

SSI - Protokol k prvnímu projektu

Chování sociálního systému před vstupem a při jízdě na travelátoru

Tereza Fuciková

20/01/2023

Popis modelu

Cílem modelu je simulovat chování davu chodců před vstupem a při jízdě na travelátoru. Jedná se o zjednodušený model pohybu na eskalátoru se dvěma "pruhy" pro stojící chodce a chodce, kteří pospíchají a podporují rychlost jízdy eskalátoru svou chůzí.

Předpokládejme širší koridor, na jedné straně se náhodně objevují chodci, na druhé jsou dva travelátory. První travelátor je určen pro chodce, kteří nespíchají, a tedy se pohybují rovnoměrně podle rychlosti travelátoru. Naopak druhý travelátor slouží pro chodce ve spěchu, ti pokračují ve své chůzi v koridoru i na travelátoru. Síly, které nás přitahují k cíli a zároveň nás odpuzují od ostatních chodců se modelují pomocí Social Force Model.

Social Force Model (SFM)

Podle Helbinga získáváme pro agenta α vztah

$$\ddot{x}_\alpha(t) = F_{M_\alpha} + F_{I_\alpha}, \quad (1)$$

kde x_α je poloha agenta, F_{M_α} je motivační síla agenta (jeho přitažlivá síla k cíli/atráктору) a F_{I_α} je interakční síla agenta s ostatními agenty. Příslušné síly spočítáme následovně, motivační síla je tvaru

$$F_{M_\alpha} = \frac{1}{\tau} \cdot (v_\alpha^0 s_{\alpha A} - v_\alpha), \quad (2)$$

kde v_α je rychlost agenta, v_α^0 jeho optimální rychlost, τ je reakční čas a $s_{\alpha A}$ je směr k atráктору A daný vztahem

$$s_{\alpha A} = \frac{x_A - x_\alpha}{\|x_A - x_\alpha\|}. \quad (3)$$

Interakční sílu poté počítáme podle vztahu

$$F_{I_\alpha} = \sum_{\beta \neq \alpha} F_{\alpha\beta}, \quad (4)$$

kde

$$F_{\alpha\beta} = \left[\lambda + (1 - \lambda) \cdot \frac{1 + \cos \varphi_{\beta\alpha}}{2} \right] \cdot \frac{U_{\beta\alpha}^0}{\xi_{\beta\alpha}} \cdot \exp\left\{-\frac{\|x_{\beta\alpha}\|}{\xi_{\beta\alpha}}\right\} \cdot \frac{x_{\beta\alpha}}{\|x_{\beta\alpha}\|}, \quad (5)$$

kde $\lambda \in \langle 0, 1 \rangle$, $\varphi_{\beta\alpha}$ je úhel mezi agenty α , β a $x_{\beta\alpha} = x_\alpha - x_\beta$. Dále $U_{\beta\alpha}^0$ značí sílu interakce mezi agenty, $\xi_{\beta\alpha}$ je dosah agentů a pro úhel mezi agenty platí vztah

$$\cos \varphi_{\beta\alpha} = -\frac{v_\alpha \cdot x_{\beta\alpha}}{\|v_\alpha\| \|x_{\beta\alpha}\|}. \quad (6)$$

Zahrnutím sil všech agentů získáváme vztah

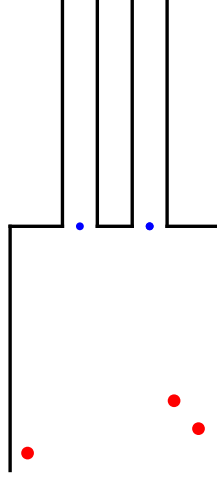
$$\ddot{\mathbb{X}}(t) = \mathbb{F}(t, \mathbb{X}(t), \dot{\mathbb{X}}(t)), \quad (7)$$

kde

$$\mathbb{F}(t, \mathbb{X}, \dot{\mathbb{X}}) = \mathbb{F}_M(t, \mathbb{X}, \dot{\mathbb{X}}) + \mathbb{F}_I(t, \mathbb{X}, \dot{\mathbb{X}}). \quad (8)$$

