## Sistemas multi-agente / algoritmos enjambre

**Sistemas multi-agente (inteligencia distribuida)**

Entorno: Es el problema que queremos resolver. Puede evolucionar con el paso del tiempo, ser modificable (o no), tener objetos (o no).

Objetos: Fuentes de alimento, bloques de construcción, ciudades que visitar, obstáculos que salvar… puede ser transportables (o no), temporales o permanentes. Las “BadZones” deben tener las características de alcance (radio) y tiempo restante de vida.

Agentes: Hay que definir el comportamiento de los agentes, las relaciones que tienen entre sí (jerárquica o igual) y la comunicación entre ellos. Cada agente poseerá un conjunto de operaciones sobre los objetos (transportarlos, usarlos) y sobre los demás agentes (intercambiar objetos, información).

Percepción del mundo: Pueden tener una percepción global del entorno o localizada a su alrededor.

Toma de decisiones: Reaccionarán en función de sus percepciones y unas reglas a aplicar (sistema experto, lógica fluida, estados de transición…), con unas pocas reglas simples es posible resolver problemas muy complejos. Se pueden agregar aspectos estocásticos (aleatoriedad) para permitir que el sistema sea más fluido y flexible.

Cooperación y comunicación: Puede ser comunicación directa (dos individuos que se encuentran) o comunicación asíncrona (dejando trazas en el entorno como las hormigas).

Capacidad del agente: Pueden tener todos las mismas capacidades o estar organizados en castas (donde cada uno tiene una tarea / capacidad distinta). Es posible que los agentes aprendan con el paso del tiempo o que tengan conocimientos fijos. Si se agrega aprendizaje hay que determinar al algoritmo de aprendizaje subyacente (redes neuronales, algoritmo genético…).

**Usos**

Simulación de multitudes, análisis de reacciones en caso de evacuación, descubrir zonas de posibles aglomeraciones, planificación de tráfico, simulación de tropas… optimización de flotas de vehículos, organización de fábricas (búsqueda de rutas adaptándose a la circulación). Comprensión de fenómenos complejos como el crecimiento de poblaciones de bacterias etc.

**Algoritmo de manada**

Cada individuo tiene tres comportamientos:

Un individuo muy cercano se separará para evitar invadir o chocar con otro individuo.

Un individuo próximo modifica la dirección de movimiento, existiendo una tendencia a alinearse en la dirección del vecino.

Un individuo a una distancia media provoca un acercamiento (como cuando un animal ve a otro de su misma especie).

Se busca, en primer lugar, evitar un muro (límite del entorno), a continuación un obstáculo y por último otro individuo. Si no hay nada que evitar se pasa al comportamiento de alineamiento.

Es posible agregar un ángulo muerto para hacerlo lo más realista posible.

En función de las distancias configuradas, podemos observar individuos que se desplazan en manadas comportándose como un banco de peces o una bandada de pájaros, cuyas trayectorias parecen aleatorias, evitando chocarse entre sí y evitando a los depredadores.

Estos algoritmos son muy utilizados para representar tropas en movimiento en películas y videojuegos.

**Algoritmo de construcción de las Termitas**

A la hora de construir un termitero, las termitas no tienen consciencia de la estructura global o los planos a seguir. Cada termita construye una bolita de tierra y la deposita en otro lugar, con una probabilidad proporcional a la cantidad de bolitas ya presente.

La probabilidad de coger un objeto depende del número de objetos que haya alrededor. A mayor acumulación de objetos menor es la probabilidad (esto evita deshacer lo que el resto de termitas están construyendo). Ej: La probabilidad de coger un elemento solo es el 100%, la probabilidad de cogerlo de una pila de 2 es del 60%, de tres es del 60% del 60% (36%), la de tomarlo de una pila de 4 es del 21,6% y así sucesivamente.

