

Selección de caminos por rastros de feromonas de la hormiga argentina (*Linepithema humile*)

1. Introducción

La hormiga argentina, o *Linepithema humile* presenta cierta tendencia a formar caminos alrededor de sus hormigueros en su búsqueda y transporte de comida hacia el mismo (Perna et al., 2012). Las feromonas juegan un papel muy importante en esta formación de caminos, así como el resto de la organización social de las hormigas. Von Thienen et al., 2015 centran su atención en casos en los que estas se ven frente al problema de elegir entre 2 caminos, y cómo la concentración de feromonas en estos ayuda a tomar esta decisión.

Ambos artículos intentan predecir las toma de decisiones individual a partir de las observaciones del comportamiento colectivo, pero mientras Perna et al., 2012 se centra en un entorno continuo en el que involucra ángulos de giro entre otras variables para analizar con mayor precisión el movimiento. Por su parte, Von Thienen et al., 2015 se centra más en la elección de 2 caminos y la concentración de feromonas en los mismos, analizando la cantidad de hormigas que elige cada uno de los caminos.

Para este trabajo, me interesé en visualizar la dinámica en una red de cámaras conectadas por túneles a una cámara central o nido, creando una versión discreta de los modelos presentados en los artículos anteriormente citados. La formación de rastros de feromona en la red está centrada en la obtención de comida.

2. Definición de la red

Definé el hormiguero como una red $G = (V, E, \omega, \phi)$. V es el conjunto de cámaras que componen el hormiguero, donde se elige una como el nido de la colonia, de donde surge toda la población y a donde regresarán posteriormente a depositar la comida obtenida. E representa el conjunto de túneles a través de los que las hormigas se pueden mover entre cámaras.

Las últimas dos son funciones de pesos. ω es una función de pesos sobre los vértices, que representa la cantidad de comida actual en dicha cámara; cabe aclarar que la comida del nido está fija en 0 pues me centré en la dinámica de las hormigas sobre la red y no tanto en su almacenamiento de comida. Por último, ϕ es una función de pesos sobre las aristas que representa la concentración de feromonas en cada túnel. Esta última es la variable que guía gran parte de la dinámica observada en las simulaciones.

Para implementar el modelo en NetLogo, utilicé 3 tipos de tortugas: cámaras (*chambers*), hormigas (*ants*) y enlaces (*links*). Las cámaras representan al conjunto V , los enlaces al conjunto E , y las hormigas no forman parte de la red, pero si la afectan al avanzar sobre esta.

Para la forma de la red, tomé como base el modelo de Stonedahl y Wilensky, 2008 de la biblioteca de modelos de NetLogo, en donde se define una red a manera de cuadrícula. A partir de un deslizador, el modelo determina la densidad de túneles que tendrá la red, decidiendo así si un nodo se conecta o no con cada uno de sus vecinos. Posteriormente se elige una cámara no aislada como el nido, y se determina que cámaras están conectadas al nido por medio de algún camino,

definiendo así el hormiguero. Luego se eliminan las cámaras que no formen parte del hormiguero y se determina el tamaño del hormiguero. Si el hormiguero es demasiado pequeño, se repite el proceso (el tamaño mínimo se elige a través de otro deslizador).

Una vez formada la estructura del hormiguero, se asigna un valor inicial de comida a todas las cámaras, que se puede acotar superiormente con un deslizador, luego se asigna 0 como cantidad inicial de feromonas a cada túnel y se crea una cantidad de hormigas en el nido determinada por un deslizador.

3. Toma de decisiones y avance de las hormigas

Para definir la toma de decisiones tomé como base los planteamientos de Perna et al., 2012 y Von Thienen et al., 2015, además de algunas bases del modelo de Wilensky, 1997 de la biblioteca de modelos de NetLogo. La fórmula de base es

$$P(s) = \frac{(h + f(s))^\alpha}{(h + f(l))^\alpha + (h + f(r))^\alpha} \quad (1)$$

donde h es un umbral de detección, y las concentraciones debajo de este causan variaciones mínimas en la toma de decisiones; α es una cantidad que afecta a la aleatoriedad, donde valores más altos harán que la decisión esté más fuertemente determinada por las variaciones de concentración y valores bajos serán más aleatorios; p son las feromonas en el lado correspondiente; l y r son los lados izquierdo y derecho respectivamente; $s \in \{l, r\}$; y P es la probabilidad de elegir el lado correspondiente. El primer problema que surge es que con la estructura de la red de mi versión del modelo, una hormiga parada en una determinada cámara tiene hasta 3 opciones para elegir la cámara siguiente, considerando que no puede regresar. Así, esta fórmula se convierte en

$$P(w) = \frac{(h + f(vw))^\alpha}{\sum_{e \in L} (h + f(e))^\alpha} \quad (2)$$

donde v es la cámara en la que está actualmente la hormiga, y si u es la cámara anterior en la que estuvo, $w \in N_G(v) - u$ y $L = \{vx \in E | x \in N_G(v) - u\}$ y f sigue siendo la concentración de feromonas, pero esta vez en la arista e . Un caso que puede surgir con este planteamiento es que la hormiga llegue a un vértice con un solo vecino, por lo que no podría seguir avanzando. En ese caso se determina que la hormiga regrese al último vértice en el que estuvo.

Hasta este punto, las hormigas pueden tomar decisiones según la concentración de feromonas, pero no hay feromonas que rastrear. Para esto, las hormigas tienen dos *modos*: búsqueda (*searching*) y regreso al nido (*returning*). Cuando están en modo de búsqueda y encuentran una cámara con comida, toman 1 unidad de comida y cambiarán a modo de regreso. Algo que se asume en este modelo a diferencia de otros es que la hormiga sabe el camino más corto para regresar al nido. En los túneles que pase durante su regreso, irá dejando feromonas, que ayudarán a guiar el paso de las hormigas en modo de búsqueda. Al llegar al nido y *depositar* la comida en este, volverán al modo de búsqueda. Las hormigas en modo de búsqueda eligen a qué cámaras ir según la ecuación (2), mientras que las hormigas en modo de regreso toman la trayectoria más corta desde la cámara donde encontraron comida y el nido. El rastro de feromonas dejada por una hormiga en modo regreso se evapora a un radio del 10 %

Visualmente, la cantidad de comida en una cámara, la concentración de feromonas en un túnel y el modo de una hormiga se pueden determinar por el color del agente correspondiente.

4. Conclusiones

El modelo planteado presenta ciertas limitantes en comparación con los modelos continuos, aunque tiene sus propias ventajas. El papel de la distancia entre cámaras se pierde casi por completo, aunque esta es reemplazada por la longitud de la trayectoria mínima entre la cámara en la que se encontró la comida y el nido. Esta dinámica se empieza a observar solo cuando la comida de las cámaras cercanas al nido se agota, pero nos permite observar mejor los efectos de la evaporación.

Algunas dinámicas que pude observar con respecto a la evaporación es que si esta es demasiado baja, habrá periodos largos en los que las hormigas no recojan comida, pues estas seguirán siguiendo rastros hacia cámaras vacías, por lo que la evaporación del rastro juega un papel importante.

Referencias

- Perna, A., Granovskiy, B., Garnier, S., Nicolis, S. C., Labédan, M., Theraulaz, G., Fourcassié, V., & Sumpter, D. J. T. (2012). Individual Rules for Trail Pattern Formation in Argentine Ants (*Linepithema humile*). *PLoS Computational Biology*, 8(7), e1002592. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002592>
- Stonedahl, F., & Wilensky, U. (2008). NetLogo Diffusion on a Directed Network model [Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL].
- Von Thienen, W., Metzler, D., & Witte, V. (2015). Modeling shortest path selection of the ant *Linepithema humile* using psychophysical theory and realistic parameter values. *Journal of Theoretical Biology*, 372, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.030>
- Wilensky, U. (1997). NetLogo Ants model [Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL].