

Uso de Bases de Datos Espacio-Temporales para la Atención de Eventos de Emergencia

Marcela Aballay¹, Anabella De Battista², Edilma Olinda Gagliardi³

¹ Maestría en Ing. en Sist. de Información
Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional,
Córdoba, Argentina
marcelaaballay@yahoo.com.ar

² Departamento Ingeniería en Sistemas de Información
Fac. Reg. Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional
Entre Ríos, Argentina
debattistaa@frcu.utn.edu.ar

³ Departamento de Informática
Univ. Nac. de San Luis
San Luis, Argentina
oli@unsl.edu.ar

Resumen Este artículo describe el desarrollo de un prototipo para la atención de eventos de emergencia y la administración de los móviles correspondientes del Municipio de la localidad de Córdoba, Argentina. Para la solución de esta problemática, se hizo uso de un modelo de base de datos espacio-temporal. En este artículo presentamos las características de su implementación, el uso de la base de datos espacio temporal, las consultas logradas, y las funcionalidades agregadas a la aplicación.

Palabras Claves: I+3 R-Tree, bases de datos espacio-temporales, gestión, emergencias, móviles

1. Introducción

Las bases de datos tradicionales, basadas en el modelo relacional, permiten la gestión eficiente de información que puede estructurarse en registros, donde cada uno posee campos totalmente comparables. Algunas aplicaciones requieren gestionar datos que no puede estructurarse, por lo que los modelos tradicionales de bases de datos no son aplicables, como por ejemplo objetos que se caracterizan por mantener dos atributos comunes: el espacio y el tiempo. Es decir que un objeto puede identificarse por la posición y el área que ocupa en cualquier instante de tiempo. Estos objetos dan origen al tipo de dato espacio-temporal y como soporte para el tratamiento de este tipo de datos surgen los Métodos de Acceso Espacio-Temporales (MAETs), cuyo principal objetivo es evitar que se deba realizar un examen exhaustivo de la base de datos al momento de responder consultas, además de brindar eficiencia ante consultas que se realizan con

alta frecuencia. En este artículo se presenta un prototipo de una aplicación que implementa el índice espacio-temporal I+3 R-Tree para objetos en movimiento, en particular para gestión de eventos de emergencias y móviles asociados para su atención. El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se expone una reseña de aspectos teóricos, definiendo los conceptos necesarios para la comprensión de este trabajo, en la Sección 3 se presenta la aplicación desarrollada y en la Sección 4 las Conclusiones.

2. Aspectos teóricos

En ocasiones resulta de interés poder modelar objetos que tienen una componente espacial asociada, por lo que se requiere el uso del modelo de bases de datos espaciales, que soporta tanto tipos de datos espaciales, como métodos de acceso para poder realizar consultas de manera eficiente. Es también frecuente que además de conocer el estado actual de un modelo de datos, resulte necesario consultar estados pasados. En este contexto cobra relevancia el modelo de bases de datos temporales, que soporta consultas de estados actuales y pasados. Para aquellos casos en los que es necesario gestionar objetos espaciales que pueden cambiar su posición y/o forma a lo largo del tiempo [1] se ha propuesto el Modelo de Bases de Datos Espacio-Temporales. Su objetivo es permitir modelar el dinamismo de los fenómenos que ocurren en el mundo real, administrando al mismo tiempo las componentes espacial y temporal de un objeto, mediante la implementación de tipos de datos apropiados, un lenguaje de consulta, métodos de acceso y modelos que permitan establecer planes optimos de ejecución de las consultas.

Las principales consultas que se pueden realizar sobre una base de datos espacio-temporal, que incorporan predicados espaciales que involucran instantes o intervalos de tiempo son [2,3]:

- *TimeSlice*: devuelve los objetos que se encuentran en una determinada área en un instante de tiempo dado.
- *Intervalo*: obtiene los objetos que se encuentran en una determinada área en un intervalo de tiempo.
- *Eventos*: se obtienen todos los eventos que sucedieron en una región en un instante dado.
- *Trayectoria*: recupera las posiciones espaciales en las que un objeto ha permanecido en un intervalo de tiempo dado.
- *Consultas de los k vecinos más cercanos*: dado un objeto, se devuelven los k objetos más cercanos al objeto de entrada para un instante o intervalo de tiempo.

