

Nuevos requerimientos de precisión en el posicionamiento de vehículos para aplicaciones ADAS



New accuracy requirements in vehicle positioning for ADAS applications

• Felipe Jiménez-Alonso

Doctor Ingeniero Industrial,
Licenciado en Ciencias Físicas.

INSIA

• José Eugenio Naranjo-Hernández

Doctor Ingeniero Informático

Escuela Universitaria de Informática de la UPM

Recibido: 27/07/08 • Aceptado: 29/10/08

ABSTRACT

- Operation of new driving assistance systems that are being introduced in road vehicles is based on processing information of the vehicle, driver, road and environment. In most of them, digital maps represent an extension of the visual horizon that the driver and onboard sensors perceive. However, in order to make the most of their potential, accurate digital maps and vehicle positioning systems are required, improving present specifications for navigation applications.
- **Key words:** Digital map, satellite positioning, driving assistance.

RESUMEN

El funcionamiento de las nuevas aplicaciones de asistencia a la conducción que se están introduciendo en los vehículos de carretera se fundamenta en el procesamiento de información del vehículo, el conductor, la vía y el entorno. Para muchas de ellas, los mapas electrónicos suponen la ampliación del horizonte visual más allá de lo percibido por el conductor y los sensores embarcados. Sin embargo, para aprovechar su potencial se requiere definir unas especificaciones de precisión y detalle en dichos mapas y en los sistemas de posicionamiento superiores a los niveles empleados en la actualidad para propósitos de navegación.

Palabras clave: Mapa electrónico, posicionamiento por satélite, asistencia a la conducción.

1.- INTRODUCCIÓN

Entre los problemas asociados al transporte por carretera, cabe destacar el alto número de muertos y heridos graves en accidentes de tráfico. Se estima que, en más del 90 % de los accidentes está presente el factor humano. Partiendo de este hecho, son razonables los importantes esfuerzos que se están realizando para el desarrollo de sistemas avanzados de asistencia al conductor (*Advanced Driver Assistance Systems* –ADAS), encaminados a lograr una conducción más segura. Dichos

sistemas se basan, principalmente, en el procesamiento de información que proviene de sistemas embarcados (sensores de la dinámica del vehículo, sensores del exterior como el radar o el láser), comunicaciones con el exterior (infraestructura y otros vehículos), etc.

En este ámbito, los mapas electrónicos de carreteras juegan un papel importante de apoyo a múltiples sistemas pasando de lo que se podría denominar un “mapa para la navegación” (aplicaciones actuales) a un “mapa para la seguridad”. Básicamente, la relevancia de los mapas digitales se fundamenta en el establecimiento de un “horizonte electrónico” superior al campo visual del conductor, de forma que se pueden predecir situaciones futuras y sugerir las actuaciones oportunas (figura 1), habiéndose analizado su potencial beneficio en el marco del proyecto europeo SafeMAP.

Así, el mapa electrónico permite dar apoyo a numerosos sistemas, incluso a algunos cuyo funcionamiento tradicionalmente se ha realizado sin él, como el control adaptativo de velocidad y distancia, o los sistemas de aviso de salida de carril. En estos casos, los mapas añaden información o, incluso, pueden llegar a sustituir a otros sensores, optimizando la arquitectura global, dado que el mismo sistema de posicionamiento se emplearía para diversos usos sin coste añadido. En este entorno, el mapa

