

Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona
Cirkumstelarna
Galaktička

Čelijski automat
Elementarni
2D
Probabilistički

PČA GNZ
Aliens are us
Zašto

O modelu
Mehanika
Parametri

Neki rezultati

Diskusija

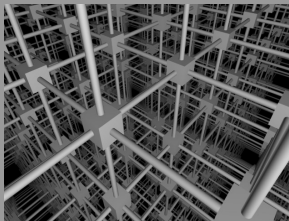
Probabilistički čelijski automat Galaktičke nastanjive zone u dve dimenzije

Seminar Katedre za astronomiju

Branislav Vukotić

Astronomska opservatorija u Beogradu
Volgina 7, 11160 Beograd-74,
Srbija

bvukotic@aob.rs



Cirkumstelarna nastanjiva zona

Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona

Cirkumstelarna

Galaktička

Čelijski automat

Elementarni

2D

Probabilistički

PČA GNZ

Aliens are us

Zašto

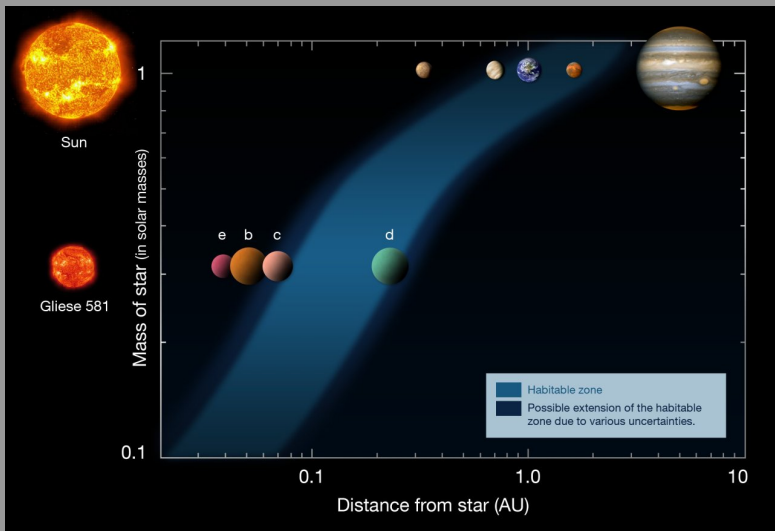
O modelu

Mehanika

Parametri

Neki rezultati

Diskusija



Galaktička nastanjiva zona

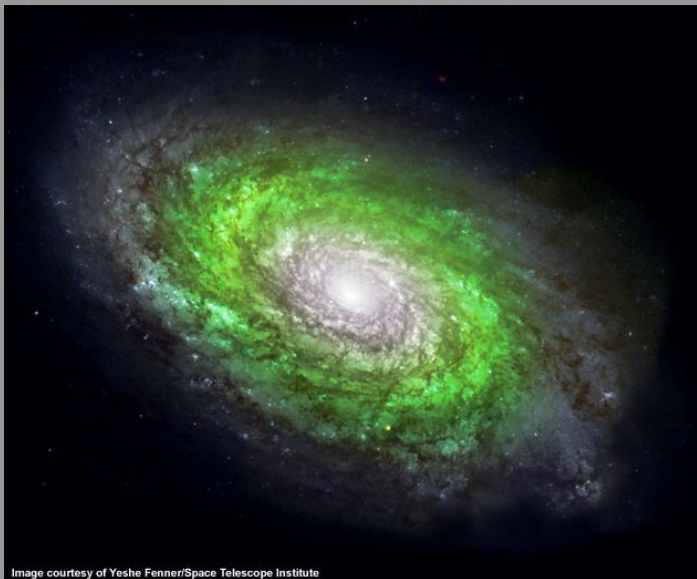


Image courtesy of Yeshe Fenner/Space Telescope Institute

Formule

$$P_{GHZ} = SFR \times P_{metals} \times P_{evol} \times P_{SN} \quad (1)$$

Lineveawer, C.H., Fenner, Y., Gibson, B.K.: 2004, "The Galactic Habitable Zone and the Age Distribution of Complex Life in the Milky Way", *Science* **303**, 59 – 62

Galaktička nastanjiva zona

Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona
Cirkumstelarna
Galaktička

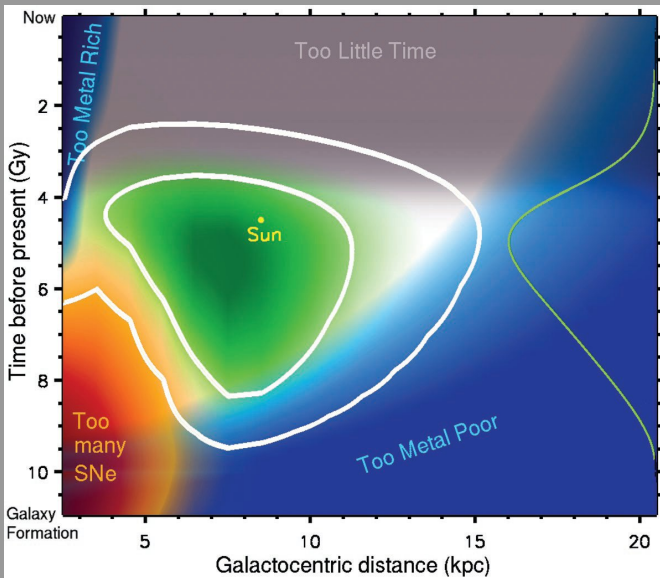
Čelijski automat
Elementarni
2D
Probabilistički

PČA GNZ
Aliens are us
Zašto

O modelu
Mehanika
Parametri

Neki rezultati

Diskusija



Pravila

rule 30



0 0 0 1 1 1 1 0

rule 54



0 0 1 1 0 1 1 0

rule 60



0 0 1 1 1 1 0 0

rule 62



0 0 1 1 1 1 1 0

rule 90



0 1 0 1 1 0 1 0

rule 126



0 1 1 1 1 1 1 0

rule 150



1 0 0 1 0 1 1 0

rule 158



1 0 0 1 1 1 1 0

rule 182



1 0 1 1 0 1 1 0

rule 188



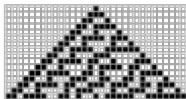
1 0 1 1 1 1 0 0

Evolucija

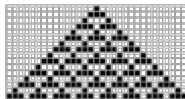
Conus textile



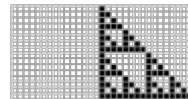
rule 30



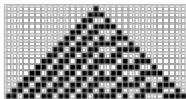
rule 54



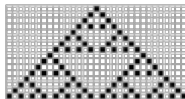
rule 60



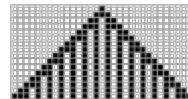
rule 62



rule 90

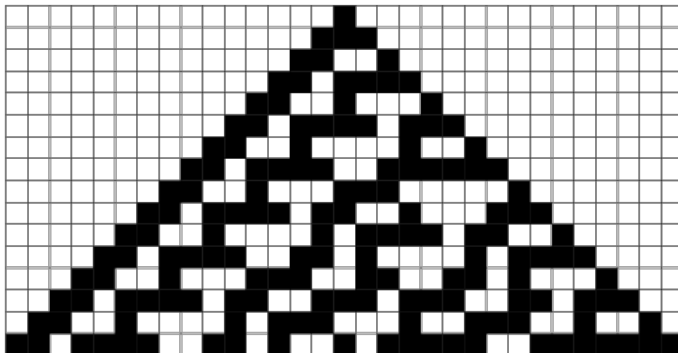
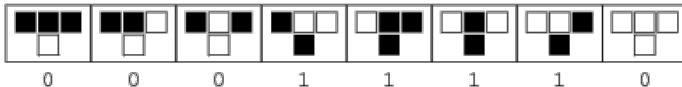


rule 94



Evolicija pravila 30

rule 30



Formalni prikaz

S – skup stanja koja ćelija može imati ($m = |S|$)

V – susjedstvo (r – radijus susjedstva)

F – skup pravila koja određuju evoluciju

L – mreža koja definiše metriku i međusobne položaje ćelija

$s \in S, f \in F$

$$f : S^{2r+1} \rightarrow S \quad (2)$$

$$|F| = m^{m^{2r+1}} \quad (3)$$

$$s_i^{(t)} = F(s_{i-r}^{(t-1)}, s_{i-r+1}^{(t-1)}, \dots, s_{i+r-1}^{(t-1)}, s_{i+r}^{(t-1)}) \quad (4)$$

$$s_i^{(t)} = F(s_{i-r}^{(t-1)}, s_{i-r+1}^{(t-1)}, \dots, s_{i+r-1}^{(t-1)}, s_{i+r}^{(t-1)}, \quad (5)$$

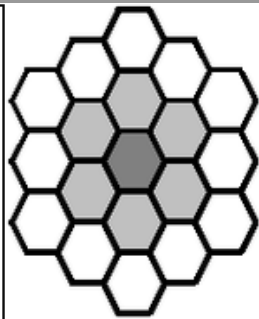
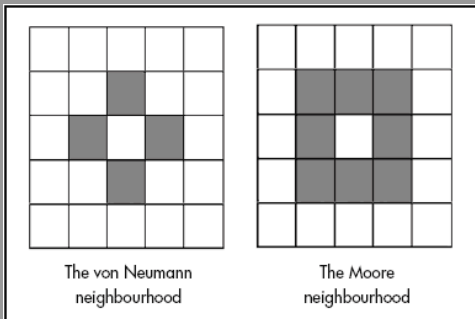
$$s_{i-r}^{(t-2)}, s_{i-r+1}^{(t-2)}, \dots, s_{i+r-1}^{(t-2)}, s_{i+r}^{(t-2)},$$

⋮

$$s_{i-r}^{(t-n+1)}, s_{i-r+1}^{(t-n+1)}, \dots, s_{i+r-1}^{(t-n+1)}, s_{i+r}^{(t-n+1)},$$

$$s_{i-r}^{(t-n)}, s_{i-r+1}^{(t-n)}, \dots, s_{i+r-1}^{(t-n)}, s_{i+r}^{(t-n)}$$

Susedstvo



Formalni prikaz

John (János) von Neumann – radio rukom prve ČA, pitanje samoreprodukcije, nezaobilazan biološki način – nije pronašao informaciju koja bi mogla samu sebe da reprodukuje:

$$s_{i,j}^{(t+1)} = F(s_{i,j}^{(t)}, s_{i-1,j}^{(t)}, s_{i+1,j}^{(t)}, s_{i,j-1}^{(t)}, s_{i,j+1}^{(t)}) \quad (6)$$

Moore:

$$s_{i,j}^{(t+1)} = F(s_{i-1,j-1}^{(t)}, s_{i,j-1}^{(t)}, s_{i+1,j-1}^{(t)}, s_{i-1,j}^{(t)}, s_{i,j}^{(t)}, s_{i+1,j}^{(t)}, s_{i-1,j+1}^{(t)}, s_{i,j+1}^{(t)}, s_{i+1,j+1}^{(t)}) \quad (7)$$

Heksagonalno:

$$s_{i,j}^{(t+1)} = F^{(\text{neparno } j)}(s_{i,j}^{(t)}, s_{i-1,j}^{(t)}, s_{i,j+1}^{(t)}, s_{i+1,j+1}^{(t)}, s_{i+1,j}^{(t)}, s_{i+1,j-1}^{(t)}, s_{i,j-1}^{(t)}, s_{i-1,j+1}^{(t)}, s_{i,j+2}^{(t)}, s_{i+2,j+1}^{(t)}, s_{i+2,j-1}^{(t)}, s_{i,j-2}^{(t)}, s_{i-1,j-1}^{(t)}) \quad (8)$$

$$s_{i,j}^{(t+1)} = F^{(\text{parno } j)}(s_{i,j}^{(t)}, s_{i-1,j}^{(t)}, s_{i-1,j+1}^{(t)}, s_{i,j+1}^{(t)}, s_{i+1,j}^{(t)}, s_{i,j-1}^{(t)}, s_{i-1,j-1}^{(t)}, s_{i-2,j+1}^{(t)}, s_{i,j+2}^{(t)}, s_{i+1,j+1}^{(t)}, s_{i+1,j-1}^{(t)}, s_{i,j-2}^{(t)}, s_{i-2,j-1}^{(t)}) \quad (9)$$

Formalni prikaz

L. Hernández Encinas et al. / Applied Mathematical Modelling 31 (2007) 1213–1227

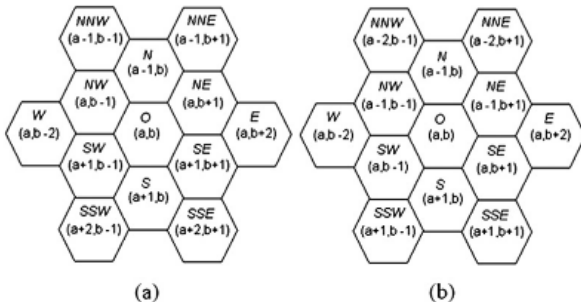


Fig. 3. The labelled neighborhoods.

Primena

Nastanjiva Zona

Cirkumstelarna

Galaktička

Čeljski automat

Elementarni

2D

Probabilistički

PČA GNZ

Aliens are us

Zašto

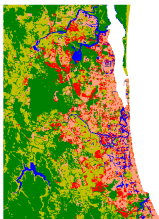
O modelu

Mehanika

Parametri

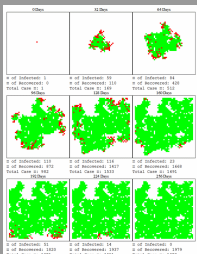
Neki rezultati

Diskusija



■ Lokan
■ Forest
■ Creek
■ 1990-1995 Actual Growth

a.



Pravila prelaza – matrica verovatnoća

Unošenje šuma u evoluciju stanja ćelija tj. pravila prelaza.

Primer: Kad šum teži nuli dobijamo deterministički limes. Kada je šum veći od nule prelaz koji definiše f će se desiti sa verovatnoćom 1-šum.

Neophodno: Generator slučajnih brojeva.

Matrica verovatnoća prelaza iz stanja $i = 0, 1, \dots, m - 1$ u stanje $j = 0, 1, \dots, m - 1$, gde je m broj stanja koja ćelija može imati ($P_{i,j}^t$):

$$\hat{P}^t = \begin{pmatrix} P_{0,0}^t & P_{0,1}^t & \cdots & P_{0,m-1}^t \\ P_{1,0}^t & P_{1,1}^t & \cdots & P_{1,m-1}^t \\ \vdots & & & \\ P_{m-1,0}^t & P_{m-1,1}^t & \cdots & P_{m-1,m-1}^t \end{pmatrix} \quad (10)$$

Pravila prelaza – matrica verovatnoća

Ćelija menja svoje stanje pod uticajem ćelija iz susedstva. To znaĉi da će na promenu stanja ćelije odnosno na verovatnoću samog prelaza uticati i stanje ćelije iz susedstva. Ovo dodaje jednu (treću) dimenziju matrici \hat{P}^t , te matrica koja nam u potpunosti pokriva sve prelaze (matrica verovatnoća) izgleda:

$$\hat{P} = \{P_{i,j,k}\}, \quad k = 0, 1, \dots, m - 1, \quad (11)$$

tj. matrica \hat{P} ima m popreĉnih preseka tipa \hat{P}^t .

Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona
Cirkumstelarna
Galaktička

Čelijski automat
Elementarni
2D
Probabilistički

PČA GNZ
Aliens are us
Zašto

O modelu
Mehanika
Parametri

Neki rezultati

Diskusija



Carlos F. Oliveira and James P. Barufaldi: 2009, Aliens are us. An innovative course in astrobiology, *International Journal of Astrobiology* **8** (1), 51 – 61.

