

Prediseño de Sistema de Gestión de Movilidad (SIGEMO)

**José Antonio Marco Montes de Oca, José Luís Mascaray Laglera,
Javier Conde Collado**

Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales UNED. c/Juan del Rosal, 12, 28040. Madrid. jconde@ind.uned.es, a_jmmdo@hotmail.com, jlmascaray@telefonica.net.

Resumen

Dado el constante incremento de los problemas causados por el tráfico urbano, la necesidad de elementos para su control y optimización es evidente. Por ello, en primer lugar se ha hecho un estudio sobre el estado del arte de las tecnologías aplicables en el campo del control del tráfico y del estacionamiento. Posteriormente se han unido dichas tecnologías con el objetivo de mejorar los actuales sistemas de gestión de aparcamientos, teniendo como objetivo final un Sistema de Gestión de Movilidad (SIGEMO) mucho más amplio que centralice todos los sistemas de control y gestión del tráfico y el estacionamiento.

Palabras Clave: Sistemas Multiagente, Control inteligente del tráfico, RFID.

1. Introducción

Los problemas relacionados con el tráfico como atascos, falta de plazas de aparcamiento, muertes por accidentes o contaminación atmosférica están creciendo a un ritmo alarmante. La necesidad de sistemas de control de tráfico va a hacerse en los próximos años cada vez más imprescindible.

Nuevas tecnologías como los Sistemas Multiagente (MAS), Sistemas de Identificación por radio frecuencia (RFID) o sistemas de posicionamiento global (GPS) se han mostrado eficientes para lograr objetivos parciales. Nuestro objetivo es hacer un repaso preliminar de todas ellas con la intención de combinarlas y obtener una solución global al problema del tráfico y control de aparcamientos en los grandes núcleos urbanos.

2. Sistemas empleados en el estudio del control del tráfico y del estacionamiento.

El sistema propuesto se subdivide en un grupo de subsistemas. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de ellos.

2.1. Sistemas de simulación y predicción del tráfico.

Históricamente, el problema del modelado y simulación del tráfico se ha abordado desde dos enfoques diferentes, utilizando para ello dos tipos de modelos, macroscópicos y microscópicos.

2.1.1 Sistemas macroscópicos de simulación.

En los primeros modelos de simulación del tráfico se utilizaban sistemas macroscópicos, abordando el problema desde una perspectiva muy global. Para ello se emplean variables estadísticas promedio, sin tener en cuenta cada uno de los vehículos presentes.

Para ello se asemejaba el flujo de vehículos con procesos termodinámicos, utilizando las

ecuaciones de la teoría cinética de los gases. Las variables con las que se trabaja son la densidad espacial media de vehículos o la velocidad media en un determinado punto de la vía de comunicación. Un buen ejemplo de la utilización de estos métodos se tiene en Helbing Hennecke, Shvetsov y Treiber (2002).

Estos métodos resultan útiles en algunas circunstancias para la simulación de ciertos comportamientos del tráfico, por ejemplo en la planificación de grandes obras como cinturones de circunvalación de las ciudades o el entorno de infraestructuras como estaciones de autobuses o centros comerciales. Sin embargo, no son capaces de ofrecer una solución aplicable para el control y la optimización del tráfico.

2.1.2 Sistemas microscópicos de simulación.

En los modelos microscópicos se considera el comportamiento de cada vehículo, posición velocidad y aceleración, individualmente, lo que implica una gran cantidad de datos a procesar, modelos matemáticos mucho más complejos y un gran costo computacional.

Con el aumento de capacidad de cálculo de los ordenadores, los modelos macroscópicos se han visto superados por modelos microscópicos, como los *Autómatas Celulares* y sobre todo por los *Sistemas Multiagente (MAS)*, en los cuales los vehículos son agentes que pueden interactuar con otros agentes y con el entorno.

En el trabajo de Wiering, van Veenen et al. (2004) puede observarse un completo simulador que utiliza *Autómatas Celulares* para la captura de las infraestructuras (vías de circulación e intersecciones) y *Sistemas Multiagente* para la simulación del tráfico. Cada vehículo sería un agente autónomo, teniendo prevista la existencia de diferentes tipos, coches y camiones. Existirían una serie de intersecciones de frontera, donde estarían los límites de nuestra área de estudio. En ellas se simularían la entrada de vehículos y también serían el destino de los vehículos en circulación. Por otro lado los semáforos también estarían modelados como agentes, pudiendo variar su comportamiento para estudiar distintas estrategias de control del tráfico.

En el trabajo de Chanca, Castellanos (2004) se presenta un interesante ejemplo de simulación del tráfico utilizando un software de propósito general: *ARENA* de Rockwell Automation. En él se realizan simulaciones del tráfico esperado en una serie de nudos circulatorios de la ciudad de Zaragoza. Así se puede comprobar por ejemplo, la eficiencia de un determinado reglaje de los semáforos antes de ponerle en práctica. También se puede analizar la conveniencia de modificar la señalización horizontal del carril central de una vía de varios carriles para permitir el giro en una intersección. Este tipo de herramientas pueden ser muy útiles a la hora de decidir si se lleva a la práctica o no una determinada modificación en un nudo circulatorio.

2.1.3 Sistemas de predicción.

Los *Sistemas Multiagente* pueden también ser utilizados para la predicción del tráfico futuro. Tomando como entrada la actual situación del tráfico y procesándola en simuladores a una velocidad superior al tiempo real, pueden detectarse posibles problemas e intentar evitarlos mediante sistemas de control del tráfico.

2.2. Sistemas de captura de datos.

La captura de datos es uno de los elementos más importantes de todo sistema de control. En este caso se propone la utilización de diferentes tecnologías.

En primer lugar se utilizarán cámaras digitales para la grabación de imágenes que serán procesadas por un sistema de visión artificial. De ésta manera será capaz de detectar el número de vehículos que se están aproximando a un cruce de calles e incluso peatones en un paso de cebra para así regular los semáforos de una manera más eficiente. La explicación y constatación empírica de esta metodología puede verse en Serrano, Conde et al. (2005) en el que utilizan filtros Kalman para la identificación de vehículos y peatones.

Por otro lado, los Sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (RFID), ofrecen un método efectivo y relativamente sencillo para identificar individualmente aquellos vehículos que estén equipados con una tarjeta inteligente, por ejemplo para el control de de las plazas de aparcamiento de residentes en un área determinado.

La precisión de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) está aumentando constantemente y puede ser una herramienta muy útil a la hora de capturar información sobre posición y velocidad de los vehículos en circulación.

Sin embargo, la supervisión humana, con la utilización de cámaras de video y de sistemas de comunicación con la policía y otros servicios de emergencia seguirán siendo necesarios en casos como el de accidentes de tráfico u obras inesperadas en las vías de comunicación.

2.3. Sistemas de control.

Prácticamente, todos los algoritmos de control tienen una idea común, la formación de “green waves”, que permitan que los vehículos que circulen a una velocidad determinada, puedan atravesar el mayor número de intersecciones posibles sin tener que detenerse en ninguna.

Otra herramienta utilizada para mejorar el tráfico es la de circulación en pelotones, “platoons”, grupos de vehículos que circulan siguiendo a un vehículo guía a la máxima velocidad posible con poca distancia con el vehículo anterior y sin adelantarse entre ellos. De esta manera, los vacíos existentes entre pelotones pueden ser empleados por otros pelotones que estén circulando perpendicularmente para cruzar las intersecciones sin interferencias.

El objetivo de cualquier sistema de control del tráfico va a ser minimizar el tiempo de espera acumulado de todos los vehículos hasta que abandonan la ciudad o alcanzan el final de su trayecto. Sin embargo, existen dos diferentes tipos de algoritmos para su implementación dependiendo de si se enfoca el problema desde el punto de vista de de los semáforos o de los vehículos individuales.

Los primeros, Traffic-light based controllers, están basados en el entorno del semáforo, con un sistema de control diferente para cada intersección. Como principal input tienen el número de vehículos esperando en cada una de las direcciones de la intersección y trabajan con el tiempo medio de espera de los vehículos presentes.

Los segundos, Car-based Controllers, intentan reducir el tiempo de espera estudiando cada uno de los vehículos presentes en el área de control. Para ello se toma como input el tiempo de espera en el actual semáforo o el promedio de los anteriores. Una variante introduce el concepto de crédito, que se obtiene por el tiempo de espera en un semáforo y se consume al atravesar las intersecciones, ver en Balan, Luke (2006).

El sistema más sencillo sería considerar los semáforos que controlan una intersección como un sistema autónomo, con la única entrada de datos de los vehículos que se están aproximando a

ella en un momento determinado.

Un trabajo interesante en este aspecto es el de Gershenson (2005), en el que propone, frente a la optimización de sistemas con una configuración estática (semáforos con fases definidas), la adaptabilidad de los sistemas al tráfico existente en cada momento. Utiliza NetLogo, un sistema de modelado basado en Multiagentes para realizar una serie de simulaciones. En ellas compara dos métodos estáticos de control con otros tres basados en algoritmos que tienen en cuenta el número de vehículos esperando en cada semáforo, o la existencia de un “platoon” atravesando la intersección en sentido perpendicular.

En el trabajo de France, Ghorbani (2003) se plantea un sistema de control global de un área urbana. Para ello utiliza un Sistema Multiagente jerárquico, Hierarchical Multi-Agent System (HMAS). En él, los semáforos se consideran agentes trabajando dentro de una organización jerárquica de centros de control locales y un centro de control global con el objetivo común de conseguir un tráfico fluido en un área determinada o en la totalidad del núcleo urbano. Mediante la interconexión entre los semáforos y los centros de control es posible solucionar incidencias como las causadas por accidentes de tráfico o el bloqueo del tráfico en un punto determinado.

Además los sistemas de inteligencia artificial como el “Reinforcement Learning” pueden utilizarse para optimizar el resultado, dejando que los agentes interactúen con el entorno y aprendan de la respuesta obtenida.

2.4. Sistemas de comunicación.

Los sistemas de control estudiados en el apartado anterior pueden ser mejorados considerablemente mediante un sistema de comunicación de datos entre los vehículos y las salas de control.

Esta comunicación sería en ambas direcciones. En primer lugar, los coches enviarían su lugar de destino a la sala de control (por ejemplo acoplando un emisor al GPS). Esta información sería introducida en el sistema de control para predecir el tráfico futuro y evitar de esta manera posibles atascos.

Por otro lado, la sala de control aconsejaría a los vehículos tomar la ruta menos congestionada. Esta información puede enviarse directamente al conductor, a través de emisoras comerciales de radio o paneles informativos situados en las vías de comunicación.

Sin embargo, el método óptimo sería que la información llegara directamente al sistema de navegación del vehículo. De esta manera, además de las opciones de ruta más corta y ruta más rápida se ofrecería al usuario otra ruta, que podríamos llamar óptima, calculada a partir de la información del sistema de control de tráfico en la que por supuesto iría incluida la referente a problemas en las vías de comunicación causados por accidentes, obras de urgencia o actos públicos.

Yamashita, Izumi, Kurumatani (2004) realizaron una serie de simulaciones sobre la influencia de la utilización de este sistema, al que denominaron RIS (Route Information Sharing), en la fluidez del tráfico. En ellas demostraron que a medida que aumentaba el número de vehículos dotados de este tipo de sistemas de comunicación bidireccional, disminuía el tiempo de viaje, tanto para los vehículos que disponían del sistema como para el resto.

3. Diseño del sistema.

En base a la unión de los sistemas señalados anteriormente, dividiremos en dos fases el prediseño del sistema.

3.1. Gestión de Aparcamientos y Movimiento Residencial.

En esta fase, además de ampliar el estudio del Estado del Arte en Sistemas Automáticos de Identificación (AIDC) realizado previamente, se determinarán la(s) mejor(es) solución(es) posible(s) a las necesidades de movilidad y estacionamiento regulado de una gran ciudad.

Para ello, en primer lugar se tratará de mejorar el rendimiento de los sistemas actuales de recolección y gestión de la información que se obtiene de los sistemas de control que están funcionando (entre ellas las nuevas tarjetas de residentes con tecnología RFID en UHF de próxima implantación por el SER en la ciudad de Madrid, desarrollado por el Grupo de investigación (GIO) de la Escuela de Ingenieros Industriales (UNED), dentro de la investigación I+D realizada para el mismo, como base de información fundamental para la futura gestión y control de movimiento residencial). Los pasos a seguir son:

- Determinación de Zonas Autónomas o Piloto Objetivo (ZPOs), en las ciudades participantes en el proyecto. Dichas zonas conformarán espacios físicos que delimitarán los objetivos y esfuerzos de solución del proyecto y sobre ellas se realizarán los ensayos finales pertinentes.
- Diseño y experimentación con simuladores virtuales que apoyen la definición y determinación de parámetros sustanciales del proyecto.
- Modelos a escala de laboratorio donde se ensayarán y probarán sistemas probeta a los efectos de confirmar la adecuación de los parámetros fijados en la anterior fase, permitiendo así mismo, la realización de ensayos destructivos u otros cuya realización a escala real sea costosa o no indicada.
- Diseño y construcción del prototipo a escala real. Dicho prototipo estará constituido por los siguientes elementos básicos:
 - Postes o elementos físicos que contengan lectores de tarjetas RFID, para el control del tráfico rodado residencial en lugares adecuados (los ensayos determinarán la posición, situación, capacidad y fiabilidad de la identificación, etc.) dentro de la ZPO (en lugares adecuados: cruce de calles, límites de Zona Piloto, cercanía a organismos públicos, etc.)
 - Tarjetas o elementos de recepción y envío de señales UHF.
 - Contadores y estimadores de intensidad de tráfico.
 - Cámaras IP.
 - Diversos elementos y sistemas convencionales en funcionamiento (GIS, control de tráfico, etc.) que puedan aportar información sensible al sistema o recibirla de él y con cuya conexión se ha de beneficiar el sistema. Dichos sistemas podrán sufrir una fase de adecuación a las nuevas necesidades de interconexión con el sistema objeto del proyecto.

- Sistemas de transferencia de la información de los sistemas sensores.
- Sistemas multiagentes y sistemas expertos que permitan la evaluación en tiempo real de la trayectoria de soluciones óptimas o en su caso de la solución adecuada.
- Sistemas cooperativos vinculados a los agentes (conductores, vehículos, controladores, parquímetros, semáforos, sistemas de transporte, sitios web, etc.) que reciban y envíen información en tiempo real cerrando el bucle y permitiendo la realimentación del sistema y la búsqueda de soluciones de optimización dinámica y/o adaptativa.
- Creación de sistemas sensorizados de plazas libres u ocupadas/reservadas en parking público subterráneo/superficie, para gestión de plazas disponibles y futuro aprovechamiento de las mismas (reserva de plaza por usuario mediante teléfono móvil o Internet, etc.).
- Estudios de rotación vehicular de plaza residencial, tiempo de estancia medio de ocupación de plaza por residente, tiempo medio para encontrar aparcamiento de vehículo en Zona Autónoma por parte del residente, volumen de ocupación de plazas en diferentes períodos temporales (época vacacional, fiestas navideñas, etc.).

A continuación se proporcionará un sistema de gestión de información (Previsión del Exceso de Oferta) que añade valor a los datos recogidos por la implantación de nueva tecnología (establecer estadísticas, control en tiempo real, etc.), permitiendo de esta manera una mayor eficiencia en la gestión de recursos disponibles o verificar la falta o necesidad de aumentar los mismos, es decir, aplicación directa de Metodología Multiagente e Ingeniería del Conocimiento.

Por último, solamente quedaría la extensión de esta propuesta fuera de la Zona Autónoma o Piloto escogida, para su futura implantación a todas las Zonas controladas por el SER e incluso fuera del ámbito residencial.

3.2. Sistema de Gestión de Movilidad (SIGEMO).

Se trata de conseguir una mayor integración de todos los servicios de control y gestión de que dispone la movilidad y el estacionamiento regulado (SER), intentando centralizar los mismos en un solo organismo, primero en la Zona Autónoma o Piloto, y después estudiando su futura implantación en el resto de Zonas SER, consiguiendo con esto mayor flexibilidad en la logística de todos los servicios de atención al ciudadano residencial, dando por tanto respuesta a cualquier eventualidad en tiempo real.

El sistema podrá funcionar en distintos regímenes en los que se van incorporando agentes decisores-negociadores:

- Nivel I. Agente decisor: SER
 - Subnivel I: Apoyo a la planificación del SER.
 - Subnivel II: Apoyo a la gestión en tiempo real del SER.
- Nivel II. Agentes decisores: SER y otros organismos públicos de movilidad.
- Nivel III. Agentes decisores: SER, organismos públicos de movilidad y conductores.

- Subnivel I: Conductor guiado.
- Subnivel II: Conductor autónomo.
- Subnivel III: Conductor en lazo abierto.
- Subnivel IV: Agentes negociadores autónomos.

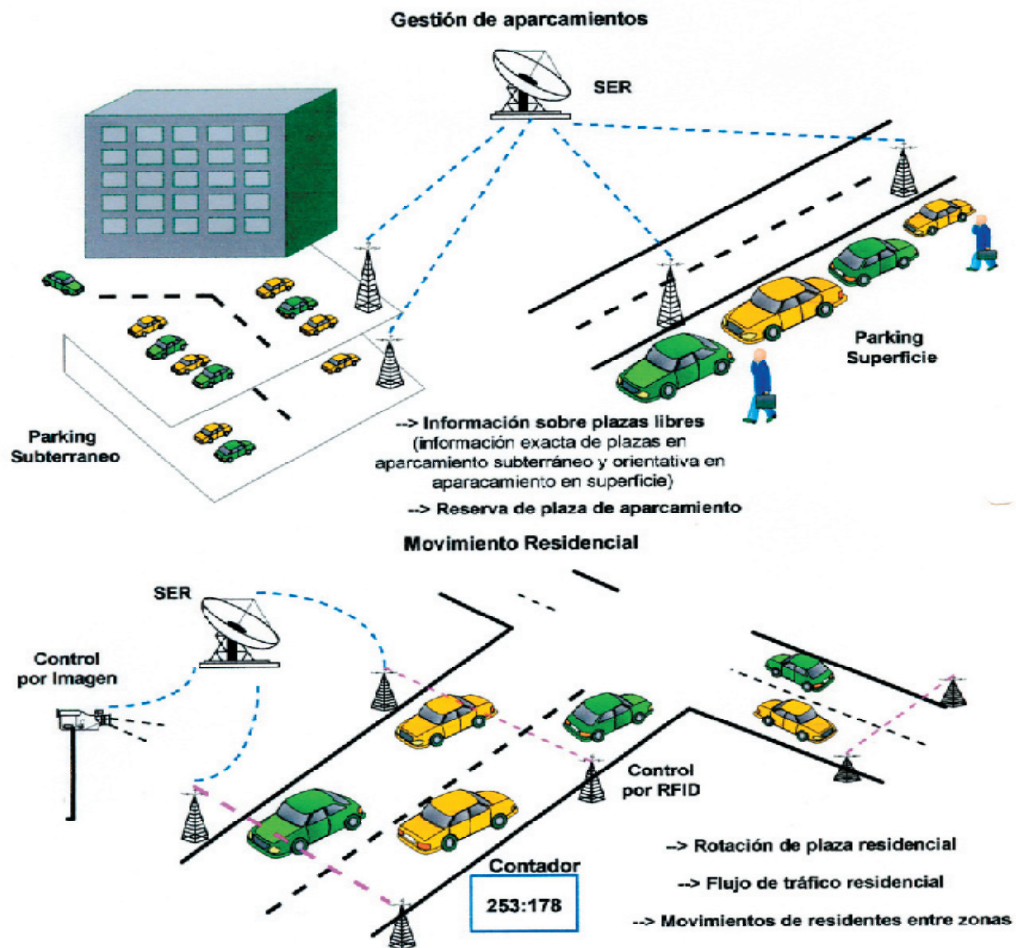


Figura 1. Gestión de Aparcamientos.

- France, J.; Ghorbani, A. (2003). A Multiagent System for Optimizing Urban Traffic. Proceedings of the IEEE/WIC International Conference on Intelligent Agent Technology.
- Gershenson, C. (2005). Self-Organizing Traffic Lights. Centrum Leo Apostel. Vrije Universiteit Brussels.
- Helbing, D.; Hennecke, A.; Shvetsov, V.; Treiber, M. (2002). Micro- and Macrosimulation of Freeway Traffic. *Mathematical and Computer Modelling* 35, 517-547.
- Ibáñez Rivas, J.N.; Onieva Giménez, L.; Cortés Achedad, P. (2006). Metodología de covarianzas heterogéneas para el estudio de decisiones de transporte interurbano. X Congreso Internacional de Organización. Valencia (2006).
- Racero Moreno, J.; Canca Ortiz, J.D.; Galán de Vega, R. (2006). Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico. X Congreso Internacional de Organización. Valencia.
- Serrano, A.; Conde, C.; Rodríguez-Aragón, L.; Montes, R.; Cabello, E. (2005). Computer Vision Application: Real Time Smart Traffic Light. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag.
- Wiering, M.; Van Veenen, J.; Vreeken, J.; Koopman, A. (2004). Intelligent Traffic Light Control. Institute of Information and Computing Sciences. Utrecht University.
- Yamashita, T.; Izumi, K.; Kurumatani, K. (2004). Investigation of Reduction of Traffic Congestion with Route Information Sharing. AAMAS 2004. Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems.