

dr hab. inż. Damian Mazur, prof. PRz.
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Rzeszowska

Rzeszów, 2023.06.22
SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 27. 06. 2023

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Sierszyńskiego pt. "Koncepcja i weryfikacja elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych" opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, pismo z dnia 27.04.2023r.

Tematyka rozprawy

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie metodyki projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych oraz wdrożenie zaproponowanego rozwiązania (metodyki i architektury opracowanej w oparciu o tę metodykę) w firmie Solaris. Jest to zbieżne z obecnym dynamicznym rozwojem rynku pojazdów elektrycznych w tym autobusów. Doktorat wdrożeniowy koncentruje się na praktycznym wykorzystaniu wyników badań w celu stymulowania innowacyjności i rozwoju gospodarki, a także na rozwinięciu umiejętności kandydata w prowadzeniu działalności badawczo-rozwojowej we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym. Rozprawa wpisuje się w istniejącą wiedzę naukową, ponieważ prezentuje oryginalną metodologię projektowania architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych. Autor rozprawy przeprowadził walidację zaproponowanego rozwiązania, porównując je z istniejącymi architekturami. Istotnym aspektem rozprawy jest również wielokryterialna optymalizacja techniczno-ekonomiczna rozwiązania, która ma kluczowe znaczenie dla przemysłu transportowego. Ponadto autor rozprawy przeprowadził analizy wrażliwości dla zmiennych kosztów komponentów oraz dla długości okablowania. Metoda opracowana w ramach rozprawy obejmuje agregację urządzeń nadzorczo-sterujących oraz optymalne rozmieszczenie tych urządzeń w autobusie, uwzględniając koszty i długość okablowania. Korzystając z analiz optymalizacyjnych wdrożono dwuetapową ocenę rankingową, aby stworzyć zbiór dopuszczalnych konfiguracji i dokonać wyboru optymalnego rozwiązania do implementacji. Metodyka projektowania, która została wprowadzona, uwzględnia analizę obowiązującego prawa, norm oraz technicznych i biznesowych wymagań. Ponadto, wykorzystuje metody wspomaganie decyzji, aby dokonać właściwego wyboru rozwiązań do implementacji. Przeprowadzone testy zostały wykonane na zaimplementowanej architekturze w autobusie Urbino Electric. Ostatecznie, zaproponowana metodyka została wdrożona w przedsiębiorstwie Solaris Bus & Coach sp. z o.o., co podkreśla praktyczne zastosowanie wyników rozprawy. Praca ta stanowi znaczący wkład w rozwój projektowania architektury nadzorczo-sterującej dla pojazdów elektrycznych i może stanowić podstawę dla dalszych badań i rozwoju w tym obszarze. Autor omówił istniejące teorie, modele i koncepcje związane z tematem rozprawy. Rozprawa składa się z kilkunastu rozdziałów, które obejmują przegląd stanu wiedzy, metodyki projektowania, koncepcje i założenia, oraz analizę ograniczeń i normatywnych uwarunkowań. Autor przedstawia również przegląd metod optymalizacji oraz omawia wymianę danych, diagnostykę magistrali, topologię sieci komunikacyjnych, oraz technologię informacyjną, które są związane z architekturą nadzorczo-sterującą w pojazdach.

Ogólnie omówienie rozprawy

Niniejsza praca składa się ze: 236 stron, 13 rozdziałów oraz bibliografii. Bibliografia jest niezwykle obszerna i zawiera 185 pozycji literaturowych.

Praca zawiera 13 rozdziałów, które łącznie prezentują kompleksowe podejście do projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej oraz jej wdrożenia. Głównym celem tej pracy jest stworzenie platformy komunikacyjnej, która umożliwi interesariuszom skuteczne uczestnictwo w procesie projektowania i oceny architektury. W pracy zostały sformułowane szczegółowe procedury postępowania, które staną się integralną częścią metodyki projektowej. Te procedury zapewniają spójne i efektywne podejście do projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej. W pracy opisano opracowanie notacji strukturyzującej, która umożliwi modelowanie i reprezentację architektury nadzorczo-sterującej. Notacja ta pełni rolę narzędzia komunikacji pomiędzy różnymi interesariuszami zaangażowanymi w projektowanie i ocenę architektury. W celu określenia optymalnych rozwiązań architektury w następnej kolejności zdefiniowano przestrzeń rozwiązań, uwzględniając określone kryteria i ograniczenia optymalizacyjne. Dąży się do znalezienia najkorzystniejszych rozwiązań, które spełniają wymagania projektu. W celu oceny przydatności metodyki, przeprowadzono wdrożenie pilotażowe podczas projektowania architektury dla autobusu elektrycznego. Ostatecznym etapem było wdrożenie zaprojektowanej architektury w rzeczywistym autobusie elektrycznym oraz przeprowadzenie eksperymentu weryfikacyjnego. Ten eksperyment miał na celu weryfikację działania architektury oraz ocenę jej skuteczności i wydajności w rzeczywistych warunkach. Cały proces miał na celu rozwinięcie i dostarczenie metodyki projektowej elastycznej architektury nadzorczo-sterującej, która umożliwi efektywne jej projektowanie i ocenę w złożonych systemach, takich jak autobusy elektryczne.

