**Sistemas de Colonias de Hormigas**

A principios de los 90’s, se propuso un algoritmo llamado *ant system* para resolver el problema del agente viajero o traveling salesman problem (Dorigo et al., 1991; Dorigo, 1992; Dorigo et al., 1996). Entre algunas de las versiones mejoradas se encuentran ACS (Dorigo y Gambardella, 1997), MAX-MIN Ant System (Stützle y Hoos, 1998), y ASrank (Bullnheimer et al., 1997).

Es una metaheurística que busca soluciones a problemas de optimización a través de agentes independientes disponiendo únicamente de información local. Los agentes independientes u “hormigas” operan bajo reglas y estrategias inspiradas en el comportamiento colectivo de las colonias de hormigas para descubrir fuentes de alimentación, estableciendo el camino más corto del hormiguero hasta la fuente de alimentación, mediante la búsqueda y marcación de posibles soluciones.

La idea de imitar el comportamiento de colonias de hormigas para resolver problemas de optimización combinatoria se basa en observaciones hechas sobre hormigas reales buscando comida. Se encontró que las hormigas reales son capaces de comunicar información acerca de fuentes de comida por medio de una esencia aromática llamada feromona. Mientras se mueven, las hormigas reales depositan feromona en una cantidad que depende de la calidad de la fuente de alimento hallado. Las otras hormigas, perciben el rastro de feromona y son atraídas hacia él. Así, la ruta será reforzada y atraerá más hormigas. Las mejores rutas serán más frecuentadas.

Los valores objetivo corresponden a la calidad del alimento hallado y la memoria adaptativa es equivalente al rastro de feromona.

Esta metaheurística es definida por Almirón et al. (1998) como una metaheurística basada en la capacidad que poseen las hormigas para establecer el camino más corto desde su nido hasta la fuente de alimento y viceversa. Al moverse, una hormiga deposita una sustancia denominada feromona, marcando el camino que fue recorrido por ésta. La intensidad de la marca de feromona es función de la calidad del hallazgo. El camino con la mejor calidad de hallazgo recibirá mayor cantidad de feromona. Las hormigas que van saliendo del nido detectan la feromona ya depositada y deciden, con determinada probabilidad, seguir esta ruta. La probabilidad de tomar una ruta es función de la intensidad de la marca de feromona en cada ruta y la información heurística disponible. De tal manera, los mejores caminos son reforzados y rápidamente se tendrán más hormigas en dicho trayecto buscando la fuente de alimento.

En la Optimización de Colonias de Hormigas, en cada generación, cada una de las hormigas construye una solución. Cada hormiga de una generación construye la solución paso a paso seleccionando las componentes en el orden en el cual serán añadidas a través de decisiones probabilísticas y las políticas dadas por las restricciones. En general, cada que una hormiga encuentra una solución, marca su ruta depositando una cantidad de feromona sobre cada sección de la ruta. Las siguientes hormigas de las siguientes generaciones son atraídas para realizar su búsqueda en el espacio de solución cercano a las buenas soluciones previas, encontradas en generaciones anteriores. La feromona presente en los caminos sirve como mecanismo de comunicación, que las hormigas usan de forma probabilística para construir soluciones a un problema y que luego se adaptan para reflejar la experiencia de las hormigas. Se trata de una estrategia de búsqueda distribuida en la que un conjunto de agentes coopera en la búsqueda, transmitiendo e intercambiando información al resto.



Para la selección de una componente, las hormigas usan tanto información heurística como información de la feromona. La información heurística, denotada por , y la información de la feromona, denotada por , indican que tan bueno parece poner la componente en la posición de la solución . La información heurística es generada por algún método heurístico, dependiente del problema, y la información de la feromona se deriva de la forma en que las hormigas de las generaciones anteriores han recorrido el espacio de soluciones. La siguiente actividad es seleccionada de acuerdo a la distribución de probabilidad sobre el conjunto de actividades elegibles determinadas de acuerdo a la siguiente ecuación:

(1)

donde los parámetros y determinan la influencia relativa de los valores de la información heurística y la información de la feromona sobre la decisión de cada hormiga.

El rol de los parámetros y es el siguiente: si =0, la información heurística indicará que posibles elementos de la solución tendrán mayor probabilidad de ser seleccionados (por ejemplo los nodos más cercanos en el caso del TSP y VRP), lo que corresponde a un clásico algoritmo greedy (voraz) estocástico. Si =0, sólo será importante la amplificación de la feromona, así el método emergerá a una situación de estancamiento donde cada hormiga genera la misma solución, en general, no es una solución óptima global. Se requiere un apropiado ajuste en estos parámetros.

La cantidad de feromona presente en cada sección de ruta en cada generación esta dada por la siguiente ecuación:

(2)

donde es la cantidad de feromona depositada en la sección en la generación , es la contribución de la hormiga al total de feromona total en la generación y es la tasa de evaporación de la feromona.

La razón para incluir la tasa de evaporación es que la feromona antigua no debería tener mucha influencia sobre el futuro.

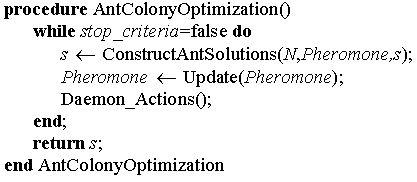
La cantidad de feromona con la que contribuye cada hormiga es proporcional a la calidad de la solución obtenida por cada hormiga así:

(3)

Donde es una constante y es el valor de la función objetivo de la solución obtenida por la hormiga .

El algoritmo se ejecuta hasta que algún criterio de parada sea satisfecho.

El procedimiento básico de la Optimización de Colonias de Hormigas se puede resumir en el pseudocódigo de la Figura 1.



