



E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

<http://personales.upv.es/vyepesp/>



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

TESIS DOCTORAL

Autor:
V́ctor Yepes Piqueras

Dirigida por:
Dr. Josep R. Medina Folgado

>ValenciaSeptiembre2002



Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Índice

Introducción	1
Los problemas de optimización combinatoria	2
Modelos de distribución física y transporte	3
El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW	4
Definición del modelo de problema de rutas	5
Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW	6
Resumen y conclusiones	7

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >ValenciaSeptiembre2002



Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Motivación



E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >ValenciaSeptiembre2002



Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

La logística y los problemas de distribución física



E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >ValenciaSeptiembre2002

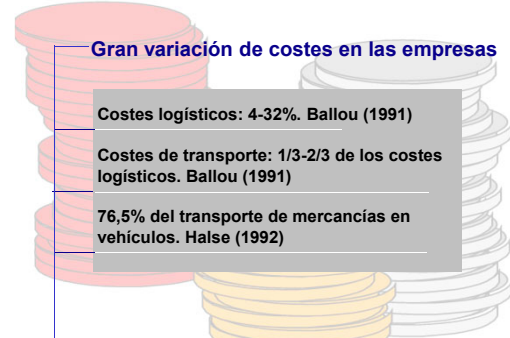


Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

La logística y los problemas de distribución física



E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >ValenciaSeptiembre2002



Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Objetivos, contribución y estructura de la tesis



E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >ValenciaSeptiembre2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Objetivos, contribución y estructura de la tesis

Contribuciones:

- Modelo de distribución con restricciones horarias y objetivo económico.
- Ventanas temporales de flexibilidad adaptable.
- Incorporación de congestión, asimetrías, jornadas laborales variables y penalizaciones
- Taxonomía de estrategias para la optimización combinatoria.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Objetivos, contribución y estructura de la tesis

Contribuciones:

- Heurística económica de construcción de soluciones factibles (HESECOR).
- Operadores específicos para resolver el VRPTW y generalizaciones.
- Conceptos de márgenes de viaje, esperas ineludibles y ventanas temporales efectivas.
- Nuevas metaheurísticas: perturbación de la velocidad, exploración convergente, búsqueda local adaptativa y otras.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

La toma de decisiones en las empresas

Recursos escasos: Personal, Presupuesto, Tiempo. ¿Existe solución? ¿Cuál es la mejor? Requisitos: Producción, Horas de descanso, Otros.

Función objetivo: $\text{minimizar } f(x)$ sujeto a $g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$, $x \in S \subseteq \mathbb{R}^n$.

Método científico: Investigación Operativa, Optimización, Incertidumbre.

Realidad → Modelo → Cambios → Predicción → Validación → Decisión.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Algoritmia y complejidad computacional

Complejidad problema de decisión → Rendimiento algorítmico.

Polinómica (P) vs Exponencial (NP). Cualquier se puede transformar en tiempo polinomial. Sin demostrar. Basta uno.

$P \subseteq NP$, $\text{¿}P=NP\text{?}$, NP-completo, NP-hard.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Técnicas de resolución de problemas de O.C.

Optimización combinatoria: "contiene los dos elementos que hacen atractivo un problema a los matemáticos: planteamiento sencillo y dificultad de resolución" (Garfinkel, 1985)

Explosión combinatoria

- Ruta más corta entre 37: 1.86×10^{41} (Mota de polvo en la atmósfera)
- Ruta más corta entre 100: 4.66×10^{155} (Mota de polvo en el Universo)
- 20 billones en 1 seg. 20 nodos en 50 m. 25 nodos en 5 siglos.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Técnicas heurísticas

Heurísticas: Procedimientos sencillos, Algoritmos específicos "tailored algorithms" (Telfar, 1994), Flexibilidad en el manejo de las características propias del problema, Éxito regla 80/20 (Ho, 1994).

Metaheurísticas: Métodos generales (Osman et al., 1996), Emulan estrategias eficientes en la Naturaleza e inteligencia artificial, Guían procedimientos específicos, Sistemas inteligentes (Goonatilake et al., 1995).

