

Instrumente Inteligente
pentru
Bunăstare Socială
(Intelligent Tools for Social Good - ITSG)



Tema 3

Laura Dioșan

Modelare

- 3 borne științifice:
 - Exeprimente
 - Teorie matematică
 - Simulare și modelare

- La ce sunt utile modelele?
 - Instrumente pentru analiza datelor
 - Metode pentru descoperirea de noi cunoștințe
 - Înțelegerea naturii ca un sistem de procesare a informațiilor
 - Explicarea modului de funcționare a lucrurilor (mecanisme)

...modele...

- ❑ Game of life
- ❑ Modelarea răspândirii epidemiilor (virusilor)
- ❑ Răspândirea incendiilor (în păduri)
- ❑ Împrăștierea uleiului peste rocile poroase
- ❑ Răspândirea bolilor în culturi agricole
- ❑ Modelarea dungilor unei zebre
- ❑ Modelarea dinamicii fluidelor
- ❑ Modelarea sistemelor fero-magnetice (Ising, Potts)
- ❑ Interacțiunile prădător-pradă
- ❑ Reacții între enzime

Game of life

❑ Inventat de John Conway în 1970

- Experimentul original: un sistem cu o regulă simplă (de calcul) poate crea un "calculator universal"
- "calculator universal" Turing – o mașină, bazată pe un sistem de calcul cu reguli simple, capabilă să "depășească" orice tip de procesare de informație
- <https://bitstorm.org/gameoflife/>

❑ Ce este?

- Cel mai simplu univers (sistem) capabil să efectueze calcule
- Arhitectură
 - ❑ Grid rectangular de celule vii (living/on) și celule moarte (dead/off)
- Funcționare
 - ❑ iterativă
 - ❑ În fiecare iterație, celulele sunt guvernate de reguli (de tranziție) simple
 - ❑ Apar forme complexe plecând de la structuri simple

Game of life

□ Problema

- Cum se comportă celulele (trăiesc, mor sau se înmulțesc) de-a lungul vieții
 - Apar anumite comportamente?
- E un joc de tipul *zero-jucători*

□ Modelarea evoluției unei populații de celule cu ajutorul unui grid (rectangular 2D) cu

- celule vii (living/on) și
- celule moarte (dead/off)
- În fiecare iterație, celulele sunt guvernate de reguli (de tranziție) simple → apar forme complexe rezultate din structuri simple

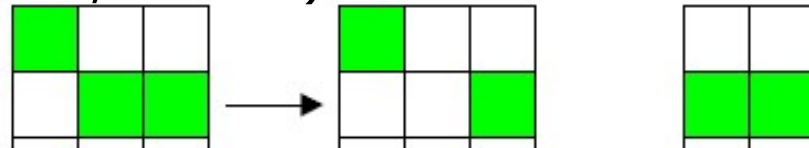
□ Scopul:

- Înțelegerea modului în care
 - condițiile inițiale
 - dimensiunea suprafeței
 - intervalul de timp
- pot afecta răspândirea & evoluția populației de celule
- Descoperirea unui univers (sistem) simplu capabil să efectueze calcule

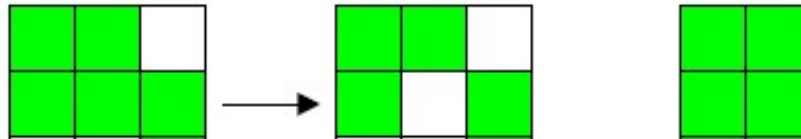
Game of life

□ Modelare -> reguli

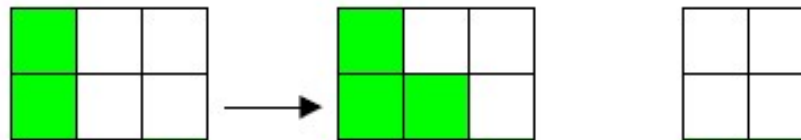
- Moare dacă numărul de celule vii vecine este ≤ 2 (singurătate, izolare)



