

# Symulacja ruchu drogowego

Paweł Gora

# Plan prezentacji

- Motywacja – po co (i jak) opisywać ruch drogowy?
- Przypomnienie istniejących modeli symulacji
- Model autorski
- Prezentacja symulatora ruchu drogowego
- Automatyczne planowanie ruchu drogowego
- Dalsze plany

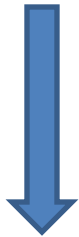
# Motywacja – po co symulować ruch?

- Aby:
  - Wykrywać, przewidywać i przeciwdziałać niepożądanym zjawiskom (korki!)
  - Rozbudowywać sieć drogową
  - Synchronizować sygnalizację świetlną
  - Organizować objazdy w przypadku remontów, wypadków itp

# Jak opisywać ruch drogowy?

- Top-down:

Równania (różniczkowe) opisujące ruch



Wnioski z równań

?



Rzeczywistość

# Jak opisywać ruch drogowy?

- Top-down:
  - Równanie dynamiki Newtona
  - Równanie ciągłości (szczególny przypadek równania Maxwella z elektrodynamiki)
  - Równanie Naviera-Stokesa (dynamika płynów)
  - Równanie Boltzmannna (kinetyczna teoria gazów)

# Równanie dynamiki Newtona

$$\ddot{x}_n(t) = k_n \cdot (\dot{x}_{n+1}(t) - \dot{x}_n(t))$$

$$k_n = f(\dot{x}_n(t), x_{n+1} - x_n)$$

# Równanie ciągłości

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = 0$$

$c(x,t)$  – natężenie ruchu w miejscu  $x$  w chwili  $t$

$J(x,t)$  – przepływ w miejscu  $x$  w chwili  $t$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_g \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = 0$$
$$v_g = \frac{\partial J}{\partial c}$$

# Jak opisywać ruch drogowy?

- Top-down:
  - Opis poprzez zmienne rzeczywiste oraz konstrukcję równań różniczkowych nie daje odpowiedniego rezultatu
  - Powód: zaniedbywanie lokalnych korelacji



# Jak opisywać ruch drogowy?

- Bottom-up:

Model

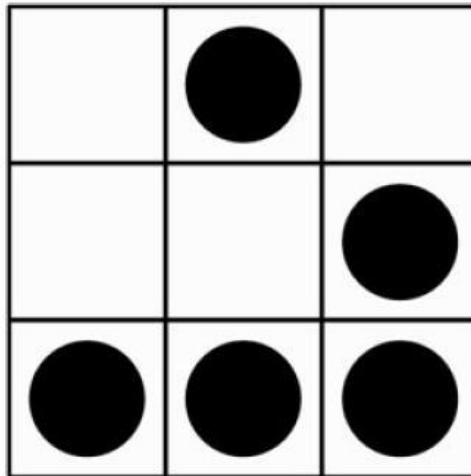


Wnioskowanie, generalizacja, aproksymacja

Dane rzeczywiste („sensorowe”) lub symulacja ruchu

# Jak symulować ruch drogowy?

- Poprzez automaty komórkowe!