Es destacable el proyecto IN-ARTE financiado por la Unión Europea

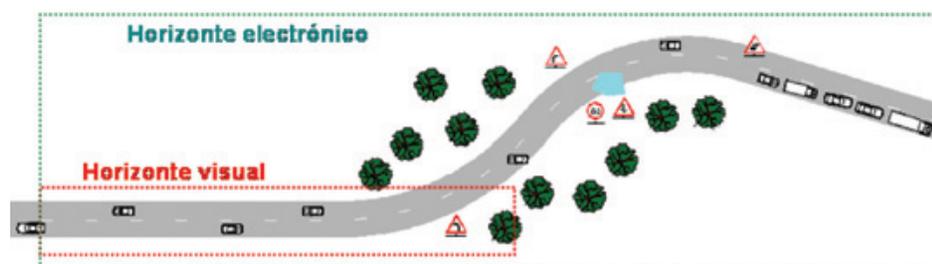


Figura 1: Ampliación del horizonte visual del conductor

electrónico se integra como un sensor adicional que proporciona información al conductor y otros sistemas del vehículo. En este funcionamiento como sensor, se distingue la operación como sensor primario cuando la información derivada del él es de gran importancia, de la de sensor secundario cuando la información del mapa se emplea para validar los datos de otros sensores o permitir una detección más eficiente con los sensores primarios del sistema en cuestión.

Es destacable el proyecto *IN-ARTE* financiado por la *Unión Europea*, al ser uno de los primeros en realizar la integración de aplicaciones ADAS incluyendo posicionamiento y mapas digitales. En él se fijaron las bases para trabajos posteriores sobre las especificaciones básicas que se deberían cumplir para lograr esta fusión, las cuales fueron completadas en proyectos como *NextMAP*. A partir de ello, las líneas actuales de trabajo están encaminadas a la aplicación práctica del posicionamiento preciso y los mapas avanzados a los sistemas ADAS. Tal es el caso, por ejemplo, del subproyecto *MAPS&ADAS* del proyecto europeo integrado *PReVENT*, que da soporte al desarrollo e implementación de los sistemas ADAS más relevantes orientados a la mejora de la seguridad.

Sin embargo, este paso de las aplicaciones de navegación a aplicaciones encaminadas a la mejora de la seguridad implica dos aspectos cruciales que deben ser tratados:

- Los niveles requeridos de precisión y detalle de los mapas electrónicos dependen de la aplicación concreta para a que se los destine.
- La precisión del posicionamiento en dicho mapa debe ser acorde a los mismos requerimientos anteriores.

2.- PRECISIÓN EN LOS MAPAS Y EN EL POSICIONAMIENTO

En las aplicaciones actuales de navegación, los requisitos de precisión del mapa electrónico y del sistema de posicionamiento son limitados, ya que resulta suficiente que el vehículo sea localizado en una ruta y se identifiquen la localización de los

giros que deba realizar para alcanzar el destino predefinido. Adicionalmente, se están incorporando informaciones de interés como localización de hoteles, aparcamientos, lugares relevantes, radares, etc. En ningún caso resulta imprescindible el conocimiento preciso de la geometría de la carretera o el posicionamiento en el carril. Sin embargo, esta información adicional sí resulta de interés en aplicaciones

que, por ejemplo, determinen de forma continua la velocidad óptima de circulación o los sistemas que alerten de la presencia de obstáculos en la calzada, para discriminar los reales de las falsas alarmas por encontrarse fuera de la trayectoria del vehículo.

Así, puesto que los sistemas ADAS requieren una información mucho más pormenorizada, los datos contenidos en los mapas también han crecido, requiriéndose ahora mayor detalle y precisión. Esta información adicional se ha denominado “atributos de seguridad” por el *eSafety Forum* europeo. Entre otros trabajos, el proyecto *NextMAP* planteó el establecimiento de los requerimientos exigibles a los mapas digitales en cuanto a detalle y precisión para ser empleados en las nuevas aplicaciones de asistencia al conductor. El subproyecto *MAPS&ADAS* presenta una extensa lista de datos que deberían incluirse en los mapas digitales para las aplicaciones ADAS actuales y futuras. Otro objetivo del subproyecto consistía en la armonización del uso de los mapas por diferentes aplicaciones ADAS con el propósito de tener una arquitectura válida para todos ellos.

