

Warszawa, 04.04.2022 r.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski
Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska

RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Sznury pt.
„Development of a Power Communication Bus Using HIL and
Computational Intelligence Techniques”.**

1. Uwagi o sformułowanym zadaniu

Na zanieczyszczania środowiska naturalnego po raz pierwszy, w dramatycznych okolicznościach, zwrócono uwagę w Wielkiej Brytanii, gdy w Londynie w dniach 5-9 grudnia 1952 roku wskutek katastrofalnego stężenia dymu i mgły (smogu) zmarło kilka tysięcy osób. Skutkiem tego wydarzenia było wprowadzenie pierwszych regulacji prawnych już pod koniec lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Regulacje te wprowadzały ograniczenia odnośnie ilości związków toksycznych emitowanych przez urządzenia grzewcze oraz pojazdy samochodowe.

Ta sytuacja postawiła nowe wyzwania przed konstruktorami i eksploatatorami silników spalinowych. Dodatkowo należy podkreślić, że wspomniane wyżej zagadnienia są ważnym, ale tylko fragmentem analizy wpływu środków transportu na środowisko naturalne, a w konsekwencji antropogeniczne zmiany klimatu. Stąd, Autor słusznie podnosi problem środowiskowo zorientowanego konstruowania, produkowania i użytkowania pojazdów samochodowych.

Biorąc pod uwagę najnowsze raporty dotyczące zmniejszenie emisji CO₂ w procesach produkcji i eksploatacji pojazdów. Kandydat zwraca uwagę, że jednym z działań może być nowe ujęcie projektowania systemów wiązek przewodów, w tym zmiana materiału przewodzącego a przede wszystkim zmniejszenie liczby przewodów. Analizując dobór

Biuro Dziekana

wptynięto dnia 13.04.2022

RDJMe1791511 2022

nr zał.

materiałów, Autor przywołuje przykład, że właściwości mechaniczne aluminium, w tym kruchość, nie pozwalają na stosowanie tego materiału w budowie w cienkich kabli. Powyższe ustalenia świadczą o tym, że w celu ograniczenia emisji CO₂ należy minimalizować wagę, czas montażu, koszty oraz potencjalne problemy eksploatacyjne.

. Możliwości takie dało wprowadzenie do konstrukcji pojazdów magistrali przesyłania danych, które poza znacznie wyższą niezawodnością i wystarczająco dużą szybkością przesyłania znacznych ilości informacji zapewniają również zdecydowanie mniejszy wpływ niesprzyjających warunków mikroklimatycznych i wibracji oddziałujących na przewody. Wprowadzenie w pojazdach magistrali (sieci transmisji danych) ograniczyło w znaczny sposób masę całkowitą niezbędnego okablowania i złącz, a także zajmowaną przestrzeń. Magistrala danych w samochodzie jest po prostu siecią komputerową, która łączy różne urządzenia sterujące za pomocą wiązki składającej się z dwóch lub trzech przewodów. Jednym z możliwych rozwiązań jest użycie tych samych przewodów do wielu celów, w tym równoległego przesyłanie danych i zasilania. Takim rozwiązaniem może być interfejs pozwalający na zasilanie i przesyłanie danych tymi samymi przewodami, z dodatkową możliwością auto adresowania. Ten problem został podjęty w pracy, wraz z próbą projektowania i optymalizacji interfejsu. Szczególne miejsce zajmuje kwestia auto adresowania z wykorzystaniem tylko dwóch przewodów, czemu Autor poświęca szczególnie wiele uwagi stosując ocenę wielokryterialną z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji (AI) w szczególności algorytmy genetyczne w połączeniu z techniką hardware-in-the-loop (HIL)

Mając na uwadze obecny stan wiedzy w tym zakresie należy uznać, że cele rozprawy sformułowane przez Autora są poprawne, a tematyka pracy ma duże znaczenie naukowo–poznawcze i aplikacyjne.

2. Charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z sześciu rozdziałów, streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści, wykazu rysunków i ilustracji wyników, spisu tabel, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, spisu literatury i zajmuje 104 strony. Wykaz literatury obejmuje 140 pozycje, z których zdecydowaną większość Autor przywołuje w treści

rozprawy. Układ treści, podział na rozdziały, sformułowanie celu rozprawy oraz wniosków końcowych są czytelne i logiczne.

