

## **Streszczenie rozprawy doktorskiej pt. „Koncepcja i weryfikacja elastycznej architektury nadzorczo-sterującej dla autobusów elektrycznych”.**

**Michał Sierszyński**

Obserwowany przyrost liczby urządzeń nadzorczo-sterujących, będący skutkiem zmian prawnych oraz zwiększających się wymagań co do bezpieczeństwa i komfortu podróżowania, powoduje problemy implementacyjne oraz operacyjne magistrali komunikacyjnych. Implementacja nowej, zindywidualizowanej metodyki projektowej ma na celu zapobieganie temu zjawisku.

Celem niniejszej rozprawy było opracowanie nowatorskiej metodyki projektowania oraz walidacji architektury nadzorczo-sterującej w autobusach elektrycznych. W ramach prowadzonych badań wykorzystano interdyscyplinarne podejście, opierające się na połączeniu wiedzy z zakresu inżynierii elektrycznej, systemów sterowania oraz metod wspomagania decyzji. Rezultatem prowadzonych prac jest stworzenie unikalnej metodyki, umożliwiającej efektywne projektowanie, testowanie oraz wdrażanie innowacyjnych, zindywidualizowanych rozwiązań w zakresie architektury nadzorczo-sterującej w autobusach elektrycznych.

Za pomocą stworzonej metodyki opracowano i wdrożono elastyczną architekturę nadzorczo-sterującą w autobusach Urbino electric firmy Solaris. Stanowiło to praktyczną aplikację wyników badań. Przedmiotowe rozwiązanie zostało poddane procesowi dwuetapowej walidacji eksperymentalnej, która umożliwiła zweryfikowanie jego parametrów oraz wykazanie przewagi nad powszechnie stosowanymi rozwiązaniami architektury. Architektury uwzględniające specyficzne potrzeby, takie jak redukcja długości okablowania w rozwiązaniach strefowych lub dedykowane przyporządkowanie urządzeń w rozwiązaniach domenowych, powstały w oparciu o pojedyncze kryterium związane z kosztem implementacji lub kryterium funkcjonalnych powiązań.

Zaproponowana przez autora rozprawy metodyka, do której tworzenia dane wejściowe uzyskano na podstawie analiz prawa, norm oraz rozpoznania potrzeb technicznych i biznesowych, zakłada użycie metod wspomagania decyzji w wyborze rozwiązań do implementacji. Zakres wsparcia metod dotyczy między innymi agregacji urządzeń nadzorczo-sterujących w topologii architektury, jak również optymalnego pod względem kosztów oraz długości okablowania strukturalnego ich rozmieszczenia w autobusie. Powstałe rozwiązania poddano dwuetapowej ocenie rankingowej. Stworzono zbiór konfiguracji dopuszczalnych

architektury, z którego uwzględniając ograniczenia wyłoniono zbiór niezdominowanych rozwiązań problemu (front Pareto). Wybór rozwiązania do implementacji wsparto analizami wykonanymi przy użyciu deterministycznych metod optymalizacji (zastępczego kryterium zbiorczego oraz kryterium globalnego). Pierwszą część walidacji rozwiązania oparto na wielokryterialnych metodach oceny porównawczej nowo opracowanego rozwiązania oraz współcześnie wykorzystywanych typów architektury. W ramach badań przeprowadzono scenariuszową analizę wrażliwości, która pozwoliła na zidentyfikowanie wpływu zmienności kosztów urządzeń oraz długości okablowania na trwałość implementacyjną wybranego rozwiązania. Druga część walidacji polegała na testach zaimplementowanej w autobusie Urbino electric architektury w zakresie wynikowych obciążeń komunikacyjnych na poszczególnych magistralach oraz ich kształtu.

