

研究課題名(和文)アオリ撮像を用いた単眼・実時間・広範囲距離推定システムの開発

研究課題名(英文)Development system for real time depth estimation with wide range by a single camera using tilted optics

研究代表者

池岡 宏 (IKEOKA, Hiroshi)

福山大学・工学部・講師

研究者番号：20579966

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：初年度は主に、アオリ光学系を用いた距離推定方式の基本的な技術構築に注力し、実験を重ね解決すべき問題の洗い出しや基本的な性能について調査した。翌年は、列挙された問題の解決を図ったが、ここでやや大きく時間を消費したものの、この過程で非常に整然とした理論構築が行われた。これにより、他の方式には存在しない画像上の行ごとに異なる距離推定範囲と距離推定解像度を割り当てることができる方式へと大きく進展した。また、本方式をFPGAへ実装することで、ハードウェア化による実用化に向けた検証も実施できた。これらの研究成果は、画像処理のトップカンファレンスであるICIPをはじめ、多数の国内外の会議でその成果を報告した。

研究成果の概要(英文)：First year, we researched basic technique of our depth estimation method with tilted optics. Next year, we attempted to solve the problems which are found in the previous year. In this process, we spent much times. However we constructed ordered theory of our method which have the unique feature that can allocate various estimation range and various estimation resolution at each row in an image. We also implemented our estimation method on a FPGA. This implementation process is important for practical applications. These outcome of our research are reported at many conference in the world and in Japan, like the ICIP that is the top international conference for image processing field.

研究分野：コンピュータビジョン、画像処理

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、高精度な推定結果を得るにはカメラ間の光軸関係を維持することが重要となる。特に車載用途の場合「振動」や「直射日光」「室内気温の変化」といった外的要因により光軸関係に歪みが生じやすく、また遠方車両までの距離推定が必須なことから光軸間長を長くする必要があり、カメラ間を結ぶ台座の頑健化が避けられない。よって、ステレオ方式には装置全体が大型化するという欠点がある。一方、画像ぼけを利用する単眼方式では、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ことから、画像処理に必要な光量が得にくく、車載用途で必要な奥行き方向に広い距離推定には向かない。従って、以上のような問題を解決した車載用途で扱い易い新たな距離推定方式が望まれる。

2. 研究の目的

申請者らは、図1のようにイメージセンサとレンズを非平行に配置したアオリ撮像により、固定焦点の単眼カメラで距離推定可能な以下の3方式を提案した。

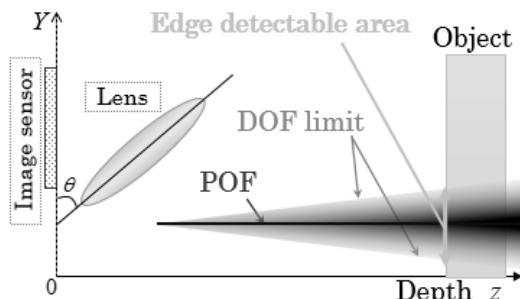


図1 アオリ光学系における合焦点位置と被写界深度の様子

「方式A：地面合焦画像を用いる方式」

「方式B：高さの異なる水平な合焦点を用いる方式」

「方式C：地面合焦画像と全域合焦画像を用いる方式」

方式Aは、前方被写界深度境界を地面に合わせた画像（地面に合焦、地面上の物体はぼける）から、エッジ検出フィルタで物体の有無を判定し、物体下端部の位置（Y座標）から距離を算出する方法である。方式Bは、水平な合焦点の被写界深度が距離に応じて縦に広がることを利用し、この広がり幅から距離を算出する方式である。ただし、1枚の画像から被写界深度境界を算出することは難しいため、高さの異なる数枚の水平合焦点画像より、あらかじめ取得しておいた距離と、ぼけ量、合焦点位置、合焦点間隔の関係より、各画素ごとに距離依存の鮮鋭度曲線（ぼけの広がり幅）を算出することで距離値を求める。方式Cは、地面にピントの合った合焦点画像と、同光学系で絞ることによって得られる全域合焦

画像を比較することで、各画素のぼけ量を算出し、注目画素の座標とぼけ量と距離の関係より画素単位で距離を算出する方法である。よって、上の3方式について実用化に向けた研究を進めることが本提案の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、まず距離推定性能とアオリ光学系および撮像系の各パラメータとの関係を明らかにする。さらに、その知見を基に実時間処理で実験が可能な距離推定システムを構築し、本システムを使って実スケール（推定範囲 100m 以上）・実環境に近い状態で各提案方式の実証・検証を進める。これらの研究結果に基づき、実用的なアプリケーションを開発し、その有効性を示す。

