

# Łączenie podróży indywidualnych w przejazdy wspólne (ride-pooling) - metody i możliwości

Rafał Kucharski  
rafal.kucharski@uj.edu.pl

# update

Rafał Kucharski

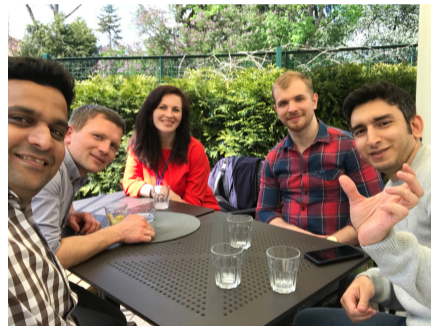
2019-2021: PostDoc @ TU Delft - Critical MaaS **ERC Starting Grant** of prof. Oded Cats

shared rides algorithms **ExMAS**

agent based model **MaasSim**

obecnie: adiunkt na Wydziale Matematyki i Informatyki UJ,  
Grupa Metod Uczenia Maszynowego - **GMUM**

grant: **NCN Opus** *Mobilność współdzielona w czasach pandemii. Modelowanie i kontrola rozprzestrzeniania się wirusów w sieciach mobilności przejazdów wspólnych* (4-osobowy zespół badawczy)



# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## MaaS

Mobility-as-a-service

## Two-sided platforms

Uber, AirBnB, eBay, Booking, pyszne.pl, ...

## Ride-hailing

Uber, Bolt, FreeNow, Lyft, Didi, Ola, ...

## Ride-pooling

przejazdy wspólne:

UberPool, Lyft Shared, MOIA, ViaVan

# Ride-pooling

przejazdy wspólne

MaaS

Mobility-as-a-service

Two-sided platforms

Uber, AirBnB, eBay, Booking, pyszne.pl, ...

Ride-hailing

Uber, Bolt, FreeNow, Lyft, Didi, Ola, ...

Ride-pooling

przejazdy wspólne:

UberPool, Lyft Shared, MOIA, ViaVan

# Ride-pooling

przejazdy wspólne

MaaS

Mobility-as-a-service

Two-sided platforms

Uber, AirBnB, eBay, Booking, pyszne.pl, ...

Ride-hailing

Uber, Bolt, FreeNow, Lyft, Didi, Ola, ...

Ride-pooling

przejazdy wspólne:

UberPool, Lyft Shared, MOIA, ViaVan

# Ride-pooling

przejazdy wspólne

MaaS

Mobility-as-a-service

Two-sided platforms

Uber, AirBnB, eBay, Booking, pyszne.pl, ...

Ride-hailing

Uber, Bolt, FreeNow, Lyft, Didi, Ola, ...

Ride-pooling

przejazdy wspólne:

UberPool, Lyft Shared, MOIA, ViaVan

# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## Przejazd wspólny:

- 1 dwóch lub więcej pasażerów **dzieli** podróż tym samym pojazdem.
- 2 pojazd odbiera ich u **źródła** i zawozi do **celu**,
- 3 czas rozpoczęcia i podróży **różnią się** od oczekiwanych,
- 4 ta **uciążliwość** musi być kompensowana **zniżką** względem podróży prywatnej,
- 5 przewoźnik może teraz lepiej **wykorzystać** flotę.



# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## Przejazd wspólny:

- 1 dwóch lub więcej pasażerów **dzieli** podróż tym samym pojazdem.
- 2 pojazd odbiera ich u **źródła** i zawozi do **celu**,
- 3 czas rozpoczęcia i podróży **różnią się** od oczekiwanych,
- 4 ta **uciążliwość** musi być kompensowana **zniżką** względem podróży prywatnej,
- 5 przewoźnik może teraz lepiej **wykorzystać** flotę.





# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## Przejazd wspólny:

- 1 dwóch lub więcej pasażerów **dzieli** podróż tym samym pojazdem.
- 2 pojazd odbiera ich u **źródła** i zawozi do **celu**,
- 3 czas rozpoczęcia i podróży **różnią się** od oczekiwanych,
- 4 ta **uciążliwość** musi być kompensowana **zniżką** względem podróży prywatnej,
- 5 przewoźnik może teraz lepiej **wykorzystać** flotę.



# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## Przejazd wspólny:

- 1 dwóch lub więcej pasażerów **dzieli** podróż tym samym pojazdem.
- 2 pojazd odbiera ich u **źródła** i zawozi do **celu**,
- 3 czas rozpoczęcia i podróży **różnią się** od oczekiwanych,
- 4 ta **uciążliwość** musi być kompensowana **zniżką** względem podróży prywatnej,
- 5 przewoźnik może teraz lepiej **wykorzystać** flotę.



# Ride-pooling

przejazdy wspólne

## Przejazd wspólny:

- 1 dwóch lub więcej pasażerów **dzieli** podróż tym samym pojazdem.
- 2 pojazd odbiera ich u **źródła** i zawozi do **celu**,
- 3 czas rozpoczęcia i podróży **różnią się** od oczekiwanych,
- 4 ta **uciążliwość** musi być kompensowana **zniżką** względem podróży prywatnej,
- 5 przewoźnik może teraz lepiej **wykorzystać** flotę.



# Problem

## i luka badawcza

### real-time

skupienie się na aspekcie operacyjnym - pojazdy i zgłoszenia w czasie rzeczywistym (J. Alonso-Mora, 2018)

### time-windows

wszystko z  $\Delta_t$  i  $\Delta_w < 10\text{min}$  jest akceptowane (Santi, 2014)

### complexity

przestrzeń rozwiązań możliwych rośnie kombinatorycznie:

degree:		1	2	3	4	5	6	7
search	theoretical	$3.00 \times 10^3$	$3.60 \times 10^7$	$6.47 \times 10^{11}$	$1.55 \times 10^{16}$	$4.65 \times 10^{20}$	$1.67 \times 10^{25}$	$7.01 \times 10^{29}$
space:	explored	3000	8997000	1807	226	123	24	0
	attractive	3000	5270	243	130	76	8	0



# Problem

i luka badawcza

## real-time

skupienie się na aspekcie operacyjnym - pojazdy i zgłoszenia w czasie rzeczywistym (J. Alonso-Mora, 2018)

## time-windows

wszystko z  $\Delta_t$  i  $\Delta_w < 10\text{min}$  jest akceptowane (Santi, 2014)

## complexity

przeźnień rozwiązań możliwych rośnie kombinatorycznie:

degree:		1	2	3	4	5	6	7
search	theoretical	$3.00 \times 10^3$	$3.60 \times 10^7$	$6.47 \times 10^{11}$	$1.55 \times 10^{16}$	$4.65 \times 10^{20}$	$1.67 \times 10^{25}$	$7.01 \times 10^{29}$
space:	explored	3000	8997000	1807	226	123	24	0
	attractive	3000	5270	243	130	76	8	0



# Problem

i luka badawcza

## real-time

skupienie się na aspekcie operacyjnym - pojazdy i zgłoszenia w czasie rzeczywistym (J. Alonso-Mora, 2018)

## time-windows

wszystko z  $\Delta_t$  i  $\Delta_w < 10\text{min}$  jest akceptowane (Santi, 2014)

## complexity

przestrzeń rozwiązań możliwych rośnie kombinatorycznie:

degree:		1	2	3	4	5	6	7
search space:	theoretical	$3.00 \times 10^3$	$3.60 \times 10^7$	$6.47 \times 10^{11}$	$1.55 \times 10^{16}$	$4.65 \times 10^{20}$	$1.67 \times 10^{25}$	$7.01 \times 10^{29}$
	explored	3000	8997000	1807	226	123	24	0
	attractive	3000	5270	243	130	76	8	0



# Problem

i luka badawcza

## real-time

skupienie się na aspekcie operacyjnym - pojazdy i zgłoszenia w czasie rzeczywistym (J. Alonso-Mora, 2018)

## time-windows

wszystko z  $\Delta_t$  i  $\Delta_w < 10\text{min}$  jest akceptowane (Santi, 2014)

## complexity

przestrzeń rozwiązań możliwych rośnie kombinatorycznie:

degree:		1	2	3	4	5	6	7
search	theoretical	$3.00 \times 10^3$	$3.60 \times 10^7$	$6.47 \times 10^{11}$	$1.55 \times 10^{16}$	$4.65 \times 10^{20}$	$1.67 \times 10^{25}$	$7.01 \times 10^{29}$
space:	explored	3000	8997000	1807	226	123	24	0
	attractive	3000	5270	243	130	76	8	0



# ExMAS

Exact Matching of Attractive Shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations

Kucharski R. , *Cats. O* 2020. *Exact matching of attractive shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations*, Transportation Research Part B 139 (2020) 285-310 <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.06.00>  
<https://github.com/RafalKucharskiPK/ExMAS>

## Atrakcyjny przejazd wspólny

Podróż wspólna jest atrakcyjna wtedy i tylko wtedy, gdy **spóźnienie i wydłużenie są kompensowane zniżką dla wszystkich współpasażerów**.

