

Problemas de Planeación de Rutas Vehiculares y sus Aplicaciones

Gabriela Alfonsina Salamanca Fajardo, Maestría en Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional de Colombia

?

Resumen— El presente artículo revisa los principales problemas en cuanto a planeación de rutas se trata, algunos trabajos realizados desde los diversos enfoques del problema del agente viajero o el TSP y el problema de planeación de rutas vehiculares, con el fin de tener una visión global del problema, desde diferentes perspectivas y soluciones.

Términos Claves— Problema del Agente Viajero (TSP), Problema de Rutas Vehiculares (VRP).

1. INTRODUCCIÓN

La planeación de Rutas ha sido un problema de gran interés en diversas áreas, debido a la complejidad que este presenta. Éste documento se centra básicamente en dos problemas principales que se han derivado, como lo son el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Planeación de Rutas Vehiculares (VRP), debido a que por su naturaleza involucran planeación de rutas, y considero que estos dos problemas deben ser estimados como problemas de esta índole.

El transporte es un problema de amplio interés, debido a los costos que se generan en la recolección o entrega de artículos a clientes desde un depósito o almacén [1][2][3]. Esto implica costos en el área logística, tales como la inversión en la flota de transporte, el mantenimiento de ésta, la amortización, el combustible, seguros de los vehículos, contratación de conductores. Es por ello que se han hecho diversos estudios, con el fin de proporcionar soluciones que permitan la minimización de costos.

El problema del Agente viajero (TSP) ha sido manejado desde diversos variantes [4] que han surgido teniendo en cuenta algunas restricciones, tales como que cada cliente debe ser atendidos dentro de una determinado intervalo de tiempo (ventana de tiempo), que los puntos de suministro o depósitos sean varios (problema VRP como múltiples depósitos), que los clientes sean abastecidos por varios

vehículos, que algunos datos del problema sean aleatorios, tales como el número de clientes, sus demandas, etc., que las entregas se realicen en determinados días. Bajo éstas restricciones se tienen algunas de las variantes de éste problema, las cuáles han sido objeto de algunos trabajos tales como el TSP Nómada en línea (NOLTSP), TSP Homing en línea (H-OLTSP), el TSP con tiempo de finalización (Deadline-TSP), el TSP de k-entregas. Por otro lado, el problema de rutas vehiculares también ha sido bastante estudiado y sobre este también se han desarrollado trabajos como el problema de rutas de vehículos capacitados (CVRP), los problemas de rutas vehiculares con ventanas de tiempo (VRPTW). Otros trabajo como el problema de los k-viajes del técnico (the k-traveling repairman problem), Planeación y Rutas de una Librería Móvil, también tiene relación con este tema. Este artículo está organizado como sigue. La primera parte es una introducción acerca del transporte, los problemas que han surgido en ésta área, los principales problemas en los cuales se enfoca el artículo TSP Y VRP, en la sección 2 encontramos la descripción del Problema del Agente viajero y sus variaciones, en la sección 3, el Problema de Rutas Vehiculares y sus variaciones, en la sección 4 algunas soluciones planteadas para estos ambos problemas, en la sección 5 los Trabajos Futuros y en la última sección las conclusiones.

2. EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (TSP)

Este problema ha sido investigado desde hace algún tiempo y ha sido catalogado como un problema NP-completo debido a que el esfuerzo computacional que se debe realizar para encontrar una solución óptima crece de forma exponencial con el tamaño del problema.

El problema del agente viajero, también conocido como TSP (Traveling Salesman Problem), en teoría de grafos consiste en que dado un grafo de N vértices (ciudades) se debe encontrar el camino o ruta más corta (o de menor peso), que partiendo desde una ciudad origen, pase por todas las ciudades y lo haga sólo una vez. Para poder evaluar cuál será el camino más corto, todas las aristas existentes entre los vértices tendrán un valor que indicará la longitud (peso) entre una ciudad y otra (Ver Figura 1).

