

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Projekt IMS, 2018

07 – Celulární automaty

Evakuace osob z budovy

09. prosince 2018

Autoři:

Witassek Pavel, xwitas00

Postulka Aleš, xpostu03

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Zdroje faktů	2
1.2	Ověření validity/funkčnosti	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	2
2.1	Popis použitých postupů	2
2.2	Původ použitých metod a technologií	2
3	Koncepce modelu	2
3.1	Pohyb osob	3
4	Architektura simulačního modelu	4
4.1	Třída Cell	4
4.2	Třída CA	4
4.3	Třída Image	5
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	5
5.1	Postup experimentování	5
5.2	Dokumentace jednotlivých experimentů	5
5.3	Závěr experimentů	10
6	Závěr	11
7	Literatura	12

1 Úvod

Tato práce vznikla v rámci projektu do předmětu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. V práci je popsán model ([1], slajd č. 7) celulárního automatu ([1], slajd č. 299), jehož úkolem je evakuace osob z budovy. Cílem práce je ověřit výsledky experimentů, které byly provedeny ve vědeckém článku [2], jejich zopakováním na vlastním modelu. Druhým cílem je návrh a provedení dalších experimentů. Konkrétně se jedná o experimenty evakuace osob ze dvou posluchářenských místností na Fakultě informačních technologií, konkrétně poslucháren E104 a E112.

Smyslem experimentů je demonstrovat rychlost evakuace v závislosti na počtu únikových východů a lidí v místnosti a výběr východu na základě vzdálenosti a počtu osob v okolí jednotlivých východů. Předmětem zkoumání je především grafický výstup zobrazující proces evakuace a čas potřebný k evakuaci osob z místnosti.

1.1 Zdroje faktů

Autory práce jsou Pavel Witassek a Aleš Postulka. Jako zdroje informací byly použity odborné publikace zabývající se problematikou evakuací osob a vědecké články zabývající se tvorbou celulárních automatů týkajících se této problematiky. Důvěryhodnost informací byla ověřována vyhledáním těchto informací v jiných odborných publikacích. [2][3][4] [5]

1.2 Ověření validity/funkčnosti

Ověřování validity bylo prováděno průběžně, a to opakováním experimentů z publikace [2] a porovnáváním výsledků těchto experimentů. Ověření nových experimentů bylo provedeno konzultací se studenty Fakulty stavební na VUT v Brně a kontrolou podle norem ČSN 73 0818 [6] a ČSN 73 0833 [7].

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

K vytvoření modelu evakuace osob je třeba znát údaje o lidech a jejich chování v krizových situacích. Člověk průměrně zabírá prostor o rozměrech 0.4 m x 0.4 m [2][4][5]. Průměrná rychlost chůze zdravého člověka po vodorovném povrchu je 1.25 m/s. Na schodišti se pak jedná o rychlost 0.7 m/s.[3]

2.1 Popis použitých postupů

Při práci byl využit objektově orientovaný jazyk C++. Tento jazyk je díky své rychlosti vhodný pro vytváření simulací, které mohou být výpočetně náročné a jazyk s nižší rychlostí výpočtů by mohl simulaci výrazně zpomalit.

K vizualizaci jednotlivých stavů celulárního automatu byla použita grafická knihovna OpenCV [8], ve které lze snadno implementovat vytváření jednoduchých obrázků.

2.2 Původ použitých metod a technologií

Pro implementaci celulárního automatu byly využity pouze standardní knihovny jazyka C++. U celulárních automatů je nejsložitější implementace pravidel přechodů. Tyto pravidla jsou rozdílná v každém celulárním automatu. Žádná knihovna navíc by tedy implementaci nějak výrazně nezjednodušila.

3 Koncepce modelu

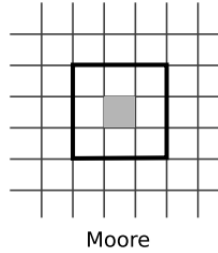
Cílem práce je simulace evakuace osob z posluchářenských místností E112 a E104 na Fakultě informačních technologií VUT v Brně. Simulace bude prováděna pomocí celulárního automatu.

