

A G H

Symulacja dyskretna systemów złożonych

Paweł Biłko, Karolina Filipiuk, Klaudia Kromołowska

Symulacja ruchu na I Obwodnicy Krakowa

Czerwiec, 2020

Spis treści

1 Wstęp	2
1.1 Cel projektu	2
1.2 Technologie i narzędzia	2
2 Wprowadzenie teoretyczne	3
2.1 O symulacjach	3
2.2 I Obwodnica Krakowa	3
2.3 Model Nagela-Schreckenberga	4
2.4 Bibliografia	4
3 Implementacja	5
3.1 Struktura kodu	5
3.2 Wybrane stałe	5
3.3 Opis rozwiązań technicznych	6
3.3.1 Vehicle	6
3.3.2 Road	6
3.3.3 Node	7
3.3.4 Simulation	7
3.3.5 Config	8
4 Interpretacja tworzonych wykresów	9
5 Dodatkowe założenia przyjęte w modelu	9
6 Analiza przeprowadzonych symulacji	10
6.1 Współczynnik prawdopodobieństwa	10
6.1.1 Podział skrzyżowań	10
6.1.2 Zmiana wartości współczynnika	11
6.2 I symulacja	12
6.3 II symulacja	13
6.4 III symulacja	14
7 Podsumowanie	15
8 Problemy przy realizacji projektu	16
9 Plany i marzenia dotyczące kontynuacji projektu	16

1 Wstęp

1.1 Cel projektu

Celem projektu jest wykonanie symulacji ruchu samochodów osobowych i ciężarowych na I Obwodnicy Krakowa. Model symulacji powinien zostać wykonany w taki sposób, by uwzględnić specyfikę ruchu, to znaczy uwzględnić:

- ograniczone możliwości wjazdu na obwodnice,
- różną przepustowość skrzyżowań.

1.2 Technologie i narzędzia

- język Python jako narzędzie programistyczne umożliwiające przeprowadzenie symulacji,
- biblioteka PIL - Python Imaging Library - biblioteka graficzna, dzięki niej można wczytać grafiki, przekształcać je, zapisywać i korzystać z wielu innych ciekawych funkcji.
- Google Maps - długość dróg, dane na temat ilości i przepustowości skrzyżowań, ograniczeń prędkości, liczby pasów,
- model Nagela-Schreckenberga - opisany poniżej w literaturze, zakładający zróżnicowaną ilość pojazdów, ich prędkość, możliwości zmiany pasa ruchu i z góry określony cel podróży danego samochodu.

2 Wprowadzenie teoretyczne

2.1 O symulacjach

Wiele zjawisk jesteśmy w stanie w przybliżonym stopniu badać w sposób deterministyczny. Dotyczy to systemów, które przy takich samych warunkach początkowych otrzymamy takie same efekty końcowe. Jednak nie zawsze taki przybliżony model matematyczny będzie właściwym podejściem, często przecież mamy do czynienia ze zdarzeniami których nasz model nie jest w stanie brać pod uwagę, np. spontaniczna reakcja ludzka czy nieoczekiwana zmiana warunków pogodowych. W takich sytuacjach sięgamy po rozwiązanie doświadczalne, a kiedy skala, koszt lub niebezpieczeństwo związane z doświadczeniem przekraczają nasze możliwości, po symulację komputerową. Obecnie w dobie szeroko dostępnej wysokiej mocy obliczeniowej symulacje są jednym z najszerzej stosowanych i wiodących rozwój technologii narzędzi.

2.2 I Obwodnica Krakowa



Pierwsza obwodnica to ciąg ulic otaczających Stare Miasto. Ruch jest tu ograniczony głównie do samochodów mieszkańców, służb miejskich i zaopatrzenia sklepów. Znajduje się tu dużo ograniczeń prędkości, wiele ulic jednokierunkowych, a w przypadku dwukierunkowych jeden pas ruchu w każdą stronę.

2.3 Model Nagela-Schreckenberga

Model ten bazuje na automatach komórkowych (CA), zwykle opisywanych w kontekście czterech wartości (L , S , N , f):

- L (Layout) - przestrzeń z siatką komórek,
- S (States) - skończony zbiór stanów,
- N (Neighbours) - zbiór sąsiadów komórki,
- f - funkcja zmiany konfiguracji w komórkach.

