

Katedra za računalniško logiko, sisteme in mreže  
Fakulteta za računalništvo in informatiko  
Univerza v Ljubljani

## **Komisija za študijske zadeve**

29. februar 2016

# **Predlog teme za magistersko nalogo**

**Naslov:** Predslike 2D celičnih avtomatov  
**Title:** Preimages of 2D cellular automata

**Kandidat:** Iztok Jeras

**Tema naloge:** Razišči problem iskanja predslik 2D celičnih avtomatov s pomočjo De Bruijn-ovih diagramov, opiraj se na znane rešitve za 1D problem. Poišči algoritem za določitev obstoja predslik in algoritem za njihovo preštevanje ter izpis. Algoritem naj bo matematično formuliran z enačbami in grafično predstavitev ter implementiran s programsko opremo. S stališča procesne kompleksnosti primerjaj novo razviti algoritem z obstoječimi algoritmi, ki se uporabljajo za iskanje Garden of Eden stanj v celičnem avtomatomatu Game of Life.

## **Predsednik komisije za oceno in zagovor:**

**Predsednik:** prof. dr. Miha Mraz (FRI)  
**Člani:** prof. dr. Andrej Dobnikar (FRI)  
**Predlagani člani:** prof. dr. Alojzij Franc Kodre (FMF)  
prof. dr. Tomaž Prosen (FMF)  
doc. dr. Tomaž Rejec (FMF)

## **Predstojnik katedre:**

prof. dr. Miha Mraz

# 1 Področje magistrskega dela

slovensko: diskretni dinamični sistemi, celični avtomati, teoretična študija

angleško: discrete dynamic systems, cellular automata, theoretical study

## 2 Ključne besede

slovensko: celični avtomati, predslike, reverzibilnost, trid, quad

angleško: cellular automata, preimages, reversibility, Garden of Eden, trid, quad

## 3 Utemeljitev teme magistrskega dela

### 3.1 Uvod in opis problema

Ker lahko vsak univerzalen sistem modelira vsak drugi univerzalen sistem, predpostavimo, da lahko s celičnimi avtomati modeliramo vesolje. Pri tem mene najbolj zanima pogled s stališča informacijske teorije in termodinamike. Kakor primera bi lahko navedel kopiranje informacij (DNK, evolucija [1]), ter model gravitacije kakor entropijske sile (Entropic gravity [2]).

Informacijsko dinamiko celičnega avtomata se najpogosteje opisuje samo kakor reverzibilno ali ireverzibilno, obstaja tudi nekaj člankov, ki opazujejo entropijo sistema. Pogosto je tudi opazovanje dinamike delcev pri Game of Life ali elementarnem pravilu 110. Ne obstaja pa še splošna teorija dinamike informacij v celičnem avtomatu.

V svojem članku [3] sem grafično upodobil predslike trenutnega stanja za 1D problem. Iz upodobitve je videti, da se ponekod izgubi več informacije kakor drugod, kar kaže na možnost izpeljave kvalitativne in kvantitativne teorije dinamike informacij; žal se ta možnost še ni udejanila.

Cilj te naloge je opis algoritma, ki omogoča iskanje predslik (preteklih stanj) sistema, torej evolucijo ireverzibilnega celičnega avtomata v nasprotno smer od definicije časa. Upodobitev predslik 2D sistema bo razširitev upodobitve za 1D sistem in bo ponujala podoben vpogled v dinamiko informacij 2D sistema.

## 3.2 Pregled sorodnih del

Paulina Léon in Genaro Martínez [4] poizkušata aplicirati De Bruijn-ove diagrame na 2D celične avtomate. Točneje, opazujeta dva celična avtomata: 'Game of Life' in 'Diffusion rule', s poudarkom na opazovanju stabilnih delcev. De Bruijn-ovi grafi so tudi osnova mojih raziskav, so pa drugače grafično upodobljeni, tako da se jih lahko poveže v opis celotnega celičnega sistema, in niso omejeni na opis predstanj ene same celice.

Razni avtorji [5] iščejo vzorce tipa 'Garden of Eden' v celičnem avtomatu 'Game of Life'. Zanimiv je pristop s teorijo končnih avtomatov in regularnih jezikov, ki je v osnovi namenjen eno dimenzionalnim sistemom. Jean Hardouin-Duparc ga je razširil tako, da je celice iz vrstice 2D polja združil v simbole regularnega jezika, zaporedje več vrstic pa predstavlja besedo. Originalni članek je v francoščini, zato še iščem članek, kjer bi pristop opisal v angleščini. Podoben pristop s končnimi avtomati nameravam uporabiti tudi sam.

