HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	構造物の維持管理支援のための異種特徴を用いた機械学習に基づく変状分類に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	前田, 圭介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13523号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74260
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Keisuke_Maeda_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　　氏名　前田　圭介

審査担当者　主　査　教　授　長谷山 美紀
副　査　特任教授　山本 強
副　査　教　授　荒木 健治
副　査　教　授　坂本 雄児
副　査　准教授　小川 貴弘

学位論文題名

構造物の維持管理支援のための異種特徴を用いた機械学習に基づく変状分類に関する研究
（Machine Learning-based Distress Classification with Heterogeneous Features for Maintenance Inspection of Structures）

本論文は, 構造物の効率的な維持管理支援の実現を目指して行われた機械学習に基づく変状分類に関する研究の成果をまとめたものである.

現存する橋梁やトンネルなどの構造物の多くは, 高度経済成長期に集中的に建設され, 現在, 急速な老朽化の時期を迎えている. 平成 29 年度国土交通白書では, 建設から 50 年以上が経過する構造物の割合は今後 15 年間で急増すると述べられている. 例えば, 橋梁におけるその割合は, 2018 年に約 25% であったものが, 2033 年には 63% に達するとされている. また, 少子高齢化の進行により生産年齢人口が 1995 年をピークに減少に転じており, 構造物の維持管理の分野においても, 高齢者の大量離職による中長期的な技術者不足が生じることが懸念されている. そこで, 構造物の急速な老朽化に伴う維持管理・更新費用の増大および将来的な技術者不足に対処するため, 国土交通省では, 予防保全等の計画的なメンテナンスによる費用の削減や業務の効率化を目的として, 「インフラメンテナンス革命」を推進し, 異分野との連携による効率的な構造物の維持管理の実現を目指している. このような背景から, 構造物の点検の無人化や診断の自動化に向けた取り組みがなされており, その実現のため, 機械学習を用いたデータ解析技術の創出が求められている. 具体的に, 構造物に発生する変状が撮影された画像 (以降, 変状画像) を用いて, 機械学習により変状の種類や劣化の度合いを自動分類 (以降, 変状分類) することは, 技術者の負担を軽減するため, 有効な手段の一つである.

画像の自動分類は従来より一般物体認識の分野で活発に研究が行われており, 変状分類を行う際にも基礎的な技術となる. これらの画像分類においては, 深層学習の導入により様々なタスクの精度向上が報告されている. 特に, Convolutional Neural Network (以降, CNN) は, 入力画像と対応する出力ラベルの組を用い, 多数の隠れ層を構築することで分類に有効な弁別性の高い特徴への自動変換を実現する. 一方, 効果的な特徴変換を行うためには, 隠れ層を構成する膨大なパラメータを最適に決定する必要があることから, 大量の学習画像を必要とする. しかしながら, 構造物の維持管理の分野では, 実際の維持管理業務の際に技術者が手動で変状画像を撮影するため, 大量の画像を用意することは困難である.

このような問題を解決するためには, 従来より, 変状領域のパッチ分割や変状画像に対する回転・コントラスト調整などによる学習画像の充足, 一般物体認識用の画像で学習されたパラメータを用

いた転移学習など, 少量画像に対応した様々なアプローチが有効であると考えられるが, 変状画像には, 背景などの不要な領域が多く存在することや同一の変状においても多様な視覚的特徴を有することから, 学習画像の充足や転移学習の効果が低く, 画像のみを用いた変状分類には精度向上に限界が存在する. ところで, 実際の維持管理業務では, 技術者は変状画像の撮影に加えて, 構造物の部位や部材の名称等をテキストデータとして記録し, 変状画像とテキストデータを総合的に評価することで最終的な判断を下している. したがって, 変状分類にテキストデータを導入することはその高精度化に有効であると考えられる. そこで, これらの異なる種類のデータから得られる特徴 (以降, 異種特徴) の関係性に基づき, 分類に有効な特徴へ変換可能な射影を導出し, 深層学習に導入することで, 上記課題の解決が可能になるとの着想に至った.

