

Symulacja Dyskretna Systemów Złożonych

Symulacja ruchu samochodów na IV Obwodnicy Krakowa

Kamil Tomaszewski, Karol Widuch, Kacper Duda

4 kwietnia 2020

1. Wstęp

Symulacją można nazwać dowolne przybliżone odtwarzanie właściwości lub zachowań danego obiektu lub zjawiska za pomocą jego modelu. Ta oficjalna definicja będzie podstawą naszego projektu. W dzisiejszych czasach postęp urbanizacji wymusza coraz większy i szybszy rozwój infrastruktury zarówno w jak i wokół największych metropolii. Jeszcze na etapie planowania przedsięwzięć o skali naszego tytułowego projektu należy sobie odpowiedzieć na zasadnicze pytanie, jakie rozwiązanie będzie najkorzystniejsze?

Tutaj z pomocą przychodzą wszelkiego rodzaju symulacje pozwalające rozważyć i przetestować różne rozwiązania jeszcze zanim ruszą prace nad fizycznym obiektem. W przypadku ruchu drogowego ma to kolokwialne znaczenie; mądrze zaplanowane obwodnice pozwolą znacznie zniwelować korki i wszelkie niedogodności związane z przemieszczaniem się zarówno w samym mieście jak i jego okolicach.

Symulacja, którą będziemy przeprowadzać spełnia powyższe kryteria; znaczna (północna) część obwodnicy jest dopiero w planach lub budowie. W naszym modelu będziemy starać się jak najrzetelniej odwzorować całość obwodnicy, kiedy ta będzie już w całości ukończona, co może pozwolić snuć pewne przypuszczenia co do funkcjonowania danych odcinków drogi, a w szczególności powstawania korków.

2. Przegląd literatury

„Automaty Komórkowe”

[http://home.agh.edu.pl/~lmadej/wp-content/uploads/wyklad_5a.pdf]

Automaty komórkowe stanowią system komórek który wykorzystywany jest do uproszczenia rzeczywistego układu fizycznego. Każda z komórek posiada pewne jednoznacznie określone właściwości umożliwiające modelowanie za ich pomocą rozważanego zjawiska. Przestrzeń automatów stanowi siatkę złożoną z pojedynczych komórek, którą można porównać do szachownicy; skończona ilość pól oraz określony stan w danej jednostce czasu. W przypadku właściwości komórek poza oczywistym stanem istotne jest również sąsiedztwo, które wraz z regułą przejścia stanowi główne kryterium decydujące o zmianie stanu komórki w czasie $t + 1$. Model naszego projektu implementowany będzie na podstawie modelu Nagela-Schreckenberga w którym kluczową rolę odgrywa omówiony wyżej system.

„Discrete-event simulation”

[https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete-event_simulation]

Kolejnym istotnym elementem modelu Nagela-Schreckenberga jest symulacja dyskretna. Dostępnych metod jest kilka, w rozpatrywanym przypadku symulacja będzie prawdopodobnie najczęściej spotykanym typem; symulacja z krokiem czasowym, inaczej symulacja krokowa. Idea jest dość prosta i bazuje na kilku składowych:

- Stan - system posiada skończony zbiór zmiennych z których każda posiada określony stan.
- Zegar - zdarzenia przebiegają skokowo na podstawie z góry założonej jednostki czasu po której poszczególne komponenty systemu mogą zmienić swój stan.
- Zbiór zdarzeń - skończona liczba możliwych wydarzeń w systemie, może być określona funkcją przetwarzającą układ przy każdym „kroku”.
- Generator zdarzeń losowych - aby uniknąć sytuacji, w której zaproponowany model jest deterministyczny (dane wejście określa jednoznacznie stan wyjściowy, brak elementu losowości).

„Nagel-Schreckenber model”

[\[https://en.wikipedia.org/wiki/Nagel-Schreckenberg_model\]](https://en.wikipedia.org/wiki/Nagel-Schreckenberg_model)

Model ruchu drogowego zaproponowany przez Nagela i Schreckenberga (NaSch) bazuje na koncepcie automatów komórkowych. W danym modelu pas ruchu podzielony został na 7,5-metrowe komórki z których każda może posiadać jeden z dwóch stanów: pusta lub zajęta przez samochód. W podstawowym modelu pojazdowi przypisywana jest tylko ich aktualna prędkość, która może przyjmować wartości od 0 do maksymalnej prędkości (w oryginalnej pracy = 5). Symulacja opisanego modelu następuje w krokach wykonywanych w równych odstępach czasowych, domyślnie co jedną sekundę. Każdy krok powoduje równoczesne zaaplikowanie dostępnych akcji wszystkim samochodom w symulacji, istotna jest tutaj kolejność, sama zmiana stanu komórek, czyli ruch samochodów odbywa się dopiero jako ostatnia po ustaleniu odpowiedniej prędkości, która jest ekwiwalentem ilości przebytych kratek w jednej jednostce czasu. Dostępne są następujące akcje:

