

Indexación de objetos en movimiento sobre redes móviles

Edilma Olinda Gagliardi, Daniela Carolina Giraudi, Gabriela Soledad Segura Guzmán

Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis

San Luis, Argentina

{ oli, dcgiraud, ggsegura }@unsl.edu.ar

y

Gregorio Hernández Peñalver

Departamento de Matemática Aplicada, Facultad de Informática

Universidad Politécnica de Madrid, España

gregorio@fi.upm.es

RESUMEN

La administración de objetos en movimiento ha despertado un amplio interés en los últimos años. Las bases de datos que guardan objetos espaciales cuyo tamaño y/o posición cambia a través del tiempo se llaman *base de datos espacio-temporales* (BDET). El principal interés de las aplicaciones es administrar y consultar eficientemente las posiciones de los objetos en movimiento, basándose en el uso de una estructura índice. Además de considerar las propiedades de los objetos en movimiento (forma, tamaño, entre otras), se puede requerir estudiarlos sobre diversos escenarios, con o sin restricciones, como así también considerar diversos estados del tiempo (presente, pasado o futuro).

Nuestro trabajo de investigación se dedica al estudio y análisis de métodos de acceso que almacenan y recuperan información de objetos cuyo movimiento se encuentra restringido a redes, no necesariamente predefinidas. Nuestra propuesta consiste en una extensión de la estructura [6], para que además de la recuperación de información histórica y actual de los objetos, eventualmente pueda predecir posiciones futuras de los objetos en movimiento. También, vinculada a la consulta sobre trayectorias, en relación a predicción de información futura, se propone trabajar sobre redes no necesariamente fijas, haciendo incursión en los algoritmos de ruteo para la definición de posibles trayectorias de objetos móviles.

Palabras claves: objetos en movimiento, movimiento restringido a redes, métodos de acceso espacio-temporales para objetos en

movimiento, consultas espacio-temporales, procesamiento de consultas espacio-temporales, algoritmos de ruteo.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de las aplicaciones espacio-temporales asociadas con fenómenos geográficos donde la identidad de las componentes geográficas puede cambiar en el tiempo, en las bases de datos de objetos en movimiento los objetos mantienen sus identidades pero cambian sus ubicaciones o formas a través del tiempo.

Los DBMSs no están apropiadamente equipados para manipular datos acerca de objetos en movimiento. Una de las razones es que los DBMSs asumen que los datos son constantes a menos que ocurra una modificación explícita, suposición que no es adecuada para manipular datos que cambian continuamente, tales como la ubicación de objetos en movimiento. En los DBMSs tradicionales es difícil especificar consultas acerca de información espacial y/o temporal. Por ejemplo, una consulta como “recuperar los autos que se intersectarán en una ubicación específica en una hora” no se expresa fácilmente en SQL. Finalmente, la ubicación de un objeto en movimiento es inherentemente imprecisa porque la ubicación almacenada en la base de datos no siempre puede ser la ubicación real del objeto [19].

A diferencia de las aplicaciones tradicionales de bases de datos, las aplicaciones de objetos en movimiento, involucran los siguientes requerimientos, que son un subconjunto de los requerimientos espacio-temporales [11]:

- La necesidad de representar objetos, tales como automóviles en movimiento, con una posición en el espacio y una existencia en el tiempo;
- La necesidad de capturar el cambio de posición en el tiempo. Dicho cambio de posición puede ser continuo o discreto;
- La necesidad de representar relaciones espaciales entre objetos en el tiempo; y
- La necesidad de especificar restricciones de integridad espacio-temporales.

Esta presentación está organizada del siguiente modo. En la Sección 2, presentamos una breve introducción acerca de los métodos de acceso espacio-temporales referenciados en nuestro trabajo; en la Sección 3, presentamos una breve introducción acerca de las búsquedas de caminos en entornos desconocidos; en la Sección 4, exponemos nuestros objetivos en esta línea de investigación; y en la última Sección, planteamos los trabajos futuros.

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, 10].

A continuación, damos algunos antecedentes relevantes a nuestra investigación para llevar a cabo la extensión propuesta en este trabajo.

FNR-Tree

El FNR-Tree (Fixed Network R-Tree) [9] es una estructura propuesta en [7] para resolver el problema de objetos en movimientos en redes fijas, que se basa en el conocido R-Tree [9]. En una red de carreteras consistente de n enlaces, el FNR-Tree considera una foresta de 1D R-Tree encima de un sólo 2D R-Tree. Este 2D R-Tree indexa los datos espaciales de la red, donde las

carreteras son los segmentos lineales; mientras que cada 1D R-Tree es un nodo hoja del 2D R-Tree y se usa para indexar los intervalos de tiempo en que un objeto móvil atravesó un enlace determinado en la red. De esta forma, el 2D R-Tree permanece estático durante el tiempo de vida del FNR-Tree. En el FNR-Tree, cada posición de un objeto se almacena cada vez que este atraviesa un nodo de la red. Asume que los parámetros del movimiento no cambian entre dos nodos diferentes, y por medio de la interpolación se calcula la posición de un objeto en un instante de tiempo determinado.