Así, los nuevos requisitos hacen que los mapas digitales deban tener, entre otros aspectos, la siguiente información:

- Desarrollo tridimensional con uno o dos órdenes de magnitud de precisión mayores que los mapas actuales utilizados para navegación, incluyendo rampas y peraltes.
- Información sobre señalización (límites de velocidad y otras señales de interés), carriles, arcones, etc.
- Información y posicionamiento de elementos para favorecer la correcta localización y facilitar la detección de obstáculos reales y de puntos negros.
- Información actualizable sobre condiciones de la calzada y condiciones meteorológicas.

Según lo anterior, se pueden definir 3 niveles de precisión en el posicionamiento, así como diferentes niveles de detalle incluido en el propio mapa. La tabla 1 recoge las especificaciones que los sistemas más relevantes demandan para ofrecer un comportamiento óptimo.

	Posicionamiento			Información del mapa electrónico				Posicionamiento como sensor primario (P) / secundario (S)	Observaciones	
	Baja precisión (*)	Alta precisión	Posicionamiento en el carril	Geometría básica (*)	Trazado preciso en planta y alzado	Sección transversal	Localización de singularidades			Señales (* límites de velocidad)
Navegación	X			X				Op	P	
Navegación inteligente	X			X				Op	P	
Control adaptativo de cruce (control longitudinal)			X	X	Op				S	(1)
Sistema inteligente de adaptación de la velocidad (límites fijos)	X			X			X	X	P	
Sistema inteligente de adaptación de la velocidad (límites variables/dinámicos)		X		X	X	X	X	X	P	
Sistemas de optimización de consumo por adaptación de marcha		X		X			X	X	P	
Sistema de aviso en curva		X		X					P	
Sistema de aviso de salida de carril			X	X	X				S	(2)
Sistema de asistencia para el cambio de carril			X	X	X				S	(2)
Comunicaciones entre vehículos: intersecciones		X		X	X	X	X	X	P	
Comunicaciones entre vehículos: adelantamiento			X	X	X				P	
Comunicaciones entre vehículos: alcance o colisión frontal		X		X					P	
Sistema de iluminación inteligente	X			X			X		S	
Llamada de emergencia	X	Op		X					P	
Conducción automática			X	X	X	X	X	X	P	
Gestión de flotas	X			X					P	(3)
Localización de vehículos	X			X					P	(3)

Notas:

(*) Situación actual

- (1). El control adaptativo de la velocidad funciona sin necesidad de mapas electrónicos, si bien, su uso puede permitir optimizar su operación y la discriminación de falsas alarmas
- (2). Los sistemas de aviso de salida de carril y asistencia para el cambio de carril actuales funcionan basándose en la información de sensores embarcados, pero la localización en mapas electrónicos puede mejorar su funcionamiento
- (3). Los sistemas de gestión de flotas y localización de vehículos no pueden ser considerados como aplicaciones ADAS, si bien se incluyen en la tabla al estar basados en el posicionamiento en mapas electrónicos

Tabla 1: Requerimientos de diferentes aplicaciones sobre el posicionamiento de los vehículos en mapas digitales.

3.- MEDIOS PARA ALCANZAR LOS REQUERIMIENTOS EXIGIDOS

Como se ha indicado, el posicionamiento de los vehículos dotados de los sistemas ADAS dentro del mapa electrónico debe cumplir requisitos de precisión altos y de forma robusta. Aunque la tecnología basada en balizas permite dar solución a algunas de las aplicaciones, el posicionamiento global por satélite GPS es la opción más extendida. Sin embargo, este posicionamiento, por lo general, no es lo suficientemente robusto para garantizar precisiones métricas en todo momento que permitan la localización en el carril.

Las correcciones diferenciales permiten reducir el error de forma satisfactoria en algunas situaciones. Estas correcciones pueden provenir de diferentes fuentes. Una solución se basa en

bases locales terrestres georeferenciadas, si bien presentan claros inconvenientes de alcance limitado en la transmisión de las correcciones y en la degradación de éstas según el receptor se aleja de a base fija. Otra opción la constituyen las correcciones enviadas vía satélite (OMNISTAR, SBAS), las cuales solventan el problema del alcance, pero plantean dificultades de pérdida de calidad de señal en entornos complejos como los urbanos con edificios altos alrededor.

