



## Sistema de Guiado Automático para Altas Velocidades

Vicente Milanés, Enrique Onieva, Joshué Pérez Rastelli, Jorge Godoy, Jorge Villagra, Javier Alonso

► **To cite this version:**

Vicente Milanés, Enrique Onieva, Joshué Pérez Rastelli, Jorge Godoy, Jorge Villagra, et al.. Sistema de Guiado Automático para Altas Velocidades. Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, Jul 2011, Badajoz, España. hal-00737477

**HAL Id: hal-00737477**

**<https://hal.inria.fr/hal-00737477>**

Submitted on 1 Oct 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Sistema de Guiado Automático para Altas Velocidades

Vicente Milanés, Enrique Onieva, Joshué Pérez, Jorge Godoy, Jorge Villagrà, Javier Alonso  
Programa AUTOPIA

Centro de Automática y Robótica (CAR)

Universidad Politécnica de Madrid–Consejo Superior de Investigaciones Científicas (UPM-CSIC)

La Poveda–Arganda del Rey, 28500 Madrid

email: {vicente.milanes,enrique.onieva,joshue.perez,jorge.godoy,jorge.villagra,javier.alonso}@csic.es

**Abstract**—El desarrollo de los sistemas de ayuda a la conducción en los últimos años hace pensar en la posibilidad a corto plazo de vehículos circulando de manera completamente autónoma en las carreteras. Sin embargo, la mayoría de los trabajos se centran en una conducción urbana a velocidades inferiores a 50km/h. Este artículo presenta la primera aproximación del programa AUTOPIA hacia un vehículo completamente autónomo circulando en autopistas. Para ello, se ha desarrollado un sistema de control de dirección para altas velocidades, un sistema cartográfico y un sistema de posicionamiento de alta precisión para guiar automáticamente el coche. El sistema ha sido montado en un vehículo de serie y probado en carreteras reales a altas velocidades con resultados esperanzadores.

## I. INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas han visto como el incremento tanto del número de vehículos como de conductores ha provocado la saturación y congestión de las carreteras, fundamentalmente en el entorno de las grandes ciudades. Una consecuencia inmediata del aumento del número de vehículos ha sido el significativo incremento del número de accidentes y, como consecuencia del mismo, del número de fallecidos en carreteras.

Los gobiernos de los diferentes países miembros de la Unión Europea (UE) han impulsado diversas acciones para reducir estos números. En los últimos datos presentados por CARE (Community database on Accidents on the Roads in Europe) en junio de 2009 [1] se refleja la buena dirección en este sentido con una sustancial disminución en el número de fallecidos en las carreteras (ver Fig. 1). A pesar de esta importante reducción, se sigue pensando que no es suficiente y se buscan formas para continuar mejorando estos resultados buscando nuevos enfoques para conseguir un nuevo impulso en la política en materia de seguridad vial para la próxima década.

Desde el punto de vista empresarial, los fabricantes de vehículos también se han volcado en la incorporación de sistemas de seguridad, tanto activa como pasiva, a sus modelos comerciales. Igualmente, han apostado de manera decidida por las líneas de investigación relacionadas con este campo y, prueba de ello, son los acuerdos existentes entre centros de investigación y empresas para la transferencia tecnológica.

El aumento de la seguridad en los nuevos modelos de vehículos comerciales ha contribuido decisivamente a los

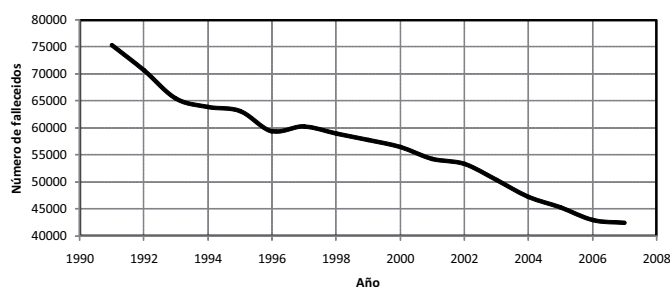


Fig. 1. Evolución de fallecidos en accidentes de tráfico dentro de UE-27.

resultados cosechados en los últimos años; sin embargo, nos encontramos con dos principales problemas a la hora de mejorar los resultados obtenidos. Por un lado, la saturación de las vías de circulación, cada vez más congestionadas en las inmediaciones de las grandes ciudades donde la posibilidad de incrementar el número de carreteras presenta una dificultad añadida por los problemas de espacio para la construcción de las mismas. Por otro lado, la dependencia del conductor humano. A pesar de las ayudas a la conducción ya implementadas, la última palabra a la hora de tomar una decisión sigue siendo del conductor humano que a través de su experiencia en la conducción y la predicción del comportamiento de los vehículos de su entorno, toma decisiones que pueden no ser correctas.