MON-Tree

El MON-Tree (Moving Objects in Networks Tree) es un índice que almacena y recupera eficientemente la trayectoria de los objetos en movimiento. La estructura propuesta en [2] asume que los objetos se mueven a lo largo de poligonales. El índice es una estructura compuesta por un 2D R-Tree (el R-Tree de la cima) que indexa la mínima caja que delimita una poligonal; un conjunto de 2D R-Trees (R-Trees de la base) que indexa los movimientos de los objetos a lo largo de la poligonal donde el movimiento se representa por el intervalo de posición $(p1, p2)$ y el intervalo de tiempo $(t1, t2)$, donde $0 \leq p1, p2 \leq 1$, y por último una estructura hashing que determina el 2D R-Tree de la base que corresponde a una poligonal.

Si bien MON-Tree conserva las mejores propiedades de la estructura [7] y elimina sus desventajas principales, cuando se presenta el caso en que un objeto informa su última posición y aún no se ha movido no hay posibilidad de que esa información quede registrada en la estructura de datos.

I+MON-Tree

El índice I + MON-Tree es una extensión a la estructura MON-Tree, que utiliza una estructura adicional en cuyas entradas almacena objetos cuyo tiempo final de permanencia en una posición no se conoce, es decir, cuando un objeto arriba a una nueva posición en el tiempo t_i , el intervalo de tiempo que se guarda es $[t_i, *)$, donde $*$ representa el tiempo actual. Cuando se conoce el tiempo final t_j de permanencia del objeto en una posición, el intervalo de duración se actualiza a $[t_i, t_j)$ y el objeto es almacenado en la estructura MON-Tree, modificando la entrada en el índice de manera que el nuevo intervalo de tiempo abierto sea $[t_j, *)$.

3. BÚSQUEDAS DE CAMINOS EN ENTORNOS DESCONOCIDOS

Hay ciertas aplicaciones, como lo son los sistemas de información geográfica, redes de comunicación con cables y sin cables, 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. La característica común a estas aplicaciones es que cada una de ellas se pueden modelar como un grafo $G=(N, R)$; donde N es el conjunto de vértices o nodos que representan objetos de un dominio específico y R es el conjunto de aristas del grafo, es decir, la relación que vincula los objetos de N . Teniendo en cuenta estas observaciones podemos decir que el problema de hallar un camino, denominado *ruteo*, consiste en encontrar un camino desde un objeto origen hasta otro destino en el grafo.

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.

Los algoritmos de ruteo pueden poseer diferentes características, como:

- Información local: cada nodo sólo conoce la posición de sus vecinos;
- Memoria limitada: sólo se recuerda un número constante de nodos ya visitados, así como las coordenadas del origen y el destino;
- Ecológico: no se permite dejar marcas en los nodos visitados;
- *Decisiones locales*: la elección del camino a elegir se basa exclusivamente en la información almacenada en el nodo y en la información que lleva el objeto que recorre el camino (de tamaño constante).

Las investigaciones que se están realizando en el área de la Geometría Computacional [15,18] 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 [3, 4, 8, 12, 14].

4. OBJETIVOS

Nuestras propuestas de trabajo consisten en, primer lugar diseñar una estructura de datos para indexar objetos en movimiento sobre redes, considerando que las mismas pueden ser total, parcial desconocidas, que pueda mantener información histórica, actual y que eventualmente pueda predecir futuras posiciones de los objetos en movimiento. Como estructuras base de estudio e investigación se tomarán los índices presentados anteriormente, dado que ellos han mostrado un buen desempeño en operaciones de actualización y consultas de diversos tipos (Ventana, Rango o Intervalo, Time Slice y Trayectoria) en redes predefinidas. Para el caso de las predicciones, se estudiarán técnicas dedicadas específicamente a soportar consultas vinculadas al futuro, a fines de considerar estrategias y representaciones convenientes a nuestros fines.

En nuestra investigación queremos considerar varios aspectos que a continuación damos un resumen.

Para predecir las posiciones futuras de los objetos en movimiento se requiere de información extra, tales como la velocidad y la distancia hasta la posición destino. En general, podemos definir el modelado de un objeto en movimiento en el espacio D -dimensional por medio de los siguientes datos: una ubicación de referencia $x_{ref} = (x_1, x_2, \dots, x_d)$, donde x_i representa una posición en la ordenada i del espacio; un tiempo de referencia t_{ref} ; y un vector de velocidades $v = (v_1, v_2, \dots, v_d)$, donde v_i representa la velocidad en la ordenada i . La predicción de la posición x_t del objeto en movimiento para un instante de tiempo t mayor que t_{ref} , puede ser calculado por la ecuación $x_t = x_{ref} + v(t - t_{ref})$. El objeto en movimiento es modelado por la ecuación lineal $x_t = at + b$ donde a y b son constantes, a indica la velocidad constante del objeto en movimiento y b es la ubicación de comienzo del objeto en movimiento. También se asume que la ubicación de referencia comienza en el tiempo $t_{ref} = 0$. [5, 13, 16, 17]. Esta información es útil para calcular cual será la trayectoria del objeto asumiendo que la velocidad de los movimientos mantienen una distribución uniforme.