Pro účely simulace byly vytvořeny zjednodušené 2D modely těchto místností, ve kterých jsou znázorněny jednotlivé řady lavic, katedra a únikové východy.

Každá buňka modelu reprezentuje plochu 0.4 x 0.4 metrů, tedy prostor, který průměrně zabírá jedna osoba. Časový krok modelu je stanoven na 0.4 vteřin.[2]

Každá buňka může být *prázdná*, *zed'*, *překážka*, *osoba* nebo *východ*. V modelu je použito Moorovo okolí ([1], slajd č. 300), tzn. že osoby se mohou přesunout do libovolné ze sousedních osmi buněk (Obrázek 1), aby se však mohli přesunout do vedlejší buňky, nesmí být tato buňka obsazena jiným člověkem, ale musí být prázdná.

Buňky typu *Vnější zed'* a typu *Překážka* nemění svůj stav po celou dobu simulace.



Obrázek 1: Moorovo okolí ([1], slajd č. 300)

3.1 Pohyb osob

Pravděpodobnost přechodu $P_{x,y}$ je vypočítávána následovně:

$$P_{x,y} = NM_{x,y} \quad (1)$$

$$N = \frac{1}{\sum M_{x,y}} \quad (2)$$

$$M_{x,y} = (1 - I_{x,y}) \frac{L_{min}}{L_{x,y}} \quad (3)$$

kde N je normalizační faktor, který zajišťuje, že součet $P_{x,y}$ osmi okolních buněk je 1. Parametr $L_{x,y}$ ($L_{x,y} \neq 0$) reprezentuje Euklidovskou vzdálenost [9] mezi sousední buňkou (x, y) a východem. $L_{min} = \min(L_{x,y})$. $\frac{L_{min}}{L_{x,y}}$ Označuje poměr mezi nejmenším $L_{x,y}$ a hodnotou $L_{x,y}$. $I_{x,y} = 0, 1$, kde 0 a 1 reprezentují, zda je buňka (x, y) volná, nebo obsazená. Po vypočtení všech hodnot $P_{x,y}$ je vybrána největší hodnota $P_{x,y}$. [2]

Pokud má místnost dva východy, je pravděpodobnost (E_i), že si člověk vybere východ ($i = 1$, nebo $i = 2$) je závislá na vzdálenosti člověka k východu a na hustotě davu v okolí tohoto východu. Tato pravděpodobnost se vypočítá následovně:

$$E_i = (1 - \alpha)p_1 + \alpha p_2 \quad (4)$$

$$p_1 = \begin{cases} \frac{D_{x,y}^2}{D_{x,y}^1 + D_{x,y}^2}, i = 1 \\ \frac{D_{x,y}^1}{D_{x,y}^1 + D_{x,y}^2}, i = 2 \end{cases} \quad (5)$$

$$p_2 = \begin{cases} 1 - \frac{N_k^1}{N_{sum}}, i = 1 \\ 1 - \frac{N_k^2}{N_{sum}}, i = 2 \end{cases} \quad (6)$$

kde α reprezentuje úroveň netrpělivosti lidí během evakuace. Jedná se o důležitý faktor při výběru východu.

$D_{x,y}^1$ a $D_{x,y}^2$ jsou vzdálenosti sousední buňky člověka k východům 1 a 2. N_k^1 a N_k^2 značí počet ostatních lidí, kteří

jsou blíže k jednotlivým východům než aktuální člověk. N_{sum} vyjadřuje počet osob v místnosti v každém časovém kroku.[2]

4 Architektura simulačního modelu

Počáteční stavy jednotlivých experimentů jsou definovány v adresáři *experiments*, kde je pro každý experiment vytvořen textový soubor. V těchto souborech je na prvním řádku specifikován počet buněk ve sloupci, počet buněk v řádku matice a hodnota α . Tyto hodnoty jsou odděleny mezerou. Na dalších řádcích souboru je poté pomocí hodnot s předem určeným významem vytvořena matice určující počáteční stav simulačního experimentu. Hodnoty v matici určují typ jednotlivých buněk. Význam hodnot ve vstupní matici:

- 0 – Prázdná buňka
- 1 – Zed'
- 2 – Překážka
- 3 – Osoba
- 4 – Východ

[illegible]

Obrázek 2: Ukázka souboru definujícího matici v počátečním stavu simulace (místnost E112)

4.1 Třída Cell

Tato třída reprezentuje buňku o rozměrech 40 x 40 cm. Nese informace o pozici buňky, o stavu typu buňky a o vzdálenosti buňky od jednotlivých východů.

