

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：27101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18073

研究課題名（和文）動的モード分解に基づくHDR動画画像生成技術の確立と応用

研究課題名（英文）HDR video generation based on dynamic mode decomposition and its applications

研究代表者

松岡 諒（Matsuoka, Ryo）

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：40780391

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ダイナミックレンジの広い撮影環境では、黒潰れや白飛びにより物体認識精度が著しく低下してしまう。これは、シーンの光情報を忠実に保存する高ダイナミックレンジ(HDR)センサを用いることで解決できるが非常に高価であるため、低ダイナミックレンジセンサを用いた画像統合型HDRカメラ技術の開発が望まれている。しかし、既存の画像統合技術は膨大な計算コストと大規模な計算資源を必要とし、実用化には多くの課題がある。

本研究課題では、高効率で実用的なHDR動画画像生成技術を提案した。また、高品質HDR動画画像の復元を実現するためにスパースコーディングに基づく再構成アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の主要な成果は、既存の画像統合型HDR動画画像生成技術に比べて低計算量でかつ効率的なHDR動画画像の復元が可能手法であるため、自動運転技術や監視カメラ技術の飛躍的な発展が期待できる。さらに、HDR動画画像が重要な役割を果たす産業・サイエンス・工学の諸分野に大きく貢献するものである。また、計算量の観点から実現が困難であった画期的な動画画像処理応用を切り開き、医療・農業・産業などの広範な分野に大きなインパクトを与えるものであると考えられる。

研究成果の概要（英文）：When taking a photograph in a high dynamic range (HDR) scene, the accuracy of object recognition is significantly degraded due to under/over-exposed pixels. This can be solved by using an HDR sensor that faithfully preserves the optical information of the scene, but it is very expensive. Therefore, image-blending-based HDR camera technology using a low dynamic range sensor is required. However, existing image blending techniques require huge computational costs and large computational resources, and many challenges remain for practical applications.

In this research project, we proposed an efficient and practical HDR video generation technique. In addition, we developed reconstruction algorithms based on sparse modeling to achieve high-quality HDR video restoration.

研究分野：画像処理

キーワード：高ダイナミックレンジ画像 スパースコーディング 画像復元

1. 研究開始当初の背景

近年、自動運転のための車載カメラを用いた運転支援技術の開発が国内外問わず活発に行われているが、その実現には HDR カメラの普及が必要不可欠である。HDR カメラは、直接撮像型と画像統合型の二つに大別されるが、一般ユーザーへの広範な普及のためには画像統合型を用いる必要がある。しかしながら既存の画像統合手法では、オブジェクトマッチングやオクルージョン補正等の非常に計算コストの高い処理が必要であり、動きの大きいシーンでは黒潰れ/白飛び領域の復元が困難な場合がある。また、実用化にはハードウェア/ソフトウェア双方において依然として多くの課題が残っている。したがって、低ダイナミックレンジカメラから HDR 動画像を効率的に取得することは非常に難しい。時系列の動画像データからシーンの動的成分を効率的に抽出し、それらを保持しながら黒潰れや白飛び領域の復元を行う必要がある。

一方、流体・熱力学の分野で用いられている DMD 法は、時系列データから比較的少ない計算コストで流れ場の構成成分(モード)を解析・抽出するために用いられている。具体的には、データ行列に対して特異値分解/固有値分解をそれぞれ一度計算するだけで良く、各分解手法には大規模データに対する高速計算手法が存在し、リアルタイム処理が可能な場合がある。しかしながら、画像処理に関する応用研究は、監視カメラ映像の前景/背景分離による移動物体検出などに限られている。

2. 研究の目的

本研究課題では、上述した課題を解決する実用的な HDR 動画像生成技術の開発を目的とし、低ダイナミックレンジカメラで取得した動画像から、動的モード分解法(DMD法)に基づき HDR 動画像を効率的に生成する技術の実現を目指した。本研究では、動画像を空気や流水などのように時間軸方向に一貫した流体構造を持つデータと見なし、DMD法を適用することで動画の特徴をモードとして抽出することを試みた。

3. 研究の方法

本研究では、黒潰れ/白飛びなどの欠損画素領域を考慮しつつ、HDR 動画像のモード(HDR モード)を低ダイナミックレンジカメラで撮影した多重露光動画像から直接抽出する方法を検討した。そして再構成に適した最適な結合係数(振幅)を決定するために、過去の研究で考案したスパースコーディング法を応用した。ここで、HDR モードは入力動画像データの総フレーム数分抽出され、そのスパースコーディングにおける目的変数はたかだか数百次元程度であり、高速に計算可能である。これにより、従来困難とされていた低ダイナミックレンジカメラで取得した動画像(多重露光動画像)から HDR 動画像の効率的な復元の実現に取り組んだ。

