



72.25 - SIMULACIÓN DE SISTEMAS

TP N 2: Autómata Off-Lattice: Bandadas de agentes autopropulsados

Autores:

Daniel Alejandro Lobo - 51.171

Agustín Golmar - 53.396

16 de Marzo de 2018

Índice

1. Resumen	2
2. Modelos	2
3. Implementación	3
4. Resultados	4
5. Conclusiones	6
6. Bibliografía	7

1. Resumen

El objetivo del siguiente informe es detallar la implementación de un autómata celular del tipo *off-lattice*, para la simulación de "bandadas de agentes auto-propulsados". Además, el objetivo es investigar el agrupamiento, transporte y transición de fases de partículas en sistemas que no se encuentran en equilibrio. Es importante considerar la regla de evolución: en cada momento, la dirección de una partícula está condicionada por las direcciones de sus partículas vecinas.

Se implementó el algoritmo de bandadas descrito en la teoría. Luego, a partir de las posiciones y velocidades generadas por las simulaciones, se realizaron animaciones que exponen la dinámica del sistema.

Cada agente es representado por un vector velocidad, cuyo origen está ubicado en la posición de la partícula puntual para cada tiempo de simulación t .

Las animaciones se han realizado cambiando los colores de las partículas, tomando como valor el ángulo de la velocidad.

Se utilizó *Ovito* para las animaciones y los videos grabados se pueden ver adjuntos a la entrega y en la presentación dada en clase.

Este trabajo se puede utilizar como referencia para la creación de aplicaciones simulando sistemas biológicos que incluyen agrupamiento y migración: Cardúmenes, Bandadas, Colonias de bacterias.

2. Modelos

El modelo sobre el que se apoya el sistema es el *CellIndexMethod* como procesador de distancias para el presente trabajo. En este caso, el algoritmo plantea una mejora significativa y adaptable con respecto al clásico método de fuerza bruta.

Otros modelos importantes son *MobileParticle* utilizado para representar las partículas móviles del sistema y *CellularAutomaton* para emular el autómata mismo.

Además, en el *Main* se procesa toda la información para luego enviarla en un archivo y allí interpretarla y leerla en *Ovito*.

En todos los casos, se decidió implementar una interfaz genérica que permite interconectar fácilmente los algoritmos y los conceptos que manipula, ofreciendo una interfaz de aplicación similar a un *lenguaje de dominio específico* (DSL). En particular, el procesador de distancias se distribuye como un objeto **.jar* modular, lo que facilita la integración en futuros desarrollos.

3. Implementación

La implementación se separa en distintas partes que luego están conectadas entre sí y dan resultado a la presente obra.

Se utilizó el lenguaje de programación Java SE 8 Release para desarrollar este trabajo y Ovi to para la realización de las animaciones. Para generar gráficos sobre las experimentaciones se utilizó *Matlab R2015a*.

En primer medida se utilizó el trabajo anterior, *CellIndexMethod* como motor y núcleo para el presente trabajo.

Luego, se extendió ese trabajo con los modelos principales descriptos en el apartado anterior.

Además, se eliminó la entrada por archivos, siendo ahora simplemente por parámetros pasados al programa los cuales son:

- La cantidad de ciclos.
- El delta de tiempo.
- La cantidad de partículas.
- La longitud del espacio bidimensional.
- El radio de interacción.
- La rapidez de las partículas.
- La amplitud de ruido.

Con el correr del programa y dependiendo de la relación y la naturaleza de los parámetros recibidos, se obtienen distintos comportamientos de las partículas, los cuales mantienen una rapidez constante pero cambian su ángulo en relación a las partículas que las rodean.

El output del programa consta de un archivo que contiene repetidamente la cantidad de partículas que tiene cada iteración, el frame actual y luego un listado de todas las partículas con su posición en x , posición en y , y luego el ángulo actual de cada uno en ese instante de tiempo t .

El código fuente de toda la implementación se encuentra adjunto a este informe junto con la presentación a dar en clase.

4. Resultados

Los resultados obtenidos se pueden ver en la presentación en formato de animaciones y de gráficos.

En cuanto a la animación 1 de *Grupos Coherentes*, fue evaluada con los parámetros *5000 ciclos | 1.0 dt | 300 partículas | 25 L | 1.0 RC | 0.03 v | 0.1 noise*. En este caso, observamos que, gracias a la baja densidad, se conforman grupos aislados de partículas que se desplazan de forma aleatoria de un punto de vista macroscópico, sin embargo, manteniendo una interacción constante a nivel microscópico.

