



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA INFORMATYKI

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Koordinacja ruchu pojazdów na skrzyżowaniu dróg wielopasmowych
algorytmem planowania wielowariantowego

Autor:
Kierunek studiów:
Opiekun pracy:

Piotr Kala
Informatyka
dr inż. Wojciech Turek

Kraków, 2016

Uprzedzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „ Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.) „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej „sądem koleżeńskim”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

.....

SKŁADAM SZCZEGÓLNE PODZIĘKOWANIA MOJEMU
PROMOTOROWI, DR HAB INŻ. ?????,
PROFESOROWI NADZWYCZAJNEMU AGH ZA
ŻYCZLIWOŚĆ, CENNE UWAGI MERYTORYCZNE,
WSZECHESTRONNĄ POMOC ORAZ POŚWIĘCONY
CZAS.

Spis treści

1	Wstęp	7
1.1	Podrozdział	7
1.2	Podrozdział	7
1.3	Podrozdział	8
2	State of the art	9
2.1	Planowanie ruchu na skrzyżowaniach	9
2.2	Planowanie ruchu przy użyciu świateł drogowych	10
2.3	Planowanie ruchu bez sygnalizacji świetlnej	12
2.4	Użycie algorytmu A* do planowania ruchu	14
2.5	Modyfikacje A*	16
3	Teza	18
3.1	Podrozdział	18
3.2	Podrozdział	19
3.3	Podrozdział	19
4	Implementacja	20
4.1	Opis modelu danych do reprezentacji skrzyżowań	20
4.2	Generyczny, wielostanowy algorytm A*	21
4.3	Reprezentacja wierzchołka w zmodyfikowanym algorytmie A*	22
4.4	Unikanie kolizji	22
4.5	Funkcja heurystyki	23

4.6	Reprezentacja graficzna wyników	23
5	Wyniki	25
5.1	Podrozdział	25
5.2	Podrozdział	25
5.3	Podrozdział	26
6	Wnioski	27
6.1	Podrozdział	27
6.2	Podrozdział	27
6.3	Podrozdział	28
	Spis rysunków	29
	List of Algorithms	29
	Bibliography	30

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

1.2 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed

interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

1.3 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Rozdział 2

State of the art

2.1 Planowanie ruchu na skrzyżowaniach

Cel podrozdziału

Wskazanie złożoności problemu znajdowania drogi oraz wskazania algorytmów używanych w literaturze do tego typu problemów

Zależność wydajności od rozmiaru problemu

- Metody planujące są zawsze zależne od rozmiaru problemu
- Duża złożoność powoduje stosowanie algorytmów heurystycznych
- Pokazanie złożoności na przykładowych algorytmach

Szybkość zmian w środowisku uniemożliwia użycia algorytmu zajmującego dużo czasu

- Duża złożoność problemu powoduje, że jeżeli zajdzie zmiana w środowisku, algorytm musi natychmiast wyliczyć poprawny plan
- Algorytmy heurystyczne są w stanie działać w środowisku, gdzie zmiany zachodzą szybko

Rozważana klasa problemów

- Omówienie klasy problemów planowania ruchu na skrzyżowaniach
- Omówienie modeli środowisk i wiążących się z nimi złożoności

Zgodnie z artykułem [15] szukanie ścieżki można podzielić na planowanie globalne oraz lokalne

- W globalnym dla algorytmu znane musi być całe środowisko
- W lokalnym dla jednego pojazdu całe środowisko jest nie znane - jest poznawane w czasie rzeczywistym
- W mojej pracy zastosowany będzie algorytm globalny

2.2 Planowanie ruchu przy użyciu świateł drogowych

Cel podrozdziału

Przedstawienie rozwiązań koordynujących ruch drogowy przy użyciu świateł drogowych, omówienie ich optymalizacji oraz wskazanie co w nich powoduje opóźnienie, którego w moim rozwiązaniu nie ma.

