

Poznań, 16.05.2025

Tytuł rozprawy doktorskiej:

Kinematyka i dynamika automatycznego pociągu logistycznego

Autor: **mgr inż. Wojciech PASZKOWIAK**

Promotor: **dr hab. inż. Tomasz BARTKOWIAK, prof. PP**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Marcin PELIC**

STRESZCZENIE

Niniejsza rozprawa dotyczy modelowania kinematycznego i dynamicznego automatycznego pociągu logistycznego, stanowiącego wielocłonowy pojazd przegubowy składający się z ciągnika holującego liczbę n przyczep, przy różnych konfiguracjach układów skrętnych holownika i przyczep. W pierwszym rozdziale pracy przedstawiono charakterystykę oraz ideę stosowania pociągów logistycznych w logistyce wewnętrznej oraz metody modelowania i sterowania wielocłonowymi pojazdami przegubowymi. W kolejnym rozdziale zaprezentowano genezę podjęcia tematu, cele i zakres pracy. Następnie przedstawiono opracowane modele pociągu logistycznego: model kinematyczny, model dynamiczny z więzami nieholonomicznymi, model dynamiczny uwzględniający poślizg poprzeczny oraz model dynamiczny uwzględniający poślizg wzdłużny, poprzeczny oraz opory toczenia. Każdy z tych modeli został opracowany dla dwóch wariantów układów skrętnych holownika: układu z różnicowo napędzaną tylną osią oraz układu ze sterowanym, napędzanym przednim kołem skrętnym, a także dla dwóch wariantów układów skrętnych przyczep: układu stałego dyszla i układu podwójnego Ackermanna. Dla wszystkich tych modeli opracowano algorytm śledzenia trajektorii w środowisku symulacyjnym oparty na regulatorze PID. Opracowano neuroewolucyjny algorytm sterowania pociągiem logistycznym, którego celem było wytrenowanie sztucznych sieci neuronowych do sterowania pojazdem w taki sposób, aby zapewnić bezkolizyjny przejazd w zamkniętych korytarzach transportowych. W algorytmie zastosowano sztuczne sieci neuronowe, których wagi były globalnie optymalizowane przez algorytmy ewolucyjne. W ramach badań przeprowadzono symulacje dla opracowanych modeli kinematycznych i dynamicznych, uwzględniających różne konfiguracje układów skrętnych holownika i przyczep. Dodatkowo, za pomocą opracowanego algorytmu sterowania, przeprowadzono proces uczenia sieci neuronowej na podstawie przejazdów pociągu logistycznego przez mapę tunelową, stosując model dynamiczny uwzględniający poślizg poprzeczny. W końcowej części rozprawy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na pełnowymiarowym pociągu logistycznym z przyczepami wyposażonymi w układ stałego dyszla, których celem była walidacja opracowanych modeli.

ABSTRACT

This doctoral dissertation concerns the kinematic and dynamic modeling of an autonomous logistic train, which is a multi-body articulated vehicle consisting of a tractor towing n trailers, with various configurations of steering systems for both the tractor and the trailers. The first chapter presents the characteristics and the concept of using logistic trains in internal logistics, as well as methods for modeling and controlling multi-body articulated vehicles. The following chapter outlines the motivation behind the undertaken research, along with the objectives and scope of the study. The subsequent chapters present the developed models of the logistic train: a kinematic model, a dynamic model with nonholonomic constraints, a dynamic model accounting for lateral slip, and a dynamic model that includes longitudinal and lateral slip as well as rolling resistance. Each of these models was developed for two variants of the tractor's steering system: a system with a differentially driven rear axle and a system with a steerable, powered front wheel. Additionally, two trailer steering configurations were considered: a fixed drawbar system and a double Ackermann steering system. For all of these models, a trajectory tracking control algorithm was developed in a simulation environment based on a PID controller. A neuroevolutionary control algorithm was developed to train artificial neural networks for controlling the logistic train in such a way as to ensure collision-free passage through enclosed transport corridors. In this algorithm, artificial neural networks were used with global weight optimization performed using evolutionary algorithms. Within the simulation study, simulations were carried out for the developed kinematic and dynamic models in various steering configurations of the tractor and trailers. Furthermore, using the developed control algorithm, a neural network training process was conducted based on the logistic train's passage through a tunnel-like map, using a dynamic model that accounts for lateral slip. In the final part of the dissertation, experimental results are presented based on a full-scale logistic train equipped with trailers featuring a fixed drawbar system, with the aim of validating the developed models.