3. Ogólna ocena rozprawy

Celem pracy doktorskiej jest opracowanie magistrali zasilająco-komunikacyjnej z wykorzystaniem technik HIL (ang. Hardware-in-the-Loop) i sztucznej inteligencji, pozwalającej na przesyłanie danych oraz zasilanie za pomocą dwóch przewodów. Opracowane rozwiązanie, umożliwiając zasilanie wybranych układów wykonawczych oraz sensorycznych pojazdu jednocześnie komunikując je z wbudowanymi układami sterowania. Na podstawie przeprowadzonych analiz Autor stwierdził, że zastosowanie zaproponowanej magistrali DLN może umożliwić zmniejszenie masy pojazdu, zmniejszenie emisji CO₂ zarówno poprzez redukcję wykorzystanych materiałów do produkcji, jak i zmniejszenie zużycia energii w czasie eksploatacji. Zaprojektowanie nowej magistrali zasilająco-komunikacyjnej wymagało opracowania nowej metody auto adresowania modułów pracujących w sieci. Autor wskazał nową metodę prototypowania na podstawie techniki HIL wspomaganej algorytmami sztucznej inteligencji, co pozwoliło określić strukturę modułów komunikacyjnych, a także przygotować procedury optymalizacji cech części sprzętowych i programistycznych tych modułów.

W poszukiwaniach optymalnego rozwiązania, Autor odwołuje się do różnych algorytmów optymalizacyjnych, w tym do algorytmów ewolucyjnych jedno- i wielokryterialnych oraz algorytmu optymalizacji rojem. Przeprowadza badania weryfikacyjne w celu określenia wad, zalet i ograniczeń proponowanego ujęcia. Uzyskane wyniki potwierdziły duży potencjał aplikacyjny sieci DLN, opracowanej z ramach zaproponowanej metody optymalizacji.

Zagadnienia podjęte w pracy zostały przedstawione w sześciu rozdziałach, które w szczególności zawierają:

1. Opracowanie nowej metody prototypowania opartej na technice HIL wspartej algorytmami sztucznej inteligencji strojenia cech sprzętowych i programowych proponowanej szyny zasilającej – komunikacyjnej;
2. Sformułowanie problemu optymalizacji wielokryterialnej, w tym zaproponowanie

- własnych kryteriów optymalizacji i kodowania zmiennych decyzyjnych oraz dobór i dopasowanie głównych cech algorytmów optymalizacyjnych;
3. Projekt i wykonanie innowacyjnego stanowiska laboratoryjnego z wykorzystaniem architektury HIL;.
 4. Badania weryfikacyjne z zastosowaniem wybranych algorytmów optymalizacyjnych;
 5. Analiza wyników optymalizacji przez pryzmat przemysłu motoryzacyjnego;
 6. Walidacja otrzymanego rozwiązania w kontekście jego potencjału wdrożeniowego w przemyśle.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie, w którym przedstawiono rozwój transportu. Autor zwrócił uwagę, że początki systemu transportu opierały się na czystych rozwiązaniach inżynierii mechanicznej. Na przestrzeni lat inżynieria mechaniczna ustąpiła miejsca mechatronice z zaawansowaną siecią komunikacyjną. Autor omówił obecny rynek motoryzacyjny, identyfikując trendy rozwoju elektryfikacji i autonomizacji pojazdów, w tym interfejsów komunikacyjnych i rozwój elementów mechanicznych, uwzględniając zainteresowania organizacji, dla której pracuje, odnoszące się do optymalizacji wiązki przewodów.

W jednym z pierwszych rozdziałów Autor opisuje wielorakie zalety optymalizacji wiązek, przede wszystkim redukcję masy i emisji CO₂. Ważną rolę odgrywa również cena. Autor zwraca uwagę, że emisja CO₂ jest silnie uzależniona od regionu i typu elektrowni. W tym samym podrozdziale Autor opisuje techniki, które można wykorzystać do rozwiązywania omawianych problemów, a także wskazuje na potrzebę zaawansowanych technik obliczeniowych do rozwiązania problemu auto adresowania jako jednego z wyzwań badawczych omawianej pracy

Rozdział drugi opisuje nowoczesną inżynierię pojazdów i ich problemy związane z ich utrzymaniem. Autor zaczyna od definicji pojazdu i przechodzi do architektury zasilania. W rozdziale usystematyzowano nazwy różnych architektur, zaczynając od czystego samochodu spalinowego i przechodząc przez wszystkie architektury poczynając do pojazdów akumulatorowych, a także wodoru przez architektury pośrednie do pojazdów autonomicznych.. Autor analizuje emisję dwutlenku węgla wszystkich architektur w ich produkcji i eksploatacji. W ostatnich latach porównywanie emisji CO₂ było stosunkowo

łatwe dzięki prostemu wyliczeniu na podstawie zużycia jednostki paliwa. Jednak w przypadku samochodów napędzanych energią elektryczną lub wodorem jest to większe wyzwanie. Ten sam akumulatorowy pojazd elektryczny może emitować w obliczonym okresie eksploatacji 1,8 lub 46,6 Mg CO₂, w zależności od kraju, w Szwajcarii lub w Polsce. Jak się okazuje, najmniej ekologicznym pojazdem jest używany w Polsce samochód na ogniwa paliwowe, jeśli wodór jest wytwarzany w procesie elektrolizy. W przypadku samochodów na paliwa alternatywne ważne jest, aby korzystać z czystej energii.

