

Optimización de rutas de drones mediante algoritmos heurísticos y roles dinámicos

Pablo R. Grande
January 22, 2023

M0.536 - Optimización Metaheurística

MU Ingeniería Informática / MU Ingeniería Computacional y Matemática

Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación

Abstract

El uso de drones inteligentes por parte de las empresas para apoyar sus operaciones, como la inspección de torres, la vigilancia y las entregas se está extendiendo y se prevé un gran uso de esta tecnología en el futuro próximo y, por tanto, requiere de soluciones inteligentes a los problemas que plantean. Sin embargo, estos drones tienen la dificultad de no poder estar lejos de ciertas zonas con poca cobertura. Los operadores celulares, los proveedores de equipos de red y 3GPP están investigando formas de mitigar esta interferencia. En este artículo se propone una alternativa mediante la reconfiguración de una flota de drones para resolver tareas que requieran cobertura utilizando un enfoque basado en el problema de orientación en equipo (TOP) con algunas modificaciones para resolver el problema.

1 Introducción

Las empresas utilizan cada vez más los drones para respaldar sus operaciones, como la inspección de torres, la vigilancia y las entregas limitadas. La conexión del dron a las redes celulares permite el vuelo BVLOS, la carga de datos de carga útil y el monitoreo del estado del dron. Sin embargo, los drones también son susceptibles a interferencia significativa en los sitios celulares vecinos. Los operadores celulares, los provee-

dores de equipos de red y 3GPP están investigando formas de mitigar esta interferencia.

Durante el vuelo, normalmente se puede esperar que los drones vuelen hasta 120 metros sobre el nivel del suelo, lo que puede mejorar la ruta de propagación a los sitios celulares circundantes y aumentar el nivel de la señal recibida, ya que no hay obstáculos en el camino. Por eso, los drones pueden utilizarse para la propagación de la señal en lugares de desastre, donde haya una alta conceptración de usuarios del nodo de la red o para zonas remotas.

En casos de interferencia o de poca señal, en este trabajo se propone la rconfiguración de una flota de drones para resolver tareas que requieran una cobertura, siendo los mismos drones los que se reparten el rol de repetidor o completar la ruta emparejándose con otros drones para tener cobertura durante todo el vuelo. Para resolver este problema nos basamos en soluciones existentes del problema de orientación de equipo (*Team Orienteering Problem* (TOP)) con algunas modificaciones. Chao et al. (1996) investigaron inicialmente el problema de la orientación en equipo en idear recorridos limitados en el tiempo a través de un grafo para una flota de m vehículos, de forma que se maximicen las ganancias por visitar nodos. Cada uno de los viajes de los m vehículos comienza y termina en un nodo de depósito. En esta investigación, sólo se tienen en cuenta las recompensas recogidas en un plazo de tiempo definido. En este estudio, el espacio de soluciones es mutable, es decir, el mapa puede reconfigurarse si un miembro del equipo (dron) decide actuar como repetidor, en ese caso el equipo pasará a percibir a ese miembro del equipo como recompensa puesto que en su área de cobertura podrá llegar más lejos con sistemas

de navegación autónoma. Las recompensas que obtengas los agentes, entonces, son dinámicas.

Al tener en cuenta el comportamiento variable de las recompensas se pueden utilizar cualquiera de las técnicas existentes metaheurísticas combinadas con otros algoritmos de optimización o de simulación que nos pueden ayudar a resolver este problema.

2 Optimización de rutas de drones

El problema de orientación en equipo (TOP) (Chao et al., 1996) involucra una flota limitada de m vehículos que consiste en encontrar el conjunto óptimo de m rutas que conectan un punto de origen con un destino, de forma que se maximicen las ganancias por visitar nodos. Existen distintos enfoques al otorgar estas ganancias o recompensas para incentivar el viaje a un nodo, en este artículo se propone un comportamiento variable de las mismas donde es el mismo dron quien actúa como nodo o como agente que debe recorrer los nodos. Esto es así ya que el dron puede actuar como repetidor para que otro dron complete la tarea y configurando un mapa nuevo en el espacio de soluciones.

La forma clásica TOP contiene una flota m de vehículos, drones, etc. que pretende recorrer un grafo dirigido G donde en los nodos o arestas de los mismos existe una recompensa, bien porque esa ruta es más eficiente, hay pasajeros que recoger, mercancías, etc. Sin embargo, este problema típicamente no contempla cambios en tiempo real del grafo, es posible que una aresta o nodo del mismo desaparezcan por diferentes razones: se ha convertido en una zona catastrófica, pérdida de señal, etc. pero, sin embargo, las recompensas de visitar estos elementos pueden continuar ahí y es posible que la nueva configuración del grafo las ignore debido a la lógica del algoritmo. En estos casos, habría que recalcular el grafo de tal forma que ahora la flota podría efectuar un recorrido diferente perdiendo la recompensa asociada.

