

Automaty komórkowe

Projekt 2 – Model Nagela-Schreckenberga

Autor: Krzysztof Halwa

1. Założenia projektu

Celem projektu było zrealizowanie automatu komórkowego w oparciu o model Nagela-Schreckenberga. Model ten został wymyślony we wczesnych latach dziewięćdziesiątych, a jego autorami są niemieccy fizycy: Kai Nagel i Michael Schreckenberg. Automat ten jest modelem przepływu ruchu, który potrafi generować takie zjawiska jak powstawanie korków. Pokazuje w jaki sposób braki w płynności ruchu na drodze mogą być spowodowane odpowiednimi interakcjami pomiędzy samochodami na zagęszczonej drodze.

W model Nagela-Schreckenberga droga podzielona jest na pojedyncze komórki. W oryginalnej wersji tego modelu, drogę stanowi pojedynczy wiersz komórek, który jest ze sobą „sklejony brzegami”, co oznacza że droga jest połączona w kółko. Każda komórka drogi może znajdować się w dwóch stanach: być pusta, albo posiadać samochód. Na jednym kawałku drogi może stać tylko jeden samochód w tej samej chwili czasowej. Każdy z samochodów posiada parametr, który określa jego aktualną prędkość. Prędkość jest wartością z zakresu od zera do maksimum (w oryginalnej wersji modelu maksimum wynosi pięć, więc w projekcie przyjęto taką samą wartość). Warto zaznaczyć, że model ten jest stworzony dla pojedynczego pasa ruchu, na którym samochody nie mogą się wyprzedzać. Czas jest zdyskretyzowany, a wszystkie akcje wykonywane są w tej samej chwili czasowej. W każdym pojedynczym kroku czasowym wykonywane są następujące akcje:

1. Przyspieszanie – wszystkie samochody, które nie osiągnęły prędkości maksymalnej, przyspieszają o jedną jednostkę.
2. Zwalnianie – dla każdego samochodu sprawdzana jest odległość pomiędzy nim samym, a najbliższym samochodem znajdującym się przed nim (w jednostkach pojedynczych komórek na drodze). Jeżeli odległość jest mniejsza niż obecna prędkość samochodu to wówczas prędkość samochodu jest zmniejszana do liczby pustych komórek znajdujących się przed samochodem (w celu uniknięcia kolizji).
3. Współczynnik losowy – prędkość dla wszystkich samochodów wynosząca co najmniej jeden, jest obniżana o jedną jednostkę z pewnym prawdopodobieństwem.
4. Ruch samochodu – wszystkie samochody są przesuwane w przód o liczbę komórek równej ich prędkości.

Powyższe kroki powtarzane są wielokrotnie, tak długo jak to jest potrzebne, aż do zaobserwowania powstających korków na drodze. Gdyby pozbawić model kroku randomizacji, wówczas model stałby się deterministyczny i samochody zawsze poruszałyby się według określonego wzorca. W przypadku istnienia czynnika losowego, możemy obserwować zjawisko w którym w wyniku zwolnienia jednego samochodu, wszystkie jadące za nim również zwolnią generując korek.

2. Implementacja

Jednym z wymagań dotyczących projektu była możliwość uruchomienia automatu w dowolnej przeglądarce internetowej, dlatego też projekt został zrealizowany w oparciu o współczesne web-technologie, takie jak HTML5/CSS, dzięki którym zrealizowana została warstwa prezentacji projektu, natomiast przy użyciu języka skryptowego Javascript, obsługiwanego przez wszystkie współczesne przeglądarki, napisana została logika automatu komórkowego.

Do realizacji tego projektu wykorzystano takie biblioteki jak:

- JQuery – biblioteka wspomagająca manipulowanie drzewem dokumentu HTML z poziomu języka Javascript.
- Highcharts – biblioteka wspomagająca dodawanie wszelakich wykresów do strony internetowej.

Aplikacja uruchomiona w przeglądarce prezentuje się następująco:



Rys 1. Wygląd programu

U samej góry znajduje się wizualizacja sytuacji na drodze z ostatniego wykonanego przez automat kroku. Poniżej drogi, w panelu po lewej stronie znajdują się przyciski umożliwiające obsługę automatu. Dostępne w programie przyciski to:

- Start umożliwia rozpoczęcie nowej symulacji w oparciu o ustawione wartości w panelu *Opcje*.
- Reset zatrzymuje obecną symulację i restartuje jej stan.
- Pauza – zatrzymuje obecną sytuację, przycisk Start ją wznowi.
- Krok – pozwala wykonać pojedynczy krok czasowy.

