

## Streszczenie

W monografii przedstawiono metodę budowy systemów agentowych oraz zestaw modeli modułów agentowych umożliwiających rozwiązywanie różnych rodzajów problemów transportowych oraz modelowanie i optymalizację ruchu drogowego. Stworzono ogólny model agenta oraz specyficzne modele umożliwiające rozwiązywanie poszczególnych wersji problemów. Praca zawiera także opis pilotowych realizacji systemów opartych na tych modelach oraz wybrane wyniki eksperymentów obliczeniowych.

Zaproponowany model agentowy obejmuje elementy wykonawcze, decyzyjne oraz uczące się. Środowisko, w którym działają agenci, jest środowiskiem grafowym, w którym węzły reprezentują poszczególne lokalizacje, a krawędzie – powiązania pomiędzy nimi.

Jednym z często stosowanych w praktyce zadań transportowych jest problem PDPTW (*Pickup and Delivery Problem with Time Windows*). Zakłada on, że przy użyciu dostępnych pojazdów o zadanych ładownościach należy zrealizować zbiór zleceń transportowych opisanych przez: przedziały czasowe, w których mogą zostać dokonane operacje załadunku i wyładunku, lokacje z których towar zostanie pobrany i dokąd ma być dostarczony oraz pojemność ładunku. W niniejszej pracy problem PDPTW został rozbudowany o zmienne czasy przejazdów pomiędzy poszczególnymi punktami, które to zmiany grupa agentów przedsiębiorstwa przewozowego musi zidentyfikować lub przewidzieć, a następnie uwzględnić w planie działań. Zmienne czasy przejazdów wynikają z zagęszczeń ruchu i ich propagacji. Drugie rozszerzenie polega na ocenie aktualnej sytuacji na podstawie wartości zestawu miar. Dobór strategii przydziału zleceń do poszczególnych pojazdów jest uzależniony od aktualnej zidentyfikowanej sytuacji, w tym celu wykorzystano algorytmy uczenia maszynowego oraz eksploracji danych.

Opracowany model systemu agentowego został także zastosowany do rozwiązywania problemów modelowania i optymalizacji ruchu drogowego. Problem jest w tym przypadku opisywany przez graf reprezentujący sieć drogową i topologie skrzyżowań, a także ruch generowany pomiędzy zadanymi węzłami źródłowymi i docelowymi. Model ruchu dla poszczególnych odcinków dróg jest oparty na znanym podejściu Nagela-Schrekenberga, z rozszerzeniami uwzględniającymi wielopasowość, propagacją informacji o aktualnych stanach dróg, oraz z kilkoma zmodyfikowanymi algorytmami sterowania światłami. Pojazdy adaptują swoje trasy, w miarę potrzeb, uwzględniając stany ruchu na odcinkach dróg przez które będą się przemieszczać. W wersji rozszerzonej modelu dodano mechanizmy predykcji przyszłych stanów ruchu. Wykorzystano metody analizy sieci złożonych do identyfikacji kluczowych w danej chwili czasu skrzyżowań.

Przy użyciu zrealizowanego środowiska obliczeniowego, przeprowadzono szereg eksperymentów, służących do weryfikacji i oceny zastosowanych rozwiązań.

**Summary**

In the scope of the work, a method of building multi-agent systems and a set of models of multi-agent systems was developed, that allows us to solve different types of transport problems and that simulate and optimise traffic. A general model, and several specific models for solving particular versions of problems were also developed. The work contains a description of implementations of systems based on these models and selected results obtained thanks to them.

The agents in the proposed model consist of the following elements: executive module, decision-making module and learning module. The agents operate in a graph environment, where the nodes represent individual locations and the edges – the links between them.

One of the transportation problems widely used in practice is the PDPTW (*Pickup and Delivery Problem with Time Windows*). It assumes the realisation of a set of requests using the available vehicles while respecting the constraints imposed: pickup and delivery locations, time intervals, where these operations may be performed, cargo capacity and maximum capacity of vehicles. In the work, the PDPTW was extended to where travel times between the different locations could vary and to where a group of agents of the transport company have to be able to identify and predict these changes and then to include this information in their action plans. Variable travel times are due to traffic congestion and the propagation of traffic jams. Another extension consists of assessing the situation. The choice of algorithms to allocate transportation requests to each route is done based on a set of metrics describing the situation. The choice of the strategy of request allocation to vehicles depends on the current identified situation. This is done using algorithms of machine learning and data mining.

A developed universal model of the multi-agent system has also been applied to solving the problems of modelling and optimizing road traffic. The problem in this case is described by a graph representing the road network and intersection topologies, as well as pre-defined traffic generated between the source and destination nodes. The traffic model for each road section is based on the Nagel-Schreckenberg model, taking into account multi-lane extensions and a propagation of information about current road conditions which affects the modification of the planned routes of vehicles and several adaptive traffic light control algorithms. Vehicles adapt their routes taking into account traffic conditions on routes through which they move. The extended version of the model contains prediction mechanisms of future traffic conditions. The methods of complex network analysis were used to identify key intersections in the given time periods, which allow the coordination of the phases of traffic lights at given intersections.

Using the constructed simulation-computational environment, many experiment scenarios were conducted in order to verify and evaluate the results obtained.