4.2 Třída CA

Metoda `init()` načte data ze vstupního souboru, nastaví velikost matice buněk popisující aktuální stav celulárního automatu a podle hodnot v matici ze vstupního souboru nastaví typy jednotlivých buněk matice popisující aktuální stav celulárního automatu.

Metoda `generateNewState()` slouží jako přechodová funkce, která vypočítává nový stav modelu. Matice je během výpočtu procházena náhodně za účelem vyhnutí se chybám vznikajících při sekvenčním procházení matice.

Po zavolání metody `run()` se spustí simulace daného experimentu. Simulace probíhá tak dlouho, dokud je v místnosti alespoň jedna osoba. Během simulace je v cyklu volána metoda `generateNewState()`, která provádí výpočet nového stavu modelu, tedy výpočet stavu v modelovém čase $t+1$ ze stavu v modelovém čase t .

4.3 Třída Image

Tato třída slouží k vykreslování jednotlivých stavů modelu v průběhu simulace. K tomuto je využita grafická knihovna *OpenCV* [8].

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů je demonstrovat rychlost evakuace v závislosti na počtu únikových východů a lidí v místnosti a výběr východu na základě vzdálenosti a počtu osob v okolí jednotlivých východů. Předmětem zkoumání je především grafický výstup zobrazující proces evakuace a čas potřebný k evakuaci osob z místnosti.

5.1 Postup experimentování

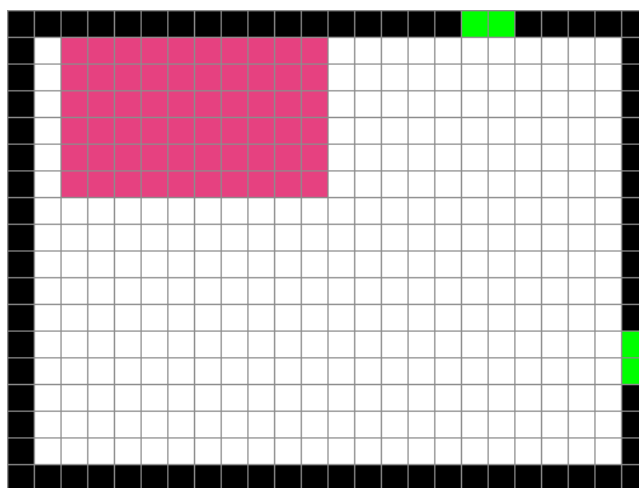
Byly provedeny čtyři experimenty, které opakovaly experimenty z článku [2], byly porovnány časy evakuací a sledování chování lidí. Dále bylo provedeno několik experimentů evakuace z poslucháren E112 a E104 jejichž výsledky byly konzultovány se studenty Fakulty stavební a kontrolovány pomocí ČSN 73 0818 [6] a ČSN 73 0833 [7].

5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

Experimenty z článku [2] byly prováděny v místnostech 24 x 18 buněk. Každá místnost měla dva východy o velikosti dvou buněk. V každém z těchto experimentů bylo v místnosti vždy 60 osob. Získané hodnoty času potřebného k evakuaci byly následně porovnány s hodnotami v článku.

