

Proyecto de Investigación
Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Asunción - Paraguay

Semáforos Inteligentes

Manuel Martínez Anoroza
manumart87@hotmail.com
Ing. Electrónica

Resumen Debido al aumento del tráfico, las congestiones vehiculares se han vuelto un problema en muchas ciudades de todo el mundo. Con los sistemas de semáforo convencionales no es posible controlar tal congestión por lo que se trata de encarar la situación con otro enfoque para superar los problemas de congestión. Los semáforos inteligentes parecen ser una solución óptima pero aún no fueron explotadas al máximo. En este trabajo se habla sobre las diversas tecnologías implementadas, así como las aplicaciones y la actualidad de los mismos. Al final, trata sobre un enfoque futurista que tal vez sea la solución definitiva a esta problemática.

1. Introducción

Los semáforos son dispositivos utilizados para gestionar el tráfico, permitiendo o impidiendo el paso de conductores y peatones en cada vía.

Anteriormente, y en muchos países, los semáforos aún son sistemas temporizados que pasan de un estado a otro siguiendo un patrón de secuencia fija, carecen de inteligencia para tomar decisiones, lo que representa una gran desventaja durante las horas picos en importantes arterias viales ya que los cambios se realizan en tiempos no adaptados a las condiciones del tráfico, y mientras una intersección vacía tiene luz verde la arteria principal se detiene a esperar el cambio, agrupando los vehículos hasta congestionar el canal.

A partir de esta problemática, surgen los Semáforos Inteligentes capaces de tomar decisiones ante una condición de tráfico dado.

Este tipo de tecnología va evolucionando con el correr del tiempo y se espera que para los próximos años sea capaz de tomar decisiones propias y controlar

totalmente el tráfico sin tener que contar con la presencia de oficiales de tránsito.

En el presente trabajo, se trata en primer lugar sobre las tecnologías que se utilizan y luego se enfoca sobre la actualidad y las mejoras que trae consigo.

2. Semáforos Inteligentes

La primera pregunta que debemos respondernos, es el ¿por qué utilizar semáforos inteligentes? Antes de explicar el por qué, es necesario tener una idea de cómo funciona y a que se considera semáforo inteligente.

Es considerado semáforo inteligente a todo aquel capaz de tomar decisiones dependiendo de una serie de parámetros de entrada (flujo del vehículos, velocidad media, identificar la calle, entre otros). En otras palabras, el comportamiento del mismo, es de forma dinámica y se ajusta de acuerdo a varios parámetros. Actualmente, existen diferentes tecnologías implementadas pero aún no se encuentra la mejor fórmula al problema principal de las ciudades, la congestión vehicular. Este enfoque tiene varios aspectos positivos, que se irán tratando más adelante.

Estos semáforos se presenta para solucionar varios problemas de tránsito comunes en todo el mundo, por citar algunos:

- Congestión vehicular.
- Tiempos excesivos de viaje.
- Esperas innecesarias.
- Mayor gasto de combustible.
- Mayor contaminación en el medio ambiente.

3. Tecnologías

En cuanto a la tecnología, existen diferentes formas de implementar semáforos con inteligencia, y esto puede abarcar desde una simple decisión del estado en que debe permanecer (luz verde o roja) de acuerdo al tránsito hasta una decisión de mayor jerarquía, como la de tomar una decisión a causa de un accidente, cambiar el flujo del tráfico, etc.

La toma de decisión de un semáforo depende mucho del tipo de la tecnología que utiliza.

3.1. Semáforo Inteligente con RFID

La idea principal es tener un control inteligente del tráfico, haciendo variar los tiempos de espera en los puntos de intersección de acuerdo a la congestión vehicular. El sistema consta de 4 partes principales: La tarjeta RFID, punto de acceso, ubicación de servidor de redes, WAN, como así también cuenta con una base centralizada que almacena los datos y a partir de ellos escoge una alternativa.