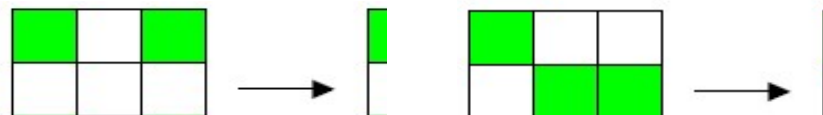
- Moare dacă numărul de celule vii vecine este ≥ 5 (supraaglomerare)



- Supraviețuiește dacă numărul de celule vii vecine = 3 (procreare)



- Obs. Dacă o celulă are 4 vecini vii, starea ei rămâne nemodificată



Game of life

□ Remarci

- Reguli de modificare foarte simple care determină comportamente și configurații nepredictibile
- Conway: este imposibil de decis dacă o formă finită (o configurație de celule în care numărul celulelor vii este finit) va "muri" complet sau nu
 - Nu eistă un program de calculator care să primească la intrare o formă finită și care să decidă exact dacă forma va muri sau nu
- S-a dorit un computer capabil de a efectua orice fel de calcule
 - Identificarea modului de propagare a structurilor – componentele unui calculator digital



Răspândirea bolilor (epidemiilor)

Sursa: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/4/2.html>

Răspândirea bolilor (epidemiilor)

□ Problema

- Cum se răspândește o epidemie într-o anumită comunitate de indivizi

□ Modelarea comunității cu ajutorul unui grid (rectangular 2D) cu celule care conțin indivizii

- Sănătoși
- Infectați

□ Scopul:

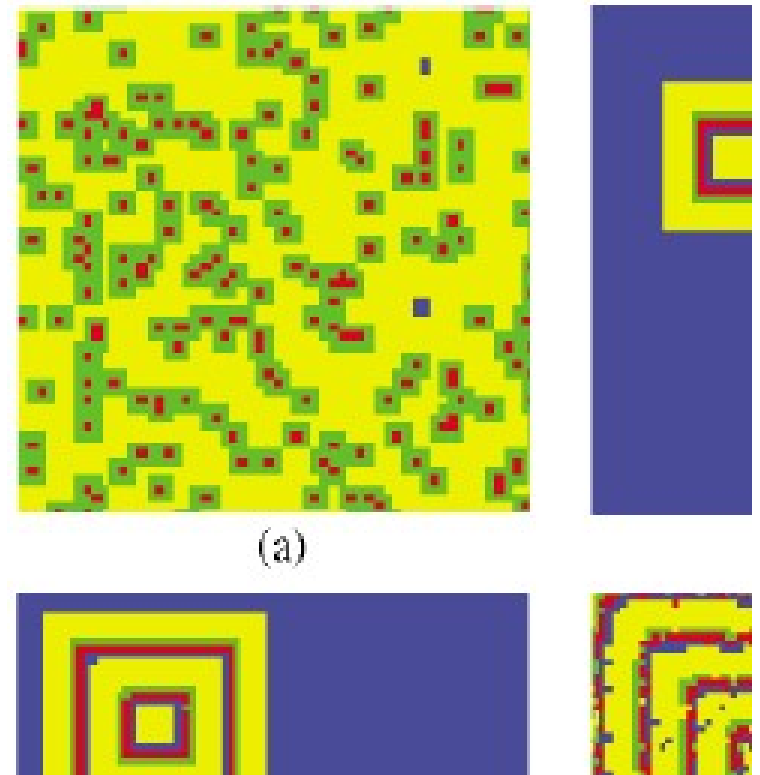
- Înțelegerea modului în care
 - condițiile inițiale
 - dimensiunea populației
 - intervalul de timp
- pot afecta răspândirea epidemiei

Răspândirea bolilor (epidemiilor)