W kolejnych podrozdziałach, opisano zagadnienia optymalizacji konstrukcji mechanicznej i doboru właściwej architektury. W ostatniej części analizowany jest wykaz materiałów wraz ze wskaźnikiem zużycia energii w celu określenia obszarów do optymalizacji.

Rozdział trzeci poświęcony jest możliwości optymalizacji wiązek samochodowych. Autor opisuje, jak zbudowane są wiązki i przedstawia proces podejmowania decyzji o wyborze odpowiedniej wiązki do dalszych analiz. Wybrano wiązkę panelu drzwi i opisano związane z tym wymagania. W trzecim podrozdziale proponuje się optymalizację, która sprawdzana jest w bazie patentowej w celu wykazania jej oryginalności. Następnie przeanalizowano artykuły rynkowe i naukowe. Autor znalazł wiele rozwiązań, jak przesyłać energię i dane na tych samych liniach. Należy zauważyć, że rozwiązania można podzielić na dwie opcje, pierwsza to wysłanie danych przy zerowym napięciu na linii prądu przemiennego, a druga to „wprowadzenie” dodatkowego sygnału do linii prądu stałego. Wskazano dwa rozwiązania dedykowane dla motoryzacji, jedno realnie używane do komunikacji między ładowarką a samochodem elektrycznym, drugie z deklaracją użycia w motoryzacji. Autor proponuje rozwiązanie problemu zaopatrzenia i komunikacji z wykorzystaniem tej samej linii, równolegle analizując możliwości auto adresowania.

W wyniku przeprowadzonych analiz określone zostają wymagania odnośnie nowych interfejsów. Następnie Autor dokonał analizy zalet i wad możliwych rozwiązań, proponując nowy interfejs. Nowy interfejs jest analizowany w trzech opcjach jako zastąpienie istniejącej architektury wiązki, z uwzględnieniem możliwości automatyzacji

procesu wytwórczego. Dodatkowo przedstawiono problem globalnej optymalizacji wielokryterialnej, w tym funkcje reprezentujące kryteria optymalizacji Pareto. Ponadto opisana jest również funkcja meta kryterium dla optymalizacji jednocelowej. Pokazano ogólny schemat proponowanej metody. Na początku rozdziału opisane są wszystkie zastosowane algorytmy na podstawie literatury, a autor wyjaśnia, jak działają, jedno i wieloobiektywne algorytmy genetyczne i algorytmy optymalizacji roju cząstek oraz jak zostały wykorzystane w pracy.

Rozdział piąty zawiera wyniki wszystkich zastosowanych algorytmów. Wyniki weryfikacji zostały podzielone na dwie grupy, z których druga, która reprezentuje najlepsze wyniki w zasadzie uzyskane z wykorzystaniem algorytmu PSO. Autor zauważył, że zarówno w algorytmach sztucznej inteligencji, PSO, jak i GA, najwięcej wyników i najlepsze wyniki uzyskano, gdy wielkość populacji/wielkość roju miała największą liczbę osobników/cząstek. PSO daje nieco lepszy wynik niż GA. Najgorsze wyniki osiągnął LHS, ale algorytm ten został użyty tylko do celów porównawczych. Autor opisuje również sposób walidacji wyników końcowych. Przeprowadzono 5000 testów każdej konfiguracji automatycznego adresowania. Należy zauważyć, że dwie najlepsze konfiguracje PSO, jedna GA i jedna LHS, dały podobny poziom prawidłowego zaadresowania.

Rozdział szósty przedstawia wnioski płynące z realizacji pracy. Autor wskazuje, jak istotną redukcję CO₂ można osiągnąć stosując proponowane ujęcie. W rozdziale opisano również wyniki wykorzystania zaawansowanych technik obliczeniowych.

Prace kończy rozdział siódmy, w którym przedstawiono możliwości industrializacji. Autor wskazuje, że ze względu na obecny kryzys krzemowy nie jest możliwe natychmiastowe wdrożenie uzyskanego rozwiązania.

