

Sistema Inteligente de Transporte en Entornos Urbanos basado en Visión Artificial y GPS

M. A. Sotelo, F. J. Rodríguez, L. Magdalena*

Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá

* Departamento de Matemáticas Aplicadas a las TI. U.P.M

Tel.: 91 885 6573 e-mail: *michael@depeca.uah.es*

Resumen

En el presente trabajo se plantea el diseño y desarrollo de un Sistema Inteligente de Transporte basado en visión artificial y GPS implantado en un vehículo autónomo, para la realización de misiones globales de navegación en entornos de carácter urbano, industrial, residencial o similares. El sistema de navegación está compuesto por tareas de percepción especializadas en la navegación en carreteras o intersecciones, respectivamente, que son coordinadas por un gestor de tareas en función del plan general calculado por el planificador global del vehículo a partir de un mapa previo del entorno. Igualmente se dispone de un módulo de seguridad para la detección de vehículos durante la navegación.

1. Introducción

Uno de los mayores retos actualmente existentes en el campo de la navegación autónoma de vehículos se halla en el desarrollo de sistemas inteligentes de transporte. De hecho, durante la última década numerosos grupos de investigación a nivel internacional han dedicado gran parte de su esfuerzo al desarrollo de sistemas inteligentes para la conducción de vehículos, tanto en carreteras y autopistas en general, como en otro tipo de entornos incluso más complejos (campo a través). En consonancia con esta línea de investigación, como objetivo fundamental del presente trabajo se propone avanzar en el diseño de un sistema autónomo de transporte en entornos de carácter industrial, residencial o similares. Ello constituye un primer paso hacia la implantación de Sistemas Inteligentes de Transporte en entornos urbanos, lo cual no será posible ni a corto ni a medio plazo. Este tema de trabajo ha sido poco tratado en la literatura científica, ya que la inmensa mayoría de los Sistemas Inteligentes de Transporte existentes en la actualidad, se aplican al guiado o asistencia a la conducción de vehículos en carreteras o autopistas.

Para la realización de misiones autónomas complejas en una red de carreteras, propia de entornos industriales y urbanos, se requiere la capacidad tanto de navegar en carreteras como en intersecciones. Por este motivo, se plantea un sistema de navegación global, basado en visión artificial y GPS, compuesto por tareas locales de percepción especializadas en la navegación en carreteras e intersecciones, respectivamente. Como característica fundamental, destaca el hecho de que la tarea dedicada al seguimiento de carreteras debe ser capaz de efectuar la navegación en carreteras no estructuradas (sin líneas pintadas). Este aspecto supone un reto en la actualidad, pues-

to que los esfuerzos de los diversos grupos de investigación se han centrado mayoritariamente en el seguimiento de carreteras estructuradas (con líneas), especialmente autopistas.

La capacidad de navegación global se consigue mediante el diseño de un planificador global, encargado de calcular el camino más corto hasta el punto de destino especificado, y un gestor de tareas que coordina la ejecución de las diversas tareas de percepción necesarias para llevar a cabo misiones autónomas de transporte. De forma adicional, se ha desarrollado un sistema de visión monocular dedicado a la detección de otros vehículos circulando en el mismo entorno de trabajo. Ello permite dotar al sistema de cierta capacidad reactiva. Como principales aportaciones del trabajo se destacan la tarea desarrollada para efectuar el seguimiento de carreteras no estructuradas mediante visión, así como la tarea de navegación en intersecciones, también basada en visión artificial. Finalmente, el sistema completo ha sido probado sobre un vehículo eléctrico comercial, en un circuito privado que emula un entorno urbano. Sobre dicho circuito se han efectuado multitud de misiones autónomas de navegación, obteniéndose unos resultados prometedores.

2. Arquitectura de control

La realización de una misión autónoma requiere el uso de algún tipo de sistema de ejecución y monitorización de tareas para integrar las capacidades de los sistemas de percepción. Igualmente, se necesita un módulo planificador que emplee información de alto nivel sobre los objetivos a alcanzar, para dirigir los comportamientos de los módulos de actuación y percepción. El planificador parte del conocimiento previo del modelo del entorno en el que el vehículo debe operar, de la misma forma que un humano conoce el mapa del terreno que va a recorrer. Ello le permitirá calcular la ruta más adecuada desde la posición actual hasta el objetivo.