# Model NaSch

**Zbiór komórek** = nieskończona prosta podzielona na odcinki (komórki) o długości 7,5 metra

**Stany komórki**={zajęta, pusta}

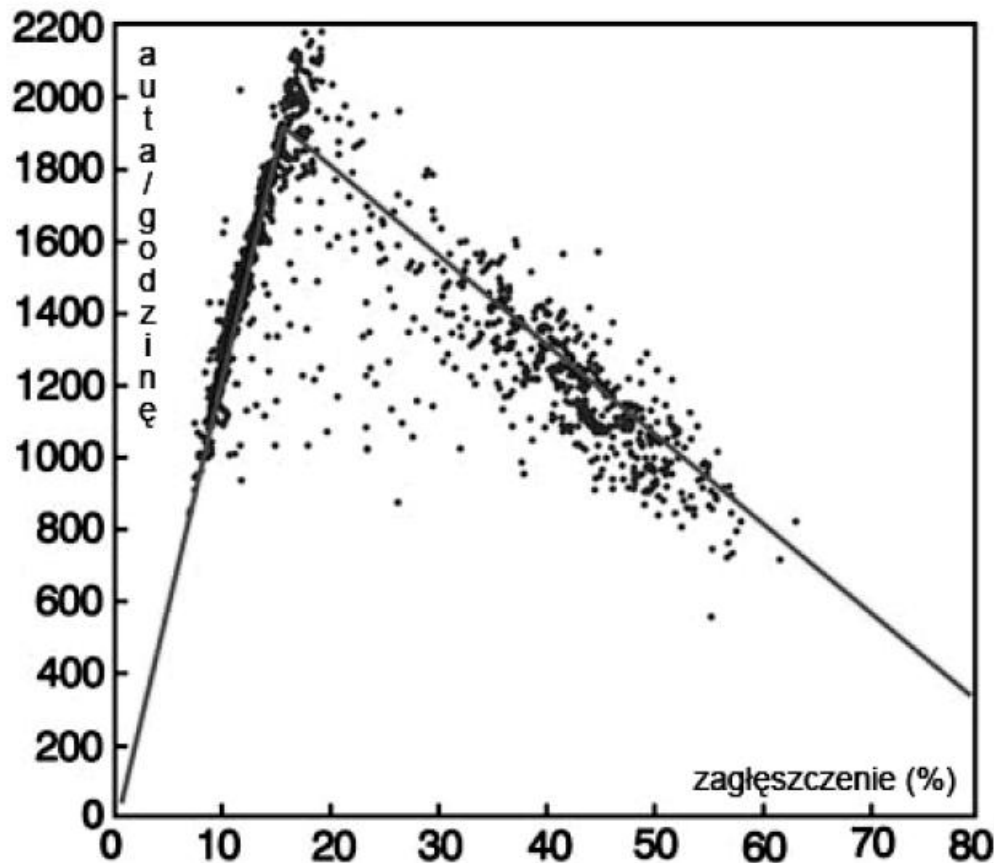
**Komórka zajęta** = jest na niej samochód (samochody są nieodróżnialne)

Ustalona (wspólna) maksymalna prędkość pojazdów  $V_{\max}$   
(oryginalnie =5, czyli ok. 135 km/h)

# Model NaSch – reguła przejścia

- Dla każdego pojazdu  $i$ :
  1.  $V_i = \min(V_{\max}, V_i + 1)$  (przyspieszenie)
  2.  $V_i = \min(V_i, d_i)$  (bezpieczeństwo)  
( $d_i$  = odległość  $i$  do najbliższego pojazdu przed nim)
  3.  $V_i = \max(0, V_i - 1)$  z prawdopodobieństwem  $p$  (losowość)
  4. Pojazd  $i$  przemieszcza się o  $V_i$  jednostek do przodu

# Model NaSch – flow(density)



- pomiar na autostradzie w Kanadzie

- Aproksymacja modelu NaSch

## Wnioski:

- Do poziomu zagęszczenia około 20-25% - ruch jest płynny
- Do poziomu ok. 27-33 pojazdów/1 km drogi ruch jest płynny
- Korki tworzą się samoistnie z powodu fluktuacji

# Model NaSch - ciekawostki

- Dla  $p = 0$  korki nie powstają (nie ma fluktuacji)!
- Model jest minimalny: usunięcie dowolnego warunku spowoduje, że nie będzie on już realistyczny.

