dr hab. inż. Marian Kampik
profesor Politechniki Śląskiej
Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki

Gliwice, 5 maja 2014 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Arkadiusza Gancarczyka
pt. „Profilometryczny wizyjny system diagnostyczny tramwajowych zestawów kołowych"
opracowana na zlecenie Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej

1. Obszar problemowy rozprawy

Systemy do zautomatyzowanego optycznego (wizyjnego) diagnozowania tramwajowych i kolejowych zestawów kołowych odgrywają coraz większą rolę w transporcie szynowym, przyczyniając się do zmniejszenia awaryjności taboru oraz do poprawy bezpieczeństwa. Na szczególną uwagę zasługują systemy diagnostyczne do badania stanu zestawów kołowych tramwajów miejskich. Jest spowodowane co najmniej trzema czynnikami:

1) proces zużywania kół tramwajowych postępuje znacznie szybciej niż kół kolejowych, co jest związane ze specyfiką miejskich torowisk;

2) znane i wykorzystywane w praktyce systemy diagnostyczne są dedykowane do automatycznego diagnozowania stanu technicznego kół kolejowych. Tematyka diagnozowania kół tramwajowych jest rzadziej podejmowana, między innymi z uwagi na koszt związany z opracowaniem systemu diagnostycznego.

3) konstrukcje kół tramwajowych są odmienne od konstrukcji kół kolejowych. Ta odmienność polega przede wszystkim na utrudnionym, w porównaniu do koła kolejowego, dostępie do diagnozowanych, zużywających się w trakcie eksploatacji koła powierzchni. Z tego powodu bezpośrednie zastosowanie do diagnozowania kół tramwajowych systemów diagnostycznych stosowanych do badania kół pojazdów kolejowych jest utrudnione lub nawet niemożliwe.

Na uwagę zasługują szczególne charakterystyczne cechy tego rodzaju pomiarów, w których bardzo często wykorzystuje się obrazy z kilku kamer. Jedną z nich jest konieczność dokonywania dość złożonych obliczeń matematycznych. Równie skomplikowana jest weryfikacja eksperymentalna poprawności uzyskanych wyników. Osiągnięcie wymaganej, z reguły relatywnie dużej dokładności pomiaru wymaga spełnienia szeregu warunków, których spełnienie bywa trudne, zwłaszcza gdy system pomiarowy jest zlokalizowany na zewnątrz budynku zajezdni. Od systemu niejednokrotnie wymaga się, aby realizował pomiary kół pojazdu w ruchu i odpowiednio szybko. Z uwagi na wywołane ruchem pojazdu wstrząsy i wibracje mogą pojawić się problemy związane z brakiem odpowiedniej stabilności mechanicznej stanowiska pomiarowego. Z wymienionych i innych powodów znane i ogólnie stosowane metody, techniki i algorytmy stosowane w pomiarach wizyjnych nie zawsze się sprawdzają w tak trudnych warunkach.

Opracowaniu odpowiedniego systemu diagnostycznego powinna towarzyszyć rzetelna i dogłębna analiza wielkości wpływających na niepewność pomiaru oraz opracowanie zgodnego z przyjętymi zasadami bilansu niepewności wyników.

Nie mniej trudnym zagadnieniem jest kalibracja wizyjnego systemu diagnostycznego. Znane metody kalibracji wizyjnych systemów diagnostycznych są zazwyczaj czasochłonne i wymagają dużego doświadczenia od użytkownika systemu pomiarowego.

Uwzględniając przedstawione wyżej argumenty uważam, iż tematyka rozprawy, obejmująca opracowanie profilometrycznego systemu wizyjnego, diagnozującego stan techniczny tramwajowych zestawów kołowych jest aktualna i posiada istotne znaczenie ekonomiczne oraz - co jest nie mniej ważne - może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pasażerów i obsługi.

Przyjęty w pracy sposób rozwiązania problemu, w tym zbudowanie oryginalnego systemu wizyjnego, opracowanie oryginalnego modelu matematycznego oraz zastosowanie odpowiednich narzędzi informatycznych powoduje, że rozprawa ma walor pracy naukowej o charakterze aplikacyjnym, zawierającej odpowiednio zweryfikowane empirycznie wątki teoretyczne. Rozprawa posiada również bardzo duży walor praktyczny.

