

Prototipo de simulador de tráfico vehicular

F. Mayorano^a, J.P. D'Amato^a, A. Rubiales^a y P. Lotito^a

^aCONICET - Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro
7000 Tandil, Argentina
Tel/Fax: (02293)- 439690
{fmayoran, jpdamato, arubiale, plotito}@exa.unicen.edu.ar

1. Introducción

Durante las últimas décadas se ha visto un notable crecimiento en las investigaciones dedicadas a solucionar distintos problemas de transporte. Dentro de estos problemas, el desarrollo de sistemas de control vehicular se ha convertido en uno de los más estudiados. Este aumento de interés en los problemas de tránsito se debe al creciente aumento de vehículos, lo cual produce serios problemas de congestión en centros urbanos, además de efectos nocivos cada vez más notorios.

En la siguiente sección se describen los distintos modelos existentes para la representación del flujo vehicular. En la sección 3 se mencionan las modificaciones que se realizaron a dichos métodos sobre la base del modelo *car-following* para representar la dinámica de los vehículos. En la sección 4 se describe la manera de modelar la red de transporte. En la sección 5 se describe la representación gráfica implementada para visualizar el comportamiento del modelo de simulación. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y posibles trabajos futuros.

2. Modelos de flujo vehicular

La disponibilidad de modelos matemáticos que describan el fenómeno del flujo vehicular es un importante requisito para la aplicación de la teoría de control matemático. Para ello se han estudiado distintos enfoques para la simulación del tráfico. Estos enfoques se pueden separar en tres grandes ramas, los modelos macroscópicos, los mesoscópicos y los modelos microscópicos.

Los modelos macroscópicos se enfocan en captar las relaciones entre velocidad de los vehículos, flujo y densidad de tráfico. Estos modelos son continuos y utilizan ecuaciones diferenciales.

Los modelos mesoscópicos utilizan métodos estadísticos para expresar la probabilidad de que un vehículo se encuentre en cierto momento en una posición determinada.

Finalmente, los modelos microscópicos tratan de modelar el tránsito describiendo el comportamiento individual de cada uno de los vehículos. Este comportamiento se ve afectado por el comportamiento de los demás vehículos, lo que provoca que exista una interacción entre todos los vehículos que forman parte del sistema. Dentro de los modelos microscópicos, se destacan los modelos *car-following* [Papageorgiou, 1983] y los basados en autómatas celulares [Nagel, 2002].

En nuestro trabajo, se investigaron los distintos modelos, desarrollando un prototipo basado en el modelo *car-following*.

3. Dinámica de los vehículos

El modelo inicial que se utilizó para describir la dinámica de los vehículos es car- following. En este modelo se considera que los vehículos se mueven sobre una recta. La posición de cada uno de los vehículos queda determinada por su posición actual, la posición del vehículo precedente, y su velocidad:

$$x_n - x_{n+1} = L + S \dot{x}_{n+1}$$

L : largo del vehículo n

S : coeficiente de separación

En esta fórmula se asume que cada conductor ($n+1$) mantiene una distancia proporcional a su velocidad más una distancia L , que es la longitud del vehículo precedente (n). [Figura 3.1]

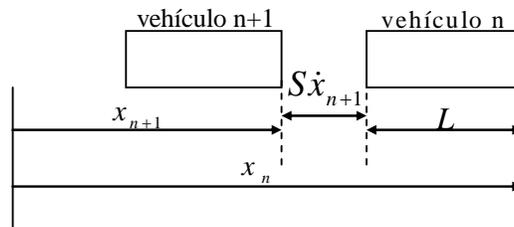


Figura 3.1: Representación de dos vehículos

Si diferenciamos la regla anterior obtenemos que la aceleración o desaceleración de un vehículo es proporcional a la velocidad relativa entre dicho vehículo y el que lo precede.

$$\ddot{x}_{n+1} = \frac{1}{S} (\dot{x}_n - \dot{x}_{n+1})$$

Definiendo un factor $\lambda = 1/S$ e introduciendo un tiempo τ de retraso de la respuesta obtenemos

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \tau) = \lambda [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

Si bien esto es suficiente para considerar algunos casos particulares, para lograr una mejor representación del comportamiento del flujo vehicular, se introdujeron una serie de parámetros propios a cada uno de los vehículos. Estos parámetros incluyen: velocidad máxima, aceleración máxima, desaceleración máxima, longitud del vehículo.

