

Automat komórkowy

Symulacja rozwoju epidemii na podstawie pandemii SARS-Cov-2 w Nowej Zelandii

wykonali:

Nadia Jamrozik
Iga Chudzikiewicz
Bartłomiej Burda

Wstęp:

Celem ćwiczenia było zrealizowanie prostej aplikacji symulacyjnej, modelującej przebieg epidemii. Jest to automat polimorficzny, model podlega na kalibracji w oparciu o zebrane dane rzeczywiste. Należało wykorzystać do tego środowisko programistyczne MATLAB.

Ogólne założenia ćwiczenia:

Stany automatu:

• $Q = Q1 \times Q2$

• $Q1 = \{\text{no_security_measures, infecting, self_protecting, protecting_others, organizing_protection}\}$

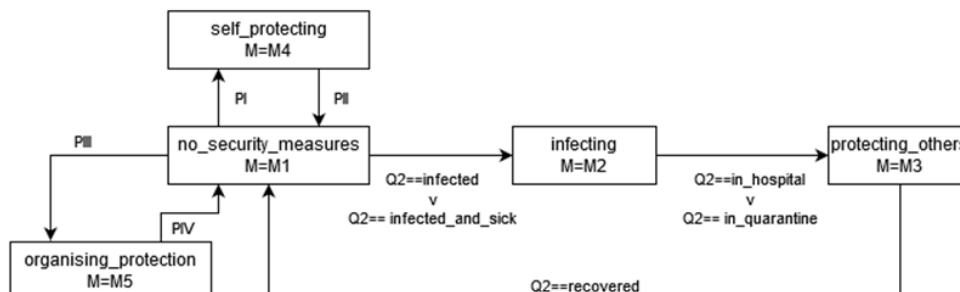
• $Q2 = \{\text{healthy, in_quarantine, infected, sick, infected_and_sick, in_hospital, recovered, dead}\}$

Założenia:

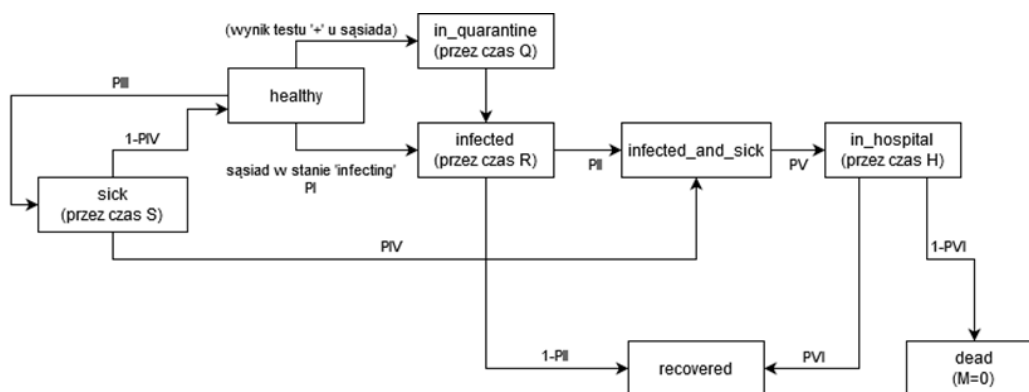
- Jedna komórka = jedna osoba
- Osoby poruszają się po zdefiniowanej siatce
- Zakażenie wirusem może nastąpić w przypadku, gdy sąsiedzi są nim zainfekowani (z zadaniem prawdopodobieństwem)
- Stany komórek $Q = Q1 \times Q2$
- Stan $Q1$ wpływa na poruszanie komórki i zarażanie innych
- Stan $Q2$ to stan zdrowia danego osobnika

Wykonanie ćwiczenia:

W celu realizacji ćwiczenia, należało wykorzystać zadane stany automatu Q1 oraz Q2:



Schemat 1. Stany automatu Q1.



Schemat 2. Stany automatu Q2.

Charakterystyka wybranego kraju:

Jako państwo służące do wykonania symulacji bardziej realną wybraliśmy Nową Zelandię, gdzie od ponad roku trwa pandemia SARS-Cov-2.

Państwo to jako wyspa świetnie radzi sobie z pandemią. Na prawie 5 milionową populację **dziennie przypada średnio 5 przypadków** (co stanowi 0,000001% ludności). Mimo to lekkie ograniczenia w poruszaniu się są nałożone praktycznie bez przerwy począwszy od miesiąca po wykryciu pierwszego przypadku. Wykrycie większej ilości przypadków jednego dnia skutkuje prawie natychmiastowym wprowadzeniem pełnego lockdownu. Dodatkowo od początku pandemii Nowa Zelandia posiada zawieszony loty, a granice są prawie całkowicie zamknięte.

Skutkuje to nie tylko bardzo małą ilością zakażeń, ale także faktem, że prowadzona polityka testowania nie ma większego znaczenia (w przeciwieństwie do np. Polski, gdzie zdarza się nawet 25% testów pozytywnych). W Nowej Zelandii na wykonanych

do dnia 11.04.2021r. **1 942 141** testów pozytywny wynik wskazało jedynie **3025** z nich co daje **0.16%** testów pozytywnych.

Dokładne statystyki dotyczące przebiegu pandemii w Nowej Zelandii, znajdują się w załączonym pliku excel.

Zaimplementowana aplikacja symulacyjna:

Zgodnie z logiką zadanych stanów automatów, w pliku *Person.m* utworzono funkcje odpowiadające za prawidłowe przejścia pomiędzy stanami.

Przy pomocy programowania obiektowego w środowisku Matlab, utworzono funkcje:

- ❑ *ManageInfectedNeighbour* - jest to funkcja sprawiająca, że gdy dana zdrowa osoba napotka w swoim otoczeniu osobę będącą w stanie 'infecting' to sama może pójść na kwarantannę lub zostać zakażona.
- ❑ *ManageSick* - funkcja determinująca, że osoba posiadająca inną chorobę może wyzdrowieć albo zostać dodatkowo zainfekowana.
- ❑ *ManagePersonInQuarantine* - funkcja powoduje, że osoba objęta kwarantanną zostaje zakażona
- ❑ *ManageInfectingPerson* - funkcja sprawiająca, że osoba zarażona może: bardziej się rozchorować, pójść do szpitala lub wyzdrowieć.
- ❑ *ManagePersonFromHospital* - funkcja definiująca stan, mówiący że osoba przebywająca w szpitalu może stać się zdrowa lub umrzeć.
- ❑ *ManageHealthy* - funkcja odpowiedzialna za przejście ze stanów: osoba zdrowa może stać się chora na chorobę inną niż koronawirus

Regulowane parametry początkowe:

Wielkość symulacji:

- ❑ *grid_size* - wielkość siatki
- ❑ *people_nr* - liczba osób
- ❑ *initial_infected_number* - początkowa liczba zainfekowanych osób

Prawdopodobieństwo przejścia do danego stanu:

- ❑ *P_health_infected* - prawdopodobieństwo bycia zarażonym covid19
- ❑ *P_health_sick* - prawdopodobieństwo zarażenia się inną chorobą
- ❑ *P_sick_more* - prawdopodobieństwo, że osoba chora zostanie zakażona
- ❑ *P_infected_sick* - prawdopodobieństwo bycia jednocześnie zarażonym oraz z cięższymi objawami
- ❑ *P_dead* - prawdopodobieństwo śmierci od koronawirusa
- ❑ *P_hosp* - prawdopodobieństwo trafenienia do szpitala

Testowanie poprawności aplikacji symulacyjnej:

Sposób weryfikacji poprawności przejść między stanami:

```
-----  
Iteration 1  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the people met infected person and should go to quarantine  
In hospital: 0, Dead: 0, Recovered: 0, Healthy: 988, Infected and sick: 0  
In quarantine: 1, Sick: 5, Infected: 6  
-----  
Iteration 2  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
In hospital: 0, Dead: 0, Recovered: 0, Healthy: 983, Infected and sick: 0  
In quarantine: 1, Sick: 10, Infected: 6  
-----  
Iteration 3  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
One of the healthy people got sick  
In hospital: 0, Dead: 0, Recovered: 0, Healthy: 976, Infected and sick: 0  
In quarantine: 1, Sick: 17, Infected: 6  
-----
```

Powyższy obraz przedstawia zrzut z konsoli MATLAB, w której przy każdej iteracji wyświetlana jest ilość osób znajdujących się w danych stanach, a także poszczególne przejścia między stanami jak na przykład “one of the healthy people got sick”.

Analizując poszczególne iteracje dla różnych wartości prawdopodobieństw oraz dużo mniejszej populacji pozwoliło nam osądzić o poprawności działania algorytmu.

Symulacja

Przyjęte parametry symulacji:

% probability of transition to state

P_health_infected=0.4;

P_sick_more = 0.02;