En cuanto a la animación 2 de *Aleatorio con Correlación*, fue evaluada con los parámetros *5000 ciclos | 1.0 dt | 300 partículas | 7 L | 1.0 RC | 0.03 v | 2 noise*. En este caso, la densidad es superior, lo que implica un mayor grado de interacción entre partículas. La inyección de un grado de amplitud de ruido superior, implica que la interacción no es suficiente para que el sistema exhiba grupos de partículas característicos y por lo tanto se observan patrones correlacionados de movimiento a nivel macro, y de forma aleatoria.

Por último, la animación 3 de *Movimiento Ordenado*, fue evaluada con los parámetros *5000 ciclos | 1.0 dt | 300 partículas | 5 L | 1.0 RC | 0.03 v | 0.1 noise*. La alta densidad y la interferencia reducida permite que el grupo completo de partículas se acomode a una trayectoria uniforme y consistente, a lo largo de todo el espacio completo.

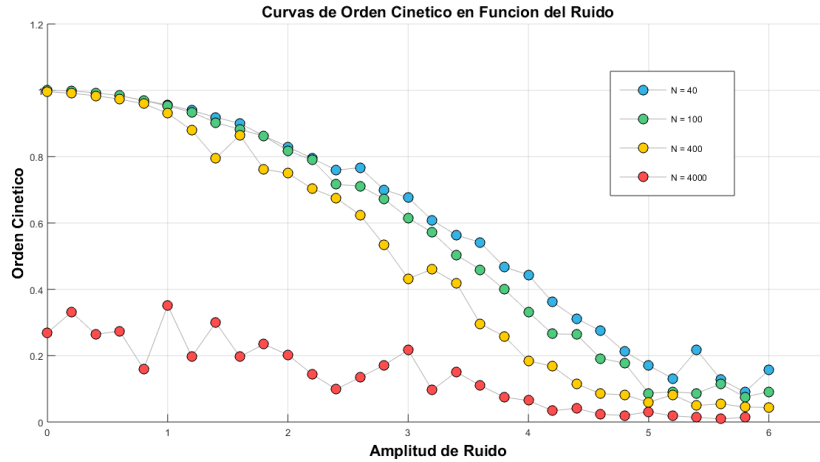


Figura 1: Variación del orden cinemático en función de la amplitud de ruido, para densidades constantes. Se aplicaron mediciones con un paso de 0.2 sobre la interferencia, bajo 10 réplicas por medición, en un total de 100 iteraciones del autómata, en cada caso.

A su vez, se realizaron diferentes experimentaciones intensivas sobre la co-variación de los parámetros disponibles más representativos de la simulación, a saber, la densi-

dad, la amplitud de ruido y el grado de orden cinemático.

En primer lugar, y cómo se puede observar en la Fig. 1, al mantener constante la densidad (en este caso, aproximadamente en 4 partículas por unidad de espacio cuadrado, para $L = 20$), se puede representar la incidencia de la amplitud de ruido en el orden cinemático final de cada simulación. Para altas densidades, el sistema es más sensible a niveles altos de interferencia, lo cual es lógico: se debe incrementar el número de interacciones debido al exceso de partículas, lo cual se ve afectado por modificaciones aleatorias e impredecibles en la dirección de las mismas.

Es importante realizar especial hincapié en el hecho de que para niveles excesivos de ruido (aproximadamente superiores a 5 puntos), el sistema se vuelve errático, y el orden decae significativamente.

Por otro lado, en el caso de más alta densidad ($N = 4000$), El sistema nunca supera un nivel de orden superior a 0.4, lo que se debe específicamente al número de iteraciones de la simulación. Un sistema grande como este último requiere de una simulación más extensa para alcanzar un nivel de orden aceptable.

Finalmente, la cantidad de réplicas por medición permite suavizar las curvas observadas, en todos los casos (debido a que las mediciones se promedian).