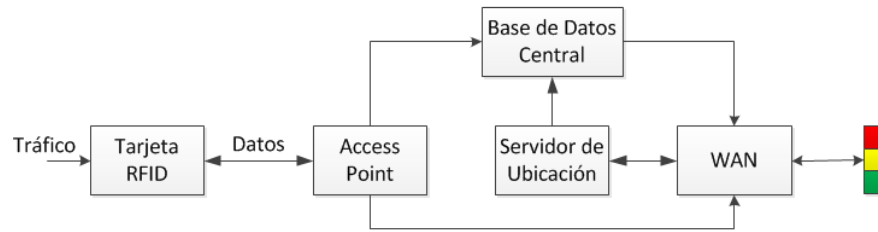


Figura 1: Esquema del semáforo inteligente utilizando RFID

El proceso de decisión para el control de tráfico inteligente depende de la información en tiempo real proporcionado por el sistema RFID. Se captan los datos y son almacenados en una base de datos centralizada. Estos sensores captan la ubicación y el tiempo de cada vehículo y se guardan como una etiqueta que puede ser referenciada a través de un identificador.

En cada cruce, la espera de los semáforos depende de la congestión, la longitud de la cola y otros parámetros de entrada. La comunicación entre el semáforo y el algoritmo de decisión se hace a través de internet.

Con los sensores ubicados en diferentes sectores se toman los tiempos, así como los tipos de vehículos; todos los datos se van cargando en una tabla. Es posible determinar la velocidad media de los vehículos que están transitando, velocidad después de estar parado, saber características específicas de los vehículos entre otros parámetros.

Si ocurre una situación extraña como un accidente, todavía es posible controlar el tráfico ya que los datos acumulados en la base centralizada pueden ser utilizados. El sistema puede aprender las decisiones y puede producir un escenario general del flujo de tráfico mediante la identificación de una variedad de situaciones:

- Determinar el patrón de circulación de vehículos en un determinado día.
- Determinar la secuencia más eficaz.
- Identificar la ruta más activa.

El gran desafío es diseñar un sistema de gestión de tráfico electrónico sofisticado que sea capaz de comprender e identificar el movimiento del tráfico y los destinos de rutina para toda una ciudad.

Un problema con este tipo de tecnología es que cada vehículo debe contar con su propia etiqueta RFID.

3.2. Semáforo Inteligente usando Redes de Sensores Inalámbricos

En primer lugar se cuenta con un sistema semafórico inteligente, capaz de controlar el tráfico y manipular en forma dinámica los tiempos de espera. Maneja, básicamente la misma idea que los semáforos que utilizan RFID.

Este sistema cuenta con 2 partes principales: La red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network o WSN) y la estación base (Base Station o BS), que se encarga de ejecutar los algoritmos de control.

La red de sensores inalámbricos, consiste en un grupo de sensores diseñados para proporcionar la infraestructura de comunicación de tráfico y facilitar el flujo del tránsito. Cada sensor se encarga de generar los datos de tráfico como el número de vehículos, los procesos de salida, velocidad de cada vehículo, su longitud. Los datos recopilados se envían en tiempo real a la base.

Se utiliza TDMA para la comunicación, aprovechando en forma eficiente la energía, ya que permite a los nodos de la red entrar en estados inactivos hasta que sus espacios de tiempo sean asignados.

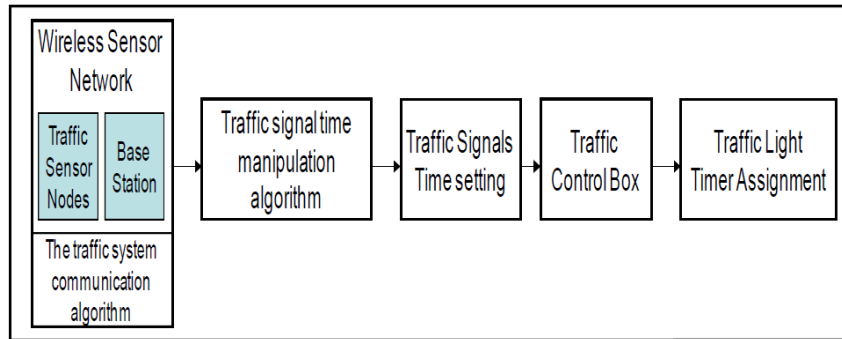


Figura2: Esquema del semáforo inteligente usando Redes de Sensores Inalámbricos

En el esquema de la figura 2 se observa el TSN (Traffic Sensor Nodes), es responsable de detectar los vehículos, contarlos y transmitir información periódicamente a la Base BS. El sistema de detección de vehículos requiere cuatro componentes: un sensor para detectar las señales generadas por los vehículos, un procesador para los datos detectados, una unidad de comunicación para transferir los datos procesados a la Base, y una fuente de energía. Cada carril cuenta con 2 sensores TSN que están separados aproximadamente unos 30 mts.

El TSCA (Traffic System Communication Algorithm) se desarrolló para controlar las rutas de comunicación entre todos los TSN y la base, así como la

interfaz con la caja de control de tráfico. Luego los datos recogidos y añadidos a la base se pasan al TSTMA (Traffic Signal Time manipulation algorithm) para fijar duraciones de tiempo de señales de manera dinámica de acuerdo a los parámetros recibidos. TSTMA es un algoritmo de tiempo de control adaptativo desarrollado para calcular la duración de la luz roja-verde para cada señal de tráfico encontrada usando la matriz de conflictos de direcciones (figura 3).

La matriz de conflictos determina los posibles casos que se pueden dar cuando se habilita cierto sentido del semáforo. Los casos se analizan a partir de un cruce típico en la áreas metropolitanas.

	OD	OC	OI	ED	EC	EI	ND	NC	NI	SD	SC	SI
OD						X		X				
OC						X		X	X	X	X	X
OI				X	X			X	X		X	X
ED			X								X	
EC			X				X	X	X		X	X
EI	X	X						X	X		X	X
ND					X							X
NC	X	X	X		X	X						X
NI		X	X		X	X					X	
SD		X							X			
SC		X	X	X	X	X			X			
SI		X	X		X	X	X	X				

Figura 3: Matriz de Conflictos

Las letras indican las orientaciones N (Norte), S (Sur), E (Este) y O (Oeste), así como también se tiene los sentidos de circulación D (giro a la derecha), C (Continuar recto), I (giro a la izquierda). Entonces la combinación NC sería la dirección norte siguiendo recto. Las "X" indican casos no permitidos, las zonas pintadas son casos imposibles mientras que los espacios en blanco indican que se puede dar tal situación.

Este tipo de tecnología tiene la idea de presentar algo eficiente, adaptable y rentable que garantice el flujo de tráfico rápido y en forma eficiente.

3.3. Semáforo Inteligente mediante Procesamiento de Imágenes

Mediante el control del tráfico utilizando procesamiento de imágenes, es posible medir la densidad del tráfico y de acuerdo a los datos obtenidos modificar

los tiempos del semáforo.

La idea es la siguiente:

- Adquisición de imágenes. Se captura la carretera vacía y la imagen con el tráfico actual. La imagen de carretera vacía se guarda como una imagen de referencia.
- Se convierte ambas imágenes RGB a la escala grises.
- Mejora de la imagen.
- Verificar coincidencia entre la imagen de referencia y la imagen con el tráfico actual. Se utiliza el método de detección de borde morfológica porque requiere menos cálculo computacional y también es capaz de extraer los bordes independientemente de su dirección. Además de los bordes que causados por los vehículos también hay bordes extras, que son causados por factores no deseados como la carretera dañada o marcas blancas en la superficie del camino, la sombra de los árboles y edificios, entre otros.

Después de un procedimiento de detección de bordes de ambas imágenes, los semáforos se pueden controlar basándose en el porcentaje de coincidencia.

Ejemplo:

- Si la coincidencia es entre 0 a 10 %, la luz verde está encendida durante 90 segundos.
- Si la coincidencia es de entre 10 a 50 %, la luz verde está encendida durante 60 segundos.
- Si la coincidencia es entre el 50 y el 70 %, la luz verde está encendida durante 30 segundos.
- Si la coincidencia es entre el 70 y el 90 %, la luz verde se enciende durante 20 segundos.
- Si la coincidencia es entre 90 y 100 %, la luz roja está encendida durante 60 segundos.

Este sistema trae problemas en cuanto a su costo muy elevado.

Otras ventajas que se puede extraer con esta tecnología es que puede ser utilizado como sistemas de seguridad y control, monitoreo de las calles 24 horas, entre otros aspectos. Todo esto con la misma cámara.

3.4. Semáforo Inteligente basado en Inteligencia Artificial

Existen diferentes enfoques en cuanto a este tema, entre ellos están los basados en lógica difusa, algoritmos genéticos y refuerzo de aprendizaje.

Refuerzo de Aprendizaje

La idea es la siguiente. Suponga que hay un número de coches parados en cierta dirección esperando el cambio de la señal del semáforo. Todos los coches comunican al semáforo su lugar específico en la cola así como su dirección. El semáforo debe ser capaz de tomar la decisión óptima para minimizar el tiempo promedio de espera de cada vehículo.

Los controladores de tráfico inteligente deben solucionar este problema mediante la estimación de cuánto tiempo le tomaría a un vehículo llegar a su destino (siendo que cruza varios semáforos) cuando la luz se puso en verde, y cuanto tiempo le tomaría si la luz se pone en rojo. La diferencia de tiempos de espera de cada estado es la ganancia para el vehículo. Los controladores deben ser capaces de maximizar la ganancia promedio.

La estimación de los tiempos de espera se realiza mediante el "refuerzo de aprendizaje" que realiza un seguimiento de los tiempos de espera de los automóviles y utiliza de forma inteligente para calcular los promedios a largo plazo en los tiempos de espera utilizando algoritmos de programación dinámica.

Este algoritmo permite que el coche nunca este parado por tanto tiempo.

Lógica Difusa

Para el sistema de semáforo inteligente, la técnica más común es el uso del controlador de lógica difusa. La tecnología de lógica difusa permite la aplicación de las reglas de la vida real similar a la manera en la que los seres humanos podrían pensar.

Por ejemplo, los seres humanos podrían pensar de la siguiente manera para controlar la situación del tráfico en un cruce seguro: "si el tráfico es más pesado en el norte o el sur de los carriles y el tráfico en el carril este u oeste es menor, entonces el semáforo debería permanecer verde más tiempo en los carriles norte y el sur".

Lo que se desea lograr es:

- Determinar la presencia y ausencia de vehículos con imágenes de las rutas.
- Mantener la luz verde por más tiempo en caso de mayor flujo de vehículos.
- Si un carril está vacío, buscar un carril con vehículos y colocar dicho carril en verde.

La idea es contar con dos sensores electromagnéticos, colocados en el pavimento, de tal forma que el primero cuente la cantidad de vehículos que cruzan el semáforo y el otro sensor cuente la cantidad de vehículos que lleguen a la intersección. Esto proporciona al controlador las densidades de tráfico en los

carriles y permite una mejor evaluación de cambios en los patrones de tráfico. Como las distribuciones de tráfico fluctúan, el controlador difuso puede cambiar el semáforo en consecuencia.

El controlador de lógica difusa está diseñado para una intersección cualquiera. En el semáforo controla dos parámetros: la cantidad de tráfico en el lado de llegada (llegada) y la cantidad de tráfico en el lado de cola (espera). Si el norte y el lado sur es verde, entonces este sería el lado de llegada mientras que el oeste y el lado este se considera como el lado de espera y viceversa.

La variable de salida difusa sería la extensión necesaria de la luz verde de acuerdo al flujo en el tráfico de llegada. Así, sobre la base de las condiciones de tráfico actuales, las reglas difusas se pueden formular de modo que la salida del controlador difuso extenderá o no luz verde actual. Si no hay ninguna extensión de la luz verde actual, el estado del semáforo cambiará inmediatamente, permitiendo que el tráfico procedente a la fase alternativa.

4. Actualidad

Los semáforos más utilizados en la mayoría de los países son los que cuentan con temporizadores (figura 4), cuya función es indicar a los conductores o peatones el momento exacto en que cambiará de color, de tal forma a dar la posibilidad de estimar a la persona si el tiempo en pantalla es el suficiente como para cruzar. También son muy utilizados, los semáforos sincronizados (conocidos como onda verde), el objetivo de este sistema es ofrecer a los conductores un tráfico fluido a través de varios cruces semafóricos, ya que este sistema está diseñado para tener luz verde al transitar a una velocidad fija en un trayecto determinado.



Figura 4: Semáforo con Temporizador para vehículos y peatones

También están los sistemas semafóricos ya mencionados que deciden por sí mismo, de acuerdo a unos parámetros de entrada el tiempo que va a permanecer en un estado determinado verde/rojo. Esto permite aprovechar en forma eficiente la circulación del tránsito en los carriles con mayor congestión. Normalmente,

estos sistemas son centralizados, entonces es posible aprovechar esta ventaja; se tiene control sobre los semáforos, es posible saber si una de las luces está quemada, se puede controlar velocidad con cámaras instaladas, que no se cruce la luz roja.

En caso de un accidente el semáforo debe ser capaz de identificar tal situación, evitando que los vehículos sigan circulando en esa dirección, entonces es necesario que desvíe el tráfico en calles anteriores para evitar el congestionamiento.

TrafiRadar [1], es una nueva tecnología creada que decide que tanto tiempo debe permanecer el color ámbar (amarillo), hasta que el coche haya cruzado la intersección, en otras palabras determina si un vehículo necesita más tiempo para pasar una intersección antes de que la luz amarilla se vuelva roja y mantiene al resto del tráfico detenido hasta que el coche haya pasado.

LYZUN [2], es un sistema desarrollado de Software Inteligente que se basa en diversas teorías, entre la que se puede destacar la Teoría de Colas. Este software está conectado a sensores ubicados en el pavimento, y se mide la cantidad de vehículos que pasan por cada carril. En función de la información de este sensor, se calculan demoras de los vehículos en acceder a la intersección, la relación entre la demanda y la capacidad del acceso, longitud media de las colas, la probabilidad de detención. etc.

Estos parámetros son tomados por el Software para decidir de forma inteligente que hacer para manejar el tránsito de forma optimizada, para ello puede extender la duración de la "onda Verde", desviar el tránsito a otras calles para descongestionar la carga y facilitar la circulación vehicular disminuyendo también la contaminación del medio ambiente.

Está diseñado en un nuevo concepto de semaforización denominado Semáforos IP, con lo cual permite programar y controlar la sincronización de semáforos de manera rápida e inteligente mediante el uso de un navegador WEB. Estos semáforos pueden ser conectados a la red de datos WIFI, de Fibra Óptica, o cableada que tenga el municipio en la actualidad para centralizar su manejo desde un centro de comandos. Permitiendo manejar el tránsito adecuadamente ya que se interconectan con cámaras.

Scats [3], utiliza el abordaje adaptativo de tráfico en tiempo real para controlar el tráfico urbano, midiendo las condiciones de tráfico actual y, enseguida, hace el ajuste del: Ciclo Length (ciclo semafórico completo), Splits (duración del tiempo de los verdes) y Off Set (para garantizar un sincronismo entre los semáforos, la conocida "ola verde").

Su respuesta en tiempo real garantiza las condiciones más apropiadas y seguras a las fases de la señal de tránsito en los cruces.