Popis programu

Nejprve je připraveno prostředí pomocí funkce `plot_enviroment()`, která vykreslí koridor s travelátory a agenty. Vstupními parametry jsou velikosti koridoru a travelátorů na x-ové a y-ové ose. Podle těchto čtyř velikostí funkce dopočítá umístění travelátorů do 1/3 a do 2/3 velikosti koridoru na ose x a příslušné prostředí vykreslí. Dalším vstupním parametrem je poloha agentů. Pro demonstraci nastavíme hodnoty pro velikost místnosti jako `corridor_x = 60`, `corridor_y = 70`, `travelators_x = 10` a `travelators_y = 65`. Počet agentů nastavíme na hodnotu $N = 3$ a jejich počáteční pozice se vygenerují náhodně v koridoru, přičemž předpokládáme, že agenti se generují v první polovině koridoru. Počáteční situace je znázorněna na obrázku 1.



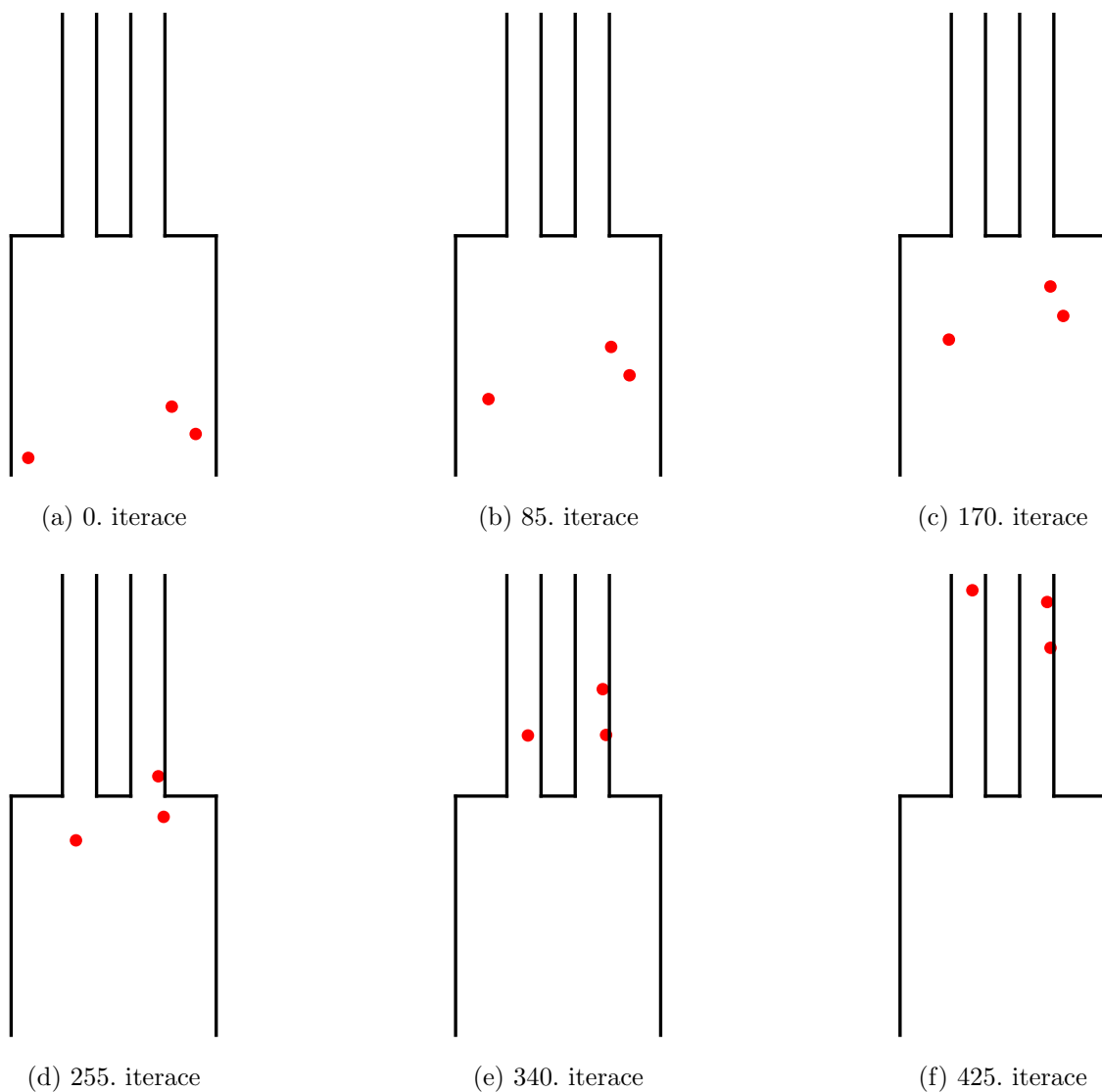
Obr. 1: Počáteční pozice agentů v koridoru

Pohyb agentů nám zajistí výše zmiňovaný Social Force Model (SFM) a následné řešení obyčejné diferenciální rovnice (ODR). Atraktorem pro agenty je jeden ze dvou bodů nacházejících se uprostřed počátku prvního nebo druhého travelátoru. Na obrázku 1 jsou tyto body pro demonstraci vyznačeny modrou barvou. Agent si vybírá travelátor podle nejmenší docházkové vzdálenosti, přičemž pokud nastane situace, že jsou oba vstupy na travelátory stejně vzdálené, vybere si agent ten vpravo. Parametry pro SFM jsou nastaveny následovně. Optimální rychlost pro agenty je $v_0 = 2$, reakční čas $\tau = 0.1$, potenciál interakce mezi agenty $U_0 = 60$, dosah agentů $\xi = 0.9$ a parametr $\lambda = 0$. Zahrnutím výsledné síly $F = F_{mot} + F_{int}$ z SFM modelu do Eulerovy ODR tvaru

$$X[i + 1] = X[i] + h * V, \quad (9a)$$

$$V[i + 1] = V[i] + h * F, \quad (9b)$$

kde X je tenzor poloh všech agentů, V je tenzor rychlosti všech agentů a $h = 0.1$ je diskretizační krok ODR, uvedeme agenty do pohybu. Chyba, nebo-li dostačující vzdálenost od atraktoru, činí $\epsilon = \text{travelators_x}/2$. Pohyb agentů v koridoru je vidět na prvních třech obrázcích v obrázku 2. Zbylé obrázky vyobrazují pohyb na travelátorech. Pohyb na travelátorech řeší obdobná Eulerova ODR, která již nezahrnuje síly SFM modelu, agenti mají zafixovanou polohu na ose y a jejich rychlost je zde konstantní $v_T = 3$



Obr. 2: Pohyb agentů v modelu

a rovna rychlosti travelátoru. Na levém travelátoru se předpokládá navíc pohyb agentů, tudíž je zde k rychlosti travelátoru přičtena i optimální rychlost chodců. Na obrázku 2 si můžeme povšimnout, že důsledkem toho, že se agenti pohybují na levém travelátoru rychleji, předběhli tak agenta na pravém travelátoru, který se na něm ale vyskytl dříve.

