

Autómatas Celulares

Noe Quenta Chavez
ageon17@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se introducen los *Autómatas Celulares* como una de las herramientas de la inteligencia artificial, utilizada para la representación directa y discreta de comportamientos complejos de algunos sistemas físicos, mecánicos, biológicos y químicos. Se define la estructura básica de un *Autómata Celular*, se introducen sus conceptos asociados y se plantean las mínimas consideraciones que deben tenerse en cuenta para solucionar problemas por medio de esta técnica. Finalmente, se enuncian algunos ejemplos representativos.

Palabras Clave

Autómatas Celulares, Celda, Discretizar, Ecuaciones Diferenciales, Elementos Finitos FEM, Estado Local, Estado Global, Estados, Estructuras Estáticas de Datos, Integrales Funcionales, Inteligencia Artificial (IA), Modelos, Modelos Biológicos, Problema Directo, Problema Intermedio, Problema Inverso, Regla de Evolución, Reglas Locales, Reloj Virtual de Cómputo, Sistemas, Sistemas Análogos, Sistemas Complejos, Sistemas Discretos, Teselación, Variables de Estado, Vecindad.

1. INTRODUCCION

El modelamiento de la mayoría de sistemas físicos, eléctricos y mecánicos, está basada en métodos y expresiones matemáticas, las cuales representan teóricamente el comportamiento de dichos sistemas. Generalmente, para modelar sistemas de naturaleza continua, son utilizadas las ecuaciones diferenciales, las integrales funcionales y las variables de estado, entre otras. Algunos procedimientos de discretización y digitalización de sistemas, permiten realizar análisis numéricos sobre modelos aproximados.

Una técnica matemática compleja utilizada para modelar algunos sistemas físicos y mecánicos es el *Método de los Elementos Finitos (FEM)*, cuya finalidad es discretizar espacios de naturaleza continua, sobre los cuales es posible realizar análisis numéricos para comprender, por medio de un modelo discreto, el comportamiento de sistemas analógicos. No obstante, la complejidad de aplicar FEM sobre algunos sistemas es tal, que resulta difícil lograr modelos que describan con precisión sus comportamientos. FEM es de amplia utilización en análisis de sistemas y espacios fisico-mecánicos donde el objetivo sea comprender la resistencia de materiales, la dinámica de partículas y en general el comportamiento y la interacción de los elementos base del sistema en el espacio; pero quedan aún muchos sistemas complejos y de diversa naturaleza en los cuales no es convencional aplicar esta técnica, por ejemplo, sistemas químicos, biológicos, evolutivos, genéticos, eléctricos, computacionales e inclusive otros físicos y mecánicos. Para el modelamiento de este tipo de sistemas quedan aún tres opciones: Lograr un modelo de naturaleza continua (en aquellos sistemas analógicos), en el cual se requiere expresiones de funciones continuas; utilizar métodos aproximativos de discretización (sin embargo, se tienen problemas de digitalización del modelo) o modelar con un *Autómata Celular*.

Un autómatas celular es un modelo matemático utilizado en Inteligencia Artificial para simular sistemas biológicos, y consiste en una grilla compuesta por celdas (denominadas células) que poseen un número finito de estados posibles. Cada una de estas células es capaz de reconfigurar su estado en función de las células vecinas. En la interacción entre los elementos constituyentes del sistema, emerge un nivel superior de organización, que no puede explicarse solamente como la sumatoria de los comportamientos simples de cada una de las células que conforman el autómatas. Esta manifestación de “emergencia” de los autómatas celulares, junto a la auto-organización, familiariza a estos sistemas, pertenecientes al campo de la Vida Artificial, con los fenómenos presentes en la vida biológica.

Los *Autómatas Celulares* son estructuras ideales para construir modelos digitales aproximativos de algunos sistemas complejos de naturaleza continua, sin pasar por modelos analógicos. Es posible, por ejemplo, lograr sencillos modelos digitales que representen con suma fidelidad algunas leyes de la física.

2. MARCO TEORICO

Bioinformática es la aplicación del desarrollo de la Computación y las **Matemáticas** que permite la administración, análisis y comprensión de datos para resolver preguntas biológicas.

El *Método de los Elementos Finitos (FEM)* es de amplia utilización en análisis de sistemas y espacios fisico-mecánicos donde el objetivo sea comprender la resistencia de materiales, la dinámica de partículas y en general el comportamiento y la interacción de los elementos base del sistema en el espacio.

Un *sistema complejo* está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas cuyos vínculos contienen información adicional y oculta al observador.

La *autoorganización* es objeto de estudio interdisciplinario, pues es una propiedad característica de los sistemas complejos, ya sean éstos matemáticos, físicos, químicos, biológicos, sociales o económicos.

Un *Autómata Celular (AC)* es una herramienta computacional que hace parte de la Inteligencia Artificial basada en modelos biológicos, el cual está básicamente compuesto por una estructura estática de datos y un conjunto finito de reglas que son aplicadas a cada nodo o elemento de la estructura.

3. DESARROLLO

Un *Autómata Celular* es una herramienta computacional que hace parte de la *Inteligencia Artificial* basada en *modelos biológicos*, el cual está básicamente compuesto por una estructura estática de datos y un conjunto finito de reglas que son aplicadas a cada nodo o elemento de la estructura. El interés que ha despertado esta técnica radica en la sencillez y en la simplicidad que caracteriza la construcción de los modelos; además, en la particularidad de los patrones de comportamiento presentados por el *Autómata* en tiempo de ejecución.

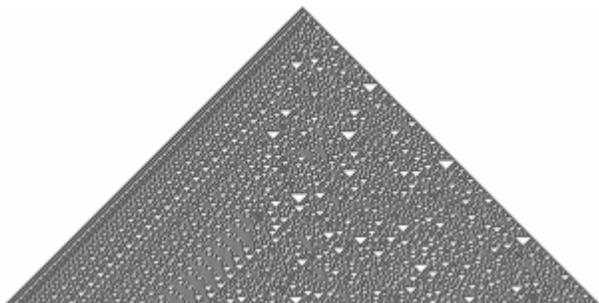


Figura1. Autómata celular generado con la regla 30

3.1 Estructura de un Autómata Celular

Basados en el planteamiento que presenta Muñoz acerca de la estructura de un *Autómata Celular*, se definen como sus componentes básicos:

- Un plano bidimensional o un espacio n-dimensional dividido en un número de subespacios homogéneos, conocidos como celdas. A todo esto se le denomina *Teselación Homogénea*.
- Cada celda puede estar en uno de un *conjunto finito o numerable S* de estados.
- Una *Configuración C*, la que consiste en asignarle un estado a cada celda del autómata.
- Una *Vecindad* definida para cada celda, la que consiste en un conjunto contiguo de celdas, indicando sus posiciones relativas respecto a la celda misma.
- Una *Regla de Evolución*, la cual define cómo debe cada celda cambiar de estado, dependiendo del estado inmediatamente anterior de su vecindad.
- Un *Reloj Virtual de Cómputo* conectado a cada celda del autómata, el cual generará "*tics*" o pulsos simultáneos a todas las celdas indicando que debe aplicarse la regla de evolución y de esta forma cada celda cambiará de estado.

Según Toffoli y Margolus, se define un *Autómata Celular* sólo si se tiene que todas las celdas:

- Tienen el mismo *Conjunto S de Estados* posibles.
- Tienen la misma forma de *Vecindad*.
- Tienen la misma *Regla de Evolución*.

3.2 Consideraciones adicionales

Un *Autómata Celular* puede ser construido definiendo alguna especificación para cada uno de sus componentes, es decir, de alguna forma se definirá su *teselación*, los posibles *estados*, las *vecindades* y la *regla de evolución*; no obstante, se tienen unas consideraciones y posibilidades con estos componentes, las que permitirán cierta flexibilidad en el momento de construir el *autómata*.

- El *autómata* puede ser de 1, 2, 3, ..., n dimensiones.
- La *teselación* puede ser finita o infinita, con condiciones de frontera abiertas o periódicas.
- El *conjunto de estados S* no necesita tener ninguna estructura algebraica adicional.

- La *vecindad* puede ser simétrica o no y puede incluir o no a la propia celda.
- La *regla de evolución* es una tabla o unas reglas.

4. APLICACIONES

Los autómatas celulares pueden ser usados para modelar numerosos sistemas físicos que se caractericen por un gran número de componentes homogéneos y que interactúen localmente entre sí. De hecho, cualquier sistema real al que se le puedan analogar los conceptos de "vecindad", "estados de los componentes" y "función de transición" es candidato para ser modelado por un A.C.

Las características de los autómatas celulares harán que dichos modelos sean discretos en tiempo, espacio o ambos (dependiendo de la variante de la definición de A.C. que se use). Algunos ejemplos de áreas en donde se utilizan los autómatas celulares son:

- Modelación de flujo de tránsito vehicular y de peatones.
- Modelación de fluidos (gases o líquidos).
- Modelación de la evolución de células o virus como el VIH.
- Modelación de procesos de percolación.



Figura2. El caparazón de *Conus textile* muestra un patrón caracterizable en términos de autómatas celulares

Tal vez, lo más llamativo e interesante de los *Autómatas Celulares* es el comportamiento presentado por el modelo en tiempo de ejecución y la similitud de éste con la complejidad de la naturaleza continua. "*Life*" o "*El Juego de la Vida*", por ejemplo, simula la existencia de diferentes "formas de vida" sobre un espacio bidimensional, las cuales presentan singular comportamiento a través del tiempo; "*Evolución*" es un autómata que simula cómo un conjunto de microbios sobreviven comiendo bacterias; y "*Mayoría Alineada*" muestra cómo es el comportamiento de la tensión superficial entre líquidos no permeables. A continuación, algunos ejemplos de *Autómatas Celulares* (tomados de Muñoz).

- "*Life*" o "*El Juego de la Vida*", de John Hourton Conway.
- "*Mayoría Alineada*". Modelo Celular de Dedwdney.
- "*Evolución*". Modelo Celular de Dewdney.
- "*Reacción Química de Belousov-Zhabotinski*". Modelo Celular de Dewdney.

