



**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

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>7</b>
1.1	Podrozdział . . . . .	7
1.2	Podrozdział . . . . .	7
1.3	Podrozdział . . . . .	8
<b>2</b>	<b>State of the art</b>	<b>9</b>
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
<b>3</b>	<b>Teza</b>	<b>17</b>
3.1	Podrozdział . . . . .	17
3.2	Podrozdział . . . . .	18
3.3	Podrozdział . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Implementacja</b>	<b>19</b>
4.1	Podrozdział . . . . .	19
4.2	Podrozdział . . . . .	19
4.3	Podrozdział . . . . .	20
4.4	Podrozdział . . . . .	20

<b>5</b>	<b>Wyniki</b>	<b>21</b>
5.1	Podrozdział . . . . .	21
5.2	Podrozdział . . . . .	21
5.3	Podrozdział . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Wnioski</b>	<b>23</b>
6.1	Podrozdział . . . . .	23
6.2	Podrozdział . . . . .	23
6.3	Podrozdział . . . . .	24
	<b>Spis rysunków</b>	<b>25</b>
	<b>List of Algorithms</b>	<b>25</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>26</b>

# 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

### **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 pojazdowi 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 komunikacje przez transmistery radiowe oraz radiodiodbiorniki 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 użyc A\* w literaturze do planowania ruchu. Czy można użyc A\* do planowania ruchu na skrzyżowaniach i wady użycia w porównania 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. Wsazanie wad takich modyfikacji w porównaniu do mojej

**Opis wielostanowego A\* na podstawie artykułu [19]**

**Opis modyfikacji A\* w artykule [16]**

**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 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] 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.