

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04302

研究課題名（和文）少数の学習データと深層学習を用いた舗装路面のひび割れ自動抽出

研究課題名（英文）Automatic crack detection from pavements using deep neural networks with small data set

研究代表者

藤田 悠介 (Fujita, Yusuke)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号：40509527

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）：本研究では、コンクリート構造物や舗装路面の維持管理のためのひび割れ評価の高精度化と効率化を目的として、少数の学習データにより深層学習モデルを構築する方式を開発した。本手法では、ひび割れ検出モデルとひび割れ抽出モデルを用いる。ひび割れ検出モデルの構築では、ひび割れありのクラスの定義方法が、ひび割れ検出モデルの学習時間やモデルの性能に影響を及ぼすことを明らかにした。また、学習済みのひび割れ抽出モデルを用いて、ひび割れ検出モデルを構築することにより、アノテーションを省力化させ、モデルの性能を向上させる方法を開発した。従来の画像処理法と比較して、提案モデルの有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インフラの維持管理の効率化や技術の進展のために、深層学習技術の適用は重要な課題である。一般に、深層学習モデルの性能を高めるためには、大量の教師データを必要とするが、実環境下でのデータの収集や画素レベルでの正確なラベル付け（アノテーション）は、膨大な作業を伴う。本研究では、モデルの性能を高めるために教師データを増やすのではなく、クラスの定義法を見直すことにより少量サンプルで効果的にモデルを構築することや、アノテーションを省力化することにより教師データの作成を効率化する方法を提案し、その有効性を明らかにした。本方式は、ひび割れ抽出に限らず、多様な分野の問題に応用できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method to build a deep learning model using a small number of training samples to improve the accuracy and efficiency of crack evaluation, for the maintenance of concrete structures and pavement surfaces. In the proposed method, a crack detection model and a crack extraction model are used. The experimental result revealed that defining the crack class affects the learning time of the crack detection model and the performance of the model. Furthermore, a method was developed to train a crack detection model using a trained crack extraction model. The proposed method reduces the annotation cost and improves the performance of the crack detection model. The effectiveness of the proposed model was showed, compared to it with conventional image processing methods.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：深層学習 畳み込みニューラルネットワーク 画像認識 少サンプル アノテーション 省力化 外観検査 ひび割れ

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

橋梁・トンネルや道路などの老朽化が進む社会インフラをいかに維持管理し長寿命化させるかは重要な課題である。近年、構造物の点検の高度化・効率化に向けて深層学習の活用にかかる期待は大きい。しかし、想定される多様な環境下で取得されたデータに正解データを付与した大規模な学習データを必要とすることは課題である。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート構造物や舗装路面のひび割れ評価の高度化・効率化を目的として、従来の画像処理と深層学習を組み合わせ、少数の学習データによりモデルを構築する方式を開発することを目的とする。この実現のために、学習に必要なデータ量が膨大でありデータ収集のコストを抑える、画素レベルでの教師データの作成が煩雑であるため簡略化する、また、屋外の照明環境の変動による不鮮明な画像への頑健性を高める、方式を開発する。

3. 研究の方法

(1) 深層学習を用いたひび割れ抽出モデルの開発

コンクリート構造物のひび割れを対象として、既存の画像処理を用いた半自動処理を効率的にかつ精度良く処理するために、深層学習を適用した新たな自動処理方式を開発した。従来の自動処理の性能を上回る方式の実現を目標とした。この方式は、舗装路面のひび割れ抽出においても適用が期待できる。

(2) 舗装路面に対する前処理の検討

舗装路面画像は、コンクリート構造物を対象とした場合と比べて、照明条件の変動が大きい。この照明の不均一性により、未学習の条件に対して頑健性が低く、多様な条件に応じた学習画像が必要である。この問題に対して、あらかじめ処理を施した画像を入力とする方式を開発し、少量の学習データにより学習可能な方式を検討した。

(3) 深層学習モデルの教師データ作成の省力化

深層学習モデルの構築には、大量の教師データが必要である。特に舗装路面の画像は、撮影時の日照条件などを統一できないため、照明変動によるひび割れ検出性能が低下する。一般には、多様な条件下で撮影された画像を取得して、画素単位でひび割れ位置を指定するアノテーションが必要となる。このアノテーションを省力化するために、深層学習モデルの可視化技術を適用し、「画像上のひび割れ発生位置を大まかに指定することにより、画素レベルでのひび割れ抽出が可能な新たな学習方法」を検討した。

(4) 途切れ補間モデルによる高精度化

コンクリート構造物のひび割れ抽出において、低解像度画像を使用すると、コントラストが弱い箇所、抽出されたひび割れに途切れが生じる問題がある。これに対して、新たに途切れ補間モデルを構築し、ひび割れ検出性能の向上を図った。

