

Autómatas celulares 1d

Autor: Fernando Sánchez Ruiz

MCCMA (bunker_456@hotmail.com, al118045@edu.uaa.mx)

Resumen—Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una comprensión detallada de los autómatas celulares, incluyendo el proceso de generación de reglas y las características distintivas de estas. Se discuten las propiedades y las dinámicas particulares que emergen de la aplicación de diferentes conjuntos de reglas en autómatas celulares, demostrando la riqueza y variedad de comportamientos que pueden modelar estos sistemas

Además, como parte integral de este trabajo, se ha desarrollado un software que facilita la simulación de autómatas celulares. Este programa es versátil en cuanto a la capacidad de simular reglas tanto en formato binario como decimal, proporcionando así una herramienta robusta para la experimentación y visualización de autómatas celulares en acción.

I. INTRODUCCIÓN

Un autómata celular [1], es un sistema compuesto por una cuadrícula de celdas, cada una de las cuales puede encontrarse en uno de un número finito de estados. La evolución del sistema se rige por reglas locales simples que determinan el estado de cada celda en función del estado actual de las celdas vecinas.

Estos modelos son capaces de producir patrones complejos y dinámicas emergentes a partir de condiciones iniciales sencillas, lo que los hace particularmente útiles para modelar fenómenos físicos, biológicos y sociales, incluyendo el desarrollo urbano y la formación de patrones naturales.

Autómatas celulares (AC)

Un AC se define como un sistema dinámico discreto compuesto por un conjunto de celdas (o células) que exhiben un comportamiento aleatorio dentro de una dimensión dada. Este sistema opera en un espacio discreto y el tiempo a través del cual se desarrolla y evoluciona también es discreto. Las células que conforman el autómata interactúan con sus células vecinas basándose en reglas de transición preestablecidas.

De manera más formal, un autómata celular se describe como una 4-tupla $A=(L,Q,u,f)$, que evoluciona en d dimensiones, donde $d \in \mathbb{Z}$ [2].

Los componentes de esta 4-tupla se definen de la siguiente manera:

L representa una lattice (red o malla), que es el arreglo de las células en el sistema.

Q es el conjunto de posibles estados celulares.

u define la relación entre las células vecinas, es decir, establece cuáles células son consideradas vecinas dentro de la vecindad de una célula dada.

f es la función de transición, que determina cómo evoluciona el estado de una célula en el tiempo, basándose en los estados actuales de las células en su vecindad.

Los AC tienen tres componentes principales:

Una lattice discreta (L), que es el arreglo espacial de las células.

Una vecindad (r), que son las células adyacentes a una célula específica, y de las cuales depende el comportamiento futuro de dicha célula.

Las reglas de transición (f), que pueden ser funciones de transición local específicas para las células o tablas de transición de estados. Estas reglas definen cómo el estado de una célula cambia en el siguiente paso de tiempo basado en los estados actuales de las células en su vecindad.

II. GENERACIÓN DE CONFIGURACIONES

El proceso comienza con la definición de una configuración inicial de celdas, cada una de las cuales puede estar en uno de dos estados: lleno o vacío como se puede ver en la Fig 1. La evolución de estas celdas se rige por un conjunto de reglas de vecindad, que determinan el estado futuro de cada celda basándose en su estado actual y el de sus vecinas [3]. Esta metodología permite la exploración de una amplia gama de configuraciones 1D, las cuales se pueden extrapolar a espacios tridimensionales para generar formas arquitectónicas plegadas.

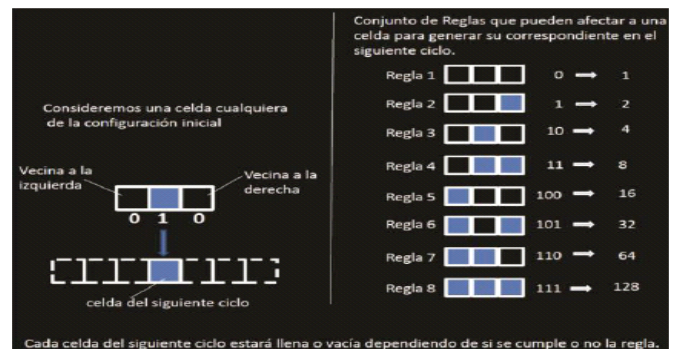


Fig. 1. Generación de configuraciones

* Universidad Autónoma de Aguascalientes

La identificación de las reglas específicas a aplicar se realiza mediante un sistema de nomenclatura basado en la obra de Stephen Wolfram, utilizando la letra "W" seguida de un número que resulta de la suma de las transformaciones a números binarios de las reglas aplicables. Por ejemplo, la regla W30 se deriva de la suma de las reglas 2, 3, 4, y 5. Esta forma de identificación permite un enfoque sistemático para explorar diferentes patrones y sus aplicaciones.