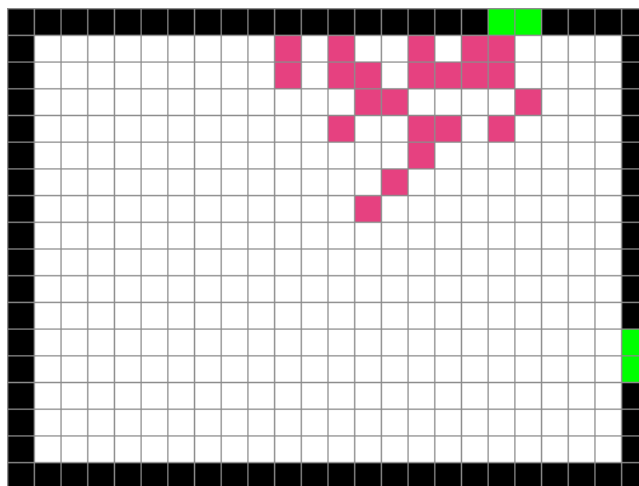
První dva experimenty měly úroveň netrpělivosti $\alpha = 0$. Ve zbývajících dvou experimentech pak byla $\alpha = 0.6$.

Experiment 1



Obrázek 3: Počáteční stav experimentu 1

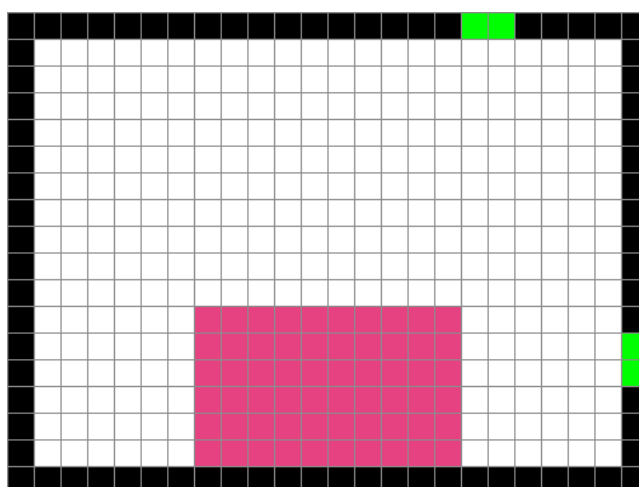
V tomto experimentu bylo umístěno 60 osob blíže východu, který je situován v horní pravé části místnosti (dále jako východ A). Parametr α byl nastaven na hodnotu 0, cílem bylo tedy ověřit, za jak dlouho dojde k evakuaci osob pouze na základě vzdálenosti k jednotlivým východům.



Obrázek 4: Stav experimentu 1 v čase 28 sekund

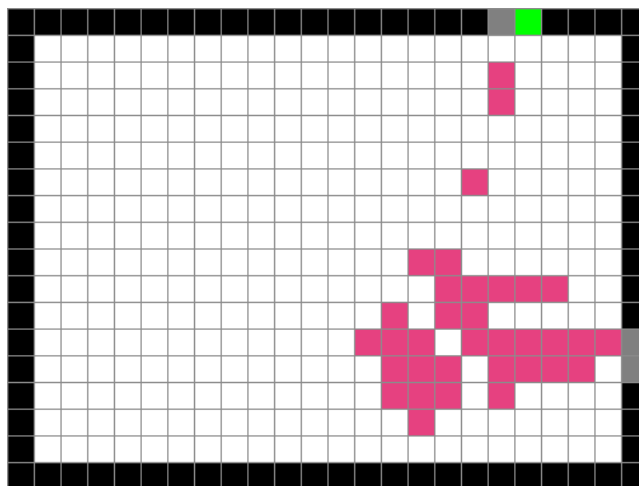
Celkový čas k evakuaci je přibližně 38 až 44 sekund, experiment potvrdil hodnoty v článku a potvrdil, že většina lidí využila nejbližší východ A, který je v počátečním stavu nejbližší všem osobám, pouze malé množství osob se v průběhu evakuace rozhodlo využít východ ve spodní části místnosti (dále jako východ B), protože když se přiblížili k východu A, zůstali stát ve frontě kolmo na východ A a vzdálenost k východu B se tím zároveň značně snížila a tedy se rozhodli využít v tomto okamžiku bližšího východu B.

Experiment 2



Obrázek 5: Počáteční stav experimentu 2

V tomto experimentu bylo umístěno znovu 60 osob. Tentokrát blíže východu, který je situován ve spodní pravé části místnosti (dále jako východ B). Parametr α byl nastaven opět na hodnotu 0, tedy cílem bylo opět ověřit, za jak dlouho dojde k evakuaci osob pouze na základě vzdálenosti k jednotlivým východům, v tomto případě je ovšem výchozí vzdálenost obou východů oproti experimentu 1 vyrovnanější pro část evakuovaných osob, ale východ B je pořád blíže a experiment má tedy simulovat evakuaci osob s větším využitím obou východů pouze na základě jejich vzdálenosti od dané osoby.