**FIGURA 1.** Pseudocódigo de un algoritmo de Optimización de Colonias de Hormigas.

Fuente: Basado en Dorigo y Stutzle (2004).

Las acciones demonio (Daemon Actions) son un componente opcional de la Colonia de Hormigas que pude ser usado para implementar acciones centralizadas que no pueden ser realizadas por una sola hormiga. Ejemplos de este tipo de procedimientos son la activación de una búsqueda local, o la recolección de información global que puede ser usada para decidir si es útil o no depositar feromona adicional.

En este artículo se presenta un algoritmo para solucionar el Vehicle Rouing Problem (VRP) con un depósito central y vehículos idénticos, y muestra dos implementaciones y se comparan para indicar pautas de mejoramiento en dichos algoritmos.

Bullnheimer et al. (1998) presentan un algoritmo de colonias de hormigas aplicado al VRP. En Di Caro y Dorigo (1998) se presenta una versión del algoritmo en la que la información heurística como la feromona son valores pertenecientes al intervalo [0, 1]. Así, la probabilidad de selección de un elemento j se calcula así:

(4)

Bullnheimer et al. (1998) comentan que recientemente, han sido más exitosas las implementaciones en las que solo aportan feromona las hormigas que obtienen mejores soluciones.

**Vehicle Routing Problem**

El Vehicle Routing Problem puede ser representado por un grafo dirigido completo ponderado G=(V,A,d), donde V={vo, v1, v2…, vn} es un conjunto de vértices y A={(vi,vj):i<>j} es un conjunto de arcos. El vértice v0 representa el depósito, los otros vértices de V representan las ciudades o clientes, y los pesos no negativo dij, los cuales son asociados a cada arco(vi,vj), representa la distancia (o el tiempo de viaje o el costo del viaje) entre vi y vj. Para cada cliente vi, una demanda no negativa qi y un tiempo de servicio no negativo sigmai son dados (q0=0, sigma0=0). El objetivo es encontrar las rutas de los vehículos de mínimos costo donde:

* Cada cliente es visitado exactamente una vez por un solo vehículo.
* Todas las rutas deben iniciar y terminar en el depósito.
* Para cada ruta, la demanda total no debe exceder la capacidad, Q, del vehículo.
* Para cada ruta, la longitud total (incluyendo tiempos de servicio) no debe exceder un límite dado, L.

Algunos de los algoritmos propuestos para resolverlo incluyen los métodos metaheurísticos más comunes como Búsqueda Tabú (Gendreau et al, 1994), Recocido Simulado (Osman, 1993), Algoritmos Genéticos () y Redes neuronales (Ghaziri, 1996), y métodos específicos para este problema (Clarke y Wright, 1964; Gillett y Miller, 1974).

Avella et al. (2006) diseñan un algoritmo heurístico basado en programación lineal para resolver el VRP aplicado al diseño de rutas turísticas (Problema del Turista Inteligente).

**Referencias**

Avella, Pasquale; D’Auria, Bernardo y Salerno Saverio. *“A LP-based heuristic for a time-constrained routing problem”*. European Journal of Operational Research 173, 2006.

Bullnheimer, B.; Hartl, R. F. y Srauss, C. *“Applying then Ant System to the vehicle routing problem”*. In: Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization, eds, S. Voss, S. Martello, I. H. Osman and C. Roucairol. Kluwer, Boston. 1998.

Bullnheimer, B.; Hartl, R. F. y Srauss, C. *“A new rank-based version of the ant system: a computacional study”*. Technical report. POM-03/97. Institute of Management Science, University of Viena, Ausria. Accepted for publication in the Central European Journal for Operations Research and Economics. 1997.

Clarke, G. and Wright, J. W. *“Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points”.* Operations Research, 12. 1964

Dorigo, M. y Garmbardella, L. M. *“Ant Colony System: A cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem”*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1 (1), 53-66. 1997.

Dorigo, M.; Maniezzo, V. y Colorni, A. *“The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents”*. IEEE Transactions on Sysems, Man, and Cybernetics – Part B, 26 (1), 29-41. 1996.

Dorigo, M. *“Optimization, Learning and Natural Algorithms”* (in Italian). Ph.D. thesis, Dipartimento di Electrónica, Politecnico di Milano, Italy. 1992.

Dorigo, M.; Maniezzo, V. y Colorni, A. *“Positive feed-back as a search strategy”*. Technical report, 91-016. Dipartimento di Electrónica, Politecnico di Milano, Italy. 1991.

Gendreau, M.; Hertz, A. y Laporte, G. *“A tabu search heuristic for the vehicle routing problem”*. Management Science, 40. 1994.

Ghaziri, H. “Supervision in the self-organizing feature map: Application to the vehicle routing problem”. In: Meta-heuristics: theory and applications, eds. Osman, I. and Kelly, J. Kluwer, Boston. 1996.

Gillett, B. E. and Miller, L. R. *“A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem”*. Operation Research, 22. 1974.

Osman, I. *“Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem”*. Annals of Operations Research, 41. 1993.

Rego, C. and Roucairol, C. “A parallel tabu search algorithm using ejection chains for the Vehicle Routing Problem”. In: Metah-Heuristics: Theory and Applications, eds. Osman, I. and Kelly, J. Kluwer, Boston. 1996.

Stützle, T. y Hoos, H. “Improvemnts on the Ant System: Introducing the MAX-MIN Ant System. Pages 245-249 of: R. F. Albrecht, G. D. Smith, N. C. Steele (ed), Artificial Neural networks and Genetic Algorithms. Springer Verlag, Wien New Cork. 1998.