Rozdział 1 zawiera uzasadnienie podjęcia tematu związanego z autobusami elektrycznymi, ich architekturą nadzorczo-sterującą oraz przegląd stanu wiedzy w tym zakresie. Postawiono w nim również tezę rozprawy oraz przedstawiono cele. Rozdział został oparty o 31 pozycji literaturowych (1-31) zarówno krajowych, jak i zagranicznych, w tym 8 pozycji literatury, których współautorem jest autor rozprawy. Wykazano, że aby zapewnić jakość i niezawodność transportu publicznego, konieczne jest zastosowanie wiedzy inżynierskiej związanej z teorią projektowania i optymalizacji układów nadzorczo-sterujących. W części przedstawiającej przegląd stanu wiedzy związanej z architekturą nadzorczo-sterującą przedstawiono aktualnie stosowane kluczowe koncepcje architektury bazujące na rozwiązaniach domenowych oraz strefowych stosowanych w pojazdach kategorii M. W ramach rozdziału postawiono tezy pracy: „Teza 1: Sformułowana w rozprawie metodyka umożliwia zaprojektowanie elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych, optymalnej z punktu widzenia kryteriów ekonomicznych i technicznych, z uwzględnieniem ograniczeń optymalizacyjnych, na które składają się normatywne wymagania formalne oraz preferencje producenta i nabywcy autobusu elektrycznego.” oraz „Teza 2: Zastosowane w rozprawie ilościowe i jakościowe metody badawcze umożliwiają walidację elastycznej architektury nadzorczo-sterującej zaprojektowanej zgodnie ze sformułowaną w rozprawie metodyką projektowania.”. Przedstawiono również cel główny rozprawy: „Celem głównym rozprawy jest opracowanie metodyki projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych oraz wdrożenie zaproponowanego rozwiązania (metodyki oraz architektury) w firmie Solaris.”, który został zdekomponowany na cele szczegółowe przedstawione na stronie 12.

Rozdział 2 dotyczy rozwoju układów elektronicznych w pojazdach, szczególnie w autobusach, oraz wprowadzenia magistrali komunikacyjnych, które umożliwiły redukcję okablowania. Omawia także komunikację zewnętrzną z autobusem i specjalistyczne systemy umożliwiające zdalną diagnostykę usterek i gromadzenie danych eksploatacyjnych. Rozdział został oparty o 41 pozycji literaturowych [32-73] zarówno krajowych, jak i zagranicznych z uwzględnieniem najnowszych publikacji z 2022 roku. W rozdziale opisano w szczególności architekturę nadzorczo-sterującą w kontekście wymiany danych pomiędzy urządzeniami zainstalowanymi w ramach tej architektury. Architektura obejmująca różne

klasy urządzeń, takie jak eliminatory klasycznej wiązki elektrycznej, urządzenia zwiększające komfort jazdy, urządzenia utrzymujące komunikację w czasie rzeczywistym, urządzenia bezpieczeństwa czy też urządzenia multimedialne wymaga wymiany danych między tymi urządzeniami. W rozdziale tym zestawiono również wyniki analizy dotyczącej rozpoznania potrzeb technicznych i biznesowych związanych z architekturą nadzorczo-sterującą. Architektura nadzorczo-sterująca obejmuje urządzenia monitorujące procesy w pojeździe, sterowanie nimi i konfigurację. W rozprawie przedstawiono HMI jako łącznik między kierowcą a pojazdem, umożliwiającą dozór stanu pracy pojazdu oraz zlecenie usług i nadzorowanie ich przebiegu. Zwrócono uwagę na cechy dobrego interfejsu HMI, takie jak obserwowalność, przewidywalność, bezpośredniość i aktualność. Istotne jest przekazywanie kierowcy tylko niezbędnych informacji w czasie rzeczywistym w zunifikowanej formie pozwalającej na automatyczną jego reakcję. Wybór odpowiedniego HMI ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa, ponieważ opóźnienia w przekazywaniu informacji mogą prowadzić do wypadków. Przeprowadzone badania i eksperymenty wskazały na potrzebę szybkiej pętli zwrotnej dla systemów związanych z prowadzeniem pojazdu i wsparciem kierowcy, umożliwiających komunikację w zdefiniowanych reżimach czasowych. W ramach przeprowadzonych eksperymentów porównano dwa warianty interfejsu HMI wspomagającego manewry pojazdu: zewnętrzny i zintegrowany z pulpitem w pojeździe. Analiza wyników wskazała, że system zewnętrzny osiągnął lepsze wyniki pozycjonowania, mimo niedogodności związanych z trudniejszą akomodacją oka niż system zintegrowany, który ze względu na informacje pochodzące z innej gałęzi komunikacyjnej wykazywał milisekundowe opóźnienia. W ramach rozdziału podkreślono znaczenie odpowiedniej architektury i alokacji urządzeń w celu zapewnienia efektywnej komunikacji. Zaprezentowano także zmienioną topologię linii ICAN w autobusie miejskim, mającą na celu redukcję opóźnień. W rozprawie opisano stanowisko testowe, które zostało zaprojektowane przez autora rozprawy i wykorzystane do weryfikacji obciążeń magistrali CAN.

