

[logo AGH]

Dr inż. Phong Ba Dao
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Wydział Robotyki i Mechatroniki
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków, Polska
e-mail: phongdao@agh.edu.pl

Kraków, 26 sierpnia 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej pana NGUYEN CONG DUC zatytułowanej „Bridge health monitoring using automated FE model updating, signal processing, and machine learning” (Monitorowanie stanu mostu przy użyciu automatycznej aktualizacji modelu FE, przetwarzania sygnałów i uczenia maszynowego).

Przedstawiona praca doktorska koncentruje się na monitorowaniu stanu mostów (ang. bridge health monitoring, BHM), które jest niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa, niezawodności i długowieczności mostów drogowych i kolejowych. Badania proponują wykorzystanie zautomatyzowanej aktualizacji modelu elementów skończonych (ang. finite element, FE), przetwarzania sygnałów i technik uczenia maszynowego w celu poprawy BHM.

Zarys pracy doktorskiej

Praca podzielona jest na siedem rozdziałów, które zawierają przegląd technik powszechnie stosowanych do monitorowania stanu mostów (BHM), szczegółowo opisuje konfiguracje pomiarowe i opracowane metody przetwarzania danych pomiarowych. Dodatkowo, szczegółowo przedstawiono rzeczywiste przykłady, aby zilustrować skuteczność opracowanych metod. Rozdziały są zorganizowane w następujący sposób:

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie, wyjaśniające motywy prowadzenia badań nad metodami monitorowania stanu mostów. Przedstawiono w nim cel i zakres prac badawczych oraz przegląd struktury pracy.

Rozdział 2 zawiera przegląd aktualnego rozwoju i pojawiających się trendów w BHM. W rozdziale tym omówiono najnowsze osiągnięcia i rosnące zapotrzebowanie na systemy BHM. Podkreślono szczególne potrzeby rynku w Wietnamie i Polsce, a także zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów w BHM. Ponadto w rozdziale tym przedstawiono system cyfrowego bliźniaka do monitorowania stanu mostów w oparciu o dane.

W rozdziale 3 opisano sprzęt do pozyskiwania danych i zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów. Obejmuje on aparaturę do testowania obciążeń diagnostycznych stosowaną w mostach i kładzie nacisk na zaawansowane metody przetwarzania, takie jak transformacje falkowe, techniki całkowania i różniczkowania oparte na szybkiej transformacji Fouriera (ang. Fast Fourier Transform, FFT) oraz algorytmy uczenia maszynowego.



POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia 24.09.2024
nr 194 zał. -



Rozdział 4 koncentruje się na monitorowaniu stanu mostów kolejowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego, w szczególności na badaniu stalowego mostu łukowego w Dębicy. Szczegółowo opisano system monitorowania stanu konstrukcji (ang. structural health monitoring, SHM) zastosowany dla tego mostu, a także opracowano zoptymalizowane modele sztucznych sieci neuronowych (ang. Artificial Neural Networks, ANN) i regresji adaptacyjnych systemów wnioskowania neurorozmytego (ang. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems, ANFIS) dla systemu SHM opartego na wibracjach.

[w dole strony 1 pieczętka z datą wpływu 2.09.2024, każda strona parafowana]

Rozdział 5 przedstawia diagnostykę stanu mostu kolejowego z wykorzystaniem analizy falkowej i uczenia głębokiego. Wykorzystuje on dane zebrane z opartego na wibracjach systemu SHM mostu kolejowego w Dębicy do opracowania modeli klasyfikacji głębokiego uczenia. Modele konwolucyjnych sieci neuronowych (ang. Convolutional Neural Networks, CNN) (GoogLeNet) są wykorzystywane do przewidywania stanu konstrukcji przy użyciu skalogramów falkowych generowanych z sygnałów wibracyjnych, a modele CNN w kształcie orbity są wykorzystywane do diagnostyki stanu dźwigarów.

