

近赤外情報を利用した低照度環境におけるカラー映像の画質改善 Image Quality Enhancement of Color Video Using Near-Infrared Information

三上 拓也†
Takuya Mikami

浜本 隆之†
Takayuki Hamamoto

1 はじめに

低照度環境における撮像では、光量が少ないため取得画像の SNR が低くなる。出力信号を大きくするためにイメージセンサのゲインを上げると、ノイズも増幅されるため画質は改善されない。長い露光時間で撮像を行い、十分な光量を確保することで SNR は改善するが、被写体が移動している場合には動きぼけが生じる。以上のことから、低照度環境では鮮明な画像の取得が困難である。

可視光の照明を利用することなく低照度カラー画像の画質を改善する手法として、不可視光の照明を利用する方法が検討されている[1,2]。文献[1,2]では、同時に撮像した低照度カラー画像と不可視光のフラッシュ画像を一枚ずつ用いることで、低照度カラー画像の画質を改善する。しかし、低照度カラー画像に一定の画質が必要であるため、極端に低照度な環境においては適用することができない。これに対し、提案手法では長い露光時間（低フレームレート）で撮像したことで動きぼけの生じたカラー映像と、短い露光時間（高フレームレート）で撮像した動きぼけの少ない近赤外（NIR）映像を用いる。これらを組み合わせることで、ノイズと動きぼけを除去した、より高品質なカラー映像を再構成する手法を提案する。

2 提案手法

提案手法では、まずフレームレートの異なるカラー映像と NIR 映像をそれぞれ取得する。カラー映像は低いフレームレート、長い露光時間で撮像し、ノイズは多いが最低限の色情報を取得する。しかし、被写体が移動する場合に動きぼけが生じる。NIR 映像は、NIR 光を照射することで、カラー映像より高いフレームレート、短い露光時間で撮像する。NIR 映像は色情報を持たないが、ノイズと動きぼけが少なく、被写体の輪郭情報を多く含んでいる。なお、カラー映像の露光時間中に NIR 光を照射しているが、カラーカメラには NIR 光をカットするフィルタがついており、NIR 光の影響を受けないものとする。

取得した二つの映像を組み合わせることで、ノイズと動きぼけを除去し、NIR 映像と同一のフレームレートであるカラー映像を再構成する。カラー映像の再構成は、ノイズと動きぼけ除去がなされた映像が満たす条件を評価関数とし、この評価関数を最小化する映像を求めることにより行う。再構成に用いる評価関数 E を、 R を再構成カラー映像、 A_c を観測カラー映像、 A_n を観測 NIR 映像として、



(a) カラー原画像 (b) NIR 原画像
図1 原画像

$$E(R) = \lambda_1 \|BR - A_c\|^2 + \|\nabla R - \nabla A_n\|^\alpha + \|\nabla_t R - \nabla_t A_n\|^\alpha + \lambda_2 \|\nabla R\|^\alpha \quad (1)$$

と定義する。ここで、 B はフレーム加算、 $\nabla = (\nabla_x, \nabla_y)$ は映像の水平、垂直方向の一次微分、 ∇_t は時間方向の一次微分を表す。 λ_1 、 λ_2 は重み定数である。本稿では $\alpha = 0.8$ とし、式(1)の最小化に文献[3,4]のアルゴリズムを用いた。以下、式(1)の各項について説明する。

(1) 第一項

再構成カラー映像をフレーム加算（長時間露光を表す）により劣化させた映像と、観測したカラー映像との二乗誤差を表す。入出力映像の間に整合性を持たせることで、再構成カラー映像は観測したカラー映像がもつ色情報（低周波情報）を継承する。

(2) 第二項、第三項

再構成カラー映像の時空間の変化を、観測した NIR 映像のものに近づける作用を表す。この項により、再構成カラー映像は観測した NIR 映像がもつ輪郭情報（高周波情報）を継承する。なお、カラー映像と NIR 映像の高周波情報に相関があることを前提としている。

(3) 第四項

先験情報である画像の滑らかさを示す正則化を表す。

3 合成画像の作成

図1に示すカラー原画像と NIR 原画像（720×480画素）から評価実験を行うための合成画像（600×400画素）を作成する。以下、合成画像作成のフローを説明する。

まず、カラー原画像をそれぞれ異なる位置で切り取り、 N 枚の画像を作成する。次に、作成した N 枚のカラー画像の画素値を $1/N$ 倍し、平均 $m=0$ 、標準偏差 σ_1 のガウスノイズをそれぞれ加える。これら N 枚の画像に対して、1) 画素値を N 倍したものを低照度下において通常露光で撮像したカラー画像（通常露光画像）とし、2) フレーム加算した画像を長時間露光で撮像

†東京理科大学, Tokyo University of Science

したカラー画像(長時間露光画像)とする. このとき, 通常露光画像は標準偏差 $\sigma_1 N$ のガウスノイズを含む N 枚の画像となり, 長時間露光画像は標準偏差 $\sigma_1 \sqrt{N}$ のガウスノイズを含む1枚の画像となる. 近赤外原画像も同様の位置で切り取り, 平均 $m = 0$, 標準偏差 σ_2 のガウスノイズをそれぞれ加える. なお, 本稿では $N = 11$, $\sigma_1 = 20/\sqrt{11}$, $50/\sqrt{11}$, $\sigma_2 = 5$ とし, 二種類の合成画像を作成した.

