

BetonKalender 2027

Inhaltsverzeichnis

Automatisierte bildbasierte Schadenserkenkung an Betonbrücken

Thomas Braml, Konrad Bergmeister, Johannes Flotzinger

Introduction

Die Automatisierte, Bildbasierte Schadenserkenkung (ABS) ermöglicht die Klassifizierung, Vermessung und Verortung von visuell unterscheidbaren Schäden. Durch diese Automatisierung kann die Fehleranfälligkeit und der Arbeitsaufwand aufgrund manueller Erfassung dieser Attribute, wie bei der derzeit praktizierten Bauwerksprüfung, effizienter gestaltet werden. Während einer automatisierten Brückeninspektion werden Bilder in der Regel mit Geräten wie Drohnen oder Smartphones erfasst und anschließend von einem Modul zur Schadenserkenkung verarbeitet. Das Herzstück dieses Moduls ist die ABS. Die jüngsten Erfolge von ABS sind zurückzuführen auf erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von Bilderkennungsmodellen aus dem Bereich Deep Learning, und das Veröffentlichung von Datensätzen für die automatisierte Schadenserkenkung. Modelle, die auf derartige Datensätze trainiert wurden, zeigen häufig begrenzte Generalisierungsfähigkeit gegenüber realweltlichen Anwendungsfällen. Hierbei sind sie mit stark variierender Bildqualität sowie einer größeren Vielfalt an Schadensklassen konfrontiert, als sie in bestehenden Datensätzen abgedeckt wird. In folgendem Artikel werden wesentliche Publikationen zu datengestützten Lösungsansätzen für eine zuverlässige ABS zusammengefasst. Dabei werden Open-Source-Datensätze und neue Datensätze basierend auf realen und synthetischen Daten vorgestellt. Die wesentlichen Inhalte dieses Beitrags sind: Diskussion zu Open-Source-Daten: Durchführung einer umfassenden Optimierung der Trainingspipeline sowie Fusion offener Datensätze, wobei eine unzureichende Generalisierungsfähigkeit gegenüber realen Einsatzbedingungen festgestellt wurde. Vorstellung der Benchmark dacl10k. Der ersten pixelweise annotierten Benchmark für Multi-Label-Segmentierung für ABS bei Brückeninspektionen. Bewertung der Genauigkeit von Modellen, die auf dacl10k sowie ergänzende synthetische Datensätze trainiert wurden.

- 1 Einleitung
 - 1.1 Allgemein
 - 2.1 Bildbasierte Schadenserkenkung bei automatisierten Brückenprüfungen
 - 2.2 Datensätze für die Schadenserkenkung an Bauwerken
 - 2.2.1 Klassifizierung
 - 2.2.2 Objektdetektion
 - 2.2.3 Semantische Segmentierung
 - 2.3 Deep-Learning-Modelle für ABS
 - 2.3.1 Bildencoder
 - 2.3.2 Architekturen für semantische Segmentierung
 - 2.4 Optimierung der Trainingspipeline
 - 2.4.1 Hyperparameter-Tuning
 - 2.4.2 Transferlernen
 - 2.5 Metriken

BetonKalender 2027

Inhaltsverzeichnis

Automatisierte bildbasierte Schadenserkennung an Betonbrücken

Thomas Braml, Konrad Bergmeister, Johannes Flotzinger

- 3. Datengestützte Lösungsansätze für praxistaugliche ABS
 - 3.1 Open-Source vs. Realität: Die Domain-Gap
 - 3.1.1 Extrinsische Evaluation
 - 3.1.2 Intrinsische Evaluation
 - 3.2 dacl10k – Benchmark zur semantischen Schadenssegmentierung
 - 3.2.1 Details zu dacl10k
 - 3.2.2 Workshop und Wettbewerb zur Automatisierten Bauwerksprüfung
 - 3.3 Synthetische Daten zur Steigerung der Segmentierungsgenauigkeit
 - 3.3.1 Entwickelte Daten
 - 3.3.2 Evaluation