Do dyspozycji użytkownika oddano następujące parametry konfiguracyjne:

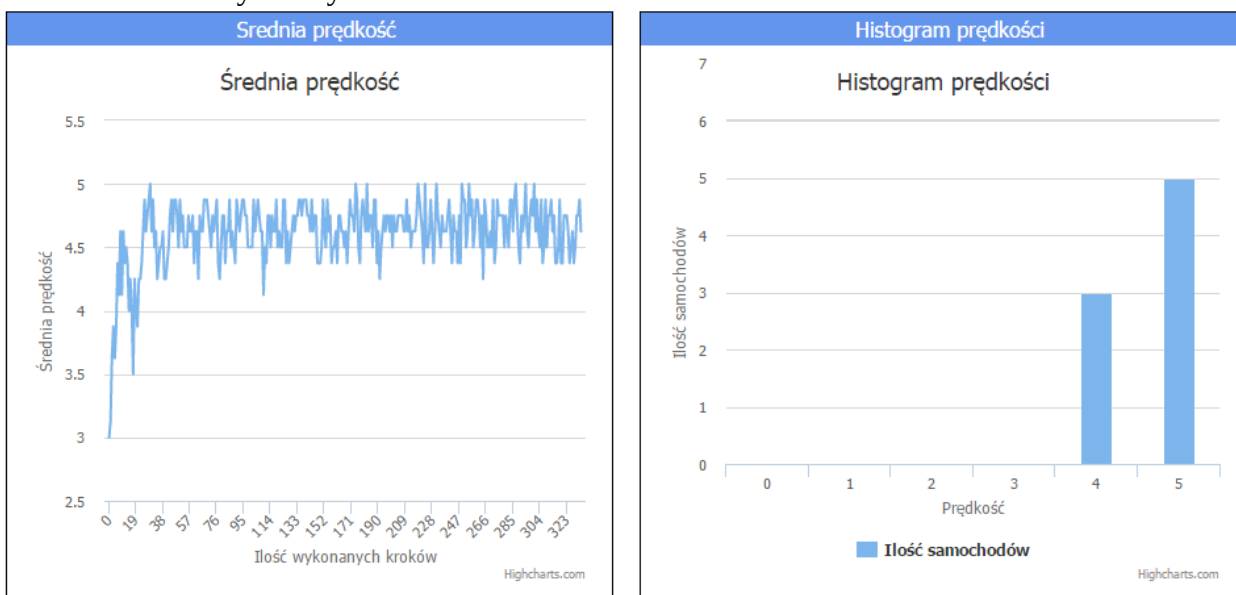
- Szybkość symulacji – podawana w milisekundach, określa szybkość wykonywania kroków czasowych.
- Rozmiar komórki – podawana w pikselach, określa rozmiar pojedynczego fragmentu drogi.
- Ilość komórek – określa z ilu komórek będzie składać się droga.
- Początkowa gęstość ruchu – określa prawdopodobieństwo pojawienia się w pojedynczej komórce drogi samochodu.
- Współczynnik zawahania kierowcy – określa prawdopodobieństwo obniżenia prędkości samochodu w jednym kroku czasowym.

Dodatkowo w pozostałych panelach zostały umieszczone wykresy przedstawiające średnią prędkość wszystkich samochodów na drodze oraz histogram prędkości.

Logika modelu została zrealizowana w obrębie funkcji konstruującej obiekty typu *ModelNS* znajdującej się w pliku *ModelNS.js*. Wszystkie pozostałe funkcje służą do obsługi zdarzeń wprowadzonych przez użytkownika. W funkcji konstruującej obiekty typu *Car* przechowywane są parametry pojedynczego samochodu oraz funkcje obsługujące przyspieszanie, zwalnianie i współczynnik losowy. Z punktu widzenia modelu najbardziej istotną funkcją jest funkcja *makeStep()* w której realizowane są wszystkie kroki opisane w pierwszej części sprawozdania.

