



IMS - modelování a simulace  
Projekt 2023/2024  
Varianta 8: **CA v dopravě**

**Jiří Štípek** - xstipe02  
**Štefan Pekník** - xpekni01

10. prosince 2023

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři . . . . .	2
1.2	Ověření validity modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>3</b>
2.1	Použité postupy . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepce modelu</b>	<b>4</b>
3.1	Popis konceptuálního modelu . . . . .	4
3.2	Forma konceptuálního modelu . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>7</b>
5.1	Postup experimentování . . . . .	7
5.2	Experimenty . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>9</b>
	<b>Literatura</b>	<b>10</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Tento projekt se zabývá sestavením modelu[2, snímek 7] dopravního provozu s důrazem na chování agresivních řidičů a jeho následná simulace[2, snímek 33]. Agresivní řidiči jsou modelováni s menší bezpečnostní rezervou pro brzdění a vyšší akcelerací, což negativně přispívá k vyčištění již existujících kolon a v extrémních případech vede i k tvorbě nových. Simulace zahrnuje modelování různých faktorů, jako jsou rychlost, akcelerace a bezpečná vzdálenost, aby poskytla realistický pohled na vliv agresivního chování na celkový pohyb vozidel v dopravním systému.

### 1.1 Autoři

Projekt vypracovali studenti 3. ročníku Štefan Pekník a Jiří Štípek z FIT VUT v Brně. Základní informace a metodiky pro tento projekt jsou přebrané z dokumentu, který rozebírá různé způsoby modelování dopravy[4].

### 1.2 Ověření validity modelu

Jelikož se náš model zakládá na již známém a mnoha jinými autory využitém modelu NaSch[1], jeho validitu[2, snímek 37] jsme ověřili simulací, kde jsme nevyužili naše přidání rozšíření, a následně porovnali s výstupy jiných autorů. Na základě jasné podobnosti až ekvivalence[2, snímek 26] lze říci, že náš model je validním a chová se dle očekávání.

## Kapitola 2

# Rozbor tématu a použitých metod/technologií

V této analýze se podrobně věnujeme agresivnímu chování řidičů na silnicích a jeho vlivu na plynulost dopravního toku. Definujeme agresivní chování a zkoumáme konkrétní dopady této problematiky na provoz v situaci, kdy se na námi definovaném úseku vyskytne dopravní zácpa. Soustředíme se na vytvoření modelu agresivních řidičů, přičemž vycházíme ze směrnic uvedených v článku Policie ČR o bezpečné vzdálenosti [3].

Analyzujeme negativní důsledky agresivního chování, zejména vytváření kolon. Zvláštní pozornost věnujeme mechanismům čištění existujících kolon a možnosti vytváření nových kolon v extrémních situacích. Cílem je porozumět, jak agresivní chování ovlivňuje dynamiku dopravy. Tímto přístupem se snažíme vytvořit komplexní pohled na agresivní chování řidičů a jeho dopady na silniční prostředí.

### 2.1 Použité postupy

Model je vytvořen za pomoci programovacího jazyka C++. Dále se v projektu používá programovací jazyk Python pro vizualizaci[2, snímek 318] dat do podoby grafů.

## Kapitola 3

# Koncepce modelu

V této části se zabývá prostorově diskrétním modelem [2, snímek 52], do kterého spadají celulární automaty [2, snímek 212]. Zakládá se na konceptuálním modelu [2, snímek 48], který poskytuje abstraktní a strukturovaný pohled na klíčové prvky a vztahy v rámci simulace dopravy.

### 3.1 Popis konceptuálního modelu

V rámci modelu je stanovena pro agresivní řidiče nižší bezpečná rezerva pro brzdění a zároveň vyšší akceleraci. Tato konkrétní specifikace výrazně ovlivňuje průběh dopravní situace. Nižší bezpečnostní rezerva pro brzdění může způsobit negativní dopady na již existující kolony, zatímco vyšší akcelerace může v extrémních případech přispět k vytváření nových kolon.

