

Simulador de planes para el control del flujo vehicular

Julio Vega-Hernández, Alfredo Villanueva-Pastor, Mario Ramírez-Morales, Carlos Silva-Sánchez.

Escuela Superior de Cómputo I.P.N. simulador.vehicular@gmail.com

(Paper received on August 10, 2012, accepted on August 24, 2012)

Resumen Este artículo presenta el desarrollo de una herramienta de software que implementa la programación concurrente para simular el comportamiento del flujo vehicular en una zona geográfica delimitada utilizando redes de Petri Híbridas y un sistema de inteligencia artificial multiagente. El sistema permite crear, modificar, simular y validar el modelo de la red vial directamente en una interfaz web compuesta por un GIS (Sistema de Información Geográfica) mediante el cual se obtiene, procesa y despliega la información geoespacial almacenada previamente que representa a la red vial de la Ciudad de México. El funcionamiento y las pruebas realizadas para verificar la validez de esta herramienta están basados en la teoría fundamental del flujo vehicular con un enfoque macroscópico.

Palabras clave: Simulación, Sistema de Información Geográfica, red de Petri, programación concurrente, modelado del flujo vehicular, sistema multiagentes.

1 Introducción

Actualmente el control del tránsito en la Ciudad de México se lleva a cabo mediante planes y estrategias creadas para distribuir el flujo vehicular a través de la red vial de la urbe, estos planes son elaborados manualmente por los responsables de Tránsito y Vialidad en el Distrito Federal, que por lo general son ingenieros en tránsito. Es importante establecer que estos planes son realizados de manera empírica en base a los estudios y conocimientos propios del ingeniero a cargo, es por esto que los resultados de su implementación se observan una vez este es ejecutado en la realidad, con la posibilidad de que su funcionamiento no sea el óptimo, provocando que los recursos humanos y materiales no sean utilizados de una manera eficiente.

Se propone como solución a este problema la utilización de la simulación ya que constituye una técnica económica que permite generar diferentes escenarios posibles para un modelo, poniendo a disposición del usuario información cuantificable para apoyarlo en el proceso de toma de decisiones así como en la detección y corrección de comportamientos no deseados en el flujo vehicular previo a la implementación práctica de los planes de control con el consecuente ahorro de recursos [1].

© M. Andrade, C. Flores, R. Gutiérrez
and P. Santana (Eds.)
Special Issue in Information Technology
Research in Computing Science 57, 2012, pp. 125-132



La presente herramienta simula modelos de flujo vehicular basados en variables fundamentales viales como la tasa, velocidad y densidad de flujo, así como en características y elementos de tránsito definidos en el sistema como bloqueos de vialidades, cambio del sentido de circulación de las calles, aumento en el tiempo de las fases de los semáforos etc.

2 Bases Teóricas

2.1 Simulación

La simulación, la definimos como el proceso de diseñar, y desarrollar un modelo establecido de un sistema para conducir experimentos con el propósito de comprender su comportamiento; entendiendo como modelo a la representación o abstracción de la realidad seleccionando solo los atributos y características necesarias para los objetivos del sistema planteado. En el caso propio del modelado del flujo vehicular para este trabajo, se usó el enfoque macroscópico el cual no tienen en cuenta características específicas de los automóviles y generalmente promedia todos los datos o variables cuyo comportamiento estadístico permite hacerlo. Las variables a tomar en cuenta como entrada para el modelo son: velocidad, densidad y flujo vehicular en el caso de los carriles y en el caso de las intersecciones las fases de los semáforos y el tiempo de espera en la cola de servicio.

2.2 Modelado con redes de Petri híbridas.

Las redes de Petri son un formalismo matemático que permite modelar sistemas no determinísticos, distribuidos y/o estocásticos, con procesos concurrentes, paralelos y asíncronos [5]. Se las ha utilizado en distintas áreas como en química, redes informáticas, inteligencia artificial, tránsito entre otras.

Como modelo de descripción, una red de Petri (PN, Petri Net) es un grafo orientado en el que intervienen dos clases de nodos: los lugares y las transiciones, unidos alternativamente por arcos dirigidos. También existen las marcas que se suelen representar mediante un punto en el interior de un lugar. El conjunto de marcas asociadas a cada uno de los lugares en un momento dado, constituye un marcado de la PN. Para la descripción funcional de sistemas concurrentes los marcados representan estados y las transiciones sucesos que dependen del cumplimiento de determinadas condiciones.

