
Estudio de la estigmergia como mecanismo de coordinación

Luis M. Estrada
Posgrado en Ciencias e Ingeniería de la Computación

luism@unam.mx

Abstract

Biologist Pierre Grassé on studying termite colonies used the term stigmergy to refer to a kind of indirect communication consisting of leaving a trace or mark in the environment that induces a specific behavior in other individuals. This kind of 'communication' can lead to interesting phenomena like self-organization and coordination. In this paper I review the theory about stigmergy and on this ideas present a model for a colony of agents that can build a kind of honeycomb structure.

Keywords

Stigmergy, insects, nest, coordination, construction, NetLogo, simulation

1. Introducción

El concepto de estigmergia se ha empleado desde hace varios años en estudio de comportamientos auto organizantes en diversos dominios, desde colonias de insectos, grupos de robots hasta sociedades humanas y grupos de colaboración (Heylighen, 2015). Heylighen (2015) define la estigmergia como un mecanismo de coordinación indirecta en el cual un rastro dejado en el ambiente por una acción estimula una acción subsecuente. Una de las ventajas de la estigmergia como mecanismo de coordinación es que no se necesita un plan previo ni control central, tampoco se necesita comunicación directa entre los agentes que realizan las acciones, es más no es necesario que los agentes tengan conocimiento de la existencia de los otros agentes. Estas características hacen de la estigmergia un tema de interesantes en el estudio de sistemas auto organizantes.

El objetivo de este trabajo es implementar un modelo en NetLogo que integre los principios del comportamiento estigmérgico en una colonia de agentes virtuales y tratar de lograr la coordinación de la colonia para la construcción de su nido.

2. Estigmergia en la naturaleza

Desde hace mucho tiempo los biólogos han mostrado interés y fascinación por los fenómenos sociales que se pueden observar en colonias de insectos, como hormigas, abejas o termitas. Uno de los fenómenos que más llama la atención de los biólogos es cómo individuos de limitada inteligencia pueden llevar a cabo tareas tan complejas

como por ejemplo construir un nido. El entomólogo francés Paul-Pierre Grassé estudiando colonias de termitas en proceso de construir su nido y observó que inicialmente éstas depositaban de forma aleatoria el barro que recolectaban pero estos depósitos aleatorios estimulaban a otros individuos a depositar su carga en el mismo lugar. Con el tiempo estos depósitos individuales crecían en tamaño hasta unirse con las otras estructuras hasta formar una sola columna. A esta forma de comunicación indirecta por medio de dejar rastros o marcas en el entorno Grassé le llamó estigmergia, lo cual coincide con la etimología de la palabra ya que proviene de las palabras griegas estigma que significa “marca” y ergon que significa “trabajo”.

Otros ejemplos de estigmergia se pueden observar en colonias de hormigas durante la recolección de comida. Cada individuo de la colonia va dejando un rastro de feromona por donde pasa y esto estimula a más hormigas a seguir el rastro, de esta forma la colonia logra encontrar el camino más corto entre la fuente de comida y el nido ya que en los caminos más largos el rastro de feromona se evapora con mayor rapidez que en la ruta óptima (Beckers et al., 1992).

Hasta principios de los 90's el estudio de mecanismos de estigmergia permanecía atrapado en los círculos de investigación de colonias de insectos. Sin embargo, actualmente el estudio de la estigmergia tiene interesadas a otras áreas de investigación, tales como sistemas complejos y sistemas auto organizantes. Así mismo el concepto ha encontrado aplicación en otras áreas como la robótica en la que por medio de principios estigmérgicos se busca la coordinación entre un grupo de robots. Incluso este concepto se ha empleado para estudiar fenómenos colaborativos como Wikipedia o proyectos de desarrollo de software libre. En el caso de los proyectos colaborativos de software las aportaciones o modificaciones de un individuo estimular a que otros individuos del grupo hagan sus propias aportaciones o realicen mejoras o corrijan errores lográndose así una coordinación descentralizada que permite el desarrollo del proyecto (Heylighen, 2015).