W artykule [3] opisane zostały optymalizacje sygnalizacji świetlnej

- Synchronized Traffic Lights
- Green Wave
- Random Offset

- Która optymalizacja co wnosi
- Jak niewelowane są opóźnienia
- Która z nich daje najlepsze wyniki

Krytyka

Opóźnienia i tak są spowodowane przez użycie świateł (światło pomarańczowe) - te opóźnienia nie występują w moim rozwiązaniu

Autorzy artykułu [2] opisują koordynację ruchu przy użyciu algorytmu - 'REAL TIME QUEUE LENGTH ESTIMATION: THE APTTC ALGORITHM'

- Sterowanie adaptacyjne
- Statystyczna optymalizacja
- Estymacja na podstawie długości dynamicznej kolejki

Krytyka

Rozwiązanie nie bierze pod uwagę bezpieczeństwa, które w zwykłej sygnalizacji świetlnej jest zapewnione przez światło pomarańczowe.

Opis kierowania ruchem drogowym na jednym skrzyżowaniu. Autorzy artykułu [5] dla ułatwienia pomijają światło pomarańczowe

- Optymalizacja świateł za pomocą dwóch podanych funkcji polegających na optymalizacji kolejek na czterech pasach

Krytyka

Rozwiązanie nie bierze pod uwagę bezpieczeństwa, które w zwykłej sygnalizacji świetlnej jest zapewnione przez światło pomarańczowe.

Kontrola ruchu drogowego za pomocą świateł. Autorzy artykułu [14] zaproponowali zdecentralizowany algorytm bazujący na krótkich prognozach ruchu

- Optymalizacja świateł za pomocą dwóch podanych funkcji polegających na optymalizacji kolejek na czterech pasach
- Liczona długość światła zielonego w celu zwolnienia kolejki na pasie
- Limitacja - Zielone światła są zapalone dłużej niż zwykle powinny

Krytyka

Limitacja - Ruch jest optymalizowany dla sytuacji "średnich", które tak na prawdę nigdy nie występują, przez co optymalizacja nie jest stosowana dla aktualnej sytuacji

Zarządzanie światłami za pomocą komunikacji pojazdów między sobą [9]

Wszystkie auta muszą być wyposażone w:

- Urządzenia DSRC
- Tą samą wersję mapy
- GPS z dokładnością do pasa na którym są

Sieć bezprzewodowa w każdym z samochodów musi być niezawodna

Krytyka

Rozwiązanie w porównaniu do mojego jest kosztowne, jeżeli chodzi o wyposażenie. Jest ono możliwe także tylko wtedy kiedy wszystkie auta są odpowiednio wyposażone i sprawne.

2.3 Planowanie ruchu bez sygnalizacji świetlnej

Cel podrozdziału

Podanie metod w literaturze do planowania drogi, koordynowania ruchu. Wskazanie wad tych rozwiązań w porównaniu do mojego.

Autorzy artykułu [18] opisali znajdowanie ścieżki za pomocą algorytmu Dijkstry

- Opisanie sposobu zastosowanie dijkstry w planowaniu ruchu
- Opisanie sposobu unikania kolizji
- Ograniczenia algorytmu

Krytyka

- Algorytm A* jest lepszy wydajnościowy względem Dijkstry

Autorzy artykułu [12] przedstawiają ulepszoną wersję algorytmu Dijkstry w celu znalezienia najkrótszej ścieżki

- Algorytm Dijkstry ma słabą wydajność, dlatego postanowiono go zmodyfikować. Według badań przeprowadzonych przez autorów algorytm jest 42%-76% szybszy
- Autorzy wspominają o algorytmie A*, który jest szybszy od algorytmu Dijkstry ale może skończyć w nieskończonej pętli

Krytyka

- W prowadzonych przeze mnie badaniach algorytm A* ani raz nie został wprowadzony w nieskończoną pętlę oraz jest szybszy od algorytmu Dijkstry w szukaniu ścieżki.