- "HPP-GAS" (modelo de dinámica de fluidos), de Hardy, de Pazzis y Pomeau.

El modelar un sistema del mundo real por medio de un *Autómata Celular*, requiere que se conozca al menos su comportamiento global. Si conocido este comportamiento se quiere deducir un conjunto de reglas de evolución local que lo genere, entonces se desea desarrollar el autómata por el *Problema Inverso*. De lo contrario, si se desea primero experimentar y ajustar una *Regla de Evolución* pseudo-aleatoria hasta lograr un comportamiento similar al del sistema real, entonces se desea desarrollar el autómata por el *Problema Directo*. No obstante, se puede lograr algo intermedio, a partir de comportamientos locales del sistema real construir una regla de evolución local y ponerla a prueba para determinar si se logra un autómata que modele el comportamiento del sistema global, a esto se le denomina el *Problema Intermedio*.

Dependiendo de la naturaleza compleja de un sistema y de la posibilidad de identificar estados locales y reglas generales de evolución, se podrían simular comportamientos por medio de *Autómatas Celulares*; por ejemplo, los mundos y sistemas enunciados a continuación son susceptibles a un modelamiento por esta técnica: Simulación de tráfico automotor, virus, glóbulos, epidemias, bacterias, contaminación, ecosistemas, evolución galáctica, flujo de electrones, acción & reacción, medios granulares y gases de Fermi entre otros.

4.1 Ejemplo de un autómata celular "El juego de la vida"

El autómata celular más famoso es el "Juego de la Vida", o Vida simplemente, de John Conway. Vida empezó a finales de los 60s, principios de los setenta cuando Conway estableció una simplificación de las investigaciones previas sobre autómatas celulares de John el von Neumann. Conway había querido encontrar el CA más simple que soportara la computación universal. Decidió usar dos estados, muerto o vivo, y cuatro reglas simples:

- Si una celda viva tiene menos de dos vecinos, se muere.
- Si una celda viva tiene más de tres vecinos, se muere.
- Si una celda muerta tiene tres vecinos exactamente, nace.
- Por otra parte, todas las otras celdas permanecen en su estado original.

Estas reglas simples generan un comportamiento increíblemente complejo. De hecho, fue rápidamente probado que la Vida de Conway es de hecho capaz de la computación universal. Debajo hay un "planeador", una estructura dentro de Vida que tiene un ciclo de 5 estados, y un movimiento abajo a la izquierda en cada ciclo.

5. CONCLUSIONES

Es típico de un Autómata Celular generar comportamientos complejos a partir de reglas muy sencillas. En conclusión, un *Autómata Celular* está compuesto por:

- Una *Teselación Homogénea*.
- Un conjunto finito de *Estados* para cada celda.
- Una *Vecindad* para cada celda.
- Una *Regla de Evolución*.

Son útiles en la construcción de modelos donde los elementos base o componentes (actores) son de similar naturaleza y comportamiento; donde éstos se rigen por reglas parecidas y donde, en el mismo sistema real, se identifican componentes diferenciables, independientes, aislables y/o discretos.

Como propuesta de proyecto, se plantea desarrollar un programa computacional que permita la creación, edición y ejecución de *Autómatas Celulares*. Este programa, como entorno integrado de desarrollo, deberá permitir: definir la dimensión de la teselación, la vecindad, los estados, la regla de evolución y el estado inicial, entre otros. Se podrá visualizar paso a paso la evolución del autómata como también la configuración luego de haber ejecutado *n* pasos de evolución. Además, como cualquier programa, deberá permitir la manipulación de los autómatas en archivos, la edición de los mismos, el manejo de gráficas y los correspondientes menús de ayuda y documentación.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] BERCHELAMP, Elwyn; CONWAY, John y GUY, Richard. *Winning Ways*. Academic Press, 1982.
- [2] DEWDNEY, A. K. Artículo: *JUEGOS DE ORDENADOR*, en: *Investigación y Ciencia*. No. 145, 1988.
- [3] DEWDNEY, A. K. Artículo: *JUEGOS DE ORDENADOR*, en: *Investigación y Ciencia*. No. 154, 1989.
- [4] GARDNER, Martin. *Wheels: Life and other Mathematical Amusements*. W. H. Freeman and Company, 1983.
- [5] HARDY, J.; DE PAZZIS, O. y POMEAU, Y. *Molecular Dynamics of a Classical Lattice Gas: Transport Properties and Time Correlation Functions*. Physical Review, No. 5, 1976.
- [6] MUÑOZ CASTAÑO, José Daniel. Artículo: *AUTÓMATAS CELULARES Y FÍSICA DIGITAL*, en: *Memorias del Primer Congreso Colombiano de NeuroComputación*. Santafé de Bogotá, D. C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1996. 28 p. ISBN 958-9205-17-8.
- [7] TOFFOLI, Tommaso y MARGOLUS, Norman. *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*. The MIT Press, Cambridge MA, 1987.