なお、光学系・撮像系に類似点を多くもつが、距離推定アルゴリズム（処理部）自体が大きく異なる3方式の研究を並行して進めることでリスク分散を図る。よって万が一、研究過程で目標のとする性能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が行き詰まることを防ぐ。

4. 研究成果

アオリ光学系を用いた距離推定方式の基本的な技術構築に注力し、実験を重ね解決すべき問題の洗い出しや基本的な性能について調査した。

方式Cについては、地面合焦画像中のぼけ量推定の高精度化を図るため、ぼけの変化を補間曲線により補うことで実現し、距離推定の精度を高めることができた。

方式Bについては、当初は2枚の合焦点を水平かつ平行に配置することで距離推定の実現を図ってきたが、本方式の高精度化を図るにあたって理論整理を行ったところ、大きな進展があった。

それは、異なる二枚の合焦点で撮影された画像中の対応点のぼけ比のみを求めることで、距離推定ができるという結論であった。このため、二枚の合焦点の配置方法および二つの絞り値によらず、異なる二枚の合焦点を使う方式に関しては、本理論で統一的にまとめることができた。つまり、方式Bおよび方式Cについては理論的に統合できることが分かった。さらには、これまでに提案してきた合焦点の配置方法および絞り設定以外にも有効な光学系の配置方法があることがわかった。図2では左の列に合焦点の配置および絞り値による被写界深度の模式図を示している。また、中央の列では各光学系設定に関して、各線分が画像上のy座標に対応し、線分の長さが距離推定範囲を、線分の示す値が距離推定解像度を表している。つまり線分が右端まで伸びている場合、奥行き方向にわたって広範囲な距離推定ができることを表し、またグラフが縦軸方向に大きな値をとっているほど高精度な距離推定が可能である

ことを示している．ちなみに一番上が当初提案していた方式 B の光学系の設定であり，上から 3 番目が方式 C に相当する光学系の設定である．

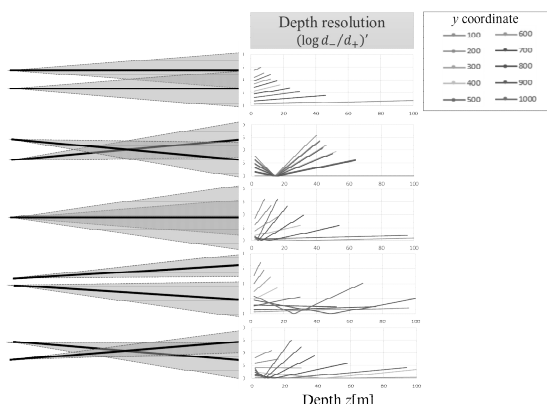


図 2 様々な合焦面配置方法における距離推定範囲と距離推定解像度

アプリケーションに応じて y 軸ごとに距離推定解像度と距離推定範囲を異なる設定にできるという，これまで提案されてきた距離推定方式には無い性質を持った方式であることが分かった．本性質を利用するにあたって，例えば車載システム等の利用を仮定すると，投影された画像中央付近は広範囲の距離推定が必要となるが，パースがついているため上部および下部に関しては，物体が近づいた場合以外は距離推定が不要であった（図 3 のように，物体が遠方にある場合，上部は空を，下部は地面を撮影してしまうため）．

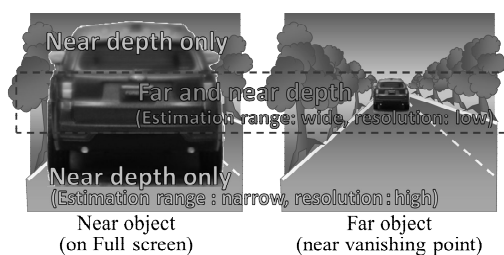


図 3 車載システムで必要となる距離推定システムの要件

結論として，もっとも有用度の高い光学系の設定は，二つの合焦面を交差配置とし，かつ二つの異なる絞り値を採用するということがあった（図 2 中の最下位に示した光学設定）．なお，この成果は画像処理のトップカンファレンスである ICIP で発表した．加えて，本発表では温度変化に対する頑健性についても述べた．

大きく進展した統合理論の枠組みに入らない方式 A については，応用面での進展を図った．特に方式 A は提案方式の中でもっとも手軽なシステム構成であり，これを生かすため高精度な距離推定値を得ることよりも物

体検出に重みを置いた方式として発展させた．具体的には，従来手法の領域分割処理とあわせて，地面位置と物体位置を分割することで車載システムにおいて利用しやすいように改良を行った．

方式 B および方式 C を統合した新方式については，ハードウェア化を図った．実装するハードウェアには図 4 に示すような FPGA ボードを採用し，距離推定結果得られるシステムを構築した．これにより，PC 上では 140ms/frame で動作していた本アルゴリズムは 8.6ms で動作することが確認でき，車載システムで必要とされるフレームレートで実行できることを確認した．

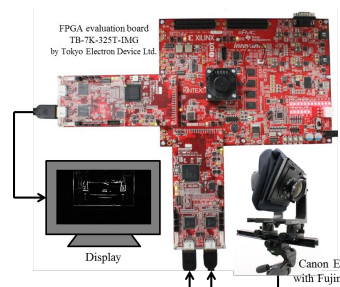


図 4 提案方式を実装し，計測を行ったハードウェア（FPGA ボード）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

道 浩之, 池岡 宏, 浜本 隆之, 単眼アオリ光学系を用いた絞り開閉画像による広範囲距離推定, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, J96-D, No. 9, 2013, pp.2013-2016

〔学会発表〕(計 10 件)

Takafumi Murata, Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, Fast Processing of Depth Estimation Using Tilted Lens Optics by Implementation on FPGA, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 2015 年 1 月 12 日, 台南 (台湾)

Maki Okuwaki, Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, Wide Range Depth Estimation from Two Blurred Images with Tilted Lens Optics, IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2014 年 12 月 4 日, クチン (マレーシア)

村田 貴史, 池岡 宏, 浜本 隆之, アオリ光学系を用いた距離推定の FPGA 実装による高速処理化, Image Media Processing Symposium (IMPS14) 2014 年 11 月 14 日,

ラフォーレ修善寺（静岡県伊豆市）
奥脇 舞希, 池岡 宏, 浜本 隆之, アオリ
光学系で得た2枚の画像間のぼけ比を用
いた距離推定方式, 第8回新画像システ
ム・情報フォトンクス研究討論会, 2014
年11月5日, 筑波大学東京キャンパス文
京校舎（東京文京区）

Hiroshi Ikeoka, Takafumi Murata, Maki
Okuwaki, Takayuki Hamamoto, DEPTH
ESTIMATION FOR AUTOMOTIVE WITH TILTED
OPTICS IMAGING, 2014年10月29日, パ
リ（フランス）

池岡 宏, 村田 貴史, 奥脇 舞希, 浜本
隆之, 2枚のアオリ画像間における鮮鋭
度比を用いた距離推定, 映像情報メデ
ィア学会技術報告, 2014年9月29日, 機
械振興会館（東京都港区）

奥脇 舞希, 池岡 宏, 浜本 隆之, ぼけモ
デルにジョンソン SU 分布を用いたアオ
リ光学系による単眼・広範囲距離推定,
映像情報メディア学会
IST/ME/IEICE-BioX 研究会, 2014年6月
17日, 金沢大学 角間キャンパス（石川
県金沢市）

Yuzo Taketomi, Hiroshi Ikeoka,
Takayuki Hamamoto, Depth
Estimation Based on Defocus Blur Using
a Single Image Taken by a Tilted Lens
Optics Camera, IEEE International
Symposium On Intelligent Signal
Processing and Communication
Systems (ISPCS), 2013年11月14日, 自
治会館（沖縄県那覇市）

武富 雄三, 池岡 宏, 浜本 隆之, アオリ
光学系で取得した単一画像の焦点ボケ量
に基づく距離推定, 新画像システム・情
報フォトンクス研究討論会, 2013年6月
10日, 東京工業大学 大岡山キャンパス
（東京都目黒区）

村田 貴史, 池岡 宏, 浜本 隆之, アオリ
光学系を用いた距離推定における推定範
囲の拡大, 映像情報メディア学会技術報
告, 2013年5月31日, 埼玉大学東京ス
テーションカレッジ（東京都千代田区）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池岡 宏 (IKEOKA, Hiroshi)

福山大学・工学部・講師

研究者番号: 20579966