



Simulačná štúdia

Šírenie vírusu COVID-19

Variant 1: Epidemiologické modely pomocí celulárných automatů

7. decembra 2020

Martin Novotný Mlinárčsik (xnovot1r)
Damián Krajňák (xkrajn03)

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Autori, zdroje	1
1.2	Overenie validity	1
2	Rozbor témy a použitých technológií	2
2.1	Použitie postupy	2
2.2	Popis pôvodu použitých technológií	2
3	Koncepcia modelu	3
4	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	4
4.1	Použitie simulátora	4
4.2	Experiment 1	4
4.3	Experiment 2	5
4.4	Experiment 3	5
4.5	Experiment 4	6
5	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	6
6	Prílohy	7
6.1	7

1 Úvod

Táto práca sa zaoberá problematikou šírenia vírusového ochorenia COVID-19 na lodi Diamond Princess. Pre daný systém[4, p. 7] bol navrhnutý a implementovaný model[4, p. 7], ktorý vychádzal z modelu šírenia chrípky[1]. Z článku[3] uverejnenom na webovej stránke Svetovej Zdravotníckej Organizácie(WHO) sme získali informácie, že chrípka a COVID-19 majú veľmi podobné symptómy, prenášajú sa rovnakým spôsobom a k ich šíreniu môžu zabrániť rovnaké opatrenia. Preto sme sa rozhodli tento model reimplementovať, s niekoľkými úpravami, aby bol čo najviac validný vzhľadom na systém, ktorým sa táto práca zaoberá. Tento model bol upravený pre simuláciu[4, p. 8] šírenia vírusu COVID-19 na výletnej lodi Diamond Princess[5] v časovom intervale 5.-20 Február 2020. Tento časový interval bol zvolený z dôvodu, že podrobné informácie o dennom prírastku počtu nakazených v ostatných dňoch, nie sú dopátrateľné, no v tomto 16-dennom intervale, sú tieto informácie s výnimkou 2 dní detailné.

Účelom tejto práce, je experimentálne overiť efektívnosť opatrení proti šíreniu vírusu COVID-19. Simulačné výsledky slúžia na získavanie poznatkov o efektívnosti aplikovaných opatrení, ktoré budú skúmané a popísané v ďalších kapitolách. Cieľom práce je poukázať na opatrenia, ktoré môžu pomôcť spomaliť šírenie tohto vírusového ochorenia, s potenciálom budúceho uplatnenia aj pri iných vírusových ochoreniach.

1.1 Autori, zdroje

Autormi práce sú študenti Martin Novotný Mlinárčsik a Damián Krajňák z FIT VUT v Brně.

K technickej časti tejto práce boli využité zdroje z kurzu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně[4]. Ako zdroj faktov o priebehu šírenia COVIDu-19 na výletnej lodi Diamond Princess slúžila práca[5] uvedená v citáciách. Ako zdroj informácií o efektívnosti nosí rúšok a dodržiavania povinných rozstupov slúžila takisto práca[2] uvedená v citáciách. Konceptuálny model[4, p. 48] popisujúci daný systém je obsiahnutý v práci[1](takisto v citáciách).

1.2 Overenie validity

Overovanie validity[4, p. 37] modelu prebiehalo konfrontovaním simulačných výsledkov so zaznamenanými faktami, popisujúcimi priebeh šírenia vírusu na lodi Diamond Princess[5]. Na základe podobnosti týchto záznamov s našimi simulačnými výsledkami, sme označili tento model za validný.

