

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04472

研究課題名（和文）信号処理と深層学習の融合による高速高精度画像復元に関する研究

研究課題名（英文）Research on rapid and accurate image restoration by fusion of signal processing and deep learning

研究代表者

池原 雅章（Ikehara, Masaaki）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：00212796

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、信号処理と深層学習の融合による高速高精度画像復元技術の開発を行なった。信号処理技術により目的に応じた画像の特徴を前処理として検出し、劣化画像の性質を考慮しながら深層学習を行うことにより、1)霧除去、2)雨滴除去、3)ビデオの超解像、4)ボケ除去に対して従来方に比べて良好な性能が得られた。また深層学習における基本的な処理である畳み込みに対して、いくつかのカーネルを用意して、その線型結合により畳み込みを表現することで直接実現する場合より演算量を削減しつつ高性能なネットワークを構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、畳み込み層の役割を解明し、信号処理技術により目的に応じた画像の特徴を前処理として検出し、劣化画像を考慮しながら深層学習を行うことにより、より層数の少ないネット構造を用いて、高精度な画像復元技術を開発する。本研究によりカメラ撮影における劣化を低減させるのみならず、画像をセンサーとして用いるセキュリティ分野や社会のあらゆる領域を変革するブレークスルーになり得る。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we developed a high-speed, high-precision image restoration technique by combining signal processing and deep learning. By using signal processing to detect image features as a pre-processing step and deep learning while taking into account the characteristics of degraded images, we have achieved better performance than conventional methods for 1) fog removal, 2) raindrop removal, 3) video super-resolution, and 4) blur removal. Moreover, for convolution, which is a fundamental process in deep learning, we were able to construct a high-performance network while reducing the amount of operations by preparing several kernels and expressing the convolution by linear combination of the kernels.

研究分野：画像処理

キーワード：画像復元 深層学習 信号処理

1. 研究開始当初の背景

近年、深層学習の研究が急速に発展し、様々な分野で用いられ、従来の古典的なアプローチでは到底到達できないような画期的な成果が得られている。本研究課題では、信号処理と深層学習の融合による高速高精度画像復元技術の開発を行うことを目的とする。画像復元とは、ノイズ等の様々な劣化要因により汚れた画像から、元の画像を復元することである。

(1) 様々な劣化過程に応じて深層学習を実行することにより、これまでの信号処理や画像処理技術では得られなかった鮮明な画像が得られるが、その性能は畳み込み層の数や、受容野のサイズに依存し、劣化画像と鮮明な画像の大量のセットをブライント学習しているのが現実であり、その仕組みについては解明されていないのが現実である。

2. 研究の目的

本研究では、畳み込み層の役割を解明し、信号処理技術により目的に応じた画像の特徴を前処理として検出し、劣化画像を考慮しながら深層学習を行うことにより、より層数の少ないネット構造を用いて、高精度な画像復元技術を開発する。本研究によりカメラ撮影における劣化を低減させるのみならず、画像をセンサーとして用いるセキュリティ分野や社会のあらゆる領域を変革するブレークスルーになり得る。

3. 研究の方法

本研究では、画像復元問題としてデブラー、影除去、飽和反射除去、雨滴除去、ヘイズ除去の5つの劣化画像の復元問題を扱い、画像変換やニューラル畳み込みフィルタの新しい実現方法についても研究している。問題は多岐にわたるため、中心的に行なってきたデブラーについて研究方法を示す。

デブラー

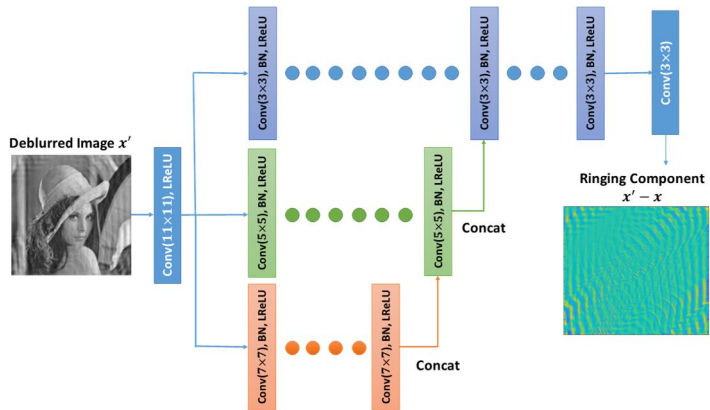
デブラーはボケ除去に相当し、ボケ画像は次式で得られる。

$$Y = K * X + N$$

Y がボケ画像、K がボケカーネル、X は元画像、N はノイズ、*は2次元畳み込みを表している。Y から元画像 X を復元するのがデブラーであり、K が既知のノンブライントデコンボリューションと、K が未知のブライントデコンボリューションに分類される。ブライントデコンボリューションではKもXも未知であり、Y から X を復元する問題は不良設定問題となり、信号処理の中では最も難しい問題とされている。これを解決するために、ノンブライントとブライントの2つの場合について段階的に検討する予定である。

