

Formulación y Análisis del Problema de la Planificación Física en Redes Heterogéneas de Distribución

Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas por:

M.Sc. Fernando López Irragarri

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría",
Facultad de Ingeniería Industrial, Departamento de Matemática General
CUJAE, Calle 127, sn, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba.
e-mail: ferny@tesla.ispjae.edu.cu

Asesor: Dr. Eduardo Fernández González

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
e-mail: eddyf@uas.uasnet.mx

Introducción

En el presente trabajo se aborda el problema de la planificación física en redes heterogéneas de distribución. En la investigación de este problema (considerado un caso particular, no resuelto anteriormente, del problema general de rutas) el objetivo principal consiste en seleccionar las "mejores" rutas de enlace para cada pareja de la red de distribución, según las preferencias de la(s) persona(s) designada(s) para realizar la planificación.

El problema de la planificación física se distingue de las variantes "tradicionales" del problema general de rutas por su naturaleza multiobjetivo y el carácter distribuido de la base informativa. Por otra parte el problema de decisión asociado se distingue de los problemas clásicos en que se debe resolver un gran número de situaciones con características similares, por lo que las preferencias se deben modelar genéricamente para luego solucionar los casos particulares de manera automatizada. Bajo estas condiciones se muestra que el enfoque más apropiado para resolver las situaciones de decisión es el del Análisis de la Decisión Multicriterio (conocido también como MCDM, del inglés Multi Criteria Decision Making); éste puede combinarse con otras técnicas de la investigación de operaciones.

Se presenta un modelo matemático que captura los elementos esenciales del problema y facilita el desarrollo de métodos de solución. Aquí se distinguen dos subproblemas: el problema local (asociado a las entidades adyacentes en la red), y el problema global (asociado a las parejas de entidades no adyacentes en la red). Sobre esta base se expone una metodología

general de solución, se analizan aspectos relevantes del diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión para la solución del problema de la planificación física en redes heterogéneas. Los postulados teóricos son validados en un ejemplo real: la construcción de las tablas de distancia para la empresa transportista del Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), la mayor del país con un parque de cerca de 7000 camiones, que recorren anualmente aproximadamente 70 millones de Km. y con una red de cerca de 1500 entidades.

El contenido incluido en este resumen se ha estructurado como sigue: en la sección siguiente se presentan los aspectos más relevantes del problema de planificación y los elementos fundamentales del modelo matemático. En la tercera sección se presentan los algoritmos de solución propuestos y se describe brevemente CARLA, el sistema de apoyo a la decisión implementado.

1. El problema de la planificación física de rutas en redes de distribución heterogéneas

El problema de la planificación física de rutas en una red de distribución heterogénea puede formularse, en su forma más general, como: *Determinar para cada pareja de nodos de la red la "mejor" ruta que los une de acuerdo a las preferencias del DM, considerando que cada ruta está compuesta por un conjunto de tramos de vías de diferente calidad y extensión.*

Esta formulación se complementa con las observaciones siguientes:

1. La calidad de la vía incide directamente en el desgaste del parque e indirectamente en el consumo de combustible y el tiempo de viaje. Por esto es una práctica común que se establezcan normas de velocidad máxima de circulación, en cada tipo de vía, para el parque de vehículos asignado a la red de distribución.

2. En este caso el "costo" asociado a cada ruta es una función del costo asociado a cada tramo de vía que la compone.

3. La función de "costo" de cada tramo de vía obviamente depende de varios factores en conflicto.

4. Si se considera la red vial asociada a la red de distribución, entonces el problema se reduce al problema general de rutas, sólo que el costo, en este caso, puede ser una función vectorial.

5. La esencia multiobjetivo del problema no puede ser tomada a la ligera en redes de grandes dimensiones, ya que "pequeñas diferencias" entre las rutas pueden dar lugar a grandes diferencias en la utilización de recursos y al "costo total" de las operaciones (en dependencia del flujo de tráfico por tales rutas).

6. Los factores más importantes (para una explicación más detallada ver [López, 98]) que influyen en el "costo" de cada ruta son: la distancia total a recorrer, el tiempo total de viaje, y un atributo "proxy" que modela el impacto de la calidad en el desgaste del parque y el consumo de combustible.

7. Generalmente, la base de información se encuentra físicamente distribuida, por lo que el número de consultas y su volumen son elementos que deben tomarse en consideración al desarrollar algoritmos de decisión eficientes.

La formalización de este problema se lleva a cabo mediante una extensión del concepto de grafo, que se ha denominado grafo de orden s , pues precisamente la misma ha sido diseñada para representar problemas de camino mínimo sobre grafos en los que la función de costo es vectorial. Tal extensión puede ser implementada mediante el empleo de los metagrafos definidos por Basu [Basu, 94]. También se incorporan en el modelo matemático elementos para el tratamiento de grafos distribuidos; para ello se definen conceptos tales como camino no redundante, partición natural, subredes fronteras, etc. (ver [López, 98] para una discusión más completa).