2.1. Modelo del entorno

El modelo del entorno ha sido concebido con la doble finalidad de facilitar, por una parte, el cálculo de rutas y por otra, la gestión de las diversas tareas de las que hace uso el sistema. El modelo constituye una representación tanto geométrica como topológica del entorno real donde el vehículo debe realizar las misiones de transporte de forma autónoma. Como se ha comentado con anterioridad, el carácter urbano del escenario de trabajo hace que éste presente elementos típicos tales como calles, cruces y rotondas. En la figura 1 se muestra la

representación geométrica del entorno de trabajo real. Como puede observarse, dicho entorno presenta diversas estaciones, calles e intersecciones, asemejándose a una zona urbana típica como pudiera ser una urbanización o un área industrial. La representación geométrica coincide con la noción habitual de mapa, donde cada calle e intersección recibe un nombre identificativo. De este modo, los resultados obtenidos sobre este entorno son generalizables a entornos más amplios.

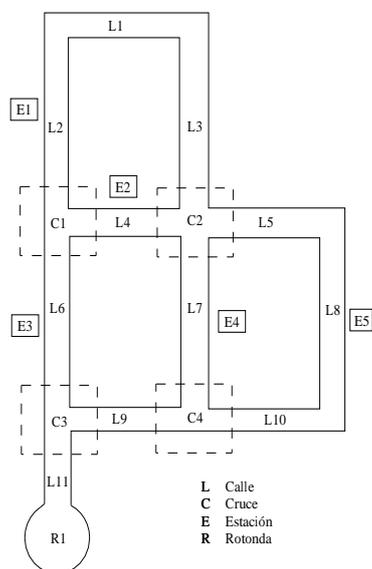


Figura 1 Representación geométrica del entorno

Por otra parte, el entorno puede representarse como un grafo topológico orientado compuesto por estaciones de parada, rutas en línea e intersecciones. Cada estación e intersección está representada por un nodo en el mapa topológico, mientras que los enlaces entre nodos representan rutas en línea o calles, y poseen una dirección exclusiva correspondiente al sentido de circulación en dicha calle. El mapa topológico sirve de base para el cálculo del camino más corto entre la estación de origen y la estación de destino, haciendo uso del popular algoritmo de Dijkstra [2], un clásico en el dominio de la inteligencia artificial.

2.2. Esquema funcional

El sistema completo de navegación se plantea como una arquitectura de control híbrida que aúne las características positivas de los enfoques tradicional (o jerárquico) y reactivo (o basado en comportamientos), de acuerdo a las necesidades reales de un robot autónomo operando en entornos exteriores. Así, en la figura 2 puede observarse el esquema general de la arquitectura de control propuesta, donde se aprecian un par de comportamientos fundamentales: de una parte el sistema funciona siguiendo un esquema tradicional para efectuar la navegación del vehículo, reflejando las acciones básicas de planificación, gestión o coordinación y ejecución o navegación (dividida en dos tareas fundamentales basadas en visión para realizar el seguimiento de carreteras y la navegación en intersecciones) y de otra, aparece un comportamiento reactivo

que toma el control del vehículo, de forma local, en situaciones de emergencia por cercanía de obstáculos.

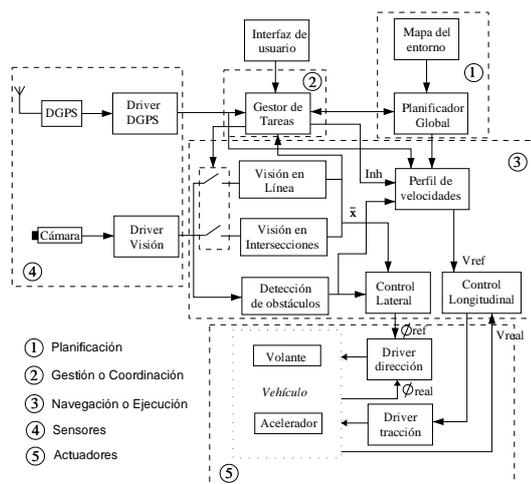


Figura 2 Diagrama funcional de la arquitectura de control

3. Tareas de percepción visual

En el presente trabajo se han desarrollado tres tareas de percepción basadas en visión artificial: seguimiento de carreteras, navegación en intersecciones y detección de vehículos.