# Model ruchu w mieście (Chowdhury'ego – Schadshneidera)

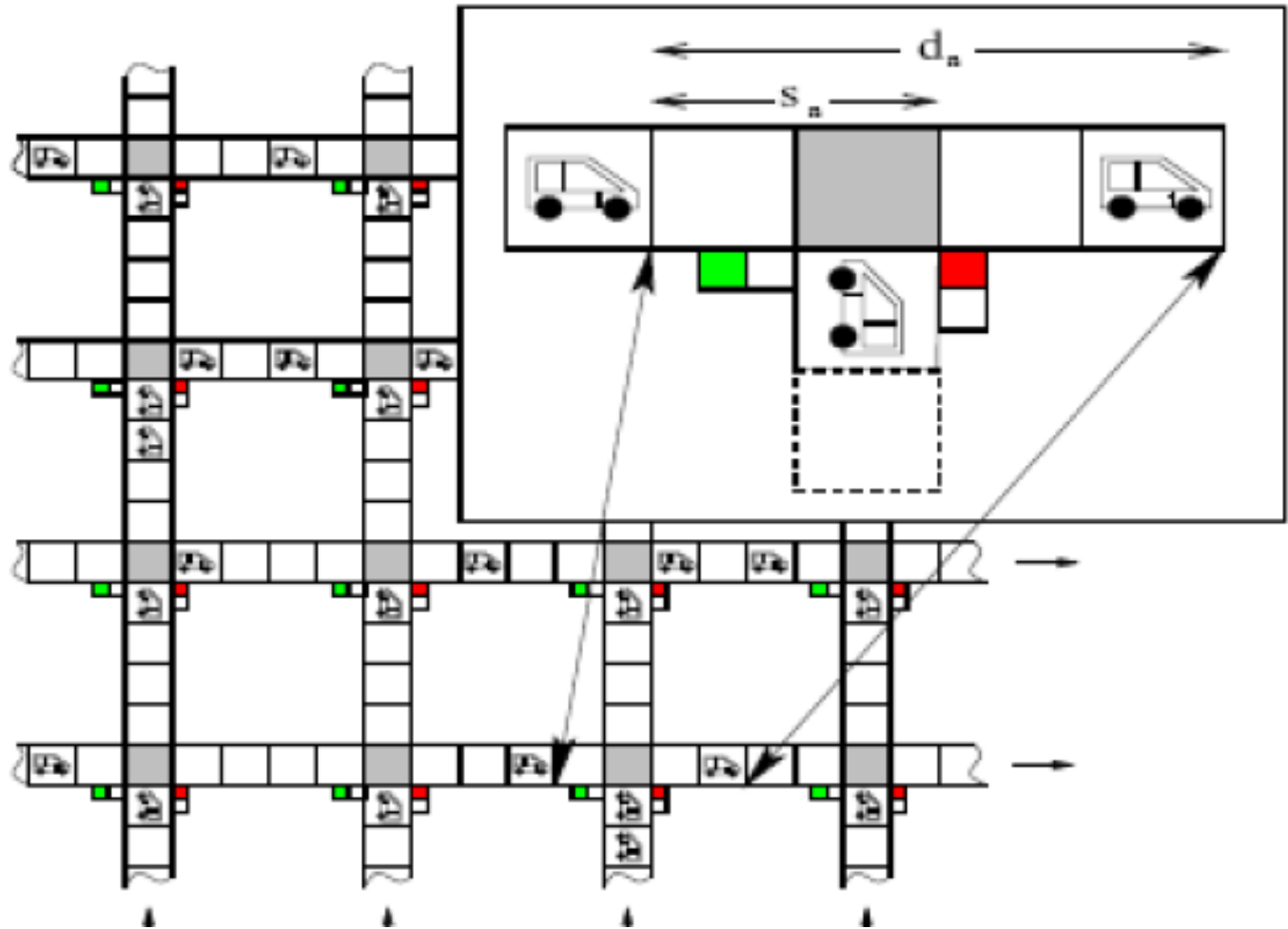
- Model 2-wymiarowy:  $N$  pasów poziomych,  $N$  – pionowych,  $N \times N$  skrzyżowań (na każdym są światła).
- Na odcinkach pomiędzy skrzyżowaniami ruch zgodny z modelem NaSch.
- Światła są zsynchronizowane (jednocześnie zielone/czerwone światło w kierunku poziomym/pionowym).

# Model CS

- Reguła dla pojazdu  $i$ :
  1.  $V_i = \min(V_{i+1}, V_{\max})$
  2.  $V_i = \min(V_i, d_i)$ , gdzie  $d_i$  – odległość do najbliższej przeszkody
  3.  $V_i = \max(0, V_i - 1)$  z prawdopodobieństwem  $p$
  4. Pojazd  $i$  porusza się o  $V_i$  komórek



# Model CS



# Profesor Schreckenberga zajął się czymś innym ...

- „(...) Po autostradzie A 43 mkną kolumny samochodów. Radio nie sygnalizuje żadnych utrudnień w komunikacji. Korek zacznie się bowiem dopiero za godzinę. Właśnie wyliczył to komputer, nie pozostawiając dla swej prognozy wielu wątpliwości: prawdopodobieństwo wynosi 83 procent.

Nadawanie takich komunikatów jest możliwe dzięki symulacji komputerowej dla Północnej Nadrenii-Westfalii, opracowanej przez Michaela Schreckenberga z uniwersytetu w Duisburgu. Przez sztuczne ulice elektronicznego mózgu przesuwają się dziesiątki tysięcy pojazdów. Model odwzorowuje całą sieć tutejszych autostrad. Wirtualny ruch drogowy trwa przez 24 godziny na dobę, tak jak w świecie rzeczywistym. Dane nieprzerwanie napływają z arterii komunikacyjnych. W landzie rozmieszczone są tysiące detektorów rejestrujących wszystkie pojazdy. Ich meldunki dochodzą do programu symulacyjnego w takcie minutowym. Każde auto ma swojego cyfrowego sobowtóra kursującego w cyberprzestrzeni.”

- „Przy półgodzinnym wyprzedzeniu biegu zdarzeń komputer uzyskuje około 90-procentowy wskaźnik trafności, w przypadku godziny wiarygodność spada do około 80 procent.”