Rozprawa jest niezwykle istotnym wkładem w badania oraz komercjalizację rozwiązań projektowych i wdrożeniowych dotyczących architektury nadzorczo-sterującej w autobusach elektrycznych. Poprzez systematyzację wiedzy z zakresu przepisów prawa, norm oraz rekomendacji projektowych stowarzyszeń związanych z komunikacją miejską, identyfikuje formalno-prawne ograniczenia oraz wymagane testy walidacyjne dla autobusów elektrycznych. Działania opisane przez autora w rozprawie prowadzą w konsekwencji do poprawy jakości produktu, jakim jest autobus elektryczny i uzyskania homologacji niezbędnej do wprowadzenia go na rynek. Rozwiązanie specyficznych problemów technicznych, związanych z implementacją zasad bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz cybernetycznego w ramach projektowanej architektury, stanowi kluczowy aspekt pracy. Wprowadzenie deterministycznych metod wspomaganie decyzji w zakresie tworzenia architektury nadzorczo-sterującej jest rozwiązaniem innowacyjnym. Takie metody oparte są na wykorzystaniu ścisłych algorytmów matematycznych, co pozwala na uzyskanie precyzyjnych i powtarzalnych wyników, a tym samym zwiększenie efektywności podejmowania decyzji.

28.04.2022r. *Mikołaj Siempieli*

**A summary of the doctoral dissertation entitled: “Concept and verification of a flexible supervisory and control architecture for electric buses”.**

**Michał Sierszyński**

The observed increase in the number of supervisory and control devices, resulting from legal changes and those related to increasing the safety and comfort of travel, causes implementational and operational problems on the communication buses. The implementation of a new, individualized design methodology aims to prevent this phenomenon.

The aim of this dissertation was to develop an innovative methodology for designing and validating the supervisory and control architecture in electric buses. As part of the research, an interdisciplinary approach was used, based on a combination of knowledge in the field of electrical engineering, control systems and decision support methods. The result of the conducted work is the creation of a unique methodology that enables effective design, testing and implementation of innovative, individualized solutions in the field of supervisory and control architecture in electric buses.

Using the created methodology, a flexible supervisory and control architecture was developed and implemented in Solaris Urbino electric buses. This was a practical application of the research results. The solution to the matter of the thesis was subjected to a two-stage experimental validation process, which made it possible to verify its parameters and demonstrate its advantage over commonly used architectural solutions. Architectures that take into account specific needs, such as reducing the length of cabling in zone architecture or dedicated assignment of devices in domain solutions, were created based on a single criterion related to the cost of implementation or the criterion of functional links.

The methodology proposed by the author of the dissertation, the input data for which was obtained on the basis of law analyses, standards and recognition of technical and business needs, assumes the use of decision support methods in the selection of solutions for implementation. The scope of support for the methods concerns, among others, the aggregation of supervisory and control devices in the topology of the architecture, as well as the optimal arrangement in terms of costs and length of structured cabling in the bus. The resulting solutions were subjected to a two-stage ranking evaluation. A set of admissible architecture configurations was created, from which, taking into account the constraints, a set of non-dominated solutions to the problem (Pareto front) was selected. The choice of solution for implementation was supported by

analyzes performed using deterministic optimization methods (substitution collective criterion and global criterion). The first part of the solution validation was based on multi-criteria methods of comparative assessment of the newly developed solution and currently used types of architecture. As part of the research, a scenario sensitivity analysis was carried out, which allowed to identify the impact of the variability of device costs and the length of cabling on the implementation durability of the selected solution. The second part of the validation consisted in testing the architecture implemented in the Urbino electric bus in terms of the resultant communication traffic loads on individual mains as well as their shape.

The dissertation is an extremely important contribution to the research and commercialization of design and implementation solutions for the supervision and control architecture in electric buses. By systematizing knowledge in the field of law, standards and design recommendations of associations related to public transport, it identifies formal and legal restrictions and the required validation tests for electric buses. The actions described by the author in the dissertation lead to an improvement in the quality of the electric bus product and obtaining the approval necessary to introduce it to the market. Solving specific technical problems related to the implementation of functional and cyber security principles within the designed architecture is a key aspect of the work. The introduction of deterministic methods of decision support in the field of creating supervisory and control architecture is an innovative solution. Such methods are based on the use of strict mathematical algorithms, which allows for obtaining precise and repeatable results, and thus increasing the efficiency of decision-making.

28.03.2022, *Oliver Stimpfle*