Las Redes de Petri se definen como una cuádrupla [5], donde P es un conjunto finito y no vacío de lugares, T es un conjunto finito y no vacío de transiciones, F es un conjunto de arcos dirigidos y W es la función que asigna un peso a cada arco.

$$P = \{P, T, F, W\} \quad (1)$$

El modelo de la red vehicular para este proyecto está basado en lo propuesto por Di Febraro [12] quien propone utilizar redes de Petri híbridas, así tomamos ventaja del flujo de tráfico urbano como fluidos, tomando en cuenta el dinamismo de las luces de tráfico y su influencia en flujo de la red, para entonces controlar los vehículos. Las

redes de Petri híbridas con las que contará el simulador están compuestas por redes de Petri continuas (basan su funcionamiento en variables continuas) y redes de Petri discretas (basan su funcionamiento en estados discretos), la regla de disparo se basa en el tiempo asignado a cada fase para pasar de un estado a otro.

Esta red vial está compuesta por tres redes de Petri continuas que modelan el flujo de vehículos que entran a la intersección y a las colas, y tres redes de Petri también continuas que modelan el flujo de vehículos que salen de la intersección (ver Figura 1). Además una red de Petri discreta que representa los semáforos. El marcado en la parte continua de la red representa el número de vehículos que hay en cada lugar. En el modelo discreto, el lugar P_k representa que la fase k está habilitada, el lugar $P_i g$ representa el periodo verde para la fase k y el lugar $P_j a$ representa el periodo de rojo para la fase k .

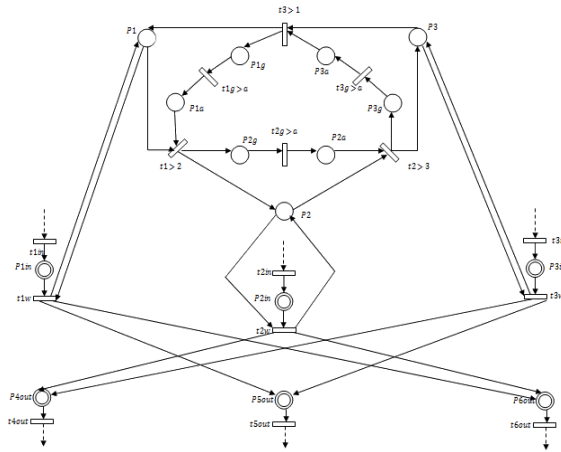


Fig. 1. Modelo de la intersección

2.3 Sistema multiagentes para el control del flujo.

Un sistema multiagentes se basa en agentes, los cuales tienen como propósito ejecutar una tarea o proceso específico en el sistema. En la actualidad no existe una única definición para el término agente, sin embargo, es universalmente aceptado [11] que cada agente debe tener autonomía y a la vez interactuar con otros agentes. Existen dos tipos de agentes en el sistema: agentes de control del flujo en carriles y agentes de control de las intersecciones; los primeros distribuyen el flujo a través de un carril modelado en una red de Petri continua (controlado en base al teorema de Greenberg) y los segundos controlan las intersecciones basándose en una red de Petri discreta la cual controla el sistema de eventos del cambio de fases.

2.4 Sistema de Información Geográfica.

Un sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés) es un conjunto de herramientas, procedimientos y datos que sirven para analizar, visualizar, guardar y transformar información geográfica con un fin específico. Estos sistemas cumplen un papel muy importante en la toma de decisiones en diversas áreas de desarrollo. En este trabajo el GIS que se implementó está constituido por una base de datos de información geográfica para almacenar los datos de la red vial, un servidor de mapas para organizar, procesar y enviar toda esta información al cliente y un módulo del front-end de la aplicación que presenta la información de la simulación y sus resultados al usuario.

3 Arquitectura

Esta herramienta simula los planes de control de flujo vehicular y presenta los resultados mediante una interfaz web además de proporcionar reportes detallados en formato PDF con los resultados arrojados por el sistema multiagentes. La simulación se lleva a cabo en el servidor ejecutándose de manera concurrente con la implementación de hilos en el lenguaje Java. La representación gráfica de la simulación se muestra al usuario en el navegador web con una capa que muestra las imágenes del mapa de la zona geográfica elegida y una capa adicional que muestra la animación del flujo vehicular como si se tratara de un fluido. El usuario del sistema puede modificar las variables del modelo (tasa, densidad, flujo, características físicas de las calles, etc.) y de la simulación (tiempo de simulación, escala, etc.).

