

ひび割れ進展性評価のための機械学習を用いた画像レジストレーション技術の検討 (シンポジウム講演概要)

Investigation of machine learning based image registration for crack propagation evaluation (Proceedings of Symposium on Applied Mechanics)

楠本 史弥 (立命館大・理工) 野村 泰稔 (立命館大学・理工)
Fumiya KUSUMOTO, Ritsumeikan University
Yasutoshi NOMURA, Ritsumeikan University
E-mail: ce0020hi@ed.ritsumeikai.ac.jp

This study aims to conduct image registration on concrete crack images by machine learning and evaluate its accuracy and availability as a complementary technology to AKAZE algorithm. For image transformation methodologies, this study uses affine and homography transformation for linear transformation, and Thin-Plate-Spline (TPS) methodology for non-linear transformation. On the result of image registration experiment, certain accuracy was seen on affine and TPS. On the other hand, homography based registration could not success.

1. はじめに

近年土木構造物の点検の一手法として、表面画像と AI を用いた損傷の自動検出技術が試みられている。しかしながら、点検においては損傷の検出に加えて、過年度画像との比較によって損傷の進展性を評価することが重要であるが、一定の画角で表面画像を取得するのが困難であるために、進展性まで評価することのできる AI 技術はまだ少ない。画角変動の問題は画像レジストレーション技術によって解決が可能であり、数学的アルゴリズムの AKAZE を用いたレジストレーション手法が既にあるが、AKAZE では対応不能な画像も存在する。そこで本研究はコンクリートひび割れ画像を対象として、過年度画像と評価年度画像の損傷位置を一致させる線形・非線形画像レジストレーションを機械学習によって実行し、その精度と AKAZE 手法の補完技術としての機械学習手法の可用性について検証する。

2. レジストレーションシステムの流れ

画像レジストレーションでは画角調整対象の画像と、画角を参照される画像の 2 種類をシステムに入力し、それらの共通特徴量・特徴点を検出、その対応から画像変形パラメータを計算、画像に適用することでレジストレーションを実行する。本研究では画角調整、参照画像として、点検で発見されたコンクリートひび割れの過年度と評価年度画像を想定した画像を検証に用いる。

3. 機械学習モデル

(1) モデルの概要

機械学習による画像レジストレーションに関する先行研究¹⁾として、畳み込みニューラルネットワークを用いた方法が Rocco らにより提案されている。この論文で提案されたモデルの入力は、一般的なレジストレーションシステムと同様に、画角調整対象画像と画角参照画像の 2 種類である。本研究においては、このモデルをコンクリートひび割れ画像で転移学習させた後、検証実験に使用する。

モデルの出力はアフィン行列、ホモグラフィ行列、TPS 法の変形パラメータの 3 種類から選択でき、出力ごとにモデルの出力値の数や重みが異なるため、それぞれに合わせて学習を行った後に、モデルを使用する。

(2) モデルの構造

本モデルは処理順に特徴量抽出、特徴量マッチング、変形パラメータ回帰の 3 つの部分から構成される。

特徴量抽出部分では、畳み込み計算によって画角調整・参照画像から特徴量を 2 セットの 3 次元配列の特徴量マップとして出力する。モデル構造にはクラス分類モデルとして学習された機械学習モデル VGG16 の、特徴量抽出部分を流用し、重みは固定する。流用によって効率的に被写体特徴量を抽出することが可能なほか、重みの固定によって学習にかかる時間を大幅に削減している。

特徴量マッチング部分では 3 次元配列の特徴量マップを、行または列方向にチャンネルの要素を持った 2 次元配列にし、2 セットの特徴量マップの行列積を計算することで、各特徴量どうしの類似度を計算する。類似度は再度 3 次元配列にされたのちに変形パラメータ回帰部分に渡される。

変形パラメータ回帰部分は主に畳み込み層と全結合層から構成されており、特徴量マップの類似度を畳み込み計算で圧縮したのちに、畳み込み結果から回帰式によって画像変形パラメータを出力する。本モデルでは変形パラメータ回帰部分の重みのみが学習更新される。

