

Sistema de Posicionamiento para Vehículos Autónomos

V. Milanés* J.E. Naranjo** C. González* J. Alonso* R. García * T. de Pedro*

**Instituto de Automática Industrial (CSIC)*

*Carretera de Campo Real km 0,200, Arganda del Rey, 28500, Madrid,
España (e-mail: {vmilanes,gonzalez,jalonso,ricardo,tere}@iai.csic.es)*

***Departamento de Sistema Inteligentes Aplicados,*

*Universidad Politécnica de Madrid, Carretera de Valencia km 7, 28031, Madrid,
España (e-mail: jnaranjo@eui.upm.es)*

Resumen: Uno de los objetivos más importantes de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) es evitar la pérdida de precisión en el posicionamiento y guiado del vehículo, debido a la disminución en la calidad de la señal del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). En este artículo, se presenta un sistema de posicionamiento formado por la combinación de un GPS con una unidad de medida inercial ayudada por los sensores embarcados en el coche para realizar el guiado. En función de la precisión proporcionada por el GPS, el sistema discrimina entre tres posibles comportamientos: 1) Si la precisión es centimétrica, el GPS se encarga en solitario del guiado. 2) Si no se recibe la señal GPS, el control lo toma la unidad inercial. 3) Si la precisión de la señal del GPS no es centimétrica, la posición del vehículo se calcula mediante una combinación de ambas medidas. El sistema se ha instalado en un Citroën C3 Pluriel. Los resultados muestran un correcto comportamiento del vehículo en diferentes situaciones y prueban la necesidad de integrar la información sensorial para realizar un control de navegación óptimo. Copyright © 2008 CEA.

Palabras Clave: guiado automatizado de vehículos, sistemas de posicionamiento global, unidad de medida inercial.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas inteligentes de transporte (ITS) se centran en mejorar la seguridad, eficiencia y confort de cualquier medio de transporte (Wang, Herget and Zeng, 2005). Los ITS crean una interfaz entre el vehículo y la carretera cuyo objetivo es facilitar la conducción. Todo esto es posible sin realizar cambios físicos en las infraestructuras existentes. Uno de los objetivos de los ITS es el desarrollo de vehículos autónomos, en otras palabras, obtener un conductor artificial que sea capaz de manejar los actuadores del coche de igual forma que lo haría un conductor humano, pero con un mayor grado de seguridad y eficacia. La principal fuente de información para la navegación autónoma de vehículos en exteriores es la proporcionada por los sistemas de posicionamiento global (GPS) (Urmson et al., 2006) gracias a su capacidad para realizar el guiado del vehículo en tiempo real con una gran precisión que no se degrada a lo largo del tiempo.

El GPS (Wright et al., 2003) es un sistema basado en una red de 24 satélites que puede determinar una posición exacta sobre la Tierra en cualquier punto, lugar y circunstancia. Representa por tanto un método preciso para determinar la posición de un vehículo. Un receptor GPS necesita un mínimo de cuatro satélites para determinar su actual posición (x,y,z) con un error inferior a 20 metros. Sin embargo, es posible reducir este error a un valor inferior a dos centímetros si se recibe la señal procedente de cinco satélites a través de un sistema de posicionamiento global con corrección diferencial (DGPS-RTK). El problema que presenta este modo de navegación es la posible pérdida temporal de la señal por la presencia de obstáculos (árboles, túneles, edificios). Si esta pérdida se prolonga algunos segundos puede hacer que el guiado del vehículo se convierta en

una misión imposible. Una buena solución para evitar este problema, es la integración de las medidas del GPS con las de sistemas de navegación inercial (INS) (Farrell and Barth, 1999).

Los INS (Britting, 1971) permiten determinar la posición del vehículo a partir de los valores de la aceleración lineal y la velocidad angular medidos por el sistema. (Un INS no es más que un sistema formado por sensores que miden aceleraciones y variaciones angulares). Integrando esta información y la obtenida de los odómetros, podemos calcular la posición actual del vehículo, a partir de su posición inicial. Se consigue así un sistema de navegación preciso e independiente de las señales externas. Sin embargo el procedimiento depende de una correcta iniciación, que en caso contrario puede causar un aumento ilimitado del error en el cálculo del posicionamiento del vehículo. Otro inconveniente es que la medida obtenida de los sistemas inerciales se degrada con el tiempo.

Aunque en zonas despejadas, como autopistas, el GPS tiene ventaja sobre otras técnicas de navegación, en otras situaciones la señal GPS se puede perder y se deben tener en cuenta dos situaciones: a) fallos de corta duración donde la señal se pierde y recupera en escasos segundos, por ejemplo en ciudad donde los edificios pueden ocultar momentáneamente la señal de los satélites y b) fallos prolongados, como es el caso de túneles. En la primera situación se pueden producir maniobras indeseadas y movimientos bruscos del volante que se deben suavizar. En la segunda situación es necesario un sistema alternativo de localización para evitar un accidente. En resumen, es posible utilizar las características complementarias de los GPS y los INS para mejorar el guiado de vehículos, obteniendo una conducción más estable y una cierta independencia de las señales externas.

Las soluciones propuestas hasta ahora pasan por el uso de filtros. Uno que integre GPS/INS para corregir la posición GPS (Farrell et al., 1998; Farrell et al., 2003; Li and Leung, 2003); un filtro de Kalman que integre GPS/INS para aumentar el número de posiciones durante el guiado (Obradovic et al., 2007), un filtro de Kalman extendido para integrar GPS/INS (Rezaei and Sengupta, 2005) y, por último, combinar GPS/INS con sistemas de visión para el posicionamiento en carreteras sin curvas pronunciadas (Wang, Schroedl et al., 2005). Por otro lado, se han estudiado los errores que se pueden producir al combinar sensores que no tienen el mismo sistema de referencia (Hong et al., 2004; Hong et al., 2006).

Gran parte de la literatura relacionada con estos temas trata de mejorar la respuesta del GPS añadiendo sensores auxiliares para medir la posición. En nuestro caso la respuesta del GPS es difícilmente mejorable al tratarse de un GPS centimétrico, por lo que nuestro problema se reduce a los fallos en la recepción de la señal. En este artículo se presenta una solución que evita los errores en el guiado mejorando la localización en que se basa el sistema de control del vehículo. Para ello usamos, como alternativa al GPS, una combinación de sensores embarcados en el coche con un sistema inercial. Además este sistema de localización incluye una unidad de decisión que recibe toda la información sensorial y determina cual es la mejor opción para realizar el guiado del vehículo.

En la segunda sección de este artículo se presenta el programa de conducción automático AUTOPIA cuyo objetivo es el desarrollo de un conjunto de vehículos autónomos de carretera. La tercera sección explica el sistema de control implementado. En la cuarta se muestran los resultados experimentales y finalmente, las conclusiones del trabajo realizado.

2. PROGRAMA AUTOPIA

Inicialmente, la ayuda computacional a los vehículos estaba relegada a tareas auxiliares como la regulación de la temperatura, la apertura de las puertas, el control de combustible o el nivel de carga de las baterías. Con el paso de los años, diferentes ayudas a la conducción, como el sistema de ayuda a la frenada (ABS), el regulador de la tracción (ASR) o el control de la estabilidad (ESP) se han ido añadiendo a las citadas anteriormente. En la actualidad, gracias a la fusión de electrónica y comunicaciones, todos los elementos del vehículo pueden estar interconectados y la ayuda computacional ha dado un salto cualitativo importante, aumentado su influencia en algunos modelos comerciales. Entre las nuevas ayudas se encuentran: mantener la velocidad de referencia, guardar la distancia de seguridad con otros vehículos, mejorar la visión nocturna mediante cámaras infrarrojas o suministrar rutas alternativas para llegar a un destino.

El programa AUTOPIA tiene dos objetivos esenciales. El primero, implementar una conducción automática de vehículos comerciales sobre carreteras reales. Aunque este objetivo se puede considerar utópico en este momento, es un punto de partida importante para explorar el futuro. El segundo objetivo es el desarrollo de un sistema de guiado automático formado por componentes modulares que pueda incorporarse de manera sencilla en la industria del automóvil.

Las principales entradas sensoriales al sistema de guiado son una cámara de visión y un GPS de alta precisión. Mediante ellos, el

sistema adquiere los datos para controlar los accionadores del vehículo, la dirección y los pedales de acelerador y freno. La instrumentación necesaria para el guiado incluye un PC que aloja el software de control; un receptor de GPS diferencial, una red inalámbrica LAN, dos servomotores, y una tarjeta de entrada/salida digital. Añadimos un sistema de visión en otro computador conectado al ordenador de control. En la figura 1 se muestra el sistema de control desarrollado para manejar todos estos dispositivos.