Neodređenost parametara

- Galaktičkih...
- Skale evolucije... biološke, post tehnološke, ...
- Astrobiološka kompleksnost

0 – pusto

1 – ćelijska membrana, homeostaza, jednoćelijski organizmi

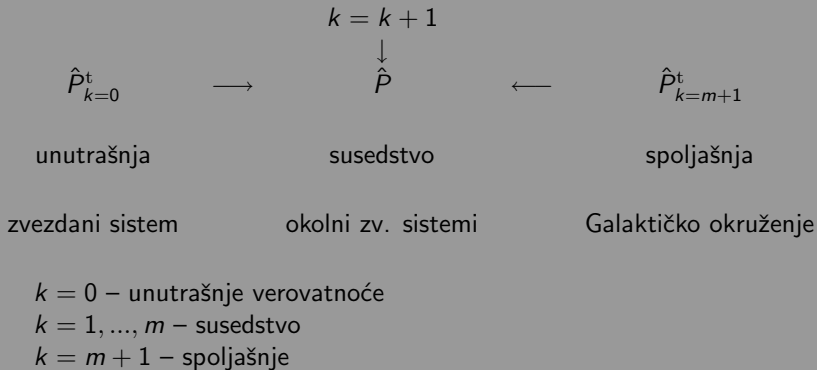
2 – višćelijski organizmi, biljke, životinje

3 – civilizacijski eksperimenti

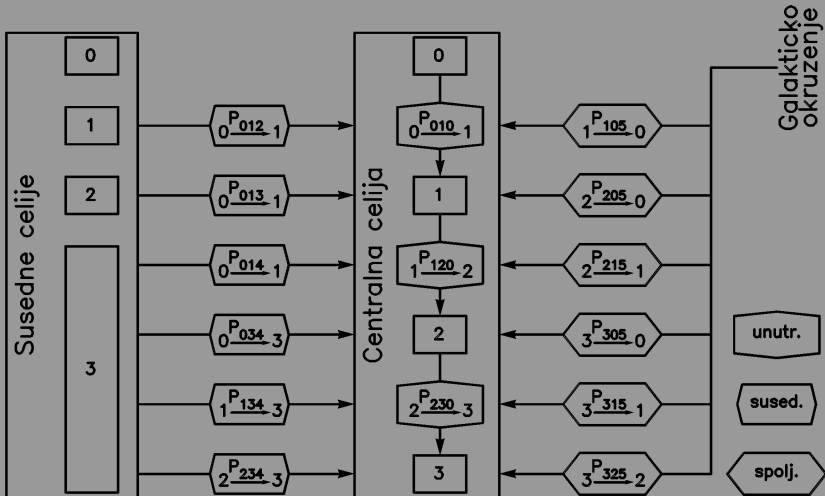
$m = 4$

⇒ Motivacija za PĆA GNZ; Promenom ulaznih parametara PĆA simuliraju se različiti modeli GNZ. Veoma pogodan okvir. ĆA su veoma uspešno primenjeni u simulacijama *artificial life* gde su napravljene čitave veštačke biosfere (računarski virus = biološki virus).

Matrica verovatnoća



Pertov prikaz



Slaganje verovatnoća

pp. Prelazi (P_{ijk}) su međusobno nezavisni. Sve P_{ijk} rastu sa vremenom i normirane su na $(0,1)$.

Stanje ćelije u narednom koraku automata određujemo na sledeći način:

1

$$P_{ijk} > b, b \in (0, 1) \implies P_{ijk}^q, \quad q = 1, \dots, l. \quad (12)$$

2

$$A = \{A_q\} = \{P_{ijk}^1, P_{ijk}^1 + P_{ijk}^2, \dots, P_{ijk}^1 + P_{ijk}^2 + \dots + P_{ijk}^l\} \quad (13)$$

$$A_q / (P_{ijk}^1 + P_{ijk}^2 + \dots + P_{ijk}^l) \implies A'_q \quad (14)$$

$$A'_{q-1} < b' < A'_q, \quad b' \in (0, 1). \quad (15)$$



Opšte

- $R_{\text{inn}} = 21$, $R_{\text{out}} = 36$.
- $t_k = 5$ Myr
- Lineweaver, C.H. (2001), "An Estimate of the Age Distribution of Terrestrial Planets in the Universe: Quantifying Metallicity as a Selection Effect", *Icarus* **151**, 307–313.

$$t_{\text{ms}}[\text{yr}] = 10^{10} \left(\frac{m_*}{m_{\odot}} \right)^{-2.5}, \quad m_* = (0.6, 1.8) m_{\odot} \quad (16)$$

