

“Modelo basado en autómatas celulares para la simulación vehicular”

Monetti Julio^a, Tissera Cristian^b, Bianchini Germán^c, Caymes-Scutari Paola^{c,d}

^aLaboratorio de Integración de Tecnologías Aplicadas a Prototipos de Software. UTN-FRM

^bLaboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC). UNSL

^cLaboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido. UTN-FRM

^dConsejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

jmonetti@frm.utn.edu.ar

Resumen

El tráfico vehicular es uno de los problemas más críticos en los centros urbanos actuales. Se debe considerar que los vehículos son los principales consumidores de combustible fósil y, por lo tanto, son la fuente principal de la contaminación urbana. Conocer la distribución espacial y temporal del tráfico vehicular a priori, permite luego conocer también otras variables, como lo son el flujo y la densidad. A partir del análisis de estas variables, se han propuesto varios modelos para analizar, tanto a nivel macroscópico como a nivel microscópico. Un ejemplo de estos modelos son aquellos que estudian fenómenos como el congestionamiento.

Un autómata celular (AC) es un modelo matemático para un sistema dinámico, compuesto por un conjunto de celdas (o células) que adquieren distintos estados a través del paso del tiempo. Su evolución dinámica ocurre de forma sincrónica en todas las celdas de la retícula y cada sitio actualiza su estado según una regla local que depende de los estados de las celdas contiguas, las cuales conforman su vecindario.

En el trabajo se presenta una simulación codificada en lenguaje Java, basada en el modelo NaSch, donde se observa que a medida que se incrementa el flujo, la densidad también se incrementa, con lo cual se comprueba la relación flujo-densidad.

Palabras clave: Autómata celular, Modelo NaSch, Simulación.

INTRODUCCIÓN

Modelar el problema del transporte es una actividad sumamente importante por su dinámica y las consecuencias que tiene el tráfico vehicular en la vida real. Por ende, la simulación de tráfico adquiere a continuación un creciente interés debido al incremento de movilidad que sufren las ciudades hoy en día. El objetivo principal del control del flujo de tráfico y el diseño de la red vial es brindar una descripción del flujo de tráfico, principalmente para responder a la pregunta de cómo es dicho flujo de tráfico con respecto al nivel de flujo de demanda de la red. Estos objetivos se ven materializados en el planeamiento de redes viales para necesidades futuras, y la regulación del tráfico actual para resolver problemas a corto plazo.

El requerimiento de sistemas capaces de predecir de forma objetiva el comportamiento del tráfico de vehículos en centros urbanos, conlleva al estudio de

diferentes modelos para simulación. La realización de simulaciones, y el análisis de los resultados de estas, permite extraer conclusiones que llevan a un mejor entendimiento de la situación del tráfico, ofreciendo soluciones a los problemas encontrados.

El presente trabajo se centra en reproducir la relación flujo-densidad, que es la más importante para reflejar la dinámica del tráfico.

OBJETIVOS

El objetivo del presente artículo es replicar el modelo de Nagel y Schreckenberg [3] a través de una aplicación codificada en lenguaje Java, observando en la simulación situaciones del flujo, como por ejemplo la congestión vehicular.

MATERIALES Y MÉTODOS Flujo, Densidad y Velocidad

Para el correcto modelado de flujo vehicular, se deben considerar las variables fundamentales de tránsito. El flujo o volumen F es un parámetro macroscópico que determina la cantidad de vehículos que pasan por un punto específico en un tiempo específico. Se calcula como:

$$F = n(x)/t \quad (1)$$

Donde $n(x)$ es la cantidad de vehículos que atraviesa la posición x del tramo bajo estudio, y t es el intervalo temporal analizado.

La densidad se define como la cantidad de vehículos presentes en un tramo de la vía, para un momento dado, y se expresa como vehículos por kilómetro.



Fig 1. Relación flujo-densidad

En la figura 1 puede visualizarse la relación que existe entre flujo y densidad. Hasta el punto a se observa que flujo y densidad crecen, ya que se presenta una situación de flujo libre. A partir del punto a , cuando la densidad comienza a ser mayor, comienza también a existir mayor rozamiento entre los vehículos, observándose la generación de atascos, con lo cual el flujo comienza a disminuir.

Una forma particular de medir la densidad puede ser a través del conteo de vehículos sobre una fotografía de un tramo de la vía, sin embargo, esta variable generalmente no es medida, ya que es posible obtenerla a partir de medidas de velocidad y flujo, y la relación que existe entre ellas.

Dada la variabilidad que presenta la velocidad en forma individual, como de un grupo de vehículos, puede ser compleja su medición y tratamiento. La velocidad en un tramo de vía bajo estudio varía mucho de unos conductores a otros. Incluso cuando se analiza la velocidad de un único vehículo, esta no es constante,

aunque el conductor intente mantenerla fija, situación que complejiza el modelado y simulación.