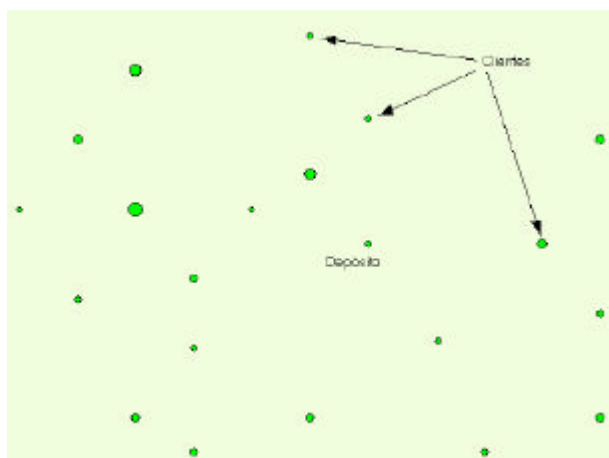


Fig. 1. Representación gráfica del problema del TSP

Para este problema se han presentado diversos variantes desde las cuales se proponen algunas soluciones, en la siguiente parte veremos algunos de ellos.

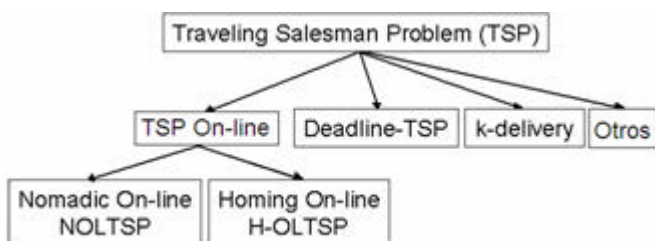


Fig. 2. Variaciones del TSP

En la figura 2 se presentan algunas de las variaciones encontradas acerca de este problema, los cuales serán tratados a continuación.

2.1. VARIACIONES DEL TSP

On-Line Travelling Salesman

En el trabajo propuesto por Giorgio Ausiello *et. Al* [5] se presenta un modelo para el problema del agente viajero en línea "OLTSP", se consideran dos versiones del problema, el *Nomadic On-line Travelling Salesman Problem (NOLTSP)* que es definido como el tiempo de finalización requerido para atender todas las solicitudes presentadas, y el *Homing On-line Travelling Salesman Problem - (H-OLTSP)*, definido como la minimización de tiempo de finalización requerido para servir todas las peticiones presentadas y retornar al origen. Los algoritmos On-line para los problemas NOLTSP y H-OLTSP determinan el comportamiento del servidor en un momento seguro como una función de todas las peticiones.

Deadline-TSP

Esta versión del problema del Agente Viajero con vencimiento "Deadline-TSP" implica que existe un número de ubicaciones que se deben visitar, pero esta visita sólo puede ser realizada dentro del tiempo que tiene cada punto a ser visitado. Este problema en forma general también es llamado problema de rutas de vehículos con ventana de tiempo. Se expone una aproximación en [6] para el caso general con terminación o ventanas de tiempo arbitrarias. Algunos algoritmos de aproximación basados en el problema de orientación, son propuestos para la solución de los problemas anteriormente descritos.

K-delivery TSP

El problema consiste en el transporte de un sólo artículo desde un conjunto de distribuidores a un conjunto de puntos de demanda, usando un vehículo de capacidad limitada y calculando una ruta de longitud mínima, empezando y terminando en un lugar fijo. Una generalización del Problema del Agente Viajero (TSP) es la *k-delivery TSP* la cuál es referida en [7], donde si un carro puede tomar siempre la ruta mas corta entre dos puntos cualquiera satisface la desigualdad triangular.

