

# CHAPTER X

## SISTEMA DE PERCEPCIÓN DE ALTA PRECISIÓN PARA SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

C. SALINAS<sup>1</sup>, H. MONTES<sup>1-2</sup>, J. SARRIA<sup>1</sup> y M. ARMADA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Automática y Robótica –CSIC, <sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá. [csalinas@iai.csic.es](mailto:csalinas@iai.csic.es)

Este trabajo describe el sistema de percepción de alta precisión implementado sobre un autobús articulado para su conducción automática a través de un carril guía. Entre las infraestructuras de transporte más prometedoras de los sistemas de transporte automáticos, el bus articulado presenta un costo bajo relacionada con la cantidad de pasajeros que puede transportar, además del confort de los mismos relacionados con otros medios de transporte masivo. La plataforma experimental que se presenta en este trabajo consiste en un vehículo móvil y un circuito privado dentro de las instalaciones del CSIC. El sistema de percepción que se presenta en este trabajo está basado en dos escáneres láser 2D, donde la principal objetivo radica en la detección de un carril guía construido en el circuito, mediante un algoritmo híbrido eficiente de extracción de líneas, y la detección de obstáculos posibles sobre el recorrido del circuito.

### 1 Introducción

El interés en el desarrollo de vehículos inteligentes, actualmente ocupa importantes actividades científicas, enfocadas en su mayoría a incrementar tanto la seguridad de conductor como de los pasajeros, en ellas los sistemas de control automático son considerados de gran relevancia (Fenton *et al.*, 1997). Del mismo modo, la inquietud por sistemas de transportes seguros, fiables y de gran capacidad, ha permitido la incursión en los sistemas inteligentes de transporte (Intelligent Transport System, ITS) (Shladover *et al.*, 1991- Collier & Weiland, 1994). Durante los últimos 20 años, la inves-

tigación en el control dinámico de vehículos se ha visto altamente incrementada (Ackerman, 1996 – Falcone *et al.*, 2007). Así como otros sistemas muy prometedores, entre ellos los llamados autobuses de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT), de gran popularidad, lo que hace a su automatización un tema de gran relevancia (Shladover *et al.*, 1991).

En el Grupo de Robótica de Locomoción e Interacción (RLI) del Centro de Automática y Robótica – CSIC, se ha llevado a cabo la construcción de una plataforma experimental, diseñada para el estudio del control automático en tiempo real de autobuses articulados. Esta plataforma experimental permite la experimentación en condiciones reales de diversas tecnologías y de algoritmos de control. Y está conformado por un autobús articulado (Volvo BM10) completamente instrumentado y una pista asfaltada con características especiales, construida dentro del recinto del CSIC (Montes *et al.*, 2009).

Los sistemas de percepción son elementos primordiales para el control de vehículos inteligentes, estos son los encargados de la adquisición de la información del entorno y la comprensión de la misma. El entendimiento del entorno permite identificar la estructura del medio y si este es un terreno apto para la conducción, en el caso que nos compete. Por ello, ambos niveles de entendimiento deben ser tomados en cuenta, tanto el alto como el bajo. En este trabajo se presenta un sistema de percepción basado en dos dispositivos 2D láser LIDAR, uno de ellos dedicado a la detección de obstáculos en la vía o que se aproximan hacia ella. El segundo dispositivo se encarga de la detección del carril guía. El carril guía es utilizado para deslizar una caja de acero con rodadura especial que forma parte del guiado del vehículo. Para la detección y seguimiento del túnel, se propone un algoritmo híbrido eficiente de extracción de líneas.

## **2 Descripción del sistema**

El propósito fundamental del desarrollo de la plataforma experimental, es la creación de un entorno real y fiable para la investigación de sistemas de control automático para el guiado de vehículos. En la siguiente Figura 1 se muestra la arquitectura general del sistema propuesto.

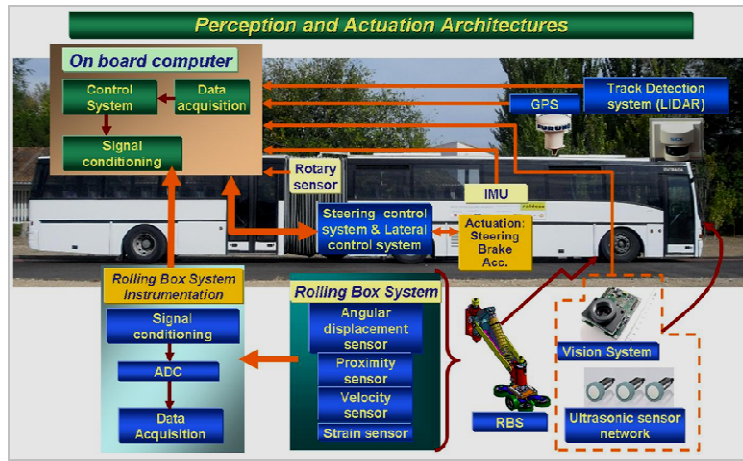


Fig. 1. Arquitectura general propuesta para la percepción, actuación y control automático de un autobús articulado.

La Figura 2 está compuesta por un conjunto de imágenes de la pista de pruebas modificada, se observa el segmento correspondiente al carril guía, que está empotrado al suelo de asfalto. Las dimensiones del carril son 50 mm de ancho de la apertura a nivel del suelo, 180 mm de profundidad y 280 mm de ancho en el interior del carril..

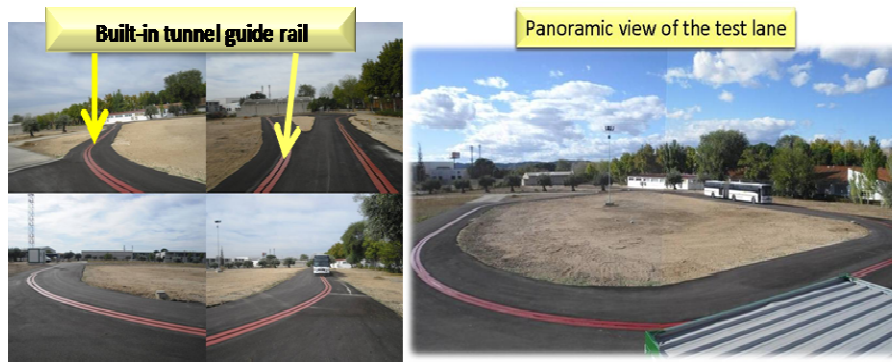


Fig. 2. Vistas parciales y panorámica de la pista de pruebas.

El sistema de control consiste de dos tipos de sistemas de percepción del carril guía. El primero de ellos se realiza por medio del Sistema Mecánico de Guiado, instalado en el eje de las ruedas delanteras, el cual detecta el

carril guía a unos 0.5m por delante del propio eje. El segundo sistema de percepción, es el sistema de visión artificial, que consiste de un sistema LIDAR, el cual proporciona al sistema de control la posición adelantada del carril de prueba. Esta posición es variable y depende de la inclinación del láser con respecto al plano horizontal del sistema (Salinas *et al.*, 2010). Los datos proveídos por el sistema de anticipación del carril serán utilizados por el sistema de control lateral y longitudinal para mejorar el seguimiento del carril de pruebas por medio del autobús articulado. El esquema general del sistema de control implementado en el autobús se presenta en la Figura 3 (Montes *et al.*, 2010).

En la Figura 4 se presenta una secuencia fotográfica del seguimiento automático de la pista de prueba por medio del autobús articulado Volvo BM10 (Montes *et al.*, 2010). Se pueden observar diversos detalles de la pista y de la posición del volante. El sistema láser puede “observar” toda la pista, incluyendo tramos rectos y curvos, excepto cuando el radio de curvatura es de 10 m y la curva posee un recorrido angular de 240°, aproximadamente. En ese momento, la pista sobrepasa el rango de barrido del LMS-221, y el vehículo solamente será controlado por medio del sistema mecánico de guiado. En la fila 3, columna 3 y 4 de la Figura 4 se puede observar las imágenes donde la pista no puede ser detectada por el sistema láser, según la configuración mecánica actual donde el láser está instalado.

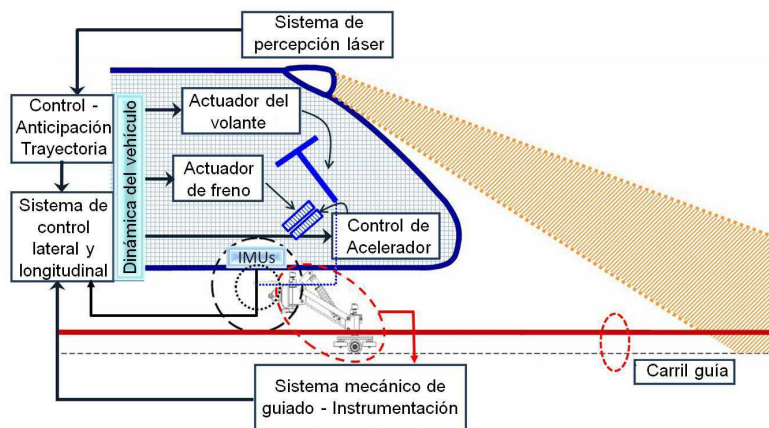


Fig. 3. Esquema general del sistema de control de autobús.

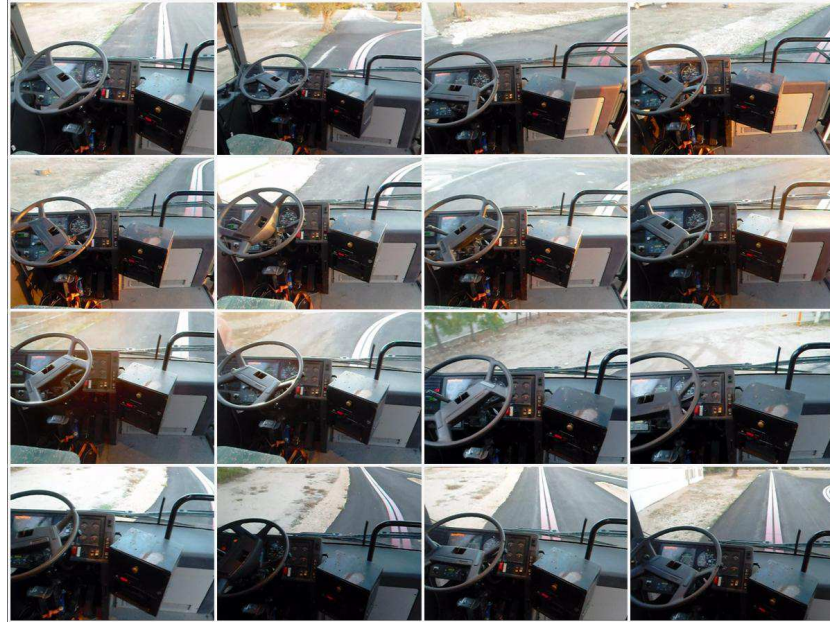


Fig. 4. Detalles del volante del autobús articulado y la pista durante una prueba experimental. Secuencia de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Uno de los resultados de las primeras experimentaciones correspondientes a la señal de control del volante cuando se realizaba el recorrido completo de la pista se presenta en la Figura 5(b). Los números mostrados sobre la señal de control del volante corresponden con las curvas de la pista de prueba mostrada en la Figura 5(a). Para estos experimentos se ha aplicado una estrategia de control activo, que obliga al eje central del autobús a seguir la trayectoria definida por el carril guía. Las entradas de realimentación al sistema de control son proporcionadas por la instrumentación instalada en el Sistema Mecánico de Guiado.