4. 画像変形手法

画像変形には線形・非線形変換の 2 種類を用いる。線形変換手法にはアフィン変換とホモグラフィ変換を用い、非線形変換手法には Thin-Plate-Spline 法 (TPS 法)²⁾を用いる。

アフィン変換は画像に対して拡大縮小、回転、せん断、平行移動を加える変形手法であり、ホモグラフィ変換は凸四角形画像を別の任意形状の凸四角形画像に変形させる手法である。このためアフィン変換はホモグラフィ変換の一種として扱われる。TPS 法は画像上に定義されたコントロールポイントを任意の位置に移動させることで、画像に対して歪み変形を加える変形手法である。

5. 精度検証実験

(1) 実験概要

精度検証実験として、機械学習モデルをコンクリートひび割れ画像で学習させた後、学習データの検証データをランダムに回転、拡大縮小した画像と、ひび割れを別画角で撮影した画像に対して、線形・非線形画像レジストレーションを行う。結果画像にはひび割れのマスクをオーバーレイ表示し、視覚的にレジストレーション精度を評価する。また、AKAZE 補完性の評価のため、AKAZE によるレジストレーションを実行し、機械学習手法と精度を比較する。AKAZE 手法ではホモグラフィ変換を用いてレジストレーションを行う。

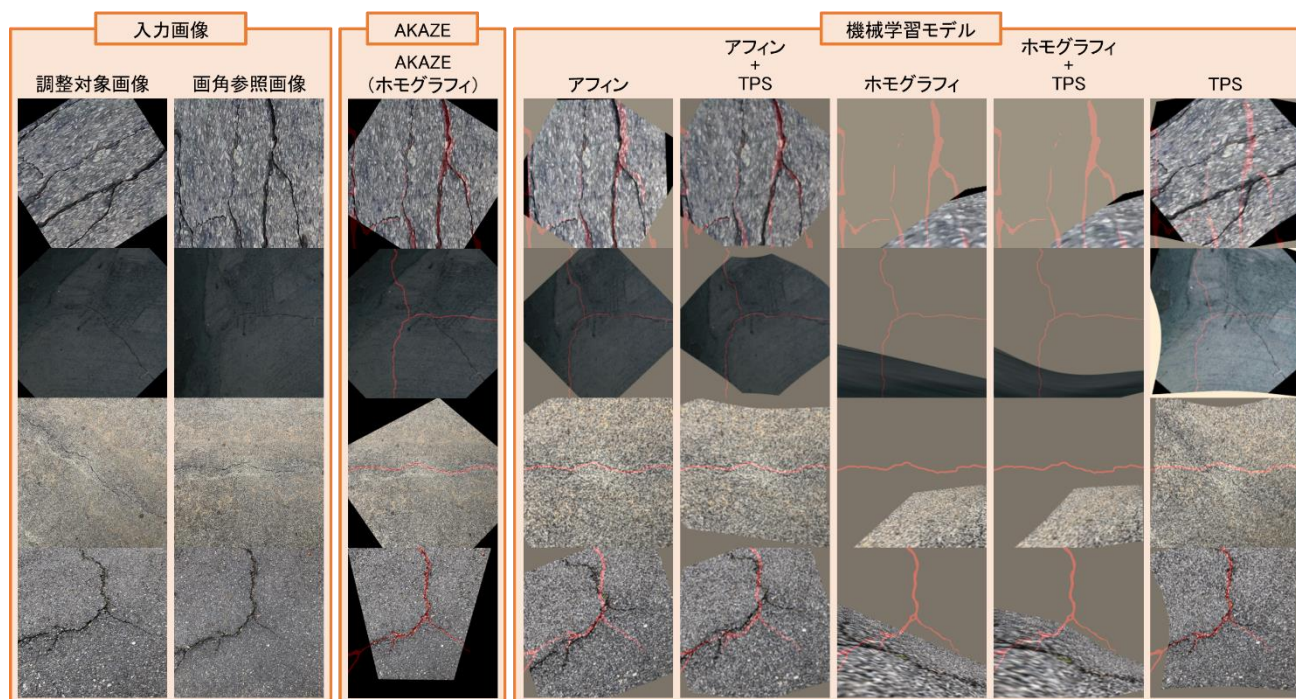


図-1 レジストレーション結果画像

(2) 実験結果

図-1 に実験で用いたレジストレーション対象となる画角調整対象画像、画角参照画像、AKAZE 手法の結果画像、機械学習手法の結果画像を示す。レジストレーション結果画像には画角参照画像のひび割れ位置を赤色で表示している。

AKAZE 手法の結果画像では、ひび割れのマスク上にひび割れ位置が高精度に一致した。しかし図-1 の 2 段目の画像では AKAZE 特徴量が十分に抽出できず、画像変形が不可能で、レジストレーションに失敗した。

機械学習モデルによる手法のうち、アフィン変換を用いた結果では、図-1 の 3 段目までの画像のように、AKAZE 手法には及ばないが、高精度で成功し、AKAZE 手法で失敗した図-1 の 2 段目の画像においても成功した。しかし、図-1 の 4 段目の遠近法による形状変化が必要なレジストレーションには失敗した。一方アフィン変換後に TPS 法を適用すると、図-1 の 4 段目の画像において、マスク位置にひび割れが一致する部分が増えた。これは非線形変換によって線形部分の結果に補正が効いたためと考えられる。

機械学習モデルによる手法のうち、ホモグラフィ変換を用いた結果では、TPS 法を併用した場合であっても、ひび割れ位置がマスクに全く一致しなかった。このため、本研究のモデルでコンクリートひび割れ画像のレジストレーションを行うのは困難であると考えられる。

