

# **APLICACIÓN DE TÉCNICAS ROBÓTICAS AL ADELANTAMIENTO ENTRE VEHÍCULOS PESADOS**

CARLOS E. AGÜERO, VÍCTOR M. GÓMEZ, JOSÉ M. CAÑAS,  
VICENTE MATELLÁN, FRANCISCO MARTÍN, PABLO BARRERA

Grupo de Robótica de la Universidad Rey Juan Carlos. 28933 Móstoles,  
Madrid (España). {caguero, vmanuel, jmplaza, vmo, fmartin,  
barrera}@gsyc.es

El objetivo de este artículo es presentar la aplicación de técnicas desarrolladas en el campo de la robótica móvil al terreno de los vehículos pesados. En concreto, se presenta la aplicación de sensores y algoritmos de origen robótico a un sistema de adelantamiento entre vehículos pesados. Con este sistema se persigue agilizar esta maniobra aumentando la fluidez del tráfico y mejorando la seguridad.

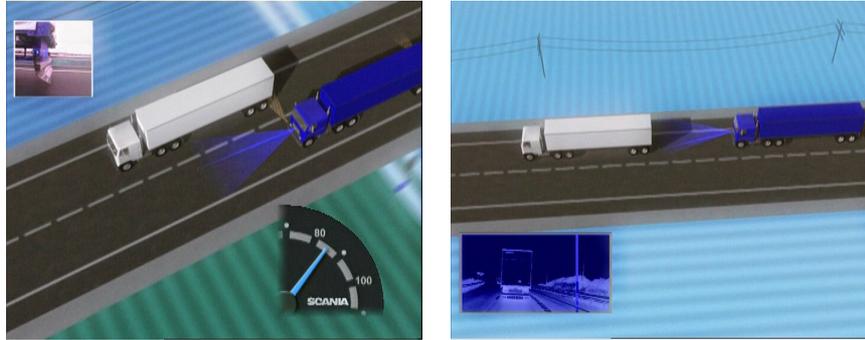
El sistema descrito utiliza una serie de sensores distribuidos por el vehículo y un procesador para identificar el inicio y fin del adelantamiento, elevando en esas situaciones el umbral máximo de velocidad permitida al vehículo.

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**

El sector del transporte de mercancías por carretera está regulado por la Unión Europea. En concreto, la directiva 92/6/EEC [Euro 1992] 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.



**Figura 1:** Adelantamiento entre vehículos pesados

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.

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, recorrer la 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 más de 3 minutos ( $150 \cdot 60 / 2000 = 4.5$  en el peor de los casos), y supone unos 5 Km. de recorrido real ( $90 \cdot 4.5 / 60 = 6.75$  en el peor de los casos).

El objetivo del trabajo descrito en este artículo es el diseño y construcción de un sistema que detecte autónomamente situaciones de adelantamiento en condiciones de velocidad relativa baja, y que permita una pequeña velocidad extra que reduzca el tiempo de adelantamiento. Este sistema se ha denominado SIA: Sistema Inteligente de Adelantamiento [].

En el mismo ejemplo anterior, 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 pasaría a estar

ahora en el 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, donde se representan además los sensores que deberán ser capaces de detectar esta situación.

Muchas tecnologías de sensorización disponibles actualmente en los robots móviles se usan también en la industria del automóvil. Por ejemplo los sensores de ultrasonidos, la visión, etc. En el artículo se presentará una comparativa de las más usuales y los motivos que nos han llevado a elegir las utilizadas en SIA<sup>1</sup>.

Igualmente, en el artículo describiremos los algoritmos, que previamente desarrollados para robots móviles, han sido empleados en la implementación del prototipo del SIA.

Finalmente, en el artículo presentaremos un resumen de los experimentos realizados para verificar el funcionamiento del sistema realizado, así como las conclusiones extraídas.

## 2 SISTEMA DISEÑADO

El primer paso en el diseño de cualquier sistema es el establecimiento de los requisitos del mismo. En el caso del SIA los más relevantes son:

- Autonomía: la decisión de conceder velocidad extra no se puede delegar en el conductor. Es más, sería deseable que el conductor no pudiese influir conscientemente en la decisión.
- Generalidad: el sistema tiene que ser capaz de detectar cualquier tipo de vehículo, o el mayor porcentaje posible de los diferentes tipos. Por ejemplo, no es aceptable que se necesite que los vehículos adelantados estén equipados con algún dispositivo como reflectores, emisores, etc.
- Robusted: el prototipo irá empotrado 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

---

<sup>1</sup> 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

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.)