Wyniki uzyskane w eksperymencie laboratoryjnym i podczas przeprowadzanych analiz porównawczych potwierdziły uprzednie rozważania i poprawne wyznaczenie celów. Całość przeprowadzonych wywodów należy uznać za przekonującą. Przedstawiony materiał ma kompleksowy charakter i wskazuje na dobre przygotowanie warsztatowe Kandydata.

4.Uwagi szczegółowe i zapytania

Przedstawiona do recenzji rozprawa, jak już wspomniałem jest obszernym przedstawieniem szeregu istotnych zagadnień dla dalszego rozwoju transportu samochodowego.

Taki ujęcie pozwala Autorowi dodatkowo analizować przyjęte rozwiązania i formułować wnioski co do dalszych prac i kierunków badań. Równocześnie w trakcie czytania rozprawy pozwala sformułować również kilka uwag.

Teoretycznie do przesyłania informacji w magistrali wystarczyłby właściwie jeden przewód, ponieważ transmisja danych odbywa się szeregowo, w odpowiedniej, uporządkowanej kolejności (jedna za drugą).

W praktyce dane są jednak przesyłane jednocześnie dwoma przewodami ze zmianą potencjału, co zabezpiecza transmisję przed wszelkimi zakłóceniami elektromagnetycznymi. Dodatkowym zabezpieczeniem przysyłanych informacji przed zakłóceniami z zewnątrz (np. wywołanymi przez alternator lub układ zapłonowy) jest skręcenie przewodów razem, co powoduje, że suma napięć przewodów w każdej chwili pozostaje stała i nie powstają efekty pola elektrycznego.

Stąd pytanie do Autora, czy w technicznej realizacji koncepcji jednoprzewodowej magistrali zasilająco-komunikacyjnej Autor uwzględnił wyżej wspomniane problemy?

Z kolei „omawiając propozycje związane z nowym interface’em DLN (Device Lightweight Network) Autor podkreśla Znaczenie PWM, co jest skrótem od angielskiego zwrotu Pulse Width Modulation, oznaczającego realizację modulacji przez zmianę szerokości impulsu. Z tym wiąże się zmiana współczynnika wypełnienia w sygnale PWM i tym samym zmiana wartości średniej np. Napięcia i związanej z tym prędkości obrotowej silnika Elektrycznego DC. Autor skrót PWM wyprowadza od zwrotu Pulse With Modulation, co dokumentuje odpowiednio rysunkami 3,4 i 4.1 Prosiłbym o wyjaśnienie „czy to jest tylko „literówka” , czy rozwinięcie PWM w zasadniczym znaczeniu.

5.Końcowa ocena pracy

Oceniając całość przedstawionej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą i techniczną głównego problemu pracy. Autor w głównej mierze skupił się nad opracowaniem metody projektowania i magistrali zasilająco-komunikacyjnej, co w pełni wyczerpuje zakres rozprawy doktorskiej. Równocześnie takie ujęcie pozwala całkowicie ocenić poprawność przyjętej metodyki postępowania, przeprowadzić analizę i zweryfikować otrzymane wyniki.

Zagadnienie zostało rozwiązane samodzielnie, a uzyskane rezultaty mogą być w części wykorzystane bezpośrednio w postaci rozwiązań aplikacyjnych, w części stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie określone w pracy Autor wykazał się dobrą znajomością i wyczuciem problemów technicznych i rzetelną wiedzą z dziedziny pojazdów i instalacji elektrycznych. Połączenie tej wiedzy ze znajomością metod prowadzenia badań laboratoryjnych umożliwiło Doktorantowi rozwiązanie interesującego zadania naukowego.

W szczególności warto podkreślić merytoryczną stronę rozprawy, w tym kompleksowe opracowanie procedur projektowania układów zasilająco-komunikacyjnych. Szczególną wagę ma połączenie badań laboratoryjnych, z aplikacją, bowiem wskazuje na połączenia zadania naukowego z możliwością wdrożenia uzyskanych wyników rozprawy.

Na uwagę zasługuje zakres prac badawczych, które umożliwiły opracowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej, oryginalność rozwiązania istotnego zagadnienia naukowego, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Dodatkowo Autor opracował oryginalną metodę prototypowania mechatronicznych układów samochodowych bazujących na technice HIL wspomaganej algorytmami inteligencji obliczeniowej, która została wdrożona w działalności firmy DRÄXLMAIER i może być obecnie z powodzeniem stosowana do rozwoju nowych produktów tej firmy. Stąd, przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. Wobec spełnienia wszystkich wymogów Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Marka Sznury do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Prof. Stanisław Radkowski

/podpis odręczny/