Planowanie ruchu oraz unikanie kolizji przy użyciu AGV na podstawie artykułu [1]

- Opis zastosowanego rozwiązania
- Opis sposobu unikania kolizji
- Omówienie przykładu z użyciem AGV na podstawie artykułu

Krytyka

Zastosowanie AGV jest przeznaczone dla robotów. Jest tu także komunikacja między pojazdami co wprowadza dodatkową warstwę trudności jeżeli chodzi o wprowadzenie rozwiązania dla koordynacji ruchu na skrzyżowaniach.

Omówienie i porównanie algorytmów stosowanych do planowania drogi na podstawie artykułu [7]

- Dijkstra's Algorithm
- Priority Queues
- Bidirectional Search
- A*

Autorzy artykułu [11] przedstawiają system planujący ruch pojazdów połączonych za pomocą bezprzewodowej komunikacji. System dostarcza pojazdom optymalną trasę biorąc pod uwagę aktualny ruch na drogach

- Użycie algorytmu Dijkstry w celu znalezienia najkrótszej ścieżki
- Celem patentu znalezienie drogi do celu w najkrótszym czasie poprzez omijanie zakorkowanych dróg

Krytyka

- Jest to jedynie znajdowanie najszybszej drogi do celu poprzez komunikację bezprzewodową. Nie jest to dokładne zaplanowanie ruchu pojazdu wraz z unikaniem kolizji

W Artykule [4] autorzy przedstawili system do kontroli ruchu i unikania kolizji na autostradach

- Pod uwagę wzięte zostały: zmiany pasów, unikanie kolizji, kontrolowanie trasy pojazdu
- Unikanie kolizji jest zapewniane poprzez komunikację przez transmisory radiowe oraz radiodiodobiorniki zamontowane w każdym z pojazdów

Krytyka

System planuje trasy oraz zmiany pasów na autostradach przy czym zapewnione jest bezpieczeństwo kolizji. Rozwiązania nie można jednak zaaplikować do skrzyżowań dróg

Autorzy artykułu [13] przedstawiają system dynamiczny system planowania ruchu do nawigacji samochodów przy użyciu 'virus genetic algorithms'

Zaproponowany został 'Genetic Algorithm', który powinien dawać lepsze wyniki w porównaniu do algorytmu Dijkstry oraz algorytmu A*

Krytyka

Brak unikania kolizji

2.4 Użycie algorytmu A* do planowania ruchu

Cel podrozdziału

Wskazania użycia A* w literaturze do planowania ruchu. Czy można użyć A* do planowania ruchu na skrzyżowaniach i wady użycia w porównaniu do mojego rozwiązania.

Omówienie algorytmu A* na podstawie artykułu [6]

- Omówienie optymalności
- Omówienie funkcji heurystyki

Planowanie ruchu za pomocą zmodyfikowanego algorytmu A* na podstawie artykułu [16]

- Opis sposobu wprowadzenia zmodyfikowanego algorytmu A* do koordynowania ruchu na skrzyżowaniach
- Wady, zalety i ograniczenia

Planowanie ruchu za pomocą wielostanowego algorytmu A* oraz Wavefront na podstawie artykułu [19]

- Omówienie zastosowania tych dwóch algorytmów do planowania ruchu

Krytyka

Złożoność użycia wielostanowego A* jest już duża do planowania ruchu na skrzyżowaniach

- dodając do tego wavefront złożoność jest jeszcze większa.

Omówienie przykładu użycia Multi-Entity A* na podstawie artykułu [19]

- Przytoczenie przykładu
- Omówienie wad, zalet i ograniczeń

Omówienie złożoności Multi-Entity A* na powyższym przykładzie.

