

Celularni avtomati (Game of Life)

Matej Kristan in Tadej Hiti

Motivacija:

Izvor motivacije za izbiro igre "Game of Life" ter celularnih avtomatov splošneje kot projekt pri predmetu Paralelni sistemi izhaja iz zanimivih ter abstraktnih konceptov, ki se jih teoretično ozadje igre dotika. Zanimivo je, da kljub znanim pravilom obstoja celic skozi generacije ne obstaja algoritem, ki bi mu za vhod podali vhodno (začetna generacija) in poljubno (poljubna generacija) stanje, ta pa bi izračunal ali bo do tega poljubnega stanja oziroma generacije sploh prišlo. Prav tako naju je navdihnili spoznanje, da v naravi obstajajo biološki procesi oziroma vzorci, ki se jih da dobro simulirati s pomočjo celularnih avtomatov.

Opis:

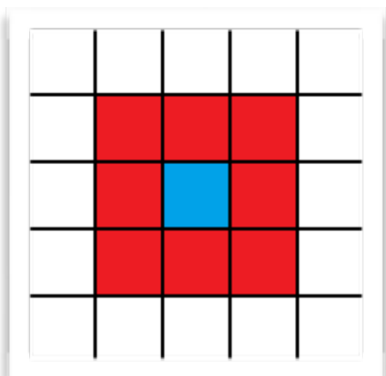
Povod nastanka igre Game of Life prihaja iz prejšnjega stoletja, ko je britanski matematik John Horton Conway želel rešiti zastavljeni problem matematika John von Neumann-a, ki je želel odkriti ali obstaja hipotetični stroj, ki bi bil zmožen na podlagi zbranih surovin zgraditi kopije sebe ter tako pospešiti iskanje možnosti obstoja življenja ter kolonizacije onkraj našega planeta.

Game of Life je celularni avtomat, je igra brez igralca, kar pomeni da je evolucija odvisna od nič drugega kot začetnega podanega stanja ter vnaprej specificiranih nespreminjajočih pravil, ki opisujejo spreminjanje kvadratnih celic na dvo-dimenzionalni neskončni ortogonalni mreži.

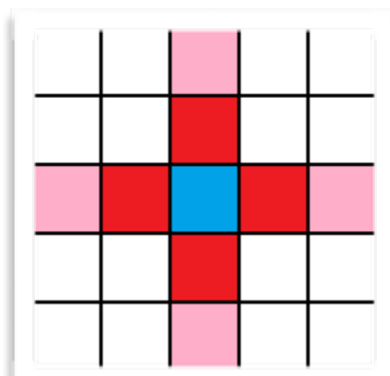
Vsaka celica na mreži drži eno izmed dveh stanj: živo ali mrtvo. Vsaka celica je s pomočjo vnaprej definiranih pravil v interakciji z sosednjimi celicami, ki držijo usodo trenutne celice ali bo ta skozi naslednjo generacijo obstala ali ne.

Najina realizacija problema bo priredba, kar pomeni da se bova osredotočila tudi na druge celularne avtomate in ne samo celularnega avtomata znanega kot "igra življenja", kar pa pomeni da sva definirala več možnih soseščin, ki vplivajo na obstoj celice skozi generacijo.

Med slednjimi sva trenutno implementirala sledeči soseščini celic, kjer je z modro ponazorjena opazovana celica in z rdečo sosednje celice, ki vplivajo na opazovano.



Moorova soseščina



von Neumannova soseščina

Pravila:

- Vsaka živa celica z manj kot dvema živima sosedoma umre kot posledica premajhne populacije.
- Vsaka živa celica z dvema ali tremi živimi sosedi preživi skozi naslednjo generacijo.
- Vsaka živa celica z več kot tremi živimi sosedi umre kot posledica prevelike populacije.
- Vsaka mrtva celica z natančno tremi živimi sosedi se spremeni v živo celico, kot posledica reprodukcije

Pseudokoda:

```
1  foreach (cell in grid) {
2      neighbours = 0;
3      foreach (neighbour in neighborhood) {
4          if (isAlive(neighbour))
5              neighbours++;
6      }
7      if (cell is alive) {
8          if !((neighbours == 2) || (neighbours == 3) )
9              kill cell;
10     }
11     else {
12         if (neighbours == 3)
13             revive square;
14     }
15 }
```

Ocenitev zahtevnosti algoritma:

Časovna zahtevnost: $f(n,m,s) = O(n*m*s)$
Prostorska zahtevnost: $g(n,m) = O(2*(n*m)) = O(n*m)$

n = velikost horizontalnega polja
m = velikost vertikalnega polja
s = število vplivnih okrožnih sosedov

Reference:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton
- https://en.wikipedia.org/wiki/Conway%27s_Game_of_Life
- <https://www.youtube.com/watch?v=R9Plq-D1gEk>

Poročilo - Sekvenčni algoritem (Game of Life)

Kratek opis:

Pri implementaciji sekvenčnega algoritma sta bila v uporabi zgolj navaden urejevalnik teksta ter terminal s pomočjo katerega sva poskrbela za zagon algoritma preko gcc - GNU prevajalnika.