Otros trabajos realizados acerca de este problema son por ejemplo el *k-traveling repairman problem* [8] donde la meta es encontrar las rutas o viajes sobre los cuales se envía al técnico que minimice el promedio de tiempo que un cliente tiene que esperar para que el técnico llegue, asegurando que todos los clientes se atiendan. Un trabajo bastante bueno, fue desarrollado para las bibliotecas ambulantes [9], que fueron especialmente diseñadas en carros para poder llevar material bibliográfico a lugares donde no es posible acceder a ello. Estas bibliotecas contienen variedad de material tal como libros impresos, periódicos, audiolibros y música. El problema es descrito y modelado, implementando satisfactoriamente el modelo de programación entera estándar para un escenario práctico.

3. PROBLEMAS DE RUTAS VEHICULARES (VRP)

El Problema de rutas vehiculares al igual que el del agente viajero o TSP también tiene algunas variaciones, realmente estos dos problemas están bastante relacionados, e igualmente tienen variaciones con respecto a las restricciones.

El objetivo principal del VRP es atender un conjunto de clientes con una demanda por servicio a un costo mínimo a través de rutas que tienen un origen y un término en un depósito central. Este problema típicamente considera una flota de vehículos ubicados en un depósito central que pueden ser programados con el fin de proveer algún tipo de

servicio a clientes geográficamente dispersos en una región a atender. Así, estos problemas consideran el diseño de rutas de atención (distribución o recolección) desde uno o más depósitos centrales a un conjunto de clientes dispersos. Se pueden definir varias versiones del problema, dependiendo del número de factores, restricciones y objetivos, donde se dispone de situaciones donde: El problema puede ser de distribución, recolección o ambos, la distribución se lleva a cabo desde un o varios depósitos, Los clientes ser atendidos dentro de una ventana de tiempo.

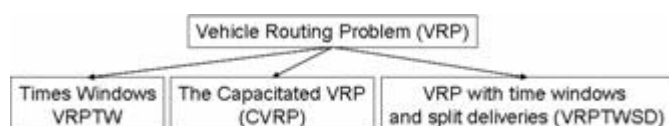


Fig. 3. Variaciones del VRP

3.1. VARIACIONES DEL VRP

Times Windows VRPTW

Las ventanas de tiempo en el Problema del Agente viajero implican la existencia de un límite o intervalo de tiempo dentro del cual un cliente debe ser atendido. Una aproximación heurística robusta propuesta es propuesta en [10] para el problema de rutas de vehículos con ventanas de tiempo, usando un eficiente algoritmo genético. El principal objetivo del artículo es minimizar la distancia viajada. En los resultados presentados, el comportamiento de métodos heurísticos fue comparado con métodos exactos en términos de encontrar un óptimo global, robustez y esfuerzo computacional, usando las mismas suposiciones para la precisión del cálculo y la definición de la función objetivo.

Este problema es abordado en la tesis doctoral [11], para el cual usan un método llamado Dantzig-Wolfe. En este método el problema es dividido en dos, el problema maestro relacionado con el conjunto de particiones del problema que garantiza que cada cliente es visitado exactamente una vez, y el subproblema es el problema de la ruta más corta, con restricciones adicionales (capacidad y ventana de tiempo). Esta tesis es bastante completa, y presenta de una manera clara los algoritmos usados y la parte matemática. Es un material muy bueno para ser tenido en cuenta en el proyecto a desarrollar. En otro trabajo [12] se presenta una solución para este problema con algoritmos genéticos. El propósito fundamental de este trabajo es ser hábil para organizar diferentes rutas para cualquier problema de recolección o distribución para satisfacer todas las restricciones impuestas. Algunos algoritmos fueron implementados para la experimentación en el caso de criterio único y el de multicriterio.

Un algoritmo de optimización de colonia de hormigas (ACO) es propuesto como solución a este problema en [13], el cual es basado en el sistema de hormigas, que fue inspirado sobre el comportamiento real de las hormigas. El objetivo es minimizar el costo total, el cual consiste de costos en la cantidad de vehículos utilizados y la distancia total viajada. Para ello usan una función objetivo de pesos para minimizar el tamaño del conjunto de vehículos necesarios. Finalmente se presentan unos resultados de la simulación para los cuales usaron un algoritmo heurístico y una implementación secuencial del ACO para ver el desempeño del ACO híbrido frente a los otros.