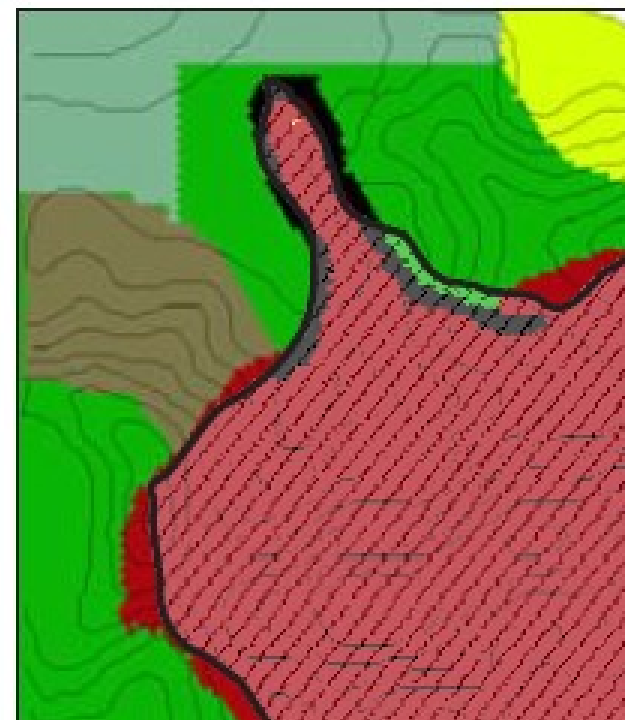
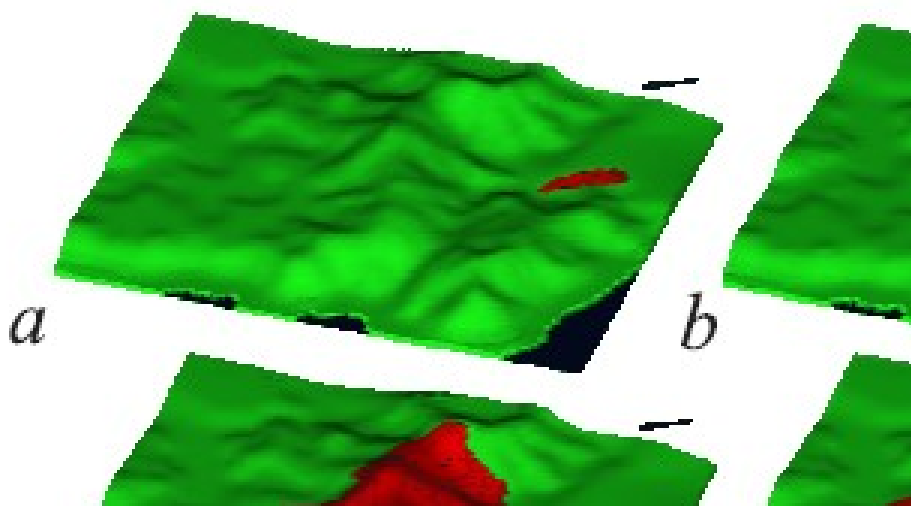
- Posibile stări ale celulelor
 - Sănătoasă
 - Infectată, capabilă să răspândească virusul (A1)
 - Infectată, în ultimul stadiu (urmează să fie ucis de sistemul imunitar) (A2)
 - Moartă
- Configurația inițială
 - Grid cu celule sănătoase și o mică parte de celule infectate (A1) (ex. contaminarea inițială cu HIV)
- Reguli simple de modificare a stării unei celule
 - Modificarea unei celule sănătoase
 - Dacă are cel puțin un vecin infectat A1, devine și ea infectată A1 – răspândirea HIV prin contact
 - Dacă nu are vecini infectați A1, dar are cel puțin un vecin infectat A2, devine infectată A1 – celulele infectate pot contamina alte celule înainte de a muri dacă concentrația lor este peste un anumit prag
 - Altfel, rămâne sănătoasă
 - O celulă infectată A1 devine infectată A2 după t pași (t – timpul necesar ca sistemul de imunitate să răspundă)
 - O celulă infectată A2 moare
 - Celulele moarte pot fi înlocuite de celule sănătoase (cu o anumită probabilitate)

Răspândirea bolilor (epidemiilor)

- Configurația gridului la diferite momente de timp
- Coduri
 - Celule sănătoase
 - Celule infectate A1
 - Celule infectate A2
 - Celule moarte



Răspândirea incendiilor (în păduri)