a) ノンブライント: まず K が既知の場合のデコンボリューションを検討する。

様々なデコンボリューション手法が提案されているが、どの手法もカーネルの除算によるリングングの発生が大きな問題となっている。特に実際の場面を想定した場合には境界領域からのリングングが顕著となり、その除去は困難を極めている。そこで、発生するリングングはエッジの強度やカーネルのサイズによってリングの間隔が異なるため、右図のように畳み込みフィルタのサイズを変えながら並列に処理



し、途中でコンカットしながらリングングだけを抽出するネットワークを構成する。予備実験ではかなりの効果があり、この構造をチューニングすることにより、高精度なノンブライントデコンボリューションが実現できる可能性がある。

b) ブライント: K が未知な場合についてもいくつかの方法が提案されているが、最新の deblurGAN 等では、大量の画像を用意し、大量のブラーカーネルでボケ画像を作成し、元画像とのペアを学習している。まさに多入力出力のブライント学習が行われており、GAN による制約が課されているものの、ほとんど役に立たない状況である。重要なポイントは、2つの未知関数に対して1つの変数を推測することができれば、不良設定問題を解ける可能性がある。そこで信号処理の知見から、ボケ画像を2種類の2次元高域フィルタで並列に処理し、加算する。ボケカーネルはインパルス応答であるから、ボケカーネルが画像のエッジに応じた位置に出現する。この出力をネットワークに通すことによってブラーカーネル自身を求めることができるかもしれないし、この出力を1チャンネルとして入力の RGB カラー画像に加え、学習することによって、End-to-End の処理が可能になるかもしれない。どちらにしてもブライント学習よりはボケの性質を付加しているため、deblurGAN に比べ高精度なデブラーが実現できる。さらに画像は深度に応じてボケが不均一に生じることが知られており、高域フィルタによって位置依存のボケカーネルを抽出することができれば、不均一ボケ画像のデブラーも可能になるものと期待できる。

4. 研究成果

古い順に研究成果の概要を記述する。

GAN-Based Image Deblurring Using DCT Loss With Customized Datasets

本論文では、離散コサイン変換(DCT)を用いた、計算量の少ない高品質な画像デブラリング法を提案している。本論文では、大きなモーションブラーを持つ画像を含むようにカスタマイズされた新しいデータセットで本モデルを訓練する。近年、CNN (Convolutional Neural Network) や GAN (Generative Adversarial Network) ベースのアルゴリズムが、画像のデブラリングに提案されている。さらに、CNN のマルチスケールおよびマルチパッチアーキテクチャは、ぼけた画像を鮮明に復元し、より多くのリングングやブロッキングアーチファクトを抑制するが、処理に長い時間がかかる。そこで、デブラリング画像の品質を向上させ、計算時間を短縮するために、DCT ベースの損失を用いて、マルチスケールやマルチパッチアーキテクチャを用いることなく、復元画像のテクスチャを保存し、リングングアーチファクトを抑制する「DeblurDCTGAN」という方法を提案する。この損失は、周波数領域で復元画像とグラントゥールス画像を比較するものである。この損失により、DeblurDCTGAN はデブラリング性能を維持したまま、ブロックノイズとリングングアーチファクトを低減することができる。実験結果は、DeblurDCTGAN が PSNR、SSIM、実行時間において、従来の方法と比較して最高の性能を得ることを示している。実画像データセットに関しては、GoPro、DVD、NFS、HIDE のトレーニングデータセットからカスタマイズしたトレーニングデータセットを使用することで、DeblurDCTGAN がより優れた性能を発揮しています。訓練済みの重みを用いた実験コード、データセット、結果は、<https://github.com/Hiroki-Tomosada/DCTGAN-master> を参照されたい。

Channel Attention GAN Trained With Enhanced Dataset for Single-Image Shadow Removal