3. Tipos de estigmergia

Tal como se definió anteriormente, la estigmergia es un mecanismo de mediación de las interacciones entre agentes. De acuerdo a Theraulaz y Bonabeau (1999) existen dos tipos de estigmergia: cuantitativa y cualitativa.

En la estigmergia cuantitativa las marcas o rastros no difieren cualitativamente y solo afectan la probabilidad de que un individuo responda al estímulo. Un ejemplo de este tipo de estigmergia se puede observar en la construcción de un nido en una colonia de termitas. Durante la construcción tienen lugar dos fases. En la fase coordinada las termitas depositan aleatoriamente el barro recolectado, esto estimula a otras termitas a depositar su carga en el mismo lugar, esto crea un ciclo de retroalimentación positiva que da paso a un efecto bola de nieve. Si la cantidad de termitas es suficientemente grande esto provocará que los depósitos alcancen un tamaño crítico, momento en el cual comienza la fase coordinada, de la cual emergen las columnas característica de los nidos de termitas.

En la estigmergia cualitativa los agentes responden de manera distinta a estímulos (finitos) cualitativamente diferentes. Es decir un estímulo de tipo E-1 produce un

comportamiento C-1 que a su vez genera un estímulo de tipo E-2 y así sucesivamente. La dinámica surgida de este tipo de estigmergia es semejante al de un proceso de auto ensamblaje. Este tipo de estigmergia se puede observar en el comportamiento de cierto tipo de avispas cuando construyen su nido. La configuración de la estructura en construcción representa un estímulo que induce a la avispa a un comportamiento que produce otra configuración y está a su vez estimula un comportamiento distinto.

4. Modelo de Theraulaz y Bonabeau

Theraulaz y Bonabeau (1999) en su artículo *A Brief History of Stigmergy* presentan un modelo para el estudio de la estigmergia en una colonia de avispas virtuales en un mundo en 3D. La colonia está formada por un conjunto de agentes que caminan de forma aleatoria por el mundo y so tienen acceso a información local y actúan estimulados por la estructura en desarrollo. Para su modelo definieron un conjunto de reglas (Figura)que indican, dada una configuración de la estructura en dónde se debe colocar el siguiente bloque de construcción.

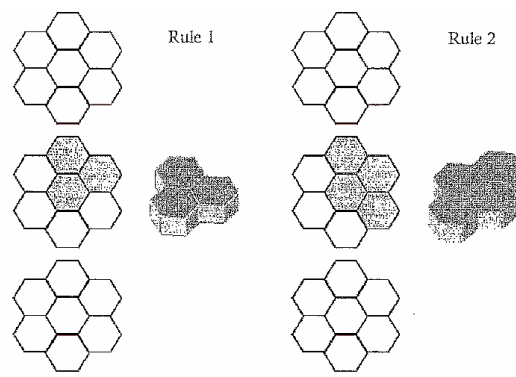


Figura 1: Tomada de (Theraulaz and Bonabeau, 1999)

En la figura se muestran las estructuras emergentes de las simulaciones que los autores hicieron de su modelo.

5. Modelo de estigmergia en NetLogo

Con base en la idea de estigmergia cualitativa se propone un modelo en NetLogo que simule una colonia de agentes virtuales con los principios del comportamiento estigmérgico. Este modelo está inspirado en el modelo de Theraulaz y Bonabeau (1999). Mi modelo para NetLogo simula una colonia de agentes asíncronos que realizan una exploración aleatoria de un mundo virtual discreto en dos dimensiones en busca de material para la construcción del nido. Los agentes virtuales solo tienen acceso a un espacio e información local y actúan puramente en base al tipo de estímulo que reciben de la estructura en construcción. El mundo en el cual existen los agentes virtuales es una cuadrícula de 55x55 unidades (ver figura 3) en la que se encuentra disperso de manera aleatoria los bloques de material de construcción (celdas color café). La casilla en la que el agente deposita el material de construcción depende solamente de la configuración de las celdas adyacentes a la ocupada por el agente. Solo existe un