Desde la comunidad científica se han realizado numerosos y considerables esfuerzos para automatizar los sistemas de transporte citando como más relevantes los pilotos automáticos de aviones y metros. Sin embargo, las aplicaciones relativas al transporte por carretera, fundamentalmente en entornos urbanos, exigen la consideración de multitud de variables para un buen manejo de un entorno no estructurado, constituyendo un campo en plena expansión y de gran relevancia.

Entre los resultados más destacados, se pueden citar los obtenidos por el grupo *Vislab* de la Universidad de Parma (Italia) que, a finales de 2010, llevaron a cabo un viaje con dos vehículos eléctricos de Parma a Shanghai, realizando tramos del recorrido de manera autónoma a velocidades próximas a los 50–60 km/h [2], [3]. En Estados Unidos, cabe destacar dos programas de investigación: en primer lugar, los resultados

obtenidos por el grupo *Stanford AI Lab*, dirigidos por el Prof. S. Thrun, donde recorrieron varios kilómetros de manera autónoma con una velocidad media de 30 km/h [4], [5]; en segundo lugar, el programa PATH de la Universidad de Berkeley, donde una demostración con ocho vehículos conduciendo en caravana durante varios kilómetros a velocidades próximas a los 80 km/h constituye, hasta el momento, la demostración con mayor repercusión en el campo de los sistemas inteligentes de transporte por carretera [6], [7].

Gracias a estos esperanzadores resultados, la aparición de los vehículos autónomos en el mercado ha pasado de ser una utopía a convertirse en una posibilidad real a medio plazo. La fuerte inversión realizada por las industrias del sector del automóvil ha propiciado la aparición de diversas ayudas al conductor eximiéndole de tareas como el manejo del acelerador y freno en autopistas o el aparcamiento en circulación urbana que hace pocos años se consideraban impensables.

A pesar de estas significativas mejoras, queda un largo camino por recorrer hasta encontrar vehículos completamente autónomos en el mercado, fundamentalmente porque dichos vehículos deberían coexistir con los vehículos que actualmente se encuentran en circulación.

El trabajo aquí presentado se encuadra dentro del Programa AUTOPIA [8] que engloba varios proyectos dedicados a la investigación en el campo de los vehículos autónomos partiendo de los conocimientos del grupo en robótica móvil. La filosofía del grupo se orienta al empleo de técnicas de inteligencia artificial – lógica borrosa principalmente – para llevar a cabo el control de los vehículos con la mínima intrusión en los mismos. En este sentido, se presenta un sistema capaz de guiar al vehículo de manera automática en autopistas. El sistema diseñado ha sido montado en un vehículo prototipo y se han realizado pruebas a distintas velocidades para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

En la siguiente sección se presenta un repaso a los avances más importantes realizados por el grupo, posteriormente se detalla el vehículo prototipo utilizado para, después, desarrollar el sistema de control diseñado. Finalmente, se muestran los resultados experimentales conseguidos.

## II. PROGRAMA AUTOPIA

El Programa AUTOPIA se encuentra en España en el Centro de Automática y Robótica (CAR), centro mixto entre la Universidad Politécnica de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (UPM-CSIC). La línea de investigación principal se orienta hacia la conducción automática de vehículos.

Desde sus inicios en 1998, ha centrado su trabajo en la aplicación de técnicas de control, desarrolladas primero para robots móviles, en vehículos autónomos reales. Estas técnicas de inteligencia artificial se basan en lógica difusa, dado que permite el uso de reglas relativamente sencillas para emular el comportamiento humano en conducción de vehículos. El objetivo final es lograr una conducción completamente autónoma, así como mejorar la seguridad en la conducción,



Fig. 2. Vehículo experimental utilizado durante una exhibición pública en las instalaciones del CAR.

principalmente en entornos urbanos y frente a situaciones de alto riesgo.

Durante este tiempo, el grupo ha diseñado, desarrollado e implementado un sistema de control para la automatización de dos furgonetas eléctricas modelo Citroën Berlingo partiendo de una arquitectura de control totalmente modular [9] y, posteriormente, ha transferido esta arquitectura y los conocimientos previos a un vehículo de gasolina descapotable modelo Citroën C3 Pluriel [10]. En la actualidad, otro Citroën C3 está completamente automatizado y el diseño para la adaptación de estos sistemas a un vehículo de transporte público, un minibus eléctrico, está actualmente en desarrollo.

Los primeros resultados conseguidos se pueden separar en dos líneas. En primer lugar, el guiado automático de los vehículos [11], [12] manejando tanto volante como acelerador y freno de manera automática. En segundo lugar, la realización de maniobras cooperativas como el control de cruce adaptativo a bajas velocidades [13], maniobras de preferencia de paso en cruces [14] o adelantamientos en carreteras de doble sentido considerando tráfico de frente [15]. Cabe decir que dichas maniobras están basadas en un sistema de comunicaciones vehículo-vehículo para permitir el intercambio de información entre los coches involucrados.

Posteriormente, se han introducido sistemas que permiten el intercambio de información con señales ubicadas en la infraestructura basadas en RFID [16] (del inglés, Radio Frequency Identification) o sensores Zigbee [17].

Actualmente, el programa AUTOPIA se encuentra trabajando fundamentalmente en dos líneas de investigación. En primer lugar, desarrollar una plataforma capaz de integrar las comunicaciones entre los vehículos con la información recibida desde las señales en la infraestructura, desarrollando para ello una nueva arquitectura de control (ver detalles en [18]). Por otro lado, la adaptación de estos sistemas a la circulación en autopistas, línea en la que se integra el trabajo aquí presentado.

En los resultados obtenidos hasta la fecha, el programa AUTOPIA ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo de sistemas para entornos urbanos, donde se producían la mayoría de accidentes. Sistemas para bajas velocidades y en zonas muy congestionadas han sido las primeras objetos de estudios (ver [11], [13], [14] para más detalles). Este trabajo, se centra en el estudio de sistemas automáticos para altas velocidades en autopistas donde las condiciones del entorno exigen una gran precisión en el control donde cualquier fallo podría provocar un accidente mortal.

### III. VEHÍCULO EXPERIMENTAL

El sistema de control desarrollado se ha implementado sobre uno de los vehículos de la flota de AUTOPIA, concretamente un Citroën C3 descapotable (Fig. 2) al que se ha bautizado con el nombre de *Clavileño*.

La instrumentación necesaria para el guiado incluye un PC embarcado que aloja el software de control; un sistema de posicionamiento global con corrección diferencial junto con una unidad de medida inercial como principales entradas sensoriales para llevar a cabo el posicionamiento y posterior guiado del vehículo; una red inalámbrica LAN (del inglés, Local Area Network) para recibir la información del resto de vehículos del entorno para realizar maniobras cooperativas y una tarjeta de entrada/salida digital encargada de enviar las señales de control generadas al volante y acelerador. El sistema de guiado también hace uso de la información que circula por el bus CAN (del inglés, Controller Area Network) del vehículo. Además de estos sistemas, el prototipo se encuentra equipado con un sistema de visión artificial – desarrollado por investigadores de la Universidad de Alcalá de Henares – cuyo software de control se encuentra instalado en otro ordenador conectado al PC de control a través de un cable Ethernet. Por último, un sistema electro-hidráulico de frenado se ha instalado en el maletero del vehículo prototipo, en el lugar reservado para la rueda de repuesto. El diseño compacto permite usar este espacio donde la bomba se encuentra protegida de posibles daños. Este sistema se encuentra conectado al circuito de frenado del vehículo, permitiendo actuar sobre el mismo a través del PC de control. En [10], se presenta una información más detallada de los sistemas hardware y software instalados en el vehículo.

### IV. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control está dividido en tres partes. En primer lugar la cartografía digital que nos permite conocer con precisión la ruta que queremos seguir para, posteriormente, mediante un sistema de posicionamiento absoluto poder referenciar al coche respecto a ese mapa digital. Finalmente, un controlador basado en lógica borrosa se encarga de generar las órdenes de control.

#### A. Cartografía digital

En la actualidad, existen mapas digitales que permiten conocer la posición absoluta de las carreteras y el centro de la misma. Siguiendo esta idea, el objetivo buscado es ser capaz

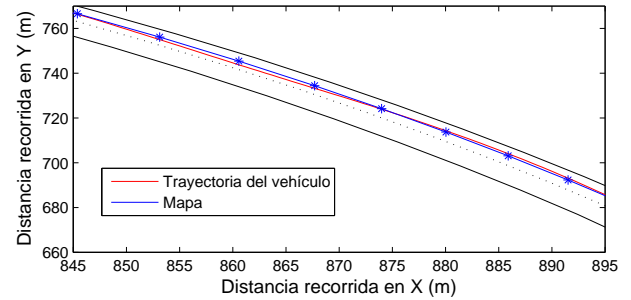


Fig. 3. Detalle de un recorrido con los carriles de circulación, el mapa digital en el centro del carril y el recorrido realizado por el vehículo.

de generar un mapa que pueda indicar al vehículo la zona en la que debe circular. De esta forma, es necesario un conocimiento previo de las carreteras para poder llevar a cabo un control con precisión.

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo del sistema desarrollado. La gráfica muestra, en coordenadas X-Y, una autopista convencional con dos carriles de circulación en el mismo sentido. En dicha carretera, se muestra la cartografía digital, esto es, el mapa generado dinámicamente con el vehículo – marca azul – y el recorrido realizado posteriormente por el vehículo guiado por un conductor humano – marca roja. Con esa cartografía conocida, podemos determinar los errores en el vehículo respecto a esa referencia para posteriormente realizar el ajuste del controlador

#### B. Sistema de posicionamiento

Para llevar a cabo la determinación del error respecto a la cartografía digital generada, es necesario un sistema de posicionamiento de gran precisión [19]. En nuestro caso, se utiliza un sistema de posicionamiento global con corrección diferencial que permite conocer la posición exacta del vehículo en coordenadas UTM (del inglés, Universal Transversal Mercator) ayudado por una unidad de medida inercial que, junto a la odometría del vehículo proporcionada por el bus CAN, permite conocer la posición del vehículo en caso de fallos del sistema de posicionamiento global debido al paso por túneles o zonas donde la recepción de satélites sea baja.

El error máximo de posicionamiento de este sistema es de un máximo de  $50\text{cm}$  respecto a la posición real del vehículo. Teniendo en cuenta que las autopistas tienen un mínimo de  $3\text{m}$  de ancho de carril y las longitudes de un vehículo, este nivel de precisión cumple con los requerimientos para llevar a cabo un control preciso que permita mantener el vehículo dentro de los límites del carril.

#### C. Controlador borroso

El compromiso entre eficiencia y complejidad es el principal factor en el control de sistemas. Una forma de solventar problemas de control de sistemas no lineales es el uso de técnicas de *soft computing*; estos métodos están especialmente indicados cuando tratamos de emular el comportamiento humano al controlar sistemas complejos, tales como la conducción.

La lógica borrosa o difusa surge de la necesidad de controlar sistemas de los que no se tiene más que descripciones lingüísticas, incompletas e inexactas basadas muchas veces en apreciaciones subjetivas de las variables de control. Se trata de una metodología bien conocida para modelar sistemas complejos o fuertemente no lineales. En esta línea, los controladores difusos permiten un enfoque humano al control de este tipo de sistemas, no requiriendo del modelado matemático de los métodos de diseño más usuales. Es por esto por lo que los controladores difusos representan una alternativa efectiva y razonable a las técnicas de control clásicas en lo que a sistemas complejos se refiere.

Para llevar a cabo el control del vehículo, se usará el error en ángulo respecto a la línea de referencia dada por la cartografía digital y el error en desplazamiento respecto a dicha línea. Según la Fig. 4 podemos definir estos dos errores como:

- *Error Lateral* es la distancia de un punto determinado del vehículo a la línea de referencia. Se conoce también como *deriva*. Hay que tener en cuenta que la posición obtenida por el sistema de posicionamiento corresponde con la posición de la antena, que se encuentra situada encima del eje posterior del vehículo. Por tanto, se realizará la transformación pertinente para calcular la posición del centro del morro del coche en la dirección y sentido de avance del vehículo.
- *Error Angular* es el ángulo formado por el vector director del coche con respecto a la línea de referencia. Se conoce también como *cabeceo*.

Tanto para el error lateral como para el angular, es importante tener en cuenta el signo de su valor, ya que nos indicará en que semiplano nos encontramos de los dos definidos por la línea de referencia de la calle en la que circulamos. Este es un dato imprescindible para llevar a término un control coherente, es decir, nos determinará si nos encontramos desviados hacia la derecha o la izquierda de la línea de referencia.

La variable de salida del controlador borroso diseñado es la acción sobre la dirección del vehículo, esto es, la fuerza que se aplica al volante normalizada  $[-1, 1]$ , donde  $-1$  indica el máximo giro del volante hacia la izquierda y  $1$  provocaría la máxima acción de giro del volante hacia el lado derecho. Teniendo en cuenta las condiciones de la circulación en autopistas, dichos valores se han restringido al 20% de su máxima acción permitida ya que, en circulación en autopistas, no encontramos curvas pronunciadas y, de esta forma, se incrementa la seguridad.

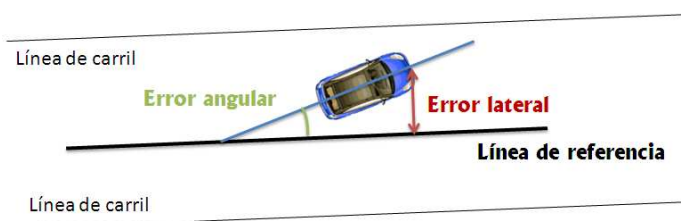


Fig. 4. Representación gráfica de las variables de entrada al controlador borroso.

## V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para demostrar el correcto funcionamiento del sistema diseñado, se realizaron diversas pruebas en una zona de conducción privada que emula las condiciones de una autopista. De esta forma, se realizaron diversas pruebas a varias velocidades para comprobar el funcionamiento del sistema diseñado. A continuación, se muestran los resultados para velocidades de  $40km/h$ ,  $60km/h$ ,  $80km/h$  y  $100km/h$ .

De ahora en adelante, la gráfica superior representa, en coordenadas X-Y, el mapa – línea verde – y la trayectoria que realiza el vehículo. La gráfica central muestra – en magenta – la posición del volante durante el recorrido y, por último, la gráfica inferior muestra la velocidad del vehículo – en rojo – durante el experimento. El sentido de avance del vehículo es siempre en sentido antihorario.

Los primeros experimentos (Fig. 5) se realizaron para realizar el ajuste fino del controlador, fueron a velocidades urbanas para evitar un accidente en caso de fallo del sistema diseñado. Así, se realizó una prueba inicial a velocidades próximas a los  $40km/h$ . En la gráfica inferior podemos ver como la velocidad oscila alrededor de este valor. Respecto a la posición del vehículo, se aprecia como el vehículo arranca con un primer punto de referencia situado ligeramente por delante de él, posteriormente, el vehículo va siguiendo los siguientes puntos dados por la cartografía digital. Se puede apreciar como en el instante en que se detiene el experimento, el vehículo ya contaba con el siguiente punto objetivo suministrado por la cartografía digital.

El segundo experimento realizado (ver Fig. 6), a  $60km/h$ , muestra una zona del recorrido con una suave curva hacia la izquierda. Esto se ve reflejado en la posición del volante suministrada por el controlador borroso donde, durante toda la prueba, el ángulo del volante permanece en valores negativos, indicando que la dirección está ligeramente girada hacia la izquierda.

Los dos últimos experimentos, muestran el comportamiento del sistema a  $80km/h$  (Fig. 7) y a velocidades cercanas e incluso ligeramente superiores a los  $100km/h$  (Fig. 8), velocidades de circulación habituales en autopistas. En ambos casos, vemos como el vehículo sigue perfectamente la referencia marcada por la cartografía digital, demostrando el correcto funcionamiento del sistema para un amplio rango de velocidades y en carreteras reales.

## VI. CONCLUSIONES

Este artículo presenta el último avance realizado por el programa AUTOPIA de conducción autónoma de vehículos: el desarrollo de un sistema automático que permita una conducción autónoma en autopistas. El sistema ha sido montado en un vehículo prototipo y las pruebas realizadas con el mismo han dado buenos resultados.

El sistema de control desarrollado se ha dividido en tres partes. En primer lugar, el desarrollo de una cartografía digital que permita posicionar el vehículo en la carretera con gran precisión; en segundo lugar, un sistema de posicionamiento que georeferencie al vehículo de manera absoluta sobre la

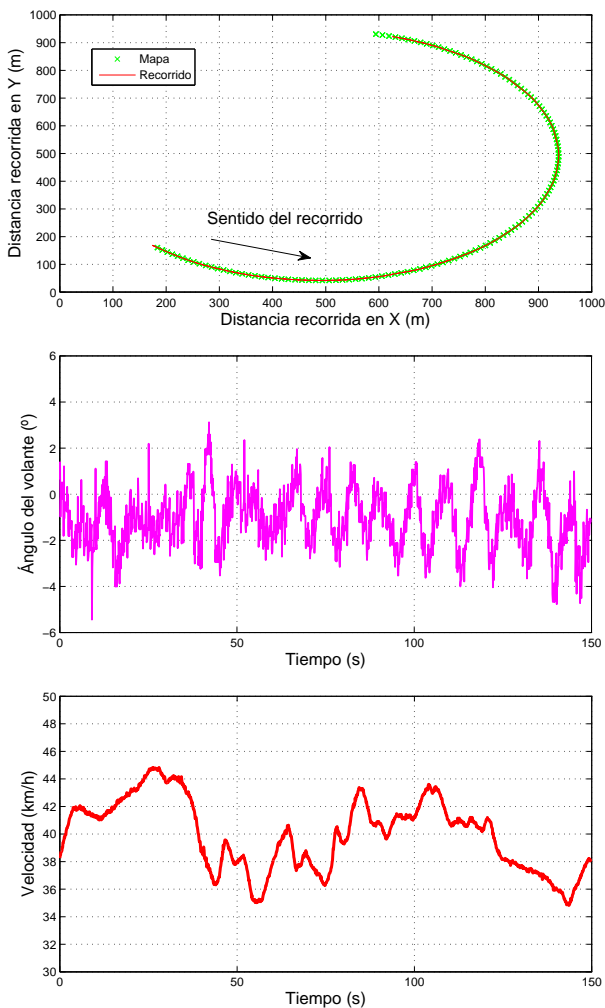


Fig. 5. Mapa y posición del vehículo en coordenadas X-Y, ángulo del volante y velocidad para velocidades próximas a 40 km/h.

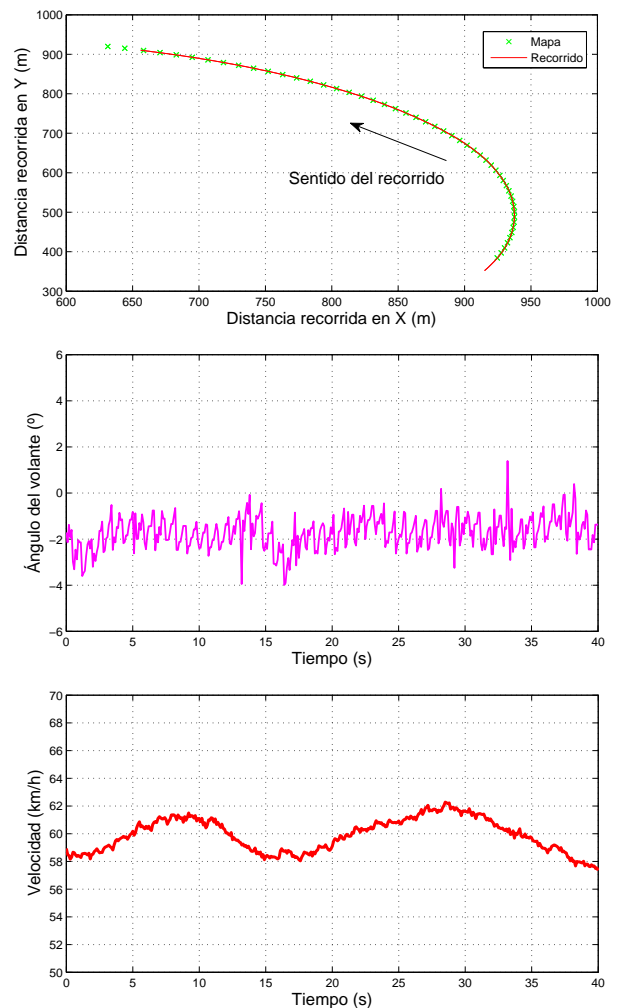


Fig. 6. Mapa y posición del vehículo en coordenadas X-Y, ángulo del volante y velocidad para velocidades próximas a 60 km/h.

carretera y, por último, el desarrollo de un controlador basado en lógica borrosa para manejar de manera completamente autónoma la dirección del volante.

Los resultados obtenidos muestran como tanto la elección de los sistemas sensoriales como la técnica de control son apropiadas para el problema presentado. En trabajos futuros, se incluirán nuevos sensores y se probará con distintas técnicas de control para comparar con los resultados obtenidos mediante lógica borrosa. Además, los nuevos sensores introducidos servirán para ayudar al vehículo en la percepción del entorno y, de esta forma, acercarnos al objeto final: vehículos completamente automatizados circulando por las carreteras.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado gracias al apoyo del Plan Nacional, España, bajo el proyecto Tránsito (TRA2008-06602-C03-01) y por la Comisión Interministerial de Ciencia y tecnología, España, bajo el Proyecto GUIADE (Ministerio de Fomento T9/08).

#### REFERENCES

- [1] <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2281/5926.html>.
- [2] A. Broggi, P. Medici, E. Cardarelli, P. Cerri, A. Giacomazzo, and N. Fianardi, "Development of the control system for the vislab intercontinental autonomous challenge," in *Proc. 13th Int Intelligent Transportation Systems (ITSC) IEEE Conf*, 2010, pp. 635–640.
- [3] A. Broggi, L. Bombini, S. Cattani, P. Cerri, and R. I. Fedriga, "Sensing requirements for a 13,000 km intercontinental autonomous drive," in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp. (IV)*, 2010, pp. 500–505.
- [4] S. Thrun, "Winning the darpa grand challenge: A robot race through the mojave desert," in *Proc. 21st IEEE/ACM Int. Conf. Automated Software Engineering ASE '06*, 2006.
- [5] G. M. Hoffmann, C. J. Tomlin, M. Montemerlo, and S. Thrun, "Autonomous automobile trajectory tracking for off-road driving: Controller design, experimental validation and racing," in *Proc. American Control Conf. ACC '07*, 2007, pp. 2296–2301.
- [6] S. E. Shladover, "Path at 20—history and major milestones," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 4, pp. 584–592, 2007.
- [7] —, "Ahs research at the california path program and future ahs research needs," in *Proc. IEEE Int. Conf. Vehicular Electronics and Safety ICVES 2008*, 2008, pp. 4–5.
- [8] <http://www.iai.csic.es/users/autopia/index.htm>.
- [9] J. Pérez, C. González, V. Milanés, E. Onieva, J. Godoy, and T. de Pedro, "Modularity, adaptability and evolution in the autopia architecture for

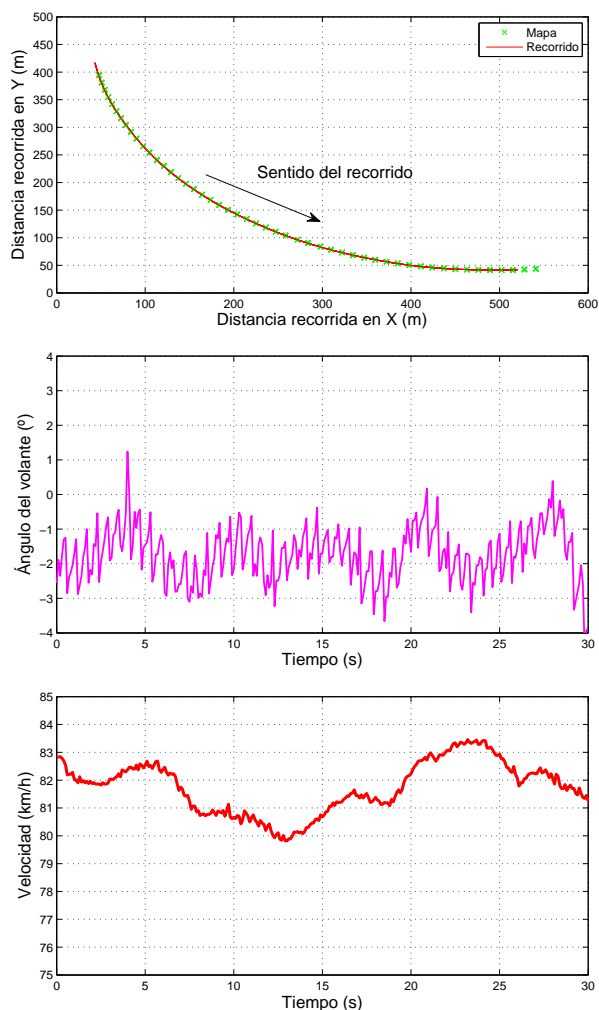


Fig. 7. Mapa y posición del vehículo en coordenadas X-Y, ángulo del volante y velocidad para velocidades próximas a 80 km/h.

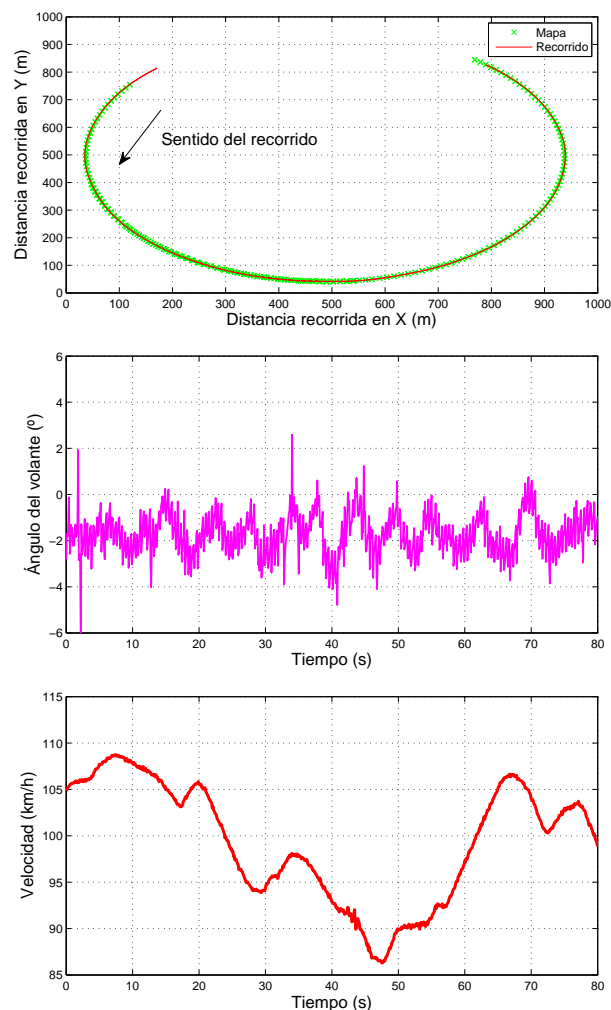


Fig. 8. Mapa y posición del vehículo en coordenadas X-Y, ángulo del volante y velocidad para velocidades próximas a 100 km/h.

control of autonomous vehicles,” in *Proc. IEEE International Conference on Mechatronics ICM 2009*, 14–17 April 2009, pp. 1–5.

[10] V. Milanés, D. F. Llorca, B. M. Vinagre, C. González, and M. A. Sotelo, “Clavileño: Evolution of an autonomous car,” in *Proc. 13th Int Intelligent Transportation Systems (ITSC) IEEE Conf*, 2010, pp. 1129–1134.

[11] E. Onieva, V. Milanés, C. González, T. de Pedro, J. Perez, and J. Alonso, “Throttle and brake pedals automation for populated areas,” *Robotica*, vol. 28, pp. 509–516, 2010.

[12] E. Onieva, J. E. Naranjo, V. Milanés, J. Alonso, R. García, and J. Pérez, “Automatic lateral control for unmanned vehicles via genetic algorithms,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 1303–1309, 2011.

[13] V. Milanés, E. Onieva, J. Pérez, T. de Pedro, and C. González, “Control de velocidad adaptativo para entornos urbanos congestionados,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 6, no. 4, pp. 66–73, October 2009.

[14] V. Milanés, J. Pérez, E. Onieva, and C. González, “Controller for urban intersections based on wireless communications and fuzzy logic,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 243–248, March 2010.

[15] J. Perez, V. Milanés, J. Alonso, E. Onieva, and T. de Pedro, “Adelantamiento con vehículos autónomos en carreteras de doble sentido,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 7, pp. 25–33, 2010.

[16] J. Pérez, F. Seco, V. Milanés, A. Jiménez, J. Díaz, and T. de Pedro, “An rfid-based intelligent vehicle speed controller using active traffic signals,” *Sensors*, vol. 10, no. 6, pp. 5872–5887, 2010.

[17] V. Milanés, E. Onieva, B. Vinagre, C. González, J. Pérez, and J. Alonso, “Sistema de asistencia a la conducción basado en una red de comunicaciones de bajo coste,” *DYNA*, vol. 85, no. 3, pp. 245–254, April 2010.

[18] V. Milanés, J. Godoy, J. Pérez, B. Vinagre, C. González, E. Onieva, and A. J., “V2i-based architecture for information exchange among vehicles,” in *7th Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, 2010.

[19] J. Godoy, V. Milanés, J. Pérez, J. Villagrà, T. de Pedro, and Gonzá, “Implementación de un sistema de localización para vehículos sin conductor,” in *Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación*, 2010.