# Profesor Schreckenberg zajął się czymś innym ...

- „Jedynym śladem życia duchowego, jakie badacze tchnęli w swoje twory, jest dodatkowa formuła nazwana „parametrem opieszałości”. Uwzględnia ona fakt, że kierowcy zapominają czasem rozejrzeć się na drodze lub zajęci rozmowami zmniejszają nacisk na pedał gazu.  
„To wystarczy – twierdzi Schreckenberg. – Autostrada stanowi zamknięty system z kilkoma wjazdami i zjazdami, pomiędzy którymi płynie strumień pojazdów”. W miastach wygląda to inaczej. Są światła sygnalizacji ulicznej, przejścia dla pieszych, sklepy i podziemne garaże. Sieć dróg ma tak gęste oczka, że auta stale znikają z monitorowanych odcinków, podczas gdy inne pojawiają się znikąd. Zespół Schreckenberga pracuje teraz nad udoskonaleniem modelu. **Prognozy dla śródmieść nie są jednak tak dokładne, jak dla autostrad.**”
- „Der Spiegel 01/2006”
- Projekt został ukończony pod koniec 2007 roku

# Profesor Schreckenberg zajął się czymś innym ...

- Większym zmartwieniem jest jednak to, że symulacja mogłaby być... zbyt dobra. Prognoza, do której każdy ma zaufanie, przestaje się sprawdzać. Gdy wszyscy będą objeżdżać miejsce grożące zakorkowaniem, do zatoru wcale tam nie dojdzie albo – co gorsze – wystąpi on na drodze objazdowej. „Nie mamy wyjścia – mówi naukowiec – musimy wbudować w model psychologię kierowcy”.
- Są już pierwsze wyniki. Wraz z prof. Reinhardem Seltenem, laureatem nagrody Nobla za wykorzystanie teorii gier w ekonomii, Schreckenberg przez trzy lata badał, jak kierowcy reagują na komunikaty o natężeniu ruchu. Na tej podstawie badacze wyodrębnili trzy typy zachowań. Pierwszy to typ „wrażliwca” (44 procent zmotoryzowanej populacji): przy najmniejszym niebezpieczeństwie powstania zatoru natychmiast zmienia kurs i ucieka na objazdy. Z kolei „hazardziści” (14 procent) spekulują, że „wrażliwi” zwolnią im drogę, i często z zimną krwią wjeżdżają w newralgiczny obszar. I w końcu „konserwatyści” (42 procent) mało troszczą się o informacje dla kierowców, niechętnie zjeżdżają ze swojej trasy.

# Model mój

- Reguły w automacie komórkowym = połączenie reguł z modelu CS z dodatkowymi regułami:
  - Zachowań na skrzyżowaniach (parametryzowane zmniejszenie prędkości przy skręcaniu i przejeździe przez skrzyżowanie)
  - Ruchu na ulicach wielopasmowych (możliwe wyprzedzanie)

# Model mój

- Reguły w automacie komórkowym = połączenie reguł z modelu CS z dodatkowymi regułami:
  - Zachowań przed zakręcaniem (wcześniejszy zjazd na odpowiedni pas w przypadku skręcania)
  - Rozróżnialności kierowców - 2 parametry:  
agresywność (różne prędkości maksymalne) i  
znajomość skrótów/objazdów/miejsc występowania korków

# Model mój

- Reguły w automacie komórkowym = połączenie reguł z modelu CS z dodatkowymi regułami:
  - Losowania punktów startowych i końcowych (zgodnie z danymi z rzeczywistych pomiarów + wg gęstości zaludnienia)
  - Synchronizacji świateł na skrzyżowaniach

# Prezentacja



# Wnioski z dotychczasowych symulacji

- Model jest „nieczuły” na parametry związane z zachowaniem na skrzyżowaniach (można je ustalić na rozsądnym poziomie)
- Bardzo ważne: światła + ograniczona pojemność ulic!

