

Seminario de investigación:
Técnicas generativas para la producción
audiovisual en entornos digitales

Joaquin Cerviño Tutor: Esteban Calcagno

4 de septiembre de 2019

1. Autómata Celular

1.1. Introducción

Los autómatas celulares(AC) fueron concebidos por Stanislaw Ulam y John von Neumann a partir de análisis realizados sobre desarrollos morfológicos y caracterizados como sistemas complejos que pueden manifestar un comportamiento global o emergente. Coveney y Highfield definen a una propiedad emergente como “una propiedad de un sistema complejo que consiste de varias unidades que interactúan” (Coveney,Highfield, 1995) [2]. Estos sistemas fueron objeto de estudio durante años, contando entre sus estudiosos a científicos como Konrad Zuse, Ed Fredkin y Stephen Wolfram. Este último hizo uno de los desarrollos y análisis más extensos sobre el tema.

Wolfram define a los autómatas celulares como “una línea de células, cada

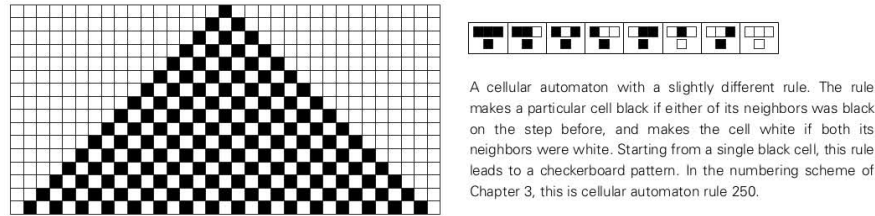


Figura 1: Ejemplo de propagación de un autómata celular y su regla. [9]

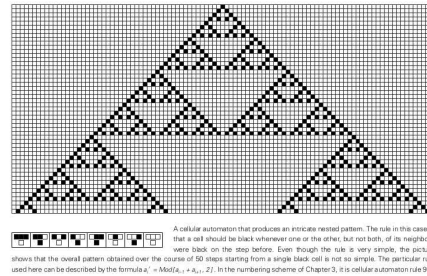


Figura 2: Ejemplo de propagación de un autómata celular y su regla [9]

A partir de la observación realizada sobre los resultados de distintos tipos de autómatas celulares, es decir, basados en distintas reglas, y provenientes de estados iniciales aleatorios, Wolfram llega a la conclusión que el comportamiento emergente de éstos puede ser clasificados en cuatro grupos. Éstos a su vez están ordenados según un grado creciente de complejidad.

El primer grupo es el que exhibe el comportamiento más simple y en éste se incluye a los AC que desde cualquier punto inicial derivan en un mismo estado final uniforme. En el segundo grupo, hay varios estados finales pero todos éstos

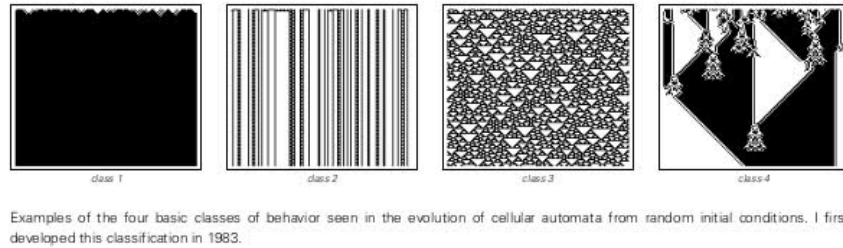


Figura 3: Los cuatro grupos propuestos por Wolfram para clasificar los autómatas celulares [9]

permanecen inalterados o se repiten luego de un número reducido de pasos. En el tercer grupo el comportamiento es más complejo y es en su gran mayoría aleatorio, aunque puedan manifestarse pequeñas estructuras, como triángulos, de forma esporádica. En el cuarto grupo, se agrupa a los AC que muestran un comportamiento que resulta de una mezcla de aleatoriedad y orden. En esta categoría se puede observar la aparición de pequeñas estructuras que a su vez interactúan con otras de un forma compleja.