Por las características dinámicas de los objetos que se administran en estas aplicaciones, las bases de datos espacio-temporales deben ser capaces de almacenar grandes volúmenes de información a lo largo del tiempo, por lo que resulta imposible pensar en un procesamiento secuencial al realizar una consulta. Por

este motivo se propone la construcción de índices utilizando métodos de acceso espacio-temporales adecuados para la recuperación eficiente de datos.

Existe un método base de indexación espacial que implementan la mayoría de los Sistemas Gestores de Bases de Datos Espacio-Temporales (SGBDET) como Oracle, SQL y PostgreSQL que es el R-Tree, propuesto por Guttman en 1984 [4]. Dentro de las variantes del R-Tree se encuentran: métodos que consideran el tiempo como otra dimensión como 3D R-Tree [5], 2+3 R-Tree [6] y el I+3 R-Tree [7]; métodos en los que el tiempo se incorpora como información dentro de la estructura de los nodos, como el RT-Tree [8]; y métodos que usan múltiples versiones de la misma estructura para distintos instantes de tiempo, con reutilización de las partes invariantes, como el HR-Tree [6,9] y el MR-Tree [8].

Para este caso de estudio se propone la utilización del índice I+3 R-Tree que permite manipular puntos en movimiento, administra el tiempo como otra dimensión y responde a las consultas timeslice, intervalo, evento y trayectoria. Es una variante del 2+3 R-Tree en la que se reemplaza el 2D R-Tree de la estructura original, por un Índice.

La estructura del I+3 R-Tree (Figura 1) está formada por:

- Un R-Tree de tres dimensiones (3D R-Tree) que se utiliza para almacenar los cubos cerrados que representan las posiciones anteriores de los objetos y su tiempo de estadía en dicha posición. Cuando un objeto cambia su posición actual, se actualiza su posición en el índice, y se inserta en el 3D R-Tree un cubo que representa su posición anterior.
- Una estructura denominada I (índice) en la que se almacenan los cubos abiertos, es decir, aquellos para los cuales su instante final en una posición aún no está definida. También se guardan las referencias necesarias a los cubos anteriores que describen la trayectoria del objeto.

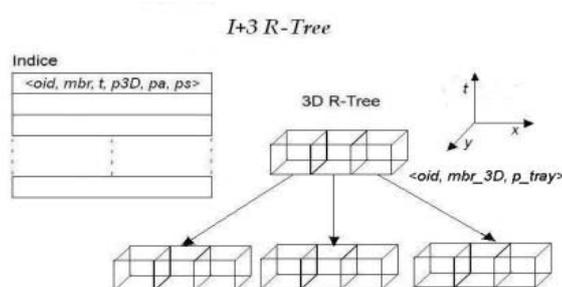


Figura 1. Estructura del I+3 R-Tree

3. Herramienta para gestión de eventos de emergencia

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación para la atención de eventos de emergencia y la administración de los móviles correspondientes del Municipio de la localidad de Córdoba, Argentina.

La aplicación permite el registro de llamadas telefónicas realizadas a la línea 911. Cada llamada puede generar más de un evento si requiere la intervención de distintas áreas. Se han definido dos áreas: Emergencia Médica y Emergencia Urbana, con sus correspondientes despachos, que son las oficinas encargadas de la asignación de los móviles y del seguimiento del evento hasta su finalización. Al recibirse una llamada se generan el o los eventos asociados, o también puede asociarse a un evento ya existente, ya que pueden recibirse varias llamadas por el mismo hecho. (Figura 2).

