

擬似ピクセルコーディング露光 CMOS イメージセンサ によるハイスピード撮像

園田 聡葵¹ 長原 一¹ 遠藤 健太² 杉山 行信² 谷口 倫一郎¹

KYUSHU UNIVERSITY

¹九州大学 ²浜松ホトニクス

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

概要

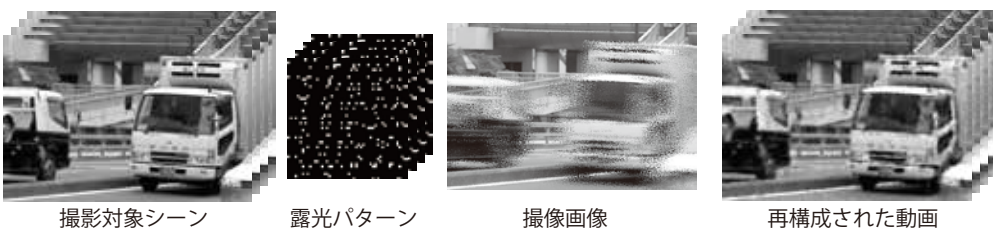
空間解像度と時間解像度（フレームレート）の間のトレードオフはイメージセンサの普遍的な問題である。これに対し、ランダムな時空間のサンプリングと疎復元を用いた手法が近年盛んに研究されている。これらの手法は高時空間解像度なシーン撮像を実現しているものの、そのサンプリングの方法は実現性が高いものではない。ランダムな露光を実現できるイメージセンサは商用に現状存在しない。従来の研究ではシミュレーションのみか、もしくは光学変調素子と通常のイメージセンサを組み合わせ、擬似的に任意のピクセルにアクセスすることでランダム露光を実現し、手法の有用性を確認していた。本研究ではより実用性の高いランダムな時空間のサンプリングを実現することを目的とした。我々はピクセルごとに異なる露光タイミングを設定できる CMOS イメージセンサデザインと、これを用いた擬似ランダム露光を実現する手法を提案した。試作機により得られた符号化画像は高時空間解像度の動画として再構成される。

コントリビューション：

- より実用的なサンプリングによる高空間・時間解像度動画の再構成
- 擬似ランダム露光を実現する CMOS センサデザインと操作方法
- 実機による実証実験

ランダム露光を用いた圧縮センシング撮像 [3]

- ・イメージセンサの各ピクセルの露光タイミングをランダムに設定
- ・動き情報の符号化された撮像画像から高空間・時間解像度の動画を復元



撮影対象シーン

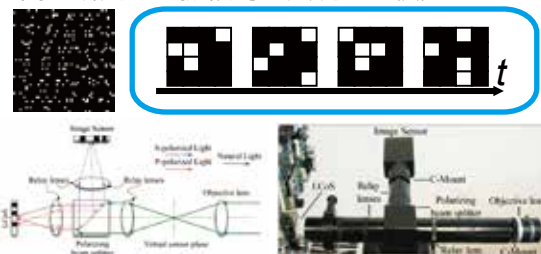
露光パターン

撮像画像

再構成された動画

ランダム露光の実現

- ・Pixel-wise な制御可能な商用センサ存在せず
- ・関連研究では擬似的に実現して検証

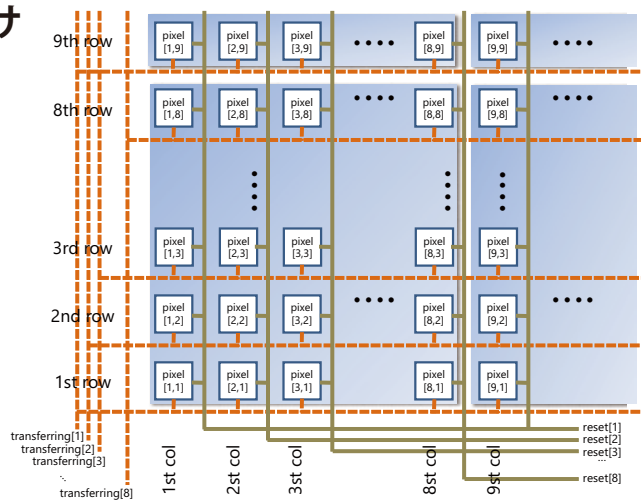


文献 [3] より

擬似ピクセルコーディング露光 CMOS イメージセンサ

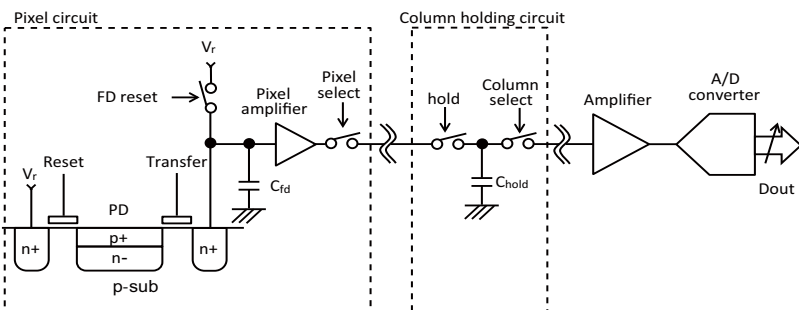
- ・Reset 信号線 8 本 + Transfer 信号線 8 本の計 16 の制御信号線をもつ
- ・1 ブロック (8x8 pixels) 毎の露光コントロールにより、隣り合うピクセルに異なる露光タイミングを設定できる

