

Problema de Enrutamiento de Vehículos (Nov 2008)

Panda R. Andrés Jaque Pirabán*

Abstract— This document carries out a review of the state of the art of the vehicle routing problem, summarizing the different variant of the problem and compiling the different methods that have been proposed for their solution.

Index Terms—Vehicle Routing Problem, heuristics, genetic algorithms, swarm algorithms, ant colony optimization, simulated annealing, tabu search, branch and bound, branch and price, branch and cut

I. INTRODUCCIÓN

EL problema de enrutamiento de vehículos (VRP) es un problema de optimización combinatoria de gran importancia en diferentes entornos logísticos, consiste en servir una serie de clientes ubicados geográficamente de manera dispersa, para atender los clientes se cuenta con una flota de vehículos que parten desde un deposito central, el problema consiste en asignar a cada vehículo una ruta de clientes, de manera que se minimice el costo de transporte.

Diferentes variantes del problema, que incluyen restricciones adicionales y la incorporación de múltiples variables, son propuestas como una aproximación generalizada a problemas reales de enrutamiento de vehículos, así como también se han propuesto diferentes métodos para encontrar soluciones a estos problemas. Este documento realiza un estudio del estado del arte del problema, organizándose de la siguiente manera: (1) Se presenta una descripción detallada del problema; (2) Se ilustran diferentes entornos reales de aplicación del VRP; (3) Se describe una recopilación estructurada de las diferentes técnicas propuestas para solucionar el VRP y sus variantes; (4) Por último, se presentan las conclusiones derivadas de este estudio.

II. PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS

Uno de los primeros estudios que trataron el problema de enrutamiento de vehículos se remonta al año 59, en este trabajo Dantzig y Ramser [1] tratan un problema de despacho con camiones, este problema surge como una generalización

del problema clásico del agente viajero (TSP) en el que un vendedor tiene que recorrer una serie de clientes una sola vez, para luego volver al lugar de partida.

El VRP se representa como un conjunto de nodos a ser visitados (clientes) y un conjunto de vehículos inicialmente ubicados en un nodo particular (deposito), el objetivo es asignar rutas a los vehículos (secuencia ordenada de nodos) tendiente a minimizar el costo total de transporte. Un ejemplo gráfico de un VRP clásico se presenta en la siguiente figura.

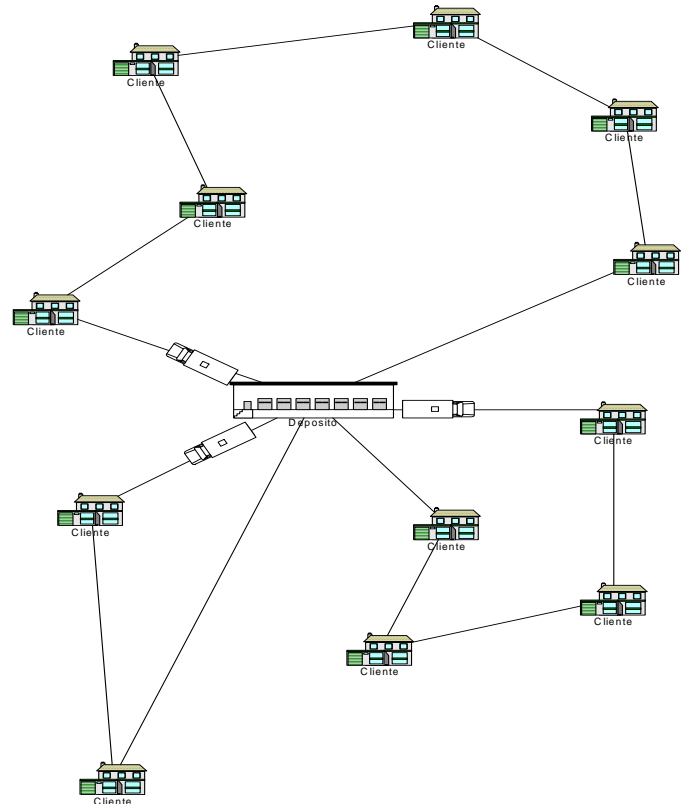


Figura 1 Ejemplo de VRP Clásico. Desde un depósito central se asignan rutas a 3 camiones que deben atender 12 clientes dispersos geográficamente.