En nuestro modelo, la posición de un vehículo ahora está dada por una serie de reglas que incluyen la posición del vehículo que se encuentra adelante, la velocidad relativa entre los dos vehículos, la velocidad máxima posible, la máxima aceleración o desaceleración. A continuación se presente un pseudocódigo mostrando la nueva regla de movimiento.

```

si (posVehAdel - posVeh > (velVeh*(S+deltaT))) //debo acelerar
    velVeh := velVeh + (acelVeh*deltaT); //acelero al máximo
    //para no acelerar más que lo que me permite el vehiculo de adelante
    velVeh := Min(velVeh, (posVehAdel - posVeh - (velVeh*S))/deltaT);
sino //debo frenar
    velVeh :=
        Max(velVeh + (desacelVel*deltaT), (posVehAdel - posVeh - (velVeh*S))/deltaT);
velVeh := Min(maxVelVeh, velVeh); //para no sobrepasar la velocidad máxima

posVeh := posVeh + (velVeh*deltaT);
    
```

4. Descripción de la red de transporte

Los modelos de car following, como se puede observar, consideran el comportamiento de los vehículos sobre un único camino. Para la representación de un centro urbano, es necesario realizar modificaciones a dicho modelo para incluir una red (o grafo) en donde cada uno de los arcos representa una calle y los nodos del grafo representan una intersección. Esta representación permite modelizar cualquier tipo de red de transporte.

Desde el punto de vista del modelo utilizado, es necesario considerar que un vehículo que llega al final de una calle, en lugar de desaparecer del sistema, debe ingresar en alguno de las siguientes calles del sistema. Sólo aquellos vehículos que llegan al final de una calle que no tiene predecesores salen del sistema.

Otra modificación que se debe realizar en el modelo es la posibilidad de considerar varios carriles dentro de una calle. Cada uno de los carriles representa las vías que tiene una calle. Esta incorporación de carriles permite que un vehículo que viene con una velocidad mayor que su predecesor, pueda desplazarse a un carril de mayor velocidad para sobrepasar al vehículo lento. Además, esto permite modelar el comportamiento de cierto vehículo que tiene la necesidad de detenerse en algún punto del camino (por ejemplo para el transporte público de pasajero) o simplemente un vehículo que desea estacionar sobre el camino, sin provocar que todos los vehículos detrás de éste deben detenerse. En nuestro modelo, cuando un vehículo con cierta velocidad alcanza a otro vehículo que circula en el mismo carril pero se desplaza a una velocidad inferior, trata de cambiar a un carril de mayor velocidad para realizar el sobrepaso. Para cambiar de carril verifica previamente que la posición en donde se va a ubicar en el nuevo carril no está ocupada actualmente por otro vehículo. Si esto ocurre, el vehículo se posiciona en el nuevo carril (de mayor velocidad). También se brinda la posibilidad de que un vehículo se coloque en un carril de menor velocidad, para lo cual, también debe verificar que pueda colocarse en dicho carril.

En lo que respecta a las intersecciones, se modelaron los semáforos. Un semáforo indica, para cada instante de tiempo, los movimientos permitidos para cada una de las calles que llegan a la intersección. Cuando el semáforo da paso a los autos de una calle, dichos vehículos comienzan a acelerar de manera tal de cruzar a la siguiente calle (o salir del sistema), mientras que los vehículos de las otras calles que ingresan a la intersección, deben permanecer detenidos esperando que les toque su turno para avanzar.

Otra importante incorporación que se hizo en el modelo es considerar la propagación de las congestiones. Cuando una calle se bloquea, por cierto tiempo siguen entrando vehículos a dicha calle hasta que la calle se satura, en este momento, los vehículos de las calles predecesoras a ésta comienzan a verse afectados por la congestión, sin poder avanzar, más allá de que el semáforo los habilite para hacerlo.

En nuestro modelo de car-following modificado se implementaron todos los comportamientos antes mencionados para representar de la mejor manera el comportamiento que se observa en la realidad. Como se mencionó anteriormente, el sistema en su totalidad se mueve sobre una red de calles. Esta estructura, luego se adapta de acuerdo al sub-sistema que lo utiliza: el módulo de simulación requiere únicamente la información de cómo las calles se vinculan y la longitud [Figura 4.1]. El módulo visual, requiere una representación de la realidad de la calle para lograr un modelo más realista [Figura 4.2].