El modelo NaSch

En los inicios de la década de 1990 el modelo conocido como NaSch (por sus creadores Kai Nagel y Michael Schreckenberg) se popularizó debido a su facilidad para generar reglas simples de modelación usando AC unidimensionales para describir situaciones de tráfico [3][4]. El modelo considera elementos como aceleración, desaceleración, frenado aleatorio y movimiento, que permiten simular el tráfico en una vía de manera realista. Los vehículos modifican su velocidad y avanzan en función de la distancia al vehículo de adelante y factores aleatorios. Los vehículos avanzan de una celda a otra en pasos discretos de tiempo, siguiendo reglas simples, pero que utilizadas adecuadamente permiten modelar la realidad. Estas reglas son:

- Aceleración: Si la velocidad del vehículo es menor que su velocidad máxima y no hay vehículos delante, acelera en una unidad.
- Desaceleración: Si la distancia al vehículo de adelante es menor o igual a su velocidad actual, reduce su velocidad a la distancia disponible.
- Frenado Aleatorio: Con una probabilidad preestablecida, un vehículo reduce la velocidad de forma aleatoria, simulando comportamientos humanos.
- Movimiento: Los vehículos avanzan en la cuadrícula.

Simulación en Java

Basado en el modelo NaSch se considera un AC unidimensional (L, Q, V, φ) , donde se toma un espacio celular de longitud L , con una cantidad de 250 celdas, $Q = \{0, 1\}$ como conjunto de estados, donde 0 representa una celda desocupada, y 1 una celda ocupada por un vehículo (o agente). También, se considera la vecindad de cada celda C_i como el conjunto $V = \{C_{i-1}; C_{i+1}\}$ compuesto por las celdas vecinas a izquierda y a derecha, excepto la primer y última celda de la cuadrícula, las cuales no cuentan con un vecino izquierdo y derecho respectivamente. La función de transición φ es aquella que se considera para realizar el movimiento de un agente hacia la celda de la

derecha. Esta función considera el parámetro probabilístico p relacionado a la desaceleración del agente. El modelo no supone la posibilidad de sobrepasos, por lo que el avance del vehículo depende del vehículo precedente. Para la implementación del modelo, se considera una vía dividida en L celdas todas del mismo tamaño de 6×2 m, tamaño suficiente para contener un vehículo estándar [2]. La velocidad máxima de un vehículo es igual a 3, esto es, puede avanzar máximo 3 celdas y se denota v_{Max} . El espacio entre vehículos se denota por g . Para iniciar el proceso es necesario tener una configuración inicial la cual va a depender de la cantidad de vehículos en la vía, esto es la densidad vehicular $\rho = \text{Cantidad de vehículos} / L = 0$ y una probabilidad de desaceleración p .

El modelo considera un 1 en la celda donde existe un vehículo y 0 para un espacio vacío. Si v es la velocidad de un vehículo cualquiera en el estado actual entonces, la velocidad o el avance que va a tener el siguiente tiempo se calcula siguiendo las siguientes reglas:

Si $v < v_{Max}$ y $v < g$, entonces la velocidad del vehículo se actualiza a $v+1$.

Si $v > g$, entonces la velocidad se actualiza al valor g .

Para cada agente residente en una celda se genera un número aleatorio $r \in (0,1)$. Si $r < p$ y $v > 0$ entonces, la velocidad se actualiza a $v-1$. Si el agente no alcanzó el extremo derecho de la vía, avanza a la velocidad actualizada.

Se ha realizado la codificación del modelo NaSch en lenguaje Java, teniendo en cuenta la utilización de hilos de ejecución (threads) para modelar los agentes (clase *Agente*) que circulan a través del AC evolucionando de forma sincronizada.

Para contener el AC se considera un arreglo unidimensional de objetos de la clase *Celda*, la cual encapsula variables para describir el estado local en un momento dado.

Cada agente contiene una referencia al AC para modificar el estado de sus celdas, y lleva a cabo los pasos del modelo NaSch, esto es: aceleración, desaceleración, frenado aleatorio y movimiento.

La densidad se mide de acuerdo al grado de rozamiento entre los diferentes vehículos. Este rozamiento se puede percibir por la cantidad de

frenadas que se observan en el tramo, es decir, cuando un agente descubre que la celda próxima está ocupada.

El programa cuenta con un proceso generador de vehículos que genera cada cierto tiempo un vehículo que se incorpora a la simulación desde el extremo izquierdo de la vía. Si se disminuye el tiempo entre generación de agentes, se aumenta el flujo F .

RESULTADOS

Se observa que a medida que se incrementa el flujo, la densidad también se incrementa, con lo cual se comprueba la relación de la figura 1. Este particular se puede evidenciar a través de la cantidad creciente de frenadas que experimentan los agentes.

Por otro lado, cuando el proceso generador produce los agentes a simular cada mayor cantidad de segundos, se observa menor densidad vehicular en la simulación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La simpleza del modelo NaSch permite comenzar con una simulación básica, la cual puede representar la realidad y presentar oportunidades de simulación más precisa y completa. Esto permite escalar la solución, contemplando nuevas variables y modificaciones al modelo. Se avanzó con una primera aproximación, modelando y codificando en lenguaje Java el conjunto de reglas que gobiernan el modelo NaSch, pudiendo reproducir medidas de flujo y densidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wolfram, S. Theory and Applications of Cellular Automata. World Scientific, Singapore. (1986)
- [2] Longitud promedio del automóvil. Disponible en: <https://www.way.com/es/blog/average-car-length/>
- [3] Schadschneider, A. The Nagel-Schreckenberg model revisited. arXiv:cond-mat/9902170v1. (2018)
- [4] Ruiz, L & Tineo, A. Una revisión de modelos de tráfico automotor usando autómatas celulares. NOVASINERGIA 2019, Vol. 2, No. 2. Universidad Nacional de Chimborazo. (2019)