

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11384

研究課題名（和文）色収差およびカラーフィルタ絞りを利用したアオリ光学系による距離推定技術の開発

研究課題名（英文）Development of depth estimation technique with tilted optics using chromatic aberration and color filter aperture

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） 2,800,000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において、RGBの各チャンネルで得意とする距離推定レンジが大きく異なることが分かった。そこで、合焦面位置や被写界深度の深さが異なる各チャンネルのデモザイキング画像を利用することで、各画素におけるチャンネル間鮮鋭度比から距離推定可能な方式を提案し、検討を行った。加えて、カラーフィルタにより構成した絞りを光学系に組み込むことで、各チャンネル間で被写界深度の分布に大きな差異を設定し、1枚のイメージセンサで距離推定を可能とする方式を検討した。例えば、通常絞りはF5.6、Gカラーフィルタ絞りはF11として、RB平均画像とG画像間の鮮鋭度比から距離を推定する方式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

焦点距離の異なる2枚以上画像から、鮮鋭度の差異より距離推定を行うDepth-from-Defocus(DFD)方式があるが、これにイメージセンサとレンズ主面を非平行に配置したアオリ光学系を導入することで、(1)低コスト、(2)実時間対応、(3)外乱に頑健、というDFD方式の特徴に加え(4)広範囲推定の4要件を備えたりアルタイム用途に適した距離推定システムを実現できる。本研究では、さらに光学系を工夫し、カラー（RGB）成分で異なる3枚アオリ画像を1枚のイメージセンサから取得し、距離を推定する方式を確立することで、装置のコンパクト化やさらなる低コスト化の実現を図る道筋をつけることに成功した。

研究成果の概要（英文）：In a depth estimation method using an tilted optics, it was found that the range of depth estimation in which each RGB channel excels differs greatly. Therefore, we proposed and investigated a method that can estimate the depth from the sharpness ratio between channels at each pixel by using demosaicing images of each channel with different focal plane positions and depth of field. In addition, we investigated a method that enables depth estimation with a single image sensor by incorporating an aperture composed of color filters into the optical system to set a large difference in the depth-of-field distribution between each channel. For example, we proposed a method to estimate the depth from the sharpness ratio between the RB average image and the G image, where the normal aperture is F5.6 and the G color filter aperture is F11.

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 カラーフィルタ 絞り

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 自動車事故を未然に防ぐ予防安全(アクティブセーフティ)や、その延長上にある自動運転の分野において、要となるのが距離推定の技術である。ただし、工場のような安定した環境下で利用されるFA用ロボットなどとは異なり、車載用途では過酷な環境下で利用可能な距離推定技術が必要になる。しかし、現行の車載用距離推定技術はどれも限られた環境下でのみ性能を発揮するため、利用者はその制約を意識した上で利用しているのが現状である。

(2) イメージセンサを使った距離推定方式の代表として、ステレオ画像を用いた方式があるが、この方式ではカメラ間の光軸関係の維持が重要になるため、カメラ間を結ぶ台座の頑健化が避けられず、装置全体が大型化する欠点がある。他にも、繰り返しパターンを持つ物体の距離推定を苦手とする問題やオクルージョン問題もある。一方、鮮鋭度(画像ぼけ)を使う単眼方式の代表である、DFE方式では暗部での距離推定を苦手とし、またDFD方式は広範囲距離推定には向かない。同じく単眼利用で、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得る方式もあるが、この方式は登録済みのパターンにしか対応できない。

2. 研究の目的

(1) 低コスト、実時間対応、外乱に頑健、広範囲推定の4要件を備えた車載用途で扱い易い、画像を用いた距離推定技術を開発する。その際、合焦位置と被写界深度が奥行き方向に伸びるように配置されるアオリ光学系を利用してその実現を目指す。

(2) 従来は、単開口から入射した光線を分光することで、2枚のイメージセンサを通して得られた2枚のアオリ画像より距離を推定していたが、本研究では1枚のイメージセンサでRGBのアオリ画像を取得し、距離推定を行うことを目的とする。具体的には以下の方式を検討する。

方式1: 色収差を用いる方式

方式2: カラーフィルタによる絞りをを用いる方式

3. 研究の方法

(1) 方式1では、「色収差」を利用し合焦位置(合焦点)が異なるRGBの複数枚のアオリ画像から距離を推定する。一般に安価で単純構造の光学系(レンズ群)を利用した場合、光波長の違いにより合焦位置がずれる色収差が問題となるが、本研究ではこれを逆に積極活用し距離算出に利用する。加えて色収差を考慮しないレンズ設計のため構造を単純化でき、コスト・重量・装置サイズが抑えられるメリットもある。

(2) 一方、方式2も方式1と同様にRGBの複数枚のアオリ画像を使うが、「カラーフィルタによる絞り」を導入することで、距離に応じた被写界深度の拡がり幅がRGBで異なるアオリ画像を利用する点異なる。なお、方式1, 2は、アオリ光学系を利用するものの、それぞれ異なる視点に基づいた工夫であり、その融合の可能性についても探る。