Figura 1. Estructura del sistema de control Autopía.

El sistema de guiado del vehículo se modela utilizando reglas y variables borrosas que corrigen las desviaciones de la trayectoria y velocidad del vehículo. Esto se consigue comparando las medidas de posición del receptor GPS embarcado con la posición deseada del vehículo sobre un mapa cartográfico digital de alta precisión, en el que se fija el objetivo y la ruta hasta el mismo. Además de la dirección y velocidad del vehículo a veces también debemos considerar otras variables que el sistema de guiado puede necesitar para realizar funciones tales como un control de crucero adaptativo (ACC) o maniobras de adelantamiento. Por ejemplo la distancia a la próxima curva o la distancia al vehículo precedente (Naranjo et al., 2006).

La conducción de vehículos es un problema especial de control porque los modelos matemáticos son complejos y no son fácilmente linealizables. En el programa AUTOPIA utilizamos lógica borrosa, que es un buen método para afrontar este tipo de sistemas ya que permite imitar el comportamiento humano en los algoritmos de control.

El sistema incluye una interfaz de comunicación y un sistema computacional de conducción de bajo nivel en el que reside el conocimiento y la experiencia humana, que se han modelado mediante lógica borrosa.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO

Una vez definido el sistema de control para manejar los accionadores del coche es necesario conseguir una información precisa que nos permita emular el comportamiento humano. Conociendo la cartografía digital de la ruta que queremos seguir, un método óptimo para referenciar la posición del vehículo sobre la trayectoria es la utilización de un GPS capaz de suministrar la posición del coche en cada ciclo de control con precisión centimétrica (RTK-DGPS). Sin embargo, para superar los problemas comentados en la introducción, es preciso añadir un sistema de posicionamiento secundario que complemente el GPS cuando su precisión no sea suficiente para permitir una conducción segura. En nuestro caso, hemos añadido un sistema inercial que se complementa con las medidas proporcionadas por los sensores embarcados en el vehículo. Con esta información, podemos obtener la posición del coche en un sistema de coordenadas global (Norte, Este) con la precisión necesaria e independiente de la que proporcione el GPS.

El modelo de IMU utilizado es la IMU300CC de la compañía Crossbow y su ubicación es lo más cercana posible al centro de gravedad del vehículo. Una vez fijada la IMU, debemos calibrar el valor de la desviación y la sensibilidad de sus medidas.

El conjunto de sensores situados en las ruedas, cuyas medidas están disponibles a través del bus CAN del Citroën C3 Pluriel, nos proporcionan los valores necesarios para el control (Figura 2).

Así, a partir del sensor que mide la velocidad del coche, podemos determinar la distancia recorrida (1) en metros (d_a)

$$d_a = \frac{v_{sensor} \cdot \Delta t}{3,6} \quad (1)$$

donde v_{sensor} es el valor de la velocidad del coche obtenido directamente del bus CAN en km/h y Δt es el tiempo entre dos medidas consecutivas en segundos.



Figura 2. Citroën C3 Pluriel. Detalle de la ubicación del sistema de medida inercial y de la antena de recepción de la señal GPS.

Tabla 1. Cálculo de los ángulos iniciales

| Ángulo | Expresión |
|----------|--|
| ϕ_z | $\phi_z = \arctg \frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}$ |
| ϕ_y | $\phi_y = \arctg \frac{z_k - z_{k-1}}{\sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2}}$ |

La inclinación y orientación del vehículo se obtienen de la unidad de medida inercial y nos permiten determinar si nos encontramos en un tramo con pendiente o en una zona curva respectivamente. Los sensores miden cualquier variación angular que se produzca pero, para el control, necesitamos ángulos absolutos. Por este motivo, es necesario realizar la inicialización de estos ángulos de manera correcta. Como se muestra en la tabla 1 la posición (x,y,z) GPS del vehículo permite determinar el ángulo inicial.

