

# AI zmienia transport - wnioski z projektu TensorTraffic

**Paweł Gora**

**TensorCell**

[p.gora@mimuw.edu.pl](mailto:p.gora@mimuw.edu.pl)  
<http://www.mimuw.edu.pl/~pawelg>

**5.03.2020**

# TensorCell



- Niezależna grupa badawcza założona w 2016 roku
- Pracujemy nad optymalizacją ruchu drogowego przy pomocy AI
- Praca w 100% zdalna
- > 20 naukowców (głównie z Warszawy)
- Współpraca z naukowcami z Google Research, Delft University
- Zasoby obliczeniowe Microsoft Azure (grant “AI for Earth”), wcześniej Amazon (“Cloud Credits for Research”)
- Wyniki prac opublikowane na NeurIPS, MT-ITS, TFML

# Problem



~3.8 mld PLN - szacowany roczny koszt korków dla kierowców w 7 największych miastach w Polsce<sup>1</sup>



1.2 mln osób rocznie ginie na świecie z powodu korków, 20-50 mln zostaje rannych<sup>2</sup>

- 1) [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl\\_korki\\_raport\\_2016\\_2marca.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_korki_raport_2016_2marca.pdf)
- 2) <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

**Powód korków?**

# Powód korków?

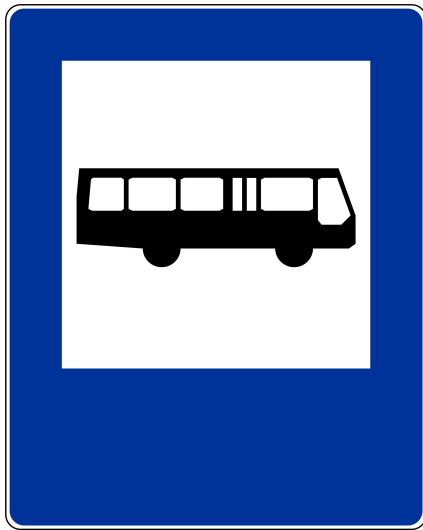
**Popyt > Podaż**

# Powód korków?

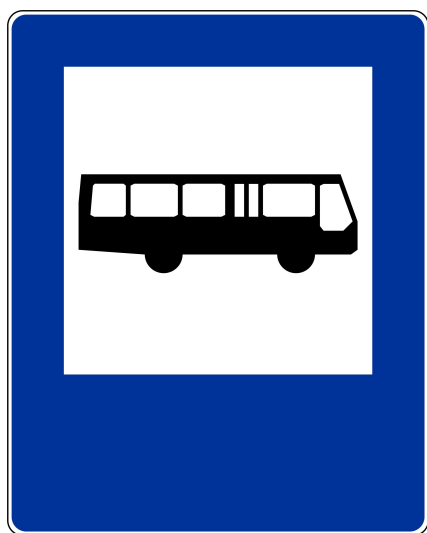
**Popyt > Podaż**

Jak to rozwiązać?

# Redukcja liczby pojazdów?

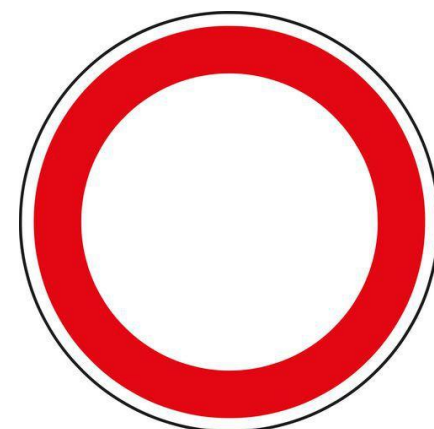
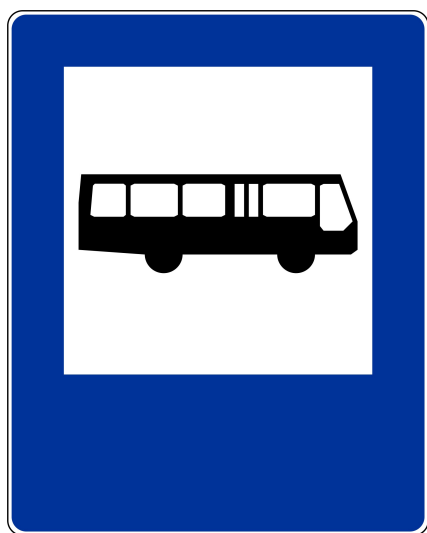


# Redukcja liczby pojazdów?

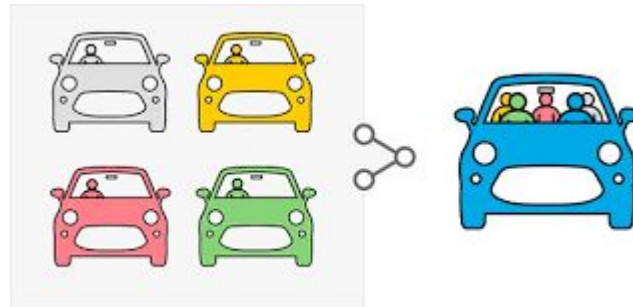




# Redukcja liczby pojazdów?



# Ride-sharing / Vanpooling



W jaki sposób połączyć optymalnie ludzi?