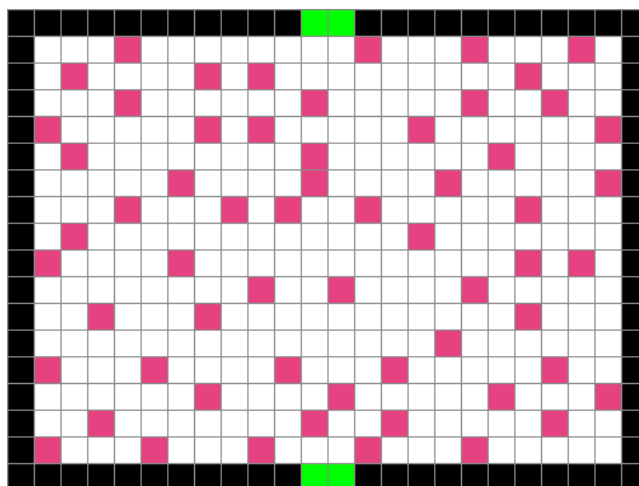


Obrázek 6: Stav experimentu 2 v čase 14 sekund

Celkový čas potřebný k evakuaci je přibližně 32 až 38 sekund, experiment potvrdil hodnoty v článku a potvrdil, že více než polovina lidí využila nejbližšího východu B, ale určité množství osob se v průběhu evakuace rozhodlo využít východ v horní části místnosti (dále jako východ A), protože když se přiblížili k východu B, přiblížili se zároveň k východu A. Obzvláště část lidí, která stála nejdále od východu B v počátečním stavu, se přibližováním k východu B zároveň přibližovala k východu A, protože se pokoušeli k východu B dostat shora.

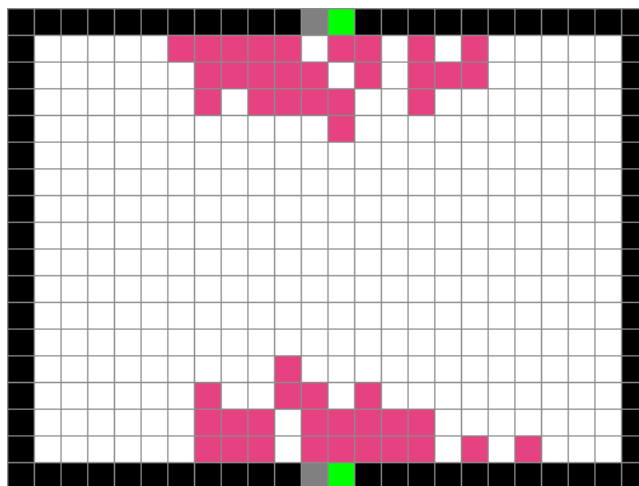
Tyto dva experimenty měly za cíl ověřit chování osob v modelu pouze na základě vzdálenosti, v dalších experimentech se budeme snažit ověřit chování s využitím nenulového parametru α .

Experiment 3



Obrázek 7: Počáteční stav experimentu 3

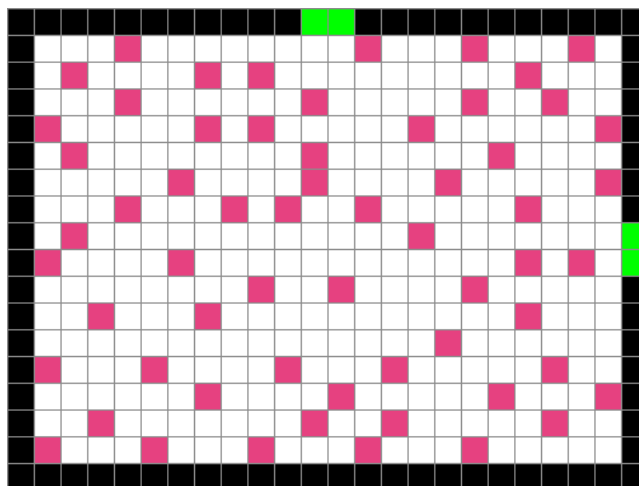
V tomto experimentu bylo do místnosti náhodně umístěno 60 osob a východy byly dány doprostřed zdí naproti sobě. Parametr α byl nastaven na hodnotu 0.60. Cílem bylo ověřit, že budou oba východy rovnoměrně využívány a dojde k rozdělení osob dle vzdálenosti na 2 poloviny, v tomto experimentu byla očekávána nižší doba potřebná k evakuaci než v případě následujícího experimentu, což experiment potvrdil.