## Utilities - użyteczności

jazda samemu:  $U_i^{n,s} = \lambda^{n,s} l_i + \beta^t t_i + \varepsilon$ , where:

$\lambda l_i$  opłata

$\beta^t$  wartość czasu

$t_i$  czas jazdy samemu

$\varepsilon$  random term

podróż dzielona:  $U_{i,r}^s = \lambda^s l_i + \beta^t \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|) + \varepsilon$ , gdzie:

$\beta^s$  willingness-to-share uciążliwość dzielenia

$\hat{t}_i + \beta^d (\hat{t}_i^p - t_i^p)$  wydłużony i opóźniony przejazd





# ExMAS

Exact Matching of Attractive Shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations

Kucharski R. , *Cats. O* 2020. *Exact matching of attractive shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations*, Transportation Research Part B 139 (2020) 285-310 <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.06.00>  
<https://github.com/RafalKucharskiPK/ExMAS>

## Atrakcyjny przejazd wspólny

Podróż wspólna jest atrakcyjna wtedy i tylko wtedy, gdy **spóźnienie i wydłużenie są kompensowane niższą dla wszystkich współpasażerów.**



## Utilities - użyteczności

jazda samemu:  $U_i^{n_s} = \lambda^{n_s} l_i + \beta^t t_i + \varepsilon$ , where:

$\lambda l_i$  opłata

$\beta^t$  wartość czasu

$t_i$  czas jazdy samemu

$\varepsilon$  random term

podróż dzielona:  $U_{i,r}^s = \lambda^s l_i + \beta^t \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|) + \varepsilon$ , gdzie:

$\beta^s$  willingness-to-share uciążliwość dzielenia

$\hat{t}_i + \beta^d (\hat{t}_i^p - t_i^p)$  wydłużony i opóźniony przejazd

# ExMAS

Exact Matching of Attractive Shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations

Kucharski R. , *Cats. O 2020. Exact matching of attractive shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations*, Transportation Research Part B 139 (2020) 285-310 <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.06.00>  
<https://github.com/RafalKucharskiPK/ExMAS>

## Atrakcyjny przejazd wspólny

Podróż wspólna jest atrakcyjna wtedy i tylko wtedy, gdy **spóźnienie i wydłużenie są kompensowane zniżką dla wszystkich współpasażerów**.



## Utilities - użyteczności

jazda samemu:  $U_i^{n_s} = \lambda^{n_s} l_i + \beta^t t_i + \varepsilon$ , where:

$\lambda l_i$  opłata

$\beta^t$  wartość czasu

$t_i$  czas jazdy samemu

$\varepsilon$  random term

podróż dzielona:  $U_{i,r}^s = \lambda^s l_i + \beta^t \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|) + \varepsilon$ , gdzie:

$\beta^s$  willingness-to-share uciążliwość dzielenia

$\hat{t}_i + \beta^d (\hat{t}_i^p - t_i^p)$  wydłużony i opóźniony przejazd

# Atrakcyjne przejazdy wspólne

## Utilities

przejazd samemu:  $U_i^{ns} = \lambda^{ns} l_i + \beta^t t_i + \varepsilon$

przejazd wspólny:  $U_{i,r}^s = \lambda^s l_i + \beta^t \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|) + \varepsilon$

## Jazda wspólna jest atrakcyjna, gdy:

$$U_i^s > U_i^{ns}$$

$$U_{i,r} = U_{i,r}^s - U_i^{ns} =$$

$$\lambda l_i + \beta^t (t_i - \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|)) + \varepsilon > 0$$

interplay between:

$\lambda$  zniżka

$\hat{t}_i + \beta^d (\hat{t}_i^p - t_i^p)$  wydłużenie i opóźnienie

$\beta^s$  *willingness-to-share* uciążliwość dzielenia

$\beta^t$  wartość czasu

## Zniżka jako zmienna do kontroli systemu

$$\lambda = \lambda^s - \lambda^{ns}$$

# Atrakcyjne przejazdy wspólne

## Utilities

przejazd samemu:  $U_i^{ns} = \lambda^{ns} l_i + \beta^t t_i + \varepsilon$

przejazd wspólny:  $U_{i,r}^s = \lambda^s l_i + \beta^t \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|) + \varepsilon$

## Jazda wspólna jest atrakcyjna, gdy:

$$U_i^s > U_i^{ns}$$

$$U_{i,r} = U_{i,r}^s - U_i^{ns} =$$

$$\lambda l_i + \beta^t (t_i - \beta^s (\hat{t}_i + |\hat{t}_i^p - t_i^p|)) + \varepsilon > 0$$

interplay between:

$\lambda$  zniżka

$\hat{t}_i + \beta^d (\hat{t}_i^p - t_i^p)$  wydłużenie i opóźnienie

$\beta^s$  *willingness-to-share* uciążliwość dzielenia

$\beta^t$  wartość czasu

## Zniżka jako zmienna do kontroli systemu

$$\lambda = \lambda^s - \lambda^{ns}$$

# Symulacje w Amsterdamie

eksperyment

Albatross dataset: origin, destination and departure time for 241k trips within Amsterdam per working day.

sieć z osm OSMnx

do 5000 podróży na godzinę

parametry :

- wartość czasu  $\beta^t = 12.6\text{€/h}$ ,
- opłata za kilometr  $\lambda^{n.s} = 1.5\text{€/km}$ ,
- willingness-to-share  $\beta^s = 1.3$

minimalizacja pojazdo-godzin w problemie przydziału



# Oplacalność

jaką maksymalną zniżkę mogę zaoferować, aby zarabiać?

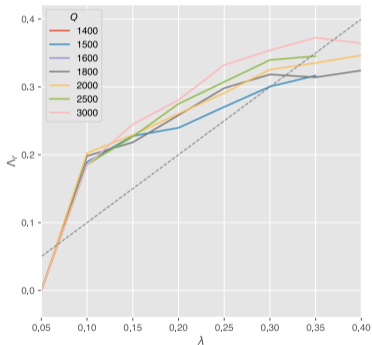
## Oplacalność

Operator (Uber) musi **zrekompensować** zniżkę stawek mniejszymi **kosztami** (pojazdo-kilometry).

## Maksymalna zniżka rośnie z popytem:

diagonal to granica oplacalności

Dla 3 000 podróży możemy zaoferować zniżkę do 35%, ale dla 1500 już 30% jest nieopłacalne.



Wyniki eksperymentu dla 3 000 podróży z Amsterdamu. Shared trips vehicle-hours reduction  $\Lambda_r$  as a function of discounts  $\lambda$  obtained for va-

# Zastosowanie

Publiczne repozytorium - github

## ExMAS

Exact Matching of Attractive Shared rides (ExMAS) for system-wide strategic evaluations  
Kucharski R., Cats O., Transportation Research Part: B, 2020

### Walkthrough

```
In [1]: import os
        cwd = os.getcwd()
```

```
In [5]: os.chdir(os.path.join(cwd, '..'))
        import ExMAS.main
        import ExMAS.utils
```

```
In [6]: from ExMAS.utils import loadData as loadData
```

### prepare

1. load the default config (see more details in ExMAS/notebooks/01\_configuration.ipynb)

```
In [7]: params = ExMAS.utils.get_config('ExMAS/data/config/default.json') # load the default
        params = ExMAS.utils.make_paths(params)
```

1. load the network (see more details in ExMAS/notebooks/02\_NetworkGraphs.ipynb)

```
In [8]: loadData = ExMAS.utils.load_GInData(params, state=True) # download the graph
```

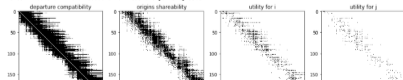
1. generate trip requests (see more details in ExMAS/notebooks/03\_Demand\_Generation.ipynb)

```
In [9]: loadData = ExMAS.utils.generate_demand(loadData, params)
```

### run

```
In [10]: loadData = ExMAS.main(loadData, params, plot = True)
```

```
18-03-22 08:52:22-INFO-Initializing pairwise trip shareability between 200 and 200 trips.
18-03-22 08:52:22-INFO-creating combinations
18-03-22 08:52:22-INFO-39600 nb*(nb-1)
18-03-22 08:52:22-INFO-10225 departure compatibility
18-03-22 08:52:22-INFO-5152 origins shareability
18-03-22 08:52:22-INFO-1178 utility for i
18-03-22 08:52:22-INFO-364 utility for j
18-03-22 08:52:22-INFO-242 LIFO pairs
18-03-22 08:52:22-INFO-Reduction of feasible pairs by 99.34%
```

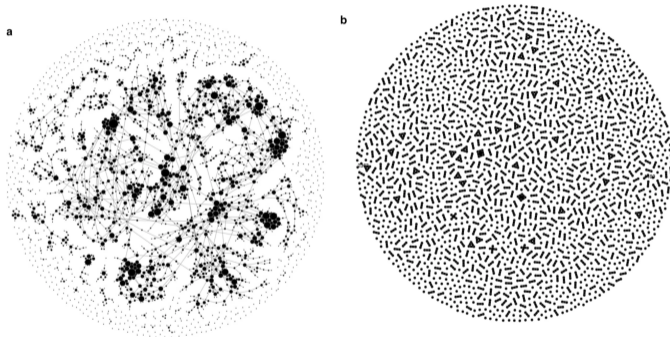


# Zastosowanie

Symulacja rozprzestrzeniania się wirusów w sieciach przejazdów wspólnych

## COVID

Jak zarażony współpasażer rozprzestrzeni wirusa w sieci.



Sieci kontaktów dla podróży dzielonych

1

<sup>1</sup>Modelling virus spreading in ride-pooling networks Kucharski, Rafał, Cats, Oded, and Sienkiewicz, Julian **Scientific Reports** 2021



# Zastosowanie

Dzielenie zgodne z teorią gier

## User Equilibrium

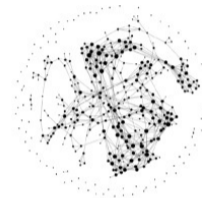
Czy wszyscy jesteśmy zadowoleni z dzielenia?



(a) basic (2191 groups)



(b) NE (1708 groups)



(c) RHE (1366 groups)

Sieci kontaktów dla podróży stabilnych - zgodnie z teorią gier

2

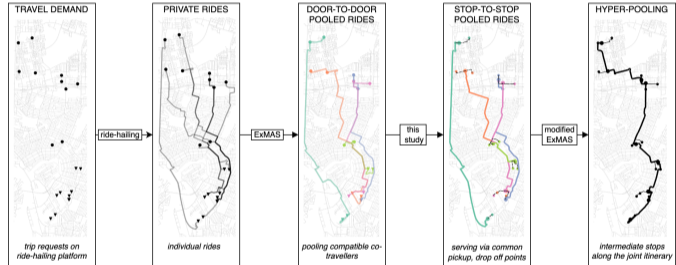
<sup>2</sup>How to split the costs and charge the travellers sharing a ride? Aligning system's optimum with users' equilibrium Fielbaum, Andrés, Kucharski, Rafał, Cats, Oded, and Alonso-Mora, Javier **European Journal of Operational Research** 2021

# Zastosowanie

Zwiększanie napelnienia - w stronę transportu publicznego

## Transport prawie-zbiorowy

Jak zwiększyć napelnienie i utrzymać atrakcyjność?



3

<sup>3</sup>Hyper-pool: pooling private trips into high-occupancy transit-like attractive shared rides Kucharski, Rafał, Cats, [arXiv 2022](#)

# Podsumowanie

## Przejazdy wspólne

### Potencjał

Zwiększenie napelnienia, bardziej zrównoważony transport

### Wyzwania

Złożoność obliczeniowa  
atrakcyjność  
masa krytyczna

### Przyszłość?

Co z poolingiem po pandemii? (Olha Shulika)

# Pytania

## Dyskusja

### Dziękuję!

Rafał Kucharski,  
WMiI, UJ  
rafal.kucharski@uj.edu.pl

### Acknowledgements:

This research was supported by the CriticalMaaS project (Grant Number 804469), which is financed by the European Research Council and Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions.

This research was funded by National Science Centre in Poland program OPUS 19 (Grant Number 2020/37/B/HS4/01847).