Basándonos en las estructuras de datos presentadas anteriormente orientadas a indexar objetos en movimientos sobre redes fijas, también nos proponemos el diseño de un índice para incorporar algoritmos de ruteo capaces de explorar su ambiente de trabajo a medida que va descubriendo la ruta hacia su destino. Este problema se puede modelar en términos matemáticos por un grafo geométrico plano

$G=(N, R)$ donde el conjunto N representa los nodos y R las poligonales de la red. El problema de encontrar una posición específica se traduce en encontrar el camino desde el nodo origen al nodo destino.

5. TRABAJO FUTURO

Existen en general dos problemas de indexado que deben ser resueltos en orden para soportar las aplicaciones que envuelven movimientos continuos. El primero es el indexado de la trayectoria completa de los objetos en movimiento, mientras que el segundo es el indexado de las posiciones actuales y anticipación de las posiciones futuras del objeto en movimiento. En este trabajo nos abocaremos a realizar una extensión de una estructura del primer tipo, MON-Tree, para que cumpla con las propiedades del segundo tipo, es decir nos dedicaremos al estudio de métodos de indexación espacio-temporal con el objetivo de diseñar estructuras de datos y algoritmos que permitan extenderla para poder predecir en forma eficiente, además estudiaremos cuales son las posibilidades de la estructura mencionada anteriormente de adaptarse a una red desconocida la permita dirigir los objetos que transitan sobre la misma desde una posición origen a una posición destino a través de movimientos independientes.

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 AL06_PF_013 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] V. T. Almeida and R. H. Güting. Indexing the trajectories of moving objects in networks.

Technical Report 309, Fernuniversität Hagen, Fachbereich Informatik, 2004.

[3] de Berg, M.; Kreveld, Overmars, M.; Schwarzkopf. *Computational Geometry: algorithms and applications*, Springer Verlag, BH 1997

[4] Boissonnat, J.D.; Yvinec, M. *Algorithmic Geometry*, Cambridge University Press, 1998.

[5] M. Cai and P. Revesz. Parametric R-Tree: An Index Structure for Moving Objects. In *Proc. of the Intl. Conf. on Management of Data, COMAD*, Dec. 2000.

[6] L. Correa, N. Ortiz, I + MON-Tree: índice espacio-temporal para objetos en movimiento; Trabajo final de la Licenciatura en Ciencias de la Computación, actualmente en etapa de finalización, Febrero 2006.

[7] E. Frenzos. Indexing objects moving on fixed networks. In *Proc. of the 8th Intl. Symp. on Spatial and Temporal Databases (SSTD)*, pages 289-305, 2003.

[8] Goodman, J.; O'Rourke, J. *Handbook of Discrete and Computational Geometry*. CRC Press 1997.

[9] A. Guttman. R-Tree: A dynamic index structure for special searching. In *ACM SIGMOD Conference on Management of Data (Boston, 1984)*, ACM, pp. 47-57

[10] Kollios, G., Gunopulos, D. and Tsotras, V. (1999). On Indexing Mobile Objects, *ACM Symposium on Principles of Database Systems* (pp. 261-272). ACM Press.

[11] Pfoser, D. & Tryfona, N. (1998). Requirements, definitions and notations for spatiotemporal application environments. *ACM GIS* (pp. 124-130). ACM Press.

[12] Preparata, F.; Shamos, M. *Computational Geometry: an introduction*, Springer Verlag, NY 1985

[13] S. Saltenis, C. S. Jensen, S. T. Leutenegger, and M. A. Lopez. Indexing the Positions of Continuously Moving Objects. In *Proc. of the ACM Intl. Conf. on Management of Data, SIGMOD*, pages 331–342, May 2000.

[14] Sack, J.R.; Urrutia, J.. *Handbook of Computational Geometry*. Elsevier Science B.V. 2000.

[15] Toussaint, G.T. *What is computational geometry?* Proc. IEEE, vol. 80, No. 9, pp. September,1992,1347-1363.

[16] Y. Tao, D. Papadias, and J. Sun. The TPR*-Tree: An Optimized Spatio-temporal Access Method for Predictive Queries. In *Proc. of the Intl. Conf. on Very Large Data Bases, VLDB*, Sept. 2003.

[17] J. Tayeb, O. Ulusoy, and O.Wolfson. A Quadtree-Based Dynamic Attribute Indexing Method. *The Computer Journal*, 41(3):185–200, 1998.

[18] Wilder, F.; *A Guide to the TCP/IP Protocol Suite*, Artech House, 1993.

[19] Wolfson, O. (2002). Moving objects information management: The database challenge. *5th Workshop on Next Generation Information Technology and Systems* (pp. 75-89). Berlin: Springer-Verlag.