PSF 制御メタレンズを用いた圧縮スペクトルイメージング

Compressive Spectral Imaging Based on a Metalens with Engineered PSFs

NTT 先端集積デバイス研 [1]，NTT メディアインテリジェンス研 [2]
○宮田 将司 [1]，曽我部 陽光 [2]，小林 史英 [1]，黒住 隆行 [2]，根本 成 [1]，木全 英明 [2]，橋本 俊和 [1]
NTT Device Technology Labs [1], NTT Media Intelligence Labs[2],
°M. Miyata[1], Y. Sogabe[2], F. Kobayashi[1], T. Kurozumi[2], N. Nemoto[1], H. Kimata[2], T. Hashimoto[1]
E-mail: masashi.miyata.xu@hco.ntt.co.jp

近年，回折光学素子（DOE）と強力な画像再構成手法を併用した撮像系が提案されている[1, 2]．これらは，これまで複雑な光学系で実現されてきた機能を計算で補うことで，単純な光学系で多様／高精度な撮像を実現している．一方，DOE 由来の制約があり，例えば，明るさを決める開口数に制約がある他，多様な光情報に対する制御性に乏しい．そこで我々は，開口数の制約がなく，光の強度，位相，波長分散，偏光などに対する多様な制御性を有するメタサーフェスレンズ（メタレンズ）への上記概念の適用を検討しており，これまでに超小型偏光カメラ[3]を報告している．今回，圧縮センシングの概念を新たに導入し，メタレンズによるスペクトル撮像の実証に成功したので報告する．

一般的なスペクトル撮像では，回折素子と機械機構を含む撮像系で被写体を複数回撮像する必要があるため，装置小型化および動画撮影は本質的に困難である．一方，提案する撮像系はこれら制約を受けない．提案する系は，1 枚のメタレンズとカラーイメージセンサからなる．メタレンズは波長毎に異なる形状の点像分布関数（PSF）をもち，これを画像再構成の際の Spectral Cue として用いる．この系で撮像すると，被写体に対して波長毎に異なる光畳み込み演算がなされ，その結果はセンサにより RGB ３チャネルに圧縮された状態で取得される．取得画像に対して，自然画像のスパース性を利用した画像再構成（圧縮センシング）[4]を適用することで，空間－波長情報を高精度に復元する．したがって，単純・小型・明るい光学系による１回の撮像でスペクトル撮像が可能となる．

Fig. 1(a)は，上記に基づき作製したメタレンズ（サイズ：10 mm 角，焦点距離：50 mm）である．設計の詳細は当日報告する．Fig. 1(b)は，白色点光源に対するメタレンズの PSF である．波長（色）毎に明確に異なる PSF 形状を有している．このような PSF 形状の変化は，通常の色収差による変化（PSF サイズの大小）に比べて，再構成の精度の面で有利である[1]．Fig. 2(a)は，メタレンズを用いて撮像したカラーチャートの画像である．Figs. 2(b)(c)は，取得画像から再構成したスペクトル画像である．空間・波長の両方において，参照データと整合する画像が得られた．なお，今回の再構成手法は汎用的な凸最適化を用いており，多くの計算量を要する．これに対して，最近我々は機械学習を融合した再構成手法を提案しており，計算量の極少化と精度の大幅な向上を実証した[5]．この手法との融合により，動画フレームレートでのより高精度なスペクトル撮像・画像生成も期待できる．

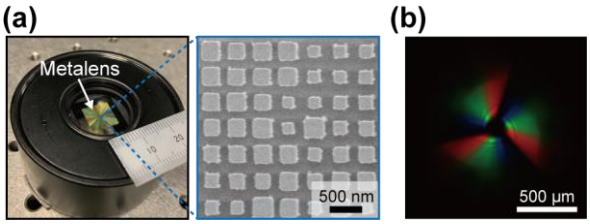

Fig. 1. (a) Photograph and SEM image of a PSF-engineered metalens. (b) Metalens PSF under white light illumination.

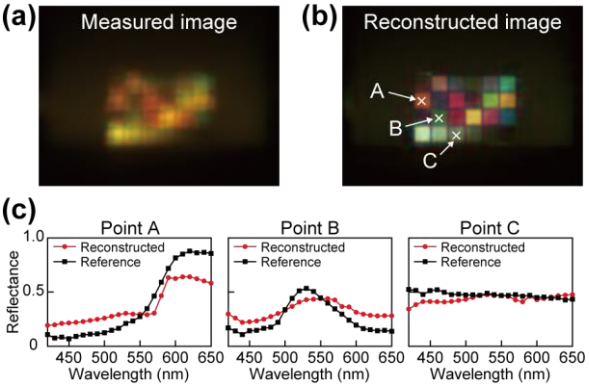

Fig. 2. (a) Measured color image. Imaging object: X-Rite ColorChecker Classic (203 mm × 289 mm). (b) Reconstructed spectral image (768 × 1024 pixels × 24 bands, displayed as an sRGB image). (c) Reconstructed spectra.

References

1. D. S. Jeon *et al.*, ACM Trans. Graph. **38**, 117 (2019).
2. V. Sitzmann *et al.*, ACM Trans. Graph. **37**, 114 (2018).
3. M. Miyata *et al.*, Opt. Express **28**, 9996–10014 (2020).
4. E. J. Candes and M. B. Wakin, IEEE Signal Process. Mag. **25**, 21–30 (2008).
5. Y. Sogabe *et al.*, IEEE ICIP, 2865–2869 (2020).

© 2021年 応用物理学会