Title: BIM-based Framework of Bridge Health Monitoring Supported by Immersive and 3D Reconstruction Techniques for Analytical and Asset Model Updates

Abstract (In Polish)

W ostatniej dekadzie transformacja cyfrowa i strategia kryjąca się pod hasłem Przemysł 4.0 (Industry 4.0) mocno zmieniły procesy inspekcji i monitoringu stanu technicznego obiektów mostowych (SHM, Structural Health Monitoring), wprowadzając zupełnie nowe i inteligentne rozwiązania. Zastosowanie systemów SHM staje się jeszcze bardziej efektywne dzięki możliwościom nowych narzędzi do modelowania informacji o budowli (BIM, Building Information Modeling), sztucznej inteligencji (AI, Artificial Inteligence), Internetu rzeczy (IoT, Internet of Things) oraz technologii wirtualnej, rozszerzonej i mieszanej rzeczywistości (VR/AR/MR, Virtual/Augmented/Mixed Reality). W ramach niniejszej pracy doktorskiej przeprowadzono szczegółowe badania nad wykorzystaniem tych nowoczesnych i inteligentnych narzędzi do opracowania nowych procedur oraz zintegrowanych platform monitorowania stanu technicznego obiektów mostowych.

Przeprowadzone badania dostarczyły wiedzy pozyskanej najpierw na podstawie studiów dostępnej literatury na temat monitorowania stanu konstrukcji mostów, od fazy projektowania aż do opracowania immersyjnych rozwiązań dla systemów SHM. Objęto nimi eksplorację systemów zarządzania mostami (BMS, Bridge Management System) wraz z oceną postępu technologicznego w tym zakresie. Eksploracja systemów BMS rozpoczęła się od prób usprawnienia tradycyjnych metod inspekcji mostów, które są coraz częściej uzupełniane lub nawet zastępowane przez dedykowane systemy SHM. Wynika to m.in. z szybkiego postępu w zakresie technik analitycznych, modelowania 3D i cyfryzacji procesów budowlanych.

W dążeniu do wykorzystania cyfrowych technologii w systemach zarządzania mostami, zbadano też możliwość zastosowania metodyki BIM i wykorzystywanych w niej modeli informacyjnych. Wykazano, że modele i narzędzia BIM można wykorzystać również w domenie SHM, np. do gromadzenia, zarządzania i analizowania danych opisujących strukturę obiektu mostowego, ale też do rejestracji stanu technicznego jego konstrukcji. I to z możliwością predykcji oraz wsparcia procesów decyzyjnych. W badaniu wykazano zalety metodyki BIM w procesie przekształcania technik modelowania analitycznego konstrukcji mostów poprzez integrację modeli 3D z metodami i narzędziami MES. Integracja taka usprawnia mapowanie nie tylko topologii i parametrów modeli MES, ale również zidentyfikowanych uszkodzeń elementów konstrukcyjnych. W pracy zaproponowano nowatorską technikę zautomatyzowanego modelowania MES opartego na modelu BIM. W studium przypadku wykorzystany został język programowania graficznego (VPL, Visual Programming Language), który służył do pobierania danych z modelu BrIM 3D i konwertowania ich na zestaw krzywych i punktów do automatycznego generowania modelu MES.

W rozprawie przedstawiono również badania nad wykorzystaniem kontinuum rzeczywistości wirtualnej, rozszerzonej i mieszanej (VR/AR/MR). W początkowym etapie była to wizualizacja koncepcji projektowanych mostów, a w toku dalszych prac – również integracja narzędzi VR/MR z systemami SHM konstrukcji. Systemy te uzupełnione zostały przez układy sensoryczne zgodne z wymaganiami technologii Internetu Rzeczy (IoT, Internet of Things). W wyniku tych badań opracowano demonstracyjne rozwiązanie w postaci internetowej platformy systemu SHM obiektu mostowego, która może obsługiwać

Gliwice, 18.06.2024 r.
Muhammad Fawad

bezprzewodowe sensory. Dalsza eksploracja tej domeny dostarczyła możliwości integracji technologii mieszanej rzeczywistości (MR) z utworzonym systemem SHM poprzez użycie modelu i elementów metodyki BIM. W ten sposób osiągnięto złożoną integrację kilku zaawansowanych narzędzi i rozwiązań technologicznych, jak SHM, BIM, IoT i MR. W efekcie zaowocowało to utworzeniem nowatorskiej immersyjnej platformy cyfrowego bliźniaka nazwanej tutaj IBDTP (Immersive Bridge Digital Twin Platform). Platforma ta może ułatwić użytkownikowi pracującemu na moście w terenie, korzystanie z wirtualnych i fizycznych zasobów przez użycie immersyjnego środowiska MR. Może także zapewnić mu dostęp do danych rejestrowanych przez system SHM mostu w czasie rzeczywistym.

Docelowo platforma IBDTP będzie mogła usprawnić zarządzanie infrastrukturą mostową poprzez przezwyciężenie ograniczeń związanych z tradycyjnymi metodami SHM, a w szczególności w zakresie zarządzania i wizualizacji danych monitorowanego mostu. Opracowany demonstrator zapewnia kompleksowe ramy dla cyfrowego powiązania fizycznego obiektu mostowego z jego cyfrowym odpowiednikiem (cyfrowym bliźniakiem). Nowe funkcje platformy IBDTP mogą być potencjalnie skalowane dla różnych typów mostów i infrastruktury krytycznej, oferując poprawę skuteczności tradycyjnych metod inspekcji i pokonanie dotychczasowych ograniczeń w stosowanych obecnie systemach SHM. Rezultaty zrealizowanych badań mają też potencjał do szerszych zastosowań. Chodzi o procesy automatyzacji i wdrażania cyfrowych bliźniaków w całym sektorze budowlanym. Chociaż główny nacisk w rozprawie położono na obiekty mostowe, to należy zaznaczyć, że zdobyte w ten sposób doświadczenia i opracowane metody mogą zostać przeniesione również na inne rodzaje konstrukcji budowlanych.