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Técnicas metaheurísticas

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Inteligencia artificial

Algoritmos genéticos

Evolución biológica

Redes neuronales

Lógica borrosa

Algoritmos meméticos

Búsqueda tabú

METAHEURÍSTICAS

Estrategias evolutivas

GRASP

Búsqueda local guiada

Mecánica estadística

Comportamiento de los insectos

Búsqueda local iterada

Aceptación por umbrales

Cristalización simulada

Colonias de hormigas

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Aplicaciones de sistemas inteligentes

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Aprenden, descubren, se adaptan, son flexibles, explican situaciones...

Algoritmos Genéticos ("GA")

- transportes, redes de gas y electricidad
- procesos industriales, circuitos
- evaluación de créditos e inversiones

Redes Neuronales ("NN")

- análisis de datos: diques, lluvias, transportes
- navegación, robótica, tráfico
- riesgo de inversiones, robo tarjetas

Cristalización Simulada ("SA")

- análisis de ondas, optimización de NN
- transportes, diseño de circuitos integrados
- procesamiento de imagen, plantas de fabricación

Sistemas Borrosos ("FS")

- enfoque automático de cámaras
- control de electrodomésticos, tráfico

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Técnicas de resolución de problemas de O.C.

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

ESTRATEGIAS

Aceptación estratégica

Degradación acotada

Probabilista → SA

Determinista → TA

Movimientos tabú → TS

Un operador

Simple

GB

FB

Aleatorio → DLA

Determinístico

Complejo → R&R LNS

Multioperador

Cambio de operador determinista → DDMC

Cambio de operador probabilista → DPMC

Probabilístico → GRASP

Con memoria → ACO

Función objetivo → GLS

Restricciones → ILS

Vicindario → VNS

Reinicios múltiples

Constructivos

Aleatorio

Perturbaciones

Redes neuronales → NN

Algoritmos evolutivos

Sin cruzamiento de información → ES

Con cruzamiento de información

De soluciones → GA, SS

De óptimos locales → GLS, MA

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Evaluación de las heurísticas y las metaheurísticas

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Robustez

Comparación entre estrategias

Tiempo de cálculo

Calidad de la solución

Flexibilidad

Barr et al. (1995)

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Evaluación de las heurísticas y las metaheurísticas

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Óptimos de Pareto

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

> Modelos de distribución física y transporte

Características de los problemas de asignación y programación de rutas

Problemas básicos de distribución

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Características de los problemas de rutas

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Problemas básicos de distribución

Cobertura de puntos

Traveling Salesman Problem TSP

Multiple Traveling Salesman Problem m-TSP

Vehicle Routing Problem VRP

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Vehicle Routing Problem VRP

Modelo	Descripción
AVRP	Asymmetric VRP
CVRP	Capacitated VRP
VRPLC	VRP with Length Constraint
PVRP	Period VRP
FRP	Fixed Routes Problem
FSMVRP	Fleet Size and Mix VRP
FMVRC	Vehicle Fleet Mix with Variable Unit Running Cost
VRPHE	VRP with Heterogeneous Fleet
VRPB	VRP with Backhauls
VRPDB	VRP with Deliveries and Backhauls
PDP	Pickup and Delivery Problem
MCVRP	Multi Compartment VRP
min-maxVRP	Min-max VRP
VRPTC	VRP with Precedence Constraints
MDVRP	Multiple Depot VRP
VRPSE	VRP with Satellite Facilities
OVVRP	Open VRP
LVVR	Location VRP
DVRP	Dynamic VRP
VRPVRT	VRP with Variable Travel Times
VRPVADT	VRP with Variable Access Time
SVRP	Stochastic VRP
VRPST	VRP with Stochastic Travel Times
VRPSD	VRP with Stochastic Demands
VRPSDC	VRP with Stochastic Demands and Customers
VRPM	VRP with Multiple Use of Vehicles
VRPSDV	VRP with Split Delivery
VRPTW	VRP with Time Windows
VRPTW	VRP with Soft Time Windows
VRPTD	VRP with Time Deadlines