III. CASO DE ESTUDIO

Nuestro caso de estudio aborda el desarrollo de un software diseñado para facilitar la generación y visualización de autómatas celulares. Esta herramienta informática permite la manipulación de variables por parte del usuario, ofreciendo así una personalización en la creación de reglas para los autómatas celulares. Adicionalmente, el programa incluye la implementación del "Juego de la Vida", un autómata celular con reglas fijas. La interfaz gráfica, delineada en la Fig 2, proporciona una plataforma intuitiva para la interacción con estos modelos computacionales, permitiendo la observación directa de la dinámica de los autómatas en acción.

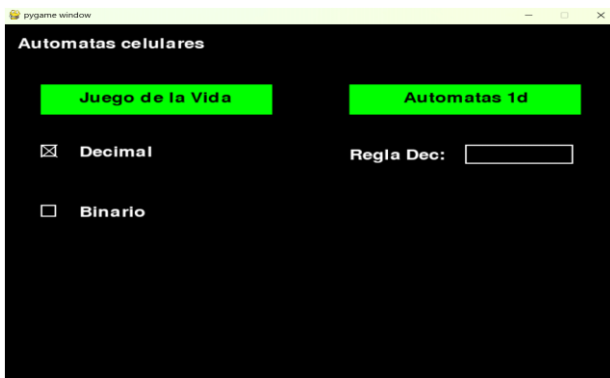


Fig. 2. Interfaz Decimal

La figura mencionada muestra la interfaz gráfica del programa, en la cual se observan opciones para elegir entre un modo decimal o binario y botones para activar el "Juego de la Vida" o los autómatas celulares unidimensionales. La interfaz es minimalista, con un diseño que prioriza la funcionalidad y la facilidad de uso, está desarrollado en Python y en este caso no se abordara detalladamente la programación del autómata o el juego de la vida, más bien nos limitaremos a la descripción y usos de las diferentes reglas.

Selección Decimal

En la interfaz del programa desarrollado Fig 2, se dispone de una función específica para la entrada de reglas en formato decimal. Dicha función está diseñada para aceptar números en el rango de 0 a 256, permitiendo al usuario introducir cualquier valor dentro de este espectro mediante un campo dedicado para la entrada de tres dígitos numéricos (0-9). El programa está configurado para iniciar la simulación con la regla proporcionada siempre que el número ingresado se encuentre dentro del conjunto de reglas válidas, que van de 0 a 256.

En ausencia de una entrada específica, el programa optará por seleccionar una regla de manera aleatoria, brindando así una experiencia dinámica y variada en cada uso. Además, una vez en operación, el programa ofrece la posibilidad de alterar la regla en uso, avanzando numéricamente a la regla siguiente con tan solo presionar la tecla 'r', facilitando la exploración secuencial de las reglas de autómatas celulares disponibles.

Selección Binaria

La interfaz presentada en la Figura 3 ofrece un entorno interactivo en el que los usuarios pueden especificar configuraciones para autómatas celulares en modo binario. Esta modalidad permite la activación o desactivación de cada uno de los bits asociados a las ocho reglas de vecindad que definen el comportamiento del autómata.



Fig. 3. Interfaz Binaria

A través de un campo de texto implementado en la interfaz, los usuarios tienen la opción de ingresar una secuencia de ocho dígitos binarios, cada uno correspondiente a un valor de '0' o '1'. Siguiendo las directrices de la interfaz, el primer dígito ingresado es reconocido como el más significativo, colocándose a la izquierda de la secuencia, tal como se estipula en la Figura 3. Este diseño intuitivo posibilita una interacción directa y precisa, fundamental para la personalización de las reglas del autómata celular que se desea simular.

El juego de la vida

El "Juego de la Vida" es un autómata celular diseñado por el matemático británico John Horton Conway en 1970. Constituye un juego sin jugadores en el que el avance se determina por el estado inicial de un tablero de celdas, evolucionando en iteraciones subsiguientes sin intervención adicional. Las reglas son simples: una celda puede vivir, morir o multiplicarse según el número de vecinos que tiene, lo que lleva a una gran diversidad de resultados y comportamientos emergentes a partir de patrones iniciales muy básicos.

En el contexto de nuestro trabajo, si bien se reconoce la importancia del "Juego de la Vida" como un ejemplo paradigmático de los autómatas celulares, nuestro enfoque no se centrará en el desarrollo o programación detallada del mismo. Lo mencionamos como un referente clásico y como una herramienta ilustrativa común al abordar el tema de los autómatas celulares.

