

# Aproximaciones en el estudio de Bases de Datos Espacio-Temporales y Ruteo sobre redes móviles

**Daniela Carolina Giraudi, Gabriela Soledad Segura Guzmán,**

**Edilma Olinda Gagliardi,**

Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis  
San Luis, Argentina  
{dcgiraud, ggsegura, oli}@unsl.edu.ar

**Gregorio Hernández Peñalver**

Departamento de Matemática Aplicada, Facultad de Informática  
Universidad Politécnica de Madrid, España  
gregorio@fi.upm.es

y

**Gilberto A. Gutiérrez Retamal**

Facultad de Ciencias Empresariales,  
Departamento de Auditoría e Informática, Universidad del Bío-Bío  
Chillán, Chile  
ggutierr@ubiobio.cl

## RESUMEN

Nuestro trabajo de investigación consiste en estudiar la siguiente problemática. Sobre una red móvil, total o parcialmente desconocida, transitan objetos que buscan una ruta partiendo de un cierto origen hacia un destino dado, basándose en heurísticas definidas a partir de caracterizaciones propias de la red. Además, se requiere mantener y consultar información acerca de los movimientos de los objetos en la red a través del tiempo.

Para ello vinculamos dos disciplinas, Bases de Datos Espacio-Temporales y Geometría Computacional. En la primera, estudiamos métodos de acceso que almacenan y recuperan información de objetos cuyo movimiento se encuentra restringido a redes predefinidas, buscando extender sus capacidades a redes móviles. En el segundo campo, estudiamos Algoritmos de Ruteo, ya que investigaciones recientes mostraron que tales redes móviles pueden ser modeladas como grafos geométricos, proporcionando diversas estrategias de ruteo.

**Palabras claves:** objetos en movimiento, movimiento restringido a redes, métodos de acceso espacio-temporales para objetos en movimiento, criterios de búsqueda, algoritmos de ruteo. Geometría computacional, grafos geométricos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las bases de datos que guardan objetos espaciales que cambian su tamaño y/o posición a través del tiempo se llaman Bases de Datos Espacio-Temporales (BDET). Se requiere que una BDET sea capaz de representar modelos muy cercanos al mundo real, con todo el dinamismo que él implica, y administrar objetos que, básicamente, cambian su ubicación y/o forma a través del tiempo. Un aspecto importante de los movimientos de los objetos, es el escenario en el que estos ocurren. Para categorizar varios enfoques de indexado se han usado tres escenarios diferentes: (1) *movimiento sin restricciones*, (2) *movimiento restringido* y (3) *movimiento restringido a redes*.

1) Movimiento sin restricciones: es aquel en donde los objetos se mueven libremente dentro de la región en la que se encuentran.

2) Movimiento restringido: en este escenario el movimiento de los objetos se encuentra restringido por elementos denominados *infraestructuras*, las cuales representan áreas “apagadas” para el movimiento y, de esta manera, no existen trayectorias donde hay este tipo de elementos. Se debe tener en cuenta que sobre estas áreas no es posible rutear objetos permitiendo movimientos en el resto del escenario.

3) Movimiento restringido a redes: al tener una red predefinida, los objetos que se mueven en ella tienden a seguir los diferentes caminos que la misma presenta.

Particularmente en este trabajo se consideran movimientos restringidos a redes. Se pueden encontrar ejemplos claros en áreas como las de transporte (vigilancia de tráfico) e información geográfica (cambios de límites en terrenos), sistema de posicionamiento global (GPS), entre otras.

En la vida cotidiana existen una gran variedad de situaciones en donde el problema, referenciado con el nombre de Ruteo, consiste en encontrar un camino entre un origen y un destino específicos, donde no se conoce en su totalidad el escenario por donde transitar, sino que el mismo se va descubriendo a medida que se avanza. En la actualidad se han desarrollado una variedad de estrategias de ruteo que, en general, tienen como objetivo encontrar el camino más corto entre dos puntos determinados en una red parcial o totalmente desconocida, utilizando nuevas clases de algoritmos de ruteo que se basan en el uso de información geográfica.