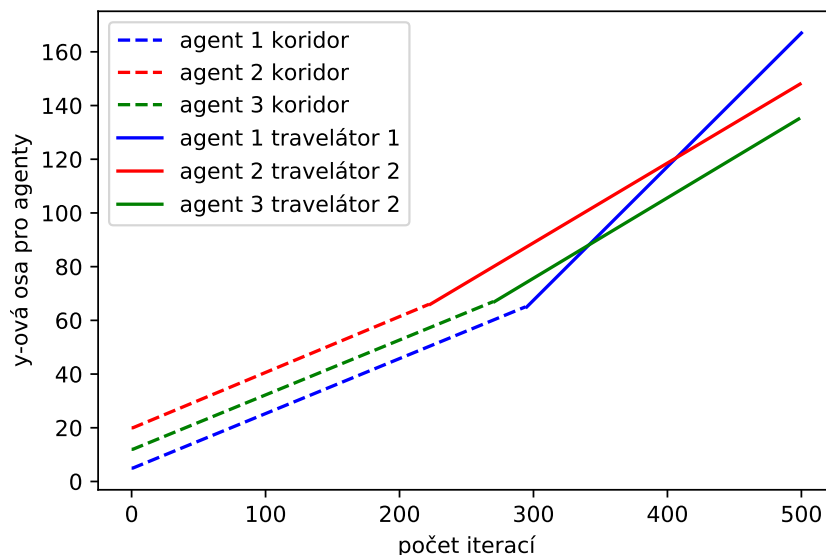
Statistický rozbor

Předchozí domněnky vyčtené z obrázků lze potvrdit hodnotami v tabulce 1. Číslování agentů je podle jejich počáteční pozice začínající v koridoru zleva, viz Obr. 2. Modře obarvené buňky značí vstup na travelátor, zelené pak výstup. Růžovou barvou jsou označeny buňky, kde jeden agent předběhl druhého. Je tedy vidět, že ačkoliv 1. agent vstoupil na svůj travelátor jako poslední, tak jelikož vstoupil na levý a rychlejší travelátor, předbíhá agenty na druhém travelátoru a svůj travelátor opouští jako první.

Skutečnost lze obdobně znázornit na Obr. 3, kde je zahrnut pohyb agentů v celém modelu. Přerušované čáry značí pohyb agentů v koridoru, souvislé pak jízdu na travelátorech. Opět vidíme známou skutečnost, že 1. agent, označen v grafu modrou křivkou, předběhl na svém travelátoru další dva agenty.

Počet iterací	1. agent	2. agent	3. agent
223.	50.48296909	66.191277	57.37780776
224.	50.68784733	66.49127797	57.58220196
⋮	⋮	⋮	⋮
270.	60.11224633	80.29127797	66.98510613
271.	60.31712457	80.59127797	67.189522
272.	60.52200281	80.89127797	67.4895223
⋮	⋮	⋮	⋮
294.	65.02932407	87.49127797	74.0895223
295.	65.23420231	87.79127797	74.3895223
296.	65.73420231	88.09127797	74.6895223
⋮	⋮	⋮	⋮
340.	87.73420231	101.29127797	87.8895223
341.	88.23420231	101.59127797	88.1895223
342.	88.73420231	101.89127797	88.4895223
⋮	⋮	⋮	⋮
407.	121.23420231	121.39127797	107.9895223
408.	121.73420231	121.69127797	108.2895223
409.	122.23420231	121.99127797	108.5895223
⋮	⋮	⋮	⋮
434.	134.73420231	129.49127797	116.0895223
435.	135.23420231	129.79127797	116.3895223
436.		130.09127797	116.6895223
⋮	⋮	⋮	⋮
453.		134.89127797	121.4895223
453.		135.19127797	121.7895223
454.			122.0895223
⋮	⋮	⋮	⋮
497.			134.9895223
498.			135.2895223