2. Koncepcja oraz realizacja rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje w kolejności spis treści, spisy ważniejszych oznaczeń i definicji, wprowadzenie, pięć zasadniczych rozdziałów, podsumowanie oraz spis cytowanej literatury, zawierający 87 pozycji odzwierciedlających stan badań w zakresie tematycznym rozprawy. Rozprawa łącznie liczy 119 numerowanych stron.

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do pracy i zawiera cele (a właściwie głównie genezę) rozprawy, opis jej zawartości oraz tezę.

W rozdziale drugim scharakteryzowano najważniejsze parametry geometryczne charakteryzujące powierzchnię koła tramwajowego. Ponadto zaprezentowano przegląd znanych metod stosowanych do pomiaru profili kół pojazdów szynowych. Rozdział zawiera również opis narzędzi i technik pomiarowych stosowanych w diagnostycznych systemach wizyjnych oraz przegląd rozwiązań zautomatyzowanych diagnostycznych systemów wizyjnych. W prezentacji położono szczególny nacisk na metrologiczny aspekt przedstawianych zagadnień i rozwiązań.

W rozdziale trzecim zawarto matematyczny model kamery stosowanej w diagnostycznych systemach wizyjnych, wykorzystując do tego celu dostępne opracowania literaturowe.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera opis eksperymentów i testów przeprowadzonych na etapie projektowania diagnostycznego profilometrycznego systemu wizyjnego. W rozdziale tym zamieszczono również wyniki uzyskane w procesie kalibracji systemu oraz opis sposobu walidacji procedury identyfikacji parametrów modelu.

W rozdziale piątym Autor przedstawił algorytm wykorzystywany do odtworzenia rzeczywistego kształtu profilu koła na podstawie obrazów zarejestrowanych przez dwie kamery. W tym celu Autor prezentuje szereg przekształceń matematycznych oraz dokonuje analizy niepewności wyników oraz opracowuje jej bilans. Rozdział uzupełnia propozycja sposobu oceny opracowanego wizyjnego systemu diagnostycznego na podstawie wyników uzyskanych z badań rzeczywistych obiektów, jakimi były tramwajowe zestawy kołowe.

W rozdziale szóstym Autor przedstawił swój własny oryginalny matematyczny model pomiaru oraz podał sposób identyfikacji parametrów modelu kamery. Rozdział zawiera również opis sposobu realizacji pomiaru, kalibracji systemu pomiarowego oraz jego walidacji.

Rozprawę zamyka podsumowanie z uwagami końcowymi. Zawarto w nim uwagi natury ogólnej odnoszące się do uzyskanych wyników i opracowanego modelu oraz - co jest moim

zdaniem cenne - wskazano kierunki dalszych badań oraz sposoby poprawy właściwości systemu.

Oceniając merytorycznie całą rozprawę stwierdzam, że jest ona napisana na dobrym poziomie. Zawiera właściwie sformułowany i ważny problem naukowy, oraz prezentuje jego poprawne rozwiązanie. Rozwiązanie to Autor uzyskał samodzielnie i z zastosowaniem poprawnej metodologii naukowej. Na podstawie przedstawionego omówienia treści całej rozprawy doktorskiej należy odnotować, że jej Autor wykazał się dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo-badawczych oraz ich efektywnego rozwiązywania wykorzystując przy tym wiedzę z zakresu diagnostyki optycznej, metrologii, zautomatyzowanych systemów pomiarowych oraz metod numerycznych.

3. Oryginalne osiągnięcia

Udowadniając sformułowane tezy oraz realizując wyznaczone cele badawcze, Autor rozprawy uzyskał kilka oryginalnych wyników technicznych i naukowych, do których między innymi zaliczam:

1. Wykazanie możliwości zastosowania profilometrycznego systemu wizyjnego do diagnozowania tramwajowych zestawów kołowych, charakteryzującego się dużą dokładnością i relatywnie krótkim czasem pomiaru.
2. Opracowanie modelu matematycznego umożliwiającego odtworzenie rzeczywistego profilu koła w oparciu o obrazy wiązek laserowych, zarejestrowane za pomocą kamer.
3. Opracowanie bilansu niepewności pomiaru oraz opracowanie metody kalibracji i sposobu walidacji systemu diagnostycznego.

Mając na uwadze wyżej wymienione oryginalne osiągnięcia naukowe uważam, że Pan mgr inż. Arkadiusz Gancarczyk zrealizował założony cel badawczy oraz uzasadnił słuszność sformułowanej tezy. Ponadto wykazał się umiejętnościami samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych i na poziomie naukowym odpowiadającym wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim z obszaru nauk technicznych.

4. Uwagi i komentarze

Zachowując dobrą ocenę całej rozprawy doktorskiej można jednak sformułować następujące uwagi natury ogólnej i szczegółowej:

1. Na początku rozprawy brakuje w moim odczuciu odrębnych podrozdziałów poświęconych genezie pracy oraz motywacji, dla której Autor podjął się tematu. Co prawda Autor umieścił szereg związanych z tym informacji w podrozdziale zatytułowanym "Cele pracy", ale, moim zdaniem, układ pracy zyskałby, gdyby ten podrozdział został podzielony na trzy części: "Geneza pracy", "Motywacja" oraz "Cele pracy".

2. Czy badano wpływ zmian temperatury otoczenia, wilgotności oraz drgań mechanicznych na wyniki pomiaru? Jeśli tak, to czy ten wpływ był istotny?

3. Przedstawione analizy i bilanse niepewności zakładają brak korelacji pomiędzy

poszczególnymi składowymi niepewności. Czy takie założenie jest poprawne, szczególnie w warunkach, w jakich dokonywany jest pomiar?

4. W pracy zauważono kilka błędów merytorycznych, pomyłek, niezrozumiałych opisów i sformułowań. Do istotniejszych można zaliczyć:
   a) Str.6; stwierdzenie w przedostatnim zdaniu jest niejasne: wynika z niego, że kalibracja systemu wizyjnego daje zadowalające rezultaty, ale z następnego zdania wynika, że charakteryzuje się szeregiem wad.
   b) Str.6; Autor wspomina o "konstrukcjach koła o ograniczonym dostępie": prosiłbym o wyjaśnienie na czym polega ów "ograniczony dostęp".
   c) Str. 9; czwarte zdanie jest niezgrabnie sformułowane: może sugerować czytelnikowi, że profile kół są udoskonalane w trakcie ruchu pojazdu.
   d) Str.15; Autor wprowadza pojęcie "linii laserowych" bez określenia czym one są. Należało podać ich odpowiednią definicję, na przykład na str. 4.
   e) Str.47; Autor używa pojęcia "zniekształcone współrzędne". Na czym polega owo "zniekształcenie" współrzędnych?
   f) Str.51; jaka jest niepewność określenia rozmiaru i położenia elementów na planarnej powierzchni wzorca?
   g) Str.51: co to jest "płaszczyzna planarna"?
   h) Str.51: jak zrealizowano "oświetlenie dyfuzyjne"?
   i) Str.57; jakie jednostki powinny znajdować się w opisie osi układu współrzędnych na rys.4.10?
   j) Str.64; zdanie "wykorzystano właściwości pleksi" jest niejasne - jakie właściwości (w domyśle materiałowe) Autor miał na myśli?
   k) Str.75; wzór 5.9 oraz 5.10 nie jest poprawny.
   l) Str.78; wzór 5.14 nie jest poprawny.
   m) Str.80; wzór 5.17 również nie jest poprawny. Poza tym wzór ten został uproszczony tak jakby oba współczynniki wrażliwości były równe jedności. Czy tak jest w rzeczywistości?
   n) Str.82; zdanie "każdy tramwaj składający się z czterech osi", sugeruje, że tramwaj jest zbudowany wyłącznie z czterech osi.

5. Praca pod względem redakcyjnym jest starannie opracowana i zawiera minimalną liczbę tzw. błędów literowych. Natomiast składnia niektórych zdań budzi zastrzeżenia, głównie z uwagi na problem z interpretacją zawartych w nich informacji.

Uwagi wyszczególnione w recenzji, częściowo dyskusyjne, nie ujmują i nie podważają w niczym wyniku pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

5. Podsumowanie

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi i komentarze oraz całość rozprawy doktorskiej wraz z oryginalnymi osiągnięciami naukowo-badawczymi stwierdzam, że

1. **recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Arkadiusza Gancarczyka spełnia wszystkie wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65, poz. 595),**

2. **wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej.**