本論文では, 異種特徴間の関連性に基づいて, 高い弁別性を有する特徴への変換の枠組みを導入した深層学習に基づく高精度な変状分類を実現する. この実現のためには, 異種特徴および変状との間に関連性が存在することを明らかにし, その関連性に基づき効果的な特徴変換を行う射影を導出し, 深層学習へ導入する必要がある. したがって, 本論文は, 1) 異種特徴間の関連性の評価, 2) 分類に有効な特徴へ変換可能な射影の導出, 3) 異種特徴間の関係性を考慮可能な深層学習手法の構築により構成される. まず, 1) では, 変状画像から画像特徴, テキストデータからテキスト特徴をそれぞれ算出し, それらの特徴と変状を変数とみなすことで, 各変数間の因果関係を確率値として表現可能なベイジアンネットワークを構築する. これにより, どの特徴がどの変状に関連があるかなど, 異種特徴間の関連性の存在を明らかにする. 次に, 2) では, 1) で得られた関連性により, 変状毎に分類に有効な特徴が異なることが明らかとなるため, 画像特徴とテキスト特徴に対し, 異種特徴間の相関関係を考慮可能な正準相関分析を適用する. 正準相関分析を用いることで, 互いに高相関となる特徴へ変換可能とする射影を導出し, 変状に関連性の高い特徴への変換を実現する. 最後に, 3) では, 2) で得られた射影を隠れ層に導入した順伝搬型の深層学習として新たに Correlation-maximizing Deep Extreme Learning Machine-local Receptive Field を構築する. 順伝搬型の深層学習の隠れ層の重みとして異種特徴の相関関係を考慮して算出した射影を用いることで, 少ない層で分類に有効な特徴への変換を可能とすることから, 最適に決定すべきパラメータ数の削減が可能となる. 以上により, 異種特徴間の関連性に基づいて, 高い弁別性を有する特徴への変換の枠組みを導入した深層学習に基づく, 高精度な変状分類を実現する. 本論文で提案する手法は, 実データにおける異種特徴間の関連性の存在を明らかにする新しい取り組みである. また, 少量の学習画像を用いる際に, CNN を代表とする従来の深層学習では分類に有効な特徴の算出は困難であったが, 本手法により異種特徴間の相関関係に基づく特徴変換の枠組みを導入した深層学習を構築することで解決可能とする.

以下に本論文の構成を示す. 第 1 章では, 本論文の研究背景および目的を述べる. 第 2 章では, 本研究の関連研究として構造物の維持管理支援の効率化に向けた機械学習に基づく解析手法に関する従来研究を紹介し, 本論文で解決すべき問題を明らかにする. 第 3 章では, 画像特徴とテキスト特徴および変状間の関連性を表現可能なベイジアンネットワークに基づく変状分類手法を提案する. 実験により, 変状の種類および異種特徴間に関係が存在することを明らかにする. 第 4 章では, 異種特徴間の相関関係を考慮した変状分類手法を提案する. 画像特徴とテキスト特徴に正準相関分析を適用することで得られる射影が, 弁別性の高い特徴への変換を可能とすることを実験により確認する. 第 5 章では, 異種特徴の相関関係を考慮可能な順伝搬型の深層学習を構築することで, 高精度な変状分類を実現する手法を提案する. 実験により, 少量の学習画像を用いて, 弁別性の高い特徴への変

換が可能であることを確認する. 第 6 章では, 本研究の成果を要約し, 論文全体のまとめとする.

以上を要約すると, 本論文は, 実際の構造物の維持管理業務で撮影される変状画像と記録されるテキストデータから得られる異種特徴を用いて, 機械学習による高精度な変状分類を実現している. さらに, 本手法を実際の維持管理業務で取得されたデータに適用する実験により, その有効性を示しており, 本研究を通じて, 情報科学分野の発展に貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与されるものと認める.