Pixel size	7.4x7.4 μm
Number of pixels	672x512 pixels
Number of effective pixels	656x496 pixels
Frame rate	7, 15, 30, 71 fps
Fill factor	About 33%
Elements in a pixel	5 transistor, 1 capacitor



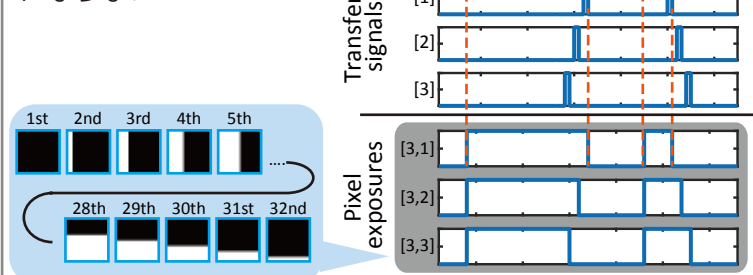
1 ピクセル内の仕組み

- ・フォトダイオードにより光から変換された電荷は PD 容量に貯まり続ける
- ・Reset 信号：PD 容量に貯まった電荷をリセットする
- ・Transfer 信号：PD 容量の電荷を C_{fd} に転送する
- ・リードアウトは C_{fd} の電荷をピクセルの信号として読み出す



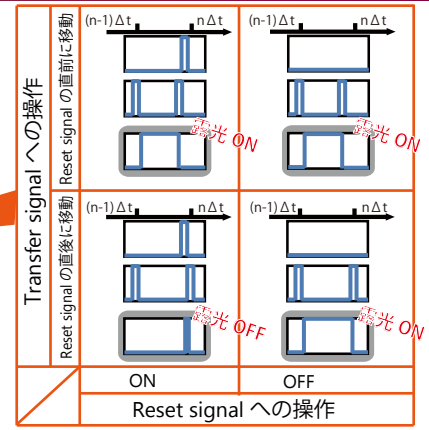
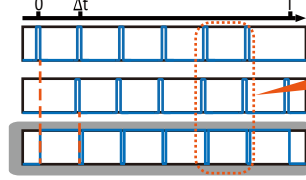
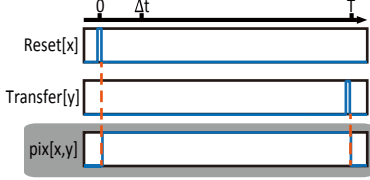
露光制御の例

