

# Desarrollo de un sistema de detección de adelantamiento \*

Víctor M. Gómez      Carlos Agüero      José M. Cañas  
Vicente Matellán  
Laboratorio de Robótica, Grupo de Sistemas y Comunicaciones  
Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles (Madrid), España  
{vmanuel,caguero,jmplaza,vmo}@gsyc.escet.urjc.es

## Resumen

*El objetivo del Sistema Inteligente de Adelantamiento (SIA) que presentamos en este artículo es la detección automática de situaciones de adelantamiento entre vehículos pesados. Con este proyecto se persigue agilizar esta maniobra aumentando la fluidez del tráfico y mejorando la seguridad. El sistema utiliza una serie de sensores distribuidos por el vehículo y un procesador que está programado para identificar el inicio y fin del adelantamiento, elevando o descendiendo respectivamente el umbral máximo de velocidad. En este artículo justificamos la utilidad de este sistema, establecemos los requisitos que debe cumplir, describimos el prototipo realizado y detallamos las pruebas llevadas a cabo con él para verificar su funcionamiento.*

## 1. Introducción

La industria automovilística hace uso de los últimos avances e investigaciones para dotar a sus vehículos de mayor comodidad, seguridad y prestaciones. En el apartado de seguridad, numerosos avances se incorporan paulatinamente a nuestros automóviles. En los últimos tiempos se ha trabajado en mejorar la seguridad teniendo en cuenta al resto de vehículos (cámaras para vigilar los puntos muertos, etc.). En esa línea se encuadra este trabajo.

El sector del transporte de mercancías por carretera está regulado por la Unión Europea. La directiva 926EEC [1] estipula que los vehículos pesados deben estar obligatoriamente equipados con limitadores de velocidad. Es habitual que estos vehículos viajen a la máxima velocidad permitida y las diferencias de velocidad entre un camión y otro sean mínimas. La baja velocidad

relativa entre los vehículos implicados en un adelantamiento ralentiza esta maniobra, aumentando el riesgo de accidente. Igualmente aumenta la congestión en las carreteras, ¿quién no ha sufrido el adelantamiento entre dos camiones en alguna autopista?. Las estadísticas de tráfico lo consideran una de las mayores causas evitables de atascos en las autopistas y la causa de múltiples accidentes cada año.

La maniobra de adelantamiento con uno de los camiones detenido necesita unos 150m. (espacio para cambiar de carril, longitud del vehículo adelantado, retorno al carril). En una situación real a 2 km/h de velocidad relativa (por ejemplo con dos camiones circulando a la máxima velocidad permitida, a 91Km/h y 89Km/h respectivamente), estos pocos metros implican aproximadamente 3 minutos de maniobra y 5 km recorridos.

Supongamos ahora que el limitador de velocidad pudiese incrementar la velocidad del vehículo que adelanta, por ejemplo en 20Km/h. Esa sería ahora aproximadamente la velocidad relativa de los vehículos. El tiempo del adelantamiento sería entorno a los 24s, de manera que la maniobra se alargaría hasta los 750 metros aproximadamente, lo que es una reducción más que significativa. El proceso concreto se ilustra en la figura 1.

No hay ningún problema técnico para construir un limitador de velocidad que tenga dos velocidades máximas. Los motores de los vehículos pesados tampoco tienen problema para alcanzar una velocidad más alta. Se trata pues de un problema legal por el temor de las autoridades a que este incremento de velocidad para los adelantamientos se convierta *de facto* en un incremento global de la velocidad. La presión del mercado sobre los transportistas haría que los conductores hicieran un uso ilegal de esta velocidad extra.