W modelu prędkość podawana jest w komórkach pokonanych w jednostce czasu. Komórka to ok 7.5m, ponadto opisany jest on regułami:

- Przyspieszenie:

$$v(t+1) = \min(v(t) + 1, v_{max})$$

- Hamowanie:

$$v(t+1) = \min(v(t), g(t) - 1)$$

gdzie $g(t)$ to liczba pustych komórek między samochodami,

- Element losowy:

Prawdopodobieństwo p na zmniejszenie prędkości jednego z n samochodów o 1:

$$v(t+1) = \max(v(t) - 1, 0)$$

- Zmiana położenia:

$$x(t+1) = x(t) + v(t)$$

2.4 Bibliografia

1. R.Bielinski, J.Wąs, P.Orzechowski i B.Gajewski (2009) "Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych"
2. pl.wikipedia.org/wiki/Obwodnice_Krakowa
3. en.wikipedia.org/wiki/Nagel-Schreckenberg_model

3 Implementacja

3.1 Struktura kodu

ns_sim folder zawierający wszystkie niezbędne pliki wykorzystywane w programie

agents plik, w którym umieszczani są wszyscy agenci symulacji

main plik, w którym znajduje się klasa *Simulation*, czyli najważniejszy fragment całego programu, który zarządza całą symulacją

roads plik, w którym znajdują się klasy wszystkich elementów, z których zbudowana jest obwodnica (skrzyżowania i drogi)

settings plik, w którym przechowywane są wszystkie niezbędne parametry symulacji

visualization główny plik programu, który uruchamiamy w celu rozpoczęcia symulacji; zawiera rysowanie wykresów powstałych po zakończeniu symulacji

3.2 Wybrane stałe

D_CELL_SIZE długość komórki z modelu Nagela-Schreckenberga wyrażona w metrach

D_TIME_STEP długość kroku czasowego wyrażona w sekundach

D_VISIBILITY widoczność agenta symulacji, czyli ilość sprawdzanych komórek dookoła danego agenta w każdym kroku czasowym

D_SIMULATION_DURATION czas trwania symulacji wyrażony w sekundach

kr_node_types tablica przechowująca informacje z jakich skrzyżowań składa się I Obwodnica Krakowa

Oznaczenia wykorzystane w tablicy *kr_node_types*:

- "-1" odpowiada skrzyżowaniu, z którego agenci symulacji mogą tylko wyjeżdzać

- "0" odpowiada skrzyżowaniu, z którego agenci symulacji mogą wyjeżdzać i wjeżdżać
- "1" odpowiada skrzyżowaniu do którego agenci symulacji mogą tylko wjeżdżać

kr_road_lengths_meter tablica przechowująca długości poszczególnych dróg, z których składa się I Obwodnica Krakowa; jednostką przechowywanych danych są metry

kr_road_lengths_cells tablica przechowująca długości poszczególnych dróg, z których składa się I Obwodnica Krakowa; jednostką przechowywanych danych są komórki pochodzące z modelu Nagela-Schreckenberga

3.3 Opis rozwiązań technicznych

Silnik symulacji reprezentuje agentów symulacji za pomocą klas z modułu *ns_sim.agents*:

3.3.1 Vehicle

Podstawowa klasa reprezentująca samochód w ruchu drogowym. Zawiera informacje o:

- aktualnej szybkości, **self.vel**, (nieujemna liczba całkowita);
- szansie na zmniejszenie szybkości o 1 w danym kroku czasowym, **self.behav**, (ułamek między 0.00, a 1.00);
- ilości zjazdów z obwodnicy, które agent ominie zanim wyjedzie najbliższym napotkanym zjazdem, **self.dest**, (nieujemna liczba całkowita).

Silnik symulacji reprezentuje układ dróg na obwodnicy za pomocą klas z modułu *ns_sim.roads*:

3.3.2 Road

Reprezentuje odcinek drogi między dwoma skrzyżowaniami, zawiera:

- listę komórek ruchu drogowego w znaczeniu komórek z modelu Nagela-Schreckenberga, każdy element listy jest obiektem klasy *Vehicle* albo *None*, **self.cells**, (lista obiektów *None* lub *Vehicle*);

- informację o ograniczeniu szybkości, **self.speed_limit**, (liczby całkowite, wartości ujemne oznaczają brak ograniczenia);
- referencje do skrzyżowania na początku i końcu tego odcinka drogi, należy je podać w konstruktorze drogi, **self.start** i **self.end**, (obiekty klasy *Node*).