Využitím uvedených parametrů a nastavení jsme schopni simulovat chování agresivních řidičů ve specifických dopravních situacích a zkoumat jejich dopady na celkový průběh dopravy. Tímto přístupem můžeme lépe porozumět rizikům spojeným s agresivním chováním na silnicích a přispět k nalezení efektivnějších způsobů regulace dopravního toku.

### 3.2 Forma konceptuálního modelu

V modelu je zdefinovaných 5 pravidel, podle kterých se buňky v celulárním automatu řídí. Pro výpočet rychlosti auta po zrychlení v modelu je použitý vzorec:

$v' = \min(v + a, v_{\max})$  [4, kapitola 1.2.1], kde

- $v'$  - nová rychlost (m/s)
- $v$  - aktuální rychlost (m/s)
- $a$  - akcelerace auta (m/s)
- $v_{\max}$  - maximální rychlost (m/s)

Dále je použitý vzorec pro výpočet rychlosti po zpomalení:

- $v'$  - nová rychlost (m/s) 
$$v' = \begin{cases} v - a, & \text{if } s < p \\ v, & \text{otherwise} \end{cases}$$
- $v$  - aktuální rychlost (m/s)
- $a$  - akcelerace<sup>1</sup> auta (m/s)
- $s$  - náhodné číslo z intervalu  $<0,100>$
- $p$  - konstanta pro pravděpodobnost

Pro fiktivní pohyb auta je použitý vzorec:  $x' = x + v'$ , kde

- $x'$  - nová pozice
- $x$  - aktuální pozice
- $v'$  - nová rychlost (m/s)

Každé auto má nastavenou svoji bezpečnou vzdálenost, která vychází z již zmíněných směrnic Policie ČR. Vzorec pro výpočet bezpečné vzdálenosti je:  $g = (2 * v')/agr$ , kde

- $g$  - bezpečná vzdálenost (m)
- $v'$  - nová rychlost (m/s)
- $agr$  - agresivita řidiče

Aby se předešlo srážce dvou vozidel, platí pro každého řidiče:  $v' = \begin{cases} d/2, & \text{if } d < g \\ v, & \text{otherwise} \end{cases}$ , kde

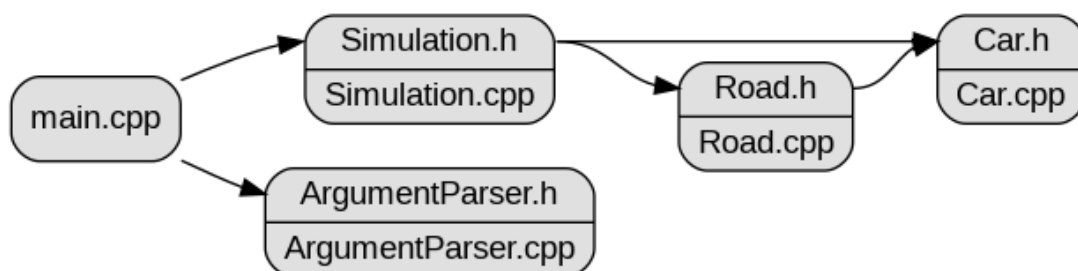
- $d$  - vzdálenost mezi dvěma auty (m)

---

<sup>1</sup>Akcelerace je zde rovna deceleraci a tudíž zrychlení či zpomalení je ovlivněno pouze kladným či záporným znaménkem.

## Kapitola 4

# Architektura simulačního modelu



Program začíná v souboru `main.cpp`, kde je zavolána metoda `ArgumentParser::parse()` k analýze počátečních argumentů. Tyto analyzované argumenty jsou pak namapovány na simulační parametry a vytvoří se instance simulace třídy `Simulation`, která je poté spuštěna provedením `simulation.run()`.