1.2. Estudios de caso

1.2.1. Introducción al estudio de caso

hablar de otras implementaciones y por que elegi a miranda.

1.2.2. Chaosynth

La síntesis granular es una técnica que fue conceptualizada por primera vez por Xenakis en su libro *Musiques Formelles*(1981) [11]. Las primeras implementaciones se pudieron lograr con el advenimiento de la síntesis digital, siendo Curtis Roads(1991) [5] y Truax(1988) [8] los primeros en experimentar e implementar esta técnica. Posteriormente, Roads le otorgó un marco conceptual y académico que quedó plasmado en su libro *Microsound*(2004) [6]. Esta técnica consiste en la utilización de un gran número “granos”(sonidos de muy corta duración, por ejemplo, de hasta 50 milisegundos), que pueden tener variadas formas de onda y a los cuales se les aplica una envolvente. La masa generada como resultado de la sumatoria de granos tiene parámetros globales que la determinan, como por ejemplo, la densidad. En este aspecto Xenakis propone modelos estocásticos para modelar la morfología de estas nubes de granos. Eduardo Reck Miranda(1995) [4] propone la utilización de autómatas celulares para controlar la producción de granos en la síntesis granular a través del Chaosynth. ChaOs proviene de la expresión *Chemical Oscillator*, “una representación metafórica de un fenómeno neurofisiológico conocido como circuito

de reverberación neuronal” (Miranda, 1995). En este caso, las células que componen al AC son interpretadas como células nerviosas que pueden manifestar tres estados: inactivo(*quiescent*), despolarizado(*depolarized*) o quemado(*burned state*). Este AC evoluciona de un estado inicial de completa aleatoriedad a un comportamiento oscilatorio donde pueden discernirse patrones. Miranda plantea que esta característica emergente del sistema es similar a cómo se producen sonidos de forma natural en instrumentos acústicos ya que, al igual que el AC, “los sonidos tienden a converger de una amplia distribución de sus parciales(por ejemplo ruido) a patrones oscilatorios(por ejemplo, un sonido armónico)”. En el Chaosynth la interacción entre células representa la circulación de corriente entre ellas. Hay dos umbrales con distintos valores, uno con un valor de voltaje mínimo(V_{min}) y otro con un valor máximo(V_{max}). Si el valor del voltaje de la célula se encuentra por debajo del V_{min} , la célula se encuentra en estado inactivo(o “polarizada”); si su valor está entre V_{min} inclusive y V_{max} está despolarizada. Cada célula “tiene un divisor de potencia(*potential divider*) cuya finalidad es mantener el voltaje de la misma debajo de V_{min} . Si el divisor falla, esto es, si V_i alcanza V_{min} , la célula nerviosa se despolariza. También, está en juego un capacitor eléctrico que regula la velocidad de despolarización.” Miranda destaca que la tendencia global del sistema es a que la células se despolaricen cada vez más con el transcurrir del tiempo, o a cada paso. Por último, se aclara que “una célula quemada en el tiempo(o paso t) es reemplazada por una nueva célula inactiva en el siguiente paso $t + 1$ ”.

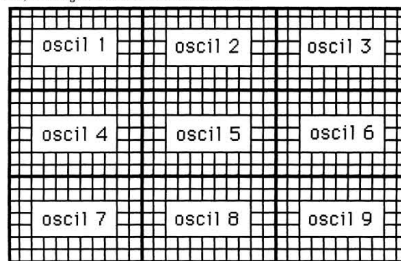
A modo de resumen, se puede inferir que el comportamiento del ChaOs depende de los siguientes factores:

1. El número n de estados, siendo $n > 3$.
2. El valor de las resistencias r_1 y r_2 del divisor de potencia.
3. La capacitancia k del grado de depolarización.
4. La velocidad t del sistema.
5. La dimensión de la grilla.