2. Solución al problema de la planificación física de rutas en redes heterogéneas de distribución

En esta sección se discuten los aspectos relevantes para apoyo a la decisión en el problema de la planificación física de redes heterogéneas de distribución. Se presentan dos algoritmos, uno basado en un paradigma descriptivo y el otro

en un paradigma normativo (las dos tendencias fundamentales en la teoría del apoyo a la decisión). Estos algoritmos se aplican en la comparación de las diferentes rutas que unen las parejas de establecimientos, y en el ordenamiento de tales conjuntos considerando las preferencias de quien toma las decisiones (DM); permiten incorporar factores cardinales y nominales.

Para ordenar preferencialmente el conjunto de rutas que unen una pareja de entidades, los algoritmos establecen primero las comparaciones entre cada pareja posible de rutas, y con esta información conforman un índice global. La diferencia fundamental entre los enfoques está dada por la postura que se asume para «modelar» al DM: el enfoque descriptivo parte de considerar que tiene poder limitado de discernimiento, y por lo tanto introduce umbrales para modelar tales "debilidades". Por el contrario, el enfoque normativo considera que el comportamiento del DM en el proceso de decisión debe regirse siempre por un "ideal" que asegura en todo momento su racionalidad, ideal que se modela mediante un conjunto de axiomas que a su vez garantizan la existencia de una cierta "función de comparación" de alternativas, definiendo así un índice que permite ordenar el conjunto (ver por ejemplo [French, 86]).

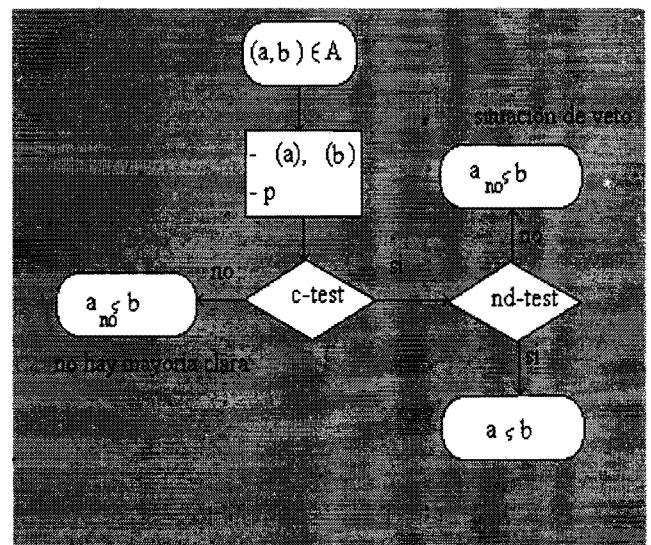


Figura 1: Relación de superioridad.

Algoritmo Descriptiva

El algoritmo que se propone sigue las ideas de ELECTRE [Roy, 90] para establecer la relación de superioridad (ζ) en la comparación de alternativas (figura 1); considera la existencia de umbrales de indiferencia y niveles de veto; modela el grado de credibilidad de la afirmación «el criterio K perte-

necesita a J (puede ser +, = o -), y utiliza ese modelo de intensidad de preferencias en la prueba de concordancia.

Si bien este enfoque ha resultado ser útil en problemas donde el conjunto de alternativas no es muy grande, y no existen diferencias muy importantes entre ellas (aunque sí en las consecuencias), cuando se aplica en otro contexto en el que estas condiciones no se cumplen, el DM incurre en inconsistencias (que aumentan al aumentar la distancia entre las entidades) imposibles de corregir por métodos tradicionales; ello demanda un mayor esfuerzo por su parte y por lo tanto le resta credibilidad a la información que aporta [López, 98].

Algoritmo Normativo

Para establecer la comparación de rutas se define la función:

$$u(c_a, c_b) = c_a + bc_b,$$

donde b es denominado el equivalente en kilómetros entre las vías A y B ; A tiene calidad superior y B tiene calidad promedio. Esta función es una función de valor ordinal en el espacio de preferencias del DM, lo que se garantiza mediante un conjunto de 10 axiomas, que establecen condiciones a su racionalidad (ver [López, 98]). También, en [López, 98] se presenta, sobre la base de los axiomas, un procedimiento para obtener b , que puede ser implementado computacionalmente, y que permite su actualización sin la presencia de un analista de la decisión.

Este enfoque se puede generalizar para cualquier cantidad de tipos de vías, así por ejemplo cuando existe además un tipo de vía C , inferior en calidad a la B , se requiere entonces encontrar razones de compensación b_{ab} y b_{ac} . La base axiomática y los teoremas se generalizan fácilmente. El indicador que integra las preferencias y permite comparar las rutas es ahora: $u(c_a, c_b, c_c) = c_a + b_{ab}c_b + b_{ac}c_c$. Sin embargo, a medida que se incrementan los niveles de calidad (se consideran mayor cantidad de vías en el modelo), la implementación práctica del algoritmo (obtención de la información de preferencias) es más complicada, ya que el DM debe resolver más ecuaciones de indiferencia, y resulta más difícil verificar la consistencia. No obstante, se considera que tres o cuatro niveles son más que suficientes para reflejar la mayoría de las situaciones reales.