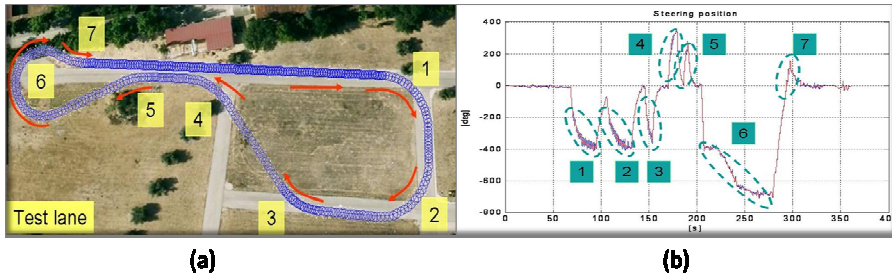


Fig. 5. (a) Pista de pruebas ubicada dentro del CAR-CSIC; (b) Posición de la dirección [grados] a lo largo del recorrido de la pista [segundos].

### 3 Sistema de Percepción

El sistema de percepción propuesto está compuesto por dos dispositivos láser LIDAR (SICK LMS221, SICK LMS291), posicionados en la parte frontal del vehículo, alineados longitudinalmente por sus centros (véase Fig. 6). Estos dispositivos realizan la observación hacia adelante y hacia abajo, con una inclinación de  $-6^\circ$  para el *laser\_obstacles* (rango  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , resolución  $0.5^\circ$ ), y de  $-26^\circ$  para el *laser\_rail* (rango  $40^\circ$  a  $140^\circ$ , resolución  $0.25^\circ$ ). La posición del primero de ellos se denota como  $X_{obs} = (x_{obs}, y_{obs}, z_{obs})$ , y para el segundo, su posición es denotada por  $X_{rail} = (x_{rail}, y_{rail}, z_{rail})$ . Ambos se conectan mediante la interfaz de comunicación Quatech High-Speed RS-422, esta permite alcanzar la transmisión de datos a 500KBaud a una frecuencia de muestreo media de 75 Hz.

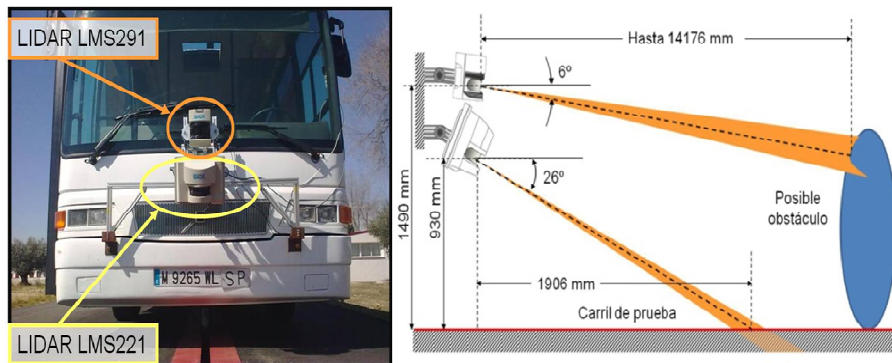


Fig. 6. Esquema del sistema de percepción instalado en el autobús.



Con la objetivo de conseguir el guiado de alta precisión del autobús articulado, es altamente deseable la detección precisa de la trayectoria del carril guía. Para el diseño del sistema, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones importantes. Para evitar las mediciones fuera de rango, la distancia de observación hacia adelante  $L_h$  es una variable que depende de las dimensiones de la pista y de la geometría del carril guía, en este caso debe ser  $1900 \text{ mm} < L_h < 5000 \text{ mm}$ . Otro factor a tomar en cuenta, es la distorsión de la información adquirida del carril, producida por la perspectiva de la observación y el diseño del circuito. En la Figura 7 se representa la información en bruto del terreno, capturada por el sistema LIDAR. Se observa la irregularidad y complejidad del terreno, así como la baja resolución de datos.

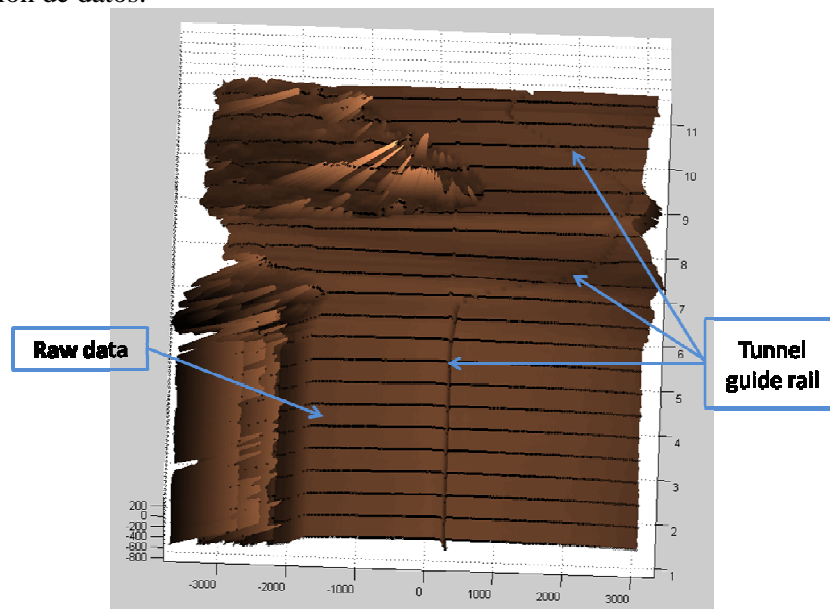


Fig. 7. Representación 3D del terreno adquiridos por el sistema de percepción.

### 3.1 Detección del carril guía

En este trabajo presentamos un algoritmo híbrido para la extracción de líneas, inspirado en los algoritmos de Split & Merge e Incremental (véase la comparación de los algoritmos más populares para extracción de líneas (Nguyen *et al.*, 2007)). Proponemos un método para la detección de líneas deformables para datos de baja resolución, con el objetivo de detectar el punto central del carril guía, el cual puede describirse mediante dos puntos de control (véase Fig. 8), unos de ellos ubicado en el centro de una línea

imaginaria en el orificio del carril  $P_{top} = (x_t, y_t, z_t)$  y el segundo en el centro de la parte inferior del carril  $P_{bottom} = (x_b, y_b, z_b)$ , el sistemas de referencia local  $\hat{O}_{rail}$  se sitúa en  $X_{rail}$ . En la Figura 8 se muestran algunos resultados del método propuesto.

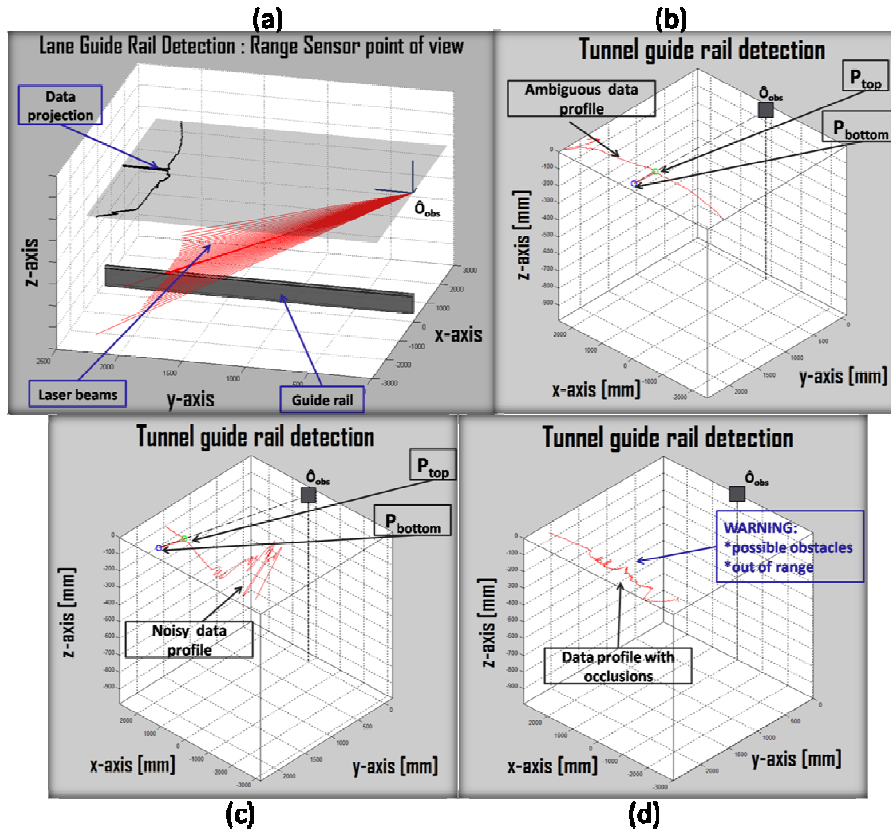


Fig. 8. Representación 3D del terreno adquiridos por el sistema de percepción

#### 4 Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se han presentado resultados muy prometedores de un sistema de percepción de alta precisión, para la detección anticipada de un carril guía utilizada para el transporte automático de un autobús articulado.

Muchos experimentos han sido llevados a cabo para calibrar el sistema de percepción del carril guía obteniendo muy buenos resultados. Los resultados obtenidos arrojan un error de precisión de  $\pm 5\text{mm}$  y de  $\pm 0.87^\circ$ , el cual al considerar los 18.5 m de largo del autobús articulado demuestra la



eficiencia del sistema propuesto en este artículo.

El sistema es capaz de realizar diversas tareas en tiempo real y con alta precisión. También hemos introducido una primera aproximación para la anticipación de la curva, y los resultados han demostrado la flexibilidad, robustez y eficiencia de nuestro sistema de percepción. Es posible utilizarlo en las estrategias de control más complejas en aplicaciones en tiempo real tales como el control automático de alta precisión de los autobuses y también para aumentar la velocidad del vehículo.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Robocity2030-II S2009/DPI-1559 subvencionado por la Dirección General de Investigación de la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid e IMADE PIE/62/2008 (Comunidad de Madrid, ALDESA CONSTRUCCIONES SA, MAXIMASDE), y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en el marco del proyecto FORTUNA D/026706/09. El Dr. Héctor Montes agradece el apoyo recibido de la Universidad Tecnológica de Panamá y del CSIC bajo el Programa JAE-Doc.

## **Referencias**

- Ackermann, V. J. 1996. *IEEE Contr. Syst. Magazine Bode*, 23-31.
- Collier, W. C., Weiland, R. J. 1994. *IEEE SPECTRUM*, 31(4): 27-33.
- Falcone, P., Borrelli, F., Asgari, J., Tseng, H., and Hrovat, D. 2007. *IEEE Trans. Contr. Syst. Tech.*, 15(3): 566-580.
- Fenton, R., Melocik, G., and Olson, K. 1997. *IEEE Trans. on Auto. Contr.*, 21(3):306-315.
- Lu, G., and Tomizuka, M. 2006. *IEEE/ASME Trans. Mech.*, 11(6): 653-660.
- Montes, H., Salinas, C., Sarria, J., and Armada, M. 2009. *IARP on SRN Proc.*, Beijing, China.
- Montes, H., Salinas, C., Sarria, J., Armada, M. 2010. Lateral and Longitudinal Control System for the Automation of an Articulated Bus. In Proc. of CLAWAR2010, Nagoya, Japan, pp. 793-800.
- Nguyen, V., Gächter, S., Martinelli, A., Tomatis, N., and Siegwart, R. 2007. *Auton. Robots* 23, 2.

Salinas, C., Montes, H., Armada, M. 2010. A Perception System for Accurate Automatic Control of an Articulated Bus. In Proc. of CLAWAR2010, Nagoya, Japan, pp. 1021-1028.

Shladover, H. S., Desoer, C., Hedrick, J., Tomizuka, M., Walrand, J., Zhang, W., McMahon, D., Deng, H., Sheikholeslam, S., and McKeown, N. 1991. *IEEE Trans. on Vehicular Tech.* 40(1):114–130.

Wang, Y., Khwang Teoh, E., Shen, D. 2004. *Img. Vis. Comp.*, 22:269-280.