W rozdziale 6 zbadano oceny obciążenia diagnostycznego mostu poprzez automatyczną aktualizację modelu FE. Metodę tę zastosowano do dwóch mostów drogowych w Wietnamie. W rozdziale omówiono kalibrację modeli FE dla dwóch studiów przypadków obejmujących mosty żelbetowe i stalowo-betonowe.

Rozdział 7 kończy pracę doktorską, podsumowując wyniki i przedstawiając zalecenia dotyczące dalszych badań.

Spójność, zakres i wpływ pracy doktorskiej

Struktura rozdziałów jest spójna. Praca doktorska jest całkowicie zorientowana na zastosowanie praktyczne, koncentrując się na wykorzystaniu algorytmów uczenia maszynowego i przetwarzania sygnałów w celu sprostania wyzwaniom BHM w przypadku mostów. W pracy doktorskiej nie opracowano żadnych nowych rozwiązań teoretycznych. W pracy doktorskiej ostatecznie zaproponowano, że połączenie zaawansowanych technik przetwarzania danych i kalibracji modelu może sprawić, że monitorowanie stanu mostów będzie bardziej niezawodne i opłacalne, umożliwiając inżynierom bardziej efektywne monitorowanie i ocenę ich bezpieczeństwa.

Główny wkład

Główny wkład pracy można podsumować jako następujące kluczowe punkty:

1. Monitorowanie stanu mostu kolejowego z wykorzystaniem inteligentnego przetwarzania danych: Modele regresji ANN i ANFIS są wykorzystywane do przewidywania dynamicznego zachowania stalowego mostu łukowego w Dębicy. Dane terenowe, zebrane dla okresu dziewięciu miesięcy, są wykorzystywane jako dane wejściowe do trenowania modeli ANN i ANFIS. Stwierdzono, że modele ANN zoptymalizowane przy użyciu algorytmu genetycznego przewyższają modele ANFIS.
2. Diagnostyka stanu mostów kolejowych z wykorzystaniem analizy falkowej i głębokiego uczenia: Transformacje falkowe i modele klasyfikacji GoogLeNet CNN są stosowane do monitorowania stanu mostu przy użyciu danych wibracyjnych. Obrazy skalogramów, generowane z transformacji falkowych, są wykorzystywane jako dane wejściowe dla modeli CNN do klasyfikacji stanów mostu w oparciu o siły rozciągające w dźwigarach. Dodatkowo, oparte na wibracjach wzorce obrazu o kształcie orbity, wykorzystywane są do zautomatyzowanej diagnostyki stanu dźwigarów.



3. Testowanie obciążenia mostu przy użyciu automatycznej aktualizacji modelu FE: Praca podkreśla znaczenie kalibracji modelu FE dla dokładnego przewidywania zachowania mostu. Optymalizacja modeli FE jest przeprowadzana przy użyciu algorytmów genetycznych i optymalizacji roju cząstek, współpracujących z oprogramowaniem MATLAB i narzędziami do modelowania FE, takimi jak SOFISTIK TEDDY i ANSYS APDL. Te skalibrowane modele pozwalają na dokładniejsze przewidywanie limitów obciążeń i przeciążeń, pomagając w ocenie mostów.

4. Zastosowania praktyczne: Opracowane metody mogą być stosowane do różnych typów mostów, w tym mostów ze zbrojonego betonu, mostów kompozytowych stalowo-betonowych i kolejowych, stalowych mostów łukowych. Integracja uczenia maszynowego z systemami SHM opartymi na drganiach pomaga analizować dane i przewidywać zachowanie konstrukcji, poprawiając skuteczność monitorowania i podejmowania decyzji.

