

Planeación del crecimiento urbano mediante OvS considerando el impacto del tráfico.

Baquela, Enrique Gabriel¹, Olivera, Ana Carolina²

¹ GISOI, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional.

Colón 332 – CP: 2900 – San Nicolás de los Arroyos – Buenos Aires - Argentina.

ebaquela@frsn.utn.edu.ar

² Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur.

aco@cs.uns.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se propone una metodología de planeamiento urbano basada en Optimización vía Simulación (OvS), que analiza la dinámica del tráfico vehicular ante escenarios de crecimiento de la urbe.

El objetivo de este desarrollo es encontrar, para un determinado volumen de crecimiento poblacional, la estructura de la red que minimice el tiempo medio de viaje de todos los agentes de tráfico, considerando que gran parte de la estructura topológica de la misma es estática para un horizonte de tiempo acotado.

La metodología desarrollada no solo permite optimizar el loteo de zonas rurales e inversiones en redes de transportes, sino también determinar la mejor ubicación de parques industriales y centros comerciales.

Palabras claves

Tráfico; Optimización; Simulación; SUMO; R

1. Introducción

La distribución de áreas urbanas y centros de comercio y producción en una determinada región es un problema complejo que reviste multitud de aristas. Lamentablemente, en general las decisiones de habilitación de áreas y direccionamientos de incentivos se toman sin una metodología formal para analizar las posibles consecuencias de cada decisión. Una de estas consecuencias es el efecto de la distribución del tráfico vehicular sobre los tiempos de viajes de los integrantes de la urbe.

Los sistemas de tráfico son una parte vital de cualquier complejo urbano, y en general su mal funcionamiento genera malestar en los ciudadanos. Aunque el sistema es altamente sensible a la distribución de los orígenes y destinos de tráfico [1,2,3], el efecto de la misma es tomado muy a la ligera en la toma de decisiones.

En este trabajo proponemos una metodología para evaluar el impacto de la distribución urbana en el tráfico, fácilmente integrable a otras metodologías.

2. Desarrollo

Una red de tráfico se define mediante un grafo en el cual los arcos representan las vías de tráfico, y los nodos las zonas de arribo, partida, trasbordo y modificación de las propiedades de las vías (por ejemplo, ampliación de carriles). Los dos primeros tipos de nodos (arribo y partida) son variables según la franja horaria, pudiendo cambiar tanto en su naturaleza como en el caudal que reciben o generan. Además, asociada a la red, hay un conjunto de lógicas de funcionamiento que terminan de definir el sistema de tráfico completo (tasas de circulación, políticas de semáforos, etc).

En general, en un sistema de tráfico que evoluciona en el tiempo, la red es mucho más estable que las lógicas del modelo. Es decir, la tasa de vehículos que ingresan al sistema puede variar diariamente, se pueden modificar las políticas de semáforos y velocidades máximas sin mucha dificultad, pero modificar factores como el sentido de circulación, cantidad de carriles en una determinada vía, y cantidad de caminos que unen la zona A con la B son mucho más complejos (con complejidad creciente, en estos ejemplos). Sin embargo, ante un horizonte de crecimiento poblacional, se torna necesario redimensionar la red de tráfico, a fin que la misma pueda, por un lado, absorber el nuevo caudal de vehículos, y por otro lado permitir la conexión de zonas no consideradas actualmente.

El objetivo es, entonces, definir la capacidad que vamos a asignar a cada origen y destino de tráfico, de manera tal de minimizar los tiempos medios de viaje. Matemáticamente, se busca resolver el siguiente problema:

$$\text{Min } Z = \sum (t_{ijp} * X_{ijp}) \quad (1)$$

Sujeto a

$$\sum_i X_{ijp} = \text{Población en nodo de origen } i \quad (2)$$

$$\sum_j X_{ijp} = \text{Población en nodo de destino } j \quad (3)$$

$$\sum X_{ijp} = \text{Población vehicular total} \quad (4)$$

Donde i es un nodo de origen, j un nodo de destino y p pertenece al conjunto de todos los caminos que conectan i con j , X_{ijp} es la cantidad de vehículos que debe viajar desde el nodo i al j por el camino p , y t_{ijp} el tiempo promedio que se tarda en ir desde i a j por el camino p .

Nuestra propuesta, enfocada al redimensionamiento de la red en caso de incremento poblacional, hace uso de Optimización vía Simulación para encontrar la alternativa de crecimiento de la red que minimice los impactos en el tráfico.

1.1. Modelo de tráfico

Para determinar la mejor redimensión de la red de tráfico actual fue necesario modelar a la misma, y modelar todas sus ampliaciones posible.