(5) 学習済みひび割れ抽出モデルを用いたひび割れ検出モデルの高性能化

ひび割れ検出モデルの学習では、ひび割れの有無のみを教示する教師データを使用するが、画像の小領域中のどこにひび割れが見られるかをモデルが正確に処理しているかは明らかではない。この問題に対して、ひび割れ検出(分類)モデルの学習やモデルによる分類時に、学習済みのひび割れ抽出モデルを適用することにより、ひび割れ検出(分類)モデルの性能を向上させる方式を開発した。

(6) ひび割れクラスの再定義による高性能モデルの構築

ひび割れは、背景に比べて占める面積が小さく、形状が多様であるという特徴を有する。ひび割れの有無を分類するとき、ひび割れありのクラスをいかに定義するかは重要な問題となる。ひび割れ検出モデルの構築において、ひび割れありのクラスの定義方法を見直し、ひび割れ検出モデルの教師データ(クラス定義)がモデルの性能に及ぼす影響について評価した。

4 . 研究成果

(1) 深層学習を用いたひび割れ抽出モデルの開発

コンクリート構造物の画像データを用いて、基盤とする深層学習を用いたひび割れ抽出法を開発した。従来の画像処理アルゴリズムによる自動処理と比較して、処理の性能が向上することを明らかにした。また、半自動処理と比べて処理性能が下がるが、半自動処理ではひび割れ位置を全て目視で指定する必要があり、開発した手法では、ひび割れ位置の検出が自動化されており、効率化につながると考えられる。

(2) 舗装路面に対する前処理の検討

ひび割れ抽出のための深層学習モデルを舗装路面データに適用して、有効性を検証した。照明変動の影響が課題であることを確認した。その対策として前処理を導入することにより、比較的、小規模な学習データにより高精度な処理が可能であることを確認した。コンクリート構造物のひび割れ抽出モデルと同一のモデルでは十分な性能が得られていないため、別のモデル構造を開発することが課題である。

(3) 深層学習モデルの教師データ作成の省力化

ひび割れ検出モデルの学習に用いる教師データ作成のためのアノテーションを省力化するために、画像上のひび割れ発生位置を大まかに指定することにより、画素レベルでのひび割れ抽出が可能な新たな学習方法を検討した。小領域単位でひび割れ発生位置を検出する分類モデルに、CNN の識別根拠を可視化する技術を適用して、分類モデルによる画素レベルでのひび割れ抽出の有効性を評価した。現状の手法では、未学習の形状のひび割れの検出性能が低いため、データ拡張などによる学習データの多様性を高めるなどが課題である。

(4) 途切れ補間モデルによる高精度化

低解像度画像によるコンクリート構造物のひび割れ抽出においては、コントラストが弱い箇所、抽出されたひび割れに途切れが生じる問題に対して、新たに途切れ補間モデルを構築した。このモデルを従来のひび割れ検出モデルと併用することにより、ひび割れ検出率が向上することを確認した。

(5) 学習済みひび割れ抽出モデルを用いたひび割れ検出モデルの高性能化

ひび割れ検出モデルの学習やモデルの適用時に、学習済みのひび割れ抽出モデルを適用することにより、ひび割れ検出モデルの性能が高まることを検証した。学習済みのひび割れ抽出モデルを Attention map としてひび割れ検出モデルの学習や識別時に使用した。ひび割れ抽出モデルの Attention map を用いて学習時や識別時の特徴マップに重みづけすることにより、ひび割れ検出に有効な特徴量を強調し、高性能なモデルの構築や識別が可能になることを確認した。この方式を用いれば、一部のアノテーション済みのデータを用いて構築したモデルを使用しながら、未学習のデータを用いてひび割れ検出モデルを再学習させることにより、高性能なモデルを構築することが期待できる。

(6) ひび割れクラスの再定義による高性能モデルの構築

ひび割れ有無を分類するモデルの構築において、ひび割れありのクラスの定義方法を見直し、精度の高いモデルを構築できる方法を検討した。ひび割れ有無の分類モデルでは、モデルが処理に使用する領域に対してその中心の一部を用いてひび割れ有無を定義することにより、高い分類性能をもつモデルを構築できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 FUJITA Yusuke, KOBAYASHI Keita, HAMAMOTO Yoshihiko	4. 巻 77
2. 論文標題 IMPROVEMENT OF EFFICIENCY AND PRECISION OF CRACK EXTRACTION METHOD USING DEEP LEARNING MODELS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3 (Civil Engineering Informatics)	6. 最初と最後の頁 14~21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejcei.77.1_14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田悠介, 小林圭太, 田坂祐紀	4. 巻 -
2. 論文標題 深層学習を用いたコンクリート構造物のひび割れ自動抽出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田 悠介	4. 巻 30
2. 論文標題 深層学習を用いたインフラの外観検査のためのひび割れ自動抽出	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 11-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林 圭太, 藤田 悠介, 浜本 義彦
2. 発表標題 深層学習の可視化を用いたインフラの外観検査のためのひび割れ自動抽出
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林 圭太、藤田 悠介、浜本 義彦
2. 発表標題 CNNを用いたインフラの外観検査のためのひび割れ自動検出
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ http://www.ir.csse.yamaguchi-u.ac.jp/~fujita/
--

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