また、提案する拡張 DMD 法を主要な動画像復元問題へ応用しその有効性を明らかにした。具体的には、雨などの映り込みの除去とガラス越しの撮影で生じる反射光の除去などである。

4. 研究成果

本研究における代表的な成果を抜粋して以下に述べる。

(1) 混合ノイズにロバストな多重露光画像統合手法

暗所などの高ダイナミックレンジシーンでは、露光量不足により高感度撮影が必須となるが、そのような設定ではガウスノイズや固定パターンノイズなど統計的に異なる性質を持つ様々なノイズが増幅され画像に重畳するため、視認できるほどの画質劣化が生じる。そこで、ガウスノイズと非ガウスノイズによる混合ノイズにロバストな多重露光画像統合手法を提案した。具体的には、シフト不変ウェーブレット変換領域において多重露光画像に重畳している混合ノイズを除去するように統合するための最適な画像統合重みの推定問題を最適化問題として定式化し、Primal-dual splitting (PDS) 法を用いて解くことで、最適な多重露光画像統合を実現し、ノイズを除去した HDR 画像の生成を実現した。実験では、既存の多重露光画像統合手法や最適化に基づく画像復元手法、BM3D や VBM3D などの最先端のノイズ除去手法と比較することで、提案手法の有効性を確認した。また、提案手法は GPGPU を用いた並列計算が可能であり、既存手法と比べて約 3.5 倍の速度向上を実現した。

本成果は、アジア最大の信号処理分野の国際会議 APSIPA ASC2018 や、国際学術論文誌である IEEE ACCESS に採録された。

(2) ADMM アルゴリズムに基づく 1D/2D スパース FIR フィルタ設計手法

FIR フィルタの設計は、デジタル信号処理において極めて重要な課題の一つである。典型的な設計アプローチとして、最小自乗近似を用いた方法、minimax 近似を用いた方法があり、所望特性との平均自乗誤差、または最大誤差を最小化することでフィルタを設計する。近年では、所望特性との近似誤差に加えてフィルタ係数のスパース性を考慮した設計手法が注目されている。ゼロ係数を有する高

次のフィルタは、ゼロ係数を持たない低次なフィルタに比べて所望特性との近似誤差の改善が可能である場合が多く、このようなフィルタを“スパースフィルタ”と呼び、様々な設計アルゴリズムが提案されている。既存手法の多くは、振幅特性に当りプル性などの任意の制約を加えた柔軟なフィルタ設計を可能としているが、フィルタ次数の最小化は考慮していない。そこで、フィルタ係数のスパース性と次数の同時最適化を実現する L0 ノルムに基づくフィルタ設計手法を提案した。フィルタの次数と係数を同時にスパースにする最適化問題を定式化し、それを Alternating direction method of multipliers (ADMM) を用いて効率的に解くアルゴリズムを考案した。また、このフィルタ設計手法を 2DFIR フィルタの設計に応用した。実験では、既存のスパースフィルタ設計手法と比較して、よりスパースな FIR フィルタを設計できることを確認した。また、高次のフィルタ設計において、既存のフィルタ設計手法と比べて約 1.5 倍～2 倍程度の速度向上を実現した。

本成果は、アジア最大の信号処理分野の国際会議 APSIPA ASC2018 や回路システムに関するフラグシップ会議である IEEE ISCAS2018 や、回路とシステム分野の一流雑誌である IEEE Transactions on Circuits and Systems I や電子情報通信学会の国際学術論文誌に採録された。

(3) 画像の映り込み除去

屋外での撮影では、雨や雪等の視野妨害ノイズが映り込む場合がある。そのようなシーンでは、画像認識精度が著しく低下する恐れがある。また、輝度のダイナミックレンジが非常に広い屋外の撮影では、黒潰れや白飛びが生じる場合がある。このようなシーンでは、雨の軌跡などの視野妨害ノイズの除去と高ダイナミックレンジ画像の生成を同時に行う必要があるが、これまで十分に検討されていない。そこで、雨の軌跡を一部のフレームにしか生じない外れ値とみなし、黒潰れ、白飛び、及び雨の軌跡を同時に取り除く露光合成手法を提案した。

一方で、ガラス越しの撮影では、背景シーンにガラス面に反射した前景が映り込む場合がある。そのようなシーンでは、画像認識による物体や人の検出精度が著しく低下する恐れがある。そこで、深度マップを用いたガラス面の映り込み除去手法を提案した。