Inne uwagi dotyczące możliwych poprawek w pracy doktorskiej:

- Pojęcie cyfrowego bliźniaka w kontekście monitorowania stanu mostów zostało wprowadzone w pracy (rozdział 2) bez odpowiedniej definicji technicznej, co może zdezorientować czytelników. Aby temu zaradzić, recenzent sugeruje dodanie krótkiego akapitu wyjaśniającego ten termin. Autor użył modelu Tajji (lub symbolu Yin-Yang) do opisanego integracji cyfrowych bliźniaków SHM dla mostów. Jednak ten model lub symbol nie może zastąpić właściwej definicji technicznej.
- Symbol Yin-Yang jest powszechnie używany w różnych dziedzinach do reprezentowania dwóch przeciwstawnych aspektów jednej istoty, takich jak dobro kontra zło, twardość kontra miękkość lub dzień kontra noc. Jednak, moim zdaniem, symbol Yin-Yang może nie być odpowiedni do reprezentowania koncepcji cyfrowego bliźniaka. W systemie cyfrowego bliźniaka, rzeczywista struktura i jej symulowany model nie są dwiema przeciwstawnymi stronami, ale powinny być względem siebie identyczne.
- Rysunek 3.2 zawiera zdjęcia, które wyraźnie przedstawiają ludzkie twarze, które zajmują znaczną część każdego obrazu. Sugeruję zastąpienie tych zdjęć takimi, które skupiają się wyłącznie na moście. Zapewni to, że nacisk zostanie położony na przedmiot badania, dzięki czemu wizualizacje będą lepiej uzupełniać treść techniczną.
- Recenzent sugeruje, aby autor zamieścił schemat blokowy ilustrujący metodę opracowaną w rozdziale 4. Każdy krok obliczeniowy powinien być reprezentowany przez blok, dzięki czemu metoda będzie łatwiejsza do zrozumienia i śledzenia. Obecnie metoda jest opisana wyłącznie za pomocą tekstu, co jest niewystarczające. Warto zauważyć, że metodom w rozdziałach 5 i 6 towarzyszą schematy blokowe, które jasno przedstawiają opracowane procesy. Dodanie podobnego schematu do rozdziału 4 zwiększyłoby przejrzystość i spójność.
- Sekcja 4.3: Autor powinien przejrzeć zdanie „Częstotliwość próbkowania systemu SHM wynosiła 1024, z ponownym próbkowaniem do 128 w celu archiwizacji” i upewnić się, że odpowiednie jednostki zostały uwzględnione tam, gdzie to konieczne.
- Rysunki 4.5, 4.6, 4.8, 4.9: jakie jest znaczenie trzech gwiazdek za każdym współczynnikiem korelacji? Sugeruje się wyjaśnienie lub usunięcie tych gwiazdek, aby uniknąć nieporozumień.
- W rozdziale 4 autor przedstawił jedynie wyniki trenowania i testowania modeli. Nie przedstawiono jednak wyników walidacji przy użyciu tych modeli. Byłoby bardziej kompletne, gdyby autor zweryfikował najlepiej działający model przy użyciu studium przypadku z innym zestawem danych (nieuwzględnionym w danych treningowych i testowych). Pozwoliłoby to lepiej zademonstrować uogólnienie modelu i jego skuteczność w rzeczywistych zastosowaniach.

- W rozdziale 5, w jaki sposób autor może zapewnić, że zaobserwowane nieregularne kształty (takie jak ósemka, serce, linia itp.) nie są spowodowane zmiennymi warunkami środowiskowymi i operacyjnymi (np. temperatura, wilgotność, obciążenie ruchem), ale raczej wskazują na degradację stanu mostu?

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę ocenę pracy doktorskiej uważam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dziedzinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Potwierdza ona również umiejętność prowadzenia badań naukowych. Spełnia ona tym samym wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.). Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Z wyrazami szacunku

[podpis nieczytelny]

Prof. nadzwyczajny dr inż. Phong Ba Dao

Ja, Małgorzata Sokołowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego w Gliwicach, nr wpisu na listę tłumaczy przysięgłych TP/1509/05. Poświadczam zgodność niniejszego tłumaczenia z okazanym mi oryginałem sporządzonym w języku angielskim. Gliwice, dnia 13 września 2024 r. Repertorium nr 582/2024.

