

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18077

研究課題名（和文）実世界の経年変化シミュレーションのための深層学習フレームワークの確立

研究課題名（英文）Development of a Deep Learning Framework for Image Weathering

研究代表者

飯塚 里志（Satoshi, Iizuka）

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：30755153

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）：画像中の物体の経年劣化を再現するため、深層学習を用いた画像の経年変化再現手法の開発に取り組んだ。このため、経年劣化テクスチャ画像のデータセットを構築し、それを深層生成ネットワークによって学習することで、錆や苔などの任意の経年劣化テクスチャを生成できるニューラルネットワークを構築した。この経年劣化テクスチャを対象物体に合成することで、様々な経年劣化画像を誰でも簡単に生成することができるようになることが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像の経年変化の再現技術は、実世界の景観や物体がどのように変化していくかを視覚的かつ直感的に伝えることができるため、都市計画における景観予測やエンターテインメント分野におけるコンテンツ制作など、幅広い応用が期待できる。学術的にも、深層学習を活用して画像の経年劣化を再現する技術はこれまでになく、本研究成果はこのタスクにおける新たなアプローチとして当該研究分野の発展に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to reproduce the decay of objects in natural images, we worked on developing an image weathering generation method using deep learning. To this end, we constructed a dataset of weathering texture images and trained a deep generative neural network on the texture dataset. This weathering texture generator network is able to generate arbitrary weathering textures such as rust and moss. The users can easily make various weathering images using the proposed method without special knowledge and skills in image processing.

研究分野：画像処理

キーワード：経年変化 深層学習 画像処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

実世界に存在するあらゆる物体は、時間の経過に伴い変化していく。例えば金属であれば表面がさび付いていき、建物の外観は水汚れによって黒ずんでいく。このような実世界の経年変化をコンピュータ上で再現することは、コンピュータグラフィクス (CG) において古くから研究されてきた。経年変化の再現技術は 3 次元 CG におけるシーンの写実性を大きく向上させるだけでなく、実世界の景観や物体がどのように変化していくかを視覚的かつ直感的に伝えることができる。このため、テレビや映画などのエンターテインメントのみならず、都市計画や教育、歴史的建築物の再現など、多くの分野へ応用されている。映画のように写実的な経年変化を再現するためには、物体の 3 次元形状や材質情報、物理則にもとづく物体変化の挙動を入力しなければならないが、CG ソフトウェアによる制作は専門的な知識が必要な上、大変な手間がかかる。また、リソースの入手しやすさや扱いやすさを考慮すると、3 次元 CG ではなく画像や映像上で直接経年変化を再現できる技術が求められているが、上記の物理情報を 2 次元画像から推定することは非常に困難であるため、画像から経年変化を自動で再現する手法はいまだに存在しない。

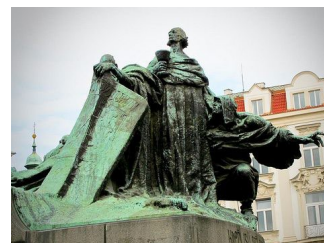


図 1: 実世界で起こる様々な経年変化。

2. 研究の目的

本研究では、2 次元静止画像のみからそこに写る物体がどのように経年変化していくかを再現するための新たなフレームワークの確立を目指す。3 次元 CG であれば経年変化は 3 次元形状や物体特性、物理則を用いた物理シミュレーションによって計算できるが、2 次元の静止画像からこの物理情報を抽出することは非常に困難である。これに対し本研究では、これまでの物理シミュレーションベースもしくは簡易な色変換ベースのアプローチとは異なり、機械学習ベースすなわち深層学習によって複雑な物体の経年変化を再現する。深層学習は近年さまざまな分野で大きな成功を収めているが、経年変化を深層学習で再現する手法はいまだに存在しない。本研究では、入力画像から経年変化を自動で予測し再現する新たなニューラルネットワークモデルおよびその学習フレームワークを開発することを目指す。通常深層学習では大規模な教師データが必要となるが、「経年変化の前後を撮影した画像ペア」を教師データとして大量に用意することは困難である。そこで提案手法では、教師なしデータを利用した深層生成モデルを駆使して経年変化画像を生成するフレームワークの確立に取り組む。これが実現できれば、これまで物理的な制約や制作コストにより諦められることが多かった写実的な経年変化を誰でも容易に再現できるようになり、Web 上での景観予測など新たなサービスの創出につながることを期待される。また、実世界の自然現象を機械学習によってどこまで再現できるかを明らかにしていくことは、学術的にも重要な意義がある。