Răspândirea incendiilor (în păduri)

□ Problema

- Cum se răspândește focul pe o anumită suprafață (cu arbori)

□ Modelarea suprafeței cu ajutorul unui grid (rectangular 2D) cu celule

- celule care conțin arbori
- celule care conțin arbori care ard (flăcările pot aprinde alți arbori, dar pot exista și arbori rezistenți la foc)

□ Scopul:

- Înțelegerea modului în care
 - condițiile inițiale
 - dimensiunea suprafeței
 - intervalul de timp
- pot afecta răspândirea focului

Răspândirea incendiilor (în păduri)

□ Stări ale unei celule

- Goală
- Cu arbore
- Cu arbore arzând

□ Reguli

- O celulă cu un arbore arzând se transformă în celulă goală
- Un arbore va arde dacă are cel puțin un vecin arzând
- Un arbore se aprinde (cu o probabilitate p) chiar dacă nu are vecini arzând
- O celulă goală se va popula cu un nou arbore (cu o anumită probabilitate)

- <http://www.eddaardvark.co.uk/svg/forest/forest.html>

Automate celulare (Cellular Automata – CA)

- Știința tradițională
 - Legile lui Newton → Stări ale materiei
 - Una din probleme: este imposibil să descrii complet orice stare
- Principiul Heisenberg
 - Este imposibilă cunoașterea exactă a *vitezei* și a *locației* oricărei particule
 - Bazele teoriei quantice
- Concept
 - Simulatoare care încearcă să imite legile naturii
 - Reguli simple pot genera comportamente complexe
 - J. von Neumann & S. Ulam (1940 - 1950)
 - Au dorit crearea și simularea vieții artificiale cu un computer
 - **"As simple as possible, but no simpler."**
 - Construirea *self-replicating patterns* → self-reproducing robots
 - K. Zuse (1960)
 - A propus ca universul să fie un automat celular
 - CA nu au "decolat" până când computerele nu au facilitat simularea lor facilă
 - S. Wolfram (1980)
 - studiază în detaliu CA → proprietăți, capacități de calcul, etc
 - <http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>

Automate celulare

□ Concept

- A CA is an **array** of **identically programmed automata**, or cells, which **interact** with one another in a **neighbourhood** and have definite **state**

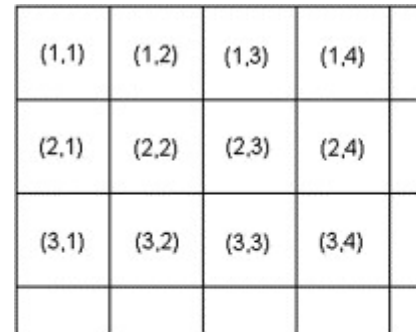
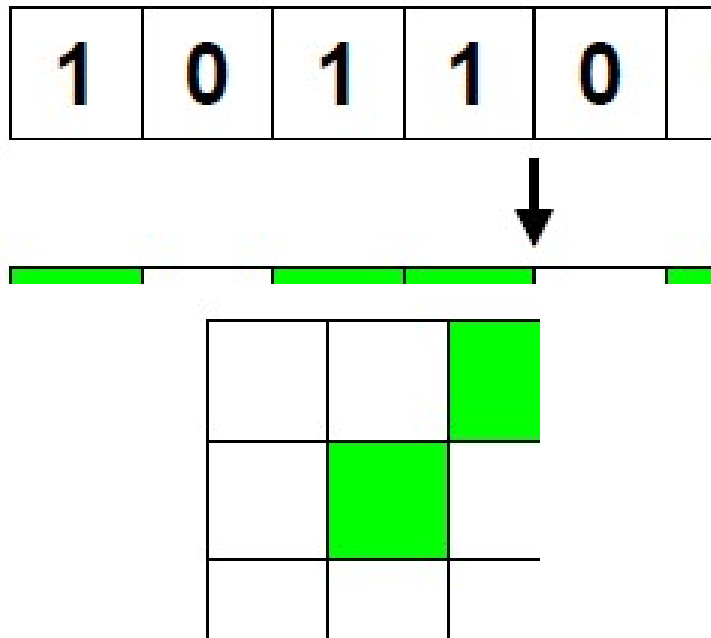
Automate celulare