Tabulka 1: Hodnoty pozic agentů na y-ové ose při jízdě na travelátorech

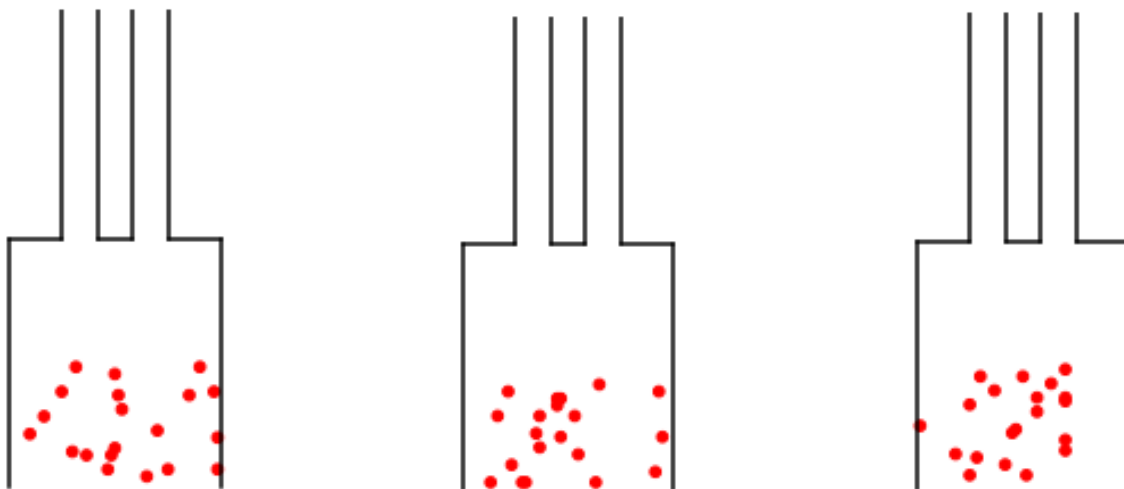


Obr. 3: Pozice agentů v modelu podle y-ové osy

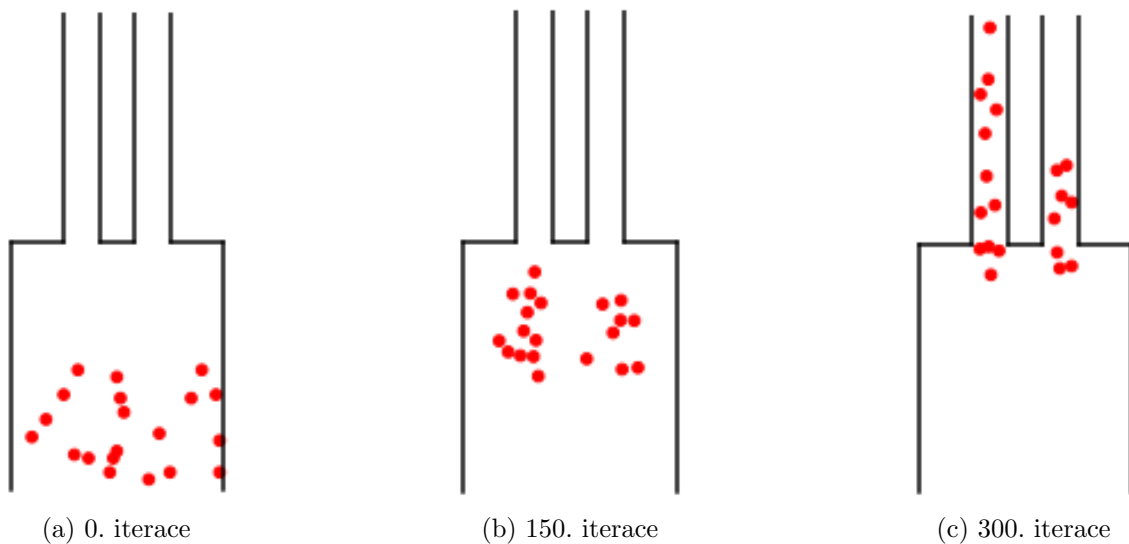
Čas v systému v závislosti na počátečních pozicích a volbě travelátoru

Dále budeme zkoumat časy agentů v systému podle použitého travelátoru. Je tedy potřeba nagenarovat více dat, abychom mohli vyvozovat potřebné závěry. Předpokládejme 20 agentů v systému a opakujme experiment tisíckrát. Tedy v každém z experimentů se na začátku vygenerují jiné pozice agentů (viz Obr.4) a zaznamenávají se iterace při opuštění travelátoru agentem, přičemž se tyto hodnoty ukládají podle použitého travelátoru.