2 Rozbor témy a použitých technológií

Model šírenia COVID-19 je založený na všeobecnom modeli šírenie vírusových ochorení[1]. Tento model sme pre účely tejto práce upravili tak, aby korešpondoval s priebehom ochorenia COVID-19 na výletnej lodi Diamond Princess[5], na ktorý sme sa zamerali. Každá bunka celulárneho automatu[4, p. 299], má pravdepodobnosť infekcie $P_{infect} = 1 - (1-p)^R$, kde p predstavuje pravdepodobnosť, že infikovaná bunka prenesie ochorenie na zdravú bunku a R predstavuje počet susediacich buniek danej bunky. Práve úpravou koeficientu p na hodnotu 0.16, sme dosiahli pravdepodobnosť, že bunka prenesie ochorenie na zdravú bunku, na hodnotu odpovedajúcu ochorenie COVID-19.

Informácie o priebehu šírenia ochorenia na lodi Diamond Princess v čase od 5. Februára do 20. Februára 2020, sme získali zo štúdie uvedenej v citáciach tejto práce[5]. Na lodi sa v tomto časovom intervale nachádzalo vyše 3700 ľudí. Konkrétne denné prírastky nakazených sú uvedené nižšie, v sekcii experimentov.

Informácie o vplyve opatrení ako sú nosenie ochranných rúšok a povinné rozostupy, sme získali zo štúdie uvedenej v citáciach práce[2]. Nosenie rúšok podľa tejto štúdie redukuje pravdepodobnosť prenosu vírusu z človeka na šloveka v priemere až o 65%. Povinné rozostupy medzi ľuďmi, redukovávajú pravdepodobnosť nakazenia v priemere až o 90%.

2.1 Použité postupy

Ako implementačný jazyk sme zvolili jazyk C++, pretože disponuje dátovými štruktúrami, ktoré v jazyku C absentujú. Takisto je pre nás jazyk C++ subjektívne príjemnejší na používanie, v porovnaní s jazykom C.

2.2 Popis pôvodu použitých technológií

V práci boli použité štandardné triedy a funkcie jazyka C++¹(štandard C++14). K prekladu zdrojového kódu bol použitý nástroj GNU Make².

¹<https://www.cplusplus.com/>

²<https://www.gnu.org/software/make/>

3 Koncepcia modelu

Táto práca sa zaoberá šírením vírusového ochorenia COVID-19 na výletnej lodi Diamond Princess v čase od 5. februára do 20. februára 2020. Keďže model, ktorý popisuje systém priebehu šírenia vírusu implementujeme pomocou celulárneho automatu, poterbovali sme celú plochu lode rozdeliť na jednotlivé bunky[4, p. 299]. Keďže model, ktorým bol tento celulárny automat inšpirovaný[1], vychádza z predpokladu, že na každej bunke sa nachádza práve jedna osoba, rovnako sme k tomu prisúpili aj v našom modeli. V čase od 5. februára do 20. februára sa na palube lodi nachádzalo vyše 3700 osôb(presné číslo nie je dopátrateľné). Preto sme náš celulárny automat prispôbili rozmerom 61x61. V našom modeli sme z dôvodu veľmi detailnej a zložitej členitosti lode, zanedbali jej tvar, a uvažovali sme nad ňou ako nad plochou v jednej rovine.

5. februára bolo na palube lode Diamont Princess 10 potvrdených pozitívnych prípadov testovania na COVID-19[5]. Preto náš model začína s náhodne rozmiestnenými 10 ľuďmi po celej palube lodi. Jednotkou času (krokom) je v našej simulácii 1 deň. Simulácia prebieha 24 dní. Pravdepodobnosť bunky, že bude infikovaná vyjadruje vzťah $P_{infect} = 1 - (1-p)^R$ [1], kde p predstavuje pravdepodobnosť, že infikovaná bunka prenesie ochorenie na zdravú bunku a R predstavuje počet susediacich buniek danej bunky. hodnota p bola nastavená na hodnotu 0.16, aby to odpovedalo šíreniu vírusu COVID-19.

