

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00250

研究課題名(和文) 低照度・高品質撮像のための画像疎表現理論に基づく新カラー動画復元法の開発

研究課題名(英文) Development of color moving image restoration method based on sparse coding theory for high-quality imaging under low illumination.

研究代表者

齋藤 隆弘 (Saitou, Takahiro)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：10150749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：夜間の監視カメラ映像のように極端に暗い状況下で観測される信号値は、復元の過程に統計的信頼性を高める何らかの手法の導入が必要である。本研究では、時空間画素ビンニングと3次元冗長サブサンプリングとから構成される仮想的多重撮像処理、動画雑音除去処理、復元動画を生成するための超解像ぼけ復元処理の3つの処理より構成される復元法の検討を行った。
また、研究を遂行する過程で、動画雑音除去法としては、3次元DCTよりも3次元DFTによって動画信号のより疎な表現が可能であることを発見した。

研究成果の概要(英文)：Like a surveillance camera image at nighttime, the signal value observed under an extremely dark situation, it is necessary to introduce some techniques for improving the statistical reliability to the process of the restoration. We examined the restoration method composed of three processing. That is, virtual multiplex imaging which is composed by pixel binning and redundant subsampling, moving image denoising using 3-dimensional DCT and super-resolution deblurring.
While accomplishing the research, we found that 3-dimensional ST-DFT can represent moving image more sparsely than 3-dimensional DCT.

研究分野：画像工学

キーワード：疎表現 画素ビンニング 仮想多重撮像 3次元DCT ポアソン-ガウス雑音 低照度 3次元ST-DFT

1. 研究開始当初の背景

CMOS や CCD 等の固体撮像素子により撮像されたデータには雑音が含まれる。近年、固体撮像素子の多画素化や高フレームレート化により各画素で観測可能な光量が減少し、撮像条件によっては撮像データ中に含まれる雑音成分を無視できない状況になりつつある。一方、撮像時にある程度の雑音の混入を許容し、雑音を含む撮像データに対して高度な画像復元処理を適用することで、入射光量要件が緩和され、更なる高機能化が実現できると期待される。この観点から、研究代表者らはこれまで静止画像を対象としてカラー画像の疎表現理論に基づく画像復元法を開発してきた。本研究では、これまでの研究成果を発展させ、雑音を多く含む低照度撮像データから“その応用目的の観点から十分な画像品質を有するカラー動画像”を復元する技術を開発する。

2. 研究の目的

夜間の監視カメラ映像のように極端に暗い状況下で、イメージセンサによって光電変換された信号は、統計的にはポアソン乱数に白色ガウス乱数が加えられたポアソン-ガウシアン確率分布でモデル化される。極端に暗い状況下で実際に観測される信号値は、復元の過程に統計的信頼性を高める何らかの手法の導入が必要である。本研究では、時空間画素ビンニングと3次元冗長サブサンプリングとから構成される仮想的多重撮像処理、動画像雑音除去処理、復元動画像を生成するための超解像ぼけ復元処理の3つの処理より構成される復元法の検討を行った。