□ Concept

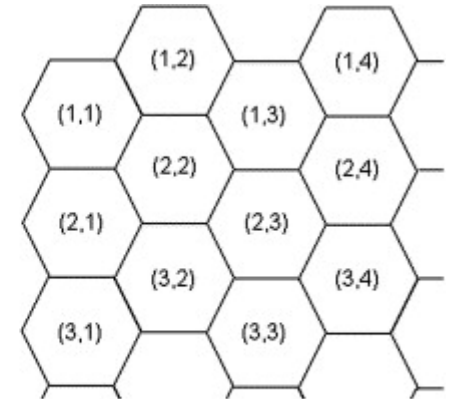
- A CA is an **array** of identically programmed automata, or cells, which interact with one another in a neighbourhood and have definite state

■ Topologia CA

- Şir (liniar)
- Grid (latice)
- Fagure
- Formă neregulată (graf)



(a)



(b)

Sursa (a) și (b): L. Hernández Encinas, S. Hoya White, A. Martín del Rey, G. Rodríguez Sánchez, Modelling forest fire spread using hexagonal cellular automata, Applied Mathematical Modelling, Volume 31, Issue 6, June 2007, Pages 1213–1227

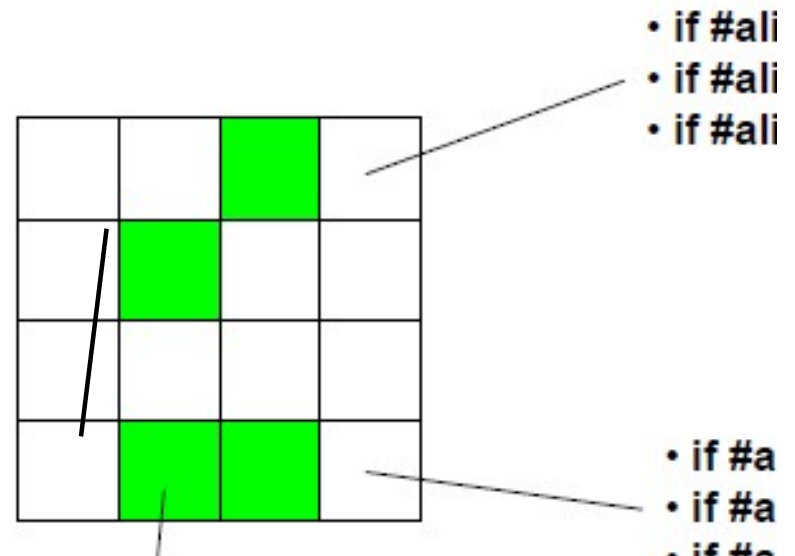
Automate celulare

□ Concept

- A CA is an array of **identically programmed automata**, or cells, which interact with one another in a neighbourhood and have definite state

■ Celula din CA

- Se află într-o anumită stare
- Se modifică conform unor reguli
 - Regula = cum se modifică starea unei celule la momentul $t+1$ fiind date stările vecinilor la momentul t



Automate celulare

□ Concept

- A CA is an array of identically programmed automata, or cells, which **interact** with one another in a **neighbourhood** and have definite state

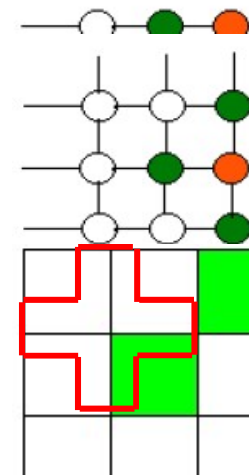
- Starea unei celule la momentul $t+1$ este unic determinată de starea sa proprie și de stările celulelor vecine la momentul t

- interacțiuni locale

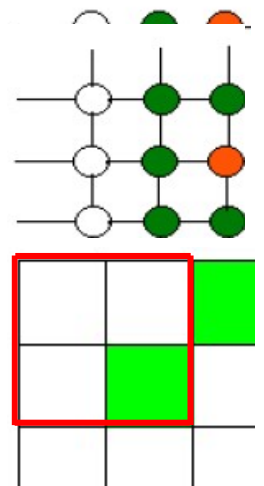
- Vecinătatea unei celule

- topologie (formă)
- dimensiune

von Neumann



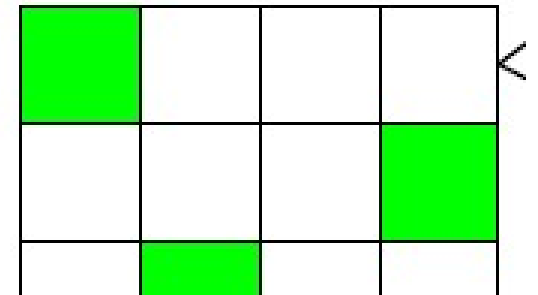
Moore



Automate celulare

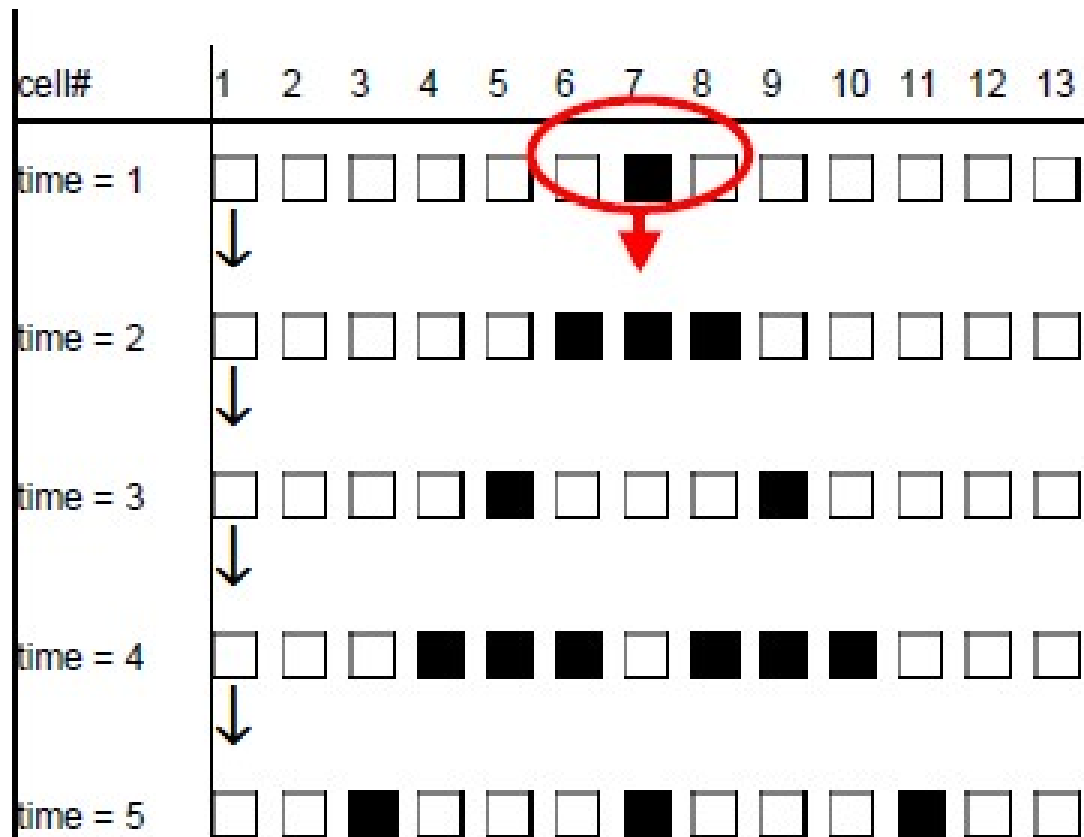
□ Concept

- *A CA is an array of identically programmed automata, or cells, which interact with one another in a neighbourhood and have definite **state***
- Starea unei celule aparține unui domeniu finit
 - 0 sau 1
 - *living* sau *dead*
 - sănătoasă sau infectată
 - Etc.
- Starea unei celule influențează stările vecinilor
 - și viceversa



Automate cellulare

□ Exemple

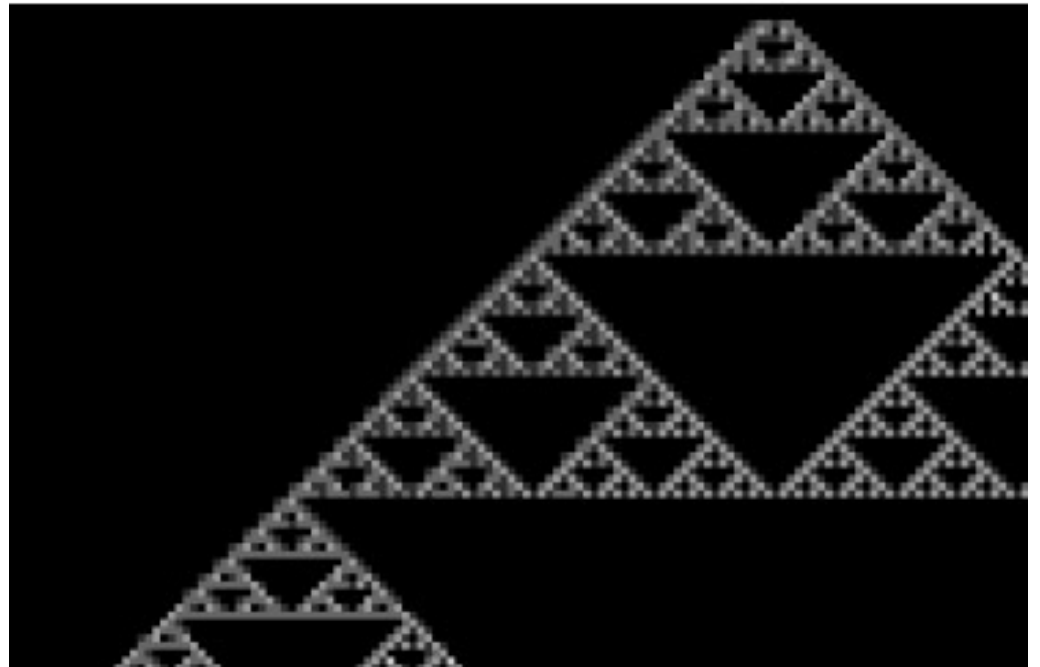


Automate celulare

□ Exemple

■ Triunghiu lui Pascal

								1
							1	1
						1	2	1
					1	3	3	1
				1	4	6	4	1
			1	5	10	10	5	1
		1	6	15	20	15	6	1
	1	7	21	35	35	21	7	1
1	8	28	56	70	56	28	8	1



Automate celulare

□ Clasificare

- Topologia și dimensiunea gridului
 - liniare rectangulare, hexagonale, bazate pe grafe
 - 1D, 2D, 3D, etc.
- Topologia vecinătății
 - von Neumann de rază r
 - Moore de rază r
- Numărul de stări
 - Binare
 - 3 stări
 - Stări multiple
- Reguli

Automate celulare

□ Reprezentarea regulilor

- Pp un CA binar (starea unei celule poate fi 0 sau 1)
- Reguli posibile

- Regula 250 (*repetition*)



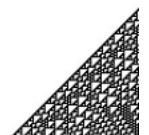
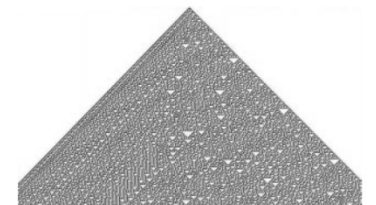
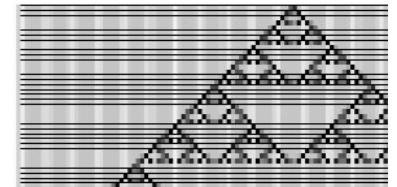
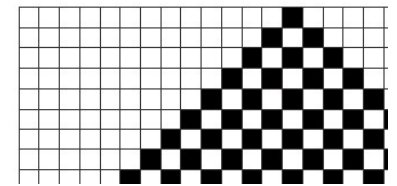
- Regula 90 (*nesting*)