Obrázek 8: Stav experimentu 3 v čase 2.4 sekundy

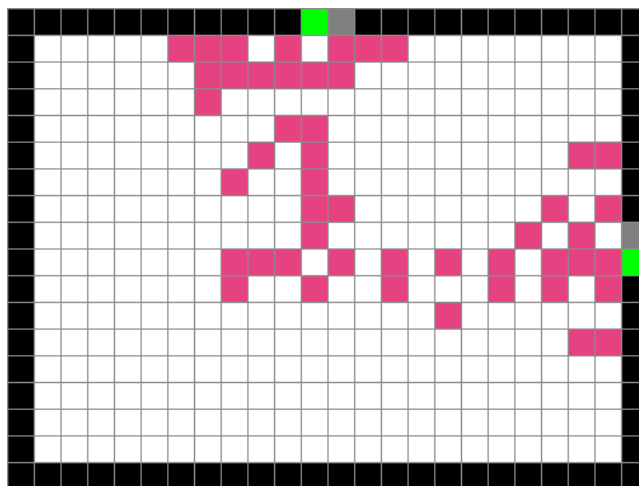
Doba potřebná k evakuaci osob v tomto případě je v rozmezí 15-18 sekund, což odpovídá referenčnímu článku. Dále se potvrdilo, že došlo k rozdělení osob na 2 skupiny, což jde vidět i na obrázku (8).

Experiment 4



Obrázek 9: Počáteční stav experimentu 4

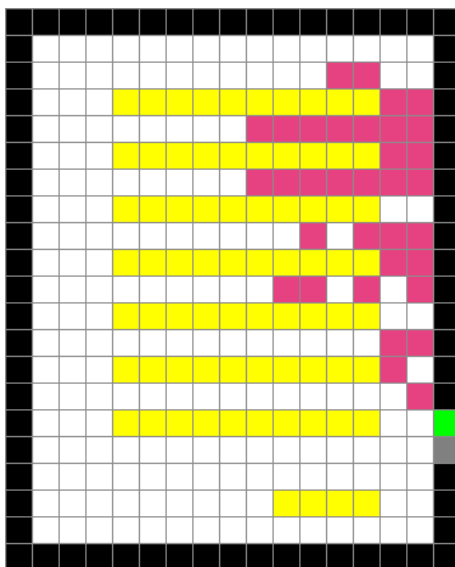
Cílem tohoto experimentu je ověřit předpoklad, že dva východy umístěné do přibližných středů sousedních stěn prodlouží čas potřebný k evakuaci všech osob z místnosti. Parametr α byl nastaven na hodnotu 0.60. Jedná se o poslední experiment na ověření referenčních výsledků z článku [2] a ověření validity modelu před provedením vlastních experimentů na místnostech Fakulty informačních technologií.



Obrázek 10: Stav experimentu 4 v čase 4 sekundy

Doba potřebná k evakuaci osob v tomto případě je v rozmezí 16-24 sekund, což odpovídá referenčnímu článku. Experiment dále potvrdil, že parametr $\alpha = 0.6$ způsobil, že došlo ke snížení času potřebného k evakuaci oproti $\alpha = 0.0$ a v grafickém výstupu bylo možné pozorovat přebíhání lidí k východu, u kterého bylo méně lidí.