A cada nodo de origen y destino se le definieron dos propiedades adicionales, la capacidad mínima del nodo y la máxima. Con esto, reflejamos el volumen de urbanización que puede tener la zona asociada. Una zona, entonces, puede tener una cantidad de arribos y partidas comprendidas dentro del rango anterior, o bien no pertenecer a la nueva red. La pertenencia o no, de un nodo a la red, implica que los arcos asociados también pueden no pertenecer a la red. Una zona que actualmente ya esté urbanizada, tiene una restricción adicional indicando que su volumen de urbanización tiene que ser mayor o igual a su cota mínima.

1.2. Método de optimización

El problema en cuestión es un problema combinatorio en el cual tenemos que definir para cada nodo de origen o destino una función de densidad de tal manera que se minimicen los tiempos de viaje promedio. La forma que se plantea aquí para resolverlo es la de tratar por OvS el sistema en una franja horaria crítica, de manera de determinar la densidad de los nodos en el periodo de mayor carga del sistema.

1.2.1. Acerca de la OvS

La optimización vía simulación (OvS) se mueve dentro del marco de testear las soluciones en un simulador, generando las mismas mediante alguna técnica heurística [4].

Los problemas atacados se corresponden al siguiente tipo:

$$\min \{g(\mathbf{x}) = E_{\mathbf{x}} [Y(\mathbf{x})]\}, \quad \mathbf{x} \in \Theta \subset \mathcal{R}^d \quad (5)$$

Donde x es una solución factible perteneciente al conjunto de soluciones factibles del problema, $Y(x)$ es la función objetivo devuelta por una corrida del simulador y E es la esperanza matemática de la función objetivo devuelta por el simulador para la solución x evaluada

En estos modelos las restricciones se encuentran definidas implícitamente en la estructura del sistema a simular, pudiéndose añadir restricciones en forma explícita.

En la OvS se maneja al bloque de simulación y al de optimización como dos cajas negras independientes, en el cual una envía una propuesta de solución y la otra se encarga de su evaluación [5].

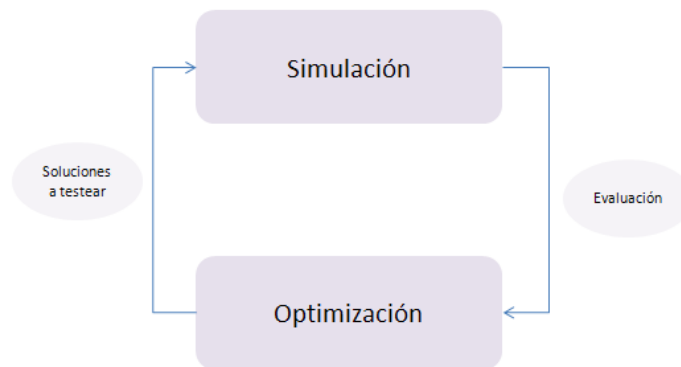


Figura 1 Esquema de algoritmo general de Optimización vía Simulación (OvS).

1.2.2. Acerca de SUMO

Con el objetivo de obtener una evaluación lo mas real de la función objetivo, la misma se estima mediante simulación microscópica de tráfico. Esta es un tipo de simulación de agentes discretos en el cual se simula el comportamiento de cada vehículo, restringiendo sus movimientos a la red de tráfico y regulando su comportamiento mediante un mecanismo sencillo, en general del tipo “Car-Following”, en el cual la velocidad de cada vehículo depende del vehículo situado adelante.

El software utilizado para la simulación fue SUMO (*Simulation of Urban MObility*) [6], el cual es free software, licenciado bajo GNU GPL, y cuyas características, entre otras, son ser altamente portable, capaz de recibir como input mapas reales (a través de Google Maps u Open Street Maps), modelando las redes de tráfico con sus características completas (carriles, semáforos, sendas peatonales, etc.), además de permitir definir un gran número de propiedades en los vehículos, como tasas de aceleración y desaceleración, velocidades máximas, habilidad del conductor, etc. SUMO modela la red de tráfico mediante grafos en el cual los nodos representan intersecciones, orígenes y finalizaciones de líneas de tráfico. En nuestro problema, abstraemos estos nodos para representar los orígenes y destinos de tráfico.

1.2.3. Acerca de RSUMO

RSUMO [7] es un paquete para R [8] que, además de funcionar a modo de interface con SUMO, permite realizar análisis estadísticos de redes y rutas de tráfico. Convierte las estructuras de datos de SUMO de estilo XML en “data frames” de R, los cuales poseen estructura tabular y son más apropiados para muestreo de datos e inferencia.