Aplikovanie opatrení proti šíreniu ochorenia, sme implementovali znížením parametra p (pravdepodobnosť, že infikovaná bunka prenesie ochorenie na zdravú bunku), podľa koeficientu, získaného zo štúdie zaoberajúcej sa vplyvom nosenia ochranných masiek a povinných rozstupov[2]. Ak sme simulovali priebeh šírenia COVIDu-19 s predpokladom nosenia ochranných rúšok, koeficient p sme znížili podľa získaných informácií o 65%. Ak sme simulovali priebeh šírenia COVIDu-19 s predpokladom dodržiavania povinných rozstupov, tento koeficient sme znížili o 90%(takisto podľa informácií, získaných zo štúdie[2]). Pri simulácii priebehu šírenia COVIDu-19 s predpokladom nosenia ochranných rúšok a zároveň dodržiavania povinných rozstupov, tento koeficient sme snížili najprv o 65%(rúška) a následne o 90%(rozstupy).

4 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou experimentov bolo najprv overiť validitu modelu, následne upraviť vstupné podmienky, aby bol model čo najviac podobný skutočnému systému. Ďalším cieľom experimentov bolo zistiť, aký dopad má uplatnenie rôznych opatrení proti šíreniu vírusu na simulačné výsledky. Experimenty spočívali najprv v samotnom porovnaní záznamov zo skutočného priebehu šírenia vírusu na lodi, s výstupmi našej simulácie. Ďalšie experimenty simulovali najprv uplatnenie ochranných rúšok, následne dodržiavanie povinných rozostupov a nakoniec kombinácia týchto dvoch opatrení. Celkom sme teda vykonali 4 experimenty, z toho každý sme vykonali 10-krát, a výstupy týchto simulácií sme zpriemerovali.

4.1 Použitie simulátora

make - preloženie programu

make clean - odstránenie súborov vytvorených príkazom *make*

make run - spustenie programu

make masks - spustenie programu s parametrami odpovedajúcimi experimentu č.2

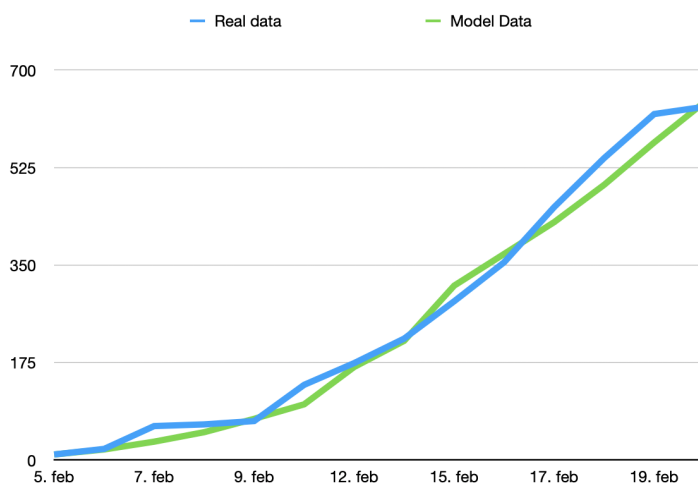
make distancing - spustenie programu s parametrami odpovedajúcimi experimentu č.3

make masks_and_distancing - spustenie programu s parametrami odpovedajúcimi experimentu č.4

Pri spustení simulácie pomocou *make run* je na štandardný výstup vypísaný výstup troch experimentov ktoré sú oddelené.

