

H-024

複数の水平合焦面を用いた距離推定における精度向上の検討

Accuracy Improvement on Depth Estimation by Horizontal Planes of Sharp Focus

妹尾 美芳† 池岡 宏‡ 浜本 隆之‡
Mika Senoo Hiroshi Ikeoka Takayuki Hamamoto

1. はじめに

我々は、アオリ光学系を用いて撮像した3枚の水平合焦面画像を用いた距離推定方式について検討している[1]。本方式は、従来の Depth-from-focus 方式[2]等では困難であった3枚程度の少ない撮像枚数により、広範囲な距離を画素毎にリアルタイムで推定できる。本稿では、さらなる利便性および汎用性を図るため、推定対象画素数の増加や推定精度の向上を目的に方式改善を行い、評価実験によりその有効性を確認した。

以下では、アオリ撮像を用いた距離推定方式[1]の概要、新たな方式の内容とその評価実験の結果について報告する。

2. 水平合焦面画像を用いた距離推定方式

2.1 3枚の水平合焦面の配置と d 値画像

図1のように、距離推定対象となる物体を高さ方向に等間隔に配置した三つの水平合焦面(上段, 中段, 下段)で撮像する。図2(a)は各水平合焦面より得られた画像である。これに対し、ラプラシアンベースの式(1)の評価値(d 値と呼ぶ)をもって、各画素の先鋭度を求める。

$$d_i = |l_{i(x+1,y)} + l_{i(x-1,y)} - 2l_{i(x,y)}| + |l_{i(x,y+1)} + l_{i(x,y-1)} - 2l_{i(x,y)}| \quad (i=0,1,2) \quad (1)$$

なお、式中の注目画素の座標を x 及び y 、その輝度値を l 、合焦面位置を i で表す。図2(b)は図2(a)の d 値出力画像である。各画素は3つの異なる d 値を持つが、それらの d 値は同一ガウス曲線上にあると仮定し、距離推定を行う[1]。本稿では、次節で簡単に各画素の距離値の決定方法を述べる。

2.2 三つの先鋭度曲線を用いた距離推定

図3の上図のように、注目画素における三つの異なる d 値は同一形状のガウス曲線上にあると仮定すれば、各画素の d 値に対応した三つの先鋭度曲線はピーク位置 \bar{y}_i のみが異なり、 d 値のピーク値 d_p および標準偏差 σ が同じであるため、式(2)で表現できる。

$$d_i = d_p \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \bar{y}_i}{\sigma}\right)^2\right) \quad (i=0,1,2) \quad (2)$$

ただし i は合焦面の番号で、それぞれ 0:下段, 1:中段, 2:上段を表す。合焦面間隔を $\Delta y (> 0)$ とすると、 d_1, d_2 をそれぞれ $-\Delta y, -2\Delta y$ だけ y 軸方向に移動すれば、図3の下図のように同一ガウス曲線を形成する点となる。ここで、 $y_0 = |y - \bar{y}_0|, y_1 = |y - \bar{y}_0 - \Delta y|, y_2 = |y - \bar{y}_0 - 2\Delta y|$ とすると、以下のような式で表わせる。

$$d_i = d_p \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y - y_0 - i \cdot \Delta y}{\sigma}\right)^2\right) \quad (i=0,1,2) \quad (3)$$

この $y_0, \Delta y, \sigma$ は距離値(Depth)に依存する値であり、この関係は光学系設計時に決まるものである。よって、同一画素位置の三つの d 値(d_i)より先鋭度曲線すなわちガウス曲線を推定できれば、距離推定ができる。よって、ある距離値(Depth)を与えれば、予め求まる関係(参照テーブル)から、 $y_0, \Delta y, \sigma$ が得られ、式(3)より理論値 d'_i が求まる。もしこの距離値で、式(4)の E が最小となる場合、先に与えた距離値(Depth)を正解とする。

$$E = (d_0 - d'_0)^2 + (d_1 - d'_1)^2 + (d_2 - d'_2)^2 \quad (4)$$

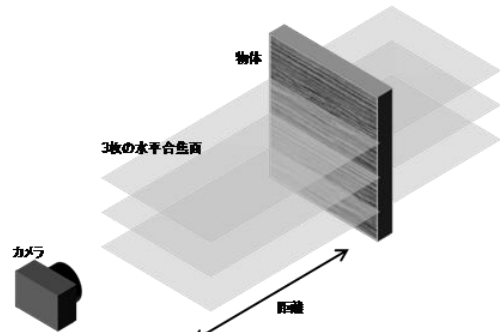
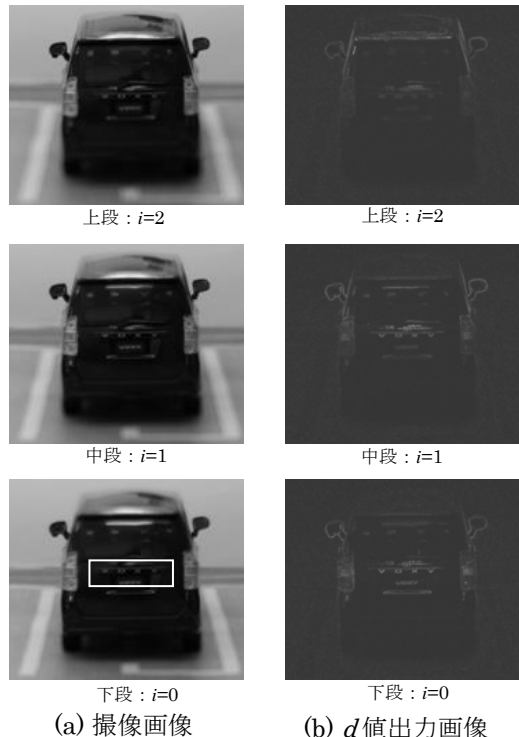


図1 3枚の水平合焦面の配置



(a) 撮像画像 (b) d 値出力画像

図2 実験に使用した画像

† 東京理科大学大学院 工学研究科 電気工学専攻

‡ 東京理科大学 工学部第一部 電気工学科

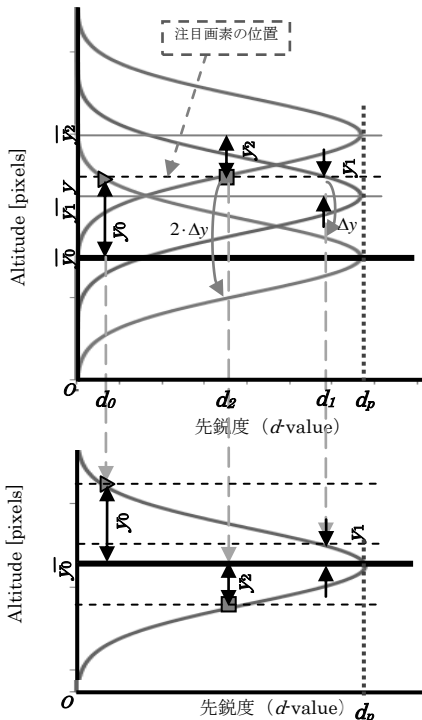


図3 3枚の合焦点におけるガウス曲線の推定

なお、一般には様々なコントラストが混ざった画像を扱うことになるが、画素毎にガウス曲線を推定しているため、推定距離値はコントラスト (d 値のピーク値(d_p に相当))の高低に依存しない。

3. 計測対象画素の拡大と精度向上に向けた提案方式

変数 Depth が決まれば $y_0, \Delta y, \sigma$ が求まるため、式(3)のガウス関数は、本来ならば2変数(d_p, Depth)で一意に決まる。しかし、これまでは事前に設定した閾値 T より大きい三つの d 値が得られる画素についてのみ、評価式(4)により距離値を求めていた。この従来の処理で求まる距離値を Depth3d とする。