Por otro lado, algunas ciudades cuenta con un avanzado sistema que permite la comunicación de los vehículos con los semáforos, de tal forma a que interactúen de acuerdo a la necesidad.

Por el momento, sólo se aplica con vehículos especiales (Ambulancias, policías). Por ejemplo cuando ocurre un accidente, la ambulancia busca una ruta para llegar al punto del accidente, a medida que se acerca a algún cruce semafórico, éstos, se ponen en verde, de tal forma a facilitar el avance de la ambulancia.

Otra forma de conexión entre los semáforos y los vehículos se hace a través de bluetooth (aún experimental). Los sistemas bluetooth permitirán:

- Conocer las rutas más habituales de los conductores, ya que se podrá determinar por qué semáforos (y el orden) pasa cada coche, y de esta forma se sabe la ruta seguida.
- Conocer el tiempo que le ha costado al coche hacer dicha ruta, es decir, se podrá saber con exactitud aquellas zonas donde hay atascos.

El uso de la tecnología bluetooth para conocer las rutas de los vehículos es discutible, ya que depende de que tantos vehículos cuenten con dicha tecnología.

5. Aplicaciones

Se tiene varias aplicaciones para los semáforos inteligentes, entre ellas, citamos las más importantes:

- Controlar la longitud de la cola de vehículos que esperan el cambio de luces en un cruce semafórico.
- Semáforos con un mando a distancia que permite que se encienda sólo cuando lo necesita una persona ciega. Funciona cuando una persona con discapacidad visual lo activa gracias a un mando a distancia especial, momento en el que el semáforo emite una señal para informar al usuario de que ha recibido la orden y se pone en rojo para los vehículos. Transcurridos tres segundos, el semáforo comienza a emitir una señal sonora que indica a la persona ciega que ya puede cruzar el paso de peatones con seguridad durante alrededor de 30 segundos.
- Aviso a los conductores en caso de tráfico lento para que tomen rutas alternativas.
- “Forzar semáforos” para condiciones especiales (como el paso de policía, ambulancias, bomberos, muchos coches esperando, otros).
- Control y programación de la funcionalidad “on-line” (Con respecto a los semáforos).

- Control de Infracciones, es posible a través de las mismas cámaras, podrán fotografiar a los vehículos que se salten el semáforo cuando está en rojo. Integrando un radar, podrán controlar la velocidad de los vehículos al pasar por el semáforo.
- Utilizan dispositivos inalámbricos de comunicación entre semáforos para optimizar el tránsito de vehículos. Incorporando paneles visuales que avisen cuando, por ejemplo, un peatón está cruzando por la zona peatonal (en las zonas que el semáforo de vehículos está ámbar y el de peatones verde). Este sistema funciona mediante la colocación de unos sensores en los extremos de los pasos peatonales, que detectan cuando un peatón está cruzando y envían la señal al panel.
- Incorporar paneles luminosos que dan información en tiempo real sobre las principales rutas y el tiempo estimado en cada instante: En función del lugar en el que están colocados, indican la ruta más habitual y el tiempo estimado. Con estas tecnologías desarrolladas se cuenta con aplicaciones inimaginables, que pueden mejorar el tránsito en las ciudades, así como disminuir el índice de accidentes producidos por el mismo.

6. Otras Ideas

En la figura 5 se observa un enfoque distinto al ya mencionado, con el procesamiento de imágenes.

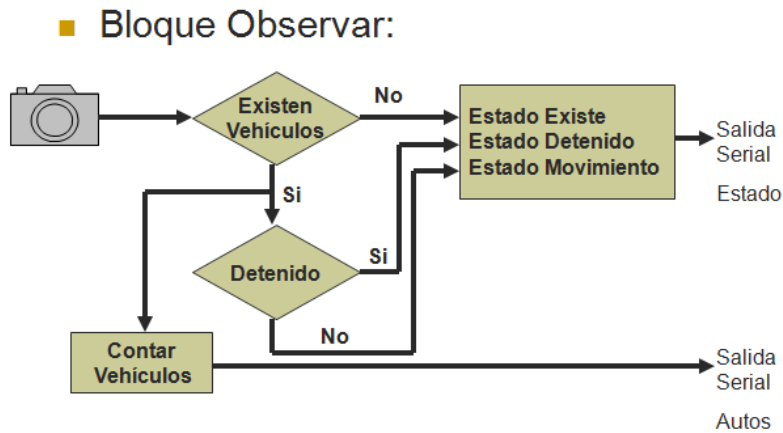


Figura 5: Semáforos Inteligentes con procesamiento de imágenes

Pasos a seguir:

- Observar:
 - Ver todas las direcciones donde se mueve el tránsito.
 - Ver los estados de los vehículos (en movimiento, parado, vacío).
 - Hay vehículos. ¿ Cuantos ?
- Procesar Datos:
 - Analizar las prioridades de las avenidas y dar paso a la de mayor preferencia.
 - Determinar la mejor secuencia.
 - Si no hay tránsito utilizar el algoritmo tradicional.
- Caso en que hay tránsito:
 - No dejar atascada una dirección del tránsito.
 - Si las siguientes cuadras están congestionadas, no congestionarlas más.
- Comunicación con los vecinos:
 - Preguntar si sus calles están congestionadas.
 - El estado del semáforo en dicha calle.

7. Futuro

El objetivo de los semáforos inteligentes es que sean capaces de aprender el tránsito, poder tomar decisiones propias, acertadas, evitando la congestión, prácticamente poder reemplazar a un policía de tránsito. Para ello es necesario desarrollar algoritmos que simulen el comportamiento humano como los de inteligencia artificial.

Por otro lado para facilitar esta tarea, es necesaria una inter-comunicación entre semáforos, vehículos y peatones. En un futuro se espera poder interconectarlos mediante wifi o a través de los smart phones.

Los semáforos inteligentes prácticamente podrán encargarse del tránsito buscando las rutas más óptimas, interconectados con sus aparatos telefónicos, indicarán los caminos alternativos a seguir mediante el GPS.

Los peatones también tendrán ventaja de esta situación ya que será diseñado para ayudar a las personas a cruzar calles que son imposibles por el sistema con que cuentan en este momento. También discapacitados como los ciegos.

La investigación, que está siendo realizada en la Universidad de Texas por el profesor Peter Stone, busca diseñar un semáforo inteligente, capaz de detectar la

velocidad/distancia de todos los vehículos que se acercan, tratar la información, y organizar el cruce (serían semáforos comunicados y coordinados entre sí) para agilizar al máximo el paso de vehículos.

De igual forma, una siguiente fase de la investigación pretende que los semáforos se puedan comunicar con los vehículos (de manera bidireccional), para ofrecer un sistema de información casi perfecto.

La idea, de llevarse a la práctica con éxito, permitiría tener los semáforos en un estado verde el máximo tiempo, poniéndose en rojo únicamente cuando hubiera riesgo real de colisión (es decir, cuando dos vehículos a la vez se aproximarán al cruce).

Además se plantea que los vehículos dispongan de un dispositivo con el cual también envíen señales a los semáforos para que exista retroalimentación. Imagina que vas por la calle y ves que el semáforo está en verde a unos 30 metros de distancia, tu auto envía una señal al semáforo para avisarle que vas en camino, pero el semáforo le responde a tu vehículo que se detenga pues se pondrá en rojo para dejar pasar a un vehículo que va en otra dirección pero que está solo a 10 metros.