4.2 Experiment 1

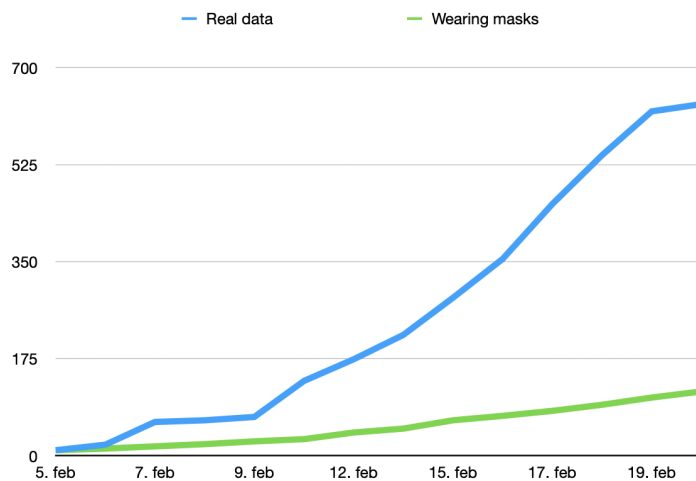
Tento experiment slúži na overenie validity modelu. Na základe vysokej podobnosti kriviek zobrazujúcich celkový počet nakazených za jednotlivé dni, sme označili náš model za validný a boli sme preto schopný pristúpiť k ostatným experimentom.



Obr. 1: Skutočné dát vs. Simulačné výstupy

4.3 Experiment 2

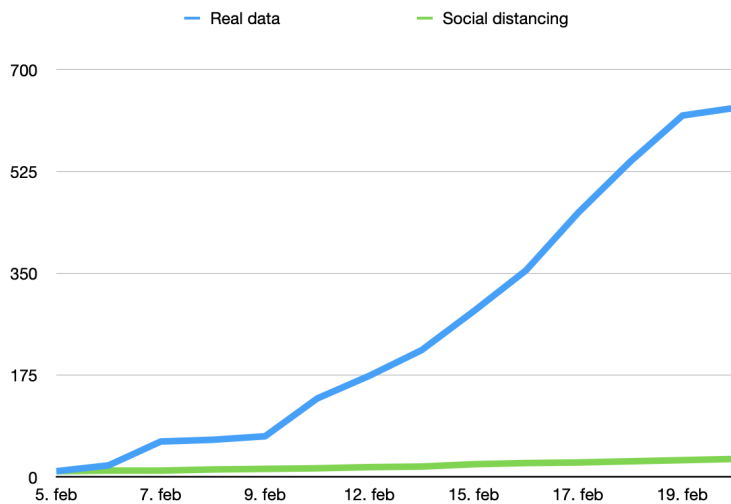
Tento experiment simuluje šírenie vírusu na lodi, s predpokladom, že každý človek nosí neustále rúško.



Obr. 2: Skutočné dáta vs. simulačné výstupy s rúškamia.

4.4 Experiment 3

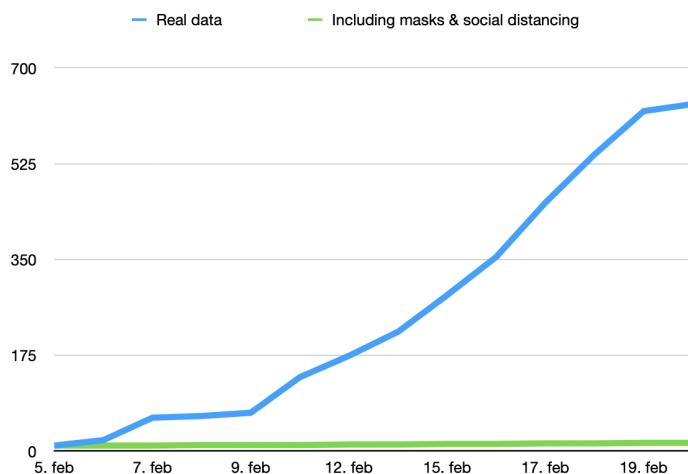
Tento experiment simuluje šírenie vírusu na lodi, s predpokladom, že každý človek dodržiava povinné roroz-
tupy.



Obr. 3: Skutočné dáta vs. simulačné výstupy s povinnými rozostupmi.

4.5 Experiment 4

Tento experiment simuluje šírenie vírusu na lodi, s predpokladom, že každý človek nosí neustále rúško a zároveň dodržiava povinné rozostupy.