3. 研究の方法

本研究で検討するカラー動画像復元法のブロック図を図1示す。

画素ビンニングは近傍の観測画素値を加算することで、大きな画素開口を持つ仮想的なイメージセンサで撮影された画像を生成する技術である。提案する復元法では、図2に

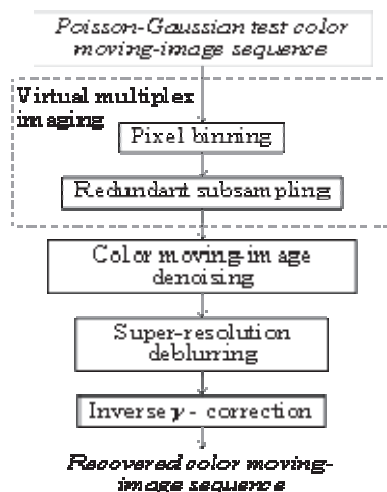


図1 カラー動画像復元法のブロック図

示す時空間方向に画素ビンニングを行う方式を採用する。図2の赤で示した着目画素に対して、着目画素を取り囲む3画素×3画素×3フレーム

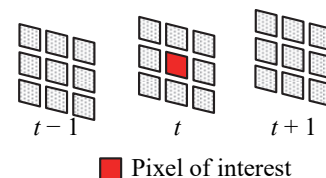


図2 時空間画素ビンニング

の局所的なウィンドウ内の27個の画素値を加算し着目画素値とする。提案する復元法内での実際の時空間画素ビンニングは3×3×3の単純平値フィルタとして構成している。

一般に、上記の時空間画素ビンニングを適用すると、原動画像の3次元周波数帯域は1/3に減らされる。従って、時空間画素ビンニングされた動画像に対しては、時空間各軸は3:1にサブサンプリングされる。3:1のサブサンプリングを行う場合、27通りのサブサンプル方法がある。よって、時空間サブサンプリングでは時空間各軸とも1/3に画素数の減らされた27個の動画像が生成される。このサンプリング法を冗長サブサンプリングと呼ぶ。冗長サブサンプリング処理は、時空間解像度は低いが、高感度のカメラによる仮想的多重撮像を意味している。

カラー動画像雑音除去処理では27個のサブサンプルされた動画像に対して、独立に動画像雑音除去法 3D-RDCT-CS (3-D Redundant DCT Color-Shrinkage) 法を適用する。

時空間画素ビンニング処理は高感度のカメラによる撮像を模擬できる反面、復元される画像にぼけ(解像度低下)を生じる。超解像ぼけ復元処理では雑音除去された27個の動画像情報を統合し、入力動画像と同じ時空間解像度のカラー動画像を生成する。この際27個の動画像中に残存している雑音を強調させずに、ビンニングにより生じたぼけの復元を行う。復元処理では、バックプロジェクション (Back projection) 法と TV (Total-Variation) 雑音除去処理とを交互に反復する。

4. 研究成果

(1) 仮想多重撮像法

2015年より仮想多重撮像法に関連する研究成果を学会大会等で発表し(学会発表⑩~⑳), これらの成果をまとめ電子情報通信学会に論文として発表した。小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 「仮想多重撮像と超解像ぼけ復元を用いた超低照度ポアソン-ガウシアンカラー動画像の復元」電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J99-D, No.9, pp.879-883, 2016年9月。また、国際会議 ICIP で研究発表を行った。T.Komatsu, S.Kondou, T.Saito, Restoration of a Poissonian-Gaussian color moving-image sequence with virtual multiplex imaging and super resolution deblurring, ICIP 2016 (国際学会), Sept., 2016.

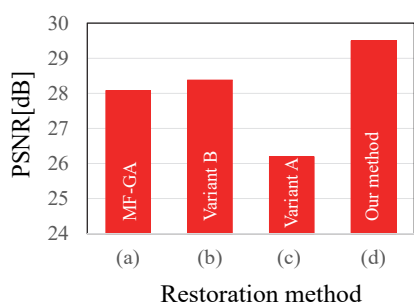


図3 種々な復元法の性能比較

図3に種々動画復元法の性能比較結果を示した。(a)は一般化 Anscombe 変換を用いた Mäkitalo-and-Foi の復元法 (以下では MF-GA 法と略記), (b)は図1において仮想多重撮像処理と超解像ぼけ復元処理を省略した方式, (c)は図1において超解像ぼけ復元処理を省略した方式, (d)が図1の処理を全て行う本研究の復元法の結果である。各手法で復元された動画の原動画に対する PSNR を示している。本研究の復元法の PSNR が最も高く、動画雑音除去の前後に、仮想多重撮像処理と超解像復元処理を導入することが有効であることを示している。

本研究で提案する復元法の更なる性能改善のため分散安定化変換を導入した方式を検討し、仮想的多重撮像方式に分散安定化変換を導入することで復元性能の改善が得られることを学会大会で報告した。表1に分散安定化処理の有無と復元動画の PSNR との結果を示した。表の上段は分散安定化処理がある場合の結果で、いずれの動画に対しても PSNR の改善が得られている。

表1. 復元動画の平均 PSNR (単位: dB)

