

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

### **“Generacja bezpiecznych trajektorii w czasie rzeczywistym dla pojazdów poruszających się w dynamicznym środowisku”**

Wojciech Turlej

Prowadzenie samochodu stanowi złożone zadanie, zarówno dla kierowców, jak i dla algorytmów jazdy autonomicznej. W odróżnieniu od przypadku planowania ruchu w środowiskach statycznych, często uwzględnianych robotyce, generacja trajektorii pojazdu wymaga dogłębnego zrozumienia złożonego środowiska dynamicznego, jakim są publiczne drogi. Obecność innych pojazdów oraz skomplikowanych interakcji między nimi wymaga opracowania nowych algorytmów planowania, które zagwarantowałyby efektywny i bezpieczny ruch kontrolowanego pojazdu. W niniejszej pracy zaadresowano szereg problemów związanych z projektowaniem oraz ewaluacją takich algorytmów.

Celem rozwiązania problemu planowania ruchu w niepewnych sytuacjach, zaproponowano nową metodę planowania wielohipotezowego. Zaproponowana metoda uwzględnia kilka hipotez dotyczących przyszłego zachowania innych użytkowników drogi aby zagwarantować bezkolizyjność i efektywność ruchu kontrolowanego pojazdu we wszystkich prawdopodobnych scenariuszach. Proponowane podejście może zostać również użyte w zadaniu planowania z manewrem awaryjnym, w którym najgorsze prawdopodobne rozwinięcia danej sytuacji drogowej są uwzględniane dla zagwarantowania istnienia bezkolizyjnego manewru bezpieczeństwa.

Zaproponowana metoda planowania wielohipotezowego skupia się na planowaniu krótkich manewrów w trudnych sytuacjach i może być użyta w połączeniu z metodami planowania opartymi na technikach uczenia maszynowego, które umożliwiają strategiczne planowanie w odległym horyzoncie czasowym. Jednakże, ponieważ wykorzystywane do tego celu metody, takie jak uczenie ze wzmocnieniem, zazwyczaj trenowane są jedynie w środowisku symulacyjnym, często są one podatne na błędy percepcji występujące w rzeczywistych systemach. Aby rozwiązać ten problem, w niniejszej pracy zaproponowano szereg wysokopoziomowych modeli sensorów dla celów ewaluacji i trenowania takich algorytmów. Zaproponowane modele symulują rodzaje błędów powszechnie występujące w systemach percepcji obiektów dynamicznych oraz wykrywania pasów ruchu. Wpływ zaproponowanych modeli na trenowane algorytmy zbadano na przykładzie trenowania sieci neuronowych sterujących ruchem pojazdu, których odporność na błędy percepcji została zbadana w szeregu eksperymentów symulacyjnych.

Aby umożliwić dokładne testowanie systemów planowania ruchu pojazdu, w szczególności tych opartych o techniki uczenia maszynowego, zaproponowano nową metodę automatycznej generacji scenariuszy testowych. Zaproponowana metoda generuje scenariusze antagonistyczne, pozwalając na aktywną eksplorację potencjalnych słabości i błędów w testowanych algorytmach. W przeciwieństwie do istniejących metod generacji scenariuszy antagonistycznych, metoda generuje nie tylko trajektorie użytkowników ruchu, ale także odpowiadające im błędy percepcji stanowiące wyzwanie dla testowanych systemów.

Skuteczność zaproponowanej metody została zademonstrowana w zadaniu generowania scenariuszy testowych dla systemów planowania ruchu opartych o uczenie ze wzmocnieniem, pozwalając na wygenerowanie zróżnicowanego zestawu scenariuszy krytycznych z punktu widzenia bezpieczeństwa testowanego systemu.

Wojciech Turlej

## Abstract

### **“Real-time Generation of Safe Trajectories for Autonomous Vehicles in Dynamic Environments”**

Wojciech Turlej

Driving in a traffic environment is a notoriously difficult task, both for human drivers and autonomous driving algorithms. Differently than in the case of static environments, often considered in the design of planning algorithms for robotic purposes, the generation of a road vehicle's trajectory requires a deep understanding of the dynamic environment of public roads. The presence of other road users, the behavior of which is often unpredictable and depends on complex interactions between traffic participants, creates a need for new motion planning algorithms that would result in a safe yet efficient motion of the controlled vehicle.

In this thesis, several challenges related to the design and evaluation of motion planning algorithms for autonomous driving purposes are addressed.

To solve the problem of planning a safe trajectory for the vehicle in uncertain situations, a novel Multiple Hypothesis Planning method is introduced. The proposed method takes into account several hypotheses regarding the behavior of other road users to plan an efficient motion of the controlled vehicle, which will remain collision-free in all predicted plausible scenarios. Additionally, the proposed approach can be used to execute a fail-safe planning task, in which reasonably foreseeable worst-case hypotheses regarding the behavior of other traffic participants are taken into account to ensure a safe motion.

As the proposed method is intended mainly for short-term planning purposes in difficult situations, it can be used in conjunction with methods based on machine learning techniques, such as Reinforcement Learning, that are capable of long-term strategic planning. However, since such methods are typically trained in a simulation environment, they are often susceptible to perception errors that are often present in real systems. To address this problem, a set of low-fidelity sensor models is introduced in this thesis for training and evaluation purposes. The models simulate common error modalities of dynamic objects perception systems and lane marker detection systems. A set of driving policies has been trained in a reinforcement learning setup to closely assess how the use of proposed models affects the robustness of neural networks that perform vehicle control tasks.

Finally, to enable thorough testing of motion planning systems needed to ensure their safety, a novel automated scenario generation method is introduced. The method is capable of producing adversarial test scenarios that uncover potential weaknesses and issues in the evaluated vehicle motion planning algorithms. Unlike the existing adversarial testing methods, the proposed approach generates not only the trajectories of the surrounding vehicles, but also the corresponding perception error patterns. The effectiveness of the proposed method is demonstrated in the task of generating adversarial scenarios for machine learning-based driving policies, in which the method has been used to produce a varied set of safety-critical test scenarios.

Wojciech Turlej