Figura 2: Tomada de (Theraulaz and Bonabeau, 1999) (a) estructura emergente con reglas deterministas (b) estructura emergente con reglas no deterministas

tipo de bloque de construcción y una vez que este es colocado no puede ser removido. Todas las simulaciones inician con el nido ocupando una sola celda en el centro del mundo (ver figura 3) y todos los agentes conocen en todo momento en dónde se encuentra el nido.



Figura 3: Inicio de la simulación. El nido se encuentra en el centro de la cuadrícula (punto rojo). Los bloques de construcción son los cuadros color café

Se programaron dos versiones del modelo, cada una con reglas distintas. En las representaciones gráficas de las reglas a partir de este punto las celdas deben ser interpretadas de la siguiente forma:

- Negra significa que está vacía

- Verde significa que es territorio del nido y que tiene un bloque de construcción que ya no se puede mover.
- Morada significa que es parte del territorio del nido pero no tiene todavía ningún bloque de construcción
- Gris significa que no importa si es negra o morada, pero o puede ser verde ya que

Además el agente (cargando el material de construcción) siempre se encuentra en la casilla del centro de la regla. También es importante mencionar que las reglas solamente se ejecutan cuando el agente lleva carga de construcción y está en el territorio del nido.

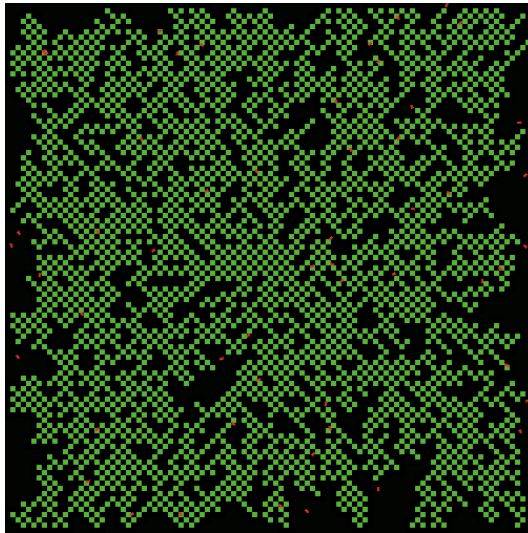


Figura 4: Estructura emergente con el conjunto de reglas R2

Para la primera versión del modelo use el conjunto de reglas R1. La estructura emergente con este conjunto de reglas es la que se puede apreciar en la figura 4. Esta estructura es muy similar a la estructura de árbol generada por reglas deterministas del modelo de Theraulaz y Bonabeau. Para la segunda simulación usé el conjunto de reglas R2. Con este conjunto de reglas obtuve la estructura esperada, es decir una estructura compacta en forma de malla o panal en donde la mayoría de las celdas vacías está rodeada por exactamente tres bloques de construcción. La estructura emergente con el conjunto de reglas R2 es muy similar al nido compacto con reglas no deterministas de modelo de Theraulaz y Bonabeau.

6. Discusión y conclusiones

El verdadero potencial de la estigmergia puede ser que aún no se haya descubierto. Lo que es claro es que resulta ser un mecanismo de coordinación muy efectivo y eficiente ya que no requiere de memoria, ni planeación, tampoco sincronización entre los agentes, entre otras ventajas ya mencionadas anteriormente. Este fue un primer acercamiento al concepto de estigmergia. Algo que me sorprendió de los resultados de las simulaciones fue que las estructuras son muy similares a las obtenidas por