The Capacitated VRP (CVRP)

Desde el problema clásico del Problema del Agente de Viajes (TSP) se consideraron dos variaciones, una de ellas es la de las rutas permitidas son limitadas por la necesidad de que los objetos deben ser entregados desde un punto fuente hasta su destino por un vehículo de capacidad finita, y los puntos que serán visitados, podrían estar en movimiento con una velocidad conocida. Algunos de los trabajos relacionados son por ejemplo, The Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) [14] en este problema se tiene un conjunto de puntos en un espacio métrico, un grupo de vehículos de cierta capacidad y una colección de rutas de vehículos empezando en un origen, los cuales cada uno deben visitar un punto determinado. Otro de los trabajos es The Precedence-Constrained TSP [15] que implica la existencia de un número finito de puntos que se deben visitar antes de visitar un punto definido. Estos problemas son muy importantes, y las soluciones planteadas en este artículo son muy interesantes.

VRP with time windows and split deliveries (VRPTWSD)

El problema consiste en que dada una escuadra de vehículos homogéneos estacionados en un almacén central y un conjunto de clientes requiriendo que sus demandas sean satisfechas, se deben encontrar las rutas de los vehículos empezando y terminando en el almacén cuando cada cliente sea visitado. Para la solución de este problema [16] proponen una búsqueda heurística tabú con cuatro diferentes estructuras de vecindad. Este problema también es abordado con el estudio del poliedro asociado al Problema de Rutas de Vehículos con Demanda Compartida [17], problema de distribución que surge cuando hay que repartir mercancías a un conjunto de clientes utilizando una flota fija de vehículos de capacidad limitada. El objetivo es diseñar las rutas de forma que se minimice la distancia total recorrida. Se diferencia de otros problemas más conocidos de rutas con capacidades en que se permite abastecer la demanda de cada cliente utilizando más de un vehículo.

Multi-depot VRP

En [18] se enfoca principalmente en la asignación (agrupamiento) de los clientes a los almacenes, y compara los resultados obtenidos por seis heurísticas con asignación (asignación a través de urgencias, asignación paralela, asignación simplificada y barrido de asignación) obtenidos para resolver un problema de transporte para los mismos casos. Estos resultados fueron obtenidos utilizando una herramienta llamada STAAR, desarrollada bajo el software ArcView 3.0, plataforma GIS. Con estas pruebas, se concluye que los algoritmos de urgencia son los más recomendables en problemas grandes de la vida real.

4. SOLUCIONES PARA ESTOS PROBLEMAS

Se han realizados algunos trabajos donde por ejemplo son presentadas dos reformulaciones de los problemas de rutas de vehículos (VRP) y de itinerarios [19]. Para el VRP la transformación se plantea como un problema de itinerario de la tienda abierta (SSP), donde se propone representar los vehículos como un recurso y cada visita de un cliente como una actividad. La distancia entre un par de visitas corresponde a una transición de tiempo entre actividades. El SSP es planteado como un VRP, donde se tiene para cada recurso un vehículo, y para cada actividad una visita a un cliente, cada visita puede ser hecha sólo por los vehículos correspondientes al conjunto de recursos por actividad. Luego resuelven el problema usando tecnología de programación u ordenación cronológica, y se presenta un estudio donde en problemas de agrupamiento hay reducción notable de costos.

Un sistema de información geográfico fue desarrollado para la Generación de rutas de viaje [20], el cuál está constituido por un Sistema de Información Geográfico (GIS) y una Red de tipo Hopfield. La generación de las rutas se hace contemplando condiciones ideales y adversas (trancones, manifestaciones, tráfico pesado, etc.). El sistema de información geográfico proporciona información de tipo espacial (p.e. ubicación geográfica) y no espacial (p.e. identificadores de las calles), la cuál nos permitirá entrenar la red y así poder generar las rutas. Para ello deben ser ingresados el punto de inicio y el de destino, con los cuales la red va a seleccionar la ruta con menos calles en el caso de condiciones ideales y la ruta sin retardos o con menos retardo en condiciones adversas. Bajo este mismo contexto, en [21] un sistema de soporte a decisiones espaciales "SSDS", el cuál está constituido por un sistema de información geográfico y un método metaheurístico llamado BATA por sus siglas en inglés "Backtracking Adaptive Threshold Accepting", cuyo objetivo es resolver el problema de rutas de los vehículos.