El objetivo del trabajo descrito en el artículo es el diseño y construcción de un sistema que detecte autónomamente situaciones de adelantamiento (en condiciones de velocidad relativa baja) para dar una pequeña velocidad extra que reduzca el tiempo de adelantamiento. Por tanto, la salida del sistema es una señal de control sobre el limitador para au-

\* Este trabajo ha sido ideado, patentado y realizado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), con la colaboración de la empresa Consultrans SA, y la Universidad Rey Juan Carlos a través del contrato SIS M-151

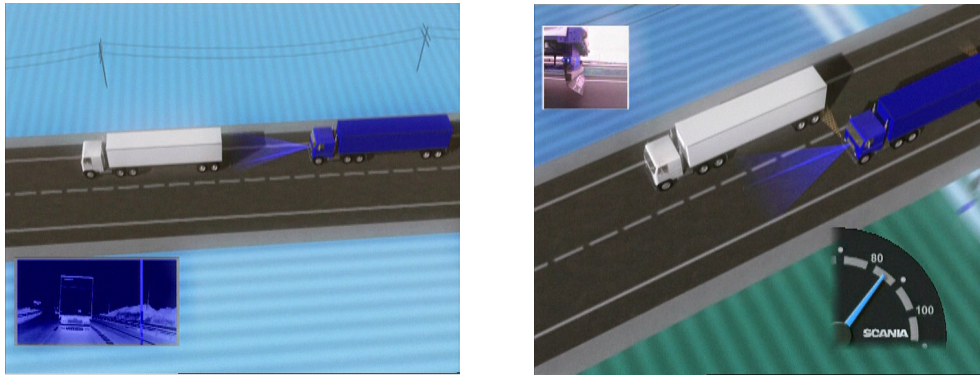


Figura 1: Sensores empleados para la detección de la situación de adelantamiento

mentar o reducir temporalmente su límite de velocidad.

La segunda sección analiza las tecnologías sensoriales exploradas para detectar el comienzo y finalización de la maniobra de adelantamiento. La tercera sección describe el microcontrolador utilizado para gestionar los sensores y el software desarrollado para detectar los vehículos e identificar las situaciones. La cuarta sección resume los experimentos realizados con el prototipo construido. La última sección presenta las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

## 2. Análisis de las tecnologías sensoriales

Se han indentificado dos necesidades sensoriales para este sistema: *Sensor frontal* para detectar al vehículo frontal que se va a rebasar y *sensor lateral* para detectar cuándo se ha rebasado por completo al vehículo que se está adelantando. En ambos casos la elección de los sensores es crítica ya que proporcionan toda la información disponible para identificar el comienzo y final del adelantamiento.

Para evaluar correctamente las diferentes alternativas de sensorización es necesario tener en cuenta los requisitos del sistema. Los principales son:

- Independencia del conductor: la decisión de conceder el extra de velocidad no se quiere delegar en el conductor. Es más, sería deseable que el conductor no pudiese influir conscientemente en la decisión.
- Autosuficiencia: el sistema tiene que ser capaz de detectar cualquier tipo de vehículo, o el mayor porcentaje posible. Por ejemplo, no es aceptable que se necesite que los vehículos adelantados estén equipados con algún dispositivo como reflectores, emisores, etc.
- Condiciones de funcionamiento: el prototipo irá empujado en un vehículo, esto influye por ejemplo en la alimentación disponible (12V./24.). También deberá soportar vibraciones, temperaturas muy variadas, etc.

- Fiabilidad: el sistema tiene que funcionar en la mayor cantidad de condiciones atmosféricas posible. Igualmente el sistema debería funcionar en diferentes tipos de carreteras: autopistas, de montaña, etc. así como a diferentes horas del día, noche, etc.
- Coste: la relación calidad-precio es un factor clave para cualquier sistema industrial. En particular, el coste total del sistema debería ser similar al de otros sistemas de ayuda a la conducción disponibles para vehículos comerciales (GPS, logística, etc.)

Muchas tecnologías de sensorización disponibles en los robots móviles se han usado en la industria del automóvil, por ejemplo visión ([2]), láser ([6], [3], [5]), o ultrasonidos. Además, otras tecnologías menos usuales en robots móviles como el RADAR están extendidas en el campo de la automoción. Esta tecnología está siendo ampliamente utilizada en los ACC (*Auto Cruise Control*) para controlar la velocidad y en los más avanzados CWS (*Collision Warning Systems*) para ajustar la velocidad de los automóviles a la velocidad de los vehículos que les preceden.