Za izris generacij 'igre življenja' je bila uporabljena zunanja knjižnica SDL2 - <https://www.libsdl.org/>.

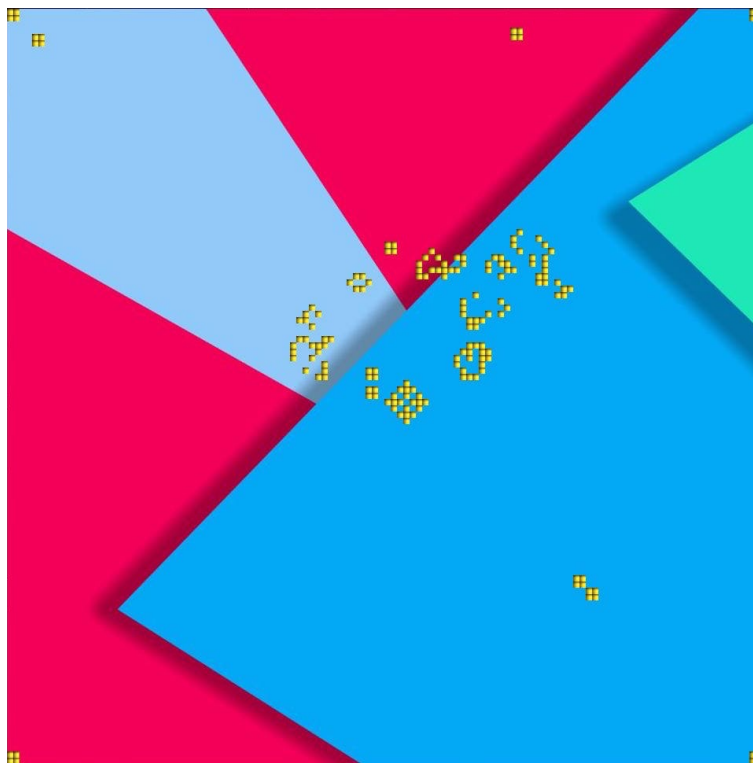
V uporabi ni bilo posebnih podatkovnih struktur, zgolj uporaba dvo-dimenzionalnih tabel med drugim tudi za predstavitev sveta algoritma.

Vhodni podatki programa:

- velikost sveta (višina, širina, in število simuliranih generacij)
- začetna generacija sveta

Meritve algoritma:

Meritve algoritma so bile izvedene na algoritmu celularnega avtomata Game of Life, pravila ostajajo nespremenjena, definirana zgoraj v podpoglavju "Pravila", torej meritve so bile izvedene na 3x3 soseščini, vsaka celica ima 9 sosedov, oziroma po principu Moorove soseščine.



Slika 1: Simulacija algoritma Game of Life

Meritve:

Tabela 1: Čas izvajanja in standardna napaka meritve (SE) v odvisnosti od velikosti reševanega problema ($N = \text{višina} * \text{širina} * \text{število simuliranih generacij}$).

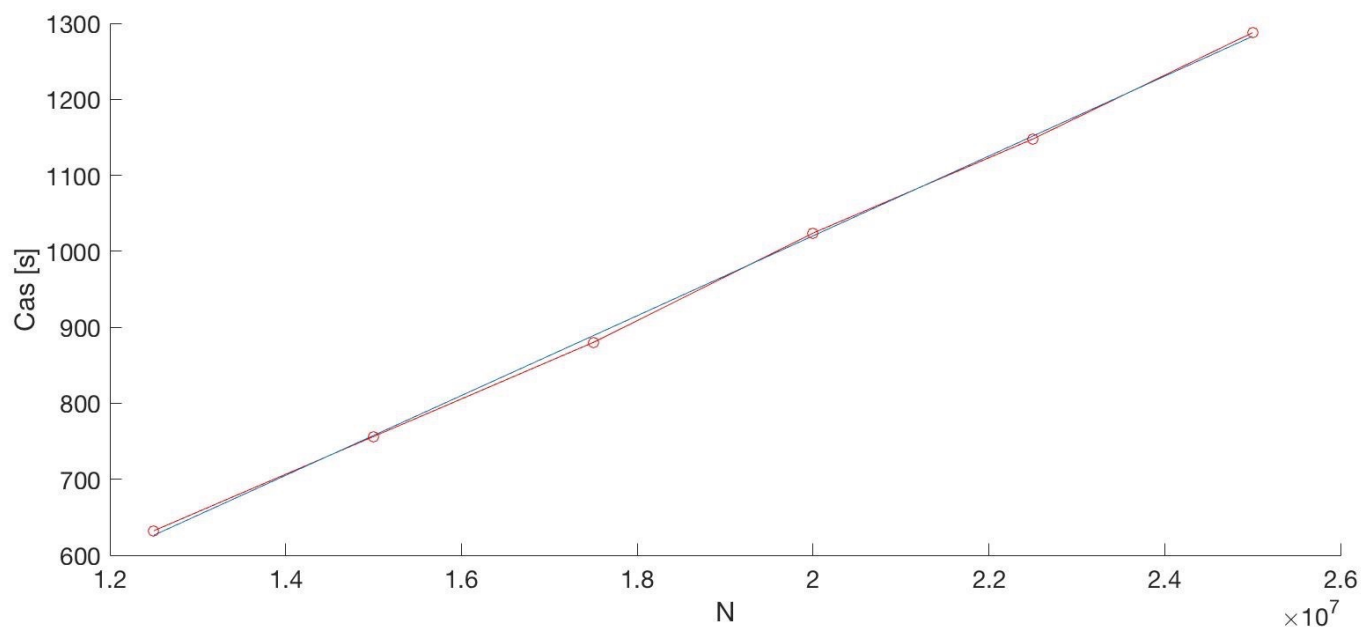
N (višina, širina, št. generacij)	Čas [s]	SE [s]
12500000 (500, 500, 50)	0.64	0,007
15000000 (600, 500, 50)	0.74	0,007
17500000 (700, 500, 50)	0.86	0,004
20000000(800, 500, 50)	0.98	0,006
22500000(900, 500, 50)	1.11	0,008
25000000(1000, 500, 50)	1.23	0,004

Tabela 2: Čas izvajanja in standardna napaka meritve (SE) v odvisnosti od velikosti reševanega problema ($N = \text{višina} * \text{širina} * \text{število simuliranih generacij}$).

N (višina, širina, št. generacij)	Čas [s]	SE [s]
12500000 (500, 500, 50)	0.63	0,001
15000000 (500, 600, 50)	0.76	0,004
17500000 (500, 700, 50)	0.88	0,004
20000000(500, 800, 50)	1.02	0,004
22500000(500, 900, 50)	1.15	0,003
25000000(500, 1000, 50)	1.29	0,010

Tabela 3: Čas izvajanja in standardna napaka meritve (SE) v odvisnosti od velikosti reševanega problema ($N = \text{višina} * \text{širina} * \text{število simuliranih generacij}$).

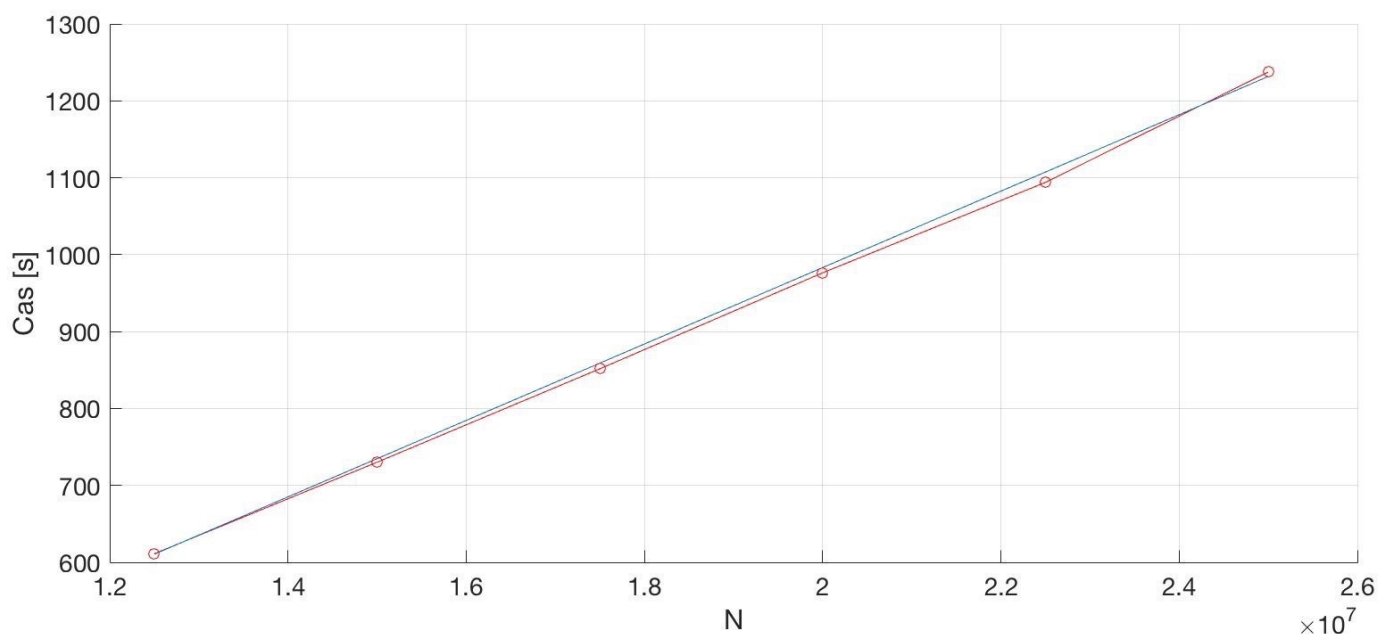
N (višina, širina, št. generacij)	Čas [s]	SE [s]
12500000 (500, 500, 50)	0.61	0,002
15000000 (500, 500, 60)	0.73	0,001
17500000 (500, 500, 70)	0.85	0,001
20000000(500, 500, 80)	0.98	0,003
22500000(500, 500, 90)	1.11	0,002
25000000(500, 500, 100)	1.24	0,013