3. 研究の方法

2 次元静止画像に含まれる実世界の物体に対して、その外観が時間経過とともにどのように変化していくかをシミュレーションできるニューラルネットワークモデルおよびその学習フレームワークを構築する。また、このようなニューラルネットワークモデルを学習させるため、経年変化画像データセットを作成する。このような経年変化をニューラルネットワークで再現するためには、物体領域のセグメンテーションや生成した経年変化テクスチャの自然な合成など、複数の要素技術も重要となる。そこで本プロジェクトでは、これらの要素技術の研究を行いつつ、経年変化画像を生成できるようなニューラルネットワークモデルの構築に取り組む。

4. 研究成果

(1) 推論性能と速度のトレードオフを調整可能な適応的セマンティックセグメンテーションネットワーク

深層学習を用い、一枚の画像のセマンティックセグメンテーションを効率的に行える手法の構築に取り組んだ。これにより、画像中の経年変化を起こす物体を、空や地面などの背景から効率的に分離できるようになることが期待される。特にここでは、様々な使用環境に対応するため、計算リソースを考慮して適応的にセマンティックセグメンテーションを行えるニューラルネットワークモデルの構築を行った。

具体的には、エンコーダ・デコーダ型の畳み込みネットワークにもとづく Multi-level

Segmentation Networks を提案した. このモデルでは, デコーダは複数の畳み込み層を階層的に接続した構造になっており, 複数の階層でそれぞれ識別性能と推論速度が異なる識別器を持っている. この複数の識別器により, リソースの要求に応じて識別を行う階層を適応的に選択でき, 単一のモデルで実場面での要求に柔軟に対応できる. また, 入力画像の識別難易度によって使用する識別器を自動制御することもでき, 計算リソースを節約しながら効率的な推論が可能となる. この複数の階層の識別器を効率的に学習させるため, 本稿ではさらに self-distillation を提案する. この手法は既存の画像認識ネットワークの distillation の考え方にもとづいており, 最も精度の高い最終階層の識別器を教師モデルとみなし, 浅い階層の識別器の出力分布が最終階層の識別器の出力分布に近づくようにモデルを最適化する. この self-distillation により, 推論速度はそのままに各階層の識別器の精度を向上させることができる. 提案手法に対して複数の検証実験を行い, その有効性を確かめた.

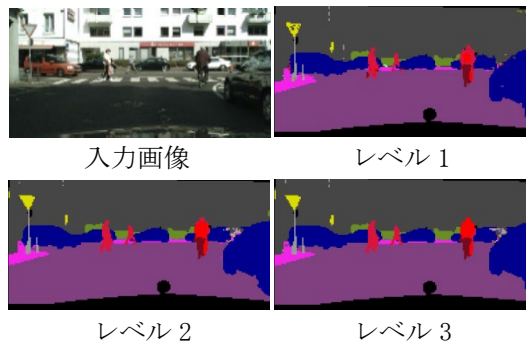


図 2: 提案手法による適応的なセマンティックセグメンテーションの例. レベルが上がるごとにリソースを多く使用して詳細なセグメンテーションができるようになる.

本研究は著名な画像信号処理の国際会議 ICIP2019 に採択された. また, コンピュータビジョン分野の国内最大の査読付き会議である MIRU2019 にオーラル発表として採択された.

(2) 深層学習による画像調和

生成した経年変化テクスチャを入力画像に合成する際, 合成した箇所が不自然になってしまう場合がある

(図 3 左). そこで, この合成箇所を背景に違和感なく調和させる手法の構築に取り組んだ. この処理は画像調和と呼ばれるもので, それぞれ異なる画像の前景物と背景を合成したとき, その色味やコントラストなどを調整して自然な合成画像を生成する技術である. 従来手法は主に色やエッジなどの低レベル特徴の統計量を調整することで画像調和を行っていたが, このアプローチではシーンの意味的情報が考慮されておらず, 物体が不自然な色合いになったり合成物体と背景がうまく調和しなかったりすることも多い. これに対し, 提案手法では畳み込みニューラルネットワークを用いて画像の高レベル特徴を抽出し, シーン情報を考慮して合成物体と背景が自然に調和した画像を直接出力できるフレームワークを構築した. この中で, attention 機構を応用し, 畳み込みネットワーク内部で前景領域と背景領域を調和させる新たなモジュールを考案した.