La distancia recorrida por el vehículo d_a debe ser corregida, ya que no se ha tenido en cuenta la pendiente de la carretera para su cálculo. Además, introducimos una constante de corrección (e_d)

que contempla diversos factores como la presión de los neumáticos o el número de pasajeros. Mediante la ecuación 2 podemos determinar la distancia real

$$d_r = d_a \cdot \cos(\phi_y) - e_d \quad (2)$$

siendo d_r el valor de la distancia corregida y ϕ_y el ángulo que determina la pendiente de la carretera. El valor de e_d se obtiene a través de la ecuación

$$e_d = \frac{d_{IMU} - d_{GPS}}{n} \quad (3)$$

donde d_{IMU} y d_{GPS} son las distancias medidas por el la IMU y el GPS respectivamente durante el tiempo en que la corrección diferencial está funcionando correctamente y n el número de muestras recibidas en este tiempo. El valor e_d se actualiza en tiempo real mientras el GPS trabaja con precisión centimétrica. Este valor se usa cuando entra en funcionamiento el sistema de control basado en la IMU.

Una vez determinada la distancia real recorrida y conociendo la posición actual del vehículo, podemos determinar la posición siguiente, mediante las ecuaciones 4 y 5.

$$X_{GPS,k+1} = X_{GPS,k} + d_{real} \cdot \cos(\phi_z) \quad (4)$$

$$Y_{GPS,k+1} = Y_{GPS,k} + d_{real} \cdot \sin(\phi_z) \quad (5)$$

Por otro lado, debemos tener en cuenta que en un mismo intervalo de tiempo el número de muestras adquirido por cada sensor es diferente; así la frecuencia de muestreo del GPS es 5 Hz, los sensores de las ruedas mandan una señal cada 25 ms y la frecuencia de trabajo de la IMU es superior a 100 Hz. Este hecho motiva que determinemos el ciclo de control en función de la frecuencia del GPS, ya que su reloj es el de mayor precisión.

Para calcular la aceleración angular en cada instante de muestreo, diseñamos un filtro de Fourier cuyos parámetros se muestran en la tabla 2. Con este filtro se consigue suavizar el valor obtenido de la medida y una importante disminución en el error de deriva.

Tabla 2. Parámetros del filtro de Fourier

| Parámetro | Valor |
|---------------------|-----------|
| Frecuencia de corte | 0,01 Hz |
| Período de muestreo | 0,00714 s |
| Número de muestras | 28 |

El ángulo absoluto se obtiene de la aceleración angular en cada muestra según la ecuación 6

$$\phi_{k+1} = \phi_k + w_k \cdot \Delta t \quad (6)$$

donde w_k es el valor en rad/s de la velocidad angular en el instante k y ϕ es el ángulo absoluto en radianes.

Una vez conocida la posición del coche a través de la IMU, se integra en el sistema de guiado del vehículo y entra en

funcionamiento dependiendo de la calidad de la señal GPS, como detallamos a continuación

El GPS presenta cinco modos de funcionamiento en función de la precisión con la que proporcione la posición del vehículo:

- Modo 0: el GPS no recibe señal.
- Modo 1: el error oscila entre 15 y 20 metros.
- Modo 2: el error en la medida puede llegar hasta los dos metros.
- Modo 4: el error es inferior a 2 cm.
- Modo 5: el error es de un metro.

En los tres primeros modos el control del vehículo no puede basarse en la medida del GPS. Esto es evidente en el primero y en los otros dos no es lo bastante precisa. En el modo 4 la medida del GPS es la forma más exacta de determinar la posición del vehículo en un sistema de coordenadas global. En el modo 5 el error de la medida provoca que el volante realice movimientos bruscos.

Para discernir qué sistema de posicionamiento utilizar en el control, se ha implementado una unidad de decisión que determina en cada momento cual es la medida que tiene mayor precisión (figura 3). Si el GPS se encuentra trabajando en los modos 0, 1 ó 2, el sistema formado por la IMU y los sensores embarcados toma el control, ya que los errores de medida del GPS son lo suficientemente grandes como para despreciar sus valores. Si el GPS funciona en modo 4, integrar cualquier otro sensor proporcionaría un posicionamiento peor. Si la calidad de la señal GPS es del tipo 5, utilizamos un sistema combinado de IMU y GPS. En este caso, aunque inicialmente la IMU tiene una mayor precisión, la degradación que experimenta su medida, debido a la deriva, recomienda incluir un pequeño porcentaje del GPS como corrección. La función esencial de este porcentaje es como vector director.

Figura 3. Esquema de la unidad de decisión.