El Chaosynth hace uso del comportamiento del sistema anteriormente descrito(ChaOs) para manejar la generación de un gran número de “partículas sonoras” para formar un evento sonoro complejo. Miranda hace uso de lo que el llama *Mapping Technique*(técnica de mapeo) para utilizar el ChaOs con el fin de secuenciar partículas sonoras, o “granos”. Cada una de estas partículas “está compuesta por varios parciales. Cada parcial es una senoide generada por un oscilador. Un oscilador necesita tres parámetros para funcionar: frecuencia, amplitud y duración(en milisegundos). ChaOs controla los valores de frecuencia y la duración de la partícula, pero los valores de amplitud son establecidos por el usuario de forma previa. Los estados de una célula nerviosa están asociados a un valor de frecuencia y los osciladores están asociados a un cierto número de células. Los valores de frecuencia en un tiempo t son, por consiguiente, establecidos por el promedio de las frecuencias asociados a los estados de la célula

nerviosa mapeada a cada oscilador” (Miranda,1995). En el Chaosynth se permite al usuario establecer otros parámetros como por ejemplo, el tamaño de la grilla, la cantidad de osciladores, la relación entre células nerviosas y osciladores y lo parámetro internos del ChaOS (el número de estados, el valor de las resistencias, la capacitancia de las células). En cuanto a la síntesis de sonido se puede agregar que es en esencia aditiva, ya que cada partícula sonora o “grano.^{es} generados por la unión de varias sinusoides.

Fig. 1. An example of a grid of 693 nerve cells distributed to 9 oscillators; each oscillator, in this case, holds 77 nerve cells. The oscillators produce sine waves whose frequency values are determined by the arithmetic mean over the values of their corresponding nerve cells, according to the state of the cellular automaton.



Example grid = 21 x 33 cells
Each oscillator = 7 x 11 cells

Figura 4: Técnica de mapeo. [4]

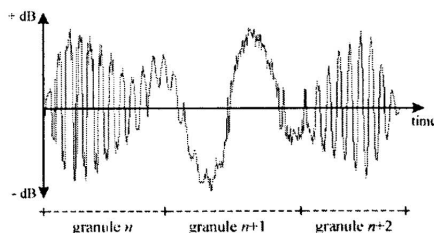


Figura 5: Resultado obtenido por el Chaosynth. [4]

1.2.3. Implementación

El Chaosynth se trata de un autómata celular de dos dimensiones. La representación varía en comparación a los expuestos en la introducción en que lo que se grafica es un estado actual en una grilla de células, en contraposición al de una serie de pasos consecutivos. La implementación del Chaosynth en Processing está basada en la de Daniel Shiffman del *Game of Life* de John Conway. El juego desarrollado por dicho matemático consiste en un tablero con casilleros que pueden estar ocupados o no por fichas, que representan organismos “vivos”, que se trasladan de acuerdo a “leyes genéticas”. Esta clase de juegos se denominan de “simulación” (*Simulation game*) ya que exhiben un desarrollo análogo a