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

El problema VRPTW

- Una visita por cliente
- Ruta empieza y acaba en base
- Flota homogénea
- Capacidad en vehículos
- Horarios de entrega

Literatura temprana: casos particulares

- Pullen y Webb (1967)
- Knight y Hofer (1968)
- Madsen (1976)

Hoy: problema clásico

- Solomon (1987)
- Proyecto GreenTrip: 40 años investigador 1996-98

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

El problema VRPTW: aplicaciones reales

Área económica	Aplicación
Industria del automóvil	Distribución de piezas de repuesto
Materias primas	Combustible, gas natural, hormigón
Transporte de alimentos	Grandes superficies y pequeños comercios
Salud	Reparto de medicamentos a farmacias
Prensa	Distribución de periódicos y revistas
Banca	Reparto y recogida de dinero en efectivo
Sector público	Recogida de basuras, limpieza de calles, reparto de correo
Agricultura	Recogida de ganado, leche, cereales, etc.
Industria	Suministro de piezas o mercancías entre almacenes
Servicios	Reparación de electrodomésticos a domicilio.
Educación	Rutas de autobuses escolares
Planificación	Programación de actividades
Defensa	Rutas de aviones espías, logística militar
Transporte	Planificación de flotas de aviones, camiones, trenes, etc.

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Modelo matemático del problema VRPTW

Minimizar

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijk}$$

Sujeto a

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in C$$

$$\sum_{i \in C} q_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in V$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in V$$

$$\sum_{i \in N} x_{ik} - \sum_{j \in N} x_{ijk} = 0 \quad \forall h \in C, \forall k \in V$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in V$$

$$x_{ijk} (b_{ik} + t_{ij} - b_{jk}) \leq 0 \quad \forall i, j \in N, \forall k \in V$$

$$e_i \leq b_{ik} \leq u_i \quad \forall i \in N, \forall k \in V$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in V$$

Larsen (1999)