La transición entre los distintos tipos de sistemas de control del puede provocar movimientos indeseados en el volante, por lo que la transición estos estados debe suavizarse. En el caso de pasar de utilizar GPS a IMU en el sistema de control (modo 4 a modo 0,1 ó 2), no se aprecian giros inesperados, pero las transiciones de la IMU al GPS (modo 2 ó 5 a modo 4) provocan cambios bruscos de dirección debido a que el sistema de control intenta retomar rápidamente la referencia marcada por el GPS. Para solucionar este problema y conseguir un ajuste suave en la vuelta a la referencia, en estos casos, se utiliza una función de transición, cuyo diagrama se muestra en la figura 4.

Una vez conseguido ese retorno suave y con el GPS trabajando con la máxima precisión, se calcula nuevamente el ángulo inicial (tabla 1) para el posicionamiento a través de la IMU, evitando de esta forma la degradación en la medida

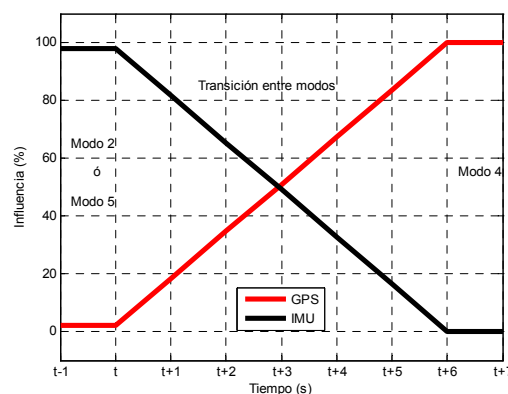


Figura 4. Diagrama de transición de estados.

4. EXPERIMENTOS

El sistema de control se ha implementado en un Citroën C3 Pluriel para realizar los experimentos reales. Estos experimentos se han hecho en una pista de pruebas para vehículos autónomos, que está dedicada exclusivamente a tareas de investigación. Tiene una forma reticulada, como las manzanas o cuadras de una ciudad, con alguna irregularidad, ya que se han respetado todos los árboles, olivos, que había en el terreno en el que se ha construido, con calles de seis metros de ancho. Los muy buenos resultados muestran el comportamiento del vehículo en diferentes situaciones.

La figura 5 muestra el circuito de pruebas en el que se han hecho los experimentos y el recorrido efectuado por el vehículo conducido manualmente. Se ha seleccionado este trazado por la combinación de tramos rectos con curvas muy pronunciadas, que nos permiten emular una conducción urbana.



Figura 5. Circuito de pruebas del Instituto de Automática Industrial.

Para estudiar distintos comportamientos del sistema, se han efectuado dos pruebas. La primera simula la pérdida de precisión de la señal del GPS en repetidas ocasiones durante intervalos de tiempo que oscilan entre uno y cinco segundos. Se trata de reproducir una situación real de conducción en ciudad en la que la presencia de edificios puede provocar esta pérdida. En este caso, ambos sistemas de posicionamiento se combinan el guiado del vehículo. La segunda, simula la pérdida total de la señal GPS durante más de un minuto, dejando el posicionamiento del coche exclusivamente al sistema inercial.

Ambos experimentos los ha realizado un conductor que trataba de seguir el centro de la carretera. El ancho de la misma es de seis metros, con lo que se pueden asumir errores inferiores a tres metros, ya que el coche se mantendría dentro de la vía. La velocidad en la realización del recorrido ha sido alrededor de los 25 km/h en los tramos rectos y en torno a los 12 km/h en los tramos curvos.

Figura 6. Calidad de la señal GPS para pérdidas de corta duración y repetitivas.

Figura 7. Desviación del vehículo respecto al centro de la carretera para el caso de pérdidas de corta duración y repetitivas.

La figura 6 muestra el comportamiento del GPS en el caso de producirse pérdidas de señal durante cortos espacios de tiempo a lo largo del recorrido.

En la figura 7 se muestra el error lateral del vehículo durante la realización del experimento para el caso de pérdidas de corta duración de la señal GPS. Se observa que para el caso más desfavorable el error es inferior a los dos metros lo que nos permitiría guiar el vehículo dentro de los límites de la carretera. Las diferencias de errores en los distintos tramos son debidas a la iniciación del sistema de guiado inercial. Entre los segundos 40 y 50 se producen dos pérdidas consecutivas de muy corta duración, lo que provoca que, en el intervalo en el que hay señal de GPS entre ambas pérdidas, el coche esté retornando a la referencia cuando vuelve a caer la calidad de la señal. Esta situación es solventada de manera satisfactoria por el sistema inercial, evitando que el vehículo salga de la vía.