3.3.3 Node

Reprezentuje skrzyżowanie, zawiera informacje o:

- typie skrzyżowania, **self.type**, (liczba całkowita, -1 oznacza zjazd z obwodnicy, 1 oznacza wjazd, a 0 funkcjonuje jako jedno i drugie);
- referencjach do dróg wychodzących i wchodzących na skrzyżowanie, **self.output_road** i **self.input_road**, (obiekty klasy *Road*, po podaniu obiektu *Node* do konstruktora obiektu *Road*, ten automatycznie ustawi siebie jako *input* lub *output* w podanym obiekcie *Node*);
- (dla wjazdów) szansę na pojawienie się samochodu na skrzyżowaniu, **self.chance_to_spawn**, (ułamek od 0.00 do 1.00);
- (dla wjazdów) zakres ilości omijanych zjazdów, które zostaną nadane samochodom produkowanym przez ten wjazd, **self.dest_range**, (para liczb całkowitych nieujemnych).

Nadrzędnym elementem symulacji jest klasa *Simulation*, z modułu *ns_sim.simulation*:

3.3.4 Simulation

Klasa wysyła polecenia wykonania odpowiednich operacji klasą podrzędnym, w szczególności funkcji *step()*, obliczającej stan wszystkich obiektów po upłynięciu jednego kroku czasowego. W tym celu zawiera informacje o:

- referencjach do wszystkich obiektów układu dróg w symulacji, **self.roads** i **self.nodes**, (lista obiektów *Road* i *Node*);
- licznik pokazujący aktualną godzinę dnia w krokach czasowych, **self.curr_time**, (liczba całkowita nieujemna);

- informację o aktualnym natężeniu ruchu, **self.phase**, (para w postaci (*int, float*), pierwsza liczba oznacza o której godzinie (podanej w krokach czasowych) zaczyna się nowa faza ruchu drogowego, druga oznacza szansę w każdym kroku czasowym na pojawienie się samochodu na najmniej ruchliwym ze skrzyżowań).

3.3.5 Config

Zawiera stałe wartości w symulacji, takie jak:

- długość komórki ruchu drogowego;
- kroku czasowego;
- punktów w czasie w których zmieni się natężenie ruchu (**self.sim_daytime_phases**);
- czasie symulacji (**self.simulation_duration**);
- godzinie rozpoczęcia symulacji (w krokach czasowych, **self.sim_start_time**).

Klasa ta powstała w celu spełnienia paradygmatu rozdzielenia problemów:

- *Simulation* kontroluje zmieniające się warunki symulacji;
- *Config* przechowuje początkowe, niezmienne wartości, stałe.

4 Interpretacja tworzonych wykresów

Każdy rząd pikseli to wszystkie komórki drogi połączone w jedną listę, piksele białe to pojazdy, czarne to puste miejsca, obrazuje on stan drogi w jednym kroku czasowym.

Kolorowe piksele układające się w pionowe linie oznaczają skrzyżowania, zielone to wjazdy, czerwone to zjazdy, żółte pełnią obie funkcje.

Poziome linie ciemnoniebieskie zaznaczają 15 minut czasu w symulacji.

Poziome linie w innych kolorach oznaczają zmianę poziomu natężenia ruchu drogowego, cieplejsze (bliższe żółtemu) kolory oznaczają zmianę na wyższe natężenie ruchu.

5 Dodatkowe założenia przyjęte w modelu

- skrzyżowania mają różną przepustowość
- samochód podjeżdżając do skrzyżowania zaczyna hamować
- pojazd wjeżdżający na skrzyżowanie musi zaczekać na pustą drogę
- na drogach mamy ograniczenia prędkości

6 Analiza przeprowadzonych symulacji

Nasze badanie polegało na obserwowaniu zmian w ruchu ulicznym na I Obwodnicy Krakowa. Aby poznać dokładny obraz natężenia ruchu drogowego przygotowaną symulację wykonaliśmy trzykrotnie o różnych porach dnia. Pierwsza próba zasymulowała ruch od 8:00 do 11:00. Druga próba badała ruch w godzinach 14:00-17:00, a trzecia od 18:00 do 21:00.

6.1 Współczynnik prawdopodobieństwa

W naszej symulacji ważną rolę odgrywa pewien współczynnik prawdopodobieństwa. Jest on określonego dla każdego skrzyżowania. Wyraża on szansę na pojawienie się nowego pojazdu na I Obwodnicy Krakowa wjeżdżającego z danego skrzyżowania.