El interés de relacionar las disciplinas Bases de Datos Espacio-Temporales y Geometría Computacional se basa en el hecho que los objetos se mueven en escenarios restringidos, y prácticamente desconocidos en su totalidad, como así también en la necesidad de mantener bases de datos para registrar tales movimientos, ya que actualmente constituye un área de investigación amplia que, vincula diversas líneas de estudio como bases de datos, redes y comunicaciones. Por esto mismo, estudiamos métodos de acceso que almacenan y recuperan información de objetos cuyo movimiento se encuentra restringido a redes predefinidas, buscando extender sus capacidades a redes móviles. Como así también Algoritmos de Ruteo, ya que investigaciones recientes mostraron que tales redes móviles pueden ser modeladas como grafos geométricos, proporcionando diversas estrategias de ruteo.

Esta presentación está organizada de la siguiente manera. En la Sección 2, presentamos una breve introducción acerca de un índice espacio-temporal referenciado en nuestro trabajo; en la Sección 3, presentamos una breve introducción acerca de los algoritmos de ruteo; en la Sección 4, exponemos nuestros objetivos en esta línea de investigación; y en la última Sección, planteamos trabajo actual y visión futuro.

## **2. MÉTODOS DE ACCESO ESPACIO-TEMPORAL**

Los métodos de acceso tradicionales no soportan datos espacio-temporales; en consecuencia, se han desarrollado diferentes propuestas para mantener simultáneamente información sobre tiempo y espacio, las cuales indexan objetos que se mueven en un espacio bidimensional. La mayoría de estos métodos extienden los métodos de acceso espacial para incluir componentes temporales. Estos métodos se pueden clasificar basándose en el tipo de dato, acerca de objetos en movimiento, con el que tratan. Algunos métodos se enfocan en la recuperación de datos históricos y otros en la recuperación de posiciones futuras de objetos en movimiento basadas en la posición actual y en patrones de movimiento [1, 6].

A continuación, introduciremos brevemente el índice I+MON-Tree referenciado en nuestra investigación.

## I+MON-Tree

Este es un índice espacio-temporal que tiene capacidad para almacenar y recuperar información histórica y actual de objetos en movimiento sobre redes fijas.

Hay dos tipos diferentes de modelos de redes que indexa I+MON-Tree; el primer modelo es *orientado a arcos*, donde la red es un grafo  $G=(V, A)$  compuesto por  $V$ , un conjunto de nodos, y  $A$ , un conjunto de arcos, donde cada nodo  $n \in V$  es la representación de un punto  $p_n=(x, y)$  en el espacio bidimensional y donde cada arco  $e \in A$  conecta dos nodos  $n_{1e}$  y  $n_{2e}$  y se le asocia una poligonal  $l_e=p_1, \dots, p_k$  donde cada  $p_i$  es un punto bidimensional  $1 < i < k$ , donde  $k$  es el tamaño del arco,  $p_1=p_{n1}$  y  $p_2=p_{n2}$ . Cada objeto se mueve a lo largo de la poligonal y su posición *epos* se representa como un número entre 0 y 1, donde 0 indica que el objeto está en el nodo  $n_{1e}$  y 1 que está en el nodo  $n_{2e}$  del arco. Si bien este modelo es simple y transparente, no es eficiente para representar redes de transportación, que son las más requeridas por las aplicaciones. Por ello, el segundo modelo se extiende para representar el movimiento de objetos restringido a redes, manejando un modelo *orientado a rutas*. Aquí, la red se representa como un conjunto de rutas y un conjunto de junturas que vinculan esas rutas, es decir,  $G'=(R, J)$  donde  $R$  es el conjunto de rutas y  $J$  el conjunto de junturas. A cada ruta  $r \in R$  se le asocia una poligonal  $l_r=p_1, \dots, p_k$ , donde cada  $p_i$  es un punto bidimensional y  $1 < i < k$  y  $k$  es el tamaño de la ruta. Una posición *rpos* dentro de la ruta se representa como un número real entre 0 y 1, donde 0 significa que la posición es  $p_1$  y 1 que la posición es el punto  $p_k$  de la ruta. Una juntura  $j \in J$  está representado por dos rutas  $r_1$  y  $r_2$ . En la Figura 1 se muestra un ejemplo de cada modelo de red:

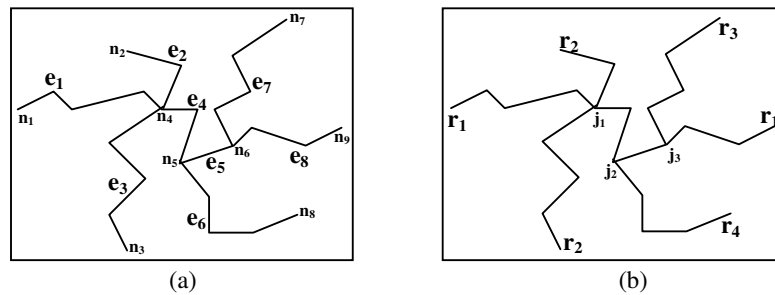


Figura 1: Ejemplo de una red (a) en el primer modelo y (b) en el segundo modelo

A continuación, describimos brevemente las estructuras que conforman el índice:

Para la información histórica, se cuenta con dos niveles de estructuras. En el nivel superior un 2DR-Tree, denominado  $R_s$ , que indexa la mínima caja que recubre cada poligonal y una estructura de hashing, denominada  $H$ , que almacena el identificador de la poligonal y el puntero al 2DR-Tree del nivel inferior que le corresponde a la misma. En el nivel inferior se encuentra un conjunto de 2DR-Tree, denominados  $R_m$ , donde  $n$  es el número de R-Tree's, que indexan el movimiento de los objetos a lo largo de la poligonal.

Por último, el índice de información actual, denominado  $I$ , es una estructura que almacena cubos abiertos, que hacen referencias a objetos cuyo instante final en una posición aún no está definido, por lo que el cubo está dado por coordenadas espaciales  $x$  e  $y$  y un instante de tiempo  $t$ ; en donde  $x$  e  $y$  constituyen la posición a la que arriba el objeto y  $t$  el instante de tiempo en que lo hizo. También se mantiene información que hace referencia a los cubos anteriores, los cuales son determinados por un intervalo de coordenadas espaciales  $x$  e  $y$  y un intervalo de tiempo, que corresponden al movimiento realizado desde una posición en un instante de tiempo a otra posición en un instante de tiempo posterior; y que nos permite recuperar la trayectoria del objeto. [5]

### 3. ALGORITMO DE RUTEO

Hay ciertas aplicaciones, como lo son los sistemas de información geográfica, entre otros, para las cuales encontrar el camino entre dos puntos es un problema central, que ha devenido en un amplio espectro de campos de estudios. Con este fin surgen los algoritmos de Ruteo, donde el propósito del mismo es encontrar un buen camino que dirija el objeto desde un origen a un destino en un ambiente total o parcialmente desconocido.

La red se puede modelar como un grafo  $G=(V, A)$ ; donde  $V$  es el conjunto de vértices o nodos que representan objetos de un dominio específico y  $A$  es el conjunto de aristas del grafo, es decir, la relación que vincula los objetos de  $V$ . Así podemos definir camino en un grafo  $G=(V, A)$  como una secuencia de nodos  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  tal que cada par de nodos  $(x_i, x_j)$  con  $1 \leq i, j \leq n$  pertenecen a  $A$ .

Es importante notar que las aplicaciones imponen restricciones en cuanto al camino que se desea encontrar. Por esta razón, no basta con poseer solo un modelo adecuado sino que además se necesita aplicar o crear una estrategia de ruteo que resulte más conveniente para cada situación.

Uno de los algoritmos de ruteo más conocidos es el denominado ruteo Voraz. Este permite rutear entre un nodo origen y otro destino en redes donde la topología es desconocida o parcialmente conocida como es el caso de las redes móviles.

El ruteo voraz dirige el objeto en movimiento al vecino de  $o$  que minimiza la distancia euclidiana con el nodo  $d$ . Cuando más de un nodo se encuentra a la misma distancia hacia el nodo destino, el ruteo Voraz selecciona uno de ellos al azar. [3]

Las investigaciones que se están realizando en el área de la Geometría Computacional [10,11] brindan un marco importante para la incorporación de nuevos algoritmos de ruteo en redes. La inserción de nuevos algoritmos puede llegar a minimizar la complejidad espacial y temporal en la problemática de las comunicaciones, produciendo un cambio en la forma en que actualmente se implementan [2, 4, 7, 8, 9].

### 4. OBJETIVOS

Nuestra línea de investigación consiste en diseñar estructuras de datos y algoritmos para resolver problemas donde dados dos puntos, un origen llamado  $o$  y un destino llamado  $d$  sobre la red, el algoritmo de ruteo se encargue de encontrar una ruta que conduzca el objeto en movimiento desde el origen  $o$  al destino  $d$ . Por otra parte, diseñamos estructuras de datos que permitan almacenar y consultar datos, de manera eficiente, de los objetos que transitan sobre la red subyacente. De esta manera, relacionamos las disciplinas Bases de Datos Espacio-Temporales y Geometría Computacional, como mencionamos anteriormente.

El diseño que proponemos en cuanto a los algoritmos de ruteo se basa en construir un árbol de búsqueda, en el que se van explorando los sucesores de cada nodo, eligiendo los próximos a explorar en función del conocimiento que tenemos del problema y de diversos criterios de búsqueda. De esta manera implementamos funciones heurísticas que orienten dichos algoritmos a encontrar un camino entre dos puntos determinados. Algunas de estas son, función de menor ángulo, función de  $n$  vecinos próximos, función de radio  $r$  y función por poligonal donde esta última aplica las primeras dos funciones.

Por otra parte, podemos decir que una red móvil implica que los nodos que la conforman en un instante de tiempo determinado  $t_i$ , posiblemente cambien su posición en el plano modificando las coordenadas  $x, y$  en un tiempo  $t_j$ , donde  $i < j$ . La probabilidad que representa la desaparición o modificación en la ubicación de cada uno de los nodos que forman parte de

la red, requiere emplear estrategias de almacenamiento que contemplen este tipo de situaciones. Para ello, analizamos posibles diseños de extensiones a la estructura I+MON-Tree en relación a las redes móviles, con el fin de considerar estrategias y representaciones más convenientes, cuando se almacenan datos de los objetos en movimiento que transitan sobre una red móvil.

## 5. TRABAJO ACTUAL Y VISIÓN FUTURO

Actualmente, hemos desarrollado el diseño de los algoritmos de ruteo basado en las diversas funciones heurísticas mencionadas anteriormente, así como también hemos realizado evaluaciones experimentales sobre el funcionamiento de los mismos de acuerdo a las caracterizaciones de la red subyacente.

Haber vinculado dos disciplinas tales como Bases de Datos Espacio-Temporales y Geometría Computacional, resultó un gran desafío por su aparente desconexión. La realidad indica que nuevas aplicaciones vinculadas al ámbito de la computación móvil requieren métodos de acceso que almacenan y recuperan información de objetos cuyo movimiento se encuentra restringido a redes móviles, y de Algoritmos de Ruteo, que proporcionen nuevas y/o diversas estrategias de ruteo.

Estos trabajos están enmarcados dentro de la Línea de Investigación Geometría Computacional y Bases de Datos Espacio-Temporales, perteneciente al Proyecto Tecnologías Avanzadas de Bases de Datos 22/F314, Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis; en el Proyecto AL07-PAC-027 Geometría Computacional, subvencionado por a Universidad Politécnica de Madrid; y en el marco de la Red Iberoamericana de Tecnologías del Software (RITOS2), subvencionado por CYTED.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agarwal, P., Arge, L. & Erickson, J. (2000). Indexing moving points. *Symposium on Principles of Database Systems* (pp. 175-186). ACM Press.
- [2] de Berg, M; Kreveld, Overmars, M; Schwarzkopf. *Computational Geometry: algorithms and applications*, Springer Verlag, BH 1997
- [3] Berón, M. Un evaluador de algoritmos de ruteo. Trabajo final de postgrado, Universidad Nacional de San Luis, 2005.
- [4] Boissonnat, J.D.; Yvinec, M. *Algorithmic Geometry*, Cambridge University Press, 1998.
- [5] Correa, L. y Ortiz, N. I+MON-Tree: índice espacio-temporal para objetos en movimiento. *Informe Trabajo Final Licenciatura, Univ. Nac. de San Luis, Argentina*, 2006.
- [6] Kollios, G., Gunopulos, D. and Tsotras, V. (1999). On Indexing Mobile Objects, *ACM Symposium on Principles of Database Systems* (pp. 261-272). ACM Press.
- [7] Manolopoulos, Y., Papadopoulos, A., Sellis Timos, K. y Theodoridis, Y. Specifications for efficient indexing in spatiotemporal databases. In *Proc. 10th International Conference on Scientific and Statistical Database Management, Capri, Italy, pages 123-132*. 1998.
- [8] Preparata, F.; Shamos, M. *Computational Geometry: an introduction*, /Springer Verlag, NY 1985
- [9] Sack, J.R.; Urrutia, J.. *Handbook of Computational Geometry*. Elsevier Science B.V. 2000.
- [10] Toussaint, G.T. *What is computational geometry?* Proc. IEEE, vol. 80, No. 9, pp. September, 1992, 1347-1363.
- [11] Wilder, F.; *A Guide to the TCP/IP Protocol Suite*, Artech House, 1993.