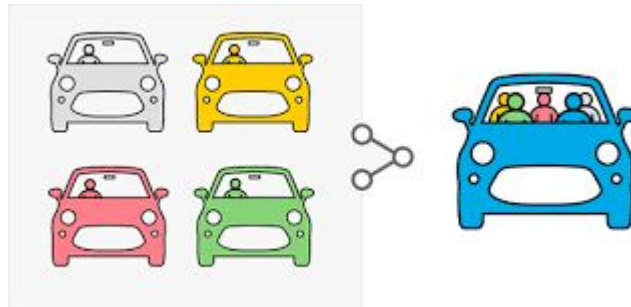
Jak przewidzieć zapotrzebowanie?

Jak przewidzieć czasy przejazdu?

Jak znaleźć najlepsze trasy?

Jakie są optymalne strategie cenowe?

# Ride-sharing / Vanpooling



W jaki sposób połączyć optymalnie ludzi?

Jak przewidzieć zapotrzebowanie?

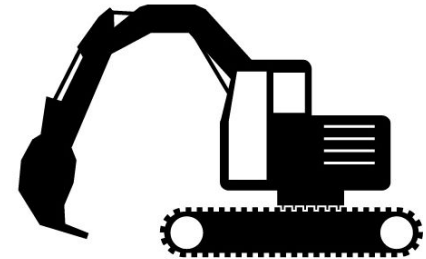
Jak przewidzieć czasy przejazdu?

Jak znaleźć najlepsze trasy?

Jakie są optymalne strategie cenowe?

**AI może pomóc znaleźć odpowiedź! (przykład: Broomee Technologies)**

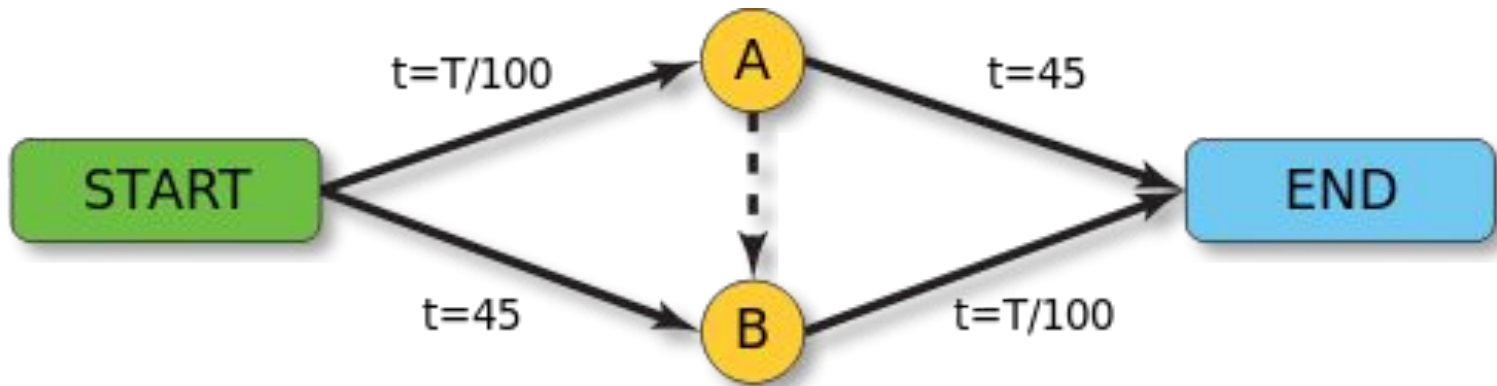
# Wybudujemy nowe drogi / poprawmy infrastrukturę!



OK, ale Paradoks Braessa mówi:

**więcej dróg ≠ lepszy ruch**

# Braess Paradox



- START -> END: 4000 pojazdów
- Bez linku A->B: czas = 65
- Z linkiem A->B: czas = 80
- Teoria gier: równowaga Nasha nie musi być optimum społecznym