ディブラーニングを用いた手法が数多く発表されている現在でも、単一画像の影除去は高精度を実現することが難しいタスクである。これは、対象素材や光源など様々な条件によって影が変化し、全ての物理パラメータを推定することが困難なためである。本論文では、影の検出と影の除去のために2つのネットワークを用いた新しい単一画像影除去法 (Channel Attention GAN: CANet) を提案する。影がある領域の強度変化は、光の波長によって異なる特性を持つ。また、カメラの画像取得システムは、RGB の値が互いに影響し合う状態で画像を取得する。そこで、本手法では、影の物理特性とカメラの画像取得システムに着目した。提案するネットワークは、色チャンネル間の関係を考慮した構造になっている。このネットワークを学習する際、学習データセットをより複雑にするために、学習画像の色を変更したり、アーチファクトを追加したりした。これらの画像処理は、カメラの画像取得方式を考慮したシャドウモデルに基づくものである。これらの新しい提案により、本手法は、すべての ISTD、ISTD+、SRD、SRD+データセットにおいて、最先端の手法よりも高い精度で影を除去できる。コードは GitHub で公開している。: <https://github.com/ryo-abiko/CANet> .

Saturated Reflection Detection for Reflection Removal Based on Convolutional Neural Network

単一画像の反射除去は、ガラスに起因する好ましくない反射を画像から除去する技術である。これまで様々な反射除去の方法が提案されてきたが、残念ながら、特に画素値が非常に高い反射を除去できないことがほとんどである。本論文では、このような飽和反射を定義し、その特徴を説明するとともに、除去システムを議論・提案する。提案システムは、提案する畳み込みニューラルネットワークのモデルに基づいて、飽和反射の領域を検出し、従来の画像推定方法によって復元する。実験では、提案システムは、従来の反射除去方法よりも優れたピーク信号対雑音比スコアと知覚品質を示した。

4K Real Time Image to Image Translation Network With Transformers

CNN は従来コンピュータビジョンに応用されてきた。近年、もともと自然言語処理の技術であった Transformer ネットワークをコンピュータビジョンに適用することが注目され、優れた成果を上げている。しかし、Transformer とその派生技術は、計算コストとメモリ使用量が画像の解像度に応じて急激に増加するという欠点がある。本論文では、画像間変換のためのラプラシアン・ピラミッド変換器 (LPTT) を提案する。本研究の先行研究であるラプラシアンピラミッド変換ネットワークは、入力画像のラプラシアンピラミッドを作成し、各成分を CNN で処理する。しかし、LPTT は高周波成分を CNN で、低周波成分を Axial Transformer ブロックで変換する。LPTT は、計算コストやメモリ使用量を抑えながら、Transformer の表現力を持つことができる。LPTT は、従来の方法よりも生成画像の品質と高解像度画像に対する推論速度を大幅に向上させる。更に、4K 解像度の画像に対してリアルタイムで実用的な推論を行うことができる Transformer を搭載した最初のネットワークである。また、LPTT はモデル条件や GPU の性能によっては、8K 画像をリアルタイムで処理することも可能である。本論文のアプローチ研究では、高解像度画像を処理する場合でも、Transformer で低解像度成分を計算することで、推論速度を維持したまま性能を向上させることができることを示唆している。LPTT は MIT-Adobe FiveK データセットにおいて、PSNR 値を 0.41 dB 向上させた。ラプラシアンピラミッドの層数が多いほど、LPTT はラプラシアンピラミッド変換ネットワークより改善される。

Single Image Raindrop Removal Using a Non-Local Operator and Feature Maps in the Frequency Domain

雨の日に写真を撮ると、雨粒のついた写真になることがある。雨粒を含む画像は、画像認識システムに適用した場合、見た目の印象や精度に大きな影響を与える。そのため、屋外での画像処理システムに

において、見栄えの良い画像を取得するためだけでなく、高品質な雨滴の自動除去方法が望まれている。この問題に対して、いくつかの既存手法が提案されているが、大域的な整合性が保てず、不自然なパターンが生成されることが多い。本論文では、非局所演算子を導入することで、この問題に対処する。非局所演算子は、離れた位置の特徴を行列の乗算で結合し、離れた位置での一貫性を可能にする。また、雨粒のある画像では、エッジなどの高周波成分が影響を受けやすい。高周波成分は周波数領域で他の成分と分離できるという性質に着目し、高速フーリエ変換演算で得た特徴マップを複数の畳み込み層で処理する方法も提案する。実験結果は、本手法が効果的に雨滴を除去し、最先端の性能を達成することを示している。