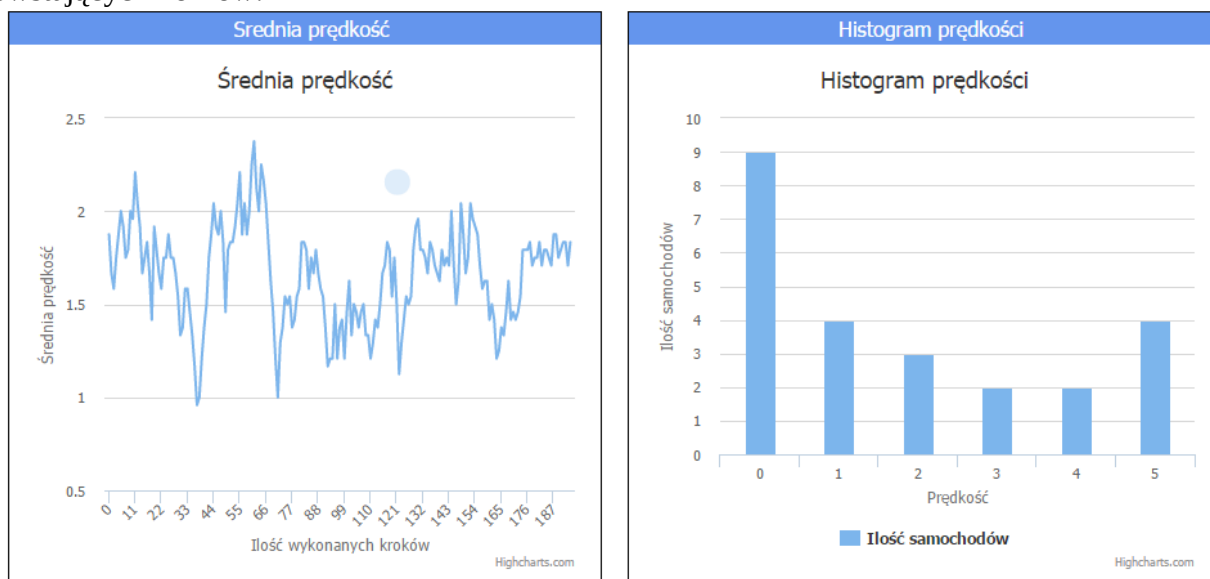
3. Obserwacje

Dla drogi o długości 100 jednostek, o początkowym zagęszczeniu 10% i współczynniku zawahania kierowcy równym 30% zaobserwowano:



Rys 2. Wykresy dla pierwszej obserwacji.

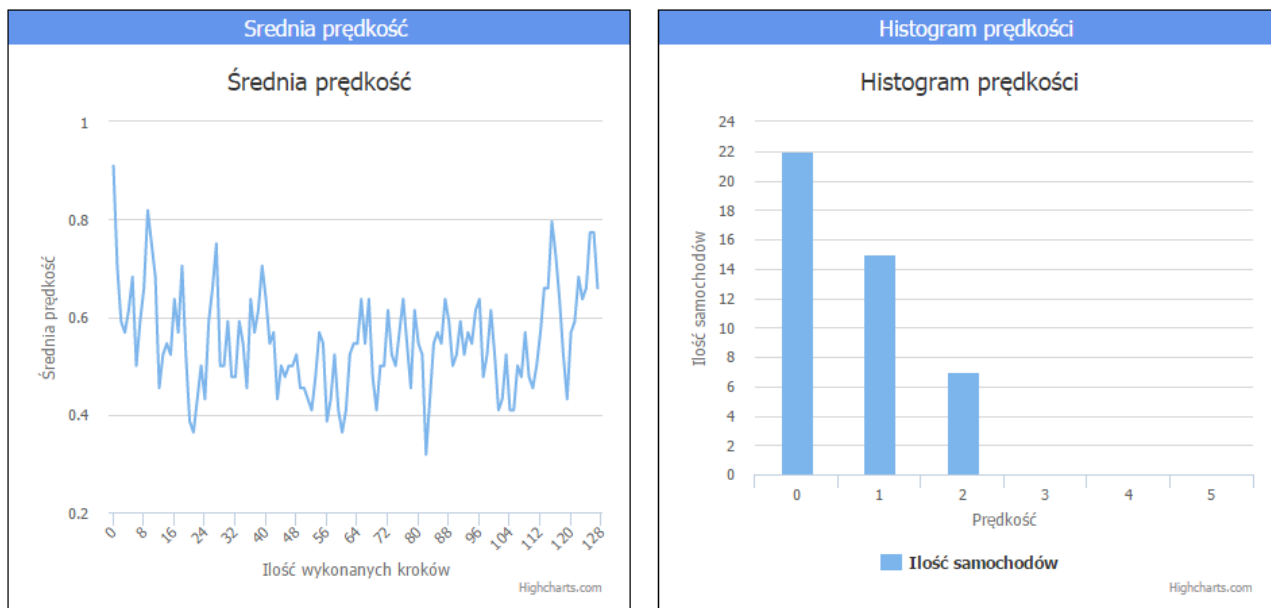
Prędkość średnia utrzymywała się na poziomie bliskim prędkości maksymalnej, pomiędzy 4.5 a 5. Ruch na drodze odbywał się bez przeszkód i nie zaobserwowano wyraźnego powstawania korków. Zwiększając zagęszczenie ruchu na drodze do poziomu 25% możliwe już było zaobserwowanie powstających korków:



Rys 3. Wykresy dla drugiej obserwacji.

W tym wypadku wyraźnie dało się zauważyć jak w wyniku spowolnień pojedynczych samochodów obniżała się przepustowość ruchu na drodze.