6.1.1 Podział skrzyżowań



Na potrzeby symulacji dokonaliśmy podziału skrzyżowań występujących na trasie I Obwodnicy Krakowa na trzy grupy. Zostały one wyodrębnione na podstawie współczynnika prawdopodobieństwa (określonego dla każdego skrzyżowania) pojawienia się nowego pojazdu na obwodnicy wjeżdżającego z danego skrzyżowania.

Pierwszą grupę stanowią skrzyżowania z wysokim prawdopodobieństwem wjazdu nowego samochodu na obwodnicę. Grupa ta składa się ze skrzyżowań: Pawia + Lubicz, Staroviślna + Wielopole, Stradomska + Bernardyńska.

Koleijną grupę stanowią skrzyżowania z niższym współczynnikiem prawdopodobieństwa. Druga grupa: Karmelicka, Piłsudskiego, Zwierzyniecka + Franciszkańska, Kopernika.

Ostatnia, trzecia grupa składa się ze skrzyżowań z najniższym współczynnikiem prawdopodobieństwa. Trzecia grupa: Zacisze, pl. Matejki, pl. Matejki, Długa + Sławkowska, Krowoderska, Garbarska, pl. Szczepański, Studencka, Kapucyńska, Jabłonowskich, Smoleńsk, Marii Skłodowskiej-Curie, Zamenhofa, Zyblikiewicza, Św. Sebastiana, Józefa Sarego, Dominikańska, Poselska, pl. Na Groblach, Podzamcze, Kanonicza, Grodzka + Droga do Zamku.

6.1.2 Zmiana wartości współczynnika

Nasze badanie zakłada, że zmiany prawdopodobieństwa wjazdu samochodu na obwodnicę przez poszczególne skrzyżowania będą występować o konkretnych godzinach.

Zakładamy, że o godzinie 7:00 współczynnik prawdopodobieństwa zostanie zwiększyły. Ta zmiana ma zasymulować "pobudzenie" miasta do życia.

Po trzech godzinach, czyli o 10:00 wspomniany współczynnik zostanie zmniejszony. Wynika to z faktu, iż w okolicach godziny 7:00 ruch naturalnie może być zwiększyły ze względu na to, że mieszkańcy miasta udają się do pracy, na uczelnię, na zakupy lub jakimś innym celu zmieniają swoje położenie. Około godziny 10:00 ruch może się zmniejszać, więc współczynnik również się zmniejszył.

Około godziny 15:00 następuje wzrost współczynnika prawdopodobieństwa. Jest to spowodowane tym, że pracownicy, studenci, uczniowie wracają do swoich domów lub zwyczajnie udają się na odpoczynek w inne miejsce.

Następnym etapem jest godzina 19:00. Zakładamy że do tej godziny mieszkańcy Krakowa wrócili już do swoich domów, więc jest mniejsza szansa na to, że na skrzyżowaniach będą pojawiać się nowe pojazdy.

6.2 I symulacja



Pierwsza symulacja miała za zadanie zbadać ruch na I Obwodnicy Krakowa w godzinach od 8:00 do 11:00. W tym czasie na obwodnicę wjechało 13433 aut, a 13353 z niej wyjechało. Po godzinie 11:00 na drodze zostało 80 pojazdów.

W trakcie tej symulacji obwodnica była najbardziej zakorkowana o godzinach: 8:30, 9:00, 9:20, 9:40. Natomiast ok. godz. 8:00 kierowcy przemierzali tę trasę bez większych utrudnień. Ruch na trasie był całkowicie płynny między godziną 10 a 11.

Wzmożone blokowanie się trasy w krótkim czasie odnotowaliśmy w przedziałach godzinowych: 8:00-8:20 oraz 8:50-9:00. Droga korkowała się pomiędzy ulicą Kopernika a Garbarską. Przeciwstawnie, zakorkowanie trasy zmalało znacznie ok. godz. 10. Stopień słabszej przejezdności obwodnicy był stały między godzinami: 8:40-9:00, 9:20-9:40.

Do ok. godziny 10:00 największe problemy z płynnym przejazdem zaobserwowaliśmy w okolicach od ulicy Zamenhofa do ulicy Krowoderskiej. Od skrzyżowania "Pawia + Lubicz" do skrzyżowania "Długa + Sławkowska" problem z przejazdem pojawił się tylko w okolicach godz. 8:30 i 9:40.

Od ok. 8:40-8:50 zauważalne były dwa niezależnie korkujące się miejsca. Pierwsze mniejsze zakorkowanie zaczyna się pomiędzy skrzyżowaniem "Zwierzyniecka + Franciszkańska" a ulicą Karmelicką, a większe pomiędzy ulicą Kopernika a skrzyżowaniem "Stradomska + Bernardyńska". Podobna sytuacja, tylko o mniejszym natężeniu wystąpiła w godzinach 9:40-9:50.