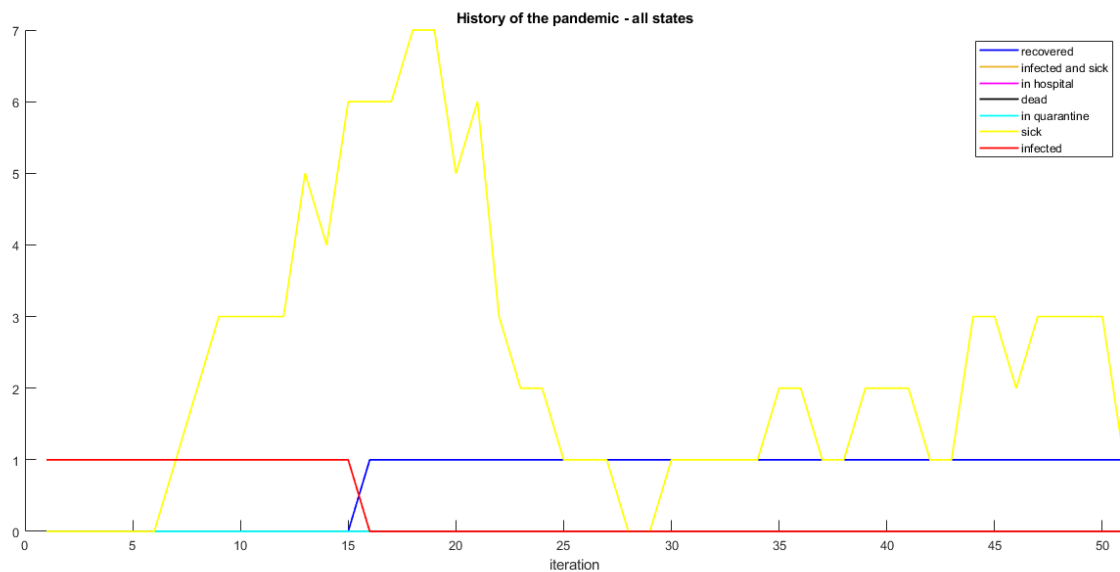
P_health_sick = 0.0005;

P_infected_sick = 0.1;

P_dead = 0.05;

P_hosp = 0.1;

Wyniki symulacji:



Przeprowadzona symulacja ze względu na ograniczenia sprzętowe została przeprowadzona na 1000 osób. Przy takiej skali dzienna ilość zakażeń w Nowej Zelandii powinna być bardzo bliska 0. Ilość śmierci i osób przebywających z powodu zakażenia w szpitalu powinna być jeszcze mniejsza. Powyższy wykres niewiele mówi o poprawności działania symulacji mimo, że poprawnie obrazuje (w skali około 1:5000) przebieg pandemii w Nowej zelandii.

Dlatego kolejne symulacje wykonane zostaną wciąż dla 1000 osobników, lecz tym razem odwzorowana względem Nowej Zelandii zostanie ilość zakażonych oraz martwych osób - nie średnia osób (skala zostanie zaburzona).

Symulacja

Przyjęte parametry symulacji:

% probability of transition to state

$P_{health_infected} = 0.6;$

$P_{sick_more} = 0.1;$

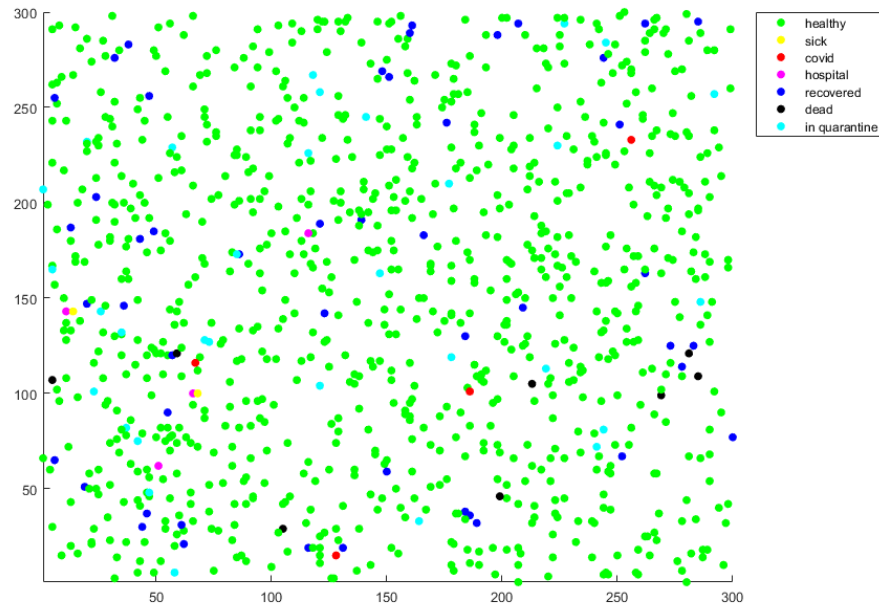
$P_{health_sick} = 0.005;$

$P_{infected_sick} = 0.1;$

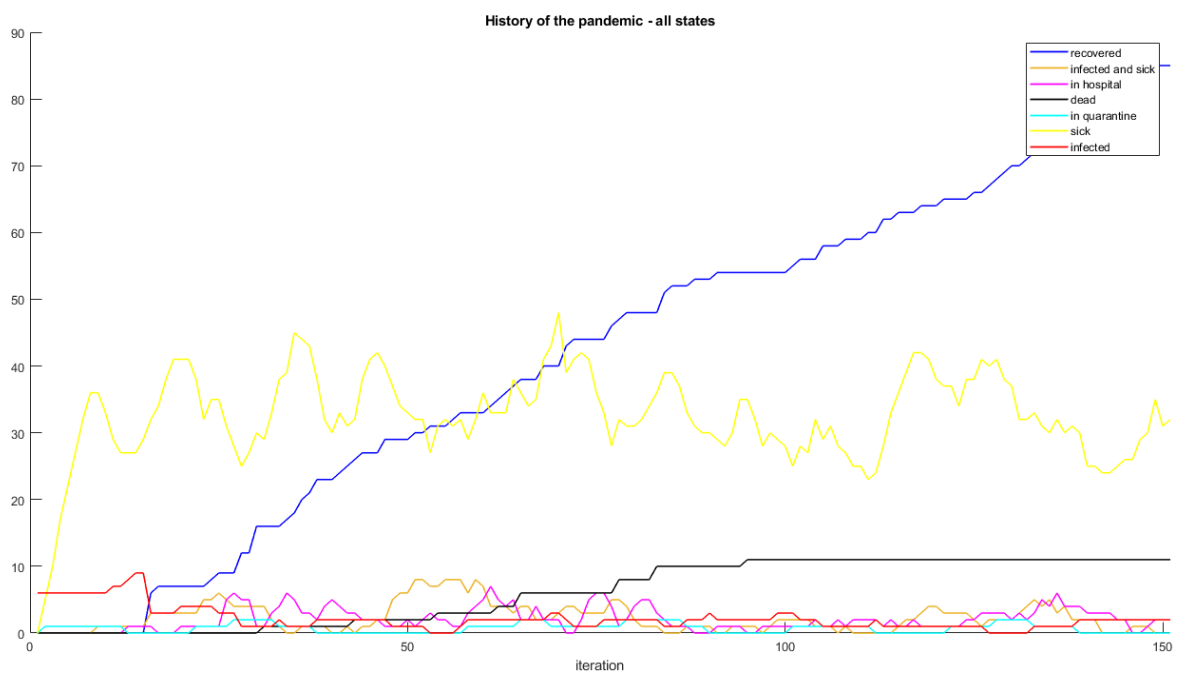
$P_{dead} = 0.2;$

$P_{hosp} = 0.2;$

Wygląd symulacji po 80 iteracjach:



Wyniki symulacji:



Z powyższej symulacji widać, że suma aktualnie zakażonych osób (infected + infected_and_sick) utrzymuje się na poziomie poniżej 15 każdego dnia. W sumie zakażonych zostało niecałe 100 osób. Po 150 dniach śmierć z powodu infekcji poniosło 12 osób. W szpitalu przebywa dziennie poniżej 10 osób. Stosunkowo niewiele osób przebywa na kwarantannie, natomiast duża część osób choruje na infekcje nie związane z analizowanym wirusem.

Powyższy opis jest bardzo bliski opisowi przebiegu pandemii w Nowej Zelandii. Główną różnicę stanowi suma ilości zakażonych po 150 dniach. W Nowej Zelandii ilość ta była bliska 1000.

Jednakże tutaj ograniczeniem okazały się być parametry komputera. Symulacja już dla 1000 osobników przy 150 iteracjach trwała około 10min.

Wnioski

Zamieszczone w instrukcji do ćwiczenia schematy stanów automatu Q1 oraz Q2 zostały zrealizowane poprawnie. Świadczy o tym analiza ilości osób przebywających w stanach w kolejnych iteracjach algorytmu.

Wybór Nowej Zelandii jako państwa na podstawie, którego skalibrowane miały zostać parametry symulacji, okazał się być niefortunny. Ilość zachorowań jest na tyle mała, że wykonanie modelu symulacyjnego w odpowiedniej skali (przy wystarczająco dużej ilości osób) było zbyt obciążające dla komputera, a dla mniejszej ilości dane zachorowań były zbyt bliskie 0.

Dopiero dobrane w następnym etapie realizacji projektu parametry pozwoliły przeanalizować i zweryfikować poprawność działania automatu.

Ćwiczenie pozwoliło nam zapoznać się z budową klas w MATLAB, a także pokazało alternatywny dla bloku Chart (z pakietu SIMULINK) sposób przeprowadzenia przejść między stanami.

Źródła danych:

- <https://www.health.govt.nz/our-work/diseases-and-conditions/covid-19-novel-coronavirus/covid-19-data-and-statistics/testing-covid-19>
- <https://covid19.who.int/region/wpro/country/nz>
- <https://www.rnz.co.nz/news/national/437359/timeline-the-year-of-covid-19-in-new-zealand>