

Algoritmos Metaheurísticos Inspirados en la Naturaleza

Pedro Gómez-Meneses ¹

¹Departamento de Ingeniería Informática
Facultad de Ingeniería
Universidad Católica de la Santísima Concepción
pgomez@ucsc.cl

Clasificación

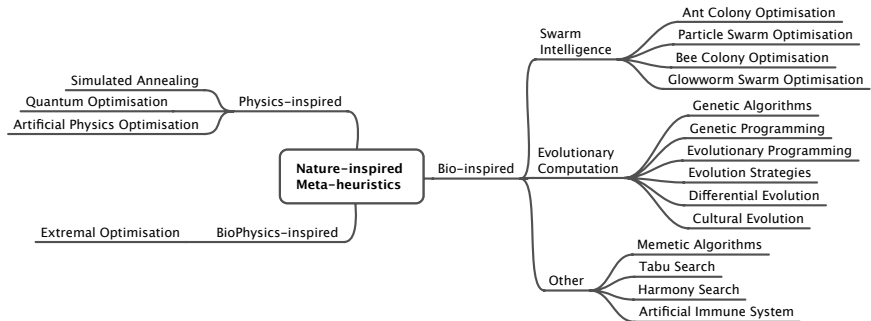


Figura: Clasificación general de algoritmos metaheurísticos inspirados en la naturaleza usados para problemas de optimización.

Descripción

- La Optimización de Colonia de Hormigas está basada en la conducta real de las colonias de hormigas.
- Las hormigas tienen la habilidad de seguir el camino más corto en el trayecto desde la fuente de comida hacia el nido.
- Esto es posible gracias al uso de una sustancia usada de forma colectiva por la colonia la cual es conocida como “Feromona”.
- Una hormiga por sí sola tiende a moverse de forma randomica, pero de forma colectiva las hormigas tienden a seguir el rastro de feromona dejada por sus pares.

Descripción

- La ruta más utilizada es la que va a tener una marca de feromona más acentuada.
- La feromona no es eterna y con el tiempo se va evaporando.
- Esta evaporación de la feromona hace que las rutas menos deseadas se vayan perdiendo.
- Todo este proceso está caracterizado por un reforzamiento positivo conocido como conducta auto-catalítica.
- Así, la probabilidad de elegir una ruta determinada se incrementa con el número de hormigas que previamente hayan elegido esa ruta.

Ejemplo

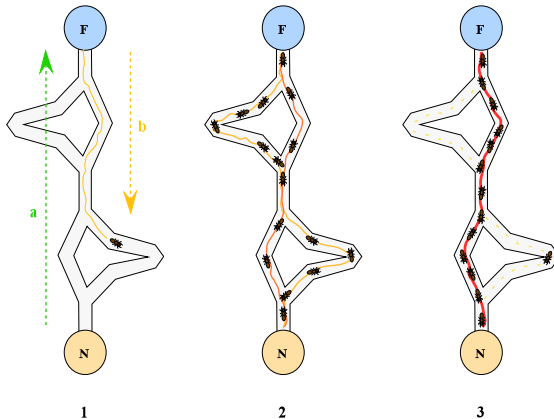


Figura: Un ejemplo de selección de ruta.

Investigadores renombrados en esta área

- Marco DORIGO.
- Luca M. GAMBARDELLA.
- Christian BLUM.
- Gianni DI CARO.
- Vittorio MANIEZZO.
- Thomas STUTZLE.
- Alberto COLORNI.
- Holger H. HOOS.

Analogía

- Dorigo aplicó esta técnica al problema del vendedor viajero.
- La optimización de colonia de hormigas puede ser visto como un proceso distribuido.
- Cada hormiga puede ser considerado como un agente que interactúa de forma independiente.
- Estos agentes se coordinan a través de un método indirecto de comunicación.
- Cada agente u hormiga representa una solución del problema.
- Una colonia está compuesta por n hormigas.

Analogía

- Cada hormiga construye la solución usando un mecanismo probabilístico el cual está basado en la huella de feromona dejada por las otras hormigas en conjunto con información del problema en particular que es manejada heurísticamente.
- En la optimización de colonia de hormigas la solución se va construyendo paso a paso, es decir es un método constructivista.
- En los métodos de la computación evolutiva, como los algoritmos genéticos, se trabaja con la solución completa todo el tiempo.

Variantes de la Optimización de Colonia de Hormigas

- Sistema de Hormigas o Ant System.
- Sistema de Colonia de Hormigas o Ant Colony System.
- Sistema de Hormigas Max-Min o Max-Min Ant System.
- Sistema de Hormiga Ranqueado o Ranked-based Ant System.
- Sistema de Hormigas Elitista o Elitist Ant System.
- Colonia de Hormigas Ortogonal Continuo o Continuous Orthogonal Ant Colony.
- Optimización de Colonia de Hormigas con Lógica Difusa o Ant Colony Optimization with Fuzzy Logic.

Sistema de Colonia de Hormigas

- El método de sistemas de colonia de hormigas armoniza la exploración con la explotación del espacio de búsqueda.
- Cada hormiga debe de tomar una decisión cada vez que se encuentra con la necesidad de discernir entre dos o más rutas a seguir.
- Las diferentes rutas que se pueden seguir se representan a través de un grafo.
- La decisión depende de una regla de transición que esta basada entre el nivel de feromona depositada en el tramo (i, j) y una heurística en particular asociada para el mismo tramo (i, j) .

Sistema de Colonia de Hormigas

- En cada iteración del sistema de colonia de hormigas, todas las hormigas de la colonia llevan a cabo un movimiento hacia, ya sea, el nido o la fuente de comida.
- Cada uno de estos movimientos es agregado al camino que cada hormiga está trazando.
- Un ciclo se completa cuando las hormigas han alcanzado su objetivo (nido o comida), completando así, cada una de ellas, una solución al problema a resolver.

Regla de Transición

$$j_0 = \begin{cases} \arg\{\max_{j \in N_k(i)} \{\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}^\beta\}\} & \text{con probabilidad } q_0 \\ J_{random} & \text{con probabilidad } (1 - q_0) \end{cases} \quad (1)$$

where:

- j_0 es el próximo nodo a ser alcanzado,
- $N_k(i)$ es el conjunto de nodos en el vecindario del nodo i para la k^{th} hormiga,
- τ_{ij} es el valor de la feromona en el segmento ij ,
- η_{ij} es el valor de la heurística en el segmento ij ,
- β es el peso del valor de la heurística,
- q_0 es un valor de probabilidad límite predefinido $0 \leq q_0 \leq 1$,
- J_{random} es un valor elegido randomicamente con una función de probabilidad dada por la Ecuación 2.

Regla de Transición

$$S(p_{ij}^k) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_k(i)} \tau_{ij} \cdot \eta_{ij}^\beta} & \text{if } j \in N_k(i) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where:

p_{ij}^k

es la probabilidad de elegir el próximo nodo j desde i para la k^{th} hormiga.

$S()$

es algún mecanismo de selección tal como el de la ruleta o torneo.

Actualización del nivel de feromona

Global:

$$\tau_{ij}^t = (1 - \alpha)\tau_{ij}^{t-1} + \alpha\Delta \quad (3)$$

donde:

τ_{ij}^t es el nivel de feromona en el tiempo t ,
 α es el factor de evaporación de feromona, y
 Δ es el refuerzo positivo de feromona perteneciente a la mejor solución (0 ó Δ).

Local:

$$\tau_{ij}^t = (1 - \alpha)\tau_{ij}^{t-1} + \alpha\tau_{ij}^0 \quad (4)$$

donde:

τ_{ij}^0 es el valor inicial de feromona puesto en el segmento ij .

Sistema de Colonia de Hormigas

- Cada hormiga debe de tener una memoria para almacenar la ruta parcial.
- Esta memoria le permite saber a la hormiga los segmentos que visitado.

Algoritmo

```
1: Inicializar la feromona en todos los segmentos
2: while no se cumpla la condición de término do
3:   for cada hormiga do
4:     Asignar randómicamente las hormigas en los vértices del grafo.
5:   end for
6:   for cada vertice del grafo do
7:     for cada hormiga do
8:       Seleccionar el próximo segmento en el grafo usando la Ecuación 1
9:       Actualizar la feromona en cada segmento según la Ecuación. 4
10:    end for
11:  end for
12:  if es encontrada una mejor solución en el actual ciclo then
13:    Actualizar la mejor solución del proceso hasta la iteración actual.
14:  end if
15:  Actualizar feromona en segmentos de la mejor solución según la Ecuación. 3
16: end while
17: return la mejor solución global
```


Ventajas

- Ha sido usada ampliamente en problemas de ruteo, asignación, planificación y satisfacción de restricciones.
- Se adapta muy fácilmente a problemas que se pueden representar a través de un grafo en el cual es posible minimizar el camino de búsqueda.
- Es un mecanismo inherentemente paralelo. Por lo tanto se puede tomar ventaja de la programación concurrente y paralela.
- Podría ser utilizado con problemas dinámicos debido a su característica de adaptarse a los cambios. Por ejemplo, cuando las distancias son modificadas.

Desventajas

- Requiere de una mayor cantidad de recurso computacional de memoria para mantener el estado de la feromona y recordar la ruta de las hormigas.
- Para problemas distintos a los de ruteo o redes es más dificultoso su modelación.
- Es necesario realizar un preseteo de un número considerable de parámetros.