

Cloud Simulation Based Bridge Damage Identification Enhanced by Computer Vision and Augmented Reality

**Schadensidentifikation von Brücken auf Basis von Cloud-Simulationen, verbessert
durch Computer Vision und Augmented Reality**

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing) genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

M. Sc. Fangzheng Lin

geboren am 9. März 1990 in Ningbo, Volksrepublik China

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing Raimar J. Scherer (Technische Universität Dresden)

Zweiter Gutachter: Prof. Zhiliang Ma (Tsinghua University)

Dritter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christian Koch (Bauhaus-Universität Weimar)

Tag der Einreichung: 24. Februar 2022

Tag der Verteidigung: 10. Januar 2023

Abstract

Various factors can contribute to the development of damage in structures, particularly in the case of bridges. If left unaddressed, this damage can ultimately result in structural failure. Consequently, the identification of damage is an ongoing concern during the operational and maintenance phases of these structures.

The literature review provides an overview of state-of-the-art approaches that address the issue of damage identification in construction. Numerous strategies and innovative convolutional neural networks have been developed to enhance traditional networks in the context of semantic segmentation. However, a comprehensive comparison of these networks has been rarely conducted. Furthermore, current methods for quantitatively assessing damage primarily rely on dynamics and data mining algorithms. Although cloud simulation, a well-established technology, has not yet been applied in this field, it holds potential for quantitative assessment of structural damage. Additionally, while visualization technologies have been extensively utilized to meet the viewing and interaction needs of end-users, their application in damage information management remains limited.

This dissertation focuses on bridges as representative structures and proposes a systematic methodology for damage identification, encompassing damage data acquisition, damage assessment, and damage data management. Semantic segmentation is employed for damage data acquisition. A comparative study is conducted to examine two strategies, namely attention mechanisms and generative adversarial networks, in order to enhance semantic segmentation. Based on the U-net, novel distribution types of attention mechanisms and generative adversarial networks with different discriminators are compared in a lightweight test. The best performed networks are then implemented in the validation process, and the combined effects of the attention mechanism and discriminator are investigated.

Qualitative and quantitative assessments are incorporated into the knowledge base for damage rehabilitation. As a result, the outputs of the knowledge base provide practical information for damage rehabilitation. Augmented reality is utilized to enhance the visualization experience during damage information management for on-site inspection and rehabilitation information. A prototype of a mobile application is validated for on-site inspection and visualization of rehabilitation information in a construction setting.

The entire research work is dedicated to reinterpreting the concept of system identification by exploring its connotation and expanding its denotation in the context of damage. The conclusion presents a marketing perspective on the findings.

Kurzfassung

Verschiedene Einflüsse können Schäden an Bauwerken, wie zum Beispiel Brücken, verursachen. Das Schadenswachstum führt letztendlich zum Versagen des Bauwerks. Um das Versagen rechtzeitig zu verhindern, ist die Schadensidentifikation während der Betriebs- und Instandhaltungsphase von großer Bedeutung.

Die Literaturdurchsicht gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf die Schadensidentifikation bei Bauwerken. In letzter Zeit wurden verschiedene Strategien und neuartige neuronale Faltungsnetze entwickelt, um die klassischen Netzwerke bei der semantischen Segmentierung zu verbessern. Es wurden jedoch nur wenige intensive Vergleiche zwischen den verschiedenen Netzen durchgeführt. Darüber hinaus werden heutzutage Methoden zur quantitativen Schadensbewertung auf der Grundlage von Dynamik- und Data-Mining-Algorithmen entwickelt. Eine neue und ausgereifte Technologie, die in diesem Bereich noch nicht eingesetzt wurde, ist die Cloud-Simulation, die auch zur quantitativen Bewertung von Bauschäden genutzt werden kann. Darüber hinaus wurden Visualisierungstechnologien weitgehend schon eingesetzt, um den Anforderungen der Endnutzer an Übersicht und gezielte Interaktion gerecht zu werden. Sie werden jedoch erst in geringem Maße für das Schadensinformationsmanagement genutzt.

Diese Dissertation konzentriert sich auf Brücken als repräsentative Bauwerke und schlägt eine systematische Methodik zur Schadensidentifizierung vor, die die Erfassung von Schadensdaten, die Schadensbewertung und das Schadensdatenmanagement umfasst. Für die Erfassung von Schadensdaten wird die semantische Segmentierung verwendet. Eine Vergleichsstudie mit zwei Strategien, nämlich den Aufmerksamkeitsmechanismen und generative adversarial Networks wird durchgeführt, um die semantische Segmentierung zu verbessern. Basierend auf dem U-Net werden neuartige Verteilungstypen von Aufmerksamkeitsmechanismen und generative adversarial Networks mit unterschiedlichen Diskriminatoren in einem leichtgewichtigen Test verglichen. Die am besten abscheidenden Netzwerke werden dann für den Validierungsprozess implementiert und die kombinierten Effekte des Aufmerksamkeitsmechanismus und des Diskriminators werden untersucht.

Die qualitativen und quantitativen Bewertungen werden in die Wissensbasis für die Schadenssanierung integriert. Die Ergebnisse dieser Wissensdatenbank liefern praktische Informationen für die Schadenssanierung. Zusätzlich wird Augmented Reality eingesetzt, um die visuelle Erfassung während des Schadensinformationsmanagements für Vor-Ort-Inspektionen und Sanierungsinformationen zu verbessern. Ein Prototyp einer mobilen Anwendung wird zur Visualisierung von Vor-Ort-Inspektions- und Sanierungsinformationen in einer Bausituation validiert.

Die gesamte Forschungsarbeit widmet sich der Neuinterpretation des Konzepts der Systemidentifikation, indem die Konnotation explizit dargestellt und die Bedeutung der Systemidentifikation bei Schäden erweitert wird. Die Marketing-Perspektive der neuen Methodik wird in der Schlussfolgerung dargestellt.