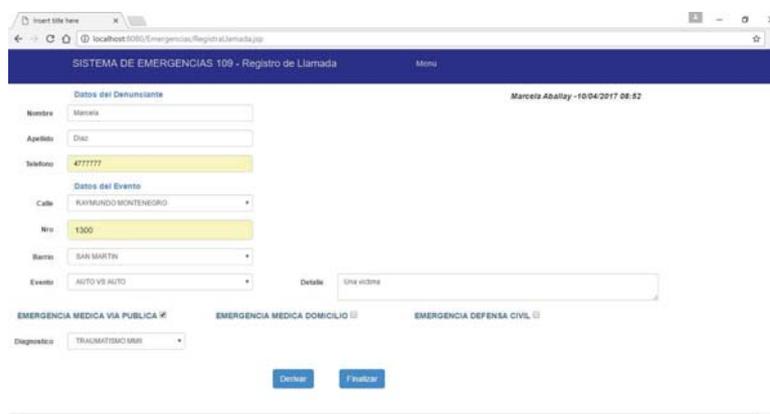


Figura 2. Pantalla para el Registro de Llamadas

El evento puede ser de uno de estos tipos:

1. **Emergencia Médica Domiciliaria:** se requiere una ambulancia para la atención de un paciente en su domicilio particular o en alguna institución pública dependiente de la Municipalidad (ej: escuelas, oficinas públicas). En este caso se registra el tipo de domicilio donde se requiere la atención.
2. **Emergencia Médica en la Vía Pública:** se solicita una ambulancia para la atención de personas en la vía pública.
3. **Emergencia de Defensa Civil:** eventos que requieren la intervención de una cuadrilla para algún trabajo de emergencia pero que no involucra a personas. Por ejemplo: árbol por caer, hundimiento de un pozo, panal de abejas, cable cortado, derrame de líquidos contaminantes, etc.

En el despacho se cuenta con una vista de los eventos pendientes y en curso con su correspondiente localización en el mapa (Figura 3).

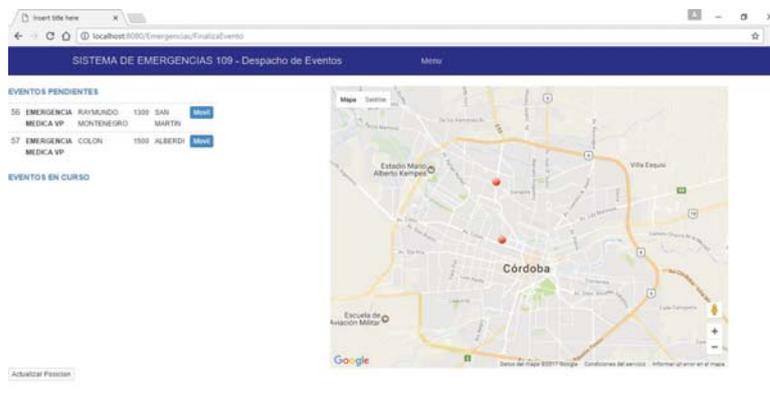


Figura 3. Vista del despacho con los eventos pendientes

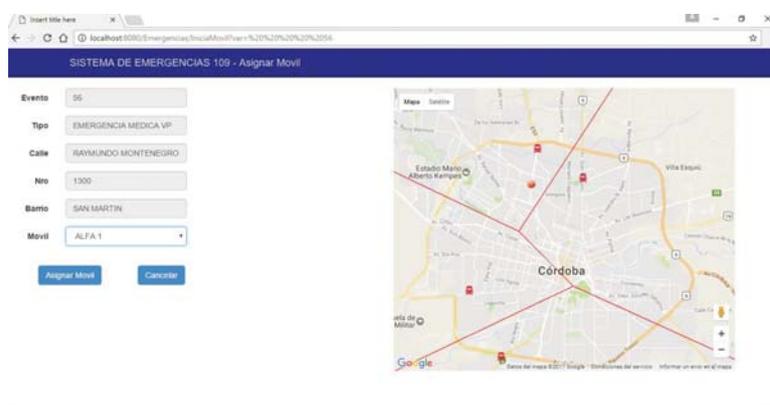


Figura 4. Vista del despacho con los móviles disponibles

Para la asignación de un móvil a un evento se obtiene de la tabla *Móviles* de la base de datos relacional aquellos que están en estado *Disponible* y se los ubica sobre el mapa, formando con ellos un diagrama de Voronoi (Figura 4). De esta forma el operador pueden ubicar rápidamente cual es el móvil más cercano al evento que se está gestionando.