# Zastosowanie

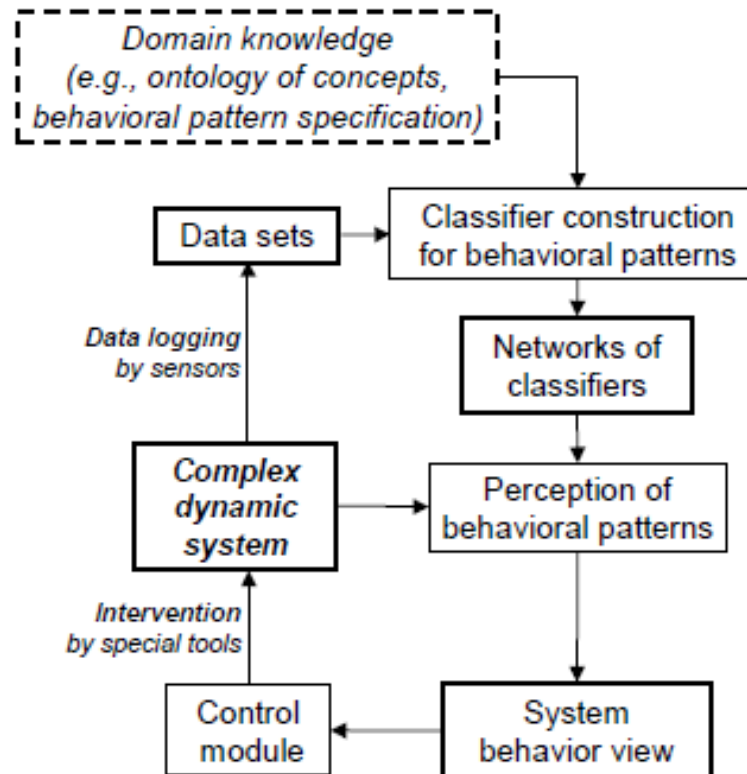
- Jako źródło danych:
  - Interakcyjne wykrywanie modeli procesów z danych
  - Automatyczna adaptacja
  - Analiza strumieni danych
  - Aproksymacja pojęć
  - Wnioskowanie hierarchiczne
  - Itp itd

# Cel

- Walka z korkami w mieście 😊
- Adaptacyjne planowanie (globalne) ruchu poprzez:
  - Planowanie tras przejazdu
  - Sterowanie synchronizacją świateł (problem NP-trudny)

# Realizacja celu

- Vladimir Vapnik: „Learning has just started”



# Realizacja celu

- Algorytmy ewolucyjne:
  - Algorytm genetyczny
  - ACO (Ant Colony Optimization)
  - PSO (Particle Swarm Optimization)

# Algorytm genetyczny

- Losowana jest pewna populacja początkowa
- Populacja poddawana jest ocenie. Najlepiej przystosowane osobniki biorą udział w reprodukcji
- Genotypy wybranych osobników poddawane są ewolucji:
  - są ze sobą kojarzone poprzez krzyżowanie genotypów rodziców
  - przeprowadzana jest mutacja (drobne zmiany)
- Rodzi się kolejne pokolenie

# Algorytm genetyczny

- Genotyp: konfiguracja sygnalizacji świetlnej (wektor transpozycji światła)
- Funkcja oceny:
  - np. średni czas dotarcia do celu

# Ant Colony Optimization

- Mrówki poruszają się w sposób losowy; gdy znajdują pożywienie, wracają do swojej kolonii pozostawiając ślad składający się z feromonów. Gdy inna mrówka natknie się na ten ślad, przestaje poruszać się w sposób losowy i podąża za śladem w kierunku pożywienia.
- Feromony wyparowują, a więc ich siła maleje. Im dłuższa jest trasa od pożywienia do kolonii, tym więcej mają czasu feromony, aby wyparować. Krótsze trasy zapewniają, iż siła działania feromonów będzie większa. Wyparowywanie feromonów pozwala na odnajdywanie optymalnej trasy do pożywienia.
- Gdy jedna mrówka odnajdzie dobrą (krótką) drogę, inne mrówki będą podążać tą właśnie drogą również zostawiając feromony, a więc zwiększając ich natężenie. Ostatecznie wszystkie mrówki będą poruszać się jedną i tą samą (najlepszą) drogą, a pozostałe drogi zostaną zapomniane (wyparują).



# W pracy mgr

- Omówienie matematycznego opisu ruchu drogowego
  - Podejście top-down (sporo przydatnych wniosków)
  - Podejście bottom-up (modele symulacji przy pomocy automatów komórkowych)
- Autorska propozycja modelu symulacji
  - Analiza jego stabilności i kluczowych parametrów modelu

# W pracy mgr c.d.

- Testowanie (na tym modelu) metod automatycznego planowania i adaptacji (automatyczna rekonstrukcja planu):
  - Poprzez planowanie tras (algorytm prędkości średniej)
  - Poprzez planowanie synchronizacji świateł (algorytmy ewolucyjne, interakcyjne wykrywanie modeli procesów z wykorzystaniem wiedzy dziedzinowej)

# Przyszłość...

- CUDA.NET
- Środowisko do „programowania symulacji”