

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl
Katedra Robotyki i Mechatroniki
Akademia Górniczo – Hutnicza
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków 26.05.2011

Opinia o pracy doktorskiej pt. "Damage Identification in Electrical Network for Structural Health Monitoring" autorstwa mgr inż. Marka Kokot

Opinię opracowano na podstawie zlecenia Pana Profesora Kazimierza Pichór Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii z dnia 29 listopada 2010.

1. Przedstawienie treści pracy

Praca dotyczy bardzo istotnego z punktu praktycznego problemu diagnozowania stanu elementów konstrukcji w oparciu o sieć czujników. Koncepcja systemu polega na badaniu obwodów elektrycznych czujników zainstalowanych na konstrukcji i wykorzystaniu modeli odwrotnych obwodów elektrycznych do wykrywania i lokalizacji uszkodzenia. Takie podejście daje skuteczne rozwiązanie problemu monitorowania konstrukcji oraz rozwiązanie optymalne z punktu widzenia ekonomicznego. Idea rozwiązania polega na dostrojeniu odpowiedzi sieci czujników na zadane wymuszenie do odpowiedzi referencyjnej, przy ograniczonym dostępie do punktów węzłowych sieci. Lokalizacja uszkodzenia jest realizowana poprzez ocenę dystorsji w dyskretnych punktach analizowanej sieci. W miejscu największych dystorsji lokalizowane jest uszkodzenie. Zadanie identyfikacji uszkodzeń w sposób opisany powyżej jest definiowane jako zadanie odwrotne. W pracy rozważono dwa podstawowe zagadnienia, pierwsze polegało na identyfikacji uszkodzenia, drugie zaś na projektowaniu sieci

czujników, która umożliwiała (ułatwiała) wykrywanie uszkodzeń konstrukcji. Jest to problem aktualnie rozwijany i intensywnie badanych przez wiele znanych ośrodków rozwojowych na świecie o czym świadczy bardzo duża liczba implementacji tego typu systemów oraz publikacji i raportów z tego zakresu.

Autor pracy podjął z jednej strony bardzo aktualny problem z punktu widzenia poznawczego, jak i aplikacyjnego. Na uwagę zasługuje przede wszystkim praktyczne sformułowanie postawionego problemu (wynikiem pracy jest zgłoszenie patentowe) oraz opracowanie specjalistycznego oprogramowania mającego bezpośrednie zastosowanie w praktyce.

Cel pracy jest podany precyzyjnie i jasno, jako rozwiązanie problemu odwrotnego identyfikacji uszkodzenia obwodu elektrycznego stanowiącego model sieci czujników. Autor sformułował tezę o następującym brzmieniu: „jeżeli konfiguracja elektrycznej sieci czujników spełnia zdefiniowane wymagania, wtedy zadanie identyfikacji uszkodzenia może być efektywnie rozwiązane poprzez dynamiczną analizę odwrotną (rozwiązanie dynamicznego problemu odwrotnego??)” teza ta jest sformułowana poprawnie, a jej udowodnieniu podporządkowana jest treść rozprawy. W tezie niejasne jest jednak co oznacza dynamiczny problem odwrotny (dynamiczna analiza odwrotna). Treść pracy podzielona jest na cztery rozdziały. W rozdziale pierwszym Autor definiuje cel i omawia zakres pracy i podaje motywacje podjęcia tematu. W rozdziale 2 podaje podstawowe pojęcia z zakresu teorii obwodów elektrycznych dyskretnych, które stanowią podstawę do sformułowania metody wirtualnych dystorsji dla obwodów elektrycznych opisanej w rozdziale 3. W rozdziale 3 Autor analizuje analogie elektromechaniczne oraz wprowadza studiującego w metodykę metody dystorsji wirtualnych. W rozdziale 4, który jest zasadniczą częścią pracy, Autor opisuje zastosowanie metody dystorsji wirtualnych do identyfikacji uszkodzeń oraz projektowania optymalnej sieci czujników pod kątem możliwości diagnozowania. W rozdziale tym Autor zamieścił liczne przykłady ilustrujące możliwość identyfikacji uszkodzeń poprzez rozwiązanie zadania odwrotnego. W podsumowaniu Autor wymienia, własne Autorskie, osiągnięcia, które zawarte są w pracy.

Spis literatury obejmuje 56 pozycji i jest w moim odczuciu bardzo skromny jak na jedną z najbardziej rozwijających się dziedzin w obszarze budowa i eksploatacja maszyn, choć jest to literatura dobrana poprawnie i pokrywająca się w całości z rozważanymi zagadnieniami. Stosowane przez Autora narzędzia badawcze są nowoczesne i adekwatne do rozważanej problematyki. Autor posługuje się nimi z dużą biegłością i umiejętnie wykorzystuje je do osiągnięcia postawionych celów.

Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością i sporym zasobem wiedzy w zakresie warsztatu badawczego, jak pokazała praca umiejętnie posługuje się różnymi narzędziami warsztatu badawczego w obszarze diagnostyki konstrukcji.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

- Opracowanie metody dystorsji wirtualnych do analizy obwodów elektrycznych,
- Sformułowanie warunków topologicznych diagnozowalności sieci czujników
- Opracowanie procedury analizy wrażliwości odpowiedzi obwodów elektrycznych na zmiany parametrów obwodów opartej o metodę dystorsji wirtualnych
- Opracowanie zasad projektowania sieci czujników dla diagnozowania stanu konstrukcji
- Opracowanie koncepcji autorskiego systemu (ELGRID) diagnostyki konstrukcji

Praca stanowi rozwiązanie dobrze zdefiniowanego zagadnienia badawczego, z zakresu tworzenia nowych metod diagnostyki konstrukcji. Język pracy jest poprawny i nie budzi moich zastrzeżeń. Strona edytorska jest zadowalająca.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

- We wstępie Autor deklaruje, że opracowana metoda służy do identyfikacji uszkodzenia konstrukcji mechanicznych w oparciu o sieć czujników. W treści pracy bardzo pobieżnie (lub w ogóle nie opisano) związku opracowanej metody diagnozowania obwodów elektrycznych z diagnostyka konstrukcji.
- W klasycznej diagnostyce konstrukcji rozróżnia się kilka poziomów diagnozowania (I - wykrywanie uszkodzenia, II – lokalizacja uszkodzenia, III – ocena rozmiaru uszkodzenia, IV – prognoza czasu poprawnego działania

konstrukcji), praca ogranicza się tylko do dwóch pierwszych poziomów. Nasuwa się pytanie czy można realizować poziom III i IV za pomocą opracowanej metody?

- Jednym z wyników pracy jest implementacja procedur diagnozowania konstrukcji w systemie ELGRID. Opis tej implementacji jest bardzo pobieżny i moim zdaniem brak jest możliwości oceny jej poprawności.
- Bardzo pobieżnie Autor opisuje eksperymenty symulacyjne, których celem jest pokazanie efektywności zastosowania opracowanej metody. Na podstawie opisu trudno jest ocenić ich poprawność.
- Autor formułuje problem identyfikacji uszkodzeń jako problem odwrotny. W pracy brak jest przeglądu literatury dotyczącej problemu odwrotnego (istnieje bardzo bogata literatura w tym zakresie), brak jest też dyskusji możliwości zastosowania dostępnych metod rozwiązania zadania odwrotnego do poprawienia jakości rozwiązania problemu identyfikacji uszkodzeń.
- Autor przedstawia w pracy gradientową metody optymalizacji jako metodę rozwiązania zadania identyfikacji uszkodzeń, zastosowanie tej metody bez regularyzacji lub przeformułowania zadania odwrotnego (przekształcenia zadania typu ill –posed na zadanie well –posed) może doprowadzić do błędnych rozwiązań. Autor nie dyskutuje w pracy możliwości poprawy jakości rozwiązania poprzez zastosowanie metod charakterystycznych dla rozwiązania zadania odwrotnego, jedynym rozwiązaniem jakie wskazuje Autor polega na zaprojektowaniu sieci czujników, których topologia i dostępność pomiaru odpowiedzi na zadane wejścia umożliwi diagnozowanie.
- Brak jest opisu osi na większości wykresów zawartych w pracy.
- Brak jest w pracy bardziej szczegółowej analizy jakiego typu rzeczywiste czujniki mogą być modelowane za pomocą układów RC o topologii podanej w przykładach. Analogia przedstawionych obwodów elektrycznych i rzeczywistych sieci czujników stosowanych w układach diagnozowania konstrukcji (SHM) jest intuicyjna i nieudowodniona, moim zdaniem, w treści pracy. W moim odczuciu praca w całości dotyczy diagnozowania obwodów elektrycznych, a nie sieci czujników. Nie ujmuje to jednak jej wartości i jako praca dotycząca diagnozowania obwodów elektrycznych jest pracą wartościową.

- Wiele treści w szczególności rozdziałów 2 i 3 ma charakter podręcznikowy i podaje znane i podstawowe informacje z zakresu teorii obwodów i analogi elektromechanicznych. Rozdziały te mogłyby być skrócone bez wpływu na wartość merytoryczną pracy.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy, jak również jej poprawną formę uważam, że spełnia ona wymagane stawiane pracom doktorskim przez ustawę o tytułach i stopniach naukowych i **może być dopuszczona do publicznej obrony.**