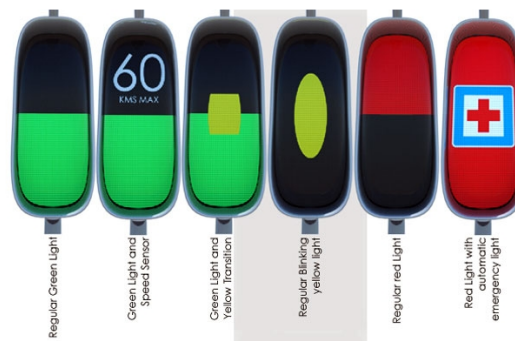


Figura 6: Semáforo del futuro

8. Conclusión

Definivamente con la utilización de los semáforos inteligentes, se solucionan los problemas de congestión, es posible controlar el tráfico de manera eficiente así como minimizar los riesgos de accidentes. Pero como la tasa de vehículos crece en forma masiva, es imposible dejar todo en manos de este tipo de tecnología, es necesario buscar otras alternativas que se combinen a los semáforos inteligentes

para encontrar el equilibrio óptimo.

Con esta tecnología se pretende que los vehículos pasen el menor tiempo posible parados por altos de los semáforos y lleguen a su destino con mayor rapidez y seguridad. De esta forma se podría regular de mejor manera el tráfico de las grandes ciudades, donde cada año muchas personas pierden demasiadas horas de su vida, las cuales están dejando de ser útiles para la sociedad.

Utilizar los semáforos inteligentes en sí no trae muchos inconvenientes, es decir, que es posible que cualquier ciudad pueda contar con dichos dispositivos, pero para aprovecharlos de la mejor manera es necesario contar con la infraestructura adecuada por lo que países como Paraguay están bastante lejos de este tipo de tecnologías.

En el futuro, se espera que los semáforos dirijan el tráfico entre las ciudades y estén en continua comunicación con los vehículos, mandando señales en tiempo real sobre el tránsito. Así el conductor podrá prever las condiciones del tránsito en tiempo real.

Referencias

1. Coches, "http://noticias.coches.com/noticias-motor/trafirdar-el-semaforo-inteligente-con-el-ambar/55406."
2. S. Lizun, "http://www.lyzunsistemas.com.ar/microsite/transito.php."
3. Digicon, "http://www.digicon.com.br/site/es/transito/menutransitoscats.html."
4. M. Wiering, "Cognitive systems," *Ercin News*, vol. 53, pp. 40–41, 2003.
5. A. S. Khalid, A. Jaiz, and F. Wajdi, "Dynamic traffic light sequence algorithm using rfid," *Computer Science*, vol. 4, pp. 517–524, 2008.
6. K. Yousef, J. Al-Karaki, and A. M. Shatnawi, "Intelligent traffic light flow control system using wireless sensors networks," *Information Science and Engineering*, vol. 26, pp. 753–768, 2010.
7. A. Goel, S. Ray, and N. Chandra, "Intelligent traffic light system to prioritized emergency purpose vehicles based on wireless sensor network," *Computer Applications*, vol. 40, pp. 36–39, 2012.
8. M. Arora and V. Banga, "Intelligent traffic light control system using morphological edge detection and fuzzy logic," *Intelligent Computational Systems*, vol. 7, pp. 151–154, 2012.
9. E. Nijhuis, S. Peelen, R. Schouten, and A. Steingruover, "Intelligent traffic light control," in *Design and Organization of Autonomous Systems*, 2005.
10. J. G. Gomez, "Metodologia de diseno," in *Conjuntos y Sistemas Difusos*, 2001.
11. J. Snowdon, "http://snowdonjames.com/intelligent-traffic-lights."
12. T. Carreteras, "http://www.tecnocarreteras.es."
13. ALT1040, "http://alt1040.com/2011/09/algorithmo-disolver-atascos."
14. I. Flores, "http://www.lahoradesalta.com.ar/2012/04/12/semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico/."
15. Ingenieros, "http://blogingenieria.com/universidades-ingenierias/tecnologia-semaforos-inteligentes."

16. G. Martínez, "<http://www.tiempodesanjuan.com/notas/2012/8/12/onda-verde-gps-como-tubo-mendoza-15523.asp>."
17. WikiSpaces, "<http://trabajosi.wikispaces.com/semaforos+inteligentes>."
18. Uader, "http://gidea-uader.com.ar/resumen_para_publicacion.html."