3.1. Seguimiento de carreteras

El objetivo de esta tarea de navegación de local es realizar el seguimiento de cualquier carretera o calle comprendida entre dos intersecciones consecutivas. Se considera el caso general de que la carretera sea no estructurada, es decir, que no existan líneas pintadas sobre el asfalto, por tratarse de la situación más compleja y menos tratada en la literatura técnica. De forma resumida, el algoritmo desarrollado estima los bordes y anchura de la carretera de la manera que a continuación se describe. En primer lugar se procede a realizar un reescalado de la imagen para disminuir el número de pixels a analizar sin por ello comprometer en términos prácticos la precisión de la detección de bordes. A continuación se realiza la segmentación de la imagen en carretera y no carretera, haciendo uso de características de posición del píxel y de color en el espacio HSI, empleando la distancia cilíndrica [4] como herramienta fundamental en la discriminación.

En el siguiente paso se procede a la eliminación de pequeños objetos conexos en la imagen segmentada para conseguir una mayor nitidez en la misma. Mediante un procedimiento de atenuación de sombras y brillos se consigue una mejora final de la imagen segmentada, a partir de la cuál se efectúa la estimación de los bordes y anchura de la carretera, empleando para ello un estimador recursivo basado en mínimos cuadrados sobre un modelo geométrico de carretera parabólica [5]. Finalmente, se actualizan las características de color HSI del patrón utilizado para realizar la segmentación de la imagen, en función del modelo de carretera estimado en la iteración actual, y se vuelve a efectuar la adquisición de imagen para repetir la ejecución del algoritmo de forma cíclica. Para ilus-

trar el procedimiento completo de estimación de bordes se muestra la figura 3, donde pueden apreciarse paso a paso los resultados obtenidos sobre una escena real de carretera.

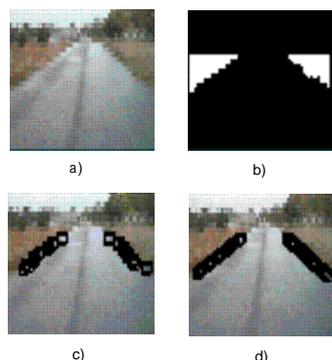


Figura 3 Resultados del seguimiento de carreteras. a) Imagen real. b) Imagen segmentada. c) Puntos de borde. d) Bordes estimados de carretera.

3.2. Navegación en Intersecciones

En el presente trabajo la detección de intersecciones se realiza a partir de la información contenida en un mapa previo del entorno y de los datos proporcionados por el receptor DGPS. Una vez que la intersección ha sido detectada, debe realizarse la navegación en la misma, existiendo dos posibilidades fundamentales: cruzar la intersección manteniendo la dirección de avance, o efectuar una maniobra de giro, ya sea a la izquierda o a la derecha. Para ello, se propone desarrollar un sistema basado en visión, capaz de efectuar la navegación en intersecciones en las que se crucen dos calles entre sí, con cualquier ángulo. Ello supone una mejora substancial con respecto a sistemas anteriores de similares características. Uno de los rasgos más importantes que presentan las imágenes correspondientes a una intersección, adquiridas por una cámara, es la limitación del campo visual de la misma, lo cual conlleva una pérdida de parte de la información visual necesaria para reconstruir la forma exacta de la carretera que hay que seguir, una vez que se haya abandonado la intersección. A partir de la información contenida en dicha imagen resulta imposible predecir la forma y ubicación exacta de las carreteras que aparecen tanto a la derecha como a la izquierda de la misma.