6.3 II symulacja



Druga symulacja miała za zadanie zbadać ruch na I Obwodnicy Krakowa w godzinach od 14:00 do 17:00. W tym czasie na obwodnicę wjechało 13468 aut, a 13226 z niej wyjechało. Po godzinie 17:00 na drodze pozostało 245 pojazdów.

W trakcie symulacji trasa była zakorkowana w najwyższym stopniu w okolicach godzin: 15:30, 16:00 oraz 16:40. Ruch był całkowicie płynny w pierwszej części symulacji (między 14 a 15 godziną).

Szybki wzrost zakorkowania obwodnicy zauważymy między godzinami: 15:00-15:30 oraz 16:30-17:00. Korek narastał od ulicy Kopernika w kierunku ulicy Garbarskiej (15:00-15:30) i na całej szerokości obwodnicy między godz. 16:30 i 17:00. Przeciwstawnie, ruch odblokował się najszybciej w godzinach 15:20-15:30 i 16:30-16:40. Ruch odblokowywał się na tych samych skrzyżowaniach w tych samych godzinach. Stopień słabszej przejezdności obwodnicy był stały między godziną 15:40, a 16:30.

W okolicach godziny 16 obwodnica na całej długości nie była przejezdna bezproblemowo. Od godziny 15 do 17 korki tworzyły się od ulicy Zamenhofa i sięgały maksymalnie skrzyżowania "Pawia + Lubicz". Od ok. 16:00-16:10 zauważalne były dwa niezależnie korkujące się miejsca. Pierwsze mniejsze zakorkowanie zaczyna się pomiędzy 7 a 15 skrzyżowaniem, a większe pomiędzy ulicą Marii Skłodowskiej-Curie a placem Na Groblach.

Od godz. 15:30 do 15:40 kierujący pojazdami płynnie pokonywali drogę pomiędzy skrzyżowaniem "Pawia + Lubicz" a ulicą Jabłonowskich. Podobna sytuacja miała miejsce między 16:20 a 16:40. Uczestnicy ruchu mieli możliwość bezproblemowego pokonania trasy na odcinku od skrzyżowania "Pawia + Lubicz" do ulicy Studentek.

6.4 III symulacja



Trzecia symulacja miała za zadanie zbadać ruch na I Obwodnicy Krakowa w godzinach od 18:00 do 21:00. W tym czasie na obwodnicę wjechało 11905 aut, a 11811 z niej wyjechało. Po godzinie 21:00 na drodze pozostało 94 pojazdy.

W trakcie symulacji największe zakorkowanie trasy przypadło na godz. 18:40. W okolicach godz. 18 płynność ruchu była umiarkowana. Trasa stała się całkowicie przejezdna między godziną 19:10 a 21:00. Wzmożone blokowanie się trasy w krótkim czasie byłoauważalne między godz. 18:00 a 18:20.

Korek narastał od ulicy Zyblikiewicza w kierunku ulicy Kapucyńskiej. Przeciwstawnie, ruch odblokował się najszybciej w przedziale czasowym 19:00-19:10. Stopień słabszej przejezdności obwodnicy był stały między godziną 18:40 a 19:00.

Zakorkowania tworzyły się od ulicy Zamenhofa maksymalnie do placu Matejki. Od ok. godz. 18:50 do ok. 19:00 dostrzegalne były niezależnie korkujące się miejsca. Pierwsze mniejsze zakorkowanie zaczyna się od ulicy Podzamcze do ulicy Garbarskiej, a większe od ulicy Zyblikiewicza w kierunku ulicy Kanonicza.