Pro potřeby generování většího množství chodců je nutné zahrnout do výpočtů i sílu environmentální, tedy sílu, která odpuzuje agenty od stěn. Tato síla je téměř totožná se silou interakční mezi agenty F_{I_α} , avšak odpudivými body jsou nyní body stěn. Nastavení funguje tak, že se určí bod stěny nejbližší k agentovi a ten ho posléze odpuzuje. Tato síla je nyní klíčová pro správné fungování systému, o čemž se lze přesvědčit na Obr. 5. Parametry jsou nastaveny následovně. Potenciál interakce se stěnami $U_w = 50$, dosah stěn $x_w = 0.9$ a parametr $\lambda_{mbd} = 0$. Zároveň došlo k pozměnění potenciálu interakce mezi agenty na $U_0 = 55$ a dosah agentů $x_i = 1.1$. Takto nastavené parametry vykazovaly nejlepší výsledky.

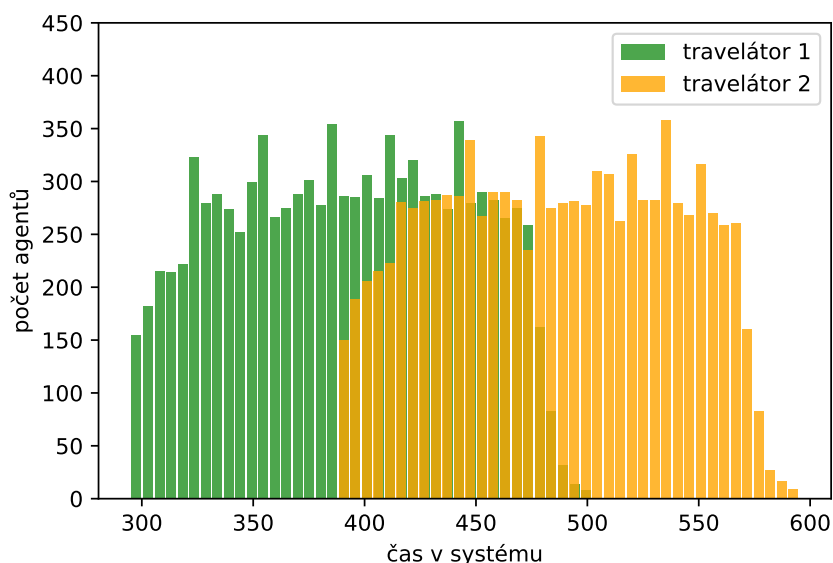


Obr. 4: Různorodost počátečních pozic agentů



Obr. 5: Ukázka fungování systému s dvaceti agenty

Zaznamenané iterace, modelující čas agentů strávený v systému, lze graficky zobrazit ve dvou histogramech podle použitého travelátoru. Agentů, využívajících rychlejší travelátor 1, bylo v celkovém součtu experimentů 10 091 a druhý, pomalejší travelátor 2, obsadil doplněk této hodnoty, který činí 9 909 agentů. Hodnoty se různí z důvodu nastavení experimentu a generování různých počátečních pozic agentů. Jak se můžeme na Obr. 6 přesvědčit, je zřejmé, že výběr travelátoru 1 výrazně urychlí čas agentů v systému. Průměrně dojdou agenti pomocí travelátoru 1 na jeho konec v 398. iteraci, zatímco agenti stojící na travelátoru 2 se dostanou do cíle v průměru až v iteraci 485. Zároveň je z téměř rovnoměrně rozmístěných výběžků v histogramech vidět, že agenti tráví v systému podobný čas pro hodnoty v určitém intervalu. Dalo by se říci, že rozdělení zkoumané veličiny se podobá normálnímu, jeho odlišnosti však podle mého názoru odpovídají nastavení našeho experimentu. Lze si povšimnout pravého chvostu, který by mohl znamenat určitou chybu v experimentu, kterou by mohl být "zásek" agenta a jeho následné zpomalení. Taková chyba by mohla být způsobena neobvyklým rozložením agentů a kolizí sil působících na ně.



Obr. 6: Histogramy zobrazující strávený čas agentů v systému podle travelátorů