Poisson	$\lambda = 0 \sim 4$				
	Gauss	$\sigma = 2.0$	$\sigma = 1.0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 0.3$
Inter Section		29.36	30.61	31.23	31.43
		29.24	30.36	30.78	30.89
Walk through the square		25.21	26.50	27.15	27.33
		25.09	26.31	26.86	27.01
Bird Cage		28.65	30.08	30.83	31.08
		28.28	29.30	29.67	29.76

上段: 分散安定化あり, 下段: なし

張鍵, 小松隆, 齊藤隆弘「ポアソン-ガウシアン カラー動画の復元 - 分散安定化変換の有効性の評価 -」, 電子情報通信学会総合大会, D-11-13, 2017年3月.

(2) 3次元 ST-DFT 法

研究代表者らはこれまで、3次元冗長 DCT と Color-Shrinkage を用いた動画の雑音除去法を開発してきた。本研究においても 27 個のサブサンプルされた動画各々に対す

る雑音除去法としてこの方式を使用している。動画信号は空間方向と時間方向とではその性質が大きく異なり、3次元 DCT よりも 3次元 DFT を用いることで、動画信号のより疎 (sparse) な表現が可能であることを、本研究を遂行する過程で発見した。これらの成果を、小松隆, 齊藤隆弘, 「動画復元のための 3次元 DCT と DFT の性能比較」, 映像情報メディア学会年次大会, 2016年8月, として発表し、以降、学会大会等で関連する研究成果を発表した (学会発表⑬, ⑭)。さらに、これらの成果をまとめて論文, 小松隆, 張鍵, 齊藤隆弘, 「平均値分離型 3次元 ST-DFT を用いた動画復元法」電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J100-D, No. 9, 2017年, として発表した。

平均値分離型 3次元 ST-DFT により得られた DFT 係数の分布を、2次元混合型球対称ガウス分布としてモデル化し、さらにモーメント法を用いて分布モデルパラメータの推定と雑音除去のためのベイズ推定関数を導出する手法を考案した。齊藤隆弘, 小松隆, 「劣化画像復元のための DFT 係数の確率分布モデル: 多次元混合型球対称ガウス分布モデルとそのパラメータ推定」第16回情報科学技術フォーラム, I-001, 2017年9月, において発表し、以降、関連する研究成果を発表した (学会発表②~⑤)。

3次元 ST-DFT は演算量が膨大で、実用化の妨げとなっていた。演算量削減のため、2のべき乗とばしで完全再構成条件を満たす窓関数の構成法を提案し、小松隆, 齊藤隆弘, 「平均値分離型 3次元 ST-DFT の演算量削減」電子情報通信学会 2018年総合大会, D-11-29, 2018年3月, において発表した。その結果、長さ 16 の窓関数を 4画素とばしで用いることで演算量を 1/64 に削減可能であることを示した。

5. 今後の課題

低照度照明環境下で撮像された動画の復元のためには、仮想多重撮像処理と超解像復元処理との導入が有効であることを明らかにした。また、動画信号の復元には、疎表現効率の観点から、3次元 DCT 法よりも 3次元 ST-DFT 法が有効であることが明らかとなった。平均値分離型 3次元 ST-DFT 動画復元法によって、現在最高水準の画像復元性能を有するとされている VBM4D 法と同等以上の動画復元性能がえられることを示すことができた。今後、「仮想多重撮像法」で用いられている 3次元 DCT を用いた雑音除去法を平均値分離型 3次元 ST-DFT 法に置き換えることで、仮想多重撮像法の動画復元性能の更なる改善が期待される。

6. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

① 小松隆, 張鍵, 齊藤隆弘, 平均値分離型

三次元 ST-DFT を用いた動画像復元法、電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J100-D, No. 9, 2017, pp. 842-845, DOI: 10.14923/transinfj.2017IEL0004

- ② 小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 仮想多重撮像と超解像ぼけ復元を用いた超低照度ポアソン-ガウシアンカラー動画像の復元、電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J99-D, No. 9, 2016, pp. 879-883, DOI:10.14923/transinfj.2016IEL0011

[学会発表] (計 20 件)

- ① 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT の演算量削減, 電子情報通信学会 2018 年総合大会, D-11-29, 2018 年 3 月
- ② 齊藤隆弘, 小松隆, DFT 係数の二成分混合型球対称ガウス分布モデルの基礎と動画像処理への応用, 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム (PCSJ/IMPS 2017), P5-16, 2017 年 11 月
- ③ 小松隆, 齊藤隆弘, ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメータの推定と動画像復元法, 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム (PCSJ/IMPS 2017), P2-1, 2017 年 11 月
- ④ T. Komatsu, K. Tyon, T. Saito, 3-D mean-separation-type short-time DFT with its application to moving-image denoising, in Proc. of 2017 IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2017), pp. 2961-2965, Sept. 2017
- ⑤ 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメータの推定と動画像復元への応用, 第 16 回情報科学技術フォーラム (FIT2017), I-002, 2017 年 9 月
- ⑥ 齊藤隆弘, 小松隆, 劣化画像復元のための DFT 係数の確率分布モデル: 多次元混合型球対称ガウス分布モデルとそのパラメータ推定, 第 16 回情報科学技術フォーラム (FIT2017), I-001, 2017 年 9 月
- ⑦ 小松隆, 齊藤隆弘, 動画像の平均値分離型三次元 ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメータの推定, 2017 年映像情報メディア学会 2017 年次大会, 12B-2, 2017 年 8 月
- ⑧ 齊藤隆弘, 小松隆, 動画像 DFT 係数の二成分混合型球対称ガウス分布空間におけるクラスタリング, 2017 年映像情報メディア学会年次大会, 12B-1, 2017 年 8 月
- ⑨ 張建, 小松隆, 齊藤隆弘, ポアソン-ガウシアン カラー動画像の復元 -分散安定化変換の有効性の評価-, 電子情報通信学会 2017 年総合大会, D-11-13, 2017 年 3 月
- ⑩ 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT を用いた動画像復元法の性能評価, 電子情報通信学会 2017 年総合大会, D-11-12, 2017 年 3 月
- ⑪ T. Saito and T. Komatsu, Restoration of

a Poissonian-Gaussian Color Moving-Image Sequence, Invited Talk, 3rd Int. Workshop on Image Sensors and Image Systems (IWISS 2016), Tokyo, Nov. 17, 2016

- ⑫ 小松隆, 張建, 齊藤隆弘, 三次元冗長 DCT と三次元 ST-DFT の動画像復元性能比較, 映像メディア処理シンポジウム (IMPS2016), P-3-10, 2016 年 11 月
- ⑬ T. Komatsu, S. Kondou, T. Saito, Restoration of a Poissonian-Gaussian color moving-image sequence with virtual multiplex imaging and super resolution deblurring, ICIP 2016 (国際学会), Sept., 2016.
- ⑭ 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT を用いた動画像復元法の検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2016 年 9 月.
- ⑮ 小松隆, 齊藤隆弘, 動画像復元のための 3 次元 DCT と DFT の性能比較, 映像情報メディア学会年次大会, 2016 年 8 月.
- ⑯ 小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 仮想的多重撮像によるポアソン-ガウシアンカラー動画像復元法, 電子情報通信学会 2016 年総合大会, D-11-17, 2016 年 3 月
- ⑰ 近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, ポアソン-ガウシアン動画像の適応的 2 段階復元法, 映像メディア処理シンポジウム (IMPS2015), I-3-09, 2015 年 11 月
- ⑱ 小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 画素ビンニングと冗長サブサンプリングを用いた低照度動画像復元, 映像メディア処理シンポジウム (IMPS2015), I-1-04, 2015 年 11 月
- ⑲ 近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, ポアソン-ガウシアン動画像復元法 - 静動領域に対する適応処理 -, 2015 年映像情報メディア学会年次大会, 22A-4, 2015 年 8 月
- ⑳ 小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, ピクセルビンニングと冗長サブサンプリングを用いた動画像雑音除去の検討, 2015 年映像情報メディア学会年次大会, 22A-3, 2015 年 8 月

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 隆弘 (TAKAHIRO, Saito)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号：10150749

(2) 研究分担者

小松 隆 (TAKASHI, Komatsu)
神奈川大学・工学部・助手
研究者番号：80241115