- Złożoność jest zależna od liczby stanów w A*
- Obliczenie złożoności i pokazania jak ona rośnie

Autorzy artykułu [8] zaproponowali użycie zmodyfikowanego algorytmu A* w celu bezpieczniejszej nawigacji dla robotów

- Modyfikacja algorytmu polega na wzięciu pod uwagę rozmiaru robota w celu generowania prostrzej ścieżki i w celu uniknięcia ostrych skrętów
- Do algorytmu A* przekazywany jest stan początkowy i cel jaki robot chce osiągnąć
- Autorzy zmodyfikowali algorytm A* tak aby unikał niebezpiecznych sytuacji, które mogą powodować kolizje

Krytyka

Algorytm jest liczony dla jednego robota - u mnie brane są pod uwagę wszystkie pojazdy na

drogach

2.5 Modyfikacje A*

Cel podrozdziału

Przytoczenie modyfikacji algorytmu A* w literaturze. Wskazanie wad takich modyfikacji w porównaniu do mojej

Autorzy artykułu [19] przedstawili wielostanowy A*

- Ścieżka powinna być rozumiana jako sekwencja stanów
- Autorzy zastosowali modyfikację wraz z algorytmem Wavefront

Krytyka

- Zastosowanie tych dwóch algorytmów do rozwiązania skrzyżowań wiąże się ze zbyt dużą złożonością

Opis modyfikacji A* w artykule [16]

- Prezentacja szybkiego algorytmu A* w celu nawigacji robota
- Autorzy użyli innych struktur w implementacji algorytmu A* co daje lepsze wyniki **Krytyka**
- Rozwiązanie nie może być zastosowane do koordynacji ruchu na skrzyżowaniach - jest ono zaprojektowane do znalezienia najkrótszej ścieżki dla pojedynczego pojazdu

W artykule [17] autorzy zaproponowali genetyczny algorytm oparty na zmodyfikowanym algorytmie A* w celu optymalizacji znajdowania ścieżek dla wielu obiektów

- Znajdowanie ścieżek dla robotów z wymijaniem przeszkód
- Autorzy zaproponowali modyfikację A* w celu znalezienia suboptymalnej ścieżki w celu ustalenia początkowego rozwiązania dla algorytmu genetycznego.
- Modyfikacja została wykonana, aby A* nie wyszukiwał najkrótszej ścieżki na rzecz wydajności

Krytyka

Nie jest to jednak Algorytm A* który opiera się na stanie wszystkich pojazdów w środowisku
- polega on na znalezienie ścieżki dla jednego robota.

Rozdział 3

Teza

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.1 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet

aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.2 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.3 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Rozdział 4

Implementacja

4.1 Opis modelu danych do reprezentacji skrzyżowań

Drogi są reprezentowane w sposób dyskretny. Każda droga zaczyna się w pozycji 1 i rośnie wraz z jej rozmiarem.

Samochody mogą poruszać się w następujących kierunkach:

- z północy na południe
- z południa na północ
- ze wschodu na zachód
- z zachodu na wschód

Droga jest reprezentowana poprzez następujące dane:

- unikalny numer drogi
- rozmiar drogi
- informacja o przecięciach z innymi drogami
- kierunek w którym samochód się porusza na drodze (z północy na południe, czy z południa na północ lub z zachodu na wschód czy ze wschodu na zachód)

Samochody na drogach opisują następujące dane:

- unikalny numer samochodu

- unikalny numer drogi, na której się znajduje
- numer pozycji na drodze, na której samochód się znajduje
- prędkość początkowa
- numer pozycji docelowej na drodze - punkt za ostatnim skrzyżowaniem

Samochody poruszają się po drogach w krokach czasowych. Prędkość samochodu wyrażana jest w liczbie odcinków drogi w jednym kroku czasowym.

W Systemie można wybrać maksymalne przyspieszenia ujemne oraz dodatnie samochodów z następujących możliwości $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$

W Systemie jest także plik konfiguracyjny, który wyznacza maksymalną prędkość, oraz gdzie definiuje się wyżej opisane wartości przyspieszeń.

4.2 Generyczny, wielostanowy algorytm A*

Zaprezentowany w tej pracy zmodyfikowany algorytm A* jest algorytmem wielostanowym. Oznacza to, że wierzchołkiem w grafie jest stan wszystkich samochodów na skrzyżowaniu, a krawędzią jest przejście z jednego stanu do następnego.

