

# Estructuras geográficas y mecanismos de ordenamiento espacial para la definición de recorridos

Arq. Carlos Salguero: [salque@ibm.net](mailto:salque@ibm.net)

Departamento de Sistemas Geográficos y Técnicos.

Aguas Argentinas S. A.

Av. Córdoba 1950 (1120) Buenos Aires, Argentina.

Tel.: (54-1) 379-0185 Fax: (54-1)379-0062

Buenos Aires. 1997

## Resumen

- *Dos métodos de ordenamiento espacial son presentados en este documento. Cada uno de ellos permite ordenar secuencialmente un conjunto de entidades espaciales representadas sobre un Sistema de Información Geográfica. Su utilización está condicionada por el grado de estructuración de la información inicial, el volumen de información a procesar y la potencia de cálculo del equipamiento utilizado.*

*El primer método consiste en el ordenamiento de un conjunto de entidades puntuales dentro de un espacio geográfico. El objetivo buscado es definir una secuencia de visita de cada uno de los puntos que garantice el pasaje sólo una vez por cada uno de los puntos considerados. El mecanismo implementado corresponde a una solución al problema del viajante de comercio (Travelling Salesman Problem) a partir del algoritmo Simulated Annealing.*

*El segundo método permite el ordenamiento secuencial de entidades superficiales o puntuales. Su resolución necesita un modelo de datos más estructurado que en el primer caso y la disponibilidad de ciertos mecanismos intrínsecos en el Sistema de Información Geográfica utilizado. En el caso presentado se utilizó una estructura de grafo y se explotaron las relaciones geométricas entre los elementos del grafo y las entidades superficiales objeto del ordenamiento. El método presentado es una implementación de una solución no optimizada al problema del "Cartero Chino" [Mei-Ko Kwan 1962] que consiste en determinar un camino de largo total mínimo entre dos nodos  $a$  y  $b$  de un grafo  $G$  pasando por cada arista de  $G$ .*

*Los métodos presentados son aplicables en general a problemas de definición de recorridos de distribución, relevamiento de datos, etc.*

## Introducción

Numerosos problemas de distribución, de relevamiento de datos, de censos, etc. necesitan la definición de un recorrido a partir del ordenamiento secuencial de entidades espaciales. La teoría de grafos, los algoritmos neuronales entre otras metodologías, constituyen una base teórica fundamental para la solución de este tipo de problemas. Los Sistemas de Información Geográfica nos permiten explotar sus posibilidades de modelización para la aplicación de estas metodologías a datos georeferenciados.

Los métodos de ordenamiento espacial expuestos en el presente documento fueron utilizados sobre el Sistema de Información Geográfica de Aguas Argentinas (1) (2) para la redefinición de la totalidad de las rutas de lectura de medidores instalados.

Los recorridos utilizados hasta entonces eran determinados manualmente por incorporación de nuevos puntos de lectura en las rutas existentes. La resegmentación del espacio cubierto por la concesión de Aguas Argentinas para optimizar los procedimientos de gestión técnica y comercial implicó la necesidad de redefinir la totalidad de las rutas de lectura de más de 300.000 medidores.

El Sistema de Información Geográfica de Aguas Argentinas es el resultado de un proceso de actualización de los datos catastrales de la empresa, base del actual sistema de facturación, realizado en 1994, mediante un relevamiento fotogramétrico seguido de una campaña de censo sobre el terreno.

La información inicial resultante fue completada mediante :

- la importación de datos gráficos y alfanuméricos provenientes de otros sistemas (datos cartográficos, datos socioeconómicos, ...),
- la digitalización directa de entidades geográficas,
- la construcción de nuevas entidades de manera automática a partir de datos de localización (dirección postal) o de objetos existentes en el Sistema de Información Geográfica.

La estructuración de la información existente permite la explotación de aplicaciones para tareas de gestión y de planeamiento en general y en particular, a partir de los métodos expuestos en el presente documento, la implementación de mecanismos de ordenamiento espacial para la definición de recorridos.

## Alcance de las metodologías propuestas

Los métodos desarrollados se limitan a :

- Ordenar un conjunto de puntos mediante la utilización del algoritmo "Simulated Annealing" (3). Su aplicación a la determinación de un recorrido permite la definición de un trayecto a vuelo de pájaro entre los puntos considerados.
- Ordenar exhaustivamente un conjunto de entidades geográficas puntuales o superficiales mediante la utilización del algoritmo del Cartero Chino (4), que consiste en determinar un camino de largo total mínimo entre dos nodos a y b de un grafo G pasando por cada arista de G. Es decir que este método necesita por definición la utilización de un modelo de grafo sobre el que se proyectarán las entidades a ordenar.

Si bien los dos métodos propuestos permiten el ordenamiento espacial de entidades geográficas, la utilización de uno u otro método debe ser evaluada en función de los datos iniciales del problema y en particular del volumen y estructuración de los datos considerados, de las posibilidades de modelización del sistema utilizado y de la potencia de cálculo del equipamiento disponible.

## Recorrido a vuelo de pájaro de un conjunto de puntos

El ordenamiento de un conjunto de puntos georeferenciados se apoya sobre un algoritmo numérico llamado "Simulated Annealing" [PRESS] aplicado al problema del viajante de comercio (N puntos deben ser visitados por una persona sin volver a pasar dos veces por el mismo punto y haciendo el recorrido mínimo). La función a minimizar en este problema es la distancia a recorrer.

Este problema pertenece a la categoría de los problemas "NP-completos". La complejidad de los mismos crece factorialmente con el tamaño del problema. El "Simulated Annealing" permite obtener una solución aproximada cercana a la solución exacta, que queda fuera del alcance de la potencia de cálculo disponible actualmente.

Un aspecto importante para la solución del problema es la descomposición del volumen inicial de datos en subconjuntos constituidos por un número limitado de puntos. Esta división se apoya tanto en criterios operativos (por ejemplo la distancia máxima que el censista puede realizar en una jornada) , como en criterios de optimización de los recursos informáticos disponibles para la obtención de los resultados en tiempos adecuados.

Esta segmentación del problema puede ser la etapa más costosa en tiempo y puede necesitar en el caso de partir de una segmentación espacial, de un buen conocimiento de las características de la zona y de los parámetros propios de la aplicación tratada.

El camino óptimo resultante representa un camino a vuelo de pájaro que pasa por todos los puntos. Los puntos obtenidos pueden ser proyectados sobre los nodos más cercanos de un grafo de ejes de calles.

## Ruteo exhaustivo de entidades espaciales mediante la aplicación del algoritmo del Cartero Chino sobre un grafo euleriano

### El problema del Cartero Chino (no orientado)

Sea  $G=[X,U]$  un grafo conexo no orientado, donde asociamos a cada arista  $u$  perteneciente a  $U$  un valor  $l(u)$  mayor o igual a cero que representa el largo de  $u$ .

Se puede siempre suponer que el origen  $a$  y la extremidad  $b$  del recorrido son el mismo nodo. En el caso contrario, sería suficiente agregar a  $G$  una arista de extremidades  $a$  y  $b$  y de largo nulo. Si el grafo considerado es euleriano (es decir si el número de nodos de grado impar es 0 ó 2) existe un camino pasando por cada arista una sola vez. Como en general  $G$  no es euleriano, la solución consiste en agregar un cierto número de aristas al grafo  $G$  de manera a « eulerizarlo », minimizando el largo de las aristas suplementarias. [GOUCHAN]

### La aplicación del algoritmo del Cartero Chino para la definición de un recorrido exhaustivo de la totalidad de las parcelas dentro de un espacio geográfico.

El método adoptado consistió en :

