

画素限界条件下の Depth-from-defocus における 瞳位相変調を用いた奥行き分解能の向上

Improvement of axial resolution by pupil phase modulation in pixel-limited depth-from-defocus imaging

阪大院情¹, 株式会社デンソー² ○新原 隆広¹, 堀崎 遼一¹, 清野 光宏², 柳井 謙一², 谷田 純¹
Osaka Univ.¹, DENSO CORPORATION² ○Takahiro Niihara¹, Ryoichi Horisaki¹,
Mitsuhiro Kiyono², Kenichi Yanai², Jun Tanida¹,
E-mail: t-niihara@ist.osaka-u.ac.jp

Depth-from-defocus (DFD) [1] はパターン投影なしで対象物体の三次元情報を取得する手法の一つであり、点像分布関数 (PSF) のぼけ量から対象距離を測定する技術である。複数のカメラの視差から測距を行うステレオカメラと比較して、DFD は高い奥行き分解能のイメージングが可能である。しかし、既存の DFD における奥行き分解能は撮像素子の画素ピッチによって制限される (画素限界)。そのため、画素限界で決まる奥行き分解能より短い距離の変化では、PSF の変化が画素ピッチよりも小さく、測距が困難になる。

本研究では、瞳関数の位相変調を用いて、画素限界条件下の DFD の奥行き分解能を回折限界にまで向上させる手法を考案した。瞳関数の位相変調により、PSF の拡がりを大きくし、デフォーカスによる PSF の変化が複数の画素にわたるようにする。その結果、回折限界で決まる奥行き分解能での測距が可能となる。

提案手法の原理確認を Fig. 1 に示す実験光学系で行った。ここで、画素限界で決まる奥行き分解能は $1935\ \mu\text{m}$ であり、回折限界で決まる奥行き分解能は $440\ \mu\text{m}$ である。瞳位相変調には空間光変調器 (SLM) を用い、前側焦平面 (z_6) とその前後 5 つの距離に対応する PSF を位相変調なしとありの 2 種類の方法で取得した。各平面の間隔は回折限界で決まる奥行き分解能に一致させた。計測対象として、Fig. 2 の白点に配置した点光源群を用いた。位相変調なしとありで得られた撮影画像から各距離の PSF を用い、それぞれの平面における物体再構成 [2] を行った結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 (a) と (b) の比較により、位相変調を加えた場合、正しい距離で対象物体が推定されていることが分かる。以上の結果より、DFD において、瞳関数に位相変調を加えることで、画素限界を超えた回折限界での奥行き分解能を実現できることが示された。これは、従来法と比較して、約 4.4 倍の奥行き分解能の向上である。

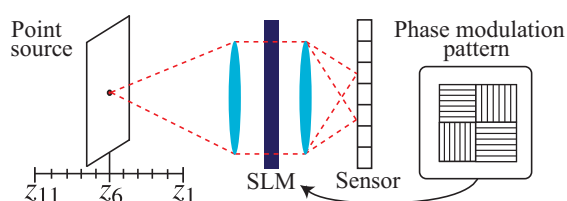


Fig. 1: Schematic diagram.

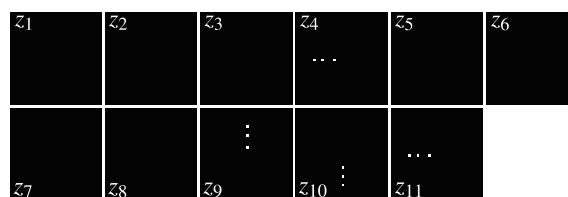
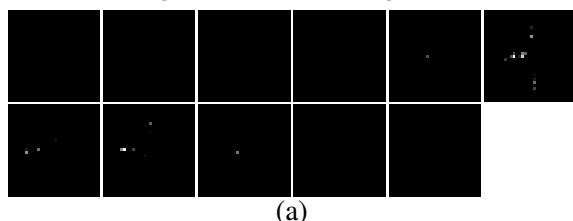
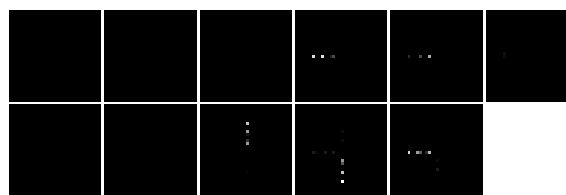


Fig. 2: Positions of point sources.



(a)



(b)

Fig. 3: Reconstruction results (a) without and (b) with pupil phase modulation.

[1] M. Subbarao and G. Surya., Int. J. Comput. Vision **13**, 271-294 (1994).

[2] J. M. Bioucas-Dias and M. A. T. Figueiredo., IEEE Trans. Image Proc. **16**, 2992-3004 (2007).