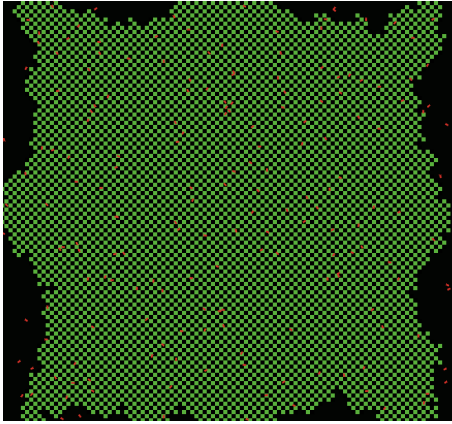


Figura 5: Con el conjunto de reglas R2. Se obtiene la estructura deseada inicialmente

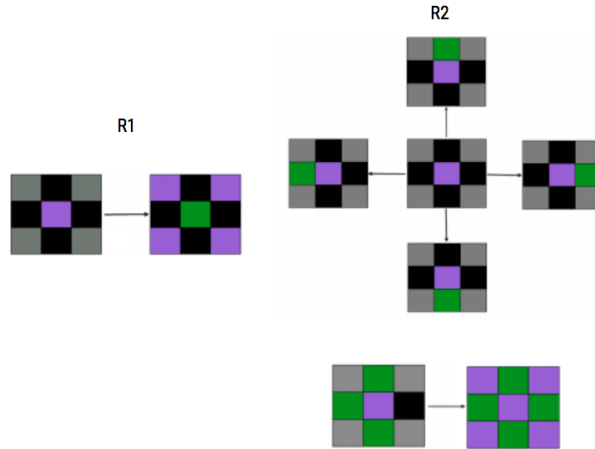


Figura 6: Reglas usadas para la colocación de material de construcción

el modelo de Theraulaz y Bonabeau a pesar de las diferencias espaciales e incluso aunque las reglas son distintas. Las reglas diseñadas para el modelo en NetLogo estaban enfocadas a generar una estructura en particular, que es la que se consiguió con el conjunto de reglas R2.

Inicialmente yo lo había planteado como un modelo estigmergico de cooperación, si bien no es cooperación en el sentido estricto que se le da por ejemplo en Teoría de Juegos, el concepto de estigmergía parece tener alguna relación con la cooperación. De hecho Heylighen en su artículo "Stigmergy as a Universal Coordination Mechanism: components, varieties and applications" (Heylighen, 2015) postula que a parte de ser un mecanismo de coordinación, la estigmergía también puede dar paso a la cooperación. Etienne Rabaud (como lo citan Theraulaz Bonabeau, 1999) creía que la cooperación es una ilusión y que en una sociedad los individuos actúan como si estuvieran solos. Si bien es una postura muy extrema en la afirmación puede haber algo de verdad.

En la simulación de mi modelo en NetLogo se crea la ilusión de cooperación. Para un observador externo, los agentes tienen la misma meta y actúan en consecuencia para alcanzarla, además entre más agentes sean más rápido se realiza la tarea. Sin embargo una simulación con el único individuo uno se puede dar cuenta de que el agente actúa igual que si estuviera acompañado de otros agente. En el comportamiento estigmérico generalmente los agentes no tienen memoria o al menos no de largo plazo, por lo que los agentes no pueden distinguir entre el trabajo propio y el de los demás, propiciando así la cooperación que al no poder distinguir lo propio de lo ajeno todo es de todos y cualquier aportación al bien o meta común el beneficio es para todos.

Referencias

- Beckers, R., Deneubourg, J.-L., and Goss, S. (1992). Trails and u-turns in the selection of a path by the ant *Lasius niger*. *Journal of theoretical biology*, 159(4):397–415.
- Heylighen, F. (2015). Stigmergy as a universal coordination mechanism: components, varieties and applications. *Human Stigmergy: Theoretical Developments and New Applications*; Springer: New York, NY, USA.
- Theraulaz, G. and Bonabeau, E. (1999). A brief history of stigmergy. *Artificial life*, 5(2):97–116.