El objetivo será, por tanto, realizar la navegación local en intersecciones a partir de información visual, ejecutando la maniobra de giro adecuada (giro a la izquierda, giro a la derecha, o seguir de frente) en función del plan global establecido. La mayor dificultad radica en la correcta detección del final de la intersección, puesto que en ese momento el vehículo debe enderezar su rumbo para continuar con el seguimiento de carreteras. Para ello, se plantea el problema de localización angular del vehículo durante el giro en la intersección como la realización de un proceso estocástico de Markov, cuya función densidad de probabilidad será calculada en cada instante de tiempo, indicando de esta forma la estimación óptima del vehículo. Este procedimiento recibe el nombre de Proceso de Localización de Markov [7].

De forma resumida, tras la adquisición y segmentación de la imagen se procede a la actualización de la función densidad de probabilidad de la variable ξ , indicadora de la posición angular del vehículo durante el giro en la intersección. En el proceso de actualización se introduce la información visual en forma de coeficiente s , obtenido mediante la correlación entre la imagen segmentada y una serie de modelos a priori de carretera. Si la estimación obtenida sobre la ubicación es suficientemente fiable (bajo error cuadrático) y el ángulo recorrido por el vehículo es elevado se considera que el giro del móvil está llegando a su fin con lo que se retoma el seguimiento de carreteras. De esta forma se ha desarrollado un método probabilístico de localización, capaz de incorporar la información sensorial sobre el entorno, y el conocimiento sobre el modelo del propio vehículo tal y como se detalla en [6]. Para ilustrar el procedimiento global, en la figura 4 se muestra un ejemplo completo en el que el vehículo realiza el seguimiento de una carretera hasta aproximarse a una intersección, gira a la derecha en la misma, para continuar nuevamente con el seguimiento de la nueva carretera observada.

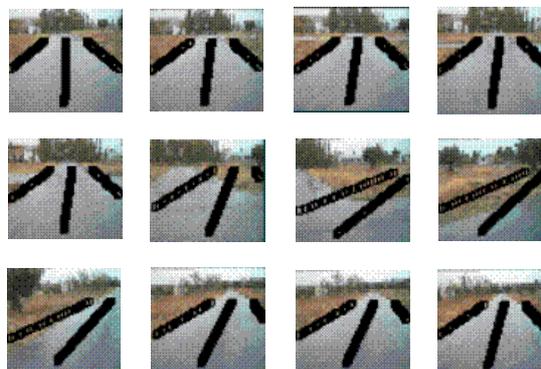


Figura 4 Ejemplo completo de navegación en una intersección.

3.3. Detección de Vehículos

El módulo de detección de vehículos tiene como objetivo la detección por medios visuales de otros vehículos circulando en el mismo entorno. Para ello se utilizan características de simetría, análisis de bordes y consistencia temporal, de forma que pueda detectarse la presencia de otros vehículos mediante un sistema de visión monocular. Tal y como se describe en [1], la detección de obstáculos genéricos requeriría el uso de un sistema binocular o el empleo de flujo óptico. Se establece una distancia de seguridad de 10 m, de forma que el móvil modifica la velocidad de referencia establecida en el perfil si el vehículo precedente detectado por el sistema de visión se halla por debajo de dicha distancia. La figura 5 muestra un claro ejemplo de detección de un vehículo a lo largo de una secuencia de imágenes.

4. Implementación y Resultados

El sistema de navegación global se halla actualmente implementado sobre un Pentium 120Mhz, bajo el sistema operativo *Real Time Linux*. Ello permite procesar un máximo de 10 imágenes por segundo. Dicho PC está embarcado en un

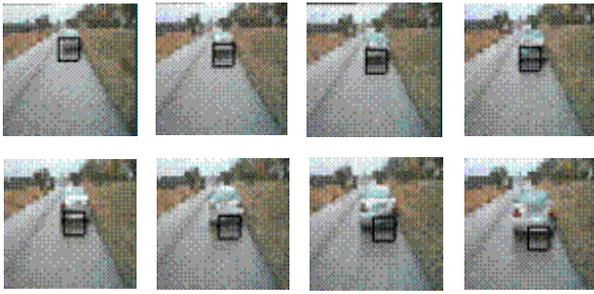


Figura 5 Ejemplo de detección de vehículos.

vehículo prototipo consistente en un Citroën Berlingo eléctrico como el mostrado en la figura 6, apropiadamente instrumentado y automatizado para la actuación autónoma sobre el volante y los pedales.