Luego de asignado el móvil, éste se incorpora a la vista del despacho y se actualizan los eventos pendientes y en curso (Figura 5). Una vez finalizada la atención se cierra el evento y se libera el móvil, pasando a estar disponible para cubrir un nuevo evento. Periódicamente se registra la posición de los móviles, lo que permite posteriormente reconstruir su trayectoria en la atención de un determinado evento.

En este proyecto se utilizaron dos modelos de bases de datos para almacenar distintos tipos de datos: una base de datos relacional (Figura 6), en la que se

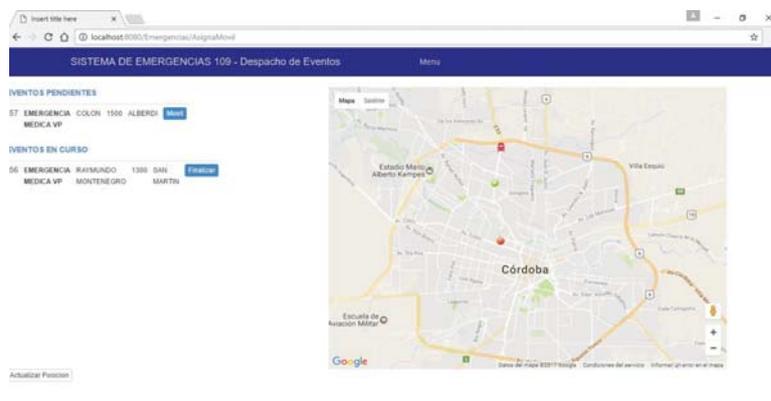


Figura 5. Vista del despacho con los eventos pendientes, en curso y móviles asignados

registra información estructurada, y una base de datos espacio-temporal (BDET) (con la implementación del índice I+3 R-Tree para realizar consultas de manera eficiente), en la que se registra la información relacionada con la ubicación y tiempos asociados al dinamismo de los móviles.

Respecto a la BDET, en esta aplicación se implementaron los siguientes tipos de consultas:

- Consulta de Trayectoria: se requiere conocer la trayectoria que realizó un móvil en la atención de un evento, desde que sale de su base, hasta el lugar del evento y luego al destino correspondiente (hospital para los casos en que se registran personas heridas).
- Consulta Instantánea: dado un evento, se puede determinar su área de influencia, y conocer todos los móviles disponibles que pueden ser asignados para atender dicho evento.
- Consulta por Intervalo: permite obtener por ejemplo todos los móviles asignados a la atención de un evento, conociendo su posición en un intervalo de tiempo.
- Consulta de Historial de Eventos: permite conocer los eventos que ocurrieron en una región en un momento determinado.
- Consulta de los k vecinos más cercanos: dado un móvil y conocido el lugar de un evento, se puede obtener el listado de los móviles más cercanos al mismo para un instante o intervalo de tiempo, para aquellos casos en los que se requiere presencia de más de un móvil para atender el evento.

El desarrollo de la aplicación fue hecho en Java, se utilizó como Sistema Gestor de Bases de Datos Relacional PostgreSQL y se implementó el método de acceso espaciotemporal I+3 R-Tree a través de sus librerías en Java.

El I+3 R-Tree está conformado por dos estructuras un 3D R-Tree y un Índice. Las tuplas en el 3D RTree están compuestas por $\langle oid, mbr_3D, p_tray \rangle$

- *oid*: código identificador del objeto.