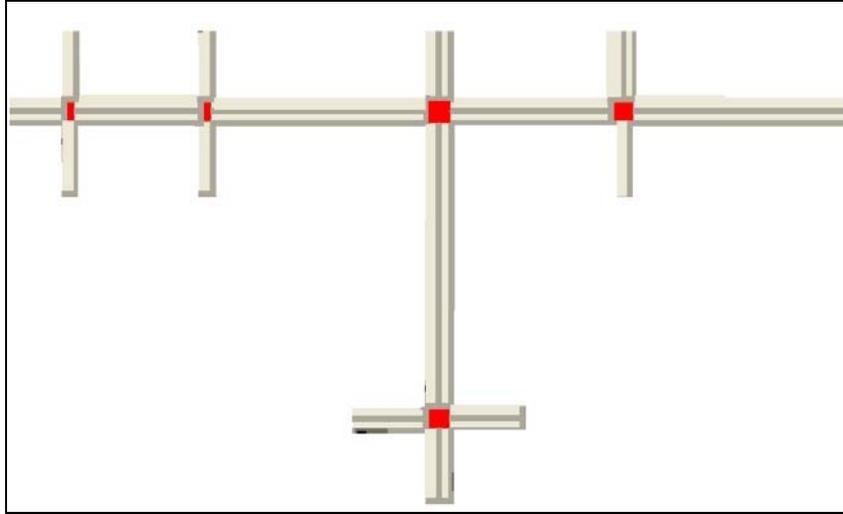


Figura 4.1: Representación utilizada por el simulador. En rojo se indican las intersecciones de calles

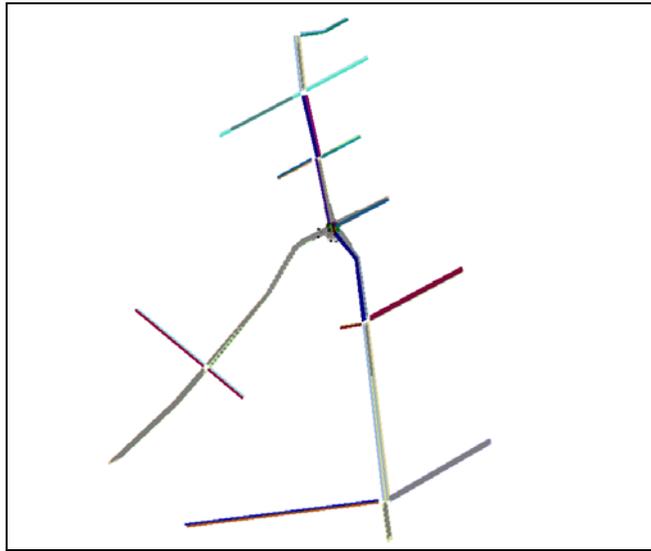


Figura 4.2: Representación utilizada por el visualizador 3D.

5. Visualización del simulador

Se ha recreado una sección de una ciudad mediante la configuración de una red de calles y la generación de un entorno 3D virtual, tal como se propone en [Tang, 2001]. Esta información, junto con el simulador, permite recrear una vista interactiva del escenario propuesto. Para el sub-sistema de visualización, se utilizó la tecnología desarrollada para [D'Amato, 2005].

En tiempo real, este módulo se alimenta con la posición y tipo de cada vehículo que se encuentra en el simulador. La visualización no se actualiza al mismo tiempo que la simulación; es por eso que al momento de representar las posiciones y direcciones de los vehículos dentro del entorno 3D, los datos se calculan mediante interpolación, en función de la posición actual y la anterior provistas por el simulador.

Con esta aplicación, el usuario puede seleccionar distintos puntos de observación del entorno, cambiar condiciones del día y rotar la vista. La salida de esta visualización, será en un trabajo futuro utilizada por un módulo de procesamiento de imágenes para el reconocimiento de vehículos en la escena. En la [Figura 5.1] se muestran distintos puntos de vista del escenario creado.



Figura 5.1: Puntos de vista de la escena

6. Conclusiones y trabajos futuros

Se ha desarrollado un prototipo de simulación microscópica mediante la aplicación del modelo car-following. Dicho enfoque ha sido complementado para poder representar el comportamiento de una red de transporte correspondiente a un centro urbano. Luego se desarrolló un entorno 3D para la visualización del tráfico. Esta visualización potencia la inspección ocular del simulador, y tiene el potencial de recrear situaciones interesantes como cruce de peatones, accidentes y similares.

La estrategia de desarrollo propuesta para el sistema ha facilitado la validación del modelo de simulación, obteniendo resultados coherentes y efectivos en poco tiempo, resultando ser fácilmente adaptable para representar distintos centros urbanos.

Este sistema tiene el objetivo claro de ser usado como prototipo del sistema real, con las facilidades que nos provee la simulación para reducir los costos de implantación.

7. Referencias

Papageorgiou M. "Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control", Springer, 1983.

Kai Nagel, "Cellular Automata Models for Transportation Applications", Springer, 2002

Tang W., Wan. T. "Synthetic Vision for Road Traffic Simulation in Virtual Environment", Intelligent Agents, Mobile Media and Internet Applications, 23-23 April 2001, Bradford UK

D'Amato Juan Pablo, Garcia Cristian, Vénere Marcelo "Editor de escenarios para aplicaciones de Realidad Virtual", en 34° Jornadas Arg. de Informática e Investig. Operativa, JAIIO 2005.