W rozdziale 3 omawiany jest wpływ przepisów prawa, norm i wymagań klientów na projektowanie i implementację rozwiązań w autobusach elektrycznych oraz sam proces projektowania. Autor szczegółowo przeanalizował różne rodzaje dokumentów regulujących branżę autobusową, takich jak dyrektywy, rozporządzenia, regulaminy i normy. Rozdział został oparty o 23 pozycje literaturowe [74-97] zarówno krajowych, jak i zagranicznych autorów, uwzględniające również najnowsze normy i przepisy prawa europejskiego. Wnioskiem z rozdziału jest, że przepisy prawne, normy i wymagania klientów mają kluczowe znaczenie dla projektowania i implementacji rozwiązań w autobusach elektrycznych, a producenci muszą uwzględniać te regulacje i normy w procesie projektowania architektury nadzorczo-sterującej. Szczegóły dotyczące zakresu stosowania regulaminów oraz przykładowych norm do których regulaminy się odwołują, które muszą być spełnione w celu otrzymania homologacji pojazdu autor rozprawy zawarł w publikacjach, które ukazały się na łamach Przeglądu Elektrotechnicznego :

- Sierszyński M., Chełchowski Ł., Kaczmarczyk B., Muszyński P., Michalak D. Analiza wybranych przepisów i norm istotnych z punktu widzenia projektowania autobusów cz.1, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097. — 2022 R. 98 nr 8, s. 158–162.

- Sierszyński M., Chełchowski Ł., Kaczmarczyk B., Muszyński P., Michalak D. Analiza wybranych przepisów i norm istotnych z punktu widzenia projektowania autobusów cz.2, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097. — 2022 R. 98 nr 8, s. 163–167.

Rozdział 4 opisuje przegląd metod optymalizacji wielokryterialnej, które są wykorzystywane do analizy i wyboru optymalnych rozwiązań w kontekście tworzenia architektury nadzorczo-sterującej dla autobusu. Rozdział oparty o pozycje literaturowe [98 – 109] zarówno krajowych, jak i zagranicznych autorów, uwzględniające również najnowsze trendy związane z uczeniem maszynowym. W rozprawie zauważono potrzebę stworzenia zbioru optymalnych rozwiązań spośród dostępnych konfiguracji architektury i rozwiązań technicznych. W celu klasyfikacji analizowanych rozwiązań architektury nadzorczo-sterującej, autor proponuje wykorzystanie metod optymalizacji wielokryterialnej. Te metody umożliwiają w pierwszym etapie uzyskanie zbioru rozwiązań, które nie są dominowane przez

żadne inne rozwiązania, czyli są optymalne pod względem optymalizacji wielokryterialnej. Następnie, w drugim etapie, poprzez minimalizację zbioru funkcji celu z uwzględnieniem ograniczeń, wybierane jest rozwiązanie do implementacji. Rozdział prezentuje zestawienia w formie tabeli i rysunków, które ilustrują podział metod optymalizacji wielokryterialnej oraz przedstawiają przykłady deterministycznych metod optymalizacji wraz z kryteriami oceny i opisem metody. W rozdziale przedstawiono algorytmy genetyczne i algorytmy ewolucyjne jako metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych opartych na naśladowaniu ewolucji biologicznej. W tabeli 4.3 zebrano różne algorytmy niedeterministyczne stosowane w podejściu ewolucyjnym w optymalizacji wielokryterialnej. Wnioskiem tego rozdziału jest, że wybór metody optymalizacji wielokryterialnej zależy od specyfiki problemu, dostępnych danych, preferencji i celów analizy.

Rozdział 5 stanowi trzon pracy. Wspierając się na literaturze stworzono i przedstawiono koncepcję i założenia metodyki projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej. W pracy autor wskazał, że organizacja projektująca system z dużym prawdopodobieństwem stworzy strukturę komunikacyjną identyczną z jej strukturą organizacyjną. Aby uniknąć problemów związanych z koordynacją działań, zespoły projektowe powinny być zbudowane w granicach usług oferowanych przez organizację, zamiast funkcjonować jako oddzielne silosy. Autor opracował praktyczne zasady postępowania, które doprowadziły do stworzenia nowej metodyki projektowania tej architektury. Projektowanie elastycznej architektury nadzorczo-sterującej wymaga współbieżnego projektowania, czyli równoczesnego prowadzenia różnych procesów projektowych. Autor dokonał analizy związanej z kryteriami podziału form organizacyjnych przy projektowaniu i wskazał autonomiczny zespół ekspertów jako ten, który używając metod wspomagania decyzji najlepiej rozwiąże omawiany problem projektowy.

Rozdział 6 opisuje metodykę projektowania nowej architektury nadzorczo-sterującej dla pojazdów. Autor analizował obecnie stosowane rozwiązania producentów pojazdów oraz zebrał pomysły usprawnień przy użyciu metody Delphi. Następnie zdefiniował cele strategiczne i szczegółowe, które zostały zatwierdzone przez interesariuszy i sponsora projektu. W tabeli 6.1 zostały zestawione cele strategiczne dla tworzonej nowej architektury, do których należą między innymi:

1. Architektura zapewniająca możliwość rozbudowy przy zapewnieniu obciążeń na magistralach komunikacyjnych umożliwiających bezpieczne funkcjonowanie autobusu.
2. Architektura zawierająca możliwość komunikacji z zewnętrznymi urządzeniami instalowanymi przez klientów bez ingerencji w jej strukturę przy zapewnieniu bezpieczeństwa pojazdu.
3. Architektura uwzględniająca możliwość podłączenia urządzenia zdalnej diagnostyki eSConnect.
4. Architektura dostosowana do wymagań normy ISO26262 w celu ułatwienia jej implementacji.
5. Architektura umożliwiająca implementację wymagań związanych z bezpieczeństwem cybernetycznym.
6. Architektura możliwa do zaimplementowania w rodzinie autobusów Urbino electric.