図 3: 提案手法による画像調和の例.

このモジュールは, ネットワークの中間層で前景領域と背景領域の特徴量の標準偏差を合わせることで, 高レベル特徴空間上で統計量を調和させ, より自然な画像調和を実現できる (図 3). ユーザテストも含めた検証実験により, 既存手法よりも提案手法が最も高精度で画像調和を行えることを確認した. さらに, 提案モジュールはあらゆる畳み込みニューラルネットワークモデルに組み込むことが可能であり, 実験によって既存の畳み込みネットワークベースの画像調和手法の精度を向上させることができることを示した.

本研究成果は, コンピュータビジョン分野の準トップカンファレンスである BMVC 2021 にフルペーパーで採択された. また, 同分野の国内最大の査読付き会議である MIRU 2021 にオーラル発表で採択されている.

(3) 経年変化の再現

画像の経年劣化を再現するため, 経年劣化テクスチャを生成し, それを入力画像に合成することで, 高品質の経年劣化画像を生成するフレームワークを構築した. この手法は自身の先行研究を応用し, 錆や苔などの経年劣化テクスチャを深層生成ネットワークによって生成し, これを陰影など考慮して対象物体に合成することで, 多様な経年劣化を再現することができる. このため, まず錆や苔などのテクスチャ画像のデータセットを構築し, これを用いて生成ネットワークを学習させることで, 多様な経年劣化テクスチャを生成することができるよう



図 4: 提案手法による経年変化の再現.

になる。この生成ネットワークには、最新の敵対的生成ネットワークを用いた。図4は提案手法によって生成した経年劣化画像の例である。

今後は、研究成果(1)や(2)を活用し、対象物体の効果的な抽出や自然な合成を行うことで、さらに高品質かつ使いやすいフレームワークを構築していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Shimon Nakaune, Satoshi Iizuka, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 Skeleton-aware Text Image Super-Resolution
3. 学会等名 The British Machine Vision Conference (BMVC) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuantian Huang, Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 High-quality Multi-domain Artwork Generation from Semantic Layouts
3. 学会等名 第24回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中畝志門, 飯塚里志, 福井和広
2. 発表標題 文字構造を考慮した深層学習によるテキスト画像の超解像
3. 学会等名 第24回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 AIによる絵画や映像の修復とその課題
3. 学会等名 色材アドバンスドセミナー2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 深層学習による白黒写真の自動カラー化
3. 学会等名 令和3年度画像保存セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 深層学習による画像処理
3. 学会等名 VC + VCC 2021（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hao Guoqing, Satoshi Iizuka, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 Image Harmonization with Attention-based Deep Feature Modulation
3. 学会等名 The British Machine Vision Conference (BMVC)（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 DeepRemaster: Temporal Source-Reference Attentionを用いた動画のデジタルリマスター
3. 学会等名 Visual Computing 2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 Temporal Source-Reference Attentionを用いた動画のデジタルリマスター
3. 学会等名 FIT2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Guoqing Hao, Satoshi Iizuka, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 Image Harmonization with Attention-based Foreground-background Feature Map Modulation
3. 学会等名 MIRU2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuantian Huang, Satoshi Iizuka, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 Controllable Artwork Synthesis via Two-stage Adversarial Networks
3. 学会等名 MIRU2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Horiuchi, Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, Hiroshi Isihikawa
2. 発表標題 Spectral Normalization and Relativistic Adversarial Training for Conditional Pose Generation with Self-Attention
3. 学会等名 International Conference on Machine Vision Applications (MVA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuhei Yokoo, Satoshi Iizuka, Kazuhiro Fukui
2. 発表標題 MLSNet: Resource-Efficient Adaptive Inference with Multi-Level Segmentation Networks
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mayu Omiya, Yusuke Horiuchi, Edgar Simo-Serra, Satoshi Iizuka, Hiroshi Ishikawa
2. 発表標題 Optimization-Based Data Generation for Photo Enhancement
3. 学会等名 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横尾修平, 飯塚里志, 福井和広
2. 発表標題 MLSNet: Multi-Level Segmentation Networksによる リソース制約を考慮した適応的推定
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 ディープラーニングによる対話的な画像処理
3. 学会等名 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯塚里志
2. 発表標題 深層学習と画像編集
3. 学会等名 可視化情報シンポジウム2018 (招待講演)
4. 発表年 2018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