Graf 1: Čas izvajanja v odvisnosti od velikosti reševanega problema (povečevanje višine simuliranega sveta).

Izmerjena časovna odvisnost:

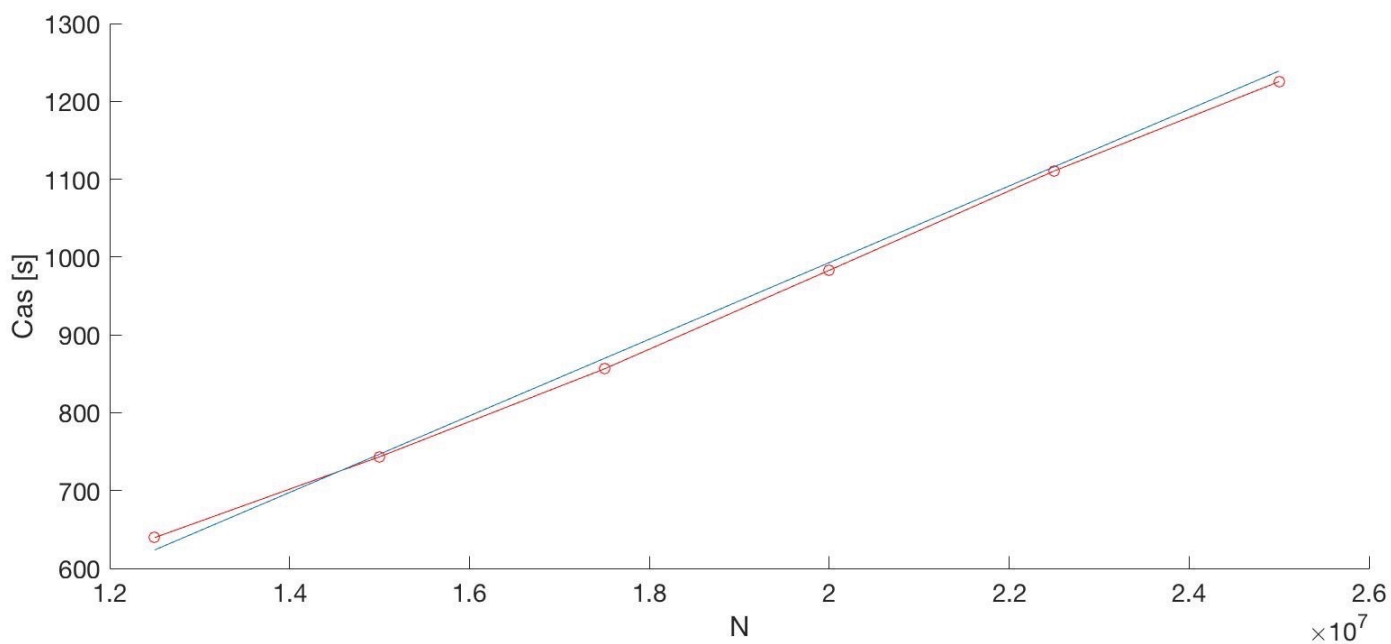
$$O(y) = 8.42 + 4.92 * x$$



Graf 2: Čas izvajanja v odvisnosti od velikosti reševanega problema (povečevanje širine simuliranega sveta).

Izmerjena časovna odvisnost:

$$O(y) = - 3.01 + 5.25 * x$$



Graf 3: Čas izvajanja v odvisnosti od velikosti reševanega problema (povečevanje števila generacij simuliranega sveta).

Izmerjena časovna odvisnost:

$$O(y) = - 1.47 + 4.96 * x$$

Teoretična časovna odvisnost:

Teoretična časovna odvisnost je za vse grafe enaka, ta je $O(n)$ in se pričakovano zelo lepo prilega izmerjeni časovni odvisnosti.