Autor rozprawy dokonał również systematyzacji wymagań w macyry logicznej (Tabela 6.2), w której zestawił i opracował w syntetycznej formie cele, związki przyczynowo - skutkowe oraz ryzyka wraz z punktami krytycznymi, które mogą wystąpić przy implementacji nowo tworzonej architektury.

Rozdział 7 przedstawia metodyki projektowania, wskazuje kroki dotyczące tworzenia modelu macyry komunikacyjnej korelacji. Autor rozprawy przeprowadza analizę wymagań funkcjonalnych i grupuje je w celu uzyskania spójnego zestawienia funkcjonalności, które pojazd ma realizować. Następnie uwzględnia niezbędne urządzenia do realizacji tych funkcji i sprawdza, czy sterownik wymaga danych zewnętrznych do poprawnej pracy oraz czy inne sterowniki potrzebują danych generowanych przez dany sterownik. W rozprawie wskazano, że istnieją trzy podstawowe grupy urządzeń, które wymagają możliwości zewnętrznej (poza pojazd) komunikacji. Stanowią one rozszerzenie tworzonej architektury. Są to systemy informacji pasażerskiej i zarządzania flotą, zdalnej diagnostyki oraz komunikacji ze stacjami

ładowania lub tankowania w przypadku autobusów elektrycznych lub wodorowych. W rozdziale przedstawiono stanowisko testowe systemu informacji pasażerskiej o nazwie Oneline (zaprojektowanego w firmie Solaris) oraz interfejsu FMS, który stanowi łącznik między systemem Oneline a resztą architektury autobusu. W rozdziale autor przedstawił również systemy IoT takie jak eSConnect pozwalające na przejście od rozwiązań post factum do rozwiązań predykcyjnych. Szczegóły dotyczące eSConnect – rozwiązania stworzonego i zaimplementowanego w firmie Solaris zostały przedstawione na joint Technical Meeting of Polish Chapters IEEE RAS and IEEE VTS: November 27 2020. Prezentacja „How to design IoT system for buses?” Chełchowski Ł., Pikuła M., Sierszyński M., Automated and Intelligent Vehicles [9]. Podsumowanie przedstawiające rozwiązanie implementowane w firmie Solaris dostępne jest w Raporcie 2021 cyfrowa nauka, gospodarka i społeczeństwo, red. Magdalena Baranowska-Szczepańska wydanym przez Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe str. 86–87. „Zarządzanie danymi w celu zwiększenia niezawodności eksploatacyjnej autobusów miejskich, Sierszyński M., Pril A., Białek R., Chełchowski Ł.” Rozwiązanie to zapewnia nie tylko możliwość przeprowadzenia zdalnej diagnozy stanów awaryjnych, które mogą wystąpić w autobusie ale również zapewnia zewnętrzny dostęp do danych w czasie rzeczywistym oraz możliwość ich archiwizacji w formie zagregowanej na serwerze. Najważniejszym fragmentem rozdziału jest fragment omawiający przeprowadzoną przez autora rozprawy analizę interfejsów komunikacyjnych urządzeń nadzorczo-sterujących. W oparciu o tę analizę autor opracował matrycę korelacji, która wskazuje powiązania komunikacyjne między urządzeniami oraz tryby transmisji danych. Na podstawie matrycy opracowano strategię rozdziału urządzeń na podsięci.

Rozdział 8 dotyczy metodyki projektowania architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych, uwzględniającej różne rodzaje ograniczeń, takie jak normy, przepisy prawa, technologiczne, ekonomiczne itp. Autor podkreśla znaczenie bezpieczeństwa funkcjonalnego i przedstawia dyrektywy UE oraz normy branżowe dotyczące bezpieczeństwa produktów. Autor stworzył także plan bezpieczeństwa i wykonał analizę zagrożeń wraz z oceną ryzyka (HARA) dla kształtowania architektury. Zdefiniował interwały czasowe tolerancji na błędy FTTI oraz przeprowadził i zaprezentował analizę FMEA. W dalszej części rozdziału autor omówił kwestie dotyczące bezpieczeństwa cybernetycznego w architekturze komunikacyjnej pojazdów. Autor wskazał odpowiednie regulacje i normy, których przestrzeganie pozwoli wyeliminować słabe punkty w projektowaniu architektury. W analizie topologii sieci komunikacyjnych w autobusach elektrycznych firmy Solaris, autor wykorzystał nieskierowane grafy ważone do analizy topologii sieci w celu zidentyfikowania poziomu podatności na zagrożenia oraz połączeń komunikacyjnych w sieci. W ramach rozdziału zostały omówione techniczne i biznesowe ograniczenia związane z budową architektury nadzorczo-sterującej. Autor przedstawił w rozdziale opracowany przez siebie i zaimplementowany system wspierający klasyfikację urządzeń do poszczególnych linii komunikacyjnych. Klasyfikacja urządzeń opiera się między innymi na algorytmach klasyfikacji, takich jak k-najbliższych sąsiadów. Autor opisuje również ograniczenia związane z infrastrukturą i konstrukcją autobusów powiązane z ograniczeniami lokalizacyjnymi urządzeń nadzorczo-sterujących. W kontekście rozważanego problemu, autor zaproponował metodę optymalizacji miejsca instalacji układów nadzorczo-sterujących, którą przedstawił na podstawie doboru miejsca lokalizacji dla sterownika EBS. Przedstawiona analiza uwzględnia długość okablowania, miejsce ułożenia kabli oraz stałe miejsca instalacji innych komponentów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy dotyczącej możliwości komputera centralnego w zakresie integracji komunikacyjnej poszczególnych urządzeń i realizowania określonych funkcji w pojeździe wykazano poprawność rozwiązania umożliwiającą dalszy rozwój architektury i oprogramowania.