3. Przyspieszenie - każdy pojazd, który nie posiada maksymalnej prędkości zwiększa swoją aktualną prędkość o jedną jednostkę.
4. Hamowanie - jeżeli dystans od samochodu z przodu jest mniejszy od aktualnej prędkości to zostaje zredukowana do ilości wolnych kratek przed pojazdem.
5. Element losowy - kluczowa pozycja stanowiąca o realizmie prezentowanego modelu i fakcie, że nie jest on deterministyczny. Dany jest za pomocą prawdopodobieństwa p które będzie decydować o tym czy samochód zmniejszy swoją prędkość o jeden (tylko w przypadku prędkości większej od 0).
6. Ruch pojazdów - każdy samochód porusza się do przodu o liczbę kratek równą jego aktualnej prędkości.

„Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych”

[<https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-articleAGH1-0022-0043/c/Was.pdf>]

Model Na-Sch z którego chcemy skorzystać w naszym projekcie jest dość prosty a co za tym idzie posiada swoje ograniczenia. Nie przewiduje on na przykład dróg wielopasmowych, zmian pasów lub skrzyżowań. Autorzy powyższej publikacji rozszerzyli podstawowy model o właśnie te atrybuty. Algorytm zmiany pasu jest następujący i aplikowany dla wszystkich samochodów:

- Decyzja o zmianie pasa
- Zmiana pasa
- Obliczenie prędkości
- Uwzględnienie losowości
- Ruch

Czynnikami mogącym wywołać decyzję o zmianie pasa jest kończący się tor jazdy którym aktualnie się poruszał lub możliwość osiągnięcia większej prędkości na innym pasie (manewr wymijania). Za każdym razem jest to jednak obarczone pewnym prawdopodobieństwem, które zależy głównie od stanu pasa docelowego (wymuszenie hamowania u innego samochodu znacząco obniża prawdopodobieństwo podjęcia decyzji o zmianie pasa). Autorzy przedstawiają również model skrzyżowania który z pewnością znajdzie swoje zastosowanie w naszym projekcie. Sam ruch na skrzyżowaniach nie jest modelowany, istotne są tylko wejścia i wyjścia oraz jego przepustowość.

„Zastosowanie automatu komórkowego do
modelowania ruchu drogowego w zmiennych
warunkach pogodowych”

[\[http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL9-0065-0010/c/Bernas.pdf\]](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL9-0065-0010/c/Bernas.pdf)

Istotnym czynnikiem wpływającym na funkcjonowanie ruchu drogowego są warunki pogodowe, czego dotyczy dana publikacja. Autorzy badają w nim zachowanie modelu NaSch symulując różne poziomy zagrożenia atmosferycznego prostą modyfikacją parametru p . Dany parametr decyduje o prawdopodobieństwie zahamowania przez samochód w każdym kolejnym kroku, a co za tym idzie prostą konsekwencją zwiększania prawdopodobieństwa p można wywołać częstsze losowe zahamowania prowadzące do zmniejszenia średniej prędkości i powstawania korków. Manipulacja poziomem zagrożenia umożliwia uwzględnienie w symulacji parametrów pogodowych, a tym samym zaobserwowanie wpływu widoczności i stanu nawierzchni na sytuację na drodze.

3. Opis aplikacji

Nasz projekt ma za zadanie jak najwierniej odwzorować sytuację na IV Obwodnicy Krakowa. Podczas opracowywania logiki staraliśmy się uwzględnić jak najwięcej czynników które mogą wpłynąć na końcowe wyniki a zarazem wiarygodność samej symulacji. Sama obwodnica w myśl modelu Nagela-Schreckenberga została podzielona na proste segmenty od węzła do węzła uwzględniając ich rzeczywiste rozmiary w przeliczeniu na 7.5 metrowe komórki. Podstawowa funkcjonalność oryginalnego modelu została zachowana, rozszerzona została jednak o pewne funkcjonalności jak choćby algorytm zmiany pasa potrzebny do ewentualnego wyprzedzania. Na parametry uczestników ruchu wpływ mają warunki atmosferyczne; zarówno wybierane ręcznie, jak i odczytywane z danej daty za pomocą API pogodowego z których korzysta moduł ustawień.

