

審査の結果の要旨

氏名 川勝 孝也

本論文は「Deep Sensing Approach to Media-Fusion Analysis for Modeling Bridge Dynamics (橋梁の動態モデル構築のための深層計測による媒体統合解析)」と題し、英文8章から構成されている。Internet of Things (IoT)およびCyber Physical System (CPS)を適用した社会インフラのセンシングと機械学習による新しいデータ解析手法の提案とその実現に関するものである。

第1章は「Introduction(序論)」と題し、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)のもとで進めている「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の中の核心的新技術として、深層ニューラルネットワークを活用した人工知能によるアプローチが求められており、そのパイオニア的な研究開発の意義や社会インフラ、特に道路橋の安全性を評価する新技術が強く求められていることを述べている。

第2章は「Structural Health Monitoring(構造物健全性モニタリング)」と題し、土木学分野で培われてきた手法の紹介とともに、橋梁におけるセンサー利活用と長期モニタリング、そして高度に自動化された社会インフラの健全性監視システムに向けた展望などをまとめている。また、本論文で扱うBridge Weigh-In-Motion(BWIN)も説明し、過積載車を検知する手法として橋梁の健全性評価における重要性をまとめている。

第3章は「Neural Network Technology(ニューラルネットワーク技術)」と題し、CNN(畳込みニューラルネットワーク)やGAN(敵対的生成ネットワーク)などの最新のニューラルネットワークを概観しつつ、橋梁計測における車両の検出やトラッキングに適用するための映像解析手法を概観している。

第4章は「Traffic Surveillance System(交通監視システム)」と題し、本研究で実現したシステムの概念とその構成について論じている。損傷した橋梁では振動特性が変化することが知られており、提案手法では、CNNを用いて監視カメラ映像から車両を検知し、それによる橋梁の固有振動数および減衰定数を推定する方法を提案している。まず、橋梁に設置された監視カメラやひずみセンサーを含む異種のセンサーから特徴量を抽出し、共通の特徴空間で直接比較する仕組みを考案した。一方、橋梁の通過車両の速度や軸数などをCNNによって検出し、振動解析のための正解データとして活用することとし、そのデータセットの作成方法やアノテーションについて説明している。

第5章は「Vehicle Detection from Sensor Data(センサーデータからの車両検出)」

と題し、橋梁上を走る車両の軸重計測へのCNNの適用の新方式について論じている。BWIMで必要となる軸重の正確な計測を達成するには、車両の速度、軌跡、車軸の位置などのパラメータをセンサー情報から取得する必要がある。本手法では、一つのひずみセンサーで観測した橋の応答から特徴量を抽出し、車両の諸元を推定する。その後、同じひずみ応答を参照して軸重推定が実行される。CNNのパラメータは、監視カメラ映像から得られた正解データにより自動的に最適化される。初期設定段階では映像情報が必要であるが、最適化が終われば不要となる。この手法により低価格で小規模な単一センサー型BWIMの実用化が期待できる。

第6章は、「Anomaly Strain Detection (ひずみ異常値検出)」と題し、異常検知の技術により橋梁の損傷を検知する仕組みを提案している。橋梁が何らかの損傷を負った場合、車両通過時の応答特性が損傷以前と比べて変化する可能性がある。そこで、映像とひずみ応答のデータを共通の特徴空間に写像し、その距離をひずみ応答の異常性を表す指標とする手法を提案した。実験の結果、3種類の事例に分類でき、ひずみ応答の異常検知へと発展させる可能性を示している。

第7章は、「Strain Signal Prediction(ひずみ信号予測)」と題し、もう一つの異常検知技術を提案している。この手法では、生成モデルは敵対的学習アルゴリズムにより訓練しひずみ応答を予測する。実測波形と予測されたひずみ応答との差を見ることにより、物理量として異常検知できる点で、第6章で述べた手法に勝る特徴を持っている。

第8章は「Conclusion(結論)」であり、本論文で提案されたデータ解析手法および実験結果をまとめ、結論を述べるとともに、今後の研究の方向を論じている。

以上これを要するに、本論文は社会インフラ維持管理のためのセンシングとニューラルネットワークによる新しいデータ解析手法を提案し、橋梁上の通過車両の検出、速度や重量等の特徴量推定およびひずみ応答推定の新手法を提案しそれらを実現したものであり、インフラ維持管理における機械学習の実用化研究として、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は、博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。