W rozdziale 9 autor podsumował koncepcję metodyki projektowania architektury z punktu widzenia matematycznego budując oryginalny zbiór konfiguracji dopuszczalnych architektury składający się z parametrów określających daną architekturę. Na konfiguracje narzucone są ograniczenia przedstawione w rozdziale 8. Zbiór dopuszczalnych konfiguracji architektury został zapisany w postaci

macierzy. Poszczególne architektury dopuszczalne autor rozprawy ustrukturyzował i przedstawił jako macierze składające się z konfiguracji poszczególnych linii, zawierające informacje charakteryzujące daną linię oraz urządzenia wchodzących w jej skład. Zaproponowane konfiguracje dopuszczalne architektury opierają się na dwóch komputerach sterujących: komputerze pojazdowym i napędowym. W celu uniknięcia przekroczenia dopuszczalnego obciążenia sieci komunikacyjnej przez urządzenia, wybrane konfiguracje opierają się na koncepcji wielu magistral. Magistrale połączone są z komputerami pokładowym i napędowym, tworząc architektury gwiazdowo-liniowe, z mostem komunikacyjnym pomiędzy nimi. W analizowanych konfiguracjach funkcję gateway'ów pomiędzy magistralami pełnią komputery sterujące, co prowadzi do istotnej redukcji kosztów architektury. Nowe rozwiązania pozwalają na zmniejszenie obciążenia magistral, co przyczynia się do poprawności ich pracy zarówno w normalnych warunkach, jak i w przypadku awarii. W ramach notacji strukturyzującej modelowanie architektury zaproponowano użycie grafów nieskierowanych do reprezentacji fizycznych i logicznych połączeń w architekturze oraz analizy poziomu bezpieczeństwa cybernetycznego.

Rozdział 10 przedstawia działania związane z metodyką projektowania związane z wyborem architektury. Wybór optymalnego rozwiązania do implementacji związany jest z określeniem kryteriów wyboru. Autor rozprawy wskazał, iż z uwagi na różnorodne kryteria techniczne i biznesowe, które często są ze sobą sprzeczne i nieprzeliczalne, niemożliwe jest sprowadzenie zadania do pojedynczego kryterium skalarne. Przeprowadzone w rozprawie analizy nie wskazały również jednej funkcji celu, lecz opierając się na przeglądzie celów strategicznych autor zaproponował wektor funkcji celów, co zwiększyło złożoność zadania. Zadanie przedstawione w rozprawie sprowadzono do problemu optymalizacji wielokryterialnej, polegającej na minimalizacji wektora funkcji celów, przy zachowaniu określonych ograniczeń. Autor zaproponował dwuetapową metodę optymalizacji wielokryterialnej, w której na pierwszym etapie wyznaczył zbiór konfiguracji kompromisowych, a w drugim etapie wybrał optymalne rozwiązanie spośród nich. Analiza przestrzeni rozwiązań optymalnych w kontekście problemu optymalizacji architektury umożliwiająca uzyskanie konfiguracji kompromisowych została przeprowadzona jako klasyfikacja rozwiązań przy uwzględnieniu wektora zmiennych decyzyjnych. W celach porównawczych autor użył dwóch metod identyfikujących kandydatów na rozwiązania optymalne. Zastosował Diagram Hassego reprezentujący uporządkowany zbiór do analizy rozwiązań dopuszczalnych zapisanych w zredukowanej macierzy konfiguracji dopuszczalnych. Drugą metodą była metoda wyznaczenia zbioru optymalnego w sensie Pareto, jako zbioru niezdominowanych rozwiązań, tworzących front Pareto. Następnie przedstawiono proces przejścia problemu z przestrzeni parametrów do przestrzeni kryteriów. Określono funkcje celu opisujące jakość architektury i jej koszt oraz funkcje ograniczeń technicznych. Zadanie optymalizacji polegało na znalezieniu architektury, która minimalizuje obciążenie linii komunikacyjnych, koszt okablowania, a jednocześnie maksymalizuje poziom bezpieczeństwa. Przyjęto dwie przeciwstawne funkcje celu, które stanowiły kryteria optymalizacji wielokryterialnej. W kolejnej części rozdziału dokonano wyboru architektury do implementacji w oparciu o dwie metody: znormalizowane kryterium zbiorcze i kryterium globalne. Metoda znormalizowanego kryterium zbiorczego opierała się na zredukowanej macierzy konfiguracji dopuszczalnych, uzyskanej za pomocą metody diagramu Hassego. Redukcja parametrów architektury prowadziła do korzystniejszych rozwiązań, z wyjątkiem parametru związanego z poziomem bezpieczeństwa cybernetycznego, który wymagał zwiększenia wartości. Zastosowano także kryterium zastępcze, które agregowało poszczególne kryteria oceny, umożliwiając optymalizację jednokryterialną. Alternatywną metodą wyboru architektury była metoda kryterium globalnego, która pozwalała znaleźć najlepsze rozwiązanie w całym obszarze przeszukiwań. Na podstawie rozwiązań ze zbioru Pareto wyznaczono również kolejne rozwiązanie optymalne. W obu rodzajach optymalizacji wyniki były zgodne. Autor rozprawy przedstawił wniosek z analiz, w którym wskazał, że metoda kryterium zbiorczego preferowała rozwiązania nieco tańsze, ale mniej bezpieczne, podczas gdy metoda kryterium globalnego wskazywała na rozwiązania droższe, ale bardziej bezpieczne.