# Seoul, Cheonggyecheon

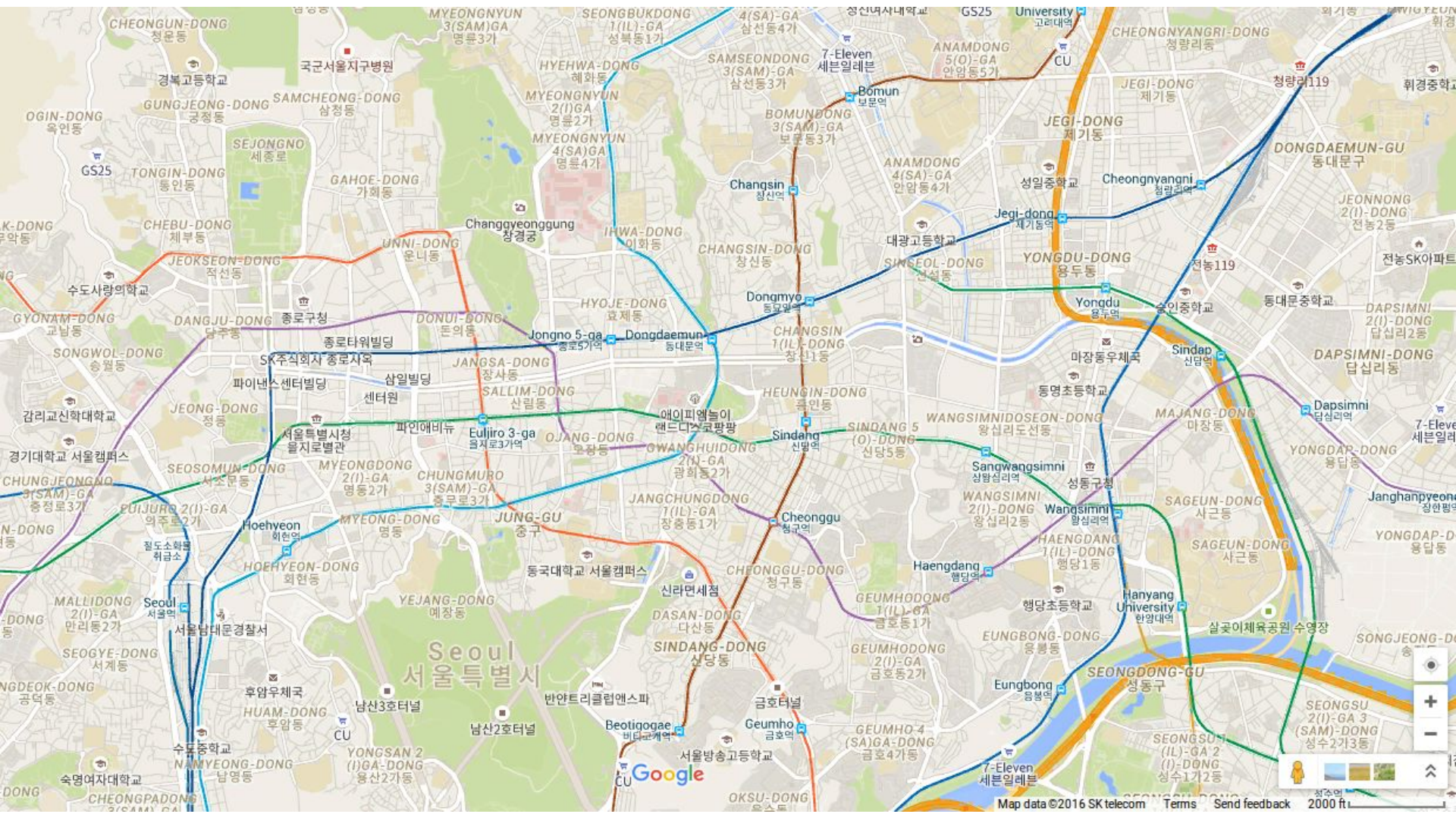




# Cheonggyecheon highway







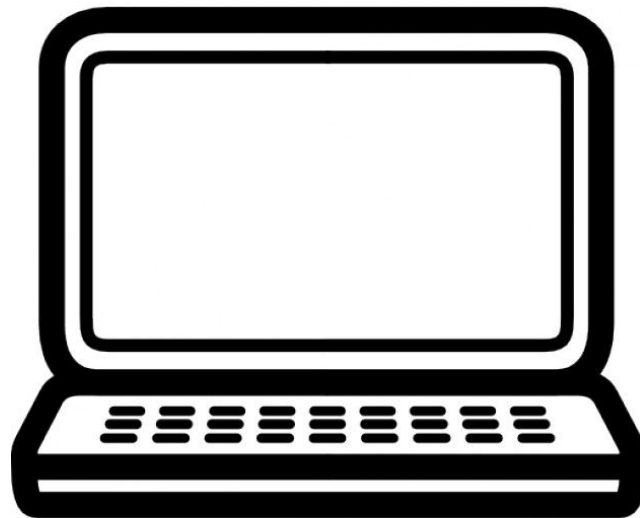
서울특별시





**Wybudujemy nowe drogi / poprawimy  
infrastrukturę!**

OK, ale róbmy to z głową, wspierając  
się profesjonalnymi analizami



# Jak badać ruch drogowy?

<b>Modelowanie</b>	<b>Analiza</b>
<b>Predykcja</b>	<b>Optymalizacja</b>

AI stosuje się w każdej z tych dziedzin!

# Modelowanie

“Essentially, all models are wrong, but some of them are useful” G.E. Box

**Kalibracja modelu** - znajdowanie wartości parametrów modelu, które minimalizują jego “niezgodność” z rzeczywistością.

Narzędzia: np. algorytmy genetyczne (i inne alg. ewolucyjne)