一方、本方式では、さらに閾値 T 以上の d 値が二つしか得られない場合もガウス関数を求めることとする。本処理で求めた距離値 (Depth2d) は信頼度が低いため、以下の処理によりその真偽の判定を行うことにした。

- (i) 注目画素の8近傍で Depth3d があれば、それらの距離値の平均(Depth3d_ave)を算出する。
- (ii) 以下の条件式(5)に該当する場合、Depth2d を注目画素の距離値(Depth)として採用する。

$$|\text{Depth2d} - \text{Depth3d_ave}| < \text{閾値 } U \quad (5)$$

式(5)の閾値 U は、要求される推定精度を考慮し設定することになる。

4. 提案方式に基づく距離推定の実験

今回の実験では、図2のような車の模型をアオリ撮像で取得した。図2(a)中の白枠内(170×60画素)を推定対象範囲とした。図4は、従来方式と提案方式を比較した距離推定結果のヒストグラムであり、図5は正解距離値との誤差とその誤差以内で求めた画素数の分布の関係を示したも

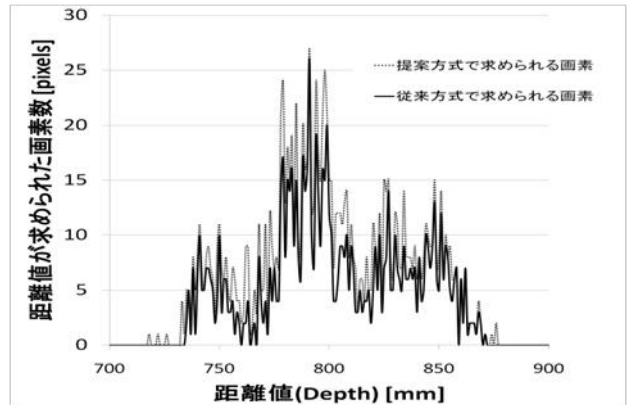


図4 推定距離値のヒストグラム

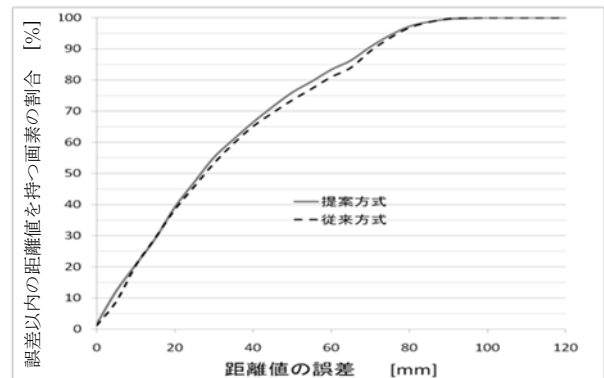


図5 距離値の誤差と推定された画素数の分布

表1 実験結果

	従来方式	提案方式
距離推定画素数 [pixels]	902	1244
平均絶対誤差 (MAE) [mm]	32.5	31.6
推定画素数増加率 [%]		37.9
MAE改善率 [%]		2.9

のである。なお、図4、図5での正解距離値は780mmである。表1にまとめた結果から画素が増加したにもかかわらず、MAEを改善できたことが確認できる。なお、閾値 T, U はそれぞれ10, 30mmとした。

5. まとめ

本稿では、アオリ撮像を用いた距離推定方式における推定対象画素数の増加および精度改善方法について提案し、その有効性を示した。

現在、Depth3dの精度を改善する方式を検討している。また、今後は推定対象画素の拡大を目的として三つの変数の一つが求まる画素に対して補間処理をする予定である。

参考文献

- [1]池岡宏, 浜本隆之: “水平合焦点の被写界深度の変化を利用した広範囲・実時間距離推定方式”, 映像情報メディア学会誌, Vol.64, No.3, 8 pages (2010)
- [2] E.Krotkov: “Focusing,” International Journal of Computer Vision, Vol.1, No.3, pp.223-237 (1987)