W rozdziale 11 wskazano architekturę wybraną do implementacji. Architektura została zaimplementowana i uruchomiona w pojeździe Urbino 15LE electric, a następnie zaktualizowana w

Urbino 9LE electric. W rozprawie opisano szczegółowo kompletne wdrożenie architektury w autobusie nE12 Demo PL 2022 bazujące na stworzonej metodyce. Wdrożenie zaprezentowano na autobusie nE12 argumentując to zmianami jednostek komputera pokładowego i napędowego oraz ich oprogramowania mającymi na celu dostosowanie rozwiązania do wymagań normatywnych związanych z bezpieczeństwem funkcjonalnym. Dzięki temu autor udowodnił również trwałość zaprojektowanego rozwiązania.

Rozdział 12 przedstawia eksperyment walidacyjny. Weryfikację wykonano w dwóch etapach. Pierwszy etap stanowi porównanie zaimplementowanej w autobusie architektury z rozwiązaniami istniejącymi. Drugi etap stanowi porównanie otrzymanych w ramach przeprowadzonych eksperymentów badawczych wyników z danymi na podstawie teoretycznych obliczeń realizowanych podczas tworzenia rozwiązania. Aby móc przeprowadzić weryfikację stworzono architekturę bazując na wytycznych dotyczących istniejących rozwiązań wskazanych w rozdziale 2 niniejszej rozprawy. Analizy potwierdziły wskazane przez autora rozprawy rozwiązanie jako najbardziej optymalne w zakresie wybranych kryteriów optymalizacyjnych. Przeprowadzono analizę wrażliwości wykazując, że rozwiązanie optymalne wskazane przez autora rozprawy pozostaje niezależne mimo istotnych wahań kosztów urządzeń i okablowania jakie miały miejsce w analizowanym okresie. Podczas analiz porównawczych zaimplementowanego rozwiązania z obliczeniami teoretycznymi wykryto niewielkie różnice w poziomie maksymalnych obciążeń generowanych na poszczególnych magistralach w stosunku do wartości teoretycznych. Zidentyfikowano przyczynę występowania tych sytuacji i wskazano metodę zapobiegania, która polega na konieczności symulowania dodatkowego obciążenia w fazie projektowania. Wykazano również, że dokładane obciążenie musi charakteryzować się określonym typem asymetrii rozkładu.

Rozdział 13 który kończy prace zawiera podsumowanie etapów opracowanej metodyki. Wykazano osiągnięcie założonych w pracy celów. Na podstawie badań i analiz przeprowadzonych przez autora podczas wdrażania metodyki oraz implementacji architektury sformułowano wnioski. Wskazano również najważniejsze osiągnięcia autora rozprawy. Zaproponowana metodyka projektowania architektury systematyzuje wymagania dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz cybernetycznego, co stanowi aktualnie zarekomendowane podejście do projektowania architektury nadzorczo-sterującej w firmie Solaris. Rozprawa wskazuje skuteczną metodykę badań, która pozwala na zweryfikowanie oraz walidację powstałych rozwiązań.

Ocena merytoryczna rozprawy

Oceniając dokładnie jakość i trafność zastosowanej metodologii badawczej, należy zwrócić szczególną uwagę na dobranie odpowiednich metod i narzędzi badawczych, sposób gromadzenia danych oraz analizy i interpretacji wyników. Przeprowadzone badania są wiarygodne i zgodne z obowiązującymi standardami naukowymi. Autor wykazał się solidnym podejściem do badawczej procedury, uwzględniając odpowiednie techniki i protokoły. Metodologia jest opisana starannie, a zastosowane narzędzia są adekwatne do celu badania. Analiza danych została przeprowadzona w sposób rzetelny, a wyniki zostały odpowiednio zinterpretowane. W rezultacie, można stwierdzić, że zastosowana metodologia badawcza jest solidna i dostarczała odpowiednich informacji dla prowadzonych badań. Badania należy kontynuować po wprowadzeniu rozwiązania na większej próbie pojazdów aby utrzymać wskazaną na rysunku 5.1 koncepcję i umożliwić dalszy jej rozwój. Ciągłe monitorowanie zaprojektowanych rozwiązań wskaże na nowe dodatkowe cechy charakteryzujące tworzone architektury nadzorczo-sterujące, które muszą być wzięte pod uwagę w procesie ich wyboru. Wnioski wyciągnięte przez autora są spójne z postawionymi celami i tezą rozprawy. Autor podkreśla, że indywidualne podejście do projektowania architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych przynosi lepsze rezultaty niż zastosowanie gotowych rozwiązań. Wnioski dotyczące

ważności uwzględnienia przepisów prawnych, standardów bezpieczeństwa i zagrożeń cybernetycznych są zgodne z celem zapewnienia bezpiecznej i zgodnej z normami architektury. Autor rozprawy powinien jednak wskazać bardziej szczegółowo obszary dalszych badań i rozwoju w danej dziedzinie, identyfikując zagadnienia, które nadal wymagają zgłębienia i poszerzenia wiedzy. Powinny być również wskazane potencjalne korzyści dla użytkowników końcowych.