# Modelowanie

“Essentially, all models are wrong, but some of them are useful” G.E. Box

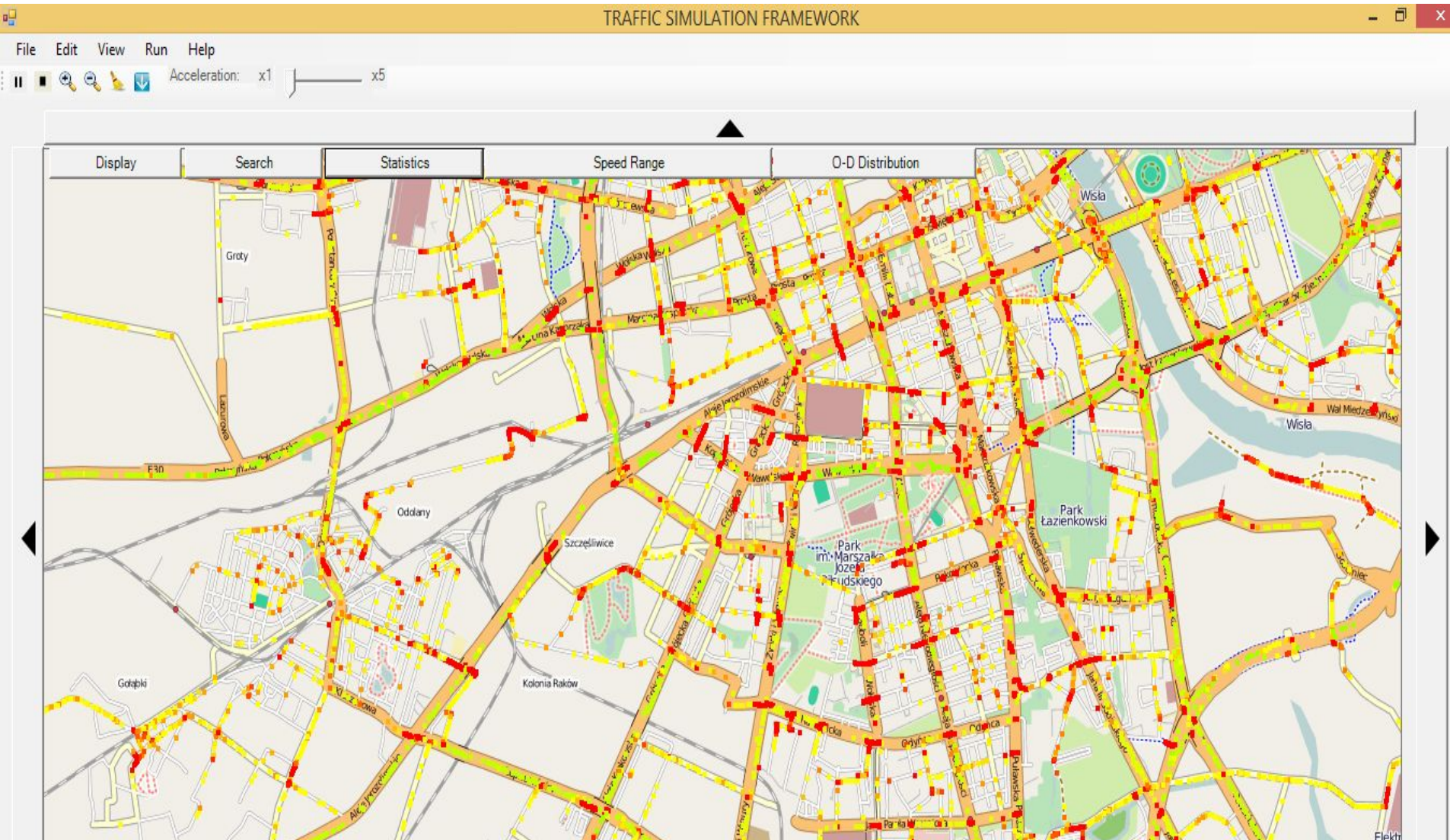
**Kalibracja modelu** - znajdowanie wartości parametrów modelu, które minimalizują jego “niezgodność” z rzeczywistością.

Narzędzia: np. algorytmy genetyczne (i inne alg. ewolucyjne)

**Problem:** pozyskiwanie odpowiednich danych o ruchu

**Przyszłość:** drony i komunikacja V2X

# Traffic Simulation Framework



Screencast: <https://www.youtube.com/watch?v=94RatF5Srlw>

# Predykcja ruchu

Typowe / powtarzające się warunki (np. “Warszawa o poranku”):

- Prognoza krótkoterminowa (np., 10-15 minut) / długoterminowa (np. następny dzień)
- Natężenie ruchu / czasy przejazdu
- Dużo prac już wykonano: SVM, k-NN, Gaussian Maximum Likelihood, CNN, RNN / LSTM
- Połączenie sieci konwolucyjnych (CNN) z rekurencyjnymi (RNN) zazwyczaj przynosi dobre rezultaty (wiele prac badawczych) - CNN wykrywają korelacje przestrzenne, RNN / LSTMs wykrywają korelacje czasowe



# Predykcja ruchu



Organizatorzy i zwycięzcy **IEEE ICDM Contest: TomTom Traffic Prediction for Intelligent GPS Navigation**: <http://tunedit.org/challenge/IEEE-ICDM-2010> (Sydney, 2010)

# Predykcja ruchu

Sytuacje nietypowe (np., zła pogoda, roboty drogowe, wypadki) - znacznie trudniejsze przypadki:

- mniej przykładów w danych rzeczywistych
- symulacje ruchu mogą być użyteczne



# Predykcja

**Predykcja “what-if” / “co-jeśli”:**

**Co się stanie, jeśli** zmienimy coś w sieci drogowej?

**Co się stanie, jeśli** zmienimy ustawienia świateł?



Krok w kierunku optymalizacji ruchu

# Predykcja “What-if”

- Najskuteczniejsze narzędzia do analizy/oceny ruchu: **symulacje komputerowe**.
- Ale dokładne symulacje są czasochłonne (szczególnie w dużej skali)
- Często musimy uruchamiać wiele symulacji z różnymi parametrami (np. sterowanie światłami, opłaty, znajdowanie optymalnych lokalizacji i pojemności parkingów / stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych).



Złożoność:  $10^{700}$



Złożoność:  $> 120^{800}$   
(a problem jest NP-trudny!)

Więcej niż szacowana liczba atomów w obserwowalnych Wszechświecie!