Estos requisitos son los que hemos tenido en cuenta a la hora de diseñar el sistema de percepción. En concreto, en la industria del automóvil se han utilizado diferentes tecnologías que hemos tenido que evaluar. Las más usuales se basan en visión [Dickmans 1997], láser [Ewald 2000] o ultrasonidos, e incluso revisiones de ellos [Sun 2004].

Otra tecnología muy utilizada en la automoción es 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.

Igualmente, existen sistemas propuestos para detectar las situaciones de adelantamiento entre vehículos [Wang 2005], tradicionalmente basados en visión [Batavia 1997]. Estos sistemas están generalmente diseñados para servir de ayuda al conductor y son muy sensibles a las condiciones atmosféricas y con elevados requisitos computacionales que incumplen los requisitos de nuestro sistema

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. 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.

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
LIDAR	50 m	Medio	10 cm	media

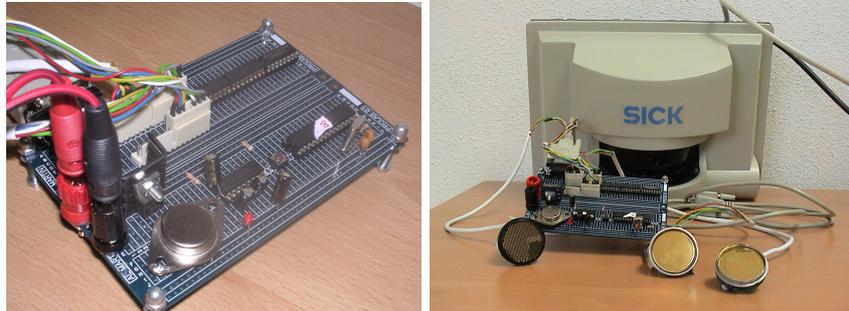
**Tabla 1:** Caracterización de las tecnologías de sensores

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 LIDAR, 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 1 es la basada en visión, que se descartó por su elevado coste computacional.

A la vista de la Tabla 1 la sensorización que nos ha parecido más apropiada consistió 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.



**Figura 2** Sistema sensorial: ultrasonidos y láser

El sistema sensorial se ha construido modularmente, con un subsistema encargado de gestionar los sensores de ultrasonidos construido alrededor de un microprocesador PIC (parte izquierda de la Figura 2), un subsistema láser (parte derecha de la Figura 2) y un sistema de control que será el que decida si conceder o no la velocidad extra en función de la información proporcionada por los dos subsistemas anteriores.

El subsistema de control en el prototipo descrito en este artículo se encuentra en un PC portátil. Todos los subsistemas se comunican a través de un interfaz estándar, en concreto se usa RS232.

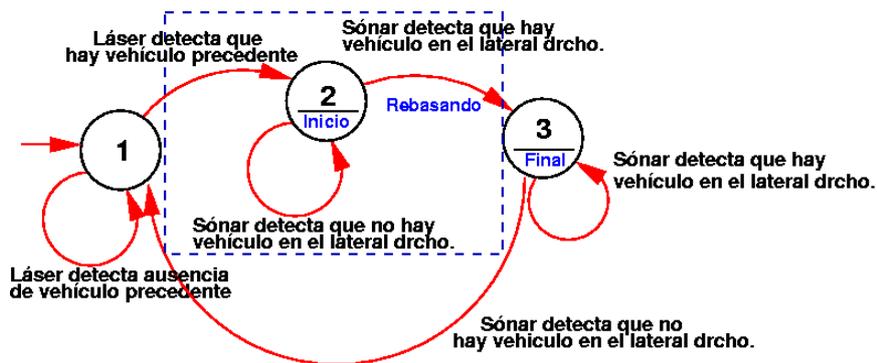
La programación del microcontrolador que gestiona los sensores de ultrasonido se ha realizado en ensamblador y se han utilizado varios elementos específicos del modelo seleccionado (PIC 16F876). Por ejemplo, hemos usado la USART para el envío y recepción RS232 de los datos, la unidad CCP con el fin de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

La placa es capaz de gestionar hasta 4 sensores de ultrasonidos y conectarlos al computador de control a través del puerto serie. 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, y se calculan en función del número de sensores conectados y el tiempo máximo de vuelo.