- Unutrašnje (evolucija): P_{010} , P_{120} i P_{230} ,
susedstvo (kolonizacija): P_{030} , P_{130} i P_{230} ,
spoljašnje (katastrofizam): P_{305} , P_{315} i P_{325} .

$$P_{ijk}(t) = cdf(t) = 0.5 + 0.5 \operatorname{erf} \left(\frac{t - t_{\text{P}}^{ijk}}{\sigma_{\text{P}}^{ijk} \sqrt{2}} \right), \quad (17)$$

Verovatnoće prelaza

$$P_{ijk}(t) = a^{ijk} \frac{t}{t_p^{ijk}}. \quad (18)$$

...	t_p^{ijk} [Gyr]	a^{ijk}
P_{010}	3	1.0
P_{120}	0.6	1.0
P_{230}	0.1	1.0
P_{034}	~ 1	1.0
P_{134}	~ 1	1.0
P_{234}	~ 1	1.0
P_{305}	~ 1	0.01
P_{315}	$\sim 1(0.6)$	0.1 (1.0)
P_{325}	$\sim 1(0.1)$	1.0 (1.0)

(Ne)zanimljivo

B. Vukotić

Nastanjiva Zona

Cirkumstelarna
Galaktička

Čelijski automat

Elementarni

2D

Probabilistički

PČA GNZ

Aliens are us

Zašto

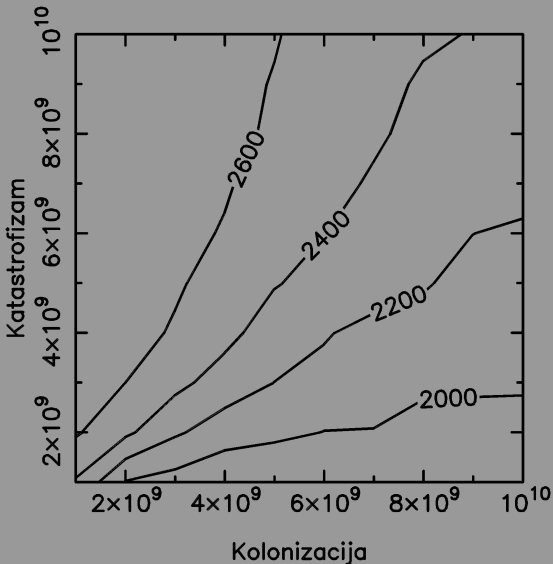
O modelu

Mehanika

Parametri

Neki rezultati

Diskusija



Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona

Cirkumstelarna

Galaktička

Čelijski automat

Elementarni

2D

Probabilistički

PČA GNZ

Aliens are us

Zašto

O modelu

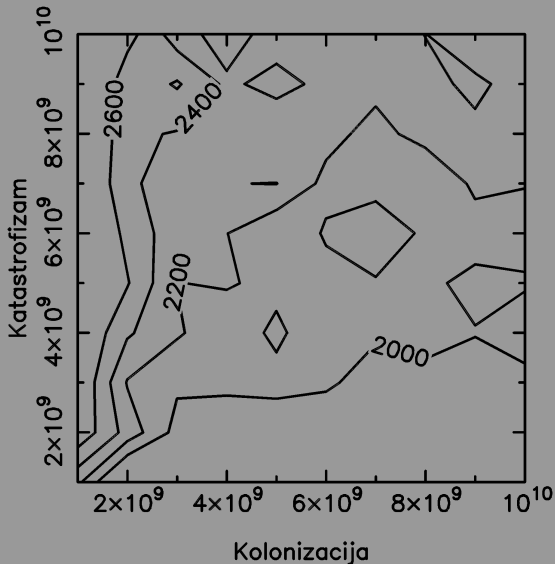
Mehanika

Parametri

Neki rezultati

Diskusija

Zanimljivo



Čelijski automat
GNZ

B. Vukotić

Nastanjiva Zona

Cirkumstelarna

Galaktička

Čelijski automat

Elementarni

2D

Probabilistički

PČA GNZ

Aliens are us

Zašto

O modelu

Mehanika

Parametri

Neki rezultati

Diskusija

DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA
DISKUSIJA