

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 王 璞瑾

審査委員会は、上記論文提出者が提出した博士学位請求論文「A Ceiling Damage Detection System Using Deep Learning Approach (Convolutional Neural Networks) (深層学習(畳み込みニューラルネットワーク)による天井被害検出システム)」に対し、提出約1年前の予備審査、本論文と提出者が審査委員に対し個別に行った説明、その時の質疑応答、論文発表会(口頭による最終試験)とその時の質疑応答、論文発表会後に開催した審査委員会での審議、その後の指摘事項に対する提出者の応答、を通し当該論文の審査を行った。その審査結果を下記にまとめる。以下においては、Convolutional Neural Networks を CNN と表示する。

本論文は、近年問題となっている天井落下事故により人命に危害が及ぶことを防止する目的で、機械学習による画像認識を用いて天井の損傷の有無を非専門家のみでも判定可能とする手法について研究及びプログラムの開発を行ったものである。

第1章では、研究の背景、機械学習の建設工学分野への応用事例の調査、天井損傷検出への機械学習の応用の可能性、研究目的、およびこの論文の概要を述べている。

第2章では、本論文の計算部分の理論的な基礎をなし、また、近年急速な発達を見せている深層学習と畳み込みニューラルネットワークの既往の理論について説明している。

第3章では、本論文で構築するシステムの基礎となる天井損傷評価のための CNN モデルの作成と訓練課程について述べている。川口研究室に多数蓄積された天井の画像データを基に深層学習に特化したラベル付けを作成し、天井写真認識のための CNN モデルを構築し、オーバーフィッティング(過学習)にならないよう対応策を使用して訓練を行ってモデルを作成している。また2000程度のデータを用いて訓練を有効に行う方法を示し、最後に訓練された CNN モデルのテストを行い、比較的高い予測精度であることを確認している。

第4章では、本論文の特徴である、訓練された CNN モデルの可視化とユーザーとのインタラクションに関して述べている。CNN モデルはモデルが学習した

概念の基本的な知覚的解釈を顕著性マップ(saliency map)および Grad-CAM 法を使用して画像ピクセルへ出力し視覚化することができる。これらの視覚化は、CNN モデルが学習結果に基づき「無傷」および「損傷」の判別結果を出力するだけでなく、天井損傷予測個所の検出とユーザーとの情報共有を可能とする。これによりユーザー側による CNN モデルの予測過程の理解、或いはユーザーが着目点に基づきさらにズームアップした画像を CNN モデルに提供することにより、より詳細な損傷個所の特定を行っていくことを可能とする。この過程結果を internet 上に構築し、さらに学習データとしてストックすることで、広範なユーザーに利用されさらに CNN モデルの精度向上も可能となる。4 章ではこれらを提案するとともに、本論文で提案しているシステムの全体像について述べている。

第 5 章では、予めトレーニングされた CNN モデルに対して別の新しい天井損傷検出 CNN モデルを作成し転送実装すること(transfer learning)について説明している。VGG16 と VGG19 のトランクを使用して 2 つの新しい天井損傷検出用 CNN モデル(転送学習モデル)を構築し、転送学習モデルが最初から構築された CNN モデルよりも早く、よく学習できることを確認している。最後に、転送学習を用いた天井損傷検出システムを構築している。

第 6 章では、本論文の主な結論を、損傷、損傷の 2 つの分類に対して 2000 程度のデータから高解像度のデータによる判定を可能にしている点、天井の損傷検出に CNN モデルによる判定が有効であることが分かった点、Saliency Map 及び Grad-CAM の出力による user-CNN インタラクションを提案した点、転送学習が有効である点などについてまとめている。さらに、天井損傷検出における深層学習の今後の適用性について述べている。

本論文で扱っている機械学習や深層学習は、現在急速に応用の広まっている分野であり、本論文は建築安全性分野の損傷検出への比較的早い適応例となっ
てはいるものの、単なる適応例では十分な研究とはなりえない面がある。本論文では、単なる適応にとどまらず、顕著性マップ(saliency map)および Grad-CAM 法を使用してユーザーとのインタラクションを設定し、さらなる精度向上及び学習性の向上を可能としている点が大きな特徴である。このような機械学習の応用はさらに今後の発展が期待される部分である。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。