En este artículo se plantea una alternativa y es el de utilizar los propios recursos de la flota para reconstruir grafo mutado que permita que el algoritmo no se reajuste. Consiste en sacrificar un conjunto de individuos de m de tal forma que su rol no sea el de visitar nodos o arestas sino el de habilitar el camino a otros miembros de la flota que sí puedan asistir. Concretamente, un dron puede actuar como repetidor en una zona de baja cobertura para que otro dron que sigue el algoritmo predefinido pueda efectuar la tarea sin necesidad de desistir o de recalcular una ruta.

Los drones pueden presentar 2 tipos de configuraciones o roles:

1. **Viajante:** Es el estado inicial de todos los miembros de la flota. Estos drones aplican los algoritmos de orientación de equipo hasta completar su tarea
2. **Asistente:** Este es el otro estado en el que puede estar un dron de la flota. En este estado, el dron no pretende resolver el problema de orientación de equipos ni obtener recompensas, su misión es mantenerse lo más alejado posible de una zona con cobertura sin perderla, para que otro miembro de la flota pueda tener cobertura en el radio de acción de un dron asistente. Actúa como repetidor.

Notemos que ahora una flota de drones vendrá definida por $\sum_{n=1}^m d_i v + d_i a$ y que $d_v - d_a > 0$.

Esto es, que una flota m es la suma de los drones que estén actuando como viajeros y asistentes y que siempre tiene que haber algún asistente para completar la tarea. A su vez, los drones asistentes tienen asignada una recompensa (r) inversamente proporcional a la dificultad que supone resolver la ruta por una zona cubierta por este, de esta forma, se incorpora la recompensa de forma dinámica al mapa configurando rutas nuevas.

Sea

- G : Grafo original
- R : Grafo recalculado después de una actualización en G

- m : Flota

El algoritmo de actualización del grafo consiste en iterar sobre los vértices del grafo original y compararlos con los del grafo recalculado. Si hay un miembro de la flota cuya substitución del nodo actual haga que la recompensa sea mejor que $R(v_1, v_2)$ y queden suficientes miembros de la flota por desplazar, entonces el miembro de m pasa a substituir esa configuración del grafo y la flota se actualiza. A su vez, el nuevo grafo R actualiza sus aristas recuperando la del grafo anterior con nueva recompensa m_r .

```

assistance = set()
m.sort()

for v1, v2 in G:
    for member in m:
        e = R(v1, v2)
        if member.reward > e.reward:
            G.merge(v1, member, v2)
            R(v1, v2) = G(v1, v2)
            assistance.add(member)
            if len(m) < 2:
                return

m == assistance

```

En esencia, el algoritmo se enfoca en encontrar el conjunto óptimo de rutas para una flota limitada de drones para maximizar las ganancias al visitar nodos y considera el comportamiento variable de las recompensas.

Este algoritmo se puede incluir en otros algoritmos metaheurísticos, simheurísticos o learnheurísticos a la hora de confeccionar un mapa de soluciones, iterando cada vez con un nuevo grafo y un nuevo conjunto de drones en la flota de tal forma que la resolución del problema se vuelve transparente puesto que los drones asistentes simplemente pasan a ser nuevos vértices o aristas del espacio de soluciones.

3 Conclusión

Las empresas están utilizando cada vez más los drones inteligentes para apoyar sus operaciones y cómo la conexión a redes celulares permite un vuelo BVLOS y la carga de datos de carga útil. Sin embargo, estos drones solo son capaces de actuar en zonas donde tengan cobertura. Para abordar este problema, el texto presenta la idea de utilizar drones para mejorar la cobertura de señal en lugares de interferencia o con poca señal. Se propone la reconfiguración de una flota de drones para que puedan cumplir tareas que requieran una cobertura adicional, ya sea actuando como repetidores o emparejándose con otros drones para tener una cobertura durante todo el vuelo. El algoritmo presentado en el texto se basa en soluciones existentes del problema de orientación de equipo (TOP) con algunas modificaciones en la construcción del grafo de soluciones para complementarse con otras técnicas metaheurísticas combinadas y otros algoritmos de optimización o simulación.