Aunque las soluciones anteriores permiten alcanzar niveles de precisión notables, válidos incluso para aplicaciones de conducción automática (vehículos autónomos, robots móviles, etc), sus limitaciones restringen su uso a condiciones particulares, ya que los niveles de calidad de la señal no están asegurados en cualquier circunstancia. En este sentido, existe

Dentro de trabajos sobre seguridad en vehículos automóviles en los que se evalúan las tecnologías aplicables, la última solución ha sido ensayada y comparada con la de base de referencia propietaria sobre rutas que combinan tramos urbanos con interurbanos.

una tercera solución tecnológica basada en la corrección diferencial ofrecida por las instituciones geográficas de los países a través de Internet y a la que se puede acceder a través de comunicaciones vehículo-infraestructura mediante cualquier medio de acceso inalámbrico, utilizando el protocolo estándar NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) como muestra la figura 2. Su principal novedad

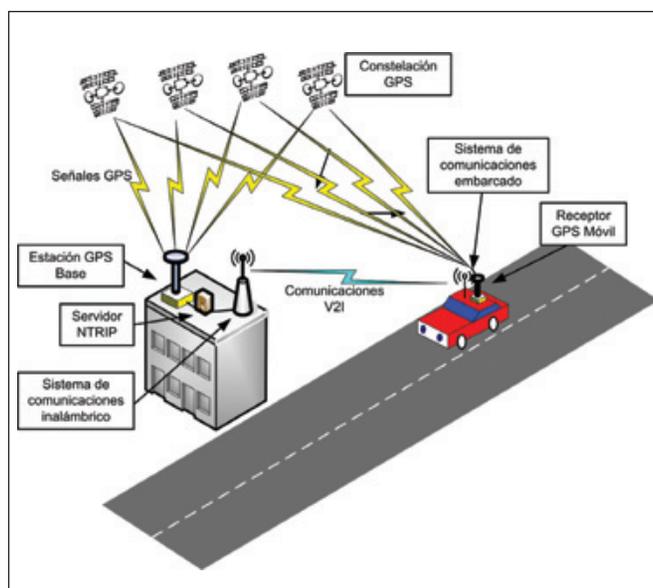


Figura 2: Corrección diferencial en el posicionamiento

radica en el hecho de generar bases de referencia virtuales cerca de receptor móvil a partir de la red de bases estacionarias del país, con lo que se incrementa la fiabilidad de la corrección.

Dentro de trabajos sobre seguridad en vehículos automóviles en los que se evalúan las tecnologías aplicables, la última solución ha sido ensayada y comparada con la de base de referencia propietaria sobre rutas que combinan tramos urbanos con interurbanos. La calidad del posicionamiento se ha medido siguiendo el estándar NMEA del GPS: posicionamiento tipo 4 o fijo para precisión centimétrica, tipo 5 o flotante para precisión submétrica, y tipo 1 o autónomo para precisiones de 10-15 metros. Se ha observado que la solución de base virtual mantiene los niveles de precisión incluso lejos del punto de origen (en el entorno de los 80-100



km), al menos de tipo 5, donde una base fija no podría actuar, aunque ésta ofrece un mejor comportamiento en sus proximidades, manteniendo durante un elevado tiempo (superior al 60 %) calidad de tipo 4. Sin embargo, aún en las condiciones más favorables, no se logra mantener dicha calidad de forma continua con ninguna de las soluciones analizadas, lo que dificulta su uso en algunas aplicaciones ADAS, especialmente aquellas que necesitan posicionamiento en el carril.