本成果は、IEEE が主催する画像処理分野のフラグシップ会議である IEEE ICIP2018 や IEEE GCCE2019 に採録された。

(4) Plug-and-Play ADMM に基づく多重露光動画像合成

黒潰れや白飛びが生じる高ダイナミックレンジシーンにおいて、露光パターンを変えて撮影した多重露光動画像から高ダイナミックレンジ動画像を生成する手法を提案した。現在までに動画像に対する様々な露光合成手法が提案されてきたが、何れの手法においても、撮影対象物の輪郭部がぼけたり、ゴーストと呼ばれるアーティファクトが生じるといった問題がある。本手法では、DMD に基づいて動画像の動的成分を保持しつつ黒潰れや白飛びを復元するための最適化問題を Plug-and-play の枠組みで定式化し、Plug-and-play ADMM に基づくアルゴリズムを用いて解く方法を確立した。提案手法による露光合成結果と、従来手法による露光合成結果を定量的に評価し比較することで、提案手法の有効性を示した。

現在、本成果をまとめて国際会議や国際学術論文誌への投稿準備を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yuzuriha Ryota, Kurihara Ryuji, Matsuoka Ryo, Okuda Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 TNNG: Total Nuclear Norms of Gradients for Hyperspectral Image Prior	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 819 ~ 819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs13040819	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 松岡 諒	4. 巻 36
2. 論文標題 私のブックマーク : 高ダイナミックレンジ画像処理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 90 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11517/jjsai.36.1_90	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Ryo, Shirai Keiichiro, Okuda Masahiro	4. 巻 76
2. 論文標題 Reference-based local color distribution transformation method and its application to image integration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Signal Processing: Image Communication	6. 最初と最後の頁 231 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.image.2019.04.020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Ryo, Ono Shunsuke, Okuda Masahiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Transformed-Domain Robust Multiple-Exposure Blending With Huber Loss	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 162282 ~ 162296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2951817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Matsuoka, Seisuke Kyochi, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda	4. 巻 65
2. 論文標題 Joint Sparsity and Order Optimization Based on ADMM With Non-Uniform Group Hard Thresholding	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers	6. 最初と最後の頁 1602-1613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSI.2017.2763969	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 1件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Yuzuriha, Ryo Matsuoka, Masahiro Okuda
2. 発表標題 Total Nuclear Norms of Gradients for Hyperspectral Image Pansharpening
3. 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Itsuki Itasaka, Ryo Matsuoka, Masahiro Okuda
2. 発表標題 Constrained Design of Two-Dimensional FIR Filters with Sparse Coefficients
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板坂樹生, 松岡諒, 奥田正浩
2. 発表標題 スパースな係数を持つ二次元FIRフィルタの制約付き設計
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡諒
2. 発表標題 L0勾配正則化に基づく画像平滑化とその応用
3. 学会等名 電子情報通信学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤井優志, 松岡諒, 和田紗月, 堀川洋
2. 発表標題 雨の軌跡除去を考慮した露光合成に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤井優志, 松岡諒, 堀川洋, 奥田正浩
2. 発表標題 勾配制約付き画像平滑化によるノイズを考慮したコントラスト強調に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会SIPシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Multiscale Structure Tensor Total Variation for Image Recovery
2. 発表標題 Multiscale Structure Tensor Total Variation for Image Recovery
3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Akai, Ryo Matsuoka, Satsuki Wada, Yo Horikawa
2. 発表標題 Rain Streak Removal Using Under-/Over-Exposed Images
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Watanabe, Ryo Matsuoka, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda
2. 発表標題 Multiscale Structure Tensor Total Variation for Image Recovery
3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Matsuoka, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda
2. 発表標題 'High Dynamic Range Image Generation Based on Convolutional Weight Optimization Robust to Mixed Noise Removal
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Shibata, Yuji Akai, Ryo Matsuoka
2. 発表標題 Reflection Removal Using RGB-D Images
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuji Akai, Toshihiro Shibata, Ryo Matsuoka, Masahiro Okuda
2. 発表標題 L0 Smoothing Based on Gradient Constraints," IEEE International Conference on Image Processing
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Matsuoka, Seisuke Kyochi, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda
2. 発表標題 Joint Sparsity and Order Optimization based on ADMM with Non-uniform Group Hard Thresholding
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田峻敬, 赤井優志, 松岡 諒
2. 発表標題 深度マップを用いた映り込み除去に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告書 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤井優志, 柴田峻敬, 松岡 諒, 奥田正浩
2. 発表標題 勾配レンジ制約に基づくロバスト画像平滑化
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告書 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>[備考] 研究者HP https://sites.google.com/site/phdmatsuokadx [備考] 業績紹介HP (研究者作成) https://sites.google.com/site/phdmatsuokadx/achievements</p>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------