4. 研究成果

(1) 従来は、単開口から入射した光線を分光することで、2枚のイメージセンサを通して得られた2枚のアオリ画像より画素毎に鮮鋭度比を求めることで距離を推定する方法(2センサ方式)、および1枚のイメージセンサ(アオリ画像)から鮮鋭度を求め、その大小から距離を推定する方法(1センサ方式)の研究を同時に進めてきた。なお、どちらも鮮鋭度とy座標を入力とし画素毎に距離を算出する。特に2センサ方式については、y座標ごとに異なる距離の推定範囲および推定解像度を設定できる長所があるものの、分光のための光学機器等を含むやや大掛かりなサイズの装置となる。一方、1センサ方式ではコンパクトな筐体のデバイスで構成できるもの

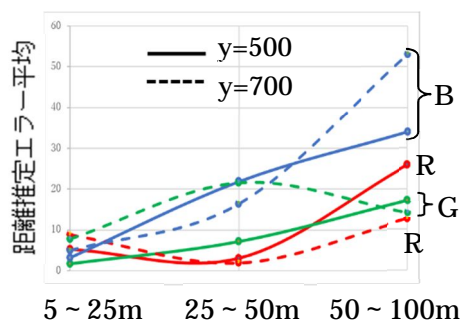


図1 y座標毎のカラー距離推定精度

の、距離推定性能は2センサ方式には大きく劣る。そこで、イメージセンサ1枚にも関わらず、2センサ方式と同レベルの鮮鋭度比が得られるような工夫の導入を目指した。そこで、これまでRGBの3チャンネルを1チャンネルのグレースケール画像に変換した上で距離推定を実施してきたが、これを各チャンネル毎に距離推定を実施するメリットが無いか確認することにした。つまり、RGBの各チャンネル毎に距離の推定精度がどの程度異なるか調べた(図1)。その結果、RGBのチャンネルごとに得意とするレンジが大きく異なることも分かった。

(2) アオリ光学系を用いる場合、一般的なイメージセンサとレンズ主面が平行な光学系に比較してレンズ周辺部を積極的に用いることから、レンズ収差の影響をどうしても受けやすい。そこで、この影響による距離推定精度の低下を抑制するためにディープニューラルネットワークの導入を試みている。なお、ニューラルネットワークの効果的な適用方法についても模索を行い一定の精度向上を実現した。ただし、まだ精度向上の余地があると考えており、今後もこの分野の研究を進める予定である。

(3) 本研究の最大のテーマである、1センサ方式にカラー画像の利用を組み合わせる方式について検討を行った。この提案は、波長分散に起因してチャンネル毎に合焦面位置が異なる(つまり、ぼけ方が異なる)ことを利用することで、画素毎にチャンネル間の鮮鋭度比を取得できることから、距離値を取得することを考えた。その際、カラーフィルタによる絞りを光学系に組み込むことで、被写界深度の広がり方をチャンネル間で大きく変化させる方式について検討してきた(図2)。今回は、Gフィルタを使ったカラーフィルタ絞りをを用いた実験・検討を進めた。なお、通常の絞りはF5.6となっており被写界深度は浅いことからy座標方向の鮮鋭度の変化量が大きく、一方、Gフィルタ絞りについてはF11とし被写界深度を比較的深くすることで、R



図2 カラーフィルタ絞り

およびB成分の画像とG成分の画像で、距離やy座標に応じて大きく鮮鋭度が異なるような光学系とした。実際、これにより2センサ方式の鮮鋭度比から距離を推定する方式を1センサで実現できるようになった。なお、以上の実験を進める過程で、撮像系や光学系の設定に想定より多くの自由度があることに気が付いた。つまり、カラーフィルタ絞りをを用いたアオリ光学系による距離推定方式の研究のさらなる前進が見込め余地が大きいことがわかった。特に、カラーフィルタ絞り色域(周波数バンド)、枚数、F値等の最適化をさらに進める予定である。

(4) 一方、本研究の応用先として当初の予定になかった大型の魚養殖水槽における魚の3次元分布を知るための方策として、本アオリ光学系を用いた距離推定方式を利用する案が持ち上がった。水槽内の魚の分布(3次元位置情報)をシステム後段にあるAIを用いた給餌システムにリアルタイムに提供することが求められており、本距離推定方式の応用先としては、非常に相性が良いと思われる。現在は、この応用の実現に向けて検討が始めたことは、予想外の研究活動の進展となっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto
2. 発表標題 Depth Estimation with Tilted Optics by Multi-Aperture Using Color Filter
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruki Kuroki, Hiroshi Ikeoka, Koichi Isawa
2. 発表標題 Development of simulator for efficient aquaculture of <i>Sillago japonica</i> using reinforcement learning
3. 学会等名 International Conference on Image Processing and Robotics (ICIPRob) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto
2. 発表標題 Accuracy improvement of depth estimation with tilted optics by optimizing neural network
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西峯沙耶, 池岡宏, 浜本隆之
2. 発表標題 アオリ光学系における色収差を用いた距離推定
3. 学会等名 2018映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------