4. Implementacja

4.1. Struktura kodu

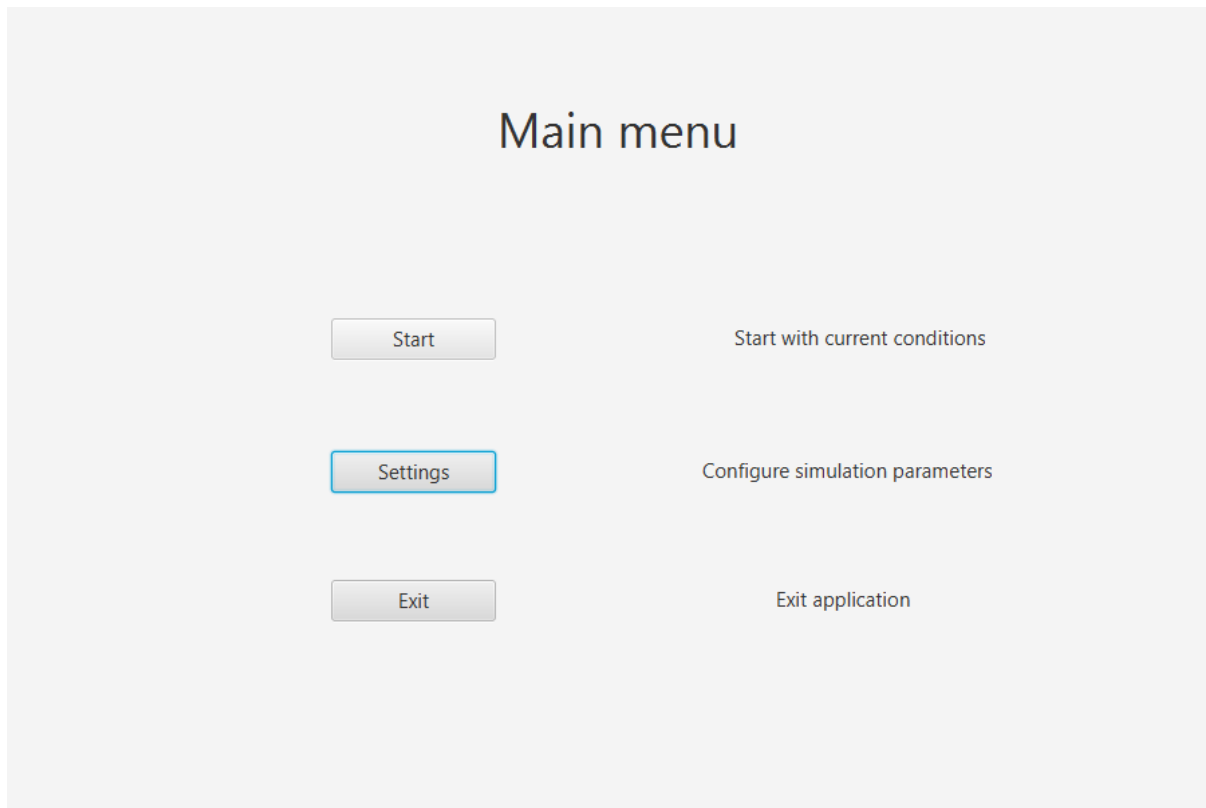
Zgodnie z konwencją pisania aplikacji z użyciem biblioteki JavaFX projekt jest uporządkowany zgodnie z postulatami wzorca MVC. Moduł controllers zabiera wszystkie dostępne kontrolery w aplikacji, katalog resources opowiada za zasoby w postaci widoków przygotowanych za pomocą Scene Buildera, a także niezbędne grafiki i pliki css, co w całości składa się na GUI naszej aplikacji. Wszystkie pozostałe moduły w katalogu src/ są odpowiedzialne za logikę symulacji.

4.2. Istotne moduły

Projekt został podzielony na moduły odpowiadające danym funkcjonalnościom.