1.3. Algoritmo general de cálculo

A fin de obtener la alternativa de crecimiento que minimice los tiempos promedio de viaje, se desarrolló un procedimiento de optimización basado en OvS. SUMO actuó a modo de simulador, mientras que R controlaba el proceso y ejecutaba el optimizador. Para optimizar se eligió un algoritmo genético simple, con tasa de mutación de 5%, cruzamientos en parejas (50%-50%) y población de tamaño 100. El paquete utilizado fue “genalg” [9]. El fenotipo de cada solución es un listado de valores ordenados que indican cuanta capacidad asignar a cada nodo.

El procedimiento de OvS toma como parámetros de entrada una lista con todos los nodos de origen y destino, con sus capacidades máximas y mínimas, además del tamaño de población total deseado y la red de tráfico ampliada. Para cada solución a evaluar, la asignación de cada vehículo a un par origen-destino se genera proporcionalmente al producto de sus capacidades, de manera tal que cada origen envíe vehículos a todos los destinos y cada destino reciba vehículos de todos los orígenes. Las suma del total de salidas de todos los orígenes debe ser igual a la suma del total de arribos a todos los destino, iguales ambas a la población vehicular total. Luego, se simulan las soluciones y se computa el tiempo medio de viaje en el sistema, como medida de la performance del mismo.

3. Experimentos

Para evaluar nuestro algoritmo, se utilizaron redes aleatorias generadas con SUMO. Este software permite generar 3 tipos de redes aleatorias (grid, random y spider):



Figura 2 *Redes tipo Grid, Random y Spider.*

Se generaron 3 redes aleatorias de cada tipo, cada una con 5 configuraciones de capacidad máxima y mínima en un subconjunto de nodos, elegidos aleatoriamente como nodos de origen y destino. Se aplicó el algoritmo de OvS con algoritmo genético y se lo contrastó con un muestreo generado por asignaciones aleatorias distribuidas uniformemente sobre cada caso. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 1 Comparativa de resultados

Modelo	Tiempo viaje / Tiempo promedio muestreado	Tiempo viaje / Tiempo menor muestreado
Grid-1	0,087	1,010
Grid-2	0,136	1,023
Grid-3	0,092	1,094
Spider-1	0,129	1,031
Spider-2	0,149	1,037
Spider-3	0,113	1,040
Random-1	0,089	1,028
Random-2	0,122	1,030
Random-3	0,229	1,075

Las soluciones generadas se aproximan al mínimo muestreado, y son muy superiores a la media del muestreo de las soluciones factibles.

4. Líneas de investigaciones futuras:

El trabajo presenta varias vetas para continuar ampliando el desarrollo. Algunas de ellas:

- Modificación de la capacidad de los arcos de la red, no solamente de los nodos de origen y destino.
- Verificar otras posibles métricas distintas a la del tiempo medio de viaje, por ejemplo, la mediana o el tiempo del percentil 95%.
- Posibilidad de realizar forecasting sobre el tiempo de viaje mediante corridas de simulación parciales.
- Inclusión de análisis de polución generada por la distribución de tráfico.

5. Conclusiones

La potencia de cálculo de las computadoras actuales, sumadas al software disponible, permite evaluar en una forma más precisa el impacto de cambios en la estructura urbana. La aplicación de OvS a sistemas complejos permite analizar el impacto real de cambios en los mismos, mejorando la toma de decisiones a un costo no necesariamente mucho más alto. La metodología aquí presentada es conceptualmente sencilla pero potente en sus resultados, y permite ampliarla para el tratamiento de otros efectos de la distribución y crecimiento urbano.

6. Referencias

- [1] He, C.; Okada, N.; et al (2008). "Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata". *Landscape and Urban Planning* 86, 1, 79-91.

- [2] He, C.; Tian, J.; et al (2011). "Simulation of the spatial stress due to urban expansion on the wetlands in beijing, china using a gis-based assessment model". *Landscape and Urban Planning* 101, 3, 269-277.
- [3] Poelmans, L.; Rompaey, A. (2010). "Complexity and performance of urban expansion models". *Computers, Environment and Urban Systems* 34, 1, 17-27.
- [4] Averill, M.; McComas, G. (2000). "Simulation-Based Optimization". *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 46-49.
- [5] Fu, M. (2002). "Optimisation for simulation: Theory vs. practice". *INFORMS Journal on Computing* 14, 3, 192-215.
- [6] Behrisch, M.; Bieker, L.; et al (2011). "Sumo - simulation of urban mobility: An overview". *SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation, Barcelona, Spain (October 2011)* 63–68.
- [7] Baquela, E.; Olivera, A. (2013). "RSUMO".
<http://www.modelizandosistemas.com.ar/p/rsumo.html>
- [8] R Core Team (2012). "R: A language and environment for statistical computing". *R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria*. [Http://www.R-project.org](http://www.R-project.org)
- [9] Willighagen, E. (2012). "Genalg: R Based Genetic Algorithm – R Package version 0.1.1".
<http://cran.r-project.org/web/packages/genalg/index.html>