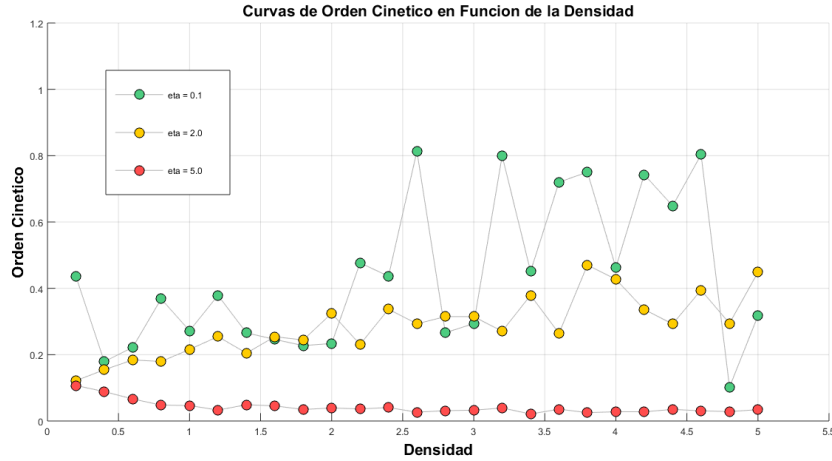


Figura 2: Variación del orden cinético en función de la densidad. En este caso se utilizaron niveles de interferencia constantes a lo largo de cada curva para observar en qué casos el sistema expone un comportamiento emergente o no.

En el caso de la Fig. 2, se describe la variación de orden cinemático, en función de la densidad del sistema simulado, para diferentes (en este caso 3), amplitudes de ruido

representativas: baja, media y alta interferencia.

En particular se desplegaron sistemas que oscilaban entre 80 y 2000 partículas, con lo cual las densidades obtenidas describen el comportamiento del sistema con suficiente precisión.

Para niveles de ruido leves (0.1), el orden del sistema final (luego de recorrer varios ciclos de simulación), logra alcanzar un nivel de orden aceptable. No obstante, la varianza se incrementa conforme lo hace la densidad del sistema, por lo cual se requieren más ciclos y más réplicas por medición para obtener una curva representativa.

A tasas de interferencia media (< 3.0), el sistema alcanza el orden progresivamente conforme se incrementa la densidad. En este caso, el comportamiento exhibido es más estable y uniforme.

Para niveles elevados de ruido, el sistema de partículas decae considerablemente, y el incremento en la densidad se vuelve contraproducente.

5. Conclusiones

Está claro que utilizando solo 2 parámetros, a saber, la densidad del sistema, y el factor de interferencia/ruido inyectado en la ecuación de evolución, se puede controlar por completo el comportamiento del sistema, y regular la efectividad del mismo frente a diferentes condiciones de trabajo.

En particular, detectamos que los sistemas de baja densidad son menos susceptibles al ruido, y que para un nivel extremo de interferencia, ningún modelado plantea un esquema resistente al desorden cinético.

Adicionalmente, se destaca el hecho de que se puede observar cierto umbral entre las curvas de la Fig. 2, para las cuáles hay un cambio de tendencia: altas densidades se benefician con baja interferencia, pero adquieren un efecto negativo con alta interferencia.

Una forma de explicar este fenómeno se relaciona con el hecho de que ciertos microorganismos, sistemas de partículas o agentes logran desarrollar una estructura emergente gracias a una interacción cerrada o cercana a nivel microscópico. Es decir, en entornos poco hostiles (baja interferencia), las interrelaciones entre agentes se forjan y establecen de manera consistente y ordenada, lo cual implica que pequeños grupos o *building-blocks* terminen conformando una estructura más sólida y estable a nivel macro.

Por el contrario, niveles excesivos de ruido son similares a sistemas de partículas con interacciones a largo alcance, y por lo tanto es difícil esperar un comportamiento diferente al percibido en el ámbito macroscópico. Básicamente, un sistema con interac-

ciones de este tipo es más sensible a cualquier fluctuación (sea inyectada como el ruido, o sea inherente al mismo, debido al comportamiento de otras partículas). En particular, el procesador de distancias utilizado durante las simulaciones (*Cell Index Method*), está específicamente diseñado para interacciones a corto alcance.

6. Bibliografía

"Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles." Tamás Vicsek, András Czirók, Eshel Ben-Jacob, Inon Cohen, and Ofer Shochet. *Phys. Rev. Lett.* 75, 1226 - Published 7 August 1995. American Physical Society.

"Computer Simulation of Liquids." M. P. Allen, D. J. Tildesley. *Clarendon Press* - Oxford University Press. 1987.