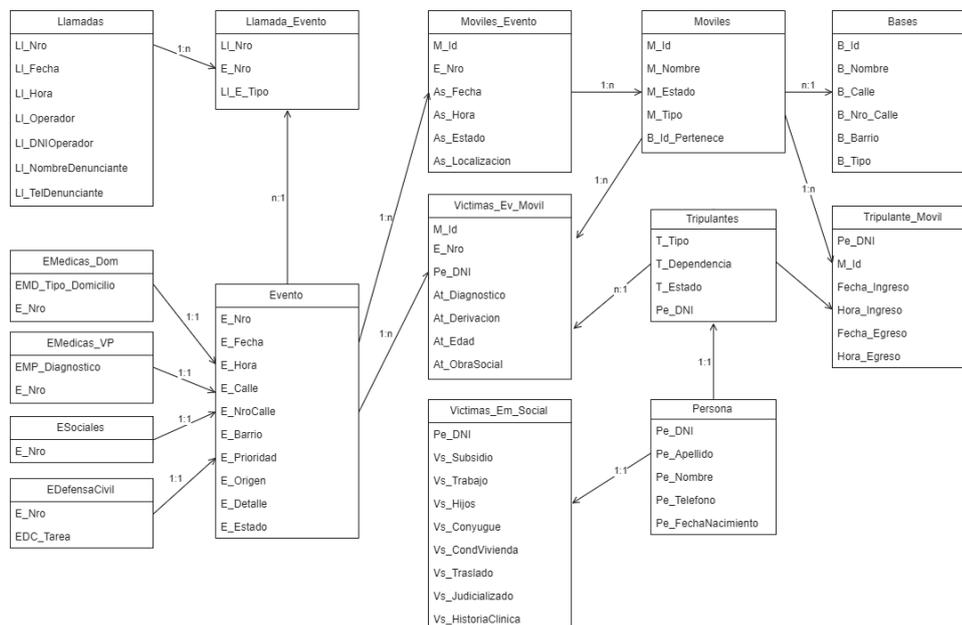


Figura 6. Base de Datos Relacional

- *mbr_3D*: región tridimensional cuya altura representa el intervalo temporal durante el cual el objeto se mantuvo en la posición espacial definida por su base.
- *p_tray*: puntero al cubo anterior correspondiente al mismo *oid*, utilizado para mantener un historial de trayectoria.

Las tuplas en el índice son de la forma $\langle oid, mbr, t, p3D, pa, ps \rangle$

- *mbr*: región aproximada que ocupa actualmente el objeto.
- *t*: tiempo de llegada del objeto a su ubicación actual.
- *p3D*: puntero al cubo anterior correspondiente al mismo *oid*, utilizado para mantener un historial de trayectoria.
- *pa*: puntero al objeto insertado en el instante de tiempo inmediatamente anterior.
- *ps*: puntero al objeto insertado en el instante de tiempo siguiente.

Inicialmente en el I+3 R-Tree se registran en el Índice los móviles con su posición inicial (el 3D R-Tree vacío) (Tabla 1).

Al recibir información de una nueva posición del móvil *om1* se actualiza el Índice y el 3D R-Tree (Tablas 2 y 3).

Tabla 1. Índice

Oid	Mbr	t	p3D	Pa	Ps
om1	om1_posicion0	om1_tiempo0	null	null	puntero a om2
om2	om2_posicion0	om2_tiempo0	null	puntero a om1	puntero a om3
om3	...	...	...	...	...

Tabla 2. Índice

Oid	Mbr	t	p3D	Pa	Ps
om1	om1_posicion1	om1_tiempo1	puntero al primer cubo del R-Tree	null	puntero a om2
om2	om2_posicion0 (la de la base)	om2_tiempo0	null	puntero a om1	puntero a om3
om3	...	...	...	...	...

Tabla 3. 3D R-Tree

Oid	mbr_3D	p_tray
om1	posicion0 - Desde tiempo0 hasta tiempo1	null

Para la visualización y georreferenciación de los móviles sobre el mapa de la ciudad de Córdoba se utilizaron las APIs de Google Maps [10]. De esta manera se pueden localizar en el mapa de la ciudad los puntos donde se encuentran los eventos en curso y pendientes de atención. En el caso del despacho, en la pantalla correspondiente a la asignación de un móvil para un evento, se implementó un diagrama de Voronoi. Esta estructura geométrica subdivide un área en regiones tomando como base una serie de puntos. Dichas regiones quedan formadas por los puntos más próximos a cada uno de los puntos de base [11]. Para este caso el área a dividir es el mapa de la ciudad de Córdoba y los puntos bases son los móviles disponibles. De esta forma se pueden identificar las distintas áreas de cobertura de cada móvil. Como en el prototipo no se dispone de una conexión real con los móviles para que transmitan cada determinado período su posición, se realizó una simulación, registrando en el I+3 R-Tree distintos tiempos y posiciones (latitud, longitud) para algunos móviles. Luego de finalizada la atención, en base a los datos registrados en la estructura espacio-temporal se puede resolver la consulta de trayectoria de un móvil, que es uno de los principales requerimientos de información para este sistema.

