

Loiseau, Irene (octubre 2007). *Optimización en sistemas de control de semáforos : Verde, amarillo, rojo*. En: Encrucijadas, no. 42. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubasibbi.uba.ar>>

Optimización en sistemas de control de semáforos

Verde, amarillo, rojo.

La buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de cada uno de los mismos son herramientas fundamentales para tratar de resolver los problemas de congestión de tránsito y sobresaturación de vehículos. Cuando, además, no existe la posibilidad de construir nuevas vías rápidas o autopistas, puede ser la única solución para mejorar la situación.

Irene Loiseau

Profesora Asociada Dedicación Exclusiva
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Las congestiones de tránsito en horas pico son un problema cada vez más acuciante en las grandes ciudades. Incluso cuando la sobresaturación de vehículos dura poco y ocurre en una pequeña región o en una esquina en particular, su efecto negativo en el flujo del tráfico puede prolongarse por bastante tiempo. La sobresaturación se define como la situación en la cual los vehículos no pueden moverse libremente debido a la cantidad de autos que están en una intersección o a las colas que se han armado en las calles por las cuales se puede salir de la intersección.

Por otro lado, cuando no hay congestión queremos también que los vehículos atraviesen distintas zonas de la ciudad, o circulen por las vías principales en el menor tiempo posible. La buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de cada uno de los mismos son herramientas fundamentales para tratar de resolver estos problemas. Cuando, como ocurre en muchos casos, no existe la posibilidad de construir nuevas vías rápidas o autopistas, puede ser además, la única solución para mejorar la situación.

Coordinar o planificar un semáforo incluye esencialmente decidir cuál es la duración del ciclo completo del mismo, y cuál es la duración del verde en cada dirección de cada una de las calles que son parte de la intersección. (Hay otros detalles, como por ejemplo el tiempo de entreverde).

El funcionamiento actual de los semáforos y su estudio

Tradicionalmente, y todavía en la práctica en la mayoría de los casos, los semáforos tienen un ciclo de duración fija durante un cierto período de tiempo, siguiendo un plan que en los lugares críticos varía según la hora del día. En las avenidas importantes de una sola mano estos planes proveen la bien conocida "onda verde", que permite circular a una velocidad establecida sin parar a lo largo de las mismas, (si el tránsito lo permite, es decir en condiciones de no saturación). Para establecer estos planes los especialistas a cargo

de controlar de tránsito, se basan principalmente en información estadística sobre la circulación a diferentes horas del día.

Los problemas de optimizar el funcionamiento de los semáforos en condiciones de saturación se han estudiado desde los 60, sin embargo no se han podido desarrollar hasta ahora buenas herramientas que resuelvan el problema completo. Hasta donde llega nuestro conocimiento, no se han podido definir modelos matemáticos que contemplen todos los factores en juego, ni se han construido métodos computacionales para resolverlos que puedan ser implementados eficientemente en la práctica en regiones complicadas o grandes. Este estudio requiere el uso de herramientas de varias áreas de la matemática, principalmente teoría de colas, simulación y optimización.

Inicialmente se estudiaron modelos para describir el comportamiento de pelotones de vehículos y formación de colas. Dentro de este contexto, hay buenos estudios de comportamiento de colas, y un conocido modelo de dispersión de un pelotón de vehículos que está considerado como suficientemente validado para describir el comportamiento del flujo de tránsito en una intersección, si se usan parámetros adecuados, no siempre fáciles de calibrar. Varios autores usan estos resultados como parte de sus propuestas para tratar problemas más complejos.

Como un avance con respecto a los sistemas más tradicionales de control de semáforos, todavía en uso, que se basan en información estadística sobre el tráfico y toman decisiones off-line, en la actualidad se trabaja en el desarrollo de sistemas automáticos de control de tránsito. El objetivo de los mismos es regular automáticamente los ciclos de los semáforos en una región de la ciudad, a partir de la información provista por sensores instalados en las esquinas.

Estas propuestas están basadas en los avances en comunicaciones, control y capacidad de cálculo de las computadoras, que permiten usar rápidamente los datos de la calle, procesar esos datos en tiempo real, y usar controladores para fijar el nuevo ciclo del semáforo.

A partir de la información de los detectores se usan algunas de las fórmulas o métodos propuestos en la literatura para predecir el flujo de vehículos entre intersecciones, el tamaño de las colas, el porcentaje de vehículos que doblan o siguen derecho en cada esquina, etc.

