

Semáforos inteligentes, una primera aproximación

P. Gallego Torrecilla†, D. López García†, J. Torres Valderrama† and
J. A. Ortega†

†Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Sevilla,
41012, Seville, Spain

Abstract

La congestión del tráfico es un grave problema existente para la mayoría de ciudades del mundo. Estos atascos generan una enorme falta de productividad, generan retrasos, incrementan costes, crean frustración en los conductores... En definitiva: malgastan recursos materiales y humanos, además de generar altos niveles de CO₂ que se traducen en contaminación.

Tradicionalmente se ha intentado solucionar este problema creando nuevas infraestructuras, pero la experiencia demuestra que en la mayoría de los casos esto no es suficiente. Esto se debe a que mediante este tipo de soluciones tan solo se consigue obtener una mayor demanda de vehículos que rápidamente vuelven a desbordar las nuevas capacidades.

En los últimos años, una gran cantidad de ciudades han conseguido disminuir los atascos mejorando sus sistemas de transportes públicos en aspectos tales como seguridad, puntualidad, frecuencia de paso, construcción de carriles especiales, promoción del uso de la bicicleta y otras formas de comunicación.

Sin embargo, desde los años 90 hasta hoy, numerosos investigadores de todo el mundo han propuesto soluciones a este problema sin la necesidad de aumentar las infraestructuras, maximizando el rendimiento que las existentes pueden ofrecer.

Entre estas, destacan las investigaciones de Chen and Chang (2003) que buscan algoritmos que obtengan el tiempo óptimo de luz verde o roja de cada semáforo de la ciudad basándose en datos estadísticos para reducir el tiempo medio de viaje, aquellas como las de Messmer (1994) que regulan el tráfico dependiendo de las longitudes de colas existentes en cada intersección, otras como las de

Findle, Surender y Catrava (1997) que se basan en la modificación de las señales de prohibido girar hacia la izquierda en los cruces, etc.

Nosotros nos centraremos en el recurso más actual y que está ofreciendo mejores resultados, los semáforos inteligentes, semáforos capaces de aprender y adaptar su comportamiento según las necesidades de cada instante. Introduciremos las distintas técnicas existentes en este ámbito y propondremos una nueva vía de investigación basada en técnicas de predicción de flujos de tráfico.

1 Introducción

La congestión del tráfico causa a diario multitud de problemas de diversas índoles en la mayoría de las ciudades del mundo. Esta congestión significa la pérdida de tiempo y oportunidades, genera frustración entre los conductores, elevan la contaminación, disminuye la productividad, etc. Para solucionar estos problemas es posible no solo buscar soluciones desde el punto de vista físico creando nuevas y mayores infraestructuras que como la experiencia arroja pocas veces dan buenos resultados ya que solo hacen incitar a que aquellas personas que anteriormente no usaban esta alternativa de transporte se decidan ahora a usarla incrementando la demanda de vehículos que rápidamente tampoco es posible satisfacer de forma óptima, sino buscar apoyo en las nuevas tecnologías para optimizar las ya existentes.

En este sentido se lleva trabajando desde hace unos años, consiguiéndose poco a poco resultados sorprendentes. Cabe destacar dentro de este campo las investigaciones de Albert Messmer y Markos Papageorgious en 1997, en las cuales ellos proponen hacer un análisis del tráfico existente para así determinar y redirigir a los conductores por caminos alternativos. Para ello hacían uso de carteles luminosos en los que se les sugería a los conductores la ruta más conveniente a escoger según fuera su destino, encontrando en la práctica problemas relacionados con la pérdida de atención por parte de estos conductores así como graves problemas de computación con la capacidad de cómputo de la que disponían en la época. Pese a estos problemas es a día de hoy utilizada en una gran cantidad de ciudades, con la diferencia que es la policía de cada sitio la encargada de aconsejar y redirigir el tráfico, disminuyendo así la pérdida de concentración sobre los conductores.

En el mismo año fue muy importante la contribución de Mckeown y Kirby al crear un red neuronal gracias a la cual es posible catalogar el tipo de vehículo que circula solo por su sonido, utilizada más tarde por multitud de investigadores.