Experiment 5

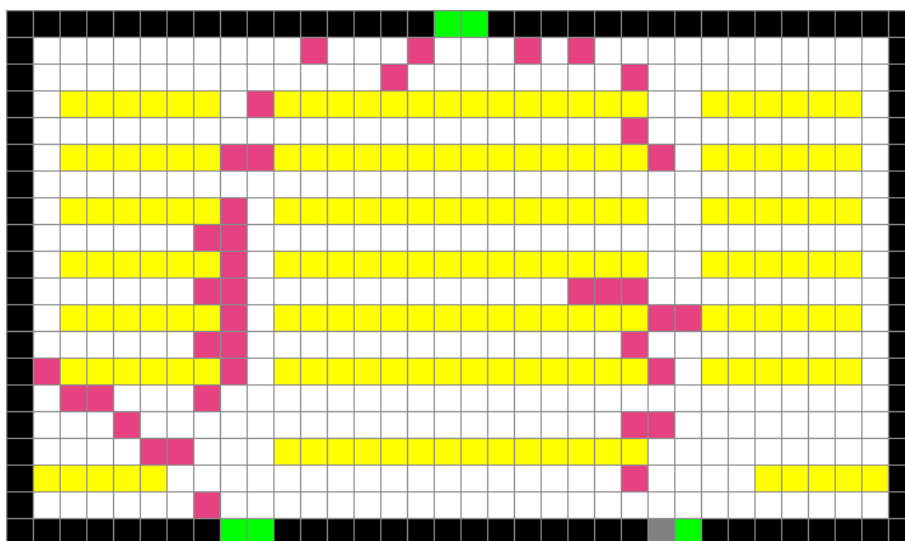


Obrázek 11: Stav experimentu 5 - plná učebna, pouze jeden východ v čase 24 sekund

Cílem tohoto experimentu je zjistit, jak by se prodloužila doba potřebná k evakuaci lidí v případě, že by jeden z východů nebylo možné použít. V tomto experimentu je počítáno s tím, že v případě obou východů lidé budou přebíhat, aby se dostali co nejdříve ven z místnosti dle aktuální obsazenosti jednotlivých východů, proto je parametr $\alpha = 0.6$. Učebna E104 má kapacitu 70 osob, s touto kapacitou je proveden tento experiment.

V případě, že jsou oba východy volné, osoby zvládnou opustit učebnu přibližně za 24 sekund. Pokud je v učebně 41 lidí, tedy o něco více než polovina kapacity učebny, a je funkční pouze jeden východ je doba potřebná k opuštění učebny přibližně o 1.5 sekundy vyšší, tedy 25.5 sekund je potřeba k opuštění učebny všemi osobami. Ovšem čas potřebný k opuštění učebny při její plné kapacitě, ale pouze s jedním východem je skoro dvojnásobný, 38 sekund. Z experimentu vyplývá zřejmá závislost množství lidí v učebně na množství východů z učebny, aby v případě nutnosti evakuace nedošlo k nadměrnému zdržení a ohrožení osob, je proto potřeba zajistit funkčnost obou východů nebo omezit kapacitu učebny na 40 osob v případě zjištění nefunkčnosti jednoho z východů.

Experiment 6



Obrázek 12: Stav experimentu 6 - plná učebna s novým východem v čase 30 sekund

Cílem tohoto experimentu je zjistit, jaký vliv by mělo přidání dalšího východu do učebny E112 na čas potřebný k evakuaci všech osob z učebny. V tomto experimentu je počítáno s tím, že lidé budou přebíhat mezi východy, aby se dostali co nejdříve ven z místnosti dle aktuální obsazenosti jednotlivých východů, proto je parametr $\alpha = 0.6$. Učebna E112 má kapacitu 157 osob, s touto kapacitou je proveden tento experiment.

V případě přidání dalšího východu do vrchní části učebny přibližně uprostřed stěny, dojde u výpočtu vzdálenosti k jednotlivým východům pomocí Euklidovské vzdálenosti k uvážnutí části osob v předposlední prostřední řadě, což ovšem není správně. Tento jev nastal z důvodu, že jejich vzdálenost k východu je na obě strany řady větší z toho důvodu, že algoritmus výpočtu vzdálenosti počítá přímou vzdálenost a nezapočítává tak překážky, pro tento případ je tedy vhodné zvolit jinou metodu výpočtu vzdálenosti. My jsme zvolili výpočet vzdálenosti pomocí Dijkstrova algoritmu [9], který je využíván pro výpočet nejkratší cesty v grafech. Dijkstrův algoritmus má na místnosti E112 při plném obsazení a dvou východech stejné výsledky času evakuace jako při výpočtu vzdálenosti pomocí Euklidovské vzdálenosti.