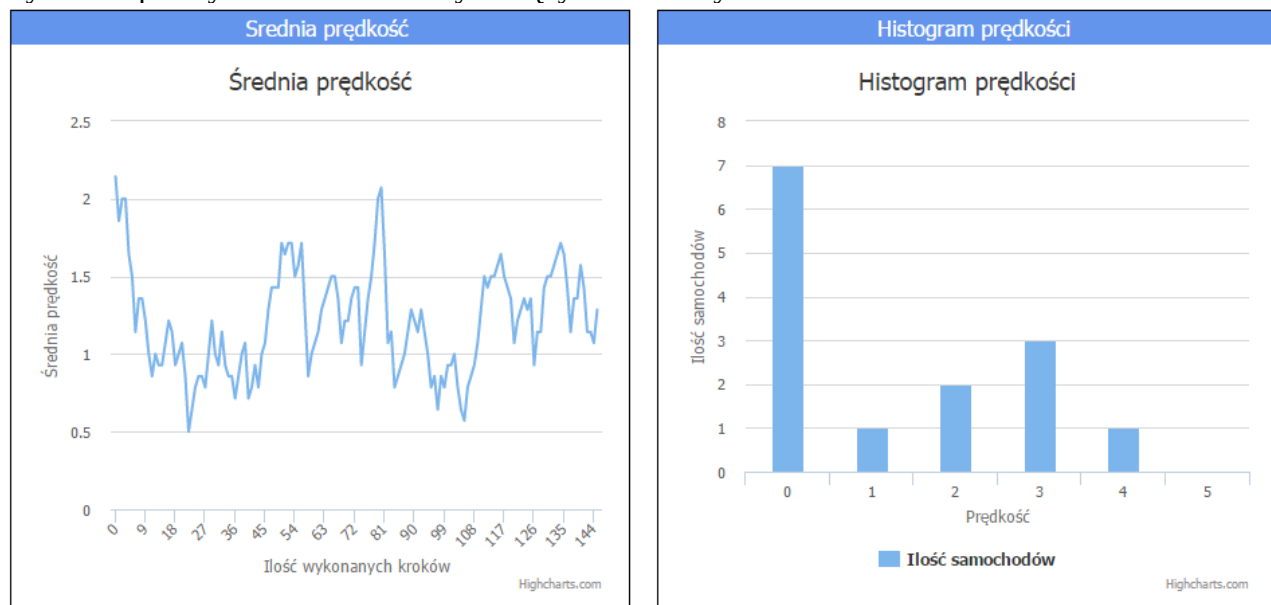
Zwiększając współczynnik zawahania kierowcy do wartości 45%, obserwuje się drastyczny spadek średniej prędkości samochodów, a co za tym idzie wzrost powstawania korków na drodze.



Rys 4. Wykresy dla czwartej obserwacji.

W tym przypadku widać, że nie wiele samochodów uzyskuje prędkość większą niż 2.

Na potrzeby ostatniego eksperymentu ustalono niską początkową gęstość ruchu wynoszącą 15% i wysoki współczynnik zawahania wynoszący 70%. Otrzymało się:



Rys 5. Wykres dla piątej obserwacji.

Jak widać na wykresie po lewej średnia prędkość w kolejnych krokach czasowych zmienia się dosyć gwałtownie. Jest to spowodowane tym, że w wyniku wysokiego współczynnika losowości na drodze występują sporadyczne korki, które skutecznie obniżają płynność ruchu. Nawet przy nie wielkim ruchu, a wysokiej nieuwadze kierowców może dojść do powstawania korków nawet na 'pustych' drogach.

4. Wnioski

Model w bardzo dobry sposób wyjaśnia w jaki sposób mogą powstawać zatamowania ruchu na drogach z powodu dużego zagęszczenia ruchu czy rozkojarzenia kierowców na drodze, bez żadnych wpływów z zewnątrz. Największy wpływ na powstawanie korków na drodze ma parametr początkowego zagęszczenia ruchu. Im jest wyższy, tym częściej można zaobserwować zjawisko powstawania korków. Gdyby model nie uwzględniał parametru jakim jest współczynnik losowy wprowadzający losowe spowolnienia samochodów, wówczas automat byłby algorytmem deterministycznym w którym samochody zawsze poruszałyby się według ustalonego wzorca. Sam model Nagela-Schreckenberga jest minimalistyczny, co oznacza że wykluczenie jakiegokolwiek elementu modelu opisanego w punkcie pierwszym drastycznie wpłynie na obserwowanie własności ruchu drogowego. Ciekawostką jest, że jeżeli w modelu przyjąć maksymalną prędkość samochodu jako jeden i prawdopodobieństwo losowego zwalniania, wówczas tak zmodyfikowany model byłby równy 184 regule automatów komórkowych autorstwa Stephena Wolframa.