- Regula 30 (*randomness*)



- Regula 110 (*localised structures*)



Automate celulare - formalism

□ Teoria automatelor

■ Ramură a științei calculatoarelor care

- Încearcă să răspundă la "Ce pot computerele să facă și ce nu pot (ce este dincolo de capacitatea lor)?"
- Ajută la crearea și studierea unor noi modele de calcul (într-un mod clar, fără ambiguități)
- Are implicații foarte practice și reprezintă baza pentru multe aplicații ale lumii reale

Automate celulare - formalism

- Un CA este reprezentat de un graf interconectat Γ (de obicei latice n-dimensională)
- Fiecare celulă a CA poate fi în una din câteva posibile stări.
 - Mulțimea stărilor Q = mulțimea tuturor stărilor posibile ale unei celule
- Perechea (Γ, Q) – spațiul celulelor din CA
- Configurație x a CA
 - este o asociere între graful Γ și mulțimea stărilor Q care atribuie fiecărui nod din Γ o stare din Q
 - $x : \Gamma \rightarrow Q$
 - $x(i) = q$, unde $i \in \Gamma$ și $q \in Q$
 - descrie starea întreagă (starea fiecărei celule) a unui CA pe o scară globală

Automate celulare - formalism

- Calculul efectuat de CA este un proces local
 - Starea următoare a unei celule depinde doar de starea ei curentă și de stările vecinilor ei (aproapiați)
- Vecinătatea unei celule N = colecția de celule situate la distanța r sau mai puțin de celula în cauză
- Dinamica locală (funcția de tranziție)
 - Fiecare celulă a unui CA este o simplă mașină cu stări finite
 - Dinamica locală δ a unei celule este o funcție care primește ca input starea celulei și a vecinilor ei și calculează starea viitoare a celulei
 - De ex, pt un CA 1D: $\delta(x_{i-1}, x_i, x_{i+1}) = x'_i$

x_{i-1}, x_i, x_{i+1}	000	001	010	011	10
$\delta(x_{i-1}, x_i, x_{i+1})$	1	0	0	1	0

Automate celulare - formalism

- Un CA este un cvatuplu $M = (\Gamma, Q, N, \delta)$
 - Γ – graf de interconexiuni
 - Q – mulțimea stărilor
 - Game of life sau Procesări de imagini alb-negru $Q = \{0, 1\}$
 - Fizică: stare = vector și $Q = \{\text{poziția vectorilor, momentele}\}$
 - N – vecinătatea
 - δ – dinamica locală (funcția de tranziție)
 - Game of life: cine moare, cine supraviețuiește
 - Fizică: matrici sau ecuații diferențiale

Automate celulare - formalism

□ Dinamica locală δ

- Descrie calculul efectuat de fiecare celulă

□ Dinamica globală T

- Descrie calculul efectuat de întreg automatul
- Descrie cum se modifică starea întregului automat de la un moment de timp la altul (de la o iterație la alta)
- Este o funcție de asociere între mulțimea configurațiilor C și ea însăși
 - $T: C \rightarrow C$



□ Aplicații

■ CA în jocuri

- Game of life, firing squad, dilema prizonierilor

■ CA în calcul paralel

- Multiplicări, cirul nr prime, sortări
- Procesări de imagini

■ CA pentru modelarea naturii și societății

- Alternativă pentru ecuații diferențiale → modele de spin
- 1D CA + regula 30 → crearea numerelor pseudo-aleatoare (Mathematica)

□ Problema majorității

- Identificarea regulilor care pentru un automat 1D binar (stări 0 sau 1) de dimensiune $i + j$ (i – nr celulelor în starea 0, j – numărul celulelor în starea 1) efectuează un calcul de vot majoritar (proporția elementelor = 1 este peste un prag dat)