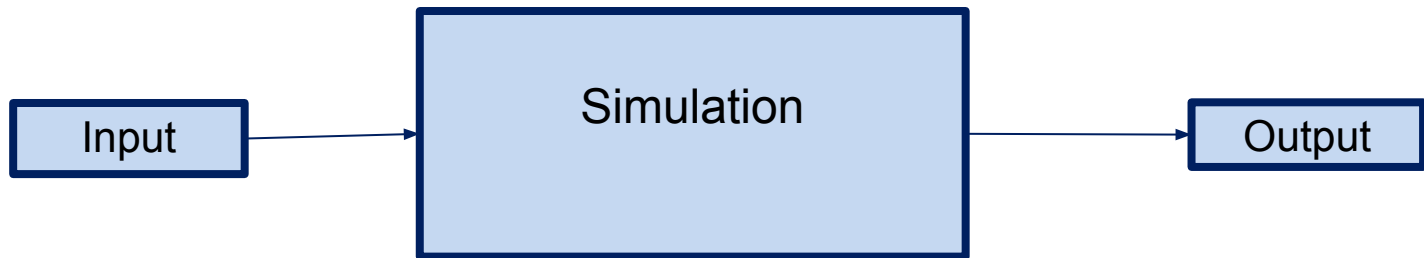
# Predykcja “What-if”

- Najskuteczniejsze narzędzia do analizy/oceny ruchu: **symulacje komputerowe**.
- Ale dokładne symulacje są czasochłonne (szczególnie w dużej skali)
- Często musimy uruchamiać wiele symulacji z różnymi parametrami (np. sterowanie światłami, opłaty, znajdowanie optymalnych lokalizacji i pojemności parkingów / stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych).
- Chcielibyśmy to robić najefektywniej jak się da
- Możemy rozpraszać obliczenia na karty graficzne lub wiele maszyn, ale może być to drogie i ma ograniczenia

# Predykcja “What-if”

- Najskuteczniejsze narzędzia do analizy/oceny ruchu: **symulacje komputerowe**.
- Ale dokładne symulacje są czasochłonne (szczególnie w dużej skali)
- Często musimy uruchamiać wiele symulacji z różnymi parametrami (np. sterowanie światłami, opłaty, znajdowanie optymalnych lokalizacji i pojemności parkingów / stacji ładowania dla pojazdów elektrycznych).
- Chcielibyśmy to robić najefektywniej jak się da
- Możemy rozpraszać obliczenia na karty graficzne lub wiele maszyn, ale może być to drogie i ma ograniczenia
- W wielu przypadkach nie jesteśmy zainteresowani procesem symulacji, tylko wynikami

# Problem



**F: X -> Y**

Przykład: X – ustawienia świateł, Y – łączne opóźnienie, łączny czas czekania itd

Czy możemy „obliczyć” **F** szybciej / prościej niż poprzez uruchamianie symulacji?  
Czy możemy znaleźć „metamodel” przybliżający wyniki symulacji?

# Rozwiązanie

**Twierdzenie o uniwersalnej aproksymacji** (1989): „dowolną funkcję ciągłą na zwartym podziorze  $\mathbf{R}^n$  można przybliżyć jednostajnie z dowolną dokładnością sieciami neuronowymi z jedną warstwą ukrytą.”

Twierdzenie nie mówi nic na temat wymaganego zbioru treningowego, czasu trenowania, rozmiaru zbioru treningowego, jak efektywnie zbudować sieć (czy da się to zrobić w praktyce?) itp ...

... ale sieci neuronowe wydają się być dobrymi uniwersalnymi aproksymatorami złożonych funkcji (okazuje się, że sieci **głębokie** z wieloma warstwami mogą być jeszcze lepsze).

**Pomysł:** spróbujmy przybliżyć wyniki symulacji ruchu sieciami neuronowymi.

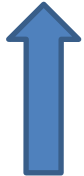
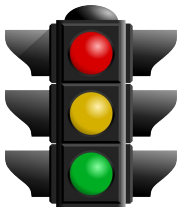
$$F: X \rightarrow Y$$

X – ustawienia świateł, Y – łączne opóźnienie, łączny czas czekania

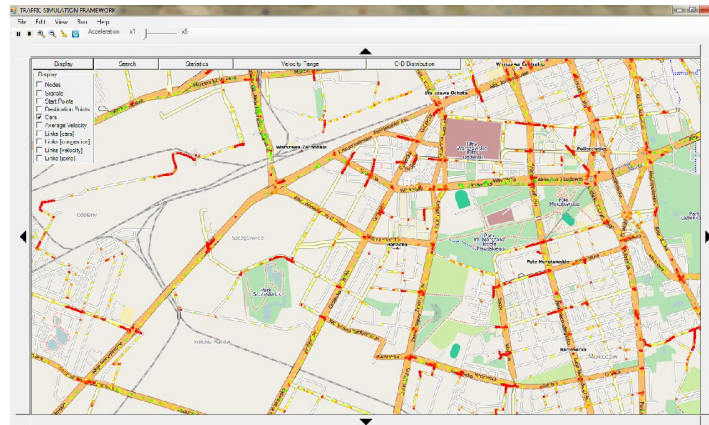
# Rozwiązanie

Przy pomocy symulacji ruchu możemy wygenerować duży zbiór treningowy / walidacyjny / testowy