4 評価実験

提案した再構成処理の性能を評価するために, シミュレーションによる評価実験を行う. 評価実験は σ_1 の異なる二種類の合成画像を用いて行った. なお, 提案手法では長時間露光カラー画像を入力画像とし, 比較手法である文献[2]の手法では通常露光カラー画像を入力画像とした.

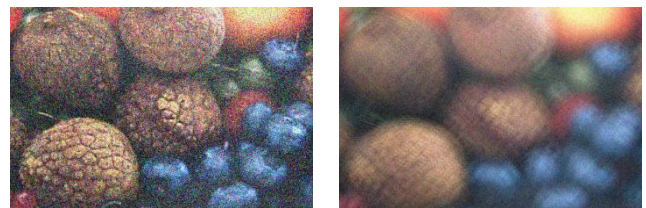
図2に $\sigma_1 = 20/\sqrt{11}$ の合成画像を用いた結果画像, 図3に $\sigma_1 = 50/\sqrt{11}$ の合成画像を用いた結果画像を示す. 一般のカメラで撮像することが可能である通常露光画像(図2(a), 図3(a))と長時間露光画像(図2(b), 図3(b))ではそれぞれノイズや動きぼけの影響により鮮明な画像が取得できていない. これらと比較すると, 提案手法による結果画像(図2(d), 図3(d))はノイズと動きぼけが低減され, より高品質なカラー画像を再構成できている.

次に, 文献[2]の手法(図2(c), 図3(c))と比較する. ノイズ量が少ない場合には目立った差が表れないが, ノイズ量が多くなると明確な差が表れる. 特に, 色情報の復元に大きな差があることが確認できる. これは従来手法では, ノイズ量が多くなると色情報を持たないNIR画像の情報を過剰に使う必要があるためである. 提案手法では長い露光時間で撮像することにより, 動きぼけを許容するかわりにノイズを抑えることができる. そのため, 近赤外画像の情報を過剰に使う必要がない. 以上のことから, 提案手法は従来手法よりも低照度カラー画像の画質劣化に頑健であり, より低照度な環境においても適用できると考える.

5 まとめ

本稿では, 長い露光時間で撮像した低照度カラー映像と, NIR光を照射することで, カラー映像より短い露光時間で撮像したNIR映像を組み合わせた再構成処理を提案した. 本手法で再構成されたカラー映像はNIR映像と同一のフレームレートとなる. そのため, カラー映像を長時間露光で撮像しても時間解像度の劣化がない.

提案手法の合成画像による評価実験により, 通常露光画像や長時間露光画像と比較してノイズと動きぼけが低減されることを確認した. また, 従来手法と比較して低照度カラー画像の画質劣化に頑健であることを確認した. 今後は, 実画像を用いた評価を行う予定である.



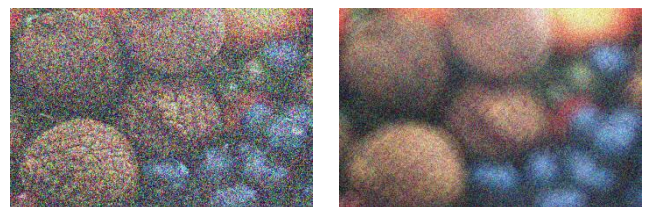
(a) 通常露光画像

(b) 長時間露光画像



(c) Krishnan et al.[2]

(d) 提案手法

図2 結果画像 ($\sigma_1 = 20/\sqrt{11}$)

(a) 通常露光画像

(b) 長時間露光画像



(c) Krishnan et al.[2]

(d) 提案手法

図3 結果画像 ($\sigma_1 = 50/\sqrt{11}$)

参考文献

- [1] E.P. Bennett, J.L. Mason, and L. McMillan, "Multispectral bilateral video fusion," IEEE Trans. on Image Process., vol.16, no.5, pp.1185-1194, 2007.
- [2] D. Krishnan, R. Fergus, "Dark flash photography," ACM Trans. Graph., vol. 28, no. 3, pp. 1-11, 2009.
- [3] Y. Wang, J. Yang, W. Yin, and Y. Zhang, "A new alternating minimization algorithm for total variation image reconstruction," SIAM J. Imag. Sci., vol. 1, pp. 248-272, 2008.
- [4] D. Krishnan, R. Fergus, "Fast image deconvolution using hyper-laplacian priors," In NIPS, pp. 1033-1041, 2009.