V případě stávajících dvou východů je čas potřebný k opuštění učebny všemi studenty přibližně 66 sekund, pokud by ovšem existoval další východ v horní části učebny, došlo ke snížení času potřebného k evakuaci osob přibližně na 43 sekund. Pokud by ovšem nový východ byl umístěn v boční stěně přibližně uprostřed, tak by čas nutný k evakuaci byl 51 sekund, lze tedy vidět důležitost umístění jednotlivých východů v závislosti na potřebném čase k evakuaci osob, protože jinak začnou osoby přebíhat přes celou učebnu a budou tak prodlužovat čas evakuace oproti vhodnějšímu umístění východů.

5.3 Závěr experimentů

Bylo provedeno celkem 6 experimentů, z toho 4 experimenty byly provedeny kvůli porovnání výsledků s výsledky v referenčním článku a pak 2 vlastní experimenty. Dosažené výsledky tímto simulačním modelem jsou skoro stejné, jako výsledky experimentu v referenčním článku. Při posledním experimentu se projevila nevhodnost Euklidovské vzdálenosti při umístění východu blízko osobám, které jsou za překážkou a byla nahrazena výpočtem vzdálenosti pomocí Dijkstrova algoritmu. Podařilo se zopakovat experimenty z referenčního článku, které mají téměř shodné výsledky a z experimentů lze tedy odvodit chování systému s dostatečnou věrohodností. V průběhu experimentů se ukázal vliv počtu a umístění východů na čas potřebný k evakuaci, stejně jako byl ukázán vliv počtu osob.

6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a implementovat model celulárního automatu pro evakuaci osob z budovy podle článku [2]. Výsledky experimentů s vytvořeným modelem se téměř shodují s výsledky experimentů uvedených v tomto článku. Z výsledků experimentů vyplývá, že počet a rozmístění východů má značný vliv na čas potřebný k evakuaci osob. V průběhu experimentování bylo zjištěno, že v místnostech s překážkami je vhodnější použití Dijkstrova algoritmu pro výpočet vzdálenosti než Euklidovská vzdálenost.

Výsledkem projektu je nástroj pro simulaci evakuace osob z budov. Tento nástroj je implementován v jazyce C++ a k vizualizaci průběhu simulace využívá knihovnu OpenCV [8].

7 Literatura

- [1] PERINGER, H. M. *Modelování a simulace* [online]. 2018-11-22 [cit. 2018-12-9]. Dostupné na: <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>>.
- [2] FU, L., FANG, J., CAO, S. et al. A Cellular Automaton Model for Exit Selection Behavior Simulation during Evacuation Processes. *Procedia Engineering*. 2018. S. 169–175. ISSN 1877-7058.
- [3] *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3. vyd. Quincy, Massachusetts, Bethesda, Maryland: National Fire Protection Association, Society of Fire Protection Engineers, 2002. ISBN 087765-451-4.
- [4] BURSTEDDE, C., KLAUCK, K., SCHADSCHNEIDER, A. et al. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2001. S. 507–525. ISSN 0378-4371.
- [5] YUAN, W. a TAN, K. H. An evacuation model using cellular automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2007, roč. 384, è. 2. S. 549–566. ISSN 0378-4371.
- [6] ČSN 73 0818 (730818) *A Požární bezpečnost staveb. Obsazení objektů osobami*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [7] ČSN 73 0833 (730833) *N Požární bezpečnost staveb. Budovy pro bydlení a ubytování*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [8] *OpenCV library* [online]. 2018. Dostupné na: <<https://opencv.org>>.
- [9] LI, F. a KLETTE, R. *Euclidean Shortest Paths*. 1st Edition. Germany: Springer Verlag, 2011. ISBN 1447122550.