IV. REGLAS Y USOS

Los autómatas celulares (AC) son sistemas dinámicos discretos cuyas reglas determinan la evolución de patrones complejos a partir de condiciones iniciales simples. Aquí se presentan algunas de las reglas más conocidas y sus aplicaciones comunes.

Reglas de los Autómatas Celulares

Regla 30: Una regla elemental que produce comportamiento caótico y patrones complejos a partir de condiciones iniciales simples Fig 4. Es utilizada para generar números pseudoaleatorios en algoritmos criptográficos y simulaciones.

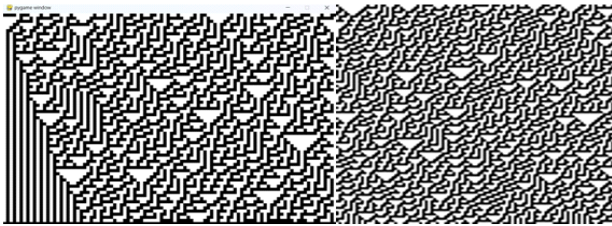


Fig. 4. W30

Regla 110: Demostrado por Stephen Wolfram para ser computacionalmente universal, lo que significa que puede simular cualquier algoritmo computacional Fig 5. Se utiliza como un modelo para la computación y la teoría de la complejidad.

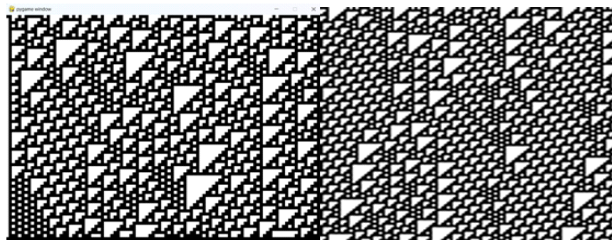


Fig. 5. W110

Regla 184: Conocida por su capacidad para modelar sistemas de tráfico de vehículos, flujos de tráfico y otros sistemas de transporte Fig 6.

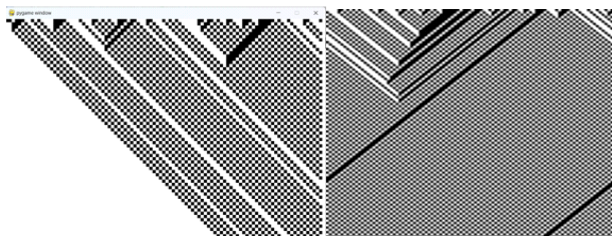


Fig. 6. W184

Usos Comunes de los Autómatas Celulares

Modelado de Fenómenos Físicos: Tales como la difusión de partículas, reacciones químicas y procesos de cristalización.

Biología y Ecología: Modelado de patrones de crecimiento en poblaciones biológicas, dinámicas de propagación de enfermedades y procesos evolutivos.

Ciencias de la Computación: En la criptografía, la generación de números aleatorios, y como un modelo de computación teórica.

Ciencias Sociales: Simulación de dinámicas urbanas, tales como el crecimiento de ciudades y la formación de patrones sociales.

Ingeniería: Diseño de sistemas complejos, como la optimización de redes de transporte y la simulación de sistemas de tráfico.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, los autómatas celulares se han establecido como una metodología clave en el estudio y análisis de sistemas complejos, proveyendo un marco computacional que es a la vez robusto y maleable. Su aplicación trasciende disciplinas, ofreciendo insights valiosos en la investigación científica y avanzando la frontera de la ingeniería aplicada. A través de la implementación de reglas simples para simular comportamientos complejos y emergentes, los autómatas celulares permiten una mejor comprensión de fenómenos naturales y artificiales, revelando patrones y dinámicas que son fundamentales para el progreso tecnológico y la expansión del conocimiento humano.

REFERENCIAS

- [1] M. Batty, "Cellular Automata and Urban Form: A Primer," *Journal of the American Planning Association*, vol. 63, no. 2, pp. 266–274, Jun. 1997, doi: 10.1080/01944369708975918.
- [2] P. Guevara López, C. Hernández Calderón, and J. González, *Una Propuesta de Modelado de Tiempos de Ejecución para Tareas en Tiempo Real Utilizando Autómatas Celulares*. 2012.
- [3] K. Saito and R. Serrentino, *SUPERFICIES PLEGADAS A PARTIR DE AUTÓMATAS CELULARES DE UNA DIMENSIÓN*. 2022.