aquellos de seres vivos. Las reglas estipuladas por el creador del juego fueron hechas para que satisfagan las siguientes tres normas: “1. No debe haber un patrón inicial[de células] mediante el cual pueda haber una propagación sin límite de células. 2. Debe haber parámetros iniciales que aparentemente crezcan sin límite. 3. Debe haber un patrón inicial simple que crezca y se transforme durante un tiempo considerable y llegue a tres finales posibles: desaparecer completamente (por superpoblación o escasez), permanecer en una configuración estable que permanece sin cambios, o entrar en una fase oscilatoria en la cual se repitan patrones de forma permanente cada dos o tres ciclos”. [1] Shiffman interpreta que el *Game of Life* se trata de un autómata celular de clase 4 según la taxonomía de Wolfram. [7]. Como el Chaosynth representa metafóricamente a un oscilador químico en el cual células se despolarizan o queman, el Game of Life representa el desarrollo de organismos que nacen, mueren o sobreviven según el estado de las células vecinas: “1. Supervivencia. Cada ficha [célula] que contenga dos o tres células adyacentes sobrevive a la siguiente generación. 2. Muertes. Cada célula que posea cuatro o más vecinos muere por superpoblación. Cada, célula con un solo vecino o ninguno muere por su aislamiento. 3. Nacimientos. Cada célula muerta o casillero vacío con exactamente tres células adyacentes vivas nace, esto es, ese casillero posee una célula viva en la siguiente generación”. [1] El Chaosynth es una extensión del Game of Life con otras reglas y con más estados posibles para las células. La generación de sonido se logra mediante la utilización del programa Pure Data, desarrollado por Miller Puckette [3] y se vinculan los dos procesos mediante la utilización del protocolo OSC(*Open Sound Control* [10]. Processing genera *frames* o imágenes de forma consecutiva y a una frecuencia estable para lograr la animación. Cada una de éstas es graficada luego de una instancia de procesamiento donde se calculan los valores venideros de cada célula del AC, esto es, los colores y las posiciones de los cuadrados en la pantalla que los representan. Es en esta instancia que también se calculan promedios de valores de secciones del tablero de células para utilizarlos como parámetros en la secuenciación del sintetizador. Para lograr este fin, son enviados utilizando el protocolo OSC.

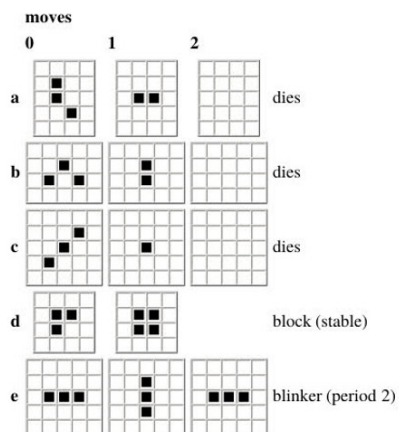


Figura 6: Ejemplo del funcionamiento del *Game of Life*. [1]

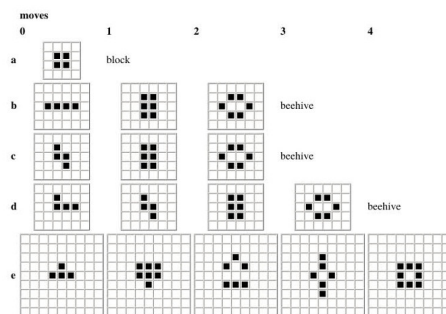


Figura 7: Patrones que emergen del *Game of Life*, como el “panal de abejas”. [1]

Referencias

- [1] Martin Gardner. Mathematical games: on cellular automata, self-reproduction, the garden of eden and the game”life”. *Sci. Am.*, 224:112–117, 1971.
- [2] Roger Highfield. *Frontiers of complexity: the search for order in a chaotic world*. 1996.
- [3] S Puckette MILLER. *Theory and technique of eletronic music*, 2007.
- [4] Eduardo Reck Miranda. Granular synthesis of sounds by means of a cellular automaton. *Leonardo*, 28(4):297–300, 1995.
- [5] Curtis Roads. *Asynchronous granular synthesis, representations of musical signals*, 1991.
- [6] Curtis Roads. *Microsound*. MIT press, 2004.

- [7] Daniel Shiffman. *The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing*. Daniel Shiffman, 2012.
- [8] Barry Truax. Real-time granular synthesis with a digital signal processor. *Computer Music Journal*, 12(2):14–26, 1988.
- [9] Stephen Wolfram. *A new kind of science*, volume 5. Wolfram media Champaign, IL, 2002.
- [10] Matthew Wright. Open sound control: an enabling technology for musical networking. *Organised Sound*, 10(3):193–200, 2005.
- [11] Iannis Xenakis. *Musiques formelles nouveaux principes formels de composition musicale*. 1981.