Las termitas pueden construir torres, castillos y pirámides de ladrillos de manera autónoma. Asimismo, son capaces de fabricar por sí mismos escaleras para llegar a los niveles más altos de sus propias construcciones, y añadir allí los ladrillos necesarios. Cada robot ejecuta su propio proceso en paralelo con los demás, pero sin saber lo que hace el resto. Así, si un robot se rompe o tiene que ser sacado del grupo, no afecta a los demás. Esta independencia también supone que unas mismas instrucciones puedan ser ejecutadas por cinco robots o por quinientos.

**Colonia de hormigas**

Las hormigas se comunican mediante feromonas depositadas en el suelo. Las exploradoras se desplazan aleatoriamente por el entorno, cuando encuentran comida, vuelven al nido por el mismo camino dejando un rastro de feromonas (la intensidad del rastro depende de la longitud del camino).

Las demás exploradoras que encuentran la feromona tienen tendencia a seguirla (la probabilidad depende de la cantidad de feromona depositada). Las feromonas se evaporan de manera natural. Siguiendo este sistema, las hormigas son capaces de determinar el camino más corto entre la colonia y el alimento.

|  |  |
| --- | --- |
| Pseudocódigo  Iniciarlizar el entorno  Mientras (criterio de parada no alcanzado)  Para cada hormiga  Si comida no encontrada  Desplazarse aleatoriamente en función de las feromonas  Sino  Volver a la colonia dejando feromonas en función de distancia  Fin-si  Fin-para  Actualizar las trazas de feromonas  Fin-mientras | La probabilidad de seguir una dirección depende:  Las posibles direcciones disponibles.  La dirección de la que viene (que no de media vuelta).  Feromonas de su alrededor.  La probabilidad de seguir una ruta debe aumentar con la cantidad de feromonas depositadas sin llegar nunca a 1, para no imponer un camino. La cantidad depositada debe de ser proporcional a la distancia al objetivo.  Las feromonas deben evaporarse multiplicándolas por una tasa de evaporación inferior a 1.  En función de lo anterior, las hormigas convergerán demasiado deprisa a una solución no óptima o no converger nunca. |

Ejemplo práctico de problemas de búsqueda del camino más corto entre dos puntos: Hormiguero y salida (comida). Se busca implementar y comprobar la eficiencia del algoritmo en entornos complejos y cambiantes. Para ello se ha programa un generador de laberintos aleatorios.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Elección del camino  Dependiendo de la intensidad de la feromona depositada, la hormiga decide el camino a recorrer. A mayor cantidad, mayor probabilidad tiene de elegir esa ruta.  Las hormigas prefieren de manera probabilística los caminos con mayor valor de feromonas. En caso de llegar a un cruce y no detectar ninguna feromona, la hormiga tiene la misma probabilidad de elegir un camino u otro. |
|  | | Suponiendo que la feromona inicial es 1 (no puede ser 0 porque entonces no se exploraría). La elección del camino sería:  PA = 1/3 = 33,33%  PB = 1/3 = 33,33%  PC = 1/3 = 33,33% |

Cada vez que una hormiga encuentra la comida regresa al hormiguero por el mismo camino que ha recorrido, depositando una “feromona de éxito”.

|  |  |
| --- | --- |
|  | En la imagen 6 podemos ver que la hormiga decide seguir el camino que aún no tiene feromonas depositadas 🡪 El movimiento de las hormigas es aleatorio. La probabilidad de elección de camino es mayor cuanta más feromonas contenga. Sin embargo un camino puede tener un 95% de probabilidad de ser elegido y la hormiga se decanta por el camino del 5%...  En la imagen 8 vemos que el camino más corto es reforzado con feromonas más frecuentemente que el camino más largo, por lo que cada vez será más probable que las hormigas elijan ese camino.  En entornos reales las feromonas sufren un proceso de evaporación. Si bien se ha observado que en entornos simulados de computación, este proceso de evaporación tiene un coste computacional demasiado elevado y su aporte en la resolución del problema es menor. |