Figura 6 Vehículo prototipo.

Las pruebas prácticas han sido realizadas en un circuito privado, cuya estructura se corresponde con la mostrada en la figura 1, ubicado en el Instituto de Automática Industrial del CSIC. Durante el último año se han efectuado decenas de misiones autónomas de navegación con éxito a lo largo de dicho circuito, recorriendo centenares de kilómetros en modo automático. A manera de ejemplo, la figura 7 muestra el recorrido global realizado por el vehículo (expresado en coordenadas UTM) para ir de la estación 1 a la estación 2.

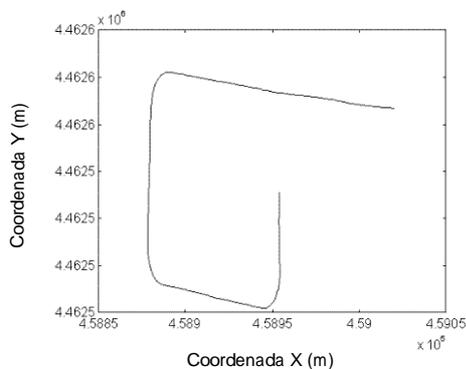


Figura 7 Recorrido entre las estaciones 1 y 2.

Una descripción completamente detallada de todos y cada uno de los procedimientos descritos en este resumen, así co-

mo de los sistemas desarrollados para el control lateral y longitudinal del vehículo, puede encontrarse en [6]. De la misma forma, se puede visualizar un completo conjunto de vídeos demostrativos que exhiben el comportamiento autónomo del vehículo, visitando de forma anónima la siguiente dirección: <ftp://www.depeca.uah.es/pub/vision>.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En resumen, el sistema de navegación global basado en visión y GPS desarrollado en este trabajo ha demostrado su validez en un escenario de trabajo real, aunque cerrado al tráfico público. Esto supone haber alcanzado un hito que permite considerar su aplicación en el medio plazo a entornos controlados, como son los polígonos industriales. Evidentemente, como trabajo futuro se plantea su aplicación a largo plazo en entornos urbanos, mucho más complejos, mejorando para ello la detección de vehículos y añadiendo dos nuevas funciones sobre las que se está trabajando actualmente: detección y reconocimiento de señales de tráfico, y detección de peatones.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer su agradecimiento al Instituto de Automática Industrial del CSIC por su generosa aportación de medios, fundamental para la realización de este trabajo, así como a la Universidad de Alcalá por la financiación aportada a través del proyecto de investigación UAH2002/031.

Referencias

- [1] A. Broggi, M. Bertozzi, and A. Fascioli, "Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives," *Robotics and Automation Systems*, vol.32, 1-6. 2000.
- [2] S. Cameron, and P. Probert, "Advanced guided vehicles. Aspect of the Osford AGV project". World Scientific Publishing, Co. Pte. Ltd. 1994.
- [3] E. Dickmanns, R. Behringer, D. Dickmanns, T. Hildebrandt, M. Mauer, F. Thomanek, and J. Shielhlen, "The seeing passenger car VaMoRs-P," In Proc. of Int. Symposium on Intelligent Vehicles. Paris. 1994.
- [4] N. Ikonomakis, K. Plataniotis, and Venetsanopoulos, "Color Image Segmentation for Multimedia Application," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2000.
- [5] H. Schneiderman, and M. Nashman, "A Discriminating Feature Tracker for Vision-based Autonomous Driving," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 10. NO6. 1994.
- [6] M. A. Sotelo, "Sistema de Navegación Global Aplicado al Guiado de un Vehículo Autónomo Terrestre en Entornos Exteriores Parcialmente Conocidos," Tesis Doctoral. Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá. 2001.
- [7] D. F. Wolfram, and S. Thrun, "Active Markov Localization for Mobile Robots," Elsevier Preprint. Noviembre 1998.