

LCoS を用いた能動絞りカメラ

園田 聡葵[†] 長原 一[†] 渡邊 拓也^{††} Changyin Zhou^{†††} 石黒 浩^{†††}
Shree K. Nayar^{†††}

[†] 九州大学工学部, 九州大学大学院システム情報科学研究所 〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

^{††} 株式会社デンソー 〒 448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

^{†††} Department of Computer Science, Columbia University 2960 Broadway New York, NY 10027-6902

^{†††} 大阪大学大学院基礎工学研究科 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-3

E-mail: †sonoda@limu.ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 近年, 特殊な絞り形状を用いて, カメラ撮像系のぼけ関数 (PSF) を制御する符号化撮像 (Coded aperture imaging) が注目されている. 符号化撮像では, 安定したぼけ復元や画像の奥行き推定, ライトフィールド取得などの応用に対して, 従来, 様々な絞りパターンが提案されてきた. 一般的には, 符号化絞りパターンの最適形状はアプリケーションやシーンに大きく依存することが知られている. また, 奥行き復元やライトフィールド取得では, 複数パターンの絞りを用いて撮像した複数枚の画像を要求するため, 高速にパターンを変更できることが望まれてきた. そこで本研究では, 反射型液晶ディスプレイ素子 (LCoS) を用いた能動絞りカメラを提案する. 能動絞りカメラは, 絞り形状を高解像度かつ高フレームレートで制御することができるため, 効率的に可変絞り画像の取得が可能である. 本研究で提案した能動絞りカメラの有効性を, 構築した試作機を用いて, ぼけ復元, 奥行き推定, ライトフィールド取得を行うデモを通じて示す.

キーワード PSF 制御, 能動絞りカメラ, 符号化絞り, DFD, ライトフィールド, 全焦点画像復元, Computational Photography

1. はじめに

一般的なカメラは, レンズや絞り, 撮像センサなどで構成されている. 絞りは, 一般的には環境からの入射光量を調節したり, 被写界深度とよばれる奥行き差によるぼけを制御するために用いられる. また, 光学的には, 絞りの形状は画像のぼけ関数 (PSF) を直接制御できることが知られており, 従来の円形または羽絞りの代わりに特殊な絞りパターンを用いる符号化絞りの研究が様々な応用に対して盛んに行われている [1].

符号化絞りに関し, 従来より様々なアプリケーションにおいて様々な種類の符号化絞りパターンが提案されてきた. 『最適な絞り形状』とは, アプリケーションや撮影対象に大きく依存しており, すべてに適用できる共通の絞りは存在しない [1]. そのため, 理想的には, 絞りパターンは撮影するシーンの内容や撮影状況に応じて, 動的に変更できることが望まれる. また, 符号化絞りをを用いた撮像手法の中には, 異なる絞りパターンを用いて撮影した複数枚の画像を要求するアプリケーションもあり, 絞りパターンを任意の形状に高速に制御可能な, 能動絞りカメラの需要が高まっている. 従来の符号化絞りの実装では, 一般的に, レンズを分解して穴の空いた紙やフィルム印刷されたパターンを挿入していたため, そのパターンを動的に変化させることは不可能であった. 一部では, 従来でも透過型液晶ディスプレイ (LCD) を

用いて絞りを制御しようとする研究も存在した [2]. しかし, LCD は駆動回路の隠蔽による入射光の妨げや回折の影響, 透過率が低いといった問題があった. それに対して我々は, 能動絞りカメラは以下に挙げる 4 つの特徴を備えるべきであると考える.

(1) 高透過効率

センサ素子に受光するまでに光を損失すると, 撮像画像の SN 比が低下する. ぼけ復元, 奥行き推定, ライトフィールド取得などのアプリケーションで精度の高い結果を得るためには, 高い透過効率であることが重要である.

(2) 高フレームレート

符号化絞りをを用いた撮像手法の中には, 同一シーンを異なる絞りパターンを用いて撮影した複数枚の画像を要求する場合がある. 特に動的なシーンでは, モーションブラー抑制のために短時間で撮影しなければならない. さらに, 絞りパターンの変更をセンサ素子の撮影と同期させなければならない.

(3) 高コントラスト

これまでに提案された最適絞りパターンは, 高いコントラスト比で設計されており, その多くがバイナリパターンである. もしコントラスト比が低ければ, 最適な絞りパターンを実現することができない.

(4) レンズ可交換

撮影するシーンやアプリケーションに応じて, 異なる

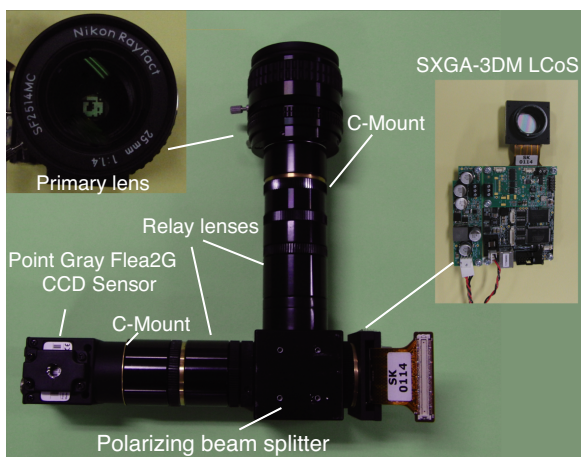


図 1 LCoS を用いた能動絞りカメラの試作機

表 1 試作機のスペック

Image resolution	1280×960 pixels
Aperture resolution	1280×1024 pixels
Frame rate	25 fps
Minimum F-number	2.84
FOV(diagonal)	13.76° (25 mm Nikon C-mount)
Actual aperture contrast	372:1
Light transmittance	16.49%

レンズやセンサ素子と交換できることが望ましい。

これらの要求を満たすために、本研究では図 1 に示すような反射型液晶ディスプレイ (LCoS) を用いた能動絞りカメラを提案する。LCoS は反射型の光学素子で、高い開口率 (92 %) と反射率 (60 %) を有する。透過型 LCD と比較した場合、LCoS は光の損失や回折の影響が少ないという利点がある。LCoS を使用することで、高解像度 (1280 × 1024pixels)、高フレームレート (最大 5kHz) かつ高コントラスト比で絞りパターンを制御することが可能となる。また、提案カメラでは、すべての C マウントレンズやレンズアダプタを用いることで Nikon の F マウントなどの一眼レフカメラ用レンズなどを装着することができる。提案する能動絞りカメラは、すべて市販の素子を用いているので、誰でも容易に構築することができ、さらに、アプリケーションに応じて再設計することも可能である。

2. 能動絞りカメラ

提案するシステムを実現した試作機の全容を図 1 に示す。試作機の構造を図 2 に示す。実現した試作機の総合スペックを表 1 にまとめて示す。評価の詳細は文献 [3] を参考にされたい。

今回用いる LCoS とは、反射型液晶ディスプレイの一つで、ピクセルごとに、反射する光線の偏光方向を制御することが可能である。典型的な透過型 LCD と比較して、LCoS は高コントラストかつ高解像度であり、さ

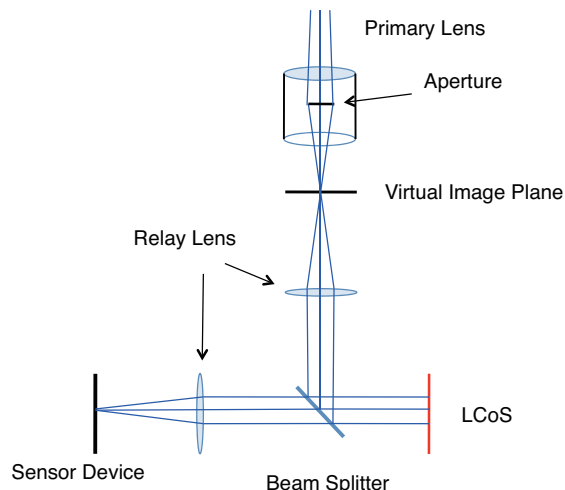


図 2 提案システムの構造

らに、光の損失や回折の影響が少ないという利点がある。LCD は駆動回路の隠蔽により回折が生じるが、一方 LCoS は全ての素子が反射面の後ろに設置されているため、より高い開口率を得ることができる。透過型 LCD と比較して回路が邪魔にならなくなり、光の損失や回折の影響が少ない。

我々の目的の 1 つは、どんなレンズでも分解することなく装着できるように、最前面レンズと能動絞りを分離することである。そこで、LCoS をリレーレンズ系に取り入れたシステムを提案する。図 1 に示すように、提案システムは LCoS とリレーレンズ、偏光ビームスプリッタ、CCD カメラ、そして市販レンズで構成され、全て市販の素子で構築することができる。

ま と め

本研究では、反射型液晶ディスプレイ LCoS を用いた能動絞りカメラを提案した。提案する能動絞りカメラでは、絞りを高解像度、高フレームレート、高コントラスト、高光効率で制御することが可能となる。また、本提案システムは、リレーレンズ系を用いることで、任意の市販レンズを利用可能である。さらに、ライトフィールド取得、ぼけ復元、奥行き推定の 3 つのアプリケーションに適応することが考えられる。

以上の本提案システムの有効性をデモを通して示す。

文 献

- [1] 長原 一, "チュートリアルシリーズ: 符号化撮像", 情報処理学会研究報告, Vol. CVIM-171, No. 14, pp. 1-9, Mar. 2010.
- [2] C. K. Liang, T. Lin, B. Wong, C. Liu, H. H. Chen: "Programmable Aperture Photography: Multiplexed Light Field Acquisition," ACM Trans. Graphics 27, 2008.
- [3] 渡邊拓也, 長原一, C. Zhou, 石黒浩, S. K. Nayar: 能動絞りカメラ, 情報処理学会技術報告, Vol. CVIM174, No. 8, 2010.