En la figura 2 se muestra la arquitectura de la herramienta mediante un diagrama de capas, el cual está formado por tres módulos:

- Capa de datos. Se compone de dos almacenes, por un lado se guarda la información geográfica en una base de datos espacial y por otro la información de los planes y la configuración del simulador en una base de datos relacional.
- Capa lógica. Se compone de 4 módulos principales:
 - El simulador: Se basa en un sistema multiagentes que sincroniza las acciones de los diferentes agentes que controlan el modelo de la red vial. Este modelo se construye con redes de Petri híbridas generadas dinámicamente en base a los datos geoespaciales que definen los carriles y las intersecciones en la simulación.
 - El GIS: Procesa la información geográfica disponible para enviarla a la capa de interfaz de usuario en forma gráfica (imágenes cartográficas usando rasters a través del Web Map Service [14]) o en texto (datos espaciales con el formato vectorial descrito por el Web Feature Service [13]).
 - El módulo de generación del flujo vehicular: Este se basa en una distribución normal para su funcionamiento.

- El módulo de acoplamiento con un software externo de optimización: Este se construyó para comunicarse con una aplicación externa que optimice los tiempos de las fases de los semáforos de una red vehicular.
- Capa de interfaz de usuario. Esta conformada por el componente del GIS que funciona a través de un navegador web y que permite al usuario interactuar con el sistema para analizar y visualizar la información.

Como parte del GIS se creó una base de datos espacial que contiene la descripción de la red vial de una zona geográfica en específico (en este caso del Distrito Federal de México), de manera que funciona como fuente de datos geospaciales para el servidor de mapas. Este servidor de mapas permite crear y renderizar imágenes con zonas geográficas digitales para su consulta y visualización en la Interfaz Gráfica de Usuario y así mismo manipular esta información para ser enviada, interpretada y trabajada por el simulador.

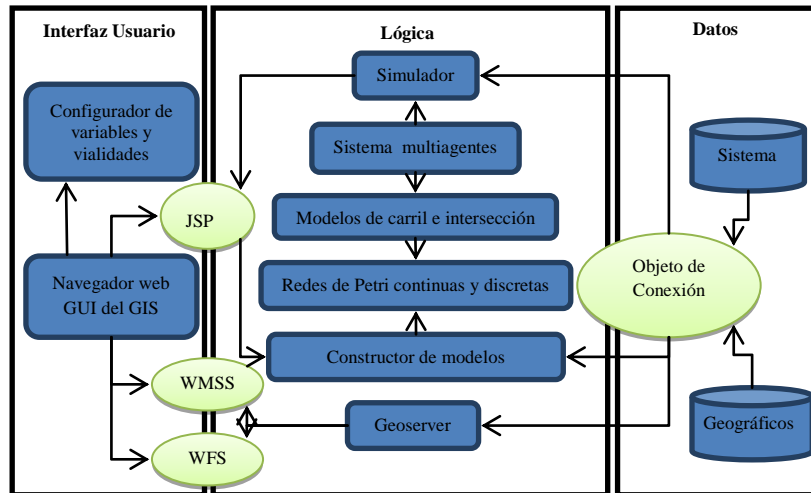


Fig. 2. Arquitectura del Sistema.

4 Resultados

En primera instancia se creó un software secundario optimizador en base a algoritmos evolutivos, que al acoplarse al módulo de optimización de la herramienta se obtuvo en promedio un 35 % de mejora máxima del flujo vehicular.

El proceso de comprobación de los resultados del sistema se realizó a través de un conjunto de cinco pruebas, en las cuales se compararon tanto las características funcionales de la aplicación como el comportamiento lógico de la simulación con respecto a la información teórica contenida en la tesis [11], el trabajo anteriormente citado se eligió como referencia debido a las similitudes en el enfoque de la simulación. A continuación se describe sólo la 005, para mayor referencia sobre las demás pruebas consulte el reporte original del proyecto [10].

Prueba.005: Verificación y comprobación de resultados con respecto a una simulación cuyo resultado es conocido y válido. *Sitio:* SO. Ubuntu 11.04, 4 GB RAM, 8 núcleos. *Condiciones Iniciales:* Se ha configurado el sistema de acuerdo a la verificación de la tesis [11]. La prueba consiste en programar el modelo de la intersección I_k y verificar que la simulación se comporte con un margen de error máximo del 10 % de acuerdo a los datos de referencia, en la figura 3 se puede observar una imagen con la representación gráfica de dicha intersección.

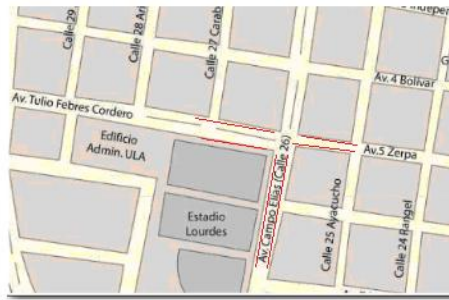


Fig. 3. Representación de la zona geográfica de la simulación.