INDICE

Introducción

Los problemas de optimización combinatoria

Modelos de distribución física y transporte

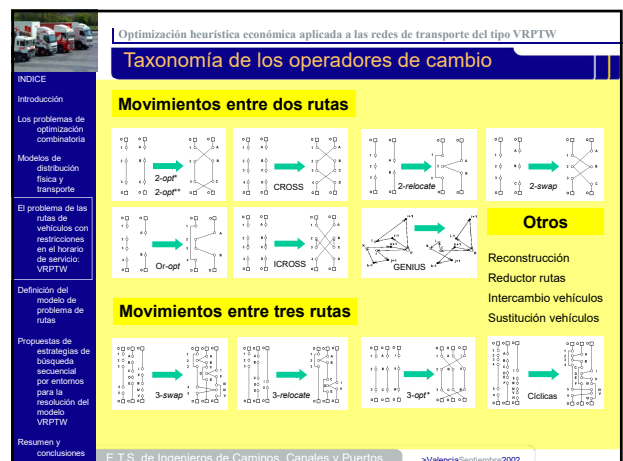
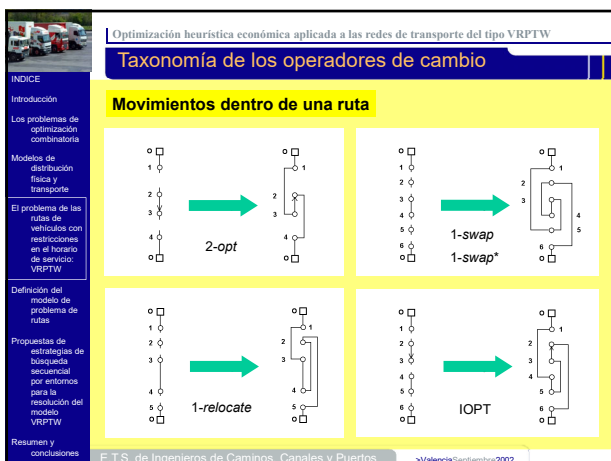
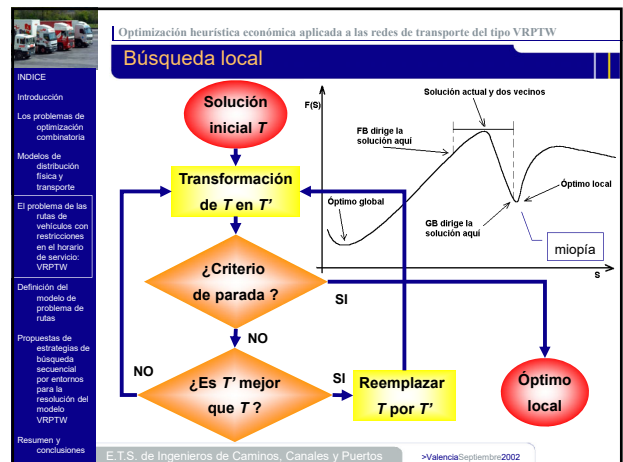
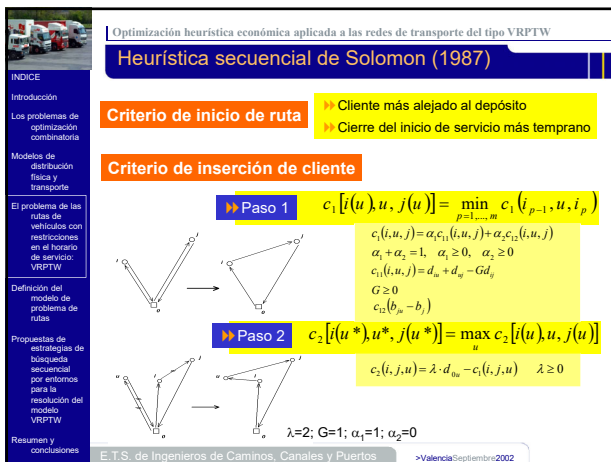
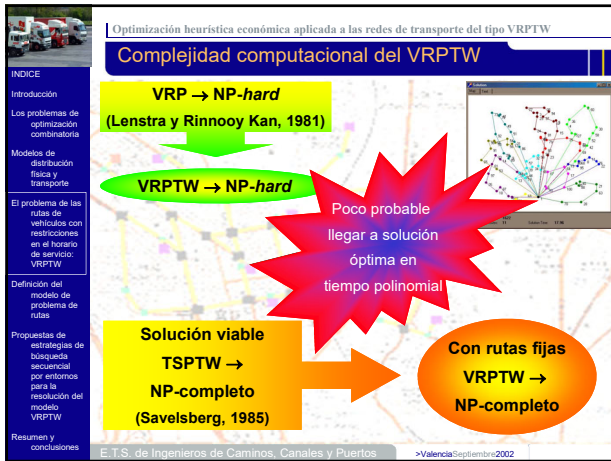
El problema de las rutas de vehículos con restricciones en el horario de servicio: VRPTW

Definición del modelo de problema de rutas

Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos para la resolución del modelo VRPTW

Resumen y conclusiones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002



Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Metaheurísticas VRPTW

Annealing

Algoritmos genéticos

Estrategias evolutivas

TABU

GRASP

Kontoravdis et al. (1995)

Garcia et al. (1994)
Thangiah et al. (1994)
Carlton (1995)
De Backer et al. (1997)
Badeau et al. (1997)
Potvin et al. (1996)
Chiang et al. (1997)
Chiang et al. (1997)
Li et al. (2001)
Bent et al. (2001)
Schulze et al. (1999)
Taillard et al. (1997)
Brandao (1999)
Cordeau et al. (2000)

Blanton et al. (1993)
Thangiah (1995)
Potvin et al. (1996)
Berger et al. (1998)
Bräysy (1999)
Berger et al. (2001)

Homberger et al. (1999)
Bräysy et al. (2000)

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Metaheurísticas VRPTW

Búsqueda local guiada

Búsqueda local iterada

Búsqueda en entornos amplios

Búsqueda en entornos variables

Reconstrucción

Colonias de hormigas

BÚSQUEDA DISPERSA

Kilby et al. (1999)
De Backer et al. (2000)
Ibaraki et al. (2001)
Shaw (1997, 1998)
Bent et al. (2001)
Rousseau et al. (2000)
Bräysy (2001a, 2001b)

Rochat et al. (1995)
Schrimpf et al. (2000)
Gambardella et al. (1999)

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Problemas de Solomon (1987)

R 1 - R 2

C 1

C 2

RC 1 - RC 2

Alcatorio R 1 R 2
Agrupado C 1 C 2
Mixto RC 1 RC 2
Capacidad pequeña Capacidad grande

56 problemas
100 clientes
1 almacén
Vehículos iguales
Tiempo máximo
TW 25%, 50%, 75%, 100%

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Comportamiento de las estrategias de optimización

Efectividad de distintos procedimientos heurísticos. Bräysy y Gendreau (2001)

NTR

Tiempo en minutos

Solomon (1987) and Potvin et al. (1993)
Thompson et al. (1993)
Antes et al. (1995)
Russell (1995)
Ioannou et al. (2001)
Cordon et al. (1998)
Caseau et al. (1999)
Bräysy (2001a)

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Comportamiento de las estrategias de optimización

Efectividad de distintos procedimientos. Bräysy y Gendreau (2001)

NTR

Tiempo en minutos

Garcia et al. (1994)
Kontoravdis et al. (1995)
Potvin et al. (1996)
Russell (1995)
Gehring et al. (1999)
Liu et al. (1999)
Bräysy (2001a)
Bräysy (2001b)
Bräysy (2001c)
Rochat et al. (1995)
Schulze et al. (1999)
Kilby et al. (1999)
Brandao (1999)
Bräysy (1999b)
Gambardella et al. (1999)
Taillard et al. (1997)
Berger et al. (2001)
Homberger et al. (1999)
Homberger et al. (1999)

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Comportamiento de las estrategias de optimización

NTR	D	Referencia	Estrategia
405	57710	Bräysy (2001c)	Búsq. en entornos ampliados
405	57952	Berger et al. (2001)	Algoritmos genéticos
406	57876	Homberger et al. (1999)	Algoritmos evolutivos
406	57641	Gehring et al. (2001)	Algoritmos genéticos
407	57525	Gambardella et al. (1999)	Colonias de hormigas
407	57556	Cordeau et al. (2000)	Búsqueda tabú

No es posible afirmar categóricamente que una familia de metaheurísticas resuelve mejor que otra un problema del tipo VRPTW.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Comportamiento de las estrategias de optimización

Referencia	Problema	Nº Rutas	Distancia	NTR
Lau et al. (2001)	R103	13	1175,67	462
Taillard et al. (1997)	RC108	10	1139,82	417
Rochat et al. (1995)	R105	14	1377,11	427
Rochat et al. (1995)	R106	12	1252,03	427
Rousseau et al. (2000)	R202	3	1191,70	412
Shaw (1997)	R104	9	1007,31	-
Shaw (1997)	R107	10	1104,66	-
Shaw (1997)	RC107	11	1230,48	-
Shaw (1998)	RC103	11	1261,67	-
Ibaraki et al. (2001)	RC208	3	828,14	-

Un resultado excelente en la optimización de un problema VRPTW no implica que la estrategia sea adecuada en casos semejantes.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Consideraciones

¿Demasiadas justificaciones para acreditar la eficacia de un procedimiento?

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Consideraciones

En procedimientos aleatorios no se han publicado a veces número de ensayos ni estadísticos como la dispersión y el valor medio.	No se han publicado a veces tiempos de cálculo, y en otras ocasiones no se conoce el hardware ni software.
En ocasiones se han definido metaheurísticas como procedimientos que extraen el mejor resultados de varios procedimientos.	A veces se ha cambiado la función objetivo adaptándola a cada caso en distintas fases del cálculo. Éstas no han sido homogéneas

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Optimización heurística

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

> Definición del modelo de problema de rutas

Ámbito de los problemas de distribución y transporte del modelo

Las ventanas temporales

Determinación del inicio del servicio y de los márgenes de viaje

La función objetivo

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Acercamiento a los problemas reales

- Flota heterogénea:** vehículos con diferente antigüedad, capacidad de carga, costes fijos y de operación, jornadas laborales...
- Función objetivo** basada en criterios económicos reales: tarifas y costes
- Presencia de **horarios de servicio** a los clientes y de apertura del almacén
- Flexibilización** en el horario de entrega o recogida siempre que se penalicen convenientemente las insatisfacciones del cliente
- Posibilidad de que los vehículos reinicien **nuevas rutas** si no se sobrepasa la jornada laboral.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Ámbito de los problemas del modelo

AVRP	<i>Asymmetric VRP</i>	VRPVADT	<i>VRP with Variable Access Time</i>
CVRP	<i>Capacited VRP</i>	VRPM	<i>VRP with Multiple Use of Vehicles</i>
VRPLC	<i>VRP with Length Constraint</i>	VRPSDV	<i>VRP with Split Delivery</i>
FSMVRP	<i>Fleet Size and Mix VRP</i>	VRPTW	<i>VRP with Time Windows</i>
VFMVRC	<i>Vehicle Fleet Mix with Variable Unit Running Cost</i>	VRPSTW	<i>VRP with Soft Time Windows</i>
VRPHE	<i>VRP with Heterogeneous Fleet</i>	VRPTD	<i>VRP with Time Deadlines</i>

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Las ventanas temporales

$$C_j^{TW}(t) = \sum_{l=1}^5 C_{l,j}^{TW}(t)$$

$$C_{1,j}^{TW}(t) = p_j^s + c_j^s \cdot (e_j^s - t) \quad t < e_j^s$$

$$C_{2,j}^{TW}(t) = p_j^s \cdot \left(\frac{e_j^s - t}{e_j^s - e_j^s} \right)^{u_j^s} \quad e_j^s \leq t < e_j^s$$

$$C_{3,j}^{TW}(t) = 0 \quad e_j^s \leq t \leq u_j^s$$

$$C_{4,j}^{TW}(t) = p_j^s \cdot \left(\frac{t - u_j^s}{u_j^s - u_j^s} \right)^{u_j^s} \quad u_j^s < t \leq u_j^s$$

$$C_{5,j}^{TW}(t) = r_j^s + c_j^s \cdot (t - u_j^s) \quad t > u_j^s$$

Modelo de penalización económica para franjas horarias flexibles

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Inicio del servicio y asimetrías en los viajes

$$t_{ij}^k(t) = l_i(t) + \frac{d_{ij}}{v_k} + a_j(t)$$

$$b_j^k(t) = \max[e_j^s, b_j^k(t) + s_i + t_{ij}^k(t)] \leq u_j^s$$

$$w_{ij}^k(t) = \begin{cases} e_j^s - b_j^k(t) & e_j^s > b_j^k(t) \\ 0 & e_j^s \leq b_j^k(t) \end{cases}$$

Inserción sucesiva de clientes

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Inicio del servicio y márgenes de viaje

- Inicio más temprano posible: $b_{j,early}^k(t) = \max[e_j^s, e_i^s + s_i + t_{ij}^k(t)] \leq u_j^s$
- Inicio más tardío posible: $b_{j,late}^k(t) = \min[u_j^s, u_i^s + s_i + t_{ij}^k(t)] \geq e_j^s$
- Ventana temporal efectiva: $H_{i,j}^k(t) = b_{j,late}^k(t) - b_{j,early}^k(t)$
- Margen del viaje: $H_{i,j}^k(t) = b_{j,late}^k(t) - b_j^k(t)$
- Espera ineludible: $w_{ij,min}^k(t) = \max[0, e_j^s - b_{j,late}^k(t)]$
- Distancia ficticia: $d_{ij,min}^k(t) = w_{ij,min}^k(t) \cdot v_k$