Opiral se bom tudi na ideje iz svojih prejšnjih prispevkov [3] [6] [7], ki so analizirali problem v eni dimenziji.

## 3.3 Predvideni prispevki magistrske naloge

Doslej sem že razvil napredne algoritme za izračun predslik 1D sistema. Skozi zgodovino so taki algoritmi napredovali, tako da je padala njihova procesna zahtevnost in opisna/implementacijska zahtevnost.

1. 'brute force' algoritmi  $O(c^n)$
2. improvizirani algoritmi
3. zasnove matematičnega modela
4. optimalni algoritmi  $O(n \log(n))$  ali celo  $O(n)$

Iskanje slik 2D sistema je trenutno nekje med improvizacijo in matematičnim modelom. Z magistrsko nalogo bi rad razvil algoritme, ki se nagibajo k optimalnosti.

## 3.4 Metodologija

Magistrsko delo bo obsegalo matematičen model, ki bo predvidoma temeljil na matričnih operacijah, kjer matrike predstavljajo grafe in končne avtomate. Za lažje razumevanje bo problem tudi grafično predstavljen. Algoritem bo implementiran kot računalniški program, ki bo omogočal tudi izris grafične predstavitve problema.

Primerjava s sorodnimi deli bo s stališča procesne zahtevnosti algoritma in glede na to,

katere znane probleme bo algoritem sposoben rešiti. Nekaj takih problemov, urejenih glede na zahtevnost, je:

1. določitev, ali obstajajo predslike za dano trenutno stanje sistema
2. štetje predslik
3. naštevane konfiguracij predslik
4. jezik vseh stanj brez predslik
5. vprašanje reverzibilnosti sistema

Rešitev problema določitve obstoja predslik si že predstavljam. Predvidevam, da bom uspel rešiti še problem preštevanja predslik, in ker je to manjši korak, tudi njihovo naštevane.

Preostalih problemov se tokrat ne bom loteval. Problem jezika stanj brez predslik bi potreboval model 2D formalnega jezika, ki še ne obstaja. Poleg tega je povezan s problemom reverzibilnosti, ki je na splošno dokazano nerešljiv [8], podobno kakor problem tlakovanja (Wang tile).

### 3.5 Literatura in viri

- [1] C. Salzberg, H. Sayama, Complex genetic evolution of artificial self-replicators in cellular automata, *Complexity* 10 (2004) 33–39. doi:10.1002/cplx.20060.  
URL <http://www3.interscience.wiley.com/journal/109860047/abstract>
- [2] arXiv:1001.0785.
- [3] I. Jeras, A. Dobnikar, Algorithms for computing preimages of cellular automata configurations, *Physica D Nonlinear Phenomena* 233 (2007) 95–111. doi:10.1016/j.physd.2007.06.003.
- [4] P. A. Léon, G. J. Martínez, Describing complex dynamics in life-like rules with de bruijn diagrams on complex and chaotic cellular automata, *Journal of Cellular Automata* 11 (1) (2016) 91–112.
- [5] C. Hartman, M. J. H. Heule, K. Kwekkeboom, A. Noels, Symmetry in gardens of eden, *Electronic Journal of Combinatorics* 20.
- [6] I. Jeras, A. Dobnikar, Cellular automata preimages: Count and list algorithm, in: V. N. Alexandrov, G. D. van Albada, P. M. A. Sloot, J. Dongarra (Eds.), *Computational Science - ICCS 2006*, 6th International Conference, Reading, UK, May 28–31, 2006, Proceedings, Part III, Vol. 3993 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2006, pp. 345–352. doi:10.1007/11758532\_47.  
URL [http://dx.doi.org/10.1007/11758532\\_47](http://dx.doi.org/10.1007/11758532_47)

- [7] I. Jeras, Solving cellular automata problems with sage/python, in: A. Adamatzky, R. Alonso-Sanz, A. T. Lawniczak, G. J. Martínez, K. Morita, T. Worsch (Eds.), Automata 2008: Theory and Applications of Cellular Automata, Bristol, UK, June 12-14, 2008, Luniver Press, Frome, UK, 2008, pp. 417–424.  
URL <http://uncomp.uwe.ac.uk/free-books/automata2008reducedsize.pdf>
- [8] J. Kari, Reversibility of 2d cellular automata is undecidable, Physica D: Nonlinear Phenomena 45 (1990) 379–385. doi:10.1016/0167-2789(90)90195-U.