Estos algoritmos se insertan en una metodología general de solución (ver [López, 98]), que a su vez es incorporada en el DSS CARLA.

Durante el proceso de análisis del problema se estableció que las funciones del sistema serían, por una parte permitir la creación y actualización del banco de datos, y por la otra brindar facilidades para apoyar la toma de decisiones en la confección de las tablas de distancias. Sobre esta base se propone la siguiente estructura modular (figura 2):

- Máquina de decisión.

- Modelo de la red de distribución.
- Experto en análisis de la decisión.
- Modelo preferencial.
- Gestor de datos.
- Interfaz-usuario.

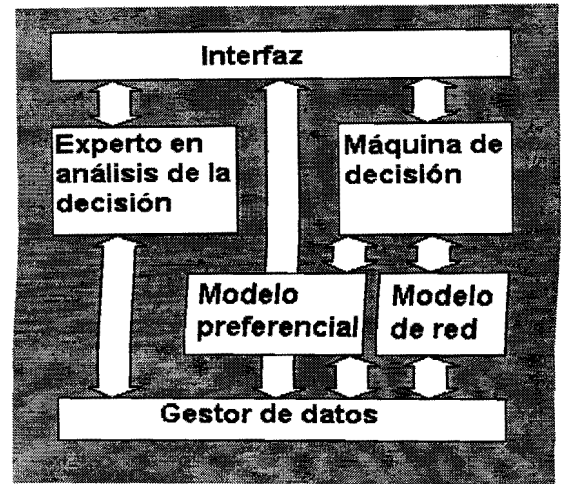


Figura 2: Estructura modular de CARLA.

Máquina de decisión

Bajo este nombre se agrupan los algoritmos de apoyo a la decisión y los algoritmos de camino mínimo. Estos algoritmos son utilizados para obtener el ordenamiento de los conjuntos de enlaces (rutas) que unen dos entidades cualesquiera de la red, tanto en el problema local como en el problema global.

Modelo preferencial

El modelo preferencial no es más que un conjunto de relaciones, o una función que intenta capturar la subjetividad del DM en la comparación de las alternativas en el problema de decisión que él intenta resolver.

Experto en análisis de la decisión

La tarea principal de este módulo es la de obtener los equivalentes en kilómetros interactivamente a partir de la información que suministre el usuario.

Modelo de red

Se ha modelado la red de distribución como un metagrafo cuya base informativa se mantiene en una base de datos relacional. Para los algoritmos de decisión es transparente el hecho de si la base se encuentra distribuida o no, o si se trabaja bajo un entorno cliente/servidor. Esto se logra al utilizar el módulo gestor de datos como una interfaz con las bases de datos. Cada zona de la

red, se puede representar como un grafo, mientras que las fronteras de las zonas serán los nodos del metagrafo. Se puede almacenar, además, para cada arco incidente en un nodo cuáles otros nodos son "alcanzables", lo que conduce a una reducción notable del espacio de búsqueda.

Gestor de datos

El gestor de datos actúa como interfaz entre las bases físicas de datos y los módulos de procesamiento, facilitando la «escalabilidad» del sistema y la independencia de datos. El gestor se encarga de coordinar el acceso a los datos remotos (en caso de bases distribuidas), garantizar la integridad de los datos, establecer los mecanismos de seguridad y control de acceso a los datos, y actualizar las bases de datos.

Interfaz-usuario

La interfaz-usuario de CARLA se ha desarrollado en Borland Delphi, explotando la tecnología visual que ofrece este ambiente de desarrollo para diseñar una interacción compleja de manera que resulte eficiente, así como la potencia del lenguaje Object Pascal para representar las estructuras de datos complejas, como es el caso de la red. Se ha tratado de mantener un

número mínimo de ventanas en la realización de la interacción, concentrando la mayor cantidad posible de acciones en cada ventana, de manera que el esfuerzo de navegación resulte mínimo. Los elementos fundamentales de la interfaz son 4 cajas de diálogo para actualizar la base informativa, una caja de diálogo para actualizar el modelo preferencial y 3 cajas de diálogo para la obtención de reportes.

Referencias

Basu, A., Blanning, R.W: "Metagraph: A Tool for modeling Decision Support Systems". *Management Science*. Vol. 40, No. 12, pp. 1579-1599, 1994.

French, S.: "Decision Theory: An Introduction to the Mathematics of Rationality", Halsted Press, NY-Toronto-Brisbane, 1986.

López, F.: *Formulación y análisis del problema de la planificación física en redes heterogéneas de distribución*. Tesis Doctoral, La Habana 1998

Roy, B.: "The Outranking Approach and the Foundations of the ELECTRE Methods", *Readings in Multicriteria Decision Aid*, Springer Verlag, Berlin, pp. 155-183, 1990.