Algorytm ma za zadanie doprowadzić do zadanego celu otrzymując określone dane początkowe. Stanem początkowym jest startowe rozstawienie aut na drogach.

Algorytm otrzymując dane startowe, ma osiągnąć zadany cel. Danymi startowymi jest początkowe rozstawienie samochodów na skrzyżowaniach wraz z ich początkowymi prędkościami.

Modyfikacja Algorytm A* jest generyczna. Do algorytmu przekazujemy klasę reprezentującą wierzchołek, która spełnia następujące wymagania:

- implementuje metodę 'neighbours', która zwraca sąsiednie wierzchołki

Do algorytmu przekazuje się także warunki wygranej. W przypadku mojego rozwiązania wygraną jest przekroczenie przez wszystkie samochody ostatniego skrzyżowania na drogach, na których się znajdują.

Do algorytmu przekazywana jest także funkcja heurystyki, zależna od danych danego wierzchołka.

4.3 Reprezentacja wierzchołka w zmodyfikowanym algorytmie A*

Wierzchołek w modyfikacji algorytmu A* przedstawionej w tej pracy opisuje stan wszystkich samochodów na skrzyżowaniach wraz z ich prędkościami.

Zgodnie z wcześniej generycznością wierzchołek jest obiektem klasy, który implementuje metodę 'neighbours'. Metoda generuje wszystkie stany sąsiednie dla aktualnego stanu. Dla przykładu, dla ustawień przyspieszeń $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$, dla każdego z aut na skrzyżowaniu generowane są stany z jego prędkością dodając wartości przyspieszeń. Pomijane są stany, w których prędkość samochodu byłaby ujemna.

W metodzie usuwane są także stany powodujące kolizje, co będzie opisane w następnym rozdziale.

4.4 Unikanie kolizji

Koniecznym elementem w planowaniu ruchu jest unikanie kolizji.

Unikanie kolizji zostało podzielone na dwa etapy

- Unikanie kolizji aut poruszających się po tym samym pasie
- Unikanie kolizji na skrzyżowaniach

Implementacja unikania kolizji pojazdów na tym samym pasie polega na policzeniu obszarów dla samochodów znajdujących się na tym samym pasie, który będą one obejmowały w jednym kroku czasowym.

Jeżeli obszary dwóch samochodów na jednym pasie pokrywają się - taki stan jest usuwany i wówczas metoda 'neighbours' nie zwróci go jako stanu sąsiedniego.

Unikanie kolizji na skrzyżowaniach polega na eliminacji stanów, w których conajmniej dwa auta przekroczyły w jednym kroku czasowym to samo skrzyżowanie. Metoda 'neighbours' także nie zwróci takich stanów.

4.5 Funkcja heurystyki

Funkcja heurystyki dla algorytmu A* jest to suma kroków czasowych, po których wszystkie auta przekroczą ostatnie skrzyżowanie - czyli osiągną cel. Funkcja liczona jest, przy założeniu, że wszystkie samochody maksymalnie przyspieszają.

4.6 Reprezentacja graficzna wyników

W celu graficznej reprezentacji wyników zaimplementowany został moduł graficzny.

Działanie modułu graficznego oparte jest na rysowaniu grafów z wykorzystaniem biblioteki Graphviz oraz jej implementacji w języku Ruby.

Skrzyżowanie jest reprezentowane za pomocą grafu. Wierzchołkami grafu są poszczególne odcinki dróg. Krawędziami grafu są połączenia pomiędzy odcinkami.

Każda droga pomalowana jest na inny kolor.

Samochody poruszające się po tej samej drodze są zaznaczone grubszym obwodem oraz

mają ten sam kolor. Samochody można rozróżnić poprzez unikalny numer na nich napisany.

Kolejne kroki czasowe reprezentowane są poprzez następne grafy z kolejnymi ułożeniami samochodów.

Ostatnim elementem modułu graficznego jest stworzenie GIFa z następujących po sobie grafów.

Poniżej widać przykład dla dwunastu samochodów na skrzyżowaniu ośmiu dróg.