- controllers/ - zawiera wszystkie dostępne kontrolery aplikacji, ich nazewnictwo jest zgodne z nazwami layoutów które obsługują (przykładowo SimulationController odpowiada za komunikacje pomiędzy logiką a SimulationScreen które jest częścią GUI), każdemu layoutowi aplikacji odpowiada odpowiedni kontroler co pozwala skutecznie rozdzielić widok od mechanizmów działających pod spodem.
- resources/ - wszystkie stałe i zasoby niezbędne do prezentacji danych i finalnego wyglądu aplikacji, katalog zawiera kluczowe grafiki oraz podkatalogi css/ i layouts/ (przechowujący pliki fxml poszczególnych widoków aplikacji)
- road/ - kilka kluczowych klas do zamodelowania samej obwodnicy, zaczynając od najmniejszych składowych Cell, Lane (pojedynczy pas ruchu), Road (zbiór pasów jezdni w danym kierunku) oraz Bypass (klasa przechowująca wszystkie poprzednie składowe już jako gotową obwodnicę)
- vehicle/ - moduł odpowiadający za pojazdy które wypełniają komórki na drodze, w aktualnej wersji aplikacji do wyboru jest jedynie Car czyli samochód osobowy zajmujący jedną kratkę, możliwe jest jednak dodanie kolejnych typów pojazdów za pomocą kolejnych implementacji interfejsu Vehicle
- simulation/ - moduł zawierający kluczową logikę aplikacji. Klasa Simulation inicjalizuje i podtrzymuje symulację, aktualizując jej stan co sekundę. Na podstawie danych z Settings, Simulation wywołuje na klasie Bypass jej metodę init która wykorzystuje SimulationInitializer do zainicjalizowania jej rzeczywistymi danymi IV Obwodnicy.

5. Przewodnik po aplikacji



Main menu:

Na tym ekranie widzimy 3 przyciski:

- *Start* - uruchamia naszą aplikację używając do tego bieżących warunków panujących na drodze. W tym celu wysyłane jest zapytanie do api pogodowego z prośbą o zwrócenie potrzebnych danych opisujących bieżące warunki pogodowe. Pobierana jest również godzina w celu ustalenia pory dnia. na podstawie otrzymanych danych ustalane są odpowiednie parametry symulacji, która jest od razu uruchamiana.
- *Settings* - otwiera ekran Settings
- *Exit* - kończy działanie naszego programu

Settings:

Ekran Settings został podzielony na dwie części:

- *Historical conditions* - w tej części mamy możliwość ustawić datę i czas naszej symulacji. Następnie klikając poniżej pole start with date oraz start mamy możliwość uruchomić naszą symulację, której parametry zostaną ustawione automatycznie na podstawie ustawionej pory dnia oraz otrzymanej odpowiedzi na zapytanie wysłane do API pogodowego.

W celu ustawienia parametrów mamy do dyspozycji 2 pola:

- *Date* - służy do ustawienia daty z przeszłości, mamy możliwość pobrać dane jedynie z daty odległej nie bardziej niż o 5 lat od chwili bieżącej
 - *Time of the day* - parametr opisany poniżej, służy do ustawienia pory dnia
- *Custom conditions* - w tej sekcji mamy możliwość wyboru własnych parametrów symulacji poprzez ustawienie dwóch parametrów:
 - *Time of the day* - pora dnia
 - *Weather* - warunki pogodowe panujące na drodze - parametr opisany poniżej

Aby uruchomić symulację klikamy przycisk *Start*

U dołu ekranu znajdują się dwa przyciski:

- *Start* - służy do uruchomienia aplikacji
- *Back* - powrót do *Main Menu*

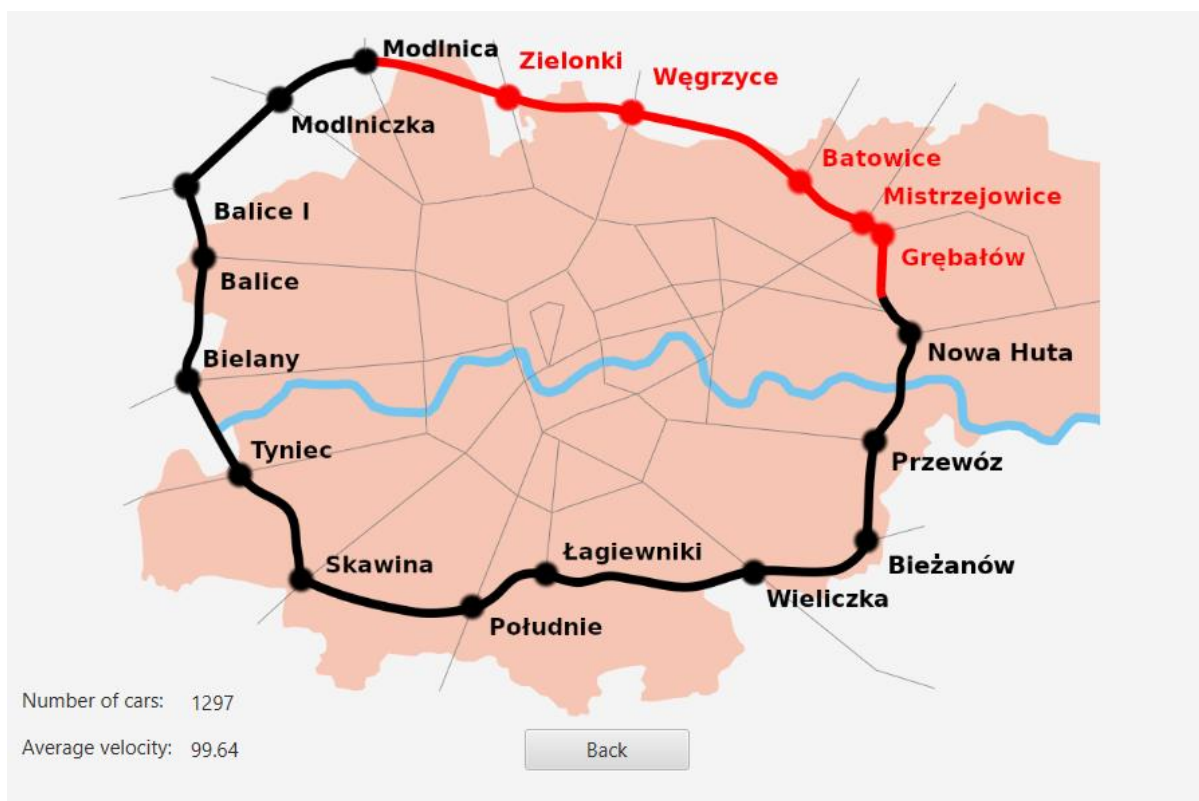
Parametry:

Time of the day:

- *early morning* - wczesny poranek, pora dnia od 6:00 do 7:00, charakteryzuje się największym natężeniem na drodze w ciągu całego dnia,
- *morning* - rano - 7:00 do 10:00, sytuacja na drodze jest spokojniejsza niż wczesnym rankiem, jednak nadal natężenie jest widoczne,
- *forenoon* - przedpołudnie - 10:00 do 12:00, sytuacja na drodze jest dość spokojna
- *early afternoon* - wczesne popołudnie - 12:00 do 14:00, natężenie na drodze jest niskie,
- *late afternoon* - późne popołudnie - 14:00 do 17:00, ilość samochodów na drodze jest duża,
- *evening* - wieczór - 17:00 do 21:00, ruch na drodze jest lekko wzmożony, jednak odczuwalnie spokojniejszy niż późnym popołudniem,
- *night* - noc - 21:00 do 6:00, ilość samochodów na drodze jest najmniejsza podczas całego dnia.

Weather:

- *clear* - czyste niebo - potencjalna maksymalna prędkość jaką mogą osiągnąć samochody jest najwyższa w porównaniu z wszystkimi możliwymi wyborami warunków na drodze, istnieje małe prawdopodobieństwo zwolnienia samochodów podczas jazdy
- *rain* - deszcz - prędkość możliwa do osiągnięcia jest znacznie mniejsza, zwiększa się prawdopodobieństwo hamowania
- *clouds* - zachmurzone niebo - prędkość maksymalna jest nieco mniejsza niż w przypadku czystego nieba, jednak prawdopodobieństwo hamowania jest dokładnie takie samo
- *atmosphere* - mgła - samochody mogą się rozpędzić do prędkości mniejszej niż w przypadku zachmurzonego nieba, istnieje również większe prawdopodobieństwo zmniejszania prędkości
- *snow* - śnieg - prędkość maksymalna taka sama jak w przypadku ograniczonej widoczności przez mgłę, jednak istnieje większe prawdopodobieństwo hamowania
- *thunderstorm* - burza - prędkość maksymalna jest najniższa spośród możliwych do wyboru przypadków, istnieje największe prawdopodobieństwo zmniejszenia prędkości bieżącej



Simulation Screen

Na ekranie symulacji widzimy mapę, po kliknięciu na dowolny fragment drogi otworzy się Road Screen, który zobrazuje sytuację w danym miejscu. W dolnym lewym rogu widzimy podstawowe statystyki: ilość pojazdów na całej obwodnicy oraz ich średnią prędkość. Przycisk *Back* powraca do ekranu *Settings*.



Road Screen

Otwarty ekran Road Screen prezentuje sytuację na wybranym odcinku naszej obwodnicy. Na górze widzimy, który fragment drogi jest przedstawiany, poniżej jego wizualizacja. Na samym dole są wypisane podstawowe statystyki: ilość samochodów w bieżącym fragmencie drogi oraz ich średnia prędkość. Przycisk *Back to map* powraca do Simulation Screen.