Enhanced Multiscale Attention Network for Single Image Dehazing

厳しい気象条件のもと、屋外で撮影された映像は、浮遊する大気中の粒子によって直接的に画質が影響を受ける。画像の品質を保つためには、ヘイズ除去の方法が重要な役割を果たす。ヘイズ除去で最も困難なのは、画像全体に広がるヘイズを除去することである。ヘイズを除去するために多くの CNN ベースの手法が提案されており、2つのタイプに分けることができる。一つはマルチスケール構造を用いるもので、もう一つはレイヤーを積み重ねるものである。前者は画像に含まれる本来の情報の一部が失われることによる画像劣化を引き起こし、後者は解像度を落とさないことによる計算量の増加をもたらす。また、モデルの表現力を確保するために多くのパラメータが必要となり、メモリ量が膨大になる。これらの問題に対して、1) パラメータを節約し、生成画像の品質を維持したままダウンサンプリングする、2) 画像全体の情報を考慮して霞を除去する、ことを試みた。第1の問題については、他のタスクで使用されている特徴抽出器を使用し、低解像度で出力画像を最適化する学習を行い、受容野を拡大するために様々な拡張率のカーネルを用意することで解決を図った。また、2つ目の問題に対しては、特徴マップ全体から画像特徴のどの部分に注目すべきかを決定する注意構造を用いている。このようなモジュールを組み込むことで、本手法は合成画像と実画像の両方において、最先端の手法と比較してより良い結果を達成している。

Principal Components of Neural Convolution Filters

ニューラルネットワークにおける畳み込みは、様々な視覚タスクにおいて依然として不可欠である。神経畳み込みを開発するために、本研究では、畳み込みフィルタを広く作用する設計部品の線形結合として表現する SRF (Structured Receptive Field) に着目している。SRF はフィルタピンの数よりも少ないコンポーネントでコンボリューションフィルタを表現できるが、唯一のコンポーネントシステムである N-Jet の実装では、 3×3 のコンボリューションでも精度を上げるためにフィルタごとに 10 の訓練可能なパラメータが必要となる。そこで、より少ない成分で有効なフィルタを表現できる SRF のための新しいコンポーネントシステムを構築することを目的とする。0tX と名付けられた成分系は、よく訓練されたフィルタ重みの主成分分析に基づいており、抽出された成分はニューラルコンボリューションフィルタの主成分にもなるためである。また、0tX 成分の線形結合における係数間の大規模なスケール差を解消するために、成分システムの提案に加えて、成分スケール法を開発する。実験では、CIFAR-100 データセットの画像分類モデルを、標準的なコンボリューションを用いたオリジナルモデルで調整したハイパーパラメータの下で訓練する。NFNet-F0 分類器では、6 成分の 0tX は標準的なコンボリューションより 0.5%、6 成分の N-Jet より 3.1%、10 成分の N-Jet より 0.1% だけ良い性能を示すことが分かった。また、9 成分の 0tX は N-Jet よりも安定した学習が可能で、NFNet-F0 では標準よりも 0.5% 良い結果が得られた。0tX は、N-Jet に対して少なくとも同等の性能を持ち、さらにパラメータ効率と学習の安定性が高いため、標準的なコンボリューションを置き換える場合に適している。