機械学習モデルによる手法のうち、TPS 法単体での結果では、図-1 の 4 段目のレジストレーションに遠近法による形状変化が必要な画像において、主要なひび割れの部分で高い精度でのレジストレーションに成功した。

6. 結論

本研究ではコンクリートひび割れ画像の点検画像を想定した、別画角で撮影されたひび割れ画像に対して、機械学習モデルによるレジストレーションを実行し、その精度と AKAZE によるレジストレーション手法への補完性を検証した。

実験の結果、AKAZE 手法と比べ、機械学習によるアフィン変換でのレジストレーションは精度で劣るが、画角参照画像のひび割れ位置に一致する部分が多く、機械学習手法でもレジストレーションが十分可能であるという結果が得られた。また、TPS 法を用いることで、アフィン変換の結果を補正して精度を上げることも可能なほか、TPS 法単体でレジストレーションを行うことで、遠近法による形状変化に対応したレジストレーションが可能であることが確認された。さらに、AKAZE 手法でレジストレーションに失敗した画像であっても、機械学習手法はレジストレーションが可能であり、AKAZE の補完が可能であることが確認された。一方ホモグラフィ変換を用いたレジストレーションでは、結果画像と画角参照画像のひび割れ位置がほとんど一致しないという結果がみられた。このことから本研究で利用した機械学習モデルでは、コンクリートひび割れ画像に対する、ホモグラフィ変換を用いたレジストレーションが困難であることが示された。

今後の課題として、本研究の機械学習モデルで失敗した、ホモグラフィ変換によるレジストレーションが可能な機械学習モデルの開発が考えられる。ホモグラフィ変換はアフィン変換を実行でき、遠近法による形状変化に対応できる。ゆえにホモグラフィ変換に対応したレジストレーションシステムであれば、アフィン変換のみに対応したシステムよりも高い汎用性を期待できるためである。

参考文献

- 1) Rocco I. & Arandjelovic R. & Sivic J., Convolutional neural network architecture for geometric matching, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR): 39-48, 2017
- 2) Thin Plate Splines Warping,
<https://khanhha.github.io/posts/Thin-Plate-Splines-Warping/>
(閲覧日 2023 年 1 月 18 日)