En el año 2000, dos de los más activos investigadores en este sector, Chen y Yang, elaboraron un algoritmo capaz de mostrar en camino mínimo entre dos puntos teniendo en cuenta las características del recorrido así como las posibles paradas necesarias.

Muy utilizado también posteriormente ha sido el modelo para recrear simulaciones de un escenario real a partir de sensores RFID desarrollado por Wen y Yang que calculan la cantidad de coches existentes en cada momento en cada lugar.

Y por último destacar un trabajo de estos mismos autores, que basándose en su anterior trabajo contabilizan las colas existentes y asignan pesos a las vías a través de un histórico buscando el tiempo óptimo de duración de cada color del semáforo para optimizar el flujo de coches.

Será por esta última vía por donde propondremos nuestra solución e intentaremos mejorarla haciendo uso de las redes neuronales.

2 Análisis del sistema de control de los semáforos

2.1 Diseño

El escenario escogido para nuestro estudio es el mostrado en la imagen número 1. Tenemos tres carriles en cada uno de los cuatro puntos de llegada a la intersección. Nótese que el carril derecho nunca entra en conflicto con ningún otro, por lo tanto éstos no serán controlados por los semáforos.

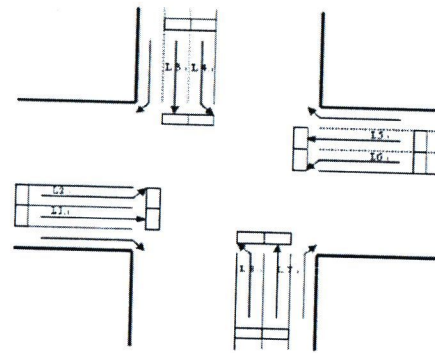


Figura1. Ejemplo de cruce

Para el estudio colocaremos dos sensores de inducción separados unos 200 metros entre ellos en los dos carriles restantes en cada punto de entrada a la intersección. La zona entre las dos placas de inducción es conocida como "zona de detección de vehículos". Los vehículos que van llegando por cada carril van siendo contabilizados, al igual que los que la van abandonando, pudiendo así llevar en todo momento la cuenta de cuántos coches hay esperando en cada carril.

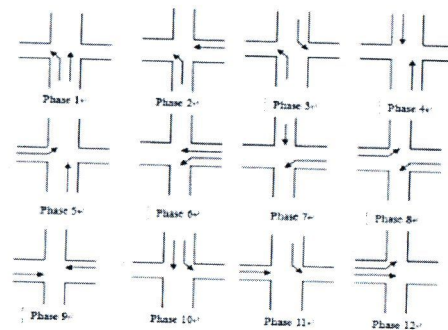


Figura2. Fases existentes

Para asegurarnos que los vehículos no generen conflictos entre ellos, como máximo dos de los carriles pueden estar abiertos a la vez usando la fase de control mostrada en la figura 2. Esta figura incluye todas las circunstancias de las direcciones que un coche puede tomar de forma que sea segura en las circunstancias actuales. Los carriles con flechas significan que están abiertos en ese momento. La fase a la que se le da mayor prioridad es aquella en la cual existe una cola de mayor longitud, más tarde se transferirá esta mayor prioridad a la siguiente fase con un mayor número de vehículos. Por lo tanto nuestra política será intentar dejar lo más despejado posible el acceso donde se concentran más vehículos para así conseguir el mayor flujo posible de coches posibles y el menor tiempo medio de espera de los vehículos en el cruce.

2.2 Estrategias de control

Como se muestra en la Figura1. $L_i (i=1, \dots, 8)$ representa el número de vehículos en ese carril.

La fase que actualmente tenemos activas y por la cual circulan vehículos la conoceremos como "Cola de acceso", mientras que aquellas que están esperando el final de esta fase y en la que los vehículos no circulan es conocida como "Cola de espera".

La longitud de la cola de acceso y de espera en cada fase viene dado por la siguiente tabla.