Autor przedstawia spójną koncepcję metodyki projektowania elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych i omawia kolejne etapy tego procesu. Autor wydaje się uwzględniać istniejące teorie i modele, a także analizuje ograniczenia techniczne, biznesowe oraz uwarunkowania normatywne i prawne związane z tematem. Ogólnie rzecz biorąc, argumentacja w tekście jest spójna i logiczna. Autor rozprawy przedstawia wiele powodów zainteresowania tematem autobusów elektrycznych i ich architektury nadzorczo-sterującej, takich jak ekologia, urbanizacja, wymagania prawne i inne. Wskazuje również na wyzwania związane z konstrukcją autobusów elektrycznych, takie jak rozmieszczenie i dopasowanie komponentów napędowych i sterujących w ograniczonej przestrzeni oraz ciągle rosnącą liczbę systemów wspierających kierowcę i wymaganych przez prawo. Autor rozprawy wskazuje, że uwarunkowania normatywne i prawne mają kluczowe znaczenie dla projektowania i implementacji autobusów elektrycznych. Przepisy prawa, normy oraz wymagania klientów wpływają na rozwiązania techniczne i proces projektowania. Przedstawia różne rodzaje dokumentów, takie jak dyrektywy, rozporządzenia, regulaminy i normy, które regulują zastosowanie technologii autobusowych. Przepisy te mają zastosowanie na poziomie krajowym i europejskim. Ważnym źródłem przepisów dla branży autobusowej są dokumenty Światowego Forum na rzecz Harmonizacji Przepisów Dotyczących Pojazdów. Homologacja europejska wymaga spełnienia regulaminów EKG ONZ. Przepisy te stanowią warunek prawny uzyskania homologacji europejskiej i zawierają szczegółowe wymagania dotyczące walidacji, weryfikacji i akceptacji rozwiązań technicznych.

Autor odwołuje się do odpowiednich źródeł, takich jak analizy, studia wykonalności i definicje dotyczące architektury systemów komputerowych stosowanych w pojazdach. Przytacza również informacje dotyczące produktów firmy Solaris Bus & Coach, co dodaje wiarygodności jego argumentom.

Autor wprowadza zagadnienie tworzenia architektury nadzorczo-sterującej i uzasadnia potrzebę stworzenia zbioru optymalnych rozwiązań, z których można wybrać rozwiązanie do implementacji w autobusie. Opisuje również konieczność przeprowadzenia analizy rankingowej ilościowo-jakościowej, aby sklasyfikować rozwiązania pod względem ich przydatności i spełnienia kryteriów implementacyjnych.

Autor omawia również różne metody optymalizacji wielokryterialnej, takie jak metody deterministyczne i niedeterministyczne. Przedstawia ich zalety i wady oraz wskazuje na konieczność posiadania wiedzy eksperckiej w przypadku stosowania metod deterministycznych. Opisuje również tradycyjne metody optymalizacji wielokryterialnej oraz metody niedeterministyczne, takie jak algorytmy genetyczne i ewolucyjne. Przedstawia również tabelę, w której zestawione są różne metody optymalizacji wraz z kryteriami oceny i opisem. Tekst zawiera również rysunki i tabele, które służą do lepszego zobrazowania omawianych metod i kryteriów. Jest to pomocne dla czytelnika, który może łatwiej zrozumieć prezentowane informacje.

Część autorska rozprawy, zawiera wiele informacji dotyczących procesu generowania pomysłów, analizy i selekcji celów oraz metod wspomaganie decyzji. Argumentacja wydaje się być spójna i

logiczna, kolejność działań i wykorzystanych metod są przedstawione w sposób klarowny. Autorska część rozprawy zawiera jednak wiele informacji, które bez szczegółowej analizy wydają się być nie zawsze ściśle powiązane. Wiele zdań koncepcji i zagadnień powinno być lepiej rozwiniętych. Tekst zawiera wiele skrótów myślowych i odniesień do innych prac i teorii, które w ramach rozprawy powinny być bardziej szczegółowo wyjaśnione. Byłoby korzystne stworzenie odpowiednio sformatowanego dokumentu przedstawiającego kompletną procedurę działania. Stworzenie odrębnego dokumentu procedury wzmocniłoby spójność i logiczną strukturę autorskiej części rozprawy.

Uwagi edycyjne

1. Brakuje opisu oznaczenia x^0 w tabeli 7.4
2. W pracy np. w tab. 7.4 przedstawiono niekompletne ramki oraz ogólne nazwy urządzeń bez podawania ich szczegółowych specyfikacji.
3. Nieczytelna opisy znajdujące się na rys. 7.3
4. W niektórych miejscach na rysunku znaleźć opisy w 2 językach (PL i ANG), np. 1.4 i 7.3
5. Niektóre rysunki są niepoprawnie ponumerowane.
6. Niektóre informacje poruszane w pracy, np. uwagi krytyczne dot. braków w przepisach prawnych, znaleźć można jedynie w publikacjach doktoranta, które zacytował w pracy, ale moim zdaniem powinny być zamieszczona w rozprawie, np. kwestia rozszerzenia regulaminów EKG ONZ o wymaganie dotyczące spełnienia ISO 26262.

W pracy chwilami trudno się zorientować, który rozdział jest rozdziałem przeglądowym, a w którym znajduje się osiągnięcie doktoranta. W pracy brakuje rysunku 2.7 i 2.8 (od razu jest 2.9 itd.), a w rozdziale 7 rysunki numerowane są od 7.17. W tabeli 7.5 częstotliwość wyrażana jest w [ms].