- La construcción automática de un grafo de cuadras a partir de los ejes de calles de un espacio determinado :
- A partir de los ejes de calle se generó una malla continua de celdas (facetas cuyos límites están constituidos por los ejes de calles). Las celdas generaron un polígono paralelo en su interior. A partir de los contornos de estos polígonos, que pueden ser asimilados a manzanas, se generaron las aristas-cuadras y los nodos-esquinas del grafo. Los vínculos entre los nodos esquinas se generaron automáticamente a partir de la determinación del camino de largo mínimo que une todos los nodos-esquinas alrededor de la intersección de dos o más ejes de calles, pasando una sola vez por cada uno de estos nodos. Los elementos así generados se denominaron nexos.
- La definición de zonas de ruteo considerando los accidentes geográficos existentes, la densidad de medidores, la distancia a recorrer para la realización de las lecturas, etc. El espacio del problema se limitaba al grafo constituido por los nodos-esquina, las aristas-cuadras y las aristas-nexo estrictamente incluidas dentro de la zona de ruteo.
- La eulerización automática del grafo de cuadras dentro del espacio de ruteo considerado. Esta etapa consistió en la creación de aristas virtuales (aristas-nexos) para la verificación de la condición de euler, condición necesaria para la aplicación del algoritmo. Esta etapa fue acompañada por acciones de corrección del grafo de cuadras de los errores propios a la digitalización de los ejes de calle. Se buscó también en esta etapa asegurar la conexidad del grafo.
- La aplicación del algoritmo del Cartero Chino para el ordenamiento de las cuadras.
- El ordenamiento de cada parcela dentro de cada cuadra :
- Se seleccionaron las parcelas que presentaban una intersección con la cuadra tratada. Se determinó el orden de la parcela en la cuadra a partir de las coordenadas de la proyección de los centroides de cada parcela sobre la cuadra considerada.
- La generación de los resultados (Archivos con la lista de parcelas ordenadas y planos de cada zona de ruteo con el trazado de los recorridos)

## Conclusiones

El método a "vuelo de pájaro" es una solución aplicable a un conjunto de puntos limitados. Este método presenta la ventaja de apoyarse directamente sobre objetos puntuales, lo que simplifica enormemente la fase de modelización del problema, dado que los datos iniciales del problema se limitan a la identificación de cada punto y a su posicionamiento en el espacio.

Si bien su implementación es inmediata el resultado se limita a una aproximación de la solución de recorrido. La utilización de los resultados generados necesita la interpretación de la persona a cargo de la explotación de los mismos sobre el terreno.

El método del "Cartero Chino" necesita una modelización mas compleja. En el caso tratado se utilizó un modelo de grafo representando la totalidad de las cuadras del espacio geográfico considerado como estructura de base.

La solución general al problema necesita la implementación del algoritmo del viajante de comercio (TSP) sobre un grafo no orientado. En este caso se trata de obtener el camino que minimice un cierta función de costo pasando por un conjunto de nodos o arcos pertenecientes a un grafo continuo.

Si bien los SIG en general cuentan con mecanismos internos que permiten representar grafos e implementar a partir del lenguaje de programación utilizado, una cierta aproximación a la solución del TSP (sobre una estructura de grafo o no), los tiempos de respuesta no serían aceptables para el tratamiento de un volumen de datos importante en un tiempo conveniente.

La solución al problema general pasa entonces por representar el modelo de grafo y los mecanismos de determinación del camino óptimo entre dos nodos del grafo, al exterior del SIG sobre un entorno de programación mas performante.

El SIG permitiría definir los datos iniciales del problema y representaría el resultado final. El algoritmo utilizado para la resolución del TSP en un espacio de puntos sería trasladado a un espacio de grafo externo al SIG. Este tipo de soluciones refuerza la utilización de los Sistemas de Información Geográfica como motores espaciales y como interfaces gráficas interactuando sobre los otros componentes del Sistema de Información.

## Bibliografía

[GONDRAN] Michel GONDRAN - Michel MINOUX

Graphes et Algorithmes. Eyrolles. Paris 1995

[PRESS] Press, Flannery, Teukolsky, Vetterling

Numerical Recipes in C

Cambridge University Press. New York 1988.

[LAURINI] Robert LAURINI and Derek THOMPSON

Fundamentals of Spatial Information Systems. Academic Press, London, 1992

[LAURINI] Robert LAURINI - Françoise MILLERET RAFFORT

Les bases de données en géomatique. Hermès, Paris, 1993

[ROUET] Paul ROUET

Les données dans les systèmes d'information géographique

Hermès, Paris, 1991

## Notas

- (1) El Sistema de Información Geográfica de Aguas Argentinas ha sido implementado sobre la plataforma APIC desarrollada por APIC S.A.

(2) Sobre los conceptos de base sobre los SIG consultar [LAURINI]. En [ROUET] Se encontrará un excelente visión sobre aspectos relativos a los datos en los SIG.

(3) Se encontrará un desarrollo del algoritmo del Simulated Annealing en [PRESS]

(4) Se puede encontrar una descripción del algoritmo del Cartero Chino en el libro de Gondran y Minoux, Graphes et Algorithmes