Por otra parte, las mayores exigencias sobre los mapas electrónicos involucran nuevos sensores y sistemas de recogida y procesamiento de las medidas, nuevas técnicas de validación de datos y de verificación de la consistencia de los mismos, y nuevas herramientas para la distribución y actualización de la

La construcción de los mapas digitales de carreteras se puede obtener por diferentes medios como la digitalización de mapas convencionales o el tratamiento de fotografías aéreas.

	Sistemas inerciales de medida	Sistemas globales de posicionamiento (GPS)
Precisión	Dependiente del equipamiento. Error acumulativo debido a la integración de las variables medidas (dependiente de la distancia recorrida)	Nivel de precisión dependiente del funcionamiento absoluto o diferencial (errores de hasta 1 o 2 decenas de metros)
Robustez	Señal sin discontinuidades	Pérdidas y deterioros de la señal en túneles, zonas urbanas, etc que conducen a discontinuidades en los resultados
Referencia	No dispone de una referencia absoluta, que se debe introducir externamente	Proporciona una referencia absoluta
Tipo de información	Permite obtener la geometría de la carretera completa en planta y alzado	Permite la obtención de coordenadas del trazado en planta y alzado, a excepción del peralte

Tabla 2: Comparación de prestaciones ofrecidas por dos métodos de obtención del mapa electrónico con vehículo instrumentado

base de datos. En este sentido, el proyecto EDMap establecía como objetivos identificar las aplicaciones de seguridad, sus requerimientos y las tecnologías que podían ofrecer mapas que cumpliesen con ellas.

La construcción de los mapas digitales de carreteras se puede obtener por diferentes medios como la digitalización de mapas convencionales o el tratamiento de fotografías aéreas. Cuando se requiere combinar precisión y rapidez de medida y poder acceder a información diversa (geométrica, señales, intersecciones, etc), una solución planteada hace años es el uso de vehículos instrumentados, técnica muy extendida en la actualidad. Dentro de la instrumentación, tradicionalmente, se opta por dos opciones, sistemas inerciales y posicionamiento por satélite, que se suelen combinar y cuyas principales características se recogen en la tabla 2. Dicha combinación pretende explotar las ventajas de cada uno de los sistemas, ya que la acumulación de errores de los sistemas inerciales (dependiente de la precisión y resolución de los equipos de medida, pero que supera, aún en condiciones muy favorables, el 0.05 %) impide su uso continuado en distancias largas si se requiere posicionamiento en el carril, y se hacen necesarias correcciones con posicionamiento absoluto preciso de tipo 4. En este sentido, cabe indicar la diferencia de procesamiento en tiempo real a través de filtros de *Kalman* que está sujeto a errores en puntos críticos como salidas de túneles largos donde se recobra la señal del GPS y el error acumulado por el sistema inercial es relevante, y el postratamiento de datos donde es posible establecer correcciones en función de los resultados de puntos posteriores de la trayectoria donde esté garantizado un mayor grado de precisión.

Por último, cabe indicar la interrelación entre el posicionamiento y la localización en el mapa electrónico. Este problema, conocido por la denominación anglosajona “*map-matching*”, no resulta trivial cuando se trata con mapas y/o

sistemas de posicionamiento imprecisos, como los actuales. En tales casos la asignación de una localización GPS concreta de un vehículo a una vía de circulación presenta dificultades en entornos complejos como los urbanos, nudos de carreteras y calzadas cercanas y paralelas, debiendo recurrirse a otras señales como sensores inerciales y a la consideración de la evolución de la posición en los instantes precedentes, lo que implica la implementación de algoritmos más o menos complejos y fiables. Así, los errores en esta asignación acrecientan aún más la inviabilidad de emplear el posicionamiento en muchas aplicaciones ADAS.

4.- CONCLUSIONES

En la actualidad, el posicionamiento de vehículos en mapas electrónicos está fundamentalmente orientado a aplicaciones de navegación y seguimiento. Sin embargo, nuevos sistemas, principalmente orientados a la mejora de la seguridad, requieren mayores niveles de precisión y detalle.