15 x



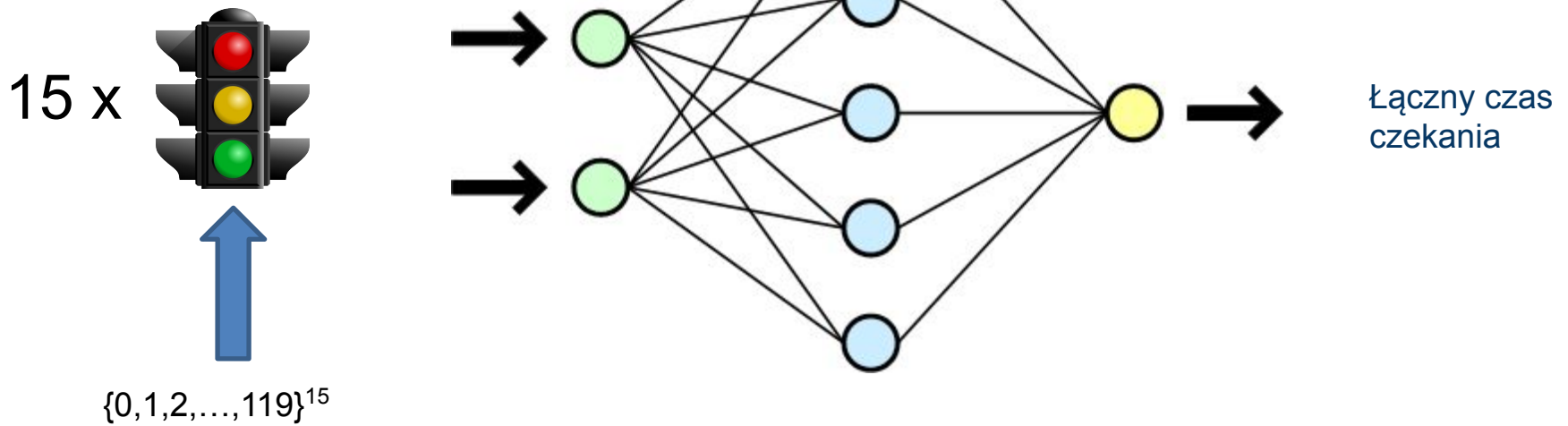
$\{0,1,2,\dots,119\}^{15}$



Łączny czas  
czekania

# Rozwiązanie

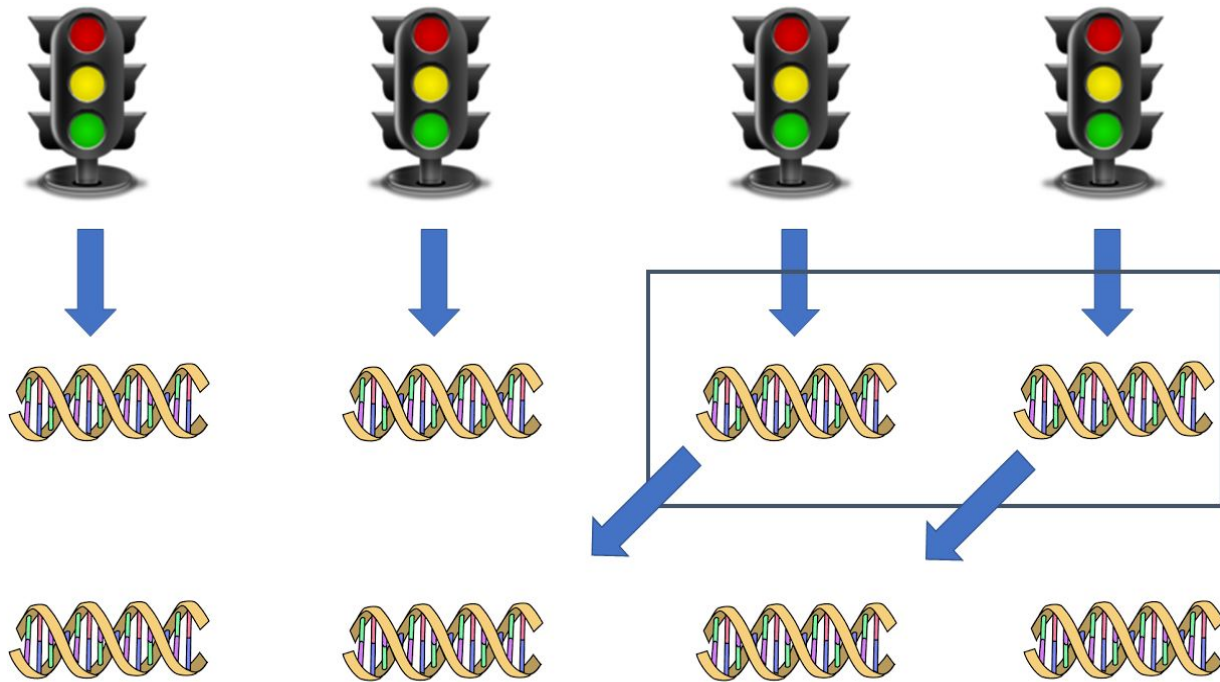
... i wytrenować sieci neuronowe, aby przybliżać wyniki symulacji ruchu





# Zastosowania

System zarządzania ruchem bazujący na AI (i symulacjach komputerowych), np. stosujemy algorytmy genetyczne i oceniamy jakość ustawień świateł przy pomocy symulacji lub AI.



