



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*	15
3	Teza	16
3.1	Podrozdział	16
3.2	Podrozdział	17
3.3	Podrozdział	17
4	Implementacja	18
4.1	Podrozdział	18
4.2	Podrozdział	18
4.3	Podrozdział	19
4.4	Podrozdział	19

5	Wyniki	20
5.1	Podrozdział	20
5.2	Podrozdział	20
5.3	Podrozdział	21
6	Wnioski	22
6.1	Podrozdział	22
6.2	Podrozdział	22
6.3	Podrozdział	23
	Spis rysunków	24
	List of Algorithms	24
	Bibliography	25

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:

- wskazanie tematyki literatury jaka będzie omawiana
- jakie algorytmy w literaturze są stosowane do planowania ruchu drogowego
- algorytmy heurystyczne są preferowane ze względu na złożoność

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 [14] 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:

- omówienie literatury rozwiązującej ruch drogowy przy użyciu świateł drogowych
- światła drogowe wprowadzają opóźnienie spowodowane światłem pomarańczowym
- omówienie optymalizacji świateł drogowych, które mimo wszystko powodują opóźnienia

Opis optymalizacji wprowadzonych do zarządzania sygnalizacją świetlną na podstawie artykułu [2]:

- Synchronized Traffic Lights
- Green Wave
- Random Offset

Porównanie powyższych optymalizacji na podstawie artykułu [2]

- która optymalizacja co wnosi
- jak niewelowane są opóźnienia
- która z nich daje najlepsze wyniki
- opóźnienia i tak są spowodowane przez użycie świateł (światło pomarańczowe)

Opis koordynacji ruchu przy użyciu algorytmu REAL TIME QUEUE LENGTH ESTIMATION: THE APTTC ALGORITHM na podstawie artykułu [1]:

- Sterowanie adaptacyjne

- Statystyczna optymalizacja
- Estymacja na podstawie długości dynamicznej kolejki

Porównanie powyższego rozwiązania z synchroniczną zmianą świateł.

- jakie zalety i wady dają oba te rozwiązania
- którego rozwiązania używać a jakiej sytuacji

Opis kierowania ruchem drogowym na jednym skrzyżowaniu. Autorzy artykułu [4] dla ułatwienia pomijają światło pomarańczowe:

- Optymalizacja świateł za pomocą dwóch podanych funkcji polegających na optymalizacji kolejek na czterech pasach
- Rozwiązanie pomija element bezpieczeństwa jakim jest światło pomarańczowe (w moim rozwiązaniu można je zapewnić)

Kontrola ruchu drogowego za pomocą świateł. Autorzy artykułu [13] 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
- 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 [8]

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

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:

- przedstawienie algorytmów bez sygnalizacji świetlnej, których można użyć do planowania ruchu
- porównanie tych rozwiązań między sobą
- zastosowania tych rozwiązań, przykłady

Znajdowanie ścieżki za pomocą algorytmu Dijkstr'y na podstawie artykułu [17]

- opisanie sposobu zastosowanie dijkstry w planowaniu ruchu
- ograniczenia algorytmu

Unikanie kolizji przy użyciu algorytmu Dijkstry' na podstawie artykułu [17]

Autonomiczne podejście - użycie Automated Guided Vehicels.

- zmiana podejścia - zarządzanie pojedynczym samochodem zamiast algorytm dla wszystkich
- wady i zalety takiego rozwiązania

Autorzy artykułu [11] 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
- Autorzy wspominają o algorytmie A*, który jest szybszy od algorytmu Dijkstry ale może skończyć w nieskończonej pętli.
- 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 [18]

- opis zastosowanego rozwiązania
- opis sposobu unikania kolizji

Omówienie przykładu z użyciem AGV na podstawie artykułu [18]

Omówienie i porównanie algorytmów stosowanych do planowania drogi na podstawie artykułu [6]:

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

Autorzy artykułu [10] przedstawiają system planujący ruch pojazdów połączonych za pomocą bezprzewodowej komunikacji. System dostarcza pojazdowi optymalną trasę biorąc pod uwagę aktualny ruch na drogach.

- Użycie algorytmu Dijkstry w celu znalezienia najkrótszej ścieżki
- Celem systemu jest znalezienie drogi do celu w najkrótszym czasie poprzez omijanie zakorkowanych dróg
- Jest to jedynie znajdowanie najszybszej drogi do celu poprzez komunikację bezprzewodową. Nie jest to dokładne zaplanowanie ruchu pojazdu wraz z unikaniem kolizji

W Artykule [3] 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
- System planuje trasy oraz zmiany pasów na autostradach przy czym zapewnione jest bezpieczeństwo kolizji. Rozwiązania nie można jednak zastosować do skrzyżowań dróg

Autorzy artykułu [12] przedstawiają system dynamiczny system planowania ruchu do nawigacji samochodów przy użyciu 'virus genetic algorithms'.

- Zaproponowany został 'Genetic Algorithm', który powinien dawać lepsze wyniki w porów-

naniu do algorytmu Dijkstry oraz algorytmu A*.

- Brak unikania kolizji

2.4 Użycie algorytmu A* do planowania ruchu

CEL:

- przytoczenie użyc A* do planowania ruchu
- pokazanie ograniczeń użytych A*

Omówienie algorytmu A* na podstawie artykułu [5]

- omówienie optymalności
- omówienie funkcji heurystyki

Planowanie ruchu za pomocą zmodyfikowanego algorytmu A* na podstawie artykułu [15]

- 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

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 [7] zaproponowali użycie zmodyfikowanego algorytmu A* w celu bezpieczniejszej nawigacji dla robotów.

- Modyfikacja algorytmu polega na wzięciu pod uwagę rozmiaru robota w celu generowania przestrznej 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.
- Algorytm jest liczony dla jednego robota - u mnie brane są pod uwagę wszystkie pojazdy na drogach

2.5 Modyfikacje A*

CEL:

- przytoczenie modyfikacji A* (nie ma takiej modyfikacji jak moja)

Opis wielostanowego A* na podstawie artykułu [19]

Opis modyfikacji A* w artykule [15]

W artykule [16] 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
- Nie jest to jednak Algorytm A* który opiera się na stanie wszystkich pojazdów w środowisku - polega on na znalezieniu 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 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.

4.2 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.

4.3 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.

4.4 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 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] Athmaraman N., Soundararajan S.: Adaptive predictive traffic timer control algorithm. In: *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*. 2005.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Delling D., Sanders P., Schultes D., Wagner D.: Engineering route planning algorithms. In: *Algorithmics of large and complex networks*, pp. 117–139. Springer, 2009.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] Fleischmann B., Gnutzmann S., Sandvoß E.: Dynamic vehicle routing based on online traffic information. In: *Transportation science*, vol. 38(4), pp. 420–433, 2004.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Muntean P.: Mobile Robot Navigation on Partially Known Maps using a Fast A Algorithm Version. In: .
- [16] 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.
- [17] Shaikh E.A., Dhale A.: AGV Path Planning and Obstacle Avoidance Using Dijkstra's Algorithm. In: *International Journal of Application in Engineering and Mangement (IJAIEM)*, 2013.

- [18] Szczerba R.J., Galkowski P., Glicktein I., Ternullo N.: Robust algorithm for real-time route planning. In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 37(3), pp. 869–878, 2000.
- [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.