Inverted Residual Fourier Transformation for Lightweight Single Image Deblurring

単一画像デブラリングは、単一画像内のぼけた領域を除去することで、シャープな画像を復元することを目的としている。このようなぼけた画像は、視覚的に不快だけでなく、画像認識など多くのアプリケーションで様々な問題を引き起こす。近年、ディープラーニングの発展に伴い、多くの単一画像デブラリングでニューラルネットワークが使用されている。特に、エンコーダ・デコーダ構造は単一画像のデブラリングに広く用いられ、高画質な画像を復元することに成功している。しかし、高品質な画像を復元するためには、FLOPs やパラメータ数が増加する傾向にある。そこで、本論文では、エンコーダ・デコーダ構造の基本ネットワークとして広く使われている UNet をベースにした新しい軽量ネットワーク (IRFTNet) を提案する。提案するネットワークは、性能向上と軽量化のために 3 つの特徴を持つ。第一に、計算量を減らすために、反転残差ブロックに基づく反転残差フーリエ変換ブロック (IRFTblock) という新しいバックボーンを導入している。第二に、下位層から上位層へエンコーダ情報を効率的に転送するために、下位特徴合成 (LFS) と呼ばれる新しいモジュールが導入されている。最後に、MIMO-UNet で提案された複数出力構造を導入している。これらの改善により、DeepRFT の約半分の FLOP 数とパラメータ数にもかかわらず、GoPro データセットの PSNR を 32.98dB 向上させることに成功した。さらにアブレーション研究により、提案モデルの様々なコンポーネントの有効性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Hiroki Tomosada; Takahiro Kudo; Takanori Fujisawa; Masaaki Ikehara	4. 巻 9
2. 論文標題 GAN-Based Image Deblurring Using DCT Loss With Customized Datasets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE ACCESS	6. 最初と最後の頁 135224 - 135233
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3116194	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 Abiko; Masaaki Ikehara	4. 巻 10
2. 論文標題 Channel Attention GAN Trained With Enhanced Dataset for Single-Image Shadow Removal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE ACCESS	6. 最初と最後の頁 12322 - 12333
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3147063	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 Suzuki Keito, Ikehara Masaaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Residual Learning of Video Frame Interpolation Using Convolutional LSTM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 134185 - 134193
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2020.3010846	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 Yoshida Taichi, Funahashi Isana, Yamashita Naoki, Ikehara Masaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Saturated Reflection Detection for Reflection Removal Based on Convolutional Neural Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 39800 - 39809
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3166186	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 Shibasaki Kei, Fukuzaki Shota, Ikehara Masaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 4K Real Time Image to Image Translation Network With Transformers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 73057 ~ 73067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3189649	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 Ezumi Shinya, Ikehara Masaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Single Image Raindrop Removal Using a Non-Local Operator and Feature Maps in the Frequency Domain	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 91976 ~ 91983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3202888	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 Imai Wataru, Ikehara Masaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhanced Multiscale Attention Network for Single Image Dehazing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 93626 ~ 93635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3204026	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 Fukuzaki Shota, Ikehara Masaaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Principal Components of Neural Convolution Filters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 104328 ~ 104336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3210710	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 Yae Shunsuke, Ikehara Masaaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Inverted Residual Fourier Transformation for Lightweight Single Image Deblurring	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 29175 ~ 29182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3243173	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 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Kaito Hashimoto; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Stereo Matching with Supplementary Boundary Information
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keitaro Kume; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Single Image Fence Removal Using Fast Fourier Transform
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shunsuke Yae; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Inverted Residual Fourier Transformation for Lightweight Single Image Deblurring
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinya Ezumi; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Single Image Raindrop Removal Using a Non-Local Operator and Feature Maps in the Frequency Domain
3. 学会等名 2022 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keito Suzuki; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Multi-Stage Feature Alignment Network for Video Super-Resolution
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yosuke Ueki; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Underwater Image Enhancement with Multi-Scale Residual Attention Network
3. 学会等名 2021 International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Isana Funahashi; Naoki Yamashita; Taichi Yoshida; Masaaki Ikehara
2. 発表標題 High Reflection Removal Using CNN with Detection and Estimation
3. 学会等名 2021 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wataru Imai;Yosuke Ueki;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Scale Recurrent Network for Single Image Dehazing
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shunsuke Yae;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 People Removal Using Edge and Depth Information
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yosuke Ueki;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Weighted Generalization of Dark Channel Prior with Adaptive Color Correction for Defogging
3. 学会等名 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Nagae;Ryo Abiko;Takuro Yamaguchi;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Shadow Detection and Removal Using GAN
3. 学会等名 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuro Matsui;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 GAN-Based Rain Noise Removal from Single-Image Considering Rain Composite Models
3. 学会等名 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shogo Seta;Yusuke Nakahara;Takuro Yamaguchi;Masaaki Ikehara
2. 発表標題 Rapid and Accurate Local Gaussian Noise Removal
3. 学会等名 APSIPA2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suzuki, Keito; Ikehara, Masaaki
2. 発表標題 Residual Learning of Video Frame Interpolation Using Convolutional LSTM
3. 学会等名 ICPR (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomosada, Hiroki; Kudo, Takahiro; Fujisawa, Takanori; Ikehara, Masaaki
2. 発表標題 GAN-Based Image Deblurring Using DCT Discriminator
3. 学会等名 ICPR (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------