En nuestro estudio los sensores RADAR han mostrado dos problemas fundamentales: La falta de proveedores en España y la incompatibilidad legal de utilización en Europa. En primer lugar los fabricantes de estos dispositivos venden el sistema completo, el CWS, no el sensor, y no tienen un interfaz de programación para adaptar su uso a nuestras necesidades. Además, se trata de proveedores de la industria del automóvil, poco acostumbrados a vender un único dispositivo, por lo que nos ha resultado imposible verificar sus posibilidades. En segundo lugar, el rango de frecuencias americano es diferente del europeo, lo que hace a estos sistemas ilegales en Europa, ya que se trata de proveedores americanos.

El tipo de sensores más extendido en la industria de la automoción es el de ultrasonidos. Multitud de automóviles están equipados con sensores de ayuda al aparcamiento.

to. Comparado con un RADAR, un sensor de ultrasonidos es más impreciso, especialmente por la incertidumbre angular (aunque se podría acotar usando más de un sensor); tiene menos alcance (un orden de magnitud menor). En cambio su precio es varios órdenes de magnitud menor.

Los sensores láser por su parte tienen una precisión muy alta, tanto radial como angular: menor de un centímetro en distancia y una resolución de un cuarto de grado; su alcance es medio (entre 30 y 80 metros dependiendo del modelo). Su principal inconveniente es el precio, no tan elevado como el radar, pero mucho mayor que el de ultrasonidos.

Los sensores basados en infrarrojos tienen varios problemas. El más grave es su sensibilidad a las condiciones atmosféricas: Un cambio de la luz ambiente produce bruscas variaciones de medidas. Por ello son muy imprecisos. A cambio, su precio es muy reducido. Otra alternativa son los sensores LADAR, a medio camino entre el láser y los ultrasonidos tanto en precio como en prestaciones.

La tabla 1 resume las características de los sensores descritos en párrafos previos. Una alternativa que no aparece en la tabla es la basada en visión, que se descartó por su elevado coste computacional.

Sensor	Rango	Precio	Resolución	Fiabilidad
Infrarrojos	10 m	Bajo	10 cm	muy baja
Ultrasonidos	20 m	Bajo	10 cm	baja
Láser	80 m	Alto	1 cm	media
RADAR	200 m	Alto	5 cm	alta
LADAR	50 m	Medio	10 cm	media

Cuadro 1: Tecnologías de sensorización disponibles

A la vista de la tabla 1 los sensores elegidos ha consistido en un sensor láser para la detección frontal del vehículo y sensores de ultrasonidos para los laterales. De esta forma, se aprovecha la precisión del láser para identificar el vehículo a adelantar y la apertura del haz de ultrasonidos para detectar lateralmente a vehículos con todo tipo de morfologías.

### 3. Diseño del sistema

El diseño del sistema se realizó en módulos de manera que hay varios subsistemas. Cada uno de ellos se encarga de una tarea específica:

- El subsistema sensorial sonda gestiona los sensores de ultrasonido. Está implementado con una placa hardware y un microcontrolador.
- El subsistema láser.
- Un sistema de control para tomar la decisión de subir/bajar el limitador. Está implementado con un programa que ejecuta en un PC.

Las conexiones entre subsistemas son a través de interfaces estándar como RS232 y electrónica (cables, pines, etc.). La elección del puerto serie se debe a su universalidad y a la necesidad de realizar un prototipo modular.

#### 3.1. Desarrollo del hardware

Una vez elegido los tipos de sensores hubo que diseñar la infraestructura electrónica que los integrara. Se decidió construir un sistema basado en un microcontrolador PIC capaz de gestionar hasta 4 sensores de ultrasonidos y conectarlos al computador de control a través del puerto serie. En cuanto al láser, éste es más sencillo de conectar al PC ya que posee un puerto serie integrado.

La placa desarrollada se encarga de controlar el disparo de los sensores de ultrasonidos, de forma que no interfieran entre ellos y se obtenga la mayor frecuencia de medidas posible. Para ello los tiempos entre disparo son dinámicos, en función del número de sensores conectados (4 como máximo) y el tiempo máximo de vuelo.

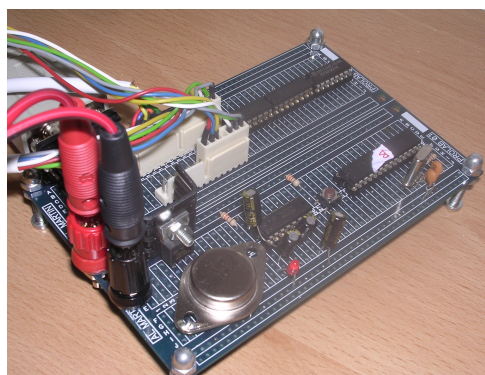


Figura 2: Sistema de gestión de los ultrasonidos

Para mayor flexibilidad se ha diseñado un protocolo de comunicaciones entre el microcontrolador y el PC al que va conectado, así es posible enviar comandos para regular el funcionamiento de los sensores. De manera que es posible activar y desactivar selectivamente sensores concretos, por ejemplo activar los sensores laterales sólo cuando se está adelantando.

La figura 2 muestra el sistema de control de los ultrasonidos desarrollado y la figura 3 el prototipo completo con el sensor láser de Sick y tres ultrasonidos de Polaroid.

La programación del microcontrolador se ha realizado en lenguaje ensamblador y se han utilizado varios elementos específicos del modelo seleccionado (PIC 16F876). Por ejemplo, hemos usado la USART para el envío y recepción RS232 de los datos, la unidad CCP con el fin de capturar el rebote de la señal emitida por los ultrasonidos, etc.



Figura 3: Prototipo utilizado en las pruebas

El diseño eléctrico de la placa persigue que su rango de funcionamiento sea lo más amplio posible. En este sentido y para favorecer el uso con las distintas baterías que incorporan los camiones, la placa puede alimentarse a cualquier tensión entre 12V y 24V.

### 3.2. Desarrollo del software

La aplicación de control que ejecuta en el PC se encarga de detectar los eventos principales que se producen en la maniobra de adelantamiento. Estos eventos son dos, que describiremos detalladamente a continuación:

- *Inicio del adelantamiento*, mediante la detección frontal del vehículo a rebasar
- *Fin de adelantamiento*, mediante la detección lateral del vehículo al que se está rebasando

**Aplicación de control** La aplicación de control se basa en el autómata de estados del figura 4. El estado en el que está el sistema depende del estado anterior y de la información obtenida de analizar los datos sensoriales actuales. Existen tres posibles estados: Búsqueda de obstáculo frontal (1), detección de obstáculo lateral (2) y detección de fin de obstáculo (3).

En el primer estado se analizan los datos tomados por el láser para identificar al vehículo que potencialmente será adelantado. Una vez detectado, si el conductor ha señalado la maniobra con el intermitente, y se acerca al vehículo, se concede la velocidad extra y se pasa al segundo estado. En el segundo estado se analizan los sensores de ultrasonido. Cuando se percibe que el vehículo está a la altura del sensor se produce una nueva transición. En el tercer estado se analizan los ultrasonidos para detectar el fin del adelantamiento. Cuando el vehículo es rebasado, el autómata retorna al estado inicial, anula la velocidad extra y comienza de nuevo el ciclo.

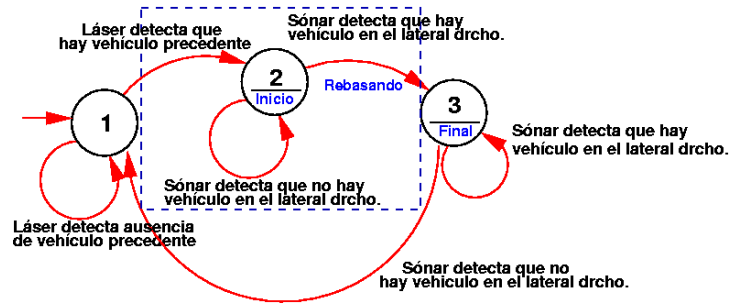


Figura 4: Diagrama de flujo del autómata empleado en la aplicación de control

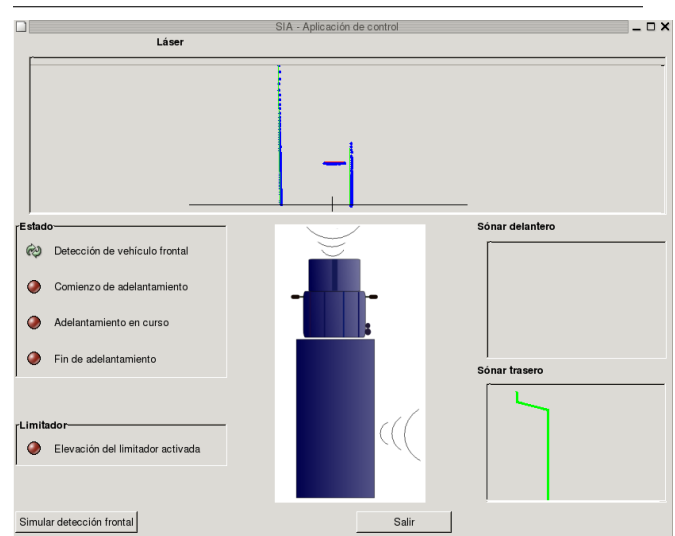


Figura 5: Aspecto de la aplicación de control

La figura 5 muestra el aspecto de la aplicación de control. En la parte izquierda se aprecian los iconos que indican el estado en el que se encuentra la aplicación. En la esquina inferior izquierda se sitúa otro icono que muestra si el limitador de velocidad está activo o no. En la parte derecha y superior están las ventanas de visualización de las medidas obtenidas por los ultrasonidos y el láser respectivamente.

**Inicio de adelantamiento** Para la detección frontal, la información sensorial proporcionada por el sensor láser consiste en un conjunto de 180 medidas de distancia a una frecuencia de 10 Hz, como los de la figura 6. Esta información no es fácil de interpretar directamente, por lo que hay que realizar un procesado de ella. En concreto, el sistema desarrollado agrupa puntos en segmentos rectos.

Una de las aportaciones del sistema es el algoritmo de

segmentación [4] de las medidas obtenidas por el láser. Este algoritmo se basa en el principio de hipotetizar segmentos. Inicialmente estima la pendiente entre el primer y el último punto obtenidos por el láser, e intenta verificar si todos los puntos intermedios están dentro de la recta hipotetizada, con una determinada tolerancia. Para ello calcula la coordenada  $y'$  esperada utilizando la ecuación de la recta  $y' = pendiente * (x - x1) + y1$ , donde  $(x1, y1)$  es un extremo del segmento.

Una vez calculado este valor se compara con el valor real que tiene ese punto en el eje  $Y$ . Si se sale del umbral puede descartarse el segmento hipotetizado. El algoritmo hipotetizará un nuevo segmento que tiene como punto inicial aquel cuyo valor del eje  $Y$  quedaba fuera del umbral establecido, y como punto final el mismo que tenía el segmento descartado. Esta solución asume que un segmento es bueno, es decir hace válida la hipótesis, cuando todos sus puntos intermedios están dentro del umbral de tolerancia. Además de eso tiene que cumplirse que la distancia entre puntos consecutivos no sea mayor que un determinado valor. Si hay puntos entre los cuales la distancia es muy grande seguramente no pertenezcan al mismo segmento (p. e. dos coches en paralelo, etc.).

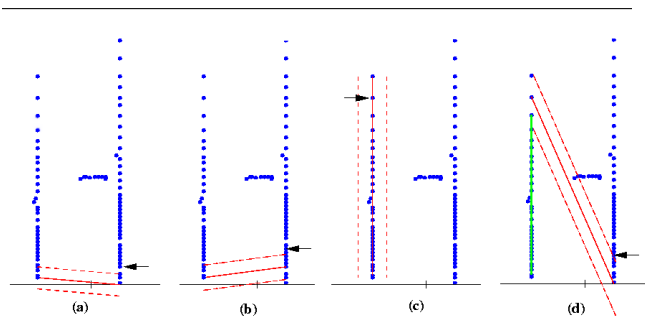


Figura 6: Segmentación de los puntos láser durante una prueba a escala similar a la circulación por un túnel

El proceso de segmentación de los puntos láser se puede ver en la imagen 6. En la figura (6a) se puede observar como inicialmente el segmento hipotetizado (en color rojo) es el que va de la medida del haz 0 al 179. También se puede observar que el primer punto analizado que está fuera del umbral (línea roja discontinua) es el que rompe la hipótesis (señalado por la flecha de color negro). Cuando se rompe la hipótesis se realiza otra nueva que en este caso va desde el punto donde se rompió hasta el punto final, como se aprecia en la imagen (6b). También se puede observar en la imagen en qué punto se rompe la hipótesis (indicado por la flecha). En la figura (6c) el algoritmo ya ha descartado más hipótesis y desecha ésta también por

que la distancia entre los puntos de la parte de arriba de la hipótesis es muy grande. En este caso se rompe la hipótesis en el punto (indicado por la flecha) en el que su distancia con el anterior era muy grande. Por último en la figura (6d) se puede ver como el algoritmo ha validado una hipótesis (el segmento de color verde) y se dispone a analizar el resto de las medidas.

Después de realizar esta segmentación se comprueba si algún segmento se corresponde con un vehículo precedente cercano, verificando que:

- El segmento debe estar centrado en el foco del láser, es decir, debe ser un segmento correspondiente a las medidas centrales de entre las obtenidas por el láser. Con esto el vehículo está justo enfrente del nuestro que lleva el sistema SIA.
- El segmento debe tener pendiente casi nula. De momento sólo estamos analizando el caso sencillo de adelantamiento, en el que se supone que el adelantamiento se realiza en un tramo recto. Por este motivo el vehículo precedente se corresponderá con un segmento horizontal (con cierto margen de tolerancia).
- La distancia entre el láser y el segmento debe ser menor a un umbral. El vehículo precedente se puede detectar desde 50 m. pero hasta que no estemos suficientemente cerca el adelantamiento no tiene sentido.
- El segmento debe tener una cierta longitud para que se pueda concluir que es un vehículo.

Si se cumplen estas condiciones el sistema determinará que existe un vehículo susceptible de ser adelantado y se pasará al estado 2.

**Fin de adelantamiento** El evento que provoca el paso del estado 2 al 3, es decir el fin del adelantamiento, es la detección lateral del vehículo. Esta detección consiste en identificar flancos en las medidas de distancia de los sónares, ya que cuando se empieza a detectar al vehículo a rebasar la distancia disminuye y se produce un escalón. Lo mismo sucede cuando se deja de detectar al vehículo una vez rebasado por completo.

Para la implementación de la detección lateral hemos seleccionado una ventana dinámica y configurable que analiza y calcula la media de las medidas sónar durante un espacio de tiempo de 2 seg.. Cada medida capturada por los ultrasonidos es comparada con la media de valores recibidos en la última ventana temporal. Si la medida varía significativamente respecto de la media, esta medida se considera como un posible obstáculo. Si la siguiente medida también lo hace se considera que se ha detectado un obstáculo. La media de valores obtenida hasta este punto se almacena temporalmente. Esta técnica es robusta ante ruido durante la fase de verificación del obstáculo.

## 4. Experimentos

En la sección anterior se han descrito con cierto detalle las implementaciones de la detección frontal y lateral del vehículo, así como la aplicación de control que se sirve de estos eventos. En la fase de pruebas experimentales se comprobó el correcto funcionamiento de estos programas y la validez de los sensores escogidos.

Las pruebas de la aplicación de control se han realizado únicamente en interiores y con pruebas a escala. Para interferir lo menos posible en dichas pruebas se ha utilizado un robot Pioneer de ActivMedia. El resultado de estas pruebas es que el algoritmo de segmentación y detección de vehículos frontales (evento que provoca el paso del estado 1 al 2) funciona correctamente. Las pruebas realizadas con el láser Sick LMS-221 han mostrado la precisión de éste.

La transición del estado 2 al 3 depende del correcto funcionamiento de la implementación de la detección lateral. En particular, una de las cuestiones más preocupantes era saber si los ultrasonidos podrían obtener medidas fiables a esas velocidades. Su funcionamiento se basa en la propagación de una onda mecánica, que se ve afectada fuertemente por la velocidad.

En la figura 7 se pueden apreciar las pruebas realizadas con vehículos reales para analizar el funcionamiento de la detección lateral. Podemos observar que las medidas capturadas por los sensores parecen confirmar su validez, ya que son capaces de percibir los cambios en la distancia provocados por la aparición y desaparición de vehículos en la zona lateral. Las pruebas reflejadas en la figura 7 se realizaron a 90Km/h como refleja el velocímetro y encuadrados en la figura podemos ver los instantes de comienzo y fin de detección lateral.

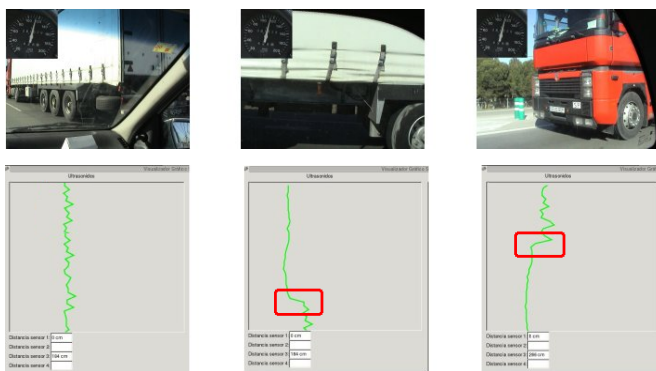


Figura 7: Datos obtenidos durante el inicio, transcurso y fin del adelantamiento

Además se han realizado pruebas a la velocidad máxima permitida en autopistas y autovías españolas (120 km/h)

que también han demostrado la viabilidad del sistema desarrollado.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

El sistema que se ha presentado en el artículo se encuentra en una fase inicial de su desarrollo. En principio el prototipo construido es simplemente un demostrador de viabilidad. Los resultados obtenidos en los experimentos realizados han sido satisfactorios<sup>1</sup>, pudiéndose concluir que es viable la idea de desarrollar un sistema comercial de este tipo.

En particular, el algoritmo desarrollado para la construcción de segmentos ha resultado ser muy eficiente y adecuada para la aplicación.

Entre las líneas de investigación abiertas se encuentra el prescindir del sensor frontal y estudiar la viabilidad del proyecto únicamente utilizando sensores de ultrasonido de bajo coste. También se está trabajando en el software de control para optimizar la respuesta del sistema ante más entornos y situaciones que las analizadas hasta la fecha.

## Referencias

- [1] European Commission. *Directive 92/6/EEC*. European Economic Community, 1992.
- [2] Ernst D. Dickmanns. Vehicles capable of dynamic vision - a new breed of technical beings? In *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-97*, pages 1577–1592, Nagoya, (Japan), August 1997.
- [3] Andreas Ewald and Volker Willhoeft. Laser scanners for obstacle detection in automotive applications. Technical report, Fa. IBEO Lasertechnik GmbH, 2000.
- [4] Víctor M. Gómez and José M<sup>a</sup> Cañas. Vision based schemas for an autonomous robotic soccer player. In *Proceedings of IV Workshop de Agentes Físicos WAF-2003*, pp 109-120, Universidad de Alicante (Spain), 2003.
- [5] Klaus C.J. Dietmayer Kay Ch. Fuerstenberg and Volker Willhoeft. Pedestrian recognition in urban traffic using a vehicle based multilayer laserscanner. Technical report, IBEO Automobile Sensor GmbH, 2002.
- [6] Chieh-Chih Wang and Chuck Thorpe. Simultaneous localization and mapping with detection and tracking of moving objects. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2918–2924, Washington DC, May 2002.

<sup>1</sup> En la URL <http://gsync.info/robotica/sia> se pueden visualizar varios vídeos demostrativos del funcionamiento del sistema, así como fotos y mayor detalle del sistema desarrollado, tanto del hardware como del software.