Phase	Access queue	Waiting queue
Phase 1	L8+L7	L1+L2+L3+L4+L5+L6
Phase 2	L8+L5	L1+L2+L3+L4+L6+L7
Phase 3	L8+L4	L1+L2+L3+L5+L6+L7
Phase 4	L7+L3	L1+L2+L4+L5+L6+L8
Phase 5	L7+L2	L1+L3+L4+L5+L6+L8
Phase 6	L6+L5	L1+L2+L3+L4+L7+L8
Phase 7	L6+L3	L1+L2+L4+L5+L7+L8
Phase 8	L6+L2	L1+L3+L4+L5+L7+L8
Phase 9	L5+L1	L2+L3+L4+L6+L7+L8
Phase 10	L4+L3	L1+L2+L5+L6+L7+L8
Phase 11	L4+L1	L2+L3+L5+L6+L7+L8
Phase 12	L2+L1	L3+L4+L5+L6+L7+L8

Tabla 1. Definición de las longitudes de las colas de acceso en cada fase.

Para escoger la siguiente fase a activar calculamos el total de coches que existen en este momento en cada zona de espera y los sumamos con aquellos que gracias a nuestra previsión esperamos lleguen en un tiempo β . Aquella fase que proporcione un número más elevado será aquella que se activará quedando de la siguiente forma siendo α el peso que daremos a la predicción.

$$\text{Max}(AQ_i + \text{Pred}(AQ_i, \beta) * \alpha)$$

Por lo tanto este paso mezcla características actuales del tráfico con una predicción que tenemos de cómo va a comportarse en un tiempo determinado.

El siguiente paso será averiguar cuál es el tiempo óptimo que debe estar activa la fase escogida y por lo tanto el semáforo en verde. Para ello utilizaremos una red neuronal en la cual tendremos dos entradas y una salida.

La entrada de la red será la longitud de cola de acceso y de espera con mayor prioridad calculada, mientras que la salida será el tiempo que debe permanecer el semáforo en verde.

La red neuronal escogida con la cual seremos capaces de calcular el tiempo que el semáforo debe permanecer activa la fase escogida es de tipo Fuzzy.

Normalmente el tiempo que tarda un vehículo en atravesar la intersección una vez que se le da paso es de aproximadamente 5 segundos, siendo este tiempo menor que aquel que el tiempo que le damos de margen entre que una fase se acaba y empieza la siguiente poniéndose de nuevo el semáforo en verde, por lo tanto es suficiente para que el último coche atraviese la intersección sin problemas, siendo así no necesaria la aparición del color amarillo del semáforo en nuestro estudio.

3. Diseño de la red neuronal Fuzzy

3.1 Valores de entrada

Para la entrada de la cola de Acceso "N" tomaremos un rango $[0,60]$, el dominio será $(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42,45,48,51,54,57,60)$. Los conjuntos Fuzzy los nombraremos (NB (muy pequeña), NS(pequeña), ZE (media), PS (grande), PB (muy grande)) con la función de pertenencia que sigue:

Language values	Queue length																			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
NB	1	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0.1	0.3	0.7	0.6	0.3	0.1	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZE	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.7	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0	0	0	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1	1

Tabla 2. Función de pertenencia según la longitud de la cola de acceso N.

Para la cola de espera (W) el rango es [0,180], el dominio es (9,18,27,6,45,54,63,72,81,90,108,117,126,135,144,153,162,171,180). Los conjuntos Fuzzy los nombramos como (NB (muy pequeña),

Language values	Queue length									
	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
NB	1	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0
NS	0.1	0.3	0.7	0.6	0.3	0.1	0.05	0	0	0
ZE	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.7	0.7
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.1

Language values	Queue length									
	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180
NB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZE	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PS	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0	0	0	0
PB	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1

NS(pequeña), ZE (media), PS (grande), PB (muy grande)).

Tabla 3- Función de pertenencia de la longitud según la longitud de la cola de espera

3.2 Valores de salida

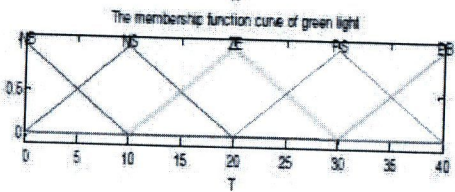
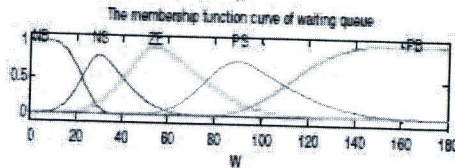
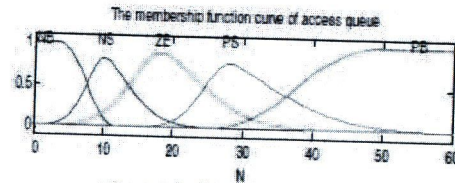
Para el tiempo que la luz verde permanecerá encendida el rango será [0,40], el dominio será (0,5,10,15,20,25,30,35,40). Los conjuntos fuzzy los llamaremos (NB (muy pequeña), NS (pequeña), ZE (media), PS (grande), PB (muy grande)). Su función de pertenencia en la siguiente tabla.

Language values	Queue length								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
ZE	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

Tabla4 - Función de pertenencia del tiempo que el semáforo permanecerá en verde.

3.3 Funciones de pertenencia

Mostramos a continuación una captura de MATLAB en la que pueden observarse las curvas de las distintas funciones utilizadas.



T \ W	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NS	NB	NB	NB	NB
ZE	ZE	NS	NS	NB	NB
PS	PS	ZE	ZE	NS	NB
PB	PB	PS	ZE	ZE	ZE

4 Conclusiones

El método expuesto en este artículo abre una nueva vía para futuras investigaciones en este ámbito, siendo una amplia línea de investigación en lo referente a la mejora del tráfico sin modificar las infraestructuras actuales e intentando sacar el máximo rendimiento de ellas.

Para ir un paso más allá y obtener resultados tangibles y concretos acerca de la bondad de este sistema, nuestro siguiente paso será implementar un simulador que verifique las cualidades que se supone que aporta.

Una vez conseguido esto y comprobando si las ventajas obtenidas son viables en un entorno real ampliaremos el sistema introduciendo diferentes mejoras tales como el uso de multiagentes inteligentes para conseguir una comunicación entre semáforos, la búsqueda de entornos en los cuales el sistema se comporta mejor o peor, permitir la modificación en tiempo real del parámetro β en función de la cola así como el estudio de la α y β óptima.

Bibliografía

- Albert Messmer and Markos Papageorgiou. *Automatic Control Methods Applied to Freeway Network traffic*
- K. Stoilova and T. Stoilov. *Traffic Noise and TrafficLight control*
- L. Schaefer, J. Upchurch. *An Evaluation of Freeway Lane Control Signing Using Computer Simulation*
- Yen-Liang Chen, Hsu-Hao Yang. *Minimization of travel time and weighted number of stops in a traffic-light network*
- Bing Liu and Jimmy Tay. *Using Knowledge about the Road Network for Route Finding*
- W. Wen. *A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem*
- Shilpa S. Chavan (Walke), Dr. R. S. Deshpande, J. G. Rana. *design of intelligent traffic light controller using embedded system*
- Cheng Hu y Yun Wang. *A Novel Intelligent Traffic Light Control Scheme*
- Lurong Wu, Xiaorong Zhang, Zhikai Shi. *An Intelligent Fuzzy Control for Crossroads Traffic Light*
- Liang-Tay Lin, Hung-Jen Huan, Jim Min Lin, Fongray Frank Young. *A New Intelligent Traffic Control System for Taiwan*
- Kaisheng Zhang, Jiao She and Mingxing Gao and Wenbo Ma. *Study on Urban Traffic Intelligent Guidance System*
- Li Zhou, Kai Zhao. *The Design of Agent-based Intelligent Traffic Visualized Simulation System*

W. Wen. *A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem*

W. Wen & C. L. Yang. *A dynamic and automatic traffic light control system for solving the road congestion problem*

Ms. Girija H Kulkarni, Ms. Poorva G Waingankar. *Fuzzy Logic Based Traffic Light Controller*

Professor Tien-I Liu. *Automatic Traffic Light Control System*