- ・各ピクセルは行 / 列で reset/transfer 信号を共有しているため、空間的に応答が共起する
- ・露光パターンがランダムにならない

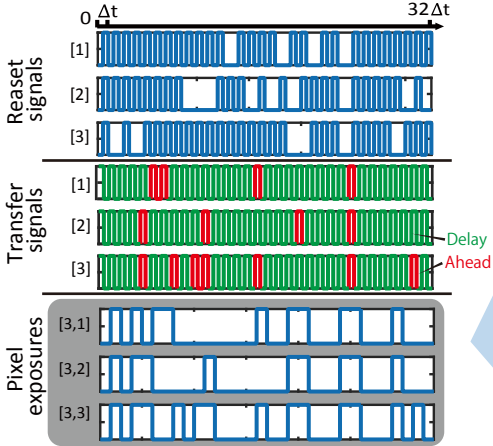


擬似ランダム露光を実現する操作方法

- 方針1：露光を小片に分割して扱う
- 方針2：各露光小片を独立に on/off する

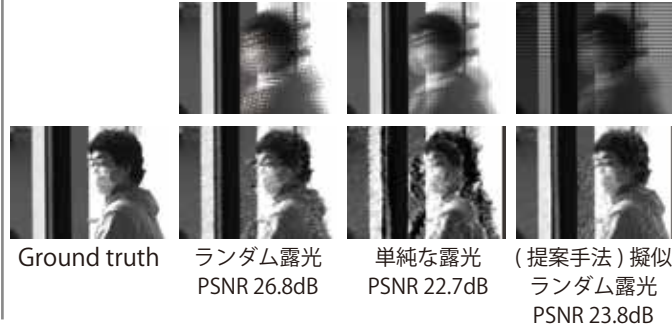


擬似ランダム露光の操作例



- 時間的な応答の共起性を除外
- 空間的な応答の共起性を緩和
- 露光のランダム性を実現

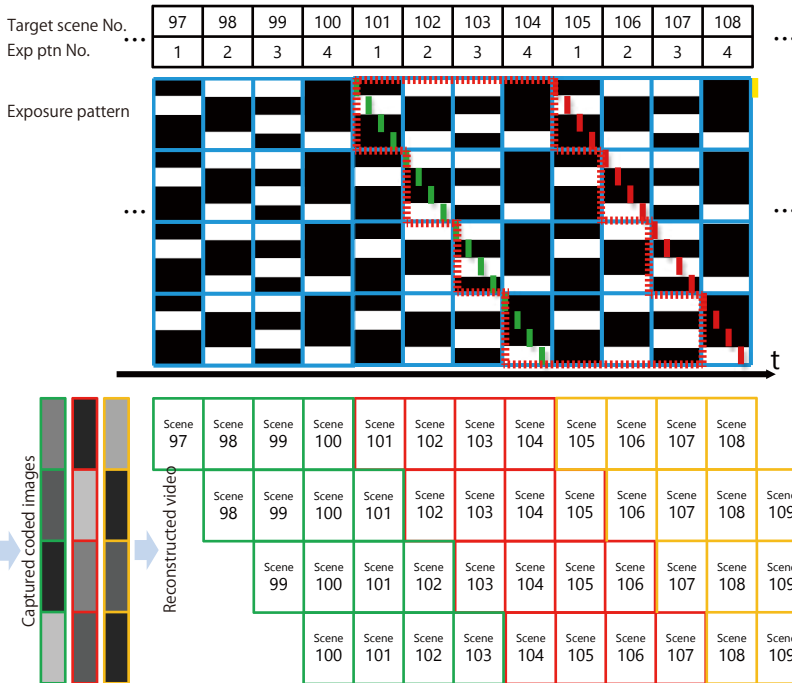
シミュレーション実験による露光パターンの比較



ローリングシャッタ補正

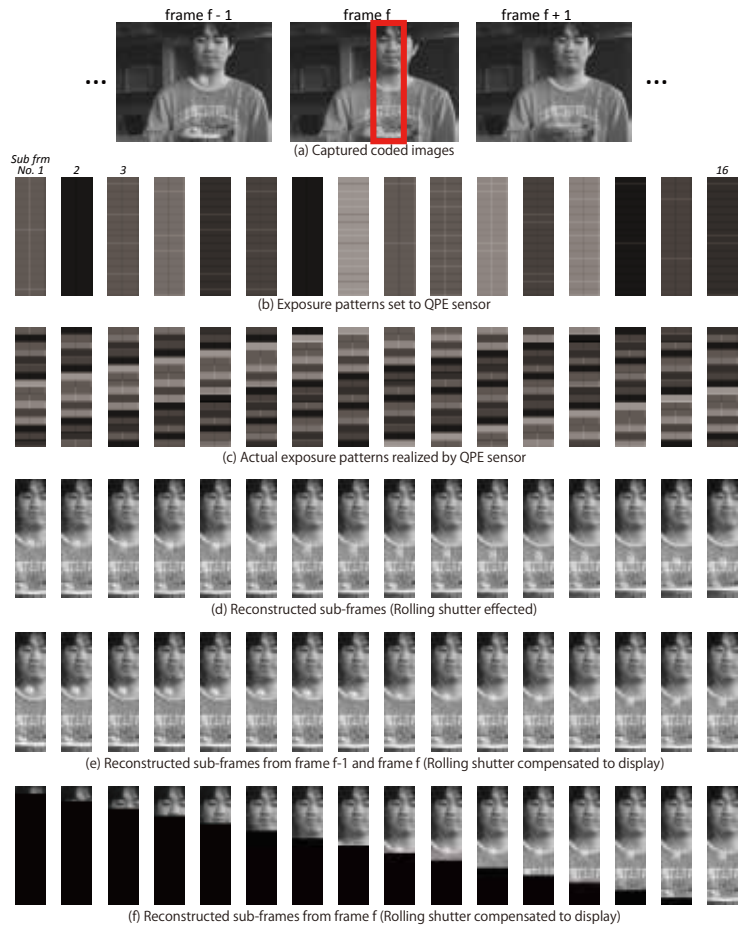
- 本試作センサは通常 CMOS センサと同じく行毎の読み出し
- 露光制御の信号がグローバルであることを利用してローリングシャッタ補正ができる

* 例として、1列 16行 (1ブロック 4pixel) 4 サブフレームの露光パターンを考える



- 対象フレームの前後のフレームからの復元結果を合わせて、タイムスタンプを1ブロックごとに増減させる

試作機を用いたハイスピード撮像の実証



参考文献

[1] T. Sonoda, H. Nagahara, K. Endo, Y. Sugiyama, and R. Taniguchi, "High-Speed Imaging using CMOS Image Sensor with Quasi Pixel-Wise Exposure", ICCP, 2016.05 **Runner-Up Best Paper Award**

[2] Hamamatsu Photonics K.K. Imaging device. Japan patent, JP2015-216594A, 2015-12-03.

[3] Y. Hitomi, J. Gu, M. Gupta, T. Mitsunaga, and S. Nayar, "Video from a Single Coded Exposure Photograph using a Learned Over-Complete Dictionary", ICCV, pages 287-294, 2011.

[4] M. Iliadis, L. Spinoulas, and A. K. Katsaggelos, "DeepBinaryMask: Learning a Binary Mask for Video Compressive Sensing", arXiv:1603.04930, 2016

本研究は特別研究員奨励費 26・5055 の助成を受けたものである