Reducción del margen efectivo de los viajes

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

La función objetivo

$$B = \sum_{j=1}^N \left[F_j + q_j Rq_j + d_{0j} Rd_j + q_j d_{0j} Rqd_j - \sum_{k=1}^V V_{j,k} Cv_{j,k} \right] - \sum_{j=0}^N \sum_{l=1}^5 C_{l,j}^{TW}(t_j) - \sum_{k=1}^M \left[Ch_k(T_k) + \sum_{r=1}^{R_k} (C_{r,k} + Cdu_k \cdot d_{r,k}) \right] - \sum_{j=0}^N \sum_{l=1}^5 C_{l,j}^{TW}(t_j)$$

► Ingresos: $I = \sum_{j=1}^N (F_j + q_j Rq_j + d_{0j} Rd_j + q_j d_{0j} Rqd_j)$

► Costes: $C = Ch + Cd + Ctw + Cv$

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

La función objetivo

► Coste horario: $Ch = \sum_{k=1}^M Ch_k(T_k)$

$$Ch_k(t) = \begin{cases} Ch_l \cdot t & 0 \leq t \leq Hl_k \\ Ch_l \cdot Hl_k + Che_k \cdot t & Hl_k < t \leq He_k \\ Ch_l \cdot Hl_k + Che_k \cdot He_k + Chp_k \cdot t & t > He_k \end{cases}$$

► Coste por distancia: $Cd = \sum_{j=1}^M Cd_k$

$$Cd_k = \sum_{r=1}^{R_k} C_{r,k} + Cdu_k \cdot d_{r,k}$$

► Penalizaciones TW: $Ctw = \sum_{j=0}^N \sum_{l=1}^5 C_{l,j}^{TW}(t_j)$

► Coste por visita: $Cv = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^V v_{j,k} \cdot Cv_{j,k}$

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

> Propuestas de estrategias de búsqueda secuencial por entornos

Comportamiento de distintas estrategias en la resolución del VRPTW con objetivo económico

Resolución de problemas de rutas VRPTW generalizados

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

HESECOR

Heurística de construcción económica y secuencial de rutas

- Mejora los criterios de Solomon (1987)
- Generaliza problemas más complejos
- Adopción de variables espacio-temporales
- Criterios de rentabilidad económica
- Amplios conjuntos de soluciones

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Proximidad económica como criterio de inicio

La variable espacio-temporal representa un criterio de cercanía entre nodos mejor que su separación física.

Incluye

- Esperas por franjas horarias
- Velocidad de vehículos
- Dificultades de aproximación

Potvin et al. (1996), Kilby et al. (1997), e incluso recientemente por Lau et al. (2001) continúan despreciando la componente temporal

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

HESECOR

Criterio de inicio de ruta

- Hora más tardía de llegada a la base
- Cierre más temprano de la franja horaria
- Cliente más rentable
- Menor lapso entre el inicio del servicio y el cierre de la ventana temporal
- Lejanía efectiva del cliente al depósito
- Cliente de mayor beneficio inicial
- Buen posicionamiento respecto a anteriores criterios

Lista ordenada con elección de cliente de inicio determinado (el mejor de la lista) o con cierta probabilidad

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

HESECOR

Criterio de inserción

Lista ordenada con elección de cliente a insertar determinado (el mejor de la lista) o con cierta probabilidad

La inserción de un cliente que disminuya un incremento espacio-temporal a veces no es razonable frente a otro que rebaje el coste total.

- Máximo beneficio
- Máxima rentabilidad
- Máxima rentabilidad marginal
- Máxima diferencia del beneficio al incluir un nodo respecto a asignar un itinerario exclusivo desde el depósito
- Mayor margen de la ruta

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW

Función económica para problemas de Solomon (1987)

	A	B	C	D	E
Tarifa por unidad transportada y distancia Rqd_i	1	5	10	10	10
Tarifa fija por disposición del servicio F_j	50	1000	1000	1000	1000
Coste unitario distancia Cdu_k	100	200	100	100	10
Coste horario Chl_k	10	10	10	100	100

	1000
Coste fijo por inicio de ruta $C_{f,k}$	1000
Penalización ruptura ventana temporal r^u_i	10000
Penalización horaria por espera C^e_j	10
Penalización horaria tras ruptura ventana temporal C^u_j	1000

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos >Valencia/Septiembre/2002