Fazit

Die automatisierte Bauwerksprüfung stellt einen grundlegenden Paradigmenwechsel gegenüber konventionellen, überwiegend manuellen Inspektionsverfahren dar. Durch bildbasierte Schadenserkennung und die systematische Einbettung in digitale Schatten lassen sich sowohl Effizienz als auch Objektivität der Zustandsbewertung signifikant steigern. Das methodische Fundament dieser Entwicklung bilden Deep-Learning-Modelle, die visuelle Merkmale hierarchisch erlernen und damit eine robuste Identifikation komplexer, kontextabhängiger Schadensbilder ermöglichen. Während sich die Forschung lange Zeit auf architektonische Verbesserungen neuronaler Netze konzentrierte, zeigt der aktuelle Stand der Technik, daß bei zunehmend stagnierenden Modellgewinnen datenzentrierte Ansätze entscheidend für den Übergang in die ingenieurtechnische Praxis sind. Ein zentrales Defizit bestehender Open-Source-Datensätze liegt in ihrer eingeschränkten Generalisierungsfähigkeit gegenüber der hohen Heterogenität realer Bauwerksprüfungen. Viele Datensätze basieren auf kontrollierten Aufnahmebedingungen und bilden nur einen begrenzten Ausschnitt der normativ geforderten Schadensklassen ab. Zur Überwindung dieser Einschränkungen wurde mit dacl10k erstmals eine großskalige Benchmark für die semantische Segmentierung etabliert, die pixelgenaue Multi-Label-Annotationen für 13 Schadens- und 6 Bauteilklassen unter realen Einsatzbedingungen bereitgestellt. Die begleitende dacl-challenge machte zugleich dateninduzierte Leistungsgrenzen aktueller Modelle sichtbar und lieferte damit die Motivation für die gezielte Erweiterung realer Daten durch synthetische Ansätze. Die im Rahmen von synth-dacl entwickelten synthetischen Datensatzergänzungen erwiesen sich als wirksames Mittel zur Reduktion von Klassenungleichgewichten und zur Steigerung der Robustheit datengetriebener Modelle.

BetonKalender 2027

Inhaltsverzeichnis

Automatisierte bildbasierte Schadenserkenennung an Betonbrücken

Thomas Braml, Konrad Bergmeister, Johannes Flotzinger

Durch die Kombination physikbasierten Renderings mit semi-synthetischen und voll-synthetischen Verfahren zur Schadenssimulation konnten insbesondere für seltene und kleinskalige Defekte deutliche Genauigkeitsgewinne erzielt werden. Insgesamt verdeutlicht dieser Beitrag, daß qualitativ hochwertige, diverse und realitätsnahe Datensätze das zentrale Rückgrat für die Überführung der automatisierten Bauwerksprüfung in die Praxis darstellen. Die Ergebnisse dieses Beitrags eröffnen mehrere zentrale Forschungsperspektiven für die Weiterentwicklung der automatisierten Brückenprüfung. Erstens erfordert der effiziente Einsatz bestehender Datensätze aufgrund ausgeprägter Domänenunterschiede vertiefte Forschung im Bereich des Transferlernens, um eine robuste Generalisierung auf reale Inspektionsdaten zu gewährleisten. Zweitens ermöglicht der Übergang von der Klassifikation zur semantischen Segmentierung eine präzise Schadenslokalisierung und -quantifizierung, deren Überführung in physikalische Maße und georeferenzierte Koordinaten jedoch insbesondere unter GPS-restriktiven Bedingungen weiterhin eine offene Herausforderung darstellt. Drittens zeigen die Ergebnisse, daß synthetische Daten zwar zur Leistungssteigerung beitragen, deren Nutzen jedoch maßgeblich von einem höheren Grad an Realismus abhängt. Zukünftige Arbeiten müssen daher die texturale, photometrische und kontextuelle Nähe synthetischer Szenen zur Realität weiter erhöhen, um verbleibende Sim-to-Real-Lücken zu schließen. Viertens stößt die rein visuelle Schadenserkenennung bei visuell ähnlichen Defekten und ungünstigen Beleuchtungsbedingungen an ihre Grenzen. Die Integration zusätzlicher Modalitäten, etwa Materialinformationen oder alternativer Sensorsysteme, bietet hier erhebliches Potential zur Steigerung von Robustheit. Zusammenfassend bringt dieser Beitrag die automatisierte visuelle Brückenprüfung einen entscheidenden Schritt näher an die praktische Anwendung. Die adressierten offenen Fragestellungen bilden zugleich die Grundlage für zukünftiger Forschung, um Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Einsatzbreite automatisierter Inspektionssysteme weiter zu erhöhen.

(Änderungen vorbehalten)