V rámci simulace se nejprve vytvoří a naplní jednoproudová vozovka auty (třída `Car`), kde každému autu jsou přiděleny jeho specifické argumenty, a to:

- počáteční rychlost - rychlost, se kterou auto v simulaci začne (na počátku 0);
- akcelerace - konstanta, která se při možnosti zrychlit připočítává k aktuální rychlosti;
- maximální rychlost - maximální rychlost, které může dané auto dosáhnout;
- agresivita - konstanta, která snižuje (v případě agresivního řidiče) nebo zvyšuje (v případě opatrného řidiče) minimální bezpečnou vzdálenost;
- šance na zpomalení - šance, s jakou dané auto náhodně zpomalí.

Touto vozovkou se inicializuje třída `Road` a započne iterování, při kterém se každou iterací vykonají metody třídy `Road`:

1. `printRoad()` - výpis aktuálního stavu vozovky na standardní výstup ve formátu `| . |` v případě prázdného místa, nebo `|xxx|`, kde `xxx` je aktuální rychlost vozidla na daném místě;
2. `step()` - pro postoupení do další generace.

Během každého kroku do další generace se iteruje přes každou pozici na aktuální vozovce a v případě, že se na dané pozici nachází auto, je jeho aktuální rychlost aktualizována na rychlost do další generace a auto je o přesunuto na jeho novou pozici v dočasné nové vozovce, kterou je po skončení iterace nahrazena vozovka stávající (přechod mezi generacemi).

Změna rychlosti auta je vykonána dle kroků uvedených v sekci [3.2](#).

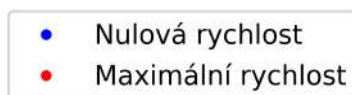
## Kapitola 5

# Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Níže uvedené experimenty slouží jako důkaz tvrzení, že agresivnější řidiči negativně ovlivňují rozvolnění dopravní zácpy. To je zapříčiněno prudkým bržděním těchto řidičů namísto pomalého snižování rychlosti v případě překážky před sebou.

### 5.1 Postup experimentování

Každý experiment probíhal na úseku 4000 metrů v časovém rozmezí 4000 sekund s 60 auty a šancí na náhodné zpomalení 10 %. Maximální rychlost aut je nastavena na 38 m/s (což odpovídá maximální rychlosti na českých dálnicích) a jejich akcelerace na 4 m/s<sup>2</sup>.



Obrázek 5.1: Legenda grafů

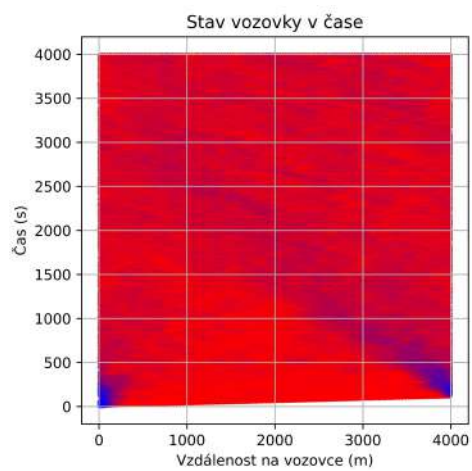
### 5.2 Experimenty

Na grafu 5.2a lze pozorovat, jak se počáteční zácpa postupně rozjíždí a po chvíli první auta z konce zácpy narazí díky zacyklení vozovky na počátek zácpy. Ovšem díky postupnému zpomalování nedojde k prudkým poklesům rychlosti a díky tomu se auta postupně rozmělní do prostoru vozovky.

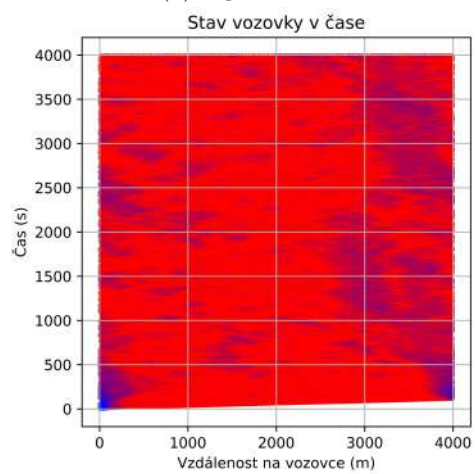
Na grafu 5.2b si jde již všimnout náznaků, že díky prudšímu zpomalování agresivnějších řidičů je rozvolnění zácpy zdouhavější a ne zcela plynulé a i dochází ke tvorbě zpomalených úseků.

Na grafu 5.2c se zácpa nerozvolní vůbec a namísto toho se pouze přesouvá v prostoru. Tento jev je zapříčiněn prudkým bržděním agresivních řidičů, kdy jejich rychlost v případě překážky na trati prudce klesne namísto toho, aby se postupně snižovala. Řidiči se poté musí rozjíždět z nízké až nulové rychlosti. Zároveň při spojení s náhodným zpomalováním dochází k tvorbě nových zácp.

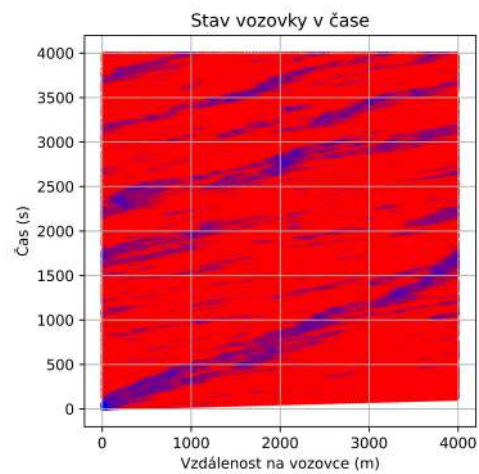




(a) Agresivita 1



(b) Agresivita 3



(c) Agresivita 6

Obrázek 5.2: Grafy pohybu aut po vozovce v čase při různých úrovních agresivity

## Kapitola 6

# Shrnutí simulačních experimentů a závěr

V průběhu naší studie se naše pozornost zaměřovala na zkoumání vlivu agresivního chování řidičů na celkový pohyb dopravy. Prostřednictvím pečlivých experimentů a detailních analýz jsme získali klíčové poznatky, které nám umožňují hlouběji porozumět dynamice silničního provozu a jeho náchylnosti k jednotlivým stylům chování účastníků.

Výsledky našich experimentů jasně signalizují, že agresivní řízení může významně narušit plynulost dopravy. Řidiči projevující agresivní chování častěji přistupují k rizikovým manévřům, což vede k celkovému zpomalení pohybu a vytváření umělých dopravních zácp.

Celkově lze tedy konstatovat, že výsledky naší studie mají potenciál významně přispět k optimalizaci pohybu na silnicích, zvyšování efektivity dopravy a vytváření prostředí, které podporuje plynulost silničního provozu. Pochopení dopadu agresivního řízení může být klíčem k implementaci efektivnějších strategií pro regulaci dopravního toku a formování prostředí, které optimalizuje bezpečné a nekomplikované pohyby v silniční síti.

# Literatura

- [1] *Nagel–Schreckenberg model*. Wikipedia. Dostupné z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nagel%E2%80%93Schreckenberg\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Nagel%E2%80%93Schreckenberg_model).
- [2] PERINGER, P. a HRUBÝ, M. *Modelování a simulace: Text k přednáškám kursu Modelování a simulace FIT VUT*  
[<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>]. 2023.  
[cit. 2023-12-09].
- [3] RICHTEROVÁ, M. *Dodržujte bezpečnou vzdálenost mezi vozidly*. 2018. Online.  
Dostupné z:  
<https://www.policie.cz/clanek/dodrzuje-bezpecnou-vzdalenost-mezi-vozidly.aspx>.
- [4] TIAN, J., ZHU, C. a JIANG, R. *Cellular automata approach to synchronized traffic flow modelling*. 2018. ArXiv preprint. Dostupné z:  
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1805/1805.05555.pdf>.