# Zastosowania

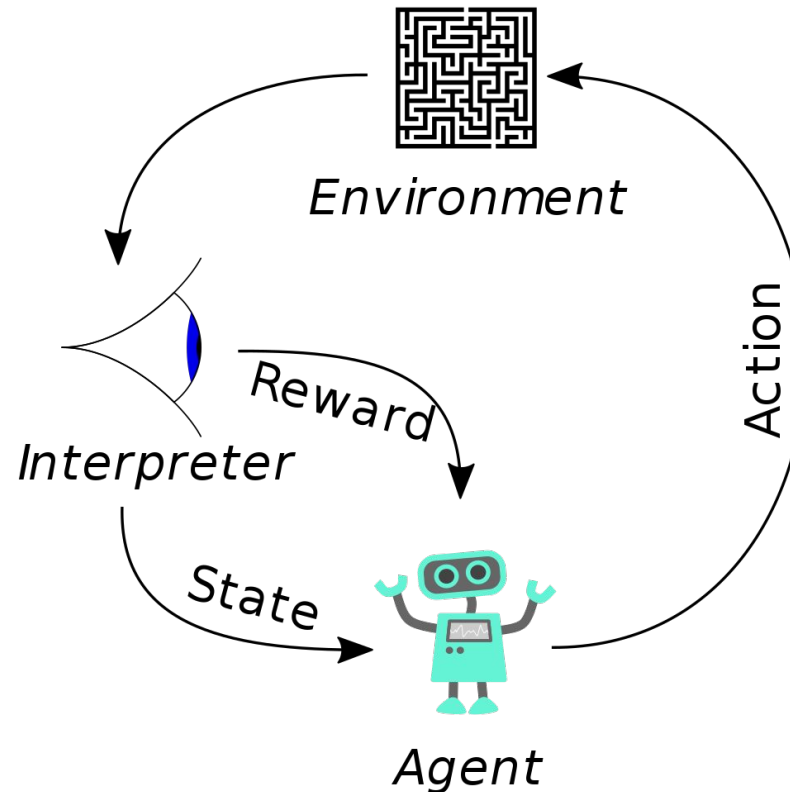
Zastosowanie AI i symulacji ruchu do znajdowania:

- optymalnych lokalizacji i pojemności parkingów (nawet ~25-30% ruchu w centrach miast generują kierowcy szukający miejsc parkingowych)
- optymalnych lokalizacji stacji ładowania pojazdów elektrycznych
- optymalnych lokalizacji pojazdów car-sharing / bike-sharing
- optymalnych struktur sieci drogowej
- optymalnych algorytmów dla pojazdów autonomicznych i komunikujących się
- optymalnych ustawień znaków zmiennej treści (np. VSL)
- optymalnych strategii pobierania opłat
- ...

Te metody mogą okazać się szczególnie skuteczne w dużej skali, w warunkach nietypowego ruchu oraz w erze pojazdów autonomicznych i komunikujących się

# Inne zastosowania AI

System zarządzania ruchem bazujący na AI (i symulacjach komputerowych), np. stosujemy uczenie ze wzmocnieniem.



Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning)

# Inne zastosowania AI

Sterowanie ruchem pojazdów autonomicznych i komunikujących się



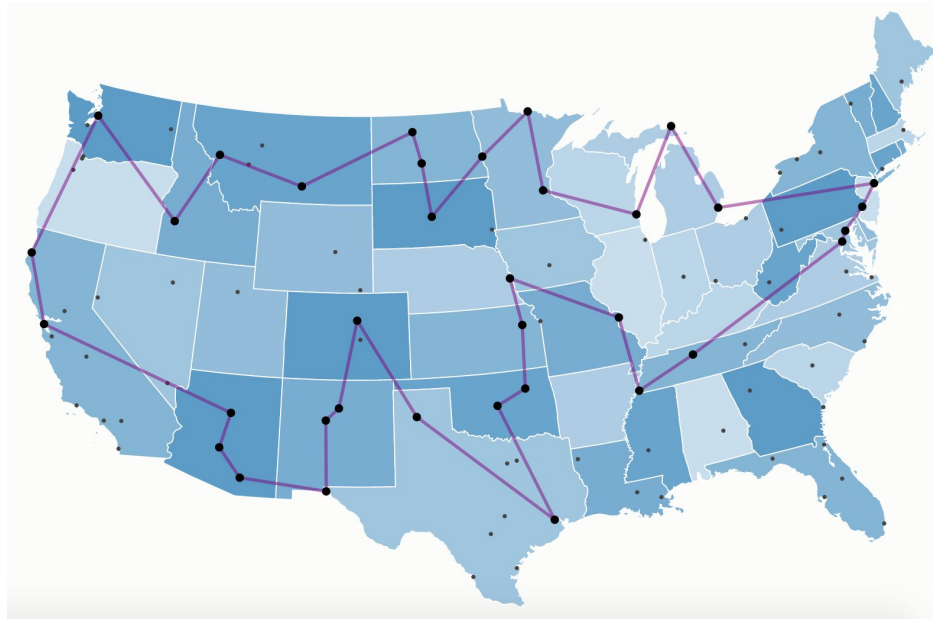
Źródło: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Waymo>

# Inne zastosowania AI

- Predykcja czasów przejazdu
- Predykcja natężeń ruchu
- Predykcja czasów czekania na światłach / na przystanku
- Predykcja zajętości komunikacji publicznej
- Predykcja zajętości miejsc parkingowych
- Predykcja zapotrzebowania na pojazdy car-sharing / bike-sharing
- Predykcja dostępności pojazdów car-sharing / bike-sharing
- ...