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.

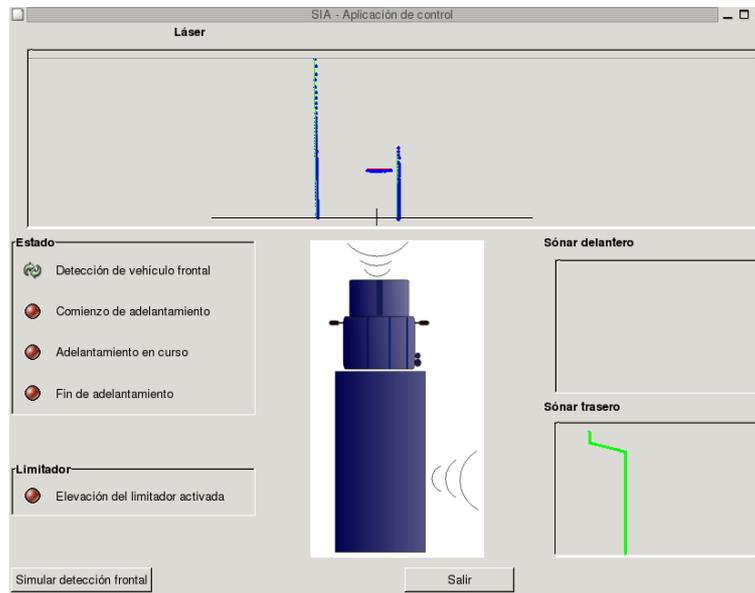
### 3 SISTEMA DE CONTROL

La aplicación de control se basa en el autómata de estados de la Figura 3. 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).



**Figura 3:** Autómata empleado en la aplicación de control

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.



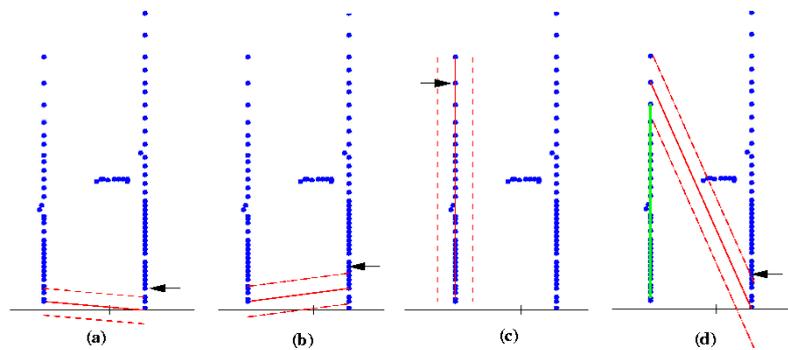
**Figura 4:** Aspecto de la aplicación de control

La Figura 4 muestra el aspecto del interfaz 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 superior se visualizan las medidas del láser (en este caso una simulación de un túnel con un vehículo delante). En la parte derecha se representan las medidas de los sensores de ultrasonidos. En este caso 2.

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.

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, siendo una de las aportaciones del sistema el algoritmo de segmentación de las medidas obtenidas por el láser. Este algoritmo, basado en el propuesto para robots móviles en [], se basa en 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  $y' = pendiente * (x - x_1) + y_1$ , donde  $(x_1, y_1)$  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 5:** Segmentación de los puntos láser durante una prueba a escala

El proceso de segmentación de los puntos láser se puede ver en Figura 5. En la parte (a) 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 parte (b). También se puede observar en la imagen en qué punto se rompe la hipótesis (indicado por la flecha). En la parte (c) el algoritmo ya ha descartado más hipótesis y desecha ésta también porque 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 (d) 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 la 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

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 PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de las pruebas realizadas ha sido comprobar el correcto funcionamiento del programa de control y la validez de los sensores escogidos en situaciones de tráfico real, en condiciones óptimas. Es decir, no se han analizado aún situaciones meteorológicas adversas, ni escenarios complejos de caravanas de vehículos, vehículos compinchados para adelantamientos alternativos, etc.

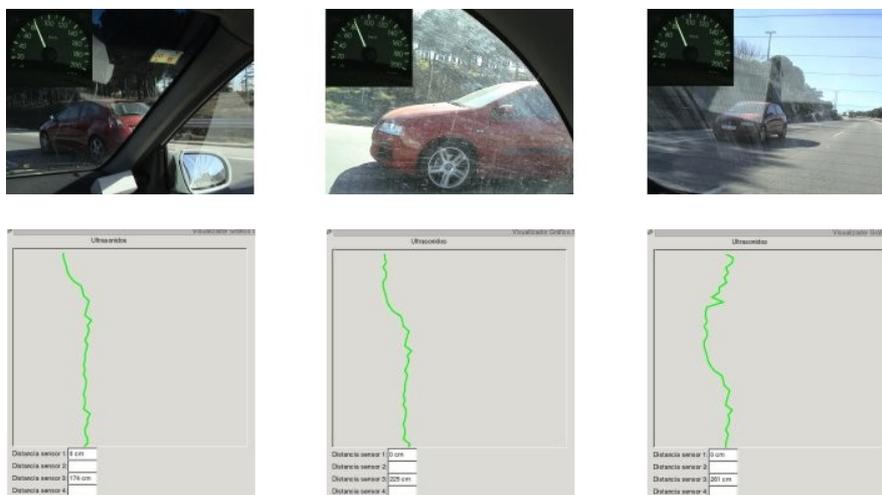
Se ha realizado una batería de pruebas para validar la viabilidad del sistema. Las se realizaron en exteriores, con vehículos reales no preparados, pero a baja velocidad. Concretamente, se realizaron en un aparcamiento al aire libre (parte superior de la Figura 6) con el objeto de comprobar si el sistema sensorial era capaz de detectar si las plazas de aparcamiento estaban vacías o no, lo que se aprecia en la parte inferior de la Figura 6.



**Figura 6:** Prueba a baja velocidad (aparcamiento).

El siguiente experimento consistió en probar el sistema de detección ultrasónico a velocidad media.

Concretamente se realizó la prueba en un vehículo circulando a 80Km/h como se refleja en la Figura 7. El objetivo en este caso era comprobar la calidad de las mediciones del ultrasonido en una maniobra de adelantamiento entre vehículos ligeros. En la parte inferior de la Figura 7 se puede apreciar como la distancia disminuye a 1 metro en el momento de iniciarse el adelantamiento, se mantiene durante un intervalo y vuelve a subir cuando finaliza el adelantamiento.



**Figura 7:** Pruebas a media velocidad (80km/h).

En la Figura 8 se refleja un ejemplo de prueba de adelantamiento a un vehículo pesado a alta velocidad de nuevo para verificar el funcionamiento de los sensores de detección lateral, esta vez a altas velocidades.

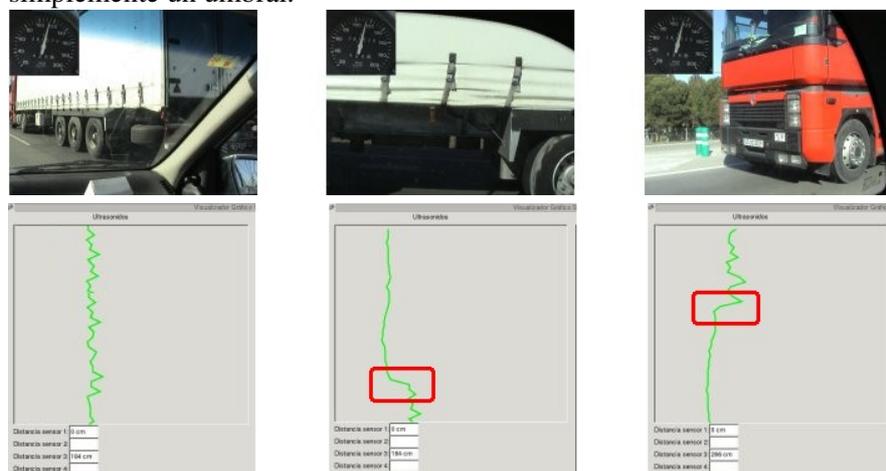
No se puede olvidar que los sensores de ultrasonidos se basan en la propagación de una onda mecánica (de sonido), por lo que aunque la velocidad relativa entre los vehículos sea pequeña, las turbulencias a altas velocidades, y la propia velocidad pueden influir en las medidas.