Cómo implementar los modelos en la práctica

Con estos datos se proponen modelos que intentan representar el problema "microscópico" de optimizar una única intersección o el problema "macroscópico" de optimizar el flujo del tránsito a través de una red de intersecciones o a un corredor de circulación. En ambos casos el objetivo puede ser minimizar las colas de autos en las esquinas o maximizar el flujo saliente en cada una de ellas; o disminuir el tiempo que le lleva a un vehículo o a un pelotón atravesar una región o el número de detenciones que debe sufrir en promedio cada vehículo al circular por un área.

Para que estos sistemas sean útiles en la práctica, ambos problemas deberían ser tratados simultáneamente, o sea, querríamos optimizar el ciclo del semáforo en función de la situación en cada esquina, y al mismo tiempo mantener la coordinación entre intersecciones adyacentes y permitir que el tráfico sea fluido a lo largo de la red que se está controlando. Si los modelos sólo optimizan cada esquina en forma individual se puede perder la posibilidad de coordinar un grupo más grande de intersecciones. Eso se intenta resolver de diferentes formas en los distintos sistemas. Algunos incluyen ecuaciones que relacionan los sistemas de cada esquina entre si. Otros, realizan simulaciones limitadas sobre el efecto que una decisión en una esquina puede producir en esquinas próximas. Algunos trabajos abordan parte del problema global o plantean modelos jerárquicos que dividen el problema en partes que se resuelven independientemente usando la información de los sistemas micro para resolver los sistemas de jerarquías superiores. Otras propuestas presuponen que si se optimiza cada esquina se obtendrá una optimización global pero esto en la práctica se ve que no es así. Hasta donde llega nuestro conocimiento no se ha conseguido aún desarrollar un sistema que optimice todos estos objetivos simultáneamente. Ninguna de las propuestas existentes incluye una metodología que pueda hasta el momento considerarse exitosa en todos los casos.

Para resolver los problemas de optimización involucrados en estos sistemas hay trabajos que usan programación dinámica, programación entera mixta, algoritmos de flujo, algoritmos basados en reglas lógicas y en muchos otros tipos de heurísticas. Los problemas de control automático de semáforos en tiempo real son entonces de gran importancia práctica y presentan todavía grandes desafíos desde el punto de vista de investigación en matemáticas y computación. Este desafío incluye también incluir otras características del problema como por ejemplo incluir en los modelos la presencia del transporte público en una calle o avenida, dado que la carga o descarga de pasajeros puede hacer que se arme un pequeño embotellamiento o que la luz verde quede parcialmente "desperdiciada".

Hay paquetes comerciales que consiguen resolver algunos de los problemas mencionados en regiones limitadas o con una topología particular, y que han sido usados exitosamente en algunas regiones de grandes ciudades.

Por otro lado, hay en el mercado diversos sistemas de simulación de tráfico que proveen una muy útil herramienta para cualquier estudio de tránsito o para los controladores de tráfico que tienen la responsabilidad de hacer la planificación de semáforos, o para estudiar propuestas de nuevas reglas viales en una ciudad. También son fundamentales para testear en el laboratorio las nuevas propuestas de sistemas de optimización como los mencionados más arriba.

Un nuevo prototipo desarrollado por profesionales de la UBA

Dentro del grupo de Optimización Combinatoria del Depto. de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, el Dr. Pablo Coll y el Lic. Pablo Factorovich han desarrollado un nuevo modelo usando técnicas de optimización, que está en la fase de prototipo y experimentación de laboratorio, y que será testeado en la calle en el marco de un proyecto más amplio llevado a cabo por una empresa responsable de los semáforos en una región de la ciudad de Buenos Aires, que está desarrollando los componentes electrónicos del sistema. El proyecto está parcialmente financiado por el

FONTAR.

Entrando un poco en los detalles podemos decir que el horizonte temporal del modelo desarrollado incluye varios ciclos del semáforo (la cantidad de ciclos es adaptable a cada implementación). Cada intervalo de tiempo correspondiente a un ciclo de luz de cada semáforo está dividido en subintervalos menores correspondientes a cuando se recibe la información de los sensores, (o a intervalos mayores en los cuales se considerará en forma agregada la información recibida durante ese tiempo, también este dato es un parámetro del sistema) . Sólo las decisiones tomadas en los primeros segundos son implementadas, con lo cual se puede detectar los cambios en el tráfico rápidamente. Luego para cada ciclo se reiniciará la corrida descartando la información más antigua y actualizándola con la que proveen permanentemente los detectores.

Se incluyen también restricciones que impidan cambios bruscos en la variación de la duración de los ciclos, de los verdes, y de los desfases de comienzo de ciclo entre esquinas adyacentes.

Las principales variables sobre las que se toman las decisiones son: la duración de cada ciclo del semáforo de cada intersección, la duración del verde de cada ciclo en cada dirección y el desfase entre el comienzo del ciclo entre intersecciones adyacentes.