# Inne zastosowania AI

## Optymalizacja logistyki



Źródło: <http://examples.gurobi.com/traveling-salesman-problem>

# Inne zastosowania AI

Detekcja ruchu:



Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_number-plate\\_recognition](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_number-plate_recognition)



# Inne zastosowania AI

System zarządzania ruchem bezzałogowych statków powietrznych (które mogą być też świetnymi detektorami ruchu, zanieczyszczeń powietrza i kurierami)

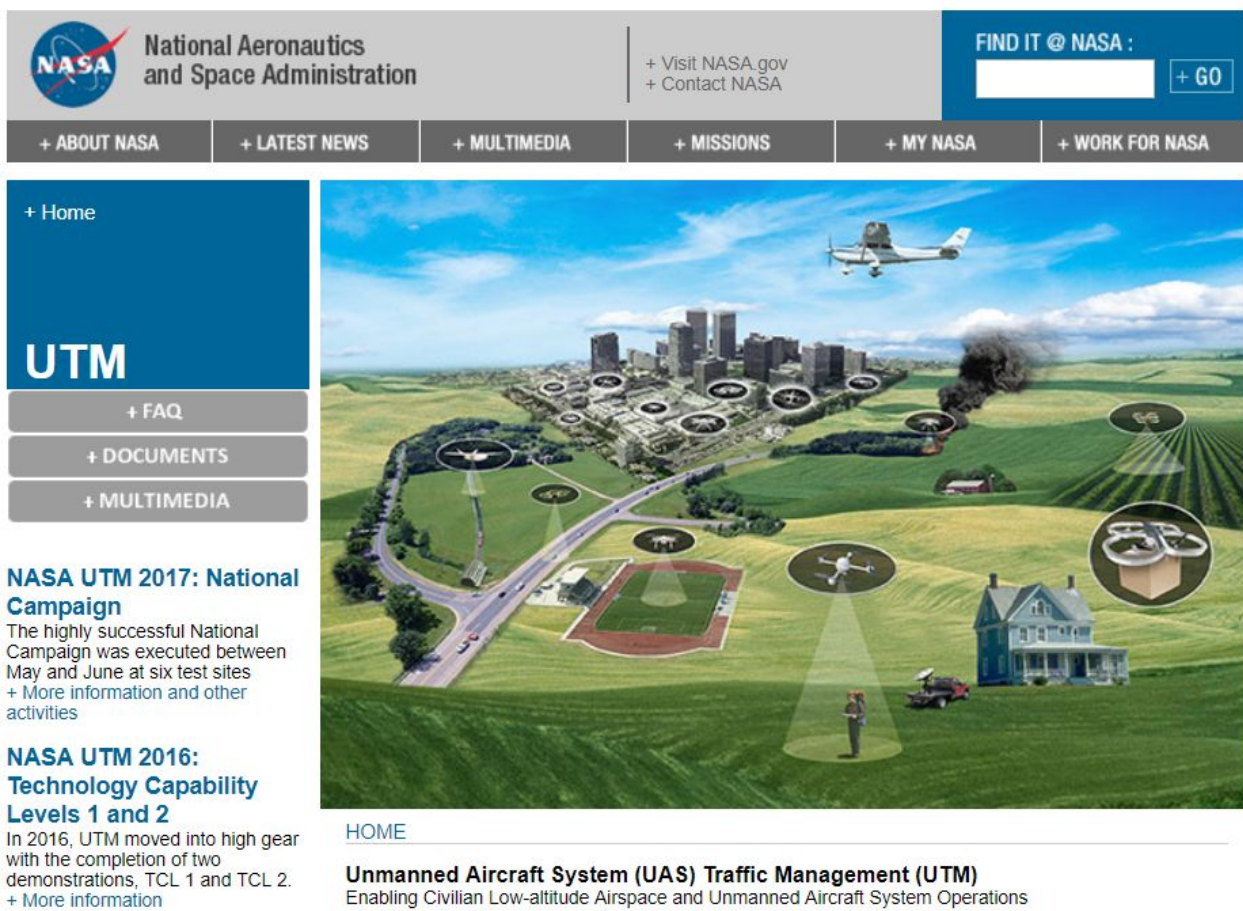


Źródło: <https://pixabay.com/photos/drone-logistics-drone-package-drone-2816244>



# Inne zastosowania AI

System zarządzania ruchem bezzałogowych statków powietrznych (które mogą być też świetnymi detektorami ruchu, zanieczyszczeń powietrza i kurierami)



The image shows a screenshot of the NASA UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) website. At the top, there is the NASA logo and the text "National Aeronautics and Space Administration". To the right, there is a search bar with the text "FIND IT @ NASA:" and a "+ GO" button. Below the search bar, there are several navigation links: "+ ABOUT NASA", "+ LATEST NEWS", "+ MULTIMEDIA", "+ MISSIONS", "+ MY NASA", and "+ WORK FOR NASA".

On the left side, there is a vertical menu with the following items: "+ Home", "UTM", "+ FAQ", "+ DOCUMENTS", and "+ MULTIMEDIA".

The main content area features a large image of a city with various drones in flight. The drones are shown in different positions and orientations, some flying over the city, some over a field, and some near a house. The image is overlaid with a grid of circular icons, each containing a different drone model.

Below the main image, there is a "HOME" link. Underneath that, there is a section titled "Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM)" with the subtitle "Enabling Civilian Low-altitude Airspace and Unmanned Aircraft System Operations".

On the left side of the main content area, there are two news items:

- NASA UTM 2017: National Campaign**  
The highly successful National Campaign was executed between May and June at six test sites  
+ More information and other activities
- NASA UTM 2016: Technology Capability Levels 1 and 2**  
In 2016, UTM moved into high gear with the completion of two demonstrations, TCL 1 and TCL 2.  
+ More information

Źródło: <https://utm.arc.nasa.gov>

Dziękuję za uwagę!

Pytania?

E-mail: [p.gora@mimuw.edu.pl](mailto:p.gora@mimuw.edu.pl)

WWW: <http://www.mimuw.edu.pl/~pawelg>

<http://www.tensorcell.com>

*“Logic can get you from A to B, imagination will take you everywhere” A. Einstein*

*“The sky is **NOT** the limit”*