4. Conclusiones

A partir de los requerimientos funcionales planteados por el Municipio de Córdoba para la gestión de móviles que se asignan en la atención de emergencias, y debido a que ningún Sistema Gestor de Bases de Datos ofrece actualmente una gestión eficiente de datos tradicionales combinados con datos que cambian su forma y/o posición a través del tiempo, se desarrolló este prototipo de aplicación que combina una Base de Datos Relacional con una Base de Datos Espacio-Temporal. Teniendo en cuenta las características de los móviles que se pretende gestionar con esta aplicación se consideró el índice espacio-temporal I+3 R-Tree como el más conveniente de implementar ya que permite administrar objetos con las siguientes características:

- Los objetos se mueven a gran velocidad.
- El tamaño y la forma de los objetos no son importantes, el interés se centra en su posición en el tiempo.
- El espacio no cambia y la cantidad de objetos no tiene mucha variación.
- Los objetos se mueven en áreas previamente establecidas.
- Se necesita consultar la trayectoria realizada por los objetos.

La consulta de trayectoria resulta fundamental en esta aplicación y pudo resolverse eficientemente con la implementación del índice seleccionado, ya que la misma no está disponible en todos los índices de acceso espacio-temporal. La combinación del motor de Bases de Datos Relacional con el índice métrico I+3 R-tree para tratar objetos en movimiento ha resultado muy satisfactorio, y los resultados de las primeras pruebas son alentadores, dado que el prototipo ha respondido de manera satisfactoria a las consultas efectuadas, devolviendo adecuadamente los móviles disponibles en los radios más cercanos al lugar del evento.

Referencias

1. Y. Theodoridis, T. Sellis, A.N. Papadopoulos, and Y. Manolopoulos. Specifications for efficient indexing in spatiotemporal databases. In *Proceedings. Tenth International Conference on Scientific and Statistical Database Management (Cat. No.98TB100243)*, pages 123–132. IEEE Comput. Soc, 1998.
2. Pankaj K. Agarwal, Lars Arge, and Jeff Erickson. Indexing moving points (extended abstract). In *Proceedings of the Nineteenth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems, PODS '00*, pages 175–186, New York, NY, USA, 2000. ACM.
3. Gilberto Antonio Gutierrez Retamal. *Metodos de Acceso y Procesamiento de Consultas Espacio-Temporales*. PhD thesis, 2007.
4. Antonin Guttman. R-trees: A dynamic index structure for spatial searching. *SIGMOD Rec.*, 14(2):47–57, June 1984.
5. Y. Theodoridis, M. Vazirgiannis, and T. Sellis. Spatio-Temporal indexing for large multimedia applications. *Multimedia Computing and Systems, International Conference on*, 0:0441+, 1996.

6. Mario A. Nascimento, Jefferson R. O. Silva, and Yannis Theodoridis. Evaluation of Access Structures for Discretely Moving Points. *Proceedings of the International Workshop on Spatio-Temporal Database Management*, pages 171–188, 1999.
7. Edilma Olinda Gagliardi, Fernando D. Carrasco, and Juan C. García Sosa. I+3 R-Tree: un método de acceso espacio-temporal. 2009.
8. X Xu, J Han, and W Lu. RT-tree: An improved R-tree index structure for spatio-temporal database. *4th International Symposium on Spatial Data Handling*, pages 1040—1049, 1990.
9. Mario A Nascimento, Jefferson R O Silva, Yannis Theodoridis, Christian S Jensen, Michael H Böhlen, Renato Busatto, Curtis E Dyreson, Heidi Gregersen, Dieter Pfoser, Simonaš Saltenis, Janne Skyt, Giedrius Slivinskas, Kristian Torp, Richard T Snodgrass, Sudha Ram, Michael D Soo, Andreas Steiner, and Switzerland Timeconsult. Access Structures for Moving Points. 1998.
10. Api google maps. <http://goo.gl/QH7y4K>.
11. Mark de Berg, Otfried Cheong, Marc van Kreveld, and Mark Overmars. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer-Verlag TELOS, Santa Clara, CA, USA, 3rd ed. edition, 2008.