Podemos observar que las medidas capturadas por los sensores confirman 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 8 se realizaron a 120Km/h, la máxima permitida en las carreteras españolas, como refleja el velocímetro y encuadrados en la figura podemos ver los instantes de comienzo y fin de detección lateral

Los resultado que se pueden observar en la parte inferior de la Figura 8 son similares a los del adelantamiento a media velocidad, la calidad de la medición del sensor de ultrasonidos sigue siendo buena, permitiendo detectar el comienzo y fin de la maniobra, a pesar del mayor ruido en las medidas.

Los recuadros rojos en la Figura 7 muestran los flancos de subida y de bajada que son los que se utilizan para detectar el comienzo y final del vehículo. Como se puede apreciar, dichos flancos son suficientemente

marcados para poderse distinguir del ruido ambiente utilizando simplemente un umbral.



**Figura 8:** Medidas de los sensores laterales

Por último, la muestra el prototipo instalado en un vehículo real, concretamente en un autobús del Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA), en cuyas pistas se realizaron las pruebas de integración de todos los sensores del prototipo.



**Figura 9:** Montaje en un vehículo real (pistas del INTA).

## 5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

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, pudiéndose resumir en 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 adecuado 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.

## **Agradecimientos**

Los autores quieren expresar su agradecimiento a los miembros del equipo del INTA dirigido por D. Ricardo Chicharro y a los de CONSULTRANS SA. con quienes se realizó parte de este trabajo.

El trabajo descrito en este artículo ha sido financiado parcialmente por el Ministerio de Educación mediante el proyecto ACRACE (DPI2004-07993-C03-01) y por la Comunidad Autónoma de Madrid, mediante el proyecto RoboCity 2030 (S-0505/DPI/0176).

## Referencias

(Batavia 1997) Batavia P.H., Pormerleau D.A., y Thorpe C.E. 1997. *Detecting Overtaking Vehicles with Implicit Optical Flow*. CMU-RI-TR-97-28.

(Batavia 1997) Batavia P.H., Pormerleau D.A., y Thorpe C.E. 1997. *Detecting Overtaking Vehicles with Implicit Optical Flow*. *Proceedings of the IEEE Transportation Systems Conference*, pp. 729-734.

(Euro 1992) European Comission. 1992. Directive 92/6/EEC

(Ewald 2000). Ewald A., Willhoeft V. 2000. *Laser scanners for obstacle detection in automotive applications*. Technical Report, Fa. IBEO Lasertechnik GmbH.

(Dickmans 1997) Dickmanns E.D 1997. *Vehicles capable of dynamic vision – a new breed of technical beings?* In Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-97. 1577-1592, Nagoya (JAPÓN).

(Gómez 2003) Gómez V., Cañas J.M. 2003 *Vision based schemas for an autonomous robotic soccer player*. In Proceedings of the IV Workshop en Agentes Físicos, WAF-2003. 109-120, Alicante (SPAIN).

(Gómez 2005) Gómez V., Agüero C.E. , Cañas J.M., Matellán V. 2005 *Desarrollo de un sistema de detección de adelantamiento.. XI Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI-2005)*, ISBN:84-8102-964-5, Santander (ESPAÑA).

(Sun 2004). Sun Z., Bebis G., y Miller R. 2004. *On-road Vehicle Detection Using Optical Sensors: A Review*. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 585-590.

(Wang 2005). Wang J., Bebis G., Millar R. 2005. *Overtaking vehicle detection using Dynamic and Quasi-Static Background Modeling*. Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05).

(Zhu 2006) Zhu Y., Comaniciu D., Pellkofer M y Koehler T. 2006 *Reliable Detection of overtaking vehicles using robust information fusion*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation systems, Vol. 7, Num. 4