Diferentes variaciones del VRP se han propuesto con el ánimo de acercarse a contextos reales del problema, estos problemas incluyen la adición de variables y restricciones, en la **Figura 2** se presenta un diagrama con las variantes más populares del VRP.

*rajaquep@unal.edu.co, Seminario de Investigación I, Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Nacional de Colombia

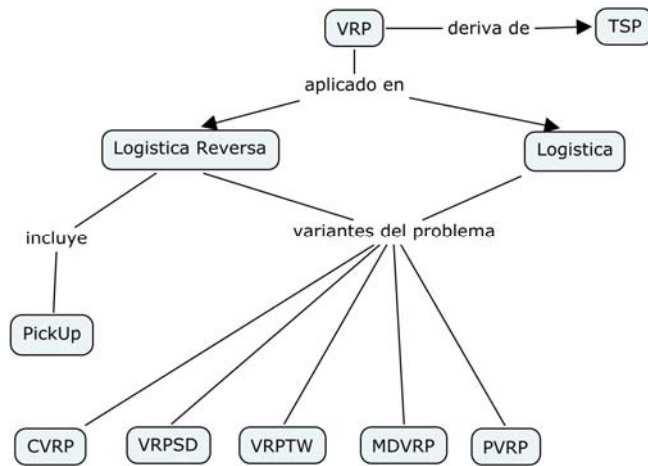


Figura 2 Variaciones y derivaciones del Problema de enrutamiento de Vehículos

Una de las variantes más populares del problema, se origina al incluir ventanas de tiempo para realizar las entregas, estos son periodos fijos durante los cuales se puede realizar la entrega a los clientes, este problema es conocido como el VRPTW, por sus siglas en inglés (Vehicle Routing Problem with Time Windows), para este problema se pueden considerar ventanas de tiempo duras en las que no es posible realizar la entrega al cliente fuera de los periodos establecidos, en la ventanas de tiempo suaves se permite la entrega fuera de estos periodos pero con una penalización.

Cuando en el VRP clásico se tiene una capacidad determinística variable de los vehículos, se trata del CVRP (Capcited Vehicle Routing Problem); cuando el problema tiene diferentes depósitos de los que parten los vehículos, se conoce entonces el MDVRP (Multiple Deposits Vehicle Routing Problem). El VRPSD (Vehicle Routing Problem with Stochastici Demands), es otra variante del VRP en la que solo son conocidas las demandas de los clientes con una distribución de probabilidad, por otro lado, el PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem) contempla que las rutas se realicen periódicamente.

III. ENTORNOS REALES DEL VRP

Estudios del problema de enrutamiento de vehículos son de gran importancia en problemas reales de logística y de logística reversa, estos últimos han tomado gran importancia en la actualidad, los problemas de logística reversa con frecuencia incluyen situaciones en las que además de realizar una entrega a los clientes es necesario realizar recogidas.

Alshamrani et. al[2] tratan un problema de logística reversa inspirado en la situación real de distribución de sangre del American Red Cross, en este problema se debe planear la entrega de los contenedores por los camiones mientras que de manera simultanea se debe estimar la cantidad de contenedores que deben ser recogidas por los camiones en cada parada.

Repoussis et. al [3], trata también un problema de logística reversa en la recolección y reciclaje de desperdicios de aceites lubricantes.

Otros autores han presentado sus trabajos en el estudio y solución de VRP en entornos reales como Zeng et. al[4] quien enfoca su trabajo en un VRP a gran escala en condiciones de tráfico real, y Tarantilis y Kiranoudis[5], quienes estudiaron el VRP en el reparto de leche y el sector constructor.

Algunos de los entornos reales para los que el estudio del VRP es de gran importancia se encuentran en mensajería, transporte de valores, recolección de basura, transporte de contenedores, transporte de pasajeros, transporte de alimentos, transporte de combustibles.

IV. MÉTODOS DE SOLUCIÓN

El VRP es de complejidad NP-co, métodos exactos han sido propuestos para su solución siendo apropiados en problemas pequeños, pero dada su alta complejidad en tiempo computacional son inapropiados para problemas de dimensiones mayores en los que con frecuencia se utilizan métodos heurísticos.