Los datos con los que inicia la simulación fueron extraídos de la tesis [11] provenientes del Departamento de vialidad de la alcaldía de Mérida Venezuela y son los siguientes:

- El horario de la simulación planteada es de 7:30 a 8:30 de la mañana.
- El flujo mínimo es de 1630 vehículos, el flujo máximo es de 3120 vehículos

En la figura 4 se observa una captura de pantalla de la intersección creada en nuestra herramienta, las flechas verdes indican el sentido de circulación de las calles, las naranjas indican que en esas calles se inyectará el flujo vehicular, y las líneas moradas resaltan las calles que se involucrarán en la simulación.

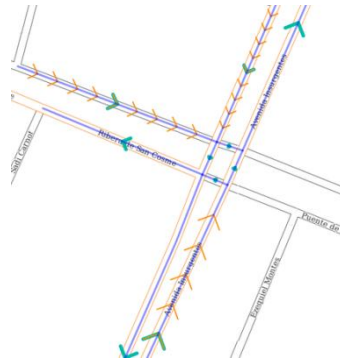


Fig. 4. Imagen que muestra a la intersección I_k modelada en nuestro sistema.

Finalmente en la segunda columna de la tabla 1 se indican los resultados de la prueba de la tesis [11] comparados con los resultados de la simulación hecha por nuestra herramienta presentes en la tercera columna.

Tabla 1. Comparación de resultados de la prueba de referencia contra los del presente trabajo

Característica	Tesis Ref.	Simulador de planes
Total de vehículos generados	3289	3220
Número de autos que cruzan un carril	1803	1855
Número de autos que esperan ser atendidos	1486	1365
Norte de Ac. Campo Elías descarga	1042	1032
Norte de Ac Campo Elías entrada	223	243
Av. 5 Zerpa Descarga	773	793
Av. 5 Zerpa Entrada	140	127
Av. Tulio cordero Entrada	304	319
Av. Tulio Cordero Salida	766	786

Como se puede observar, los datos obtenidos por el simulador de planes para el control de flujo vehicular tienen hasta un 95 por ciento de similitud, por lo que se puede asumir que la prueba es correcta.

5 Conclusiones

La herramienta construida es de gran apoyo al ingeniero de tránsito en la tarea de distribuir el flujo vehicular en la Ciudad de México, pues le permite realizar en 85% menos tiempo la creación, modificación y verificación de planes de control que hoy en día se realiza de manera manual, de la misma manera se evitan cerca del 90% de las implementaciones potencialmente fallidas, minimizando así las pérdidas económicas (recursos humanos, materiales y de tiempo), para finalmente beneficiar a la población que se transporta en automóviles y autobuses al reducir sus tiempos de traslado.

Finalmente concluimos que el sistema es correcto y funcional de acuerdo a los datos que se recopilaron de los resultados de las pruebas realizadas, comparados con los datos de la investigación teórica, principalmente en el manejo del flujo vehicular, las intersecciones y los resultados de la simulación.

Referencias

1. Nicholas J. Garber y Lester A. Hoel "Multiscale Modelling and Simulation", Editorial Cengage Learning, Mexico D.F., Capítulo 6 2005, pp 175-250.
2. Luis R.; Galán, José M.; Santos, José I.; del Olmo, Ricardo. "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas" Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales. Vol. 16. 2008, pp. 851-12.
3. Gómez, M. y Barredo, J.I. "Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio". Editorial Rama. Madrid, España, 2005, pp 40-50
4. S. P. Hoogendoorn y P. H. L. Bovy, "State-of-the-Art of Vehicular Traffic Flow Modeling," Proc. Inst. Mech. Engrs. Parte I. 215, 2001, pp 283-305.
5. Stephen P., Grew Gelman, "Simulations Statics Foundations and Methods", Editorial Academic Press, 1998
6. Laureano F. Escuden Edidewt, "Aplicaciones de la Teoría de Colas". Editorial Deusto Bilbao España, 1972.
7. "GWT OpenLayers", Disponible: <http://www.ohloh.net/p/gwt-openlayers>
8. "OpenStreetMaps Elements", Disponible: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Elements>
9. Hazzard Erik. "OpenLayers 2.10 Beginners Guide". Editorial Packt Publishing Ltd., Birmingham, UK. 2011.
10. Vega-Hernández J. Villanueva-Pastor A. (2011). *Simulador de Planes para el Control del Flujo Vehicular*. (Tesis inédita de pregrado). Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
11. Camacho J (2008). *Estudio del uso del sistema multiagentes para el modelado del tráfico de autos*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
12. Di Febraro, A.. Optimization of Manufacturing Systems Modeled by Timed Petri Nets, Proceedings of Sixth International Workshop on Discrete Event systems, IEEE 2002.
13. "OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification", Disponible: <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs/>.
14. "OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification", Disponible: <http://www.opengeospatial.org/standards/wms/>.