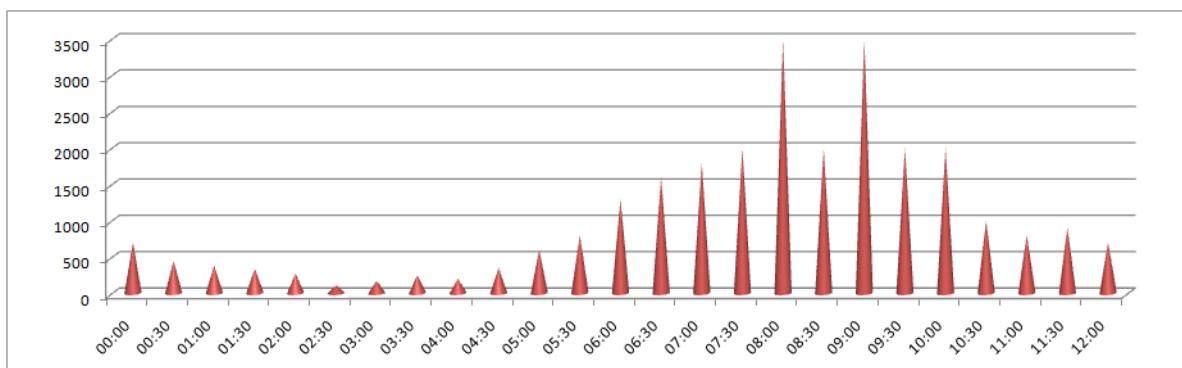
Kierowcy od godz. 18:20 do godz. 18:40 mieli możliwość płynnego przejazdu od skrzyżowania "Pawia + Lubicz" do placu Szczepańskiego.

7 Podsumowanie

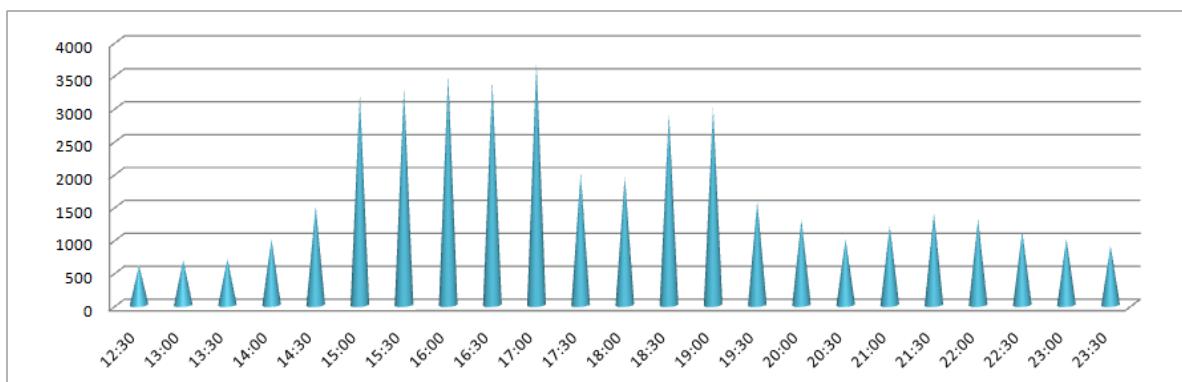
W trakcie wszystkich trzech symulacji zakorkowania rozpoczynały się od skrzyżowania ulic Pawia i Lubicz i rozciągały się w kierunku południa Krakowa. Przez pewne okresy czasu droga pomiędzy skrzyżowaniem "Pawia + Lubicz" a ulicą Garbarską była przejezdna bezproblemowo. Kierowcy nie musieli stać w korkach.

Zauważaliśmy okresy bardzo dobrej przejezdności całej trasy, pomimo iż jest ona ulokowana w centrum Krakowa i łączy ze sobą różne części miasta. Zmotoryzowani powinni zastanowić się nad unikaniem obwodnicy w godzinach 8:00-10:00, 15:00-17:00 i 18:00-19:00.

Ilość samochodów na I Obwodnicy Krakowa w godzinach dopołudniowych:



Ilość samochodów na I Obwodnicy Krakowa w godzinach popołudniowych:



8 Problemy przy realizacji projektu

- trudności z debugowaniem kodu wynikające z braku wiedzy dlaczego auta, czyli agenci symulacji, nie chciały zjeżdżać z obwodnicy, tylko zatrzymywały się przy wybranym zjeździe
- z powodu prac nad tworzeniem wizualizacji, od samego początku mieliśmy wątpliwości czy napisany kod symulacji jest poprawny, ponieważ ruch aut był przez pewien czas nierealistyczny
- problem z dotarciem do danych na temat rzeczywistej przepustowości skrzyżowań

9 Plany i marzenia dotyczące kontynuacji projektu

- Uwzględnienie występowania światła jako czynnika utrudniającego jazdę.
- Wzięcie pod uwagę wydarzeń masowych odbywających się w Krakowie.
- Umożliwienie wystąpienia ataku zombie w porze nocnej.
- Zwiększenie różnorodności pojazdów mechanicznych.
- Uwzględnienie pierwszeństwa niektórych pojazdów na drodze.