Obr. 4: Skutočné dáta vs. simulačné výstupy s rúškami a povinnými rozostupmi.

5 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Experiment č.1 dokazuje, že náš model, môžeme považovať za validný. Na základe toho, sme mohli pristúpiť k ostatným experimentom, simulujúcim priebeh šírenia vírusu COVID-19, za predpokladu dodržiavania daných opatrení proti jeho šíreniu.

Zo simulačného experimentu č.2 jasne vidieť pokles denným prírastkom nakazených, vplyvom nosenia ochranných rúšok. Posledný deň simulácie je miera nakazených v priemere nižšia až o 92%.

Simulačný experiment č.3 dokazuje, že efektívnejším spôsobom spomalenia šírenia vírusu je dodržiavanie povinných rozostupov. Toto opatrenie znižuje mieru nakazených v poslednom dni simulácie v priemere až o 95%.

Avšak, najúčinnnejším spôsobom spomalenia šírenia vírusu je pochopiteľne kombinácia oboch opatrení. Simulačný experiment č.4 dokazuje že pri dodržaní povinných rozostupov v kombinácii s nosením rúšok, klesá miera rozšírenia vírusu v posledný deň simulácie v priemere až o 98%.

Výsledky simulačných experimentov nielen dokázali validitu modelu, takisto však potvrdili hypotézu, že nosenie rúšok a dodržiavanie povinných rozostupov má značný vplyv na rýchlosť šírenia vírusového ochorenia COVID-19.

6 Přílohy

6.1

	Real data	Model Data
5. feb	10	10
6. feb	20	19
7. feb	61	33
8. feb	64	50
9. feb	70	74
10. feb	135	100
12. feb	174	167
13. feb	218	214
15. feb	285	313
16. feb	355	370
17. feb	454	427
18. feb	542	494
19. feb	621	570
20. feb	634	642

Obr. 5: Experiment č.1, celkový počet nakazených v dané dni

	Real data	Model data (mask)
5. feb	10	10
6. feb	20	13
7. feb	61	17
8. feb	64	21
9. feb	70	26
10. feb	135	30
12. feb	174	42
13. feb	218	49
15. feb	285	64
16. feb	355	72
17. feb	454	81
18. feb	542	92
19. feb	621	105
20. feb	634	116

Obr. 6: Experiment č.2, celkový počet nakazených v dané dni

	Real data	Model Data (SD)
5. feb	10	10
6. feb	20	11
7. feb	61	11
8. feb	64	13
9. feb	70	14
10. feb	135	15
12. feb	174	17
13. feb	218	18
15. feb	285	22
16. feb	355	24
17. feb	454	25
18. feb	542	27
19. feb	621	29
20. feb	634	31

Obr. 7: Experiment č.3, celkový počet nakazených v dané dni

	Real data	Model Data (SD&M)
5. feb	10	10
6. feb	20	10
7. feb	61	10
8. feb	64	11
9. feb	70	11
10. feb	135	11
12. feb	174	12
13. feb	218	12
15. feb	285	13
16. feb	355	13
17. feb	454	14
18. feb	542	14
19. feb	621	15
20. feb	634	15

Obr. 8: Experiment č.4, celkový počet nakazených v dané dni

Citácie

- [1] Sharon Chang. “Cellular Automata Model for Epidemics”. In: (2008).
- [2] Derek K Chu et al. “Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis”. In: *The Lancet* (2020).
- [3] World Health Organization et al. *Coronavirus disease (COVID-19): similarities and differences with influenza*. 2020.
- [4] Petr Peringer a Martin Hrubý. “Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně”. In: (22. listopad 2018). [vid. 2018-12-05]. URL: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [5] Takuya Yamagishi et al. “Descriptive study of COVID-19 outbreak among passengers and crew on Diamond Princess cruise ship, Yokohama Port, Japan, 20 January to 9 February 2020”. In: *Eurosurveillance* 25.23 (2020), s. 2000272.