Las redes neuronales y los algoritmos genéticos también han proporcionado soluciones para este problema, en [21] se presenta básicamente la generación de rutas de entrega de productos las cuales deben satisfacer restricciones tales como la cantidad de productos que debe entregar por ruta no puede superar la capacidad del vehículo, en cuanto a tiempo hay una ventana de tiempo o intervalo de tiempo en el cuál el vehículo debe entregar el producto, no se permite llegar después del intervalo establecido, y un vehículo puede visitar muchos clientes para entregar los productos. En [23] se propone una aplicación cuyo objetivo es minimizar el número de rutas y a su vez el tiempo de ruta total, para lo cual se aplica la inserción heurística de Solomon para obtener una estimación del número inicial de rutas, luego un método de inserción heurístico paralelo inspirado en el trabajo de Solomon, después usan una red neuronal competitiva para la agrupación de los clientes teniendo en cuenta la capacidad del vehículo y la cercanía de los clientes. Finalmente se aplica un algoritmo genético donde se generan los cromosomas y se hace una búsqueda genética para ubicar los resultados y seleccionar el mejor. Un método estadístico de histogramas geométricos llamado Corner-centred Geometric Histogram (CGH) es presentado en [24] para la construcción de mapas y planeación de rutas, el cual se encarga de codificar las características visuales desde vistas específicas de manera robusta al ruido, los efectos de la luz y algunas oclusiones. Para la construcción de mapas se involucra la exploración del ambiente, grabación de nuevas características visuales y lugares desde donde éstas características son visibles. El mapa es almacenado usando algoritmos basados en una red neuronal, la Contextual Layered Associative Memory network (CLAM), originalmente diseñada como la base de un sistema de reconocimiento basado en vistas de aprendizaje.

El Algoritmo de Saving o ahorro, el cuál fue la estructura básica para el algoritmo del Sistema de Hormigas propuesto en [25], se basa principalmente en la interacción de los siguientes pasos: Generación de soluciones por hormigas de acuerdo a la información privada y de feromona, aplicación de una búsqueda local para las soluciones de las hormigas, actualización de la información de la feromona. La principal contribución realizada en este artículo, está dada en el primer paso con la implementación de la técnica de generación de soluciones. Estos pasos son descritos a lo largo del artículo para luego hacer un análisis numérico de los trabajos previos y se compara deduciendo que esta propuesta presenta un desempeño superior para generación de rutas con agrupamiento.

Por otra parte se presenta una metodología paralela que combina, a través de multiagentes paralelos cooperativos, la diversidad y la calidad de soluciones generadas por una búsqueda tabú, post-optimización y construcción de algoritmos [26]. Los algoritmos cooperativos trabajan con

una piscina de soluciones factibles las cuales están en comunicación con los diferentes agentes (Algoritmos evolutivos, búsqueda tabú, búsqueda local y construcción).

Otra de las soluciones planteadas es desde la teoría de grafos, donde son presentados dos problemas, el de Ruta de vehículos y el del horario de trabajo en un almacén [27]. La solución proporcionada es basada en transformación de grafos, donde realizan una investigación de cinco transformaciones para grafos de peso completo que preserve el costo de rutas hamiltonianas. Estas transformaciones están basadas sobre un incremento de los pesos del nodo mientras se reducen los pesos de la arista o la inversa. Otro aporte presentado desde la teoría de grafos se contempla desde el problema de recolección y entrega (PDP) [28], para ser resuelto con unidades de transformación de grafos. El problema se describe como un mapa y un conjunto de trabajos con restricciones representados como un grafo, y las operaciones de los algoritmos tales como división y combinación de trabajos, se representan como reglas de transformación de grafos.

En la tesis doctoral [29] se desarrollan un conjunto de técnicas generales para diseñar algoritmos de aproximación, los cuales tienen como objetivo solucionar el problema de las rutas desarticuladas. La aproximación propuesta marca la pauta hacia el primer algoritmo de aproximación de factor constante para el problema de las máximas rutas desarticuladas sobre una malla de dos dimensiones, tan bien como sobre una de redes planares, al igual se incluye un algoritmo de rutas para la malla que es óptimo en el modelo on-line considerado en muchos trabajos.

En [30] se parte del problema de encontrar una ruta en un mapa donde hay múltiples metas, tales como moverse a diferentes lugares, obtener órdenes y/o entregar paquetes. Para ello proponen la utilización de un sistema de aprendizaje y planeación prodigio, el cuál es un planeador que será integrado con un vehículo de navegación autónoma el cual ejecutará los planos para conseguir múltiples objetivos mientras maneja en una ciudad.

De otro lado, en [31] se propone que los problemas de rutas de vehículos y de itinerario de tripulación pueden ser resueltos por una aproximación de branch-and-price donde la columna de generación del subproblema corresponde a un problema de ruta mas corta con o sin restricciones de recurso.

5. TRABAJOS FUTUROS

Los problemas tratados en este artículo son de gran relevancia en la parte de investigación, y son de gran aporte para el trabajo que me encuentro desarrollando en el momento sobre Planeación de Rutas para Recolección de Desechos, debido a que es un problema complejo con algunas restricciones, que requiere mucha investigación. Este es un problema de optimización bastante interesante, que debe ser estudiado para poder proporcionar una solución óptima.

6. CONCLUSIONES

Los Problemas del Agente Viajero y de Planeación de Rutas son problemas de transporte similares que tienen como objetivo minimizar costos ya sea en cuanto a tiempo, vehículos, combustible, etc. Desde hace algún tiempo han sido ampliamente tratados, debido a que todos estos costos se convierten en dinero, y es de allí la importancia de estos problemas.

Existen diversas variantes para estos dos problemas, que se pueden ver como restricciones, las cuales, cada una de ellas por separada, implica un problema de gran proporción. En este artículo se realizó una revisión de cada una de estas variantes, soluciones presentadas por diversos autores.

REFERENCES

- [1] Takkula. Overview over optimization models in transportation, 2000.
- [2] Alexander Schrijver. Flows, paths, and transportation.
- [3] F. Semet N. Jozefowicz and El-Ghazali Talbi. Parallel and hybrid models.
- [4] G. Gutin and A. Punnen. Traveling salesman problem and its variations, 2002.
- [5] Giorgio Ausiello, Esteban Feuerstein, Stefano Leonardi, Leen Stougie, and Maurizio Talamo. Algorithms for the on-line travelling salesman. *Algorithmica*, 29(4):560–581, 2001.
- [6] N. Bansal, A. Blum, S. Chawla, and A. Meyerson. Approximation algorithms for deadline-tsp and vehicle routing with time-windows, 2004.
- [7] M. Charikar, S. Khuller, and B. Raghavachari. Algorithms for capacitated vehicle routing. 1998.
- [8] Jittat Fakcharoenphol, Chris Harrelson, and Satish Rao. The k-traveling repairman problem.
- [9] Les Foulds, Stein W. Wallace, John Wilson, and Liv Sagvolden. Bookmobile routing and scheduling in buskerud county, norway.
- [10] G. de Tomi G. B. Alvarenga, G. R. Mateus. Finding near optimal solutions for vehicle routing problems with time windows using hybrid genetic algorithm.
- [11] Parallelization of the Vehicle Routing Problem with Time Windows. PhD thesis, 2001.
- [12] Multicriteria genetic algorithms for the vehicle. Malek Rahoual, Boubekeur Kitoun, Mohamed-Hakim Mabed, and Vincent Bachelet † Féthia Benameur, MIC'2001 - 4th Metaheuristics International Conference.