Do najważniejszych osiągnięć autora rozprawy zaliczyć należy:

- Stworzenie metodyki opartej o 3 główne stopnie weryfikacji: symulacje, testy stanowiskowe oraz weryfikacja w warunkach eksploatacyjnych.
- Wykonaną analizę ograniczeń wynikającą z założeń bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz bezpieczeństwa cybernetycznego.
- Opracowanie oryginalnego modelu parametrycznego architektury nadzorczo-sterującej będącego jej reprezentacją w procesie optymalizacji.
- Wprowadzenie metod wspomagania decyzji do procesu wyboru umiejscowienia urządzeń nadzorczo-sterujących w architekturach systemu nadzorczo-sterującego oraz pojazdu.
- Stworzenie zbioru referencyjnego do nauki klasyfikatora umożliwiające gromadzenie wiedzy w ramach przedsiębiorstwa i wykorzystanie jej przez mniej doświadczonych pracowników wspomagających się systemem klasyfikującym działającym zgodnie z wskazaniem ekspertów.
- Przeprowadzenie badania dotyczącego technik wyboru rozwiązań optymalnych, porównującego metodę Diagramu Hassego z podejściem znanym jako rozwiązanie optymalne w sensie Pareto.
- Przeprowadzenie optymalizacji wielokryterialnej architektury nadzorczo-sterującej autobusów elektrycznych.

- Opracowanie autorskiej metody notacji strukturyzującej modelowanie architektury za pomocą macierzy wraz z techniką wizualizacji za pomocą grafów.
- Zaproponowanie autorskiej wielowariantowej metody lokalizacji urządzeń nadzorczo-sterujących w pojeździe, opartej o analizę najkrótszych tras kablowych odwzorowujących przestrzeń dostępną dla okablowania za pomocą grafu. Wykorzystanie metod związanych z wyszukiwaniem najkrótszej ścieżki do najoptymalniejszego pod względem długości ułożenia okablowania pomiędzy urządzeniami.
- Opracowanie i budowę stanowiska badawczego do weryfikacji obciążeń magistrali komunikacyjnych generowanych przez urządzenia nadzorczo-sterujące oraz interfejsu wizualnego HMI.
- Przeprowadzono szczegółową analizę ograniczeń bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz cybernetycznego.
- Wdrożenie opracowanej metodyki projektowania oraz architektury w firmie Solaris Bus&Coach.

Uwagi do dyskusji

1. Jak na dalszy rozwój architektury wpłynie wybór nowych jednostek komputerowych zaimplementowanych w autobusie 12m. Jakie są szczegółowe różnice między nimi a jednostkami zaimplementowanymi w 15 i 9 metrowej wersji autobusu? Jakie są dodatkowe funkcjonalności nowych jednostek?

2. Jakie konkretne eksperymenty przeprowadzono w celu weryfikacji działania i wydajności zaprojektowanej architektury nadzorczo-sterującej w rzeczywistych warunkach? (jakiej aparatury użyto? w jakich warunkach?) W pracy na str. 198 przedstawiono eksperymenty przeprowadzono w celu weryfikacji działania i wydajności zaprojektowanej architektury nadzorczo-sterującej. Ale nie opisano szczegółowo warunków w których zostały zrealizowane ani użytej aparatury. Podano tylko informacje (W tym celu przeprowadzono szereg jazd testowych zarówno w warunkach miejskich jak i na obszarze zamkniętym.). Proszę o wyjaśnienie tych wątpliwości.

3. Proszę rozszerzyć uzasadnienie wyboru deterministycznych metod optymalizacji.

4. Komunikacja autobusów z infrastrukturą ładowania jest 2-kierunkowa. Jakie są w związku z tym główne wyzwania związane z cyberbezpieczeństwem?

5. Jak architektura nadzorczo-sterująca może wpłynąć na efektywność energetyczną autobusów elektrycznych? Jak można ten wpływ minimalizować?

7. Jakiego Pana zdaniem są perspektywy rozwoju architektur nadzorczo-sterujących dla autobusów elektrycznych w najbliższej przyszłości?

8. Co aktualnie ma największy wpływ na zmiany zachodzące w architekturze nadzorczo-sterującej?

- Czym wyróżnia się opracowane strategię projektowania spośród istniejących na rynku?

- Czy do wyboru architektury niezbędna była optymalizacja?

Należy podkreślić, że Doktorant w rozprawie doktorskiej wykazał, że posiada wiedzę i umiejętności samodzielnej pracy naukowej wymagane na tym stopniu rozwoju naukowca. Poprzez zaproponowanie i opracowanie nowych metod oraz ich dogłębne przetestowanie Autor wniósł istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej, co jest podstawą do wystąpienia o stopień doktora nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie Automatyka, elektronika i elektrotechnika i technologie kosmiczne. W mojej ocenie przedmiot rozprawy doktorskiej jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego i zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, co wyczerpuje wymagania stawiane przez właściwą Ustawę. Uważam, że cele założone w pracy zostały spełnione a teza potwierdzona.

Sformułowane w recenzji uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i nie umniejszają w żaden sposób wysokiej wartości recenzowanej rozprawy.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona do zaopiniowania rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Sierszyńskiego spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określonym w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz o przyznanie wyróżnienia rozprawie doktorskiej.

Demian Kozłowski