Cantidad de feromona depositada:

Podríamos basarnos en una aportación constante. Analicemos si es una buena idea.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Supongamos que la hormiga vuelve por el camino depositando una cantidad de feromona determinada K=1. ¿Qué distribución de probabilidades se encontraría la siguiente hormiga?   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 1 | 1 | 50% | 1 | 40% | 2 | 50% | 7 | 73% | | B | 1 | 0 | 25% | 1 | 40% | 1 | 33% | 1 | 18% | | C | 1 | 0 | 25% | 0 | 20% | 0 | 17% | 0 | 9% | |  | 3 | 1 |  | 2 |  | 3 |  | 8 |  | |
| Existe el peligro de que la primera hormiga condicione al resto. Si la primera elije el camino A, la segunda tendría un 50% de probabilidad de realizar la misma elección. Si lo hiciese, la tercera tendría un 60% de repetir el mismo camino. Si lo hicieran 5, la sexta hormiga tendría un 75% de probabilidades de realizar la misma ruta que las anteriores. Y quizás la ruta A no es la mejor.   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 1 | 1 | 50% | 2 | 60% | 5 | 75% | | B | 1 | 0 | 25% | 0 | 20% | 0 | 13% | | C | 1 | 0 | 25% | 0 | 20% | 0 | 13% | |  | 3 | 1 |  | 2 |  | 5 |  |   Por otro lado, si el mismo número de hormigas recorren el mismo número de caminos. Ej, 4 hormigas recorren cada una de las tres opciones, el depósito de feromonas no indica cual es la mejor opción descubierta hasta ahora. Por lo que la siguiente hormiga tomaría una decisión al azar.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | Inicial | Dep | Prob | | A | 1 | 4 | 33% | | B | 1 | 4 | 33% | | C | 1 | 4 | 33% | |  | 3 | 12 |  | | |

O podríamos hacer que dependa de la distancia recorrida (hormiguero – comida). Analicemos si es una buena idea.

Supongamos que la hormiga vuelve por el camino depositando una cantidad de feromona determinada K=1/distancia. Siendo la distancia que hay entre el hormiguero y la comida. ¿Qué distribución de probabilidades se encontraría la siguiente hormiga?

Supongamos que el camino A tiene una distancia entre el hormiguero y la comida de 50 pasos, el B de 45 pasos y el C de 60 pasos. La hormiga sabe los pasos porque está regresando al hormiguero.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Inicial | Dep 1H | Prob | Dep 5H | Prob | | A | 0,1 | 0,020 | 33% | 0,100 | 34% | | B | 0,1 | 0,022 | 34% | 0,111 | 36% | | C | 0,1 | 0,017 | 33% | 0,083 | 31% | |  | 0,3 | 0,06 |  | 0,29 |  | | En este caso el depósito inicial de feromonas debería ser 0,1 en lugar de 1 para que el resultado porcentual tenga sentido. Podemos ver la distribución de probabilidad después de elegir una hormiga cada ruta y después de elegir 5 hormigas cada ruta. Aunque el mismo número de hormigas elijan distintas rutas, vemos que la probabilidad de elección se va decantando por la ruta más corta. |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Inicial | Dep 1h | Prob | Dep 2h | Prob | Dep 5h | Prob | | A | 0,1 | 0,020 | 38% | 0,040 | 41% | 0,100 | 50% | | B | 0,1 | 0,000 | 31% | 0,000 | 29% | 0,000 | 25% | | C | 0,1 | 0,000 | 31% | 0,000 | 29% | 0,000 | 25% | |  | 0,3 | 0,02 |  | 0,04 |  | 0,1 |  | | Si la primera hormiga eligiese el camino A (el segundo mejor), al volver, la distribución de probabilidades se quedaría en un 38% para el segundo mejor camino. Es posible que la segunda hormiga lo escogiese, pero no tendría por qué hacerlo. No obstante, de elegir el mismo, la tercera hormiga tendría el 41% de probabilidades de repetir lo mismo que las anteriores. Si lo hiciesen 5 hormigas seguidas, la sexta tendría el 50% de probabilidades de elegir la segunda mejor opción (que es la distribución porcentual que teníamos con el aporte constante y una sola hormiga). |

Con este método de aporte de feromona, la elección de la primera hormiga no condiciona excesivamente a las demás (ojo, si el depósito inicial fuera de 1 o 0,01 sí lo haría).

¿Condiciona la distancia el valor de la feromona inicial? Observemos la evolución de la distribución de probabilidades con diversas distancias, cuando una hormiga selecciona cada camino y cuando lo hacen 5 hormigas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 10 | 0,1 | 0,100 | 32,9% | 0,500 | 32,6% | | B | 8 | 0,1 | 0,125 | 37,0% | 0,625 | 39,4% | | C | 12 | 0,1 | 0,083 | 30,1% | 0,417 | 28,1% | |  |  | 0,300 | 0,308 |  | 1,542 |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 50 | 0,1 | 0,020 | 33,4% | 0,100 | 33,6% | | B | 45 | 0,1 | 0,022 | 34,1% | 0,111 | 35,5% | | C | 60 | 0,1 | 0,017 | 32,5% | 0,083 | 30,8% | |  |  | 0,300 | 0,059 |  | 0,294 |  | |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 100 | 0,1 | 0,010 | 33,3% | 0,050 | 33,3% | | B | 90 | 0,1 | 0,011 | 33,6% | 0,056 | 34,5% | | C | 110 | 0,1 | 0,009 | 33,0% | 0,045 | 32,3% | |  |  | 0,300 | 0,030 |  | 0,151 |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 500 | 0,1 | 0,002 | 33,3% | 0,010 | 33,2% | | B | 400 | 0,1 | 0,003 | 33,5% | 0,013 | 34,0% | | C | 600 | 0,1 | 0,002 | 33,2% | 0,008 | 32,7% | |  |  | 0,300 | 0,006 |  | 0,031 |  | |

Podemos ver que el tamaño de laberinto sí que afecta al valor que debería tener la feromona inicial. Para laberintos pequeños el valor de 0,1 es adecuado. Para laberintos medianos y grandes, después de que 5 hormigas hayan pasado por cada uno de los caminos, la elección de la sexta hormiga se realiza de nuevo al azar.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 10 | 0,1 | 0,100 | 32,9% | 0,500 | 32,6% | | B | 8 | 0,1 | 0,125 | 37,0% | 0,625 | 39,4% | | C | 12 | 0,1 | 0,083 | 30,1% | 0,417 | 28,1% | |  |  | 0,300 | 0,308 |  | 1,542 |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 50 | 0,1 | 0,020 | 33,4% | 0,100 | 33,6% | | B | 45 | 0,1 | 0,022 | 34,1% | 0,111 | 35,5% | | C | 60 | 0,1 | 0,017 | 32,5% | 0,083 | 30,8% | |  |  | 0,300 | 0,059 |  | 0,294 |  | |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 100 | 0,01 | 0,010 | 33,2% | 0,050 | 33,1% | | B | 90 | 0,01 | 0,011 | 35,1% | 0,056 | 36,2% | | C | 110 | 0,01 | 0,009 | 31,7% | 0,045 | 30,6% | |  |  | 0,030 | 0,030 |  | 0,151 |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 500 | 0,01 | 0,002 | 33,2% | 0,010 | 32,9% | | B | 400 | 0,01 | 0,003 | 34,6% | 0,013 | 37,0% | | C | 600 | 0,01 | 0,002 | 32,3% | 0,008 | 30,1% | |  |  | 0,030 | 0,006 |  | 0,031 |  | |

Vemos que para laberintos grandes, un valor de feromona inicial de 0,01 es mucho más adecuado. Sin embargo, si el laberinto fuera “gigante” el valor de 0,01 tampoco nos vale.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 10.000 | 0,01 | 0,000 | 33,3% | 0,001 | 33,3% | | B | 8.500 | 0,01 | 0,000 | 33,4% | 0,001 | 33,6% | | C | 11.000 | 0,01 | 0,000 | 33,3% | 0,000 | 33,1% | |  |  | 0,300 | 0,000 |  | 0,002 |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Pasos | Inicial | Dep | Prob | Dep | Prob | | A | 10.000 | 0,0001 | 0,000 | 32,9% | 0,001 | 32,6% | | B | 8.500 | 0,0001 | 0,000 | 35,8% | 0,001 | 37,3% | | C | 11.000 | 0,0001 | 0,000 | 31,4% | 0,000 | 30,1% | |  |  | 0,000 | 0,000 |  | 0,002 |  | |

Hay que analizar la relación entre tamaño del laberinto y feromona inicial. La mejor solución es que la feromona inicial se recalcule la primera vez que una hormiga encuentre la comida y vuelva al hormiguero. Entonces tendremos un dato real de distancia que nos permitirá saber la proporción adecuada de feromona que debe constar para que la distribución de probabilidad tenga sentido. FI = 1/pasos\_hormiga\_fiel.

|  |  |
| --- | --- |
|  | El gráfico muestra un ejemplo real de cómo se deposita la feromona según las hormigas realizan un camino u otro hasta la comida.  Si analizamos la toma de decisión de una hormiga que se encuentre en el cuadrado marcado en rojo vemos que tiene 0,4/(0,4+0,078) = 83,68% de probabilidad de ir hacia la izquierda (camino que lleva a la comida), contra 16,31% de probabilidad de irse hacia abajo a explorar un camino que no lleva a la comida (al menos directamente). |

Feromona negativa.

Las hormigas no tienen por qué recorrer todos los puntos de la red. El movimiento de una hormiga finaliza cuando llega a la comida, o cuando no tiene ningún lugar nuevo adonde desplazarse. Cuando esto ocurra, retrocederá hasta un punto donde pueda volver a elegir (o hasta el inicio), depositando una feromona negativa que indicará a las otras hormigas que ese es un camino que no lleva a ninguna parte.

Evaporación de la feromona

Los rastros de feromona se reducen en un valor constante (proceso de evaporación global).

La finalidad de este proceso es “penalizar” en el tiempo a los caminos que, al inicio de la exploración, fueron seleccionados y que después han demostrado no ser los mejores. Ojo, de querer utilizar este sistema, se ha de tener en cuenta que el proceso de evaporación debe realizarse transcurridos X movimientos o X tiempo. Si lo hiciéramos con cada movimiento se evaporaría enseguida, sin tener tiempo el resto de hormigas de utilizar esta información.

No obstante este proceso se ha mostrado poco eficiente en su aportación de búsqueda del camino óptimo y, sin embargo, su coste computacional resulta elevado.

Para poder incrementar la exploración de nueva soluciones, cuando se estanca la búsqueda, se pueden utilizar re-inicializaciones de los rastros de feromonas.

Comprobación del camino antes de depositar la feromona

|  |  |
| --- | --- |
|  | Antes de depositar la feromona de “obtención de comida”, se ha revisar y podar el camino que ha recorrido la hormiga desde el hormiguero hasta la comida. Eliminando las repeticiones.  Las hormigas se mueven por el laberinto aleatoriamente, de hecho, pueden volver al hormiguero en su búsqueda de comida o, en un camino circular, puede dar varias vueltas “a la rotonda” antes de salir por el lado adecuado en el que está la comida. Pongamos un ejemplo gráfico: |

|  |  |
| --- | --- |
|  | Si usamos la matriz de pasos recorridos por la hormiga sin comprobar si existen repeticiones tendríamos, en muchos casos, problemas como el de la rotonda anterior. Esto supone un serio problema dado que, en el caso de depositar feromonas sin realizar esta comprobación y poda, la feromona se depositaría varias veces en la rotonda, haciendo que las siguientes hormigas tiendan a permanecer en su interior en lugar de salir hasta la comida.  Si este proceso se repitiera varias veces, las hormigas tenderían a permanecer en un bucle sin fin dentro de dicho camino circular.  Ejemplo del proceso de “poda” del camino recorrido por la hormiga:  La hormiga ha recorrido el camino verde + el camino rojo para ir desde el hormiguero hasta la comida. Si hubiésemos depositado la feromona sin realizar una poda de casillas innecesarias, las siguientes hormigas habrían tendido a perderse dentro del laberinto. |

Por ello, el camino recorrido por la hormiga se analiza buscando repeticiones (casillas por las que haya pasado dos veces), eliminando el recorrido sobrante.

El camino rojo representa el recorrido realizado por la hormiga desde el hormiguero hasta la comida, habiendo eliminado el camino verde.

Hormiga muerta

Este proceso se inicia cuando se ha encontrado por primera vez la comida. Se trata de ver si la hormiga se ha perdido por el laberinto y, por falta de comida, muere de hambre.

Basándose en la mejor distancia hasta el momento encontrada (distancia de la hormiga fiel), se decide eliminar aquellas hormigas que superan esta cantidad de una manera relevante, ya que se consideran perdidas en la red.

Si pasos\_hormiga\_N > pasos\_hormiga\_fiel \*5 🡪 Reiniciar hormiga N en el hormiguero.

Hormiga fiel

|  |  |
| --- | --- |
|  | Esta hormiga se activa únicamente cuando una hormiga exploradora ha encontrado la comida y ha regresado al hormiguero por primera vez.  Este proceso trabaja por ciclos. Un ciclo puede ser cada X tiempo o cada X veces que se alcance la comida. En este caso, el objetivo de alcanzar la comida será 10 veces el tamaño del laberinto (ej 50x50, las hormigas deben alcanzar la comida 500 veces). Un ciclo puede ser cada 10 hormigas que alcancen la comida.  Esta es una hormiga que, al final de cada ciclo, viaja hasta la comida para evaluar las soluciones encontradas por las distintas hormigas de la colonia. Las elecciones de su viaje pueden basarse en:  Los caminos que tengan mayor aporte de feronoma: Eligiendo siempre aquel que tenga más probabilidad de ser elegido por cualquier hormiga. Descartamos esta opción porque la hormiga fiel no siempre recorre el mejor camino encontrado por la colmena, si no el más probable. Y nunca mejora los resultados obtenidos hasta ese instante. |

El camino que tenga menor distancia con respecto a la comida. Esta opción permite a la hormiga fiel elegir, como mínimo, el mejor camino que hasta ahora se ha encontrado y, le permite evaluar en cada cruce la distancia real existente, pudiendo mejorar el mejor camino encontrado hasta ahora.

En cada punto del laberinto se encuentra almacenada la distancia mínima hasta el momento descubierta y la feromona total (inicial + depositada).

Las feromonas sirven para las hormigas exploradoras. Deciden el camino en función de los niveles de feromonas existentes.

La distancia mínima hasta la comida sirve para la hormiga fiel. Esta información le permite recorrer la menor ruta descubierta hasta el momento e, incluso, mejorarla; combinando rutas ya descubiertas.

Número de hormigas exploradoras.

¿Cuál es el número de hormigas que mejores resultados aportan al algoritmo en función del tamaño del laberinto?

Varios estudios llegan a la conclusión que el tamaño óptimo en todos los casos son 100 hormigas. En nuestro caso, trabajaremos con un número de hormigas proporcional al tamaño del laberinto. n\_hormigas = tamaño/5

Esquema general del algoritmo