Un análisis de los sistemas actuales de posicionamiento muestra que, si bien se pueden alcanzar buenas precisiones, la falta de integridad y robustez de la señal no garantizan que siempre se cumplan las especificaciones requeridas, con lo que no son suficientemente fiables y eficaces para su uso en algunas aplicaciones ADAS y, obviamente, en sistemas de conducción automática o semi-automática en toda la red de carreteras. En este aspecto, puede resultar crucial para el avance de estas aplicaciones la puesta en marcha del sistema *Galileo* de posicionamiento por satélite. De igual forma, los mapas electrónicos actuales no contienen información suficiente como la geometría detallada de las vías que permita, por ejemplo, el cálculo de velocidades seguras de paso en tiempo real. Este mayor detalle y precisión acrecienta, a su vez, el problema de su actualización, para cuya solución se han

Un análisis de los sistemas actuales de posicionamiento muestra que, si bien se pueden alcanzar buenas precisiones, la falta de integridad y robustez de la señal no garantizan que siempre se cumplan las especificaciones requeridas, con lo que no son suficientemente fiables y eficaces para su uso en algunas aplicaciones ADAS y, obviamente, en sistemas de conducción automática o semi-automática en toda la red de carreteras.

probado diferentes medidas que eviten la costosa repetición de las medidas por las empresas que realizan los mapas (aplicaciones vía Internet para la introducción de cambios, incentivos económicos para los constructores de carreteras, equipos de mantenimiento, organismos oficiales responsables de las vías para la actualización de las bases de datos, etc).

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Baum Gabriel. "The infrastructure and evolution of mapmaking". En: *Actas del 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*. (Madrid 16 – 20 Noviembre 2003).
- Cascales-Moreno FJ. "Revisión del libro blanco de transportes". *DYNA Ingeniería e Industria*. Febrero 2007. Vol. 82-1. p. 35-36.
- EDMAP CONSORTIUM. *Enhanced digital mapping project. Final report*. Washington, EDMap Consortium, 2004, 189 p.
- ESAFETY FORUM. *Digital maps Working Group Final Report*. Bruselas, European Commission (eSafety Forum), 2005, 26 p.
- Jiménez-Alonso F. Aparicio-Izquierdo F. Paez-Ayuso J. "Evaluation of in vehicle dynamic speed assistance in Spain algorithm and driver behaviour". *IET Intelligent Transport System 2008*. Vol. 2-2. p. 132-142.
- Loewenau Jan, Hummelsheim Klaus, Bendafi Hocine, Entenmann Volker, Marquet Jerome, Lilli Francesco, Sabel Hans. *Final enhanced map database requirements, NextMAP project, Deliverable 2.2*. NextMAP Consortium, 2002, 64 p.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Road Safety. Impact of New Technologies*. Francia, OECD Publications, 2003, 91 p.
- Shladover Steven, Tan Swe-Kuang. "Analysis of Vehicle Positioning Accuracy Requirements for Communication-Based Cooperative Collision Warning", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2006, Vol 10, núm 3, p. 131-140.
- Tan Han-Shue, Huang Jihua. "DGPS-Based Vehicle-to-Vehicle Cooperative Collision Warning: Engineering Feasibility Viewpoints", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2006, vol. 7, núm 7, p. 415-428.
- T'siobbel Stephen. "The road to safety maps". En: *Actas del 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*. (Madrid 16 – 20 Noviembre 2003).
- T'siobbel Stephen et al. *Map&ADAS subproject. Safety Digital Maps requirements. Deliverable 12.31*. Bruselas, Map&ADAS Consortium, 2004, 56 p.
- Wevers Kees, Lu Meng. "Digital maps, driving systems and traffic safety: the data chain for in-vehicle map databases". En: *Actas del 6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*. (Aalborg 18 – 20 Junio 2007).
- White Christopher, Bernstein David, Kornhauser Alain. "Some map matching algorithms for personal navigation assistants". *Transportation Research Part C*, 2000, Vol 8, p 91-108.