A. Métodos Exactos

Kallehauge [6] realiza una revisión de los algoritmos exactos propuestos en las últimas tres décadas para la solución del VRPTW. Dantzing et. al proponen un modelo lineal para solucionar el problema.

Kallehauge también propone un algoritmo exacto para la solución del VRPTW, primero realiza una formulación lineal del problema, luego propone un método para encontrar las cotas inferiores más bajas del algoritmo de Branch and Bound utilizando relajación lagrangiana o una descomposición de Dantzig-Wolfe.

Otros métodos exactos que se han propuesto para solucionar el VRP involucran programación con restricciones y programación dinámica

Entre los métodos propuestos se encuentran los algoritmos que ramifican y podan el árbol de soluciones, entre estos algoritmos se distingue el *Branch and Bound* (B&B), *Branch and Price* (B&P) y *Branch and Cut* (B&C).

B. Métodos Aproximados

Debido a la complejidad del VRP diferentes métodos que se aproximados han sido propuestos que aunque no garantizan encontrar la solución óptima brindan una muy buena solución al problema.

Diferentes autores han aplicado algoritmos metaheurísticos a la solución de este problema, algoritmos enmarcados en inteligencia de enjambres como el algoritmo de colonia de

hormigas (ACO) [] y partículas [], han tenido buenos resultados en la solución del VRP, estos algoritmos se inspiran en el comportamiento natural y cooperativo de individuos que trabajan de manera cooperativa para solucionar problemas complejos.

Algoritmos evolutivos también han sido propuestos para la solución de este problema, entre los que se han utilizado algoritmos genéticos [], programación evolutiva [] y estrategias evolutivas [], también se han utilizado algoritmos de búsqueda local como 2-opt[], k-opt[], búsqueda tabú[] y recocido simulado[].

También se han propuesto algoritmos de dos fases, los cuales primero realizan un agrupamiento para después aplicar otro método para la asignación de las rutas a los vehículos, entre estos algoritmos se destaca el algoritmo de barrido y el algoritmo de pétalo.

También se han propuesto heurísticas constructivas, exclusivas para el problema de enrutamiento de vehículos, la más destacada es el algoritmo Clarke and Wright[].

Es importante resaltar las propuestas de algoritmos híbridos que combinan características de diferentes heurísticas

V. CONCLUSIONES

El problema de enrutamiento de vehículos es de gran importancia en logística y logística reversa, aunque diferentes autores han presentado métodos de solución que encuentran la mejor solución al problema, aunque con un costo computacional muy alto, por lo tanto, para problemas de mayor tamaño se hace necesaria la utilización de heurísticas, que aunque no aseguran encontrar la mejor solución, proporcionan una muy buena, en un tiempo de computo admisible, este problema sigue un área de trabajo.

REFERENCES

- [1] G. B. Dantzing and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem" *Management Science*, Vol. 6, No. 1 (Oct., 1959), pp. 80-91.
- [2] A. Alshamrani, K. Mathur and R. H. Ballou, "Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies" *Computers & Operations Research* Vol. 34 (Apr, 2007) pp. 595-619
- [3] P.P. Repoussis, et. al, "A web-based decision support system for waste lube oils collection and recycling" *European Journal of Operational Research* Vol. 195 (2009) pp. 676-700
- [4] H. Zeng, et. al "A hybrid Algorithm for Large-Scale Vehicle Routing Problem in Real Traffic Condition" *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 2007, pp. 2238-2242
- [5] C.D. Tarantilis and C.T. Kiranoudis, "A flexible adaptive memory-based algorithm for real-life transportation operations: Two case studies from dairy and construction sector" *European Journal of Operational Research* Vol. 179, No. 3 (Jun, 2007) pp. 806-822
- [6] B. Kallehauge, "Formulations and exact algorithms for the vehicle routing problem with time windows" *Computers & Operations Research* Vol. 35 (2008) pp. 2307 - 2330
- [7] G. Dantzig, R. Fulkerson and S. Johnson, "Solution of a large-scale traveling-salesman problem". *Operations Research* Vol. 2 (1954) pp. 393-410.