Rozdział 5

Wyniki

5.1 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

5.2 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed

interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

5.3 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Rozdział 6

Wnioski

6.1 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

6.2 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed

interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

6.3 Podrozdział

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Spis rysunków

List of Algorithms

Bibliografia

- [1] Ando M., Nishi T., Konishi M., Imai J.: An Autonomous Distributed Route Planning Method for Multiple Mobile Robots. In: *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers*, vol. 39, pp. 759–766, 2003.
- [2] Athmaraman N., Soundararajan S.: Adaptive predictive traffic timer control algorithm. In: *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*. 2005.
- [3] Brockfeld E., Barlovic R., Schadschneider A., Schreckenberg M.: Optimizing traffic lights in a cellular automaton model for city traffic. In: *Physical Review E*, vol. 64(5), p. 056132, 2001.
- [4] Broxmeyer C.: Vehicle longitudinal control and collision avoidance system for an automated highway system, 1994. URL <https://www.google.com/patents/US5369591>. US Patent 5,369,591.
- [5] De Schutter B., De Moor B.: Optimal traffic light control for a single intersection. In: *European Journal of Control*, vol. 4(3), pp. 260–276, 1998.
- [6] Dechter R., Pearl J.: Generalized best-first search strategies and the optimality of A. In: *Journal of the ACM (JACM)*, vol. 32(3), pp. 505–536, 1985.
- [7] Delling D., Sanders P., Schultes D., Wagner D.: Engineering route planning algorithms. In: *Algorithmics of large and complex networks*, pp. 117–139. Springer, 2009.
- [8] ElHalawany B.M., Abdel-Kader H.M., TagEldeen A., Elsayed A.E., Nossair Z.B.: Modified A* algorithm for safer mobile robot navigation. In: *Modelling, Identification &*

- Control (ICMIC), 2013 Proceedings of International Conference on*, pp. 74–78. IEEE, 2013.
- [9] Ferreira M., Fernandes R., Conceição H., Viriyasitavat W., Tonguz O.K.: Self-organized traffic control. In: *Proceedings of the seventh ACM international workshop on VehiculAr InterNETworking*, pp. 85–90. ACM, 2010.
 - [10] Fleischmann B., Gnutzmann S., Sandvoß E.: Dynamic vehicle routing based on online traffic information. In: *Transportation science*, vol. 38(4), pp. 420–433, 2004.
 - [11] Gazis D., Jaffe R., Pope W.: Optimal and stable route planning system, 1997. URL <https://www.google.com/patents/US5610821>. US Patent 5,610,821.
 - [12] Huang Y., Yi Q., Shi M.: An improved Dijkstra shortest path algorithm. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE)*, pp. 0226–0229. 2013.
 - [13] Kanoh H.: Dynamic route planning for car navigation systems using virus genetic algorithms. In: *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*, vol. 11(1), pp. 65–78, 2007.
 - [14] Lämmer S., Helbing D.: Self-control of traffic lights and vehicle flows in urban road networks. In: *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol. 2008(04), p. P04019, 2008.
 - [15] Leena N., Saju K.: A survey on path planning techniques for autonomous mobile robots. In: *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 8, pp. 76–79, 2014.
 - [16] Muntean P.: Mobile Robot Navigation on Partially Known Maps using a Fast A Algorithm Version. In: .
 - [17] Oleiwi B.K., Hubert R., Kazem B.: Modified Genetic Algorithm based on A* algorithm of Multi objective optimization for Path Planning. In: *6th International Conference on Computer and Automation Engineering*, vol. 2, pp. 357–362. 2014.

- [18] Shaikh E.A., Dhale A.: AGV Path Planning and Obstacle Avoidance Using Dijkstra's Algorithm. In: *International Journal of Application in Engineering and Mangement (IJAIEEM)*, 2013.
- [19] Wojnicki I., Ernst S., Turek W.: A robust planning algorithm for groups of entities in discrete spaces. In: *Entropy*, vol. 17(8), pp. 5422–5436, 2015.