- [13] K. Doerner, R.F. Hartl, and M. Reimann. A hybrid aco algorithm for the full truckload transportation problem. *Mathematica, Extra Volume Proceedings ICM III (1998)*:645–656, 1998.
- [14] Prasad Chalasani and Rajeev Motwani. Approximating capacitated routing and delivery problems. *SIAM Journal on Computing*, 28(6):2133–2149, 1999.
- [15] L. Bianco, A. Mingozzi, S. Riccardelli, and M. Spadoni. Exact and heuristic procedures for the traveling salesman problem with precedence constraints, based on dynamic programming. *INFOR*, 32(1):19–32, 1994.
- [16] Sin C. Ho and Dag Haugland. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries.
- [17] E. Mota C. Martinez. Del poliedro del agente viajero grafico al de rutas de vehículos con demanda compartida. *QUESTIÃO (ISSN 0210-8054)*, 24:34, 2000.
- [18] Libertad Tansini, Maria Urquhart, and Omar Viera. Comparing assignment algorithms for the multi-depot vrp.
- [19] Patrick Prosser J. Christopher Beck and Evgeny Selensky. On the reformulation of vehicle routing - problems and scheduling, 2002.
- [20] José Luis Lopez Bonilla Jesus Yaljá Montiel Pérez, Rodolfo Romero Herrera. Generación de rutas de viaje con base a un sistema de información geográfico. *Revista IEEE America Latina*, 2004.
- [21] C.T. Kiranoudis C.D. Tarantilis. Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem. *Information & Management*, 39:359–375, 2002.
- [22] Hoong Chuin Lau and Zhe Liang. Pickup and delivery with time windows: Algorithms and test case generation. In *ICTAI*, pages 333–340, 2001.
- [23] Jean-Yves Potvin, Danny Dube, and Christian Robillard. A hybrid approach to vehicle routing using neural networks and genetic algorithms. *Applied Intelligence*, 6(3):241–252, 1996.
- [24] N. A. Thacker and . Harris. A feature representation for map building and path planning.
- [25] Karl Doerner, Manfred Gronalt, Richard F. Hartl, Marc Reimann, Christine Strauss, and Michael Stummer. Savings ants for the vehicle routing problem. In Stefano Cagnoni, Jens Gottlieb, Emma Hart, Martin Middendorf, and Gunther Raidl, editors, *Applications of Evolutionary Computing, Proceedings of EvoWorkshops2002: EvoCOP, EvoIASP, EvoSTim*, volume 2279, pages 11–20, Kinsale, Ireland, 3-4 2002. Springer-Verlag.
- [26] Rudolf K. Keller Alexandre Le Bouthillier, Teodor Gabriel Crainic. Cooperative parallel method for vehicle routing problems with time windows. *MIC'2001 - 4th Metaheuristics International Conference*, 2001.
- [27] Patrick Prosser J. Christopher Beck and Evgeny Selensky. Graph transformations for the vehicle routing and job shop scheduling problems.
- [28] R. Klempien-Hinrichs, P. Knirsch, and S. Kuske. Modeling the pickup and delivery problem with structured graph transformation.
- [29] J. Kleinberg. Approximation algorithms for disjoint paths problems. PhD thesis, 1996.
- [30] Karen Haigh and Manuela Veloso. Combining search and analogical reasoning in path planning from road maps. In *Case-Based Reasoning: Papers from the 1993 Workshop*, pages 79–85, Washington, D.C., 1993. (Menlo Park, CA: AAAI Press).
- [31] Guy Desaulniers. Managing fixed costs in vehicle routing and crew scheduling problems solved by a branch-and-price approach.
- [32] D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook. On the solution of traveling salesman problems. *Documenta*