Por otro lado, conseguimos que el volante gire de forma suave en todo momento. Se evita así que errores superiores a dos metros en la medida del GPS produzcan movimientos bruscos

del volante y se mejora de esta forma la seguridad y el confort de los pasajeros.

Figura 8. Calidad de la señal GPS para pérdidas de larga duración.

Figura 9. Desviación del vehículo respecto al centro de la carretera para el caso de pérdidas de larga duración.

En la figura 8 mostramos la calidad de la señal GPS para el caso de pérdida durante intervalos largos. En este caso, la señal GPS se pierde a partir del segundo diez y sería imposible localizar el vehículo con el sistema de posicionamiento global. El experimento reproduce la pérdida de señal en un intervalo de tiempo superior a un minuto, en el que se recorre una distancia de 500 metros.

En la figura 9 se muestra el error lateral del vehículo. Se observa que el error es inferior a 2,5 metros con lo que aseguramos que el coche sigue circulando dentro de la vía. Además, los mayores errores se producen fundamentalmente en las zonas curvas y son admisibles debido al pequeño radio de curvatura y al tamaño del coche.

El experimento demuestra un buen comportamiento del sistema de control, sin degradación de la señal durante un tiempo superior a un minuto. Por tanto, se prueba que el guiado automático de vehículos en áreas sin señal GPS durante largos intervalos de tiempo es posible.

5. CONCLUSIONES

El uso de sistemas de navegación global mediante satélites aplicados a los vehículos automatizados, constituye una potente herramienta para conseguir un posicionamiento absoluto con un alto grado de precisión. Sin embargo, esta técnica tiene el inconveniente de que elementos externos pueden provocar el

bloqueo y la consiguiente pérdida de la señal GPS. Esto nos lleva a complementar el sistema de control para llevar a cabo el guiado en esas situaciones.

Un sistema basado en la combinación de tres sensores, dos de ellos provenientes de una IMU más otro sensor embarcado en el coche, que nos proporciona la distancia recorrida por el vehículo a través del bus CAN, es una buena solución para el control en el caso de que se produzcan fallos en la señal GPS. Los resultados de los experimentos muestran que es posible conducir durante largos periodos de tiempo mediante este sistema sin necesidad de otra asistencia. Esta posibilidad permite pensar en guiado automático en zonas urbanas sin problemas.

Además, la pérdida de precisión durante cortos periodos de tiempo debido a interferencias en la señal, se puede resolver mediante un sistema combinado de IMU más GPS que nos permite un control suave del guiado.

También se ha demostrado que el error de deriva de la IMU se puede limitar gracias a la reiniciación de los parámetros de la posición cada vez que el GPS funciona con precisión centimétrica, permitiendo de este modo, lograr un sistema de control más robusto, suave y prolongado en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de los proyectos CyberCars-2 (UE STREP FP6-028062), ENVITE (Ministerio de Fomento, T7 / 06) y MARTA (CDTI, CENIT 2007)

REFERENCIAS

- Britting K.R. (1999). *Inertial Navigation Systems Analysis*. Wiley, New York.
- Farrell J.A., Barth M., Galijan R. and Sinko J. (1998). *GPS/INS Based Lateral and Longitudinal Control Demonstration Final Report*.
- Farrell J.A. and Barth M. (1999). *The Global Positioning System & Inertial Navigation*. McGraw-Hill, New York.
- Farrell J.A., Tan H. and Yang Y. (2003). Carrier Phase GPS-Aided INS-Based Vehicle Lateral Control. En *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. American Society of Mechanical Engineers. 125(3), 339-353.
- Hong S., Hyung Lee M., Hong Kwon S. and Hwan Chun H., (2004). A Car Test for the Estimation of GPS/INS Alignment Errors. En *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*. 5(3), 208-218.
- Hong S., Hyung Lee M., Hwan Chun H., Hong Kwon S. and Speyer S. L. (2006). Experimental Study on the Estimation of Lever Arm in GPS/INS. En *IEEE Trans. on Vehicular Technology*. 55(2), 431-448.
- Li W., and Leung H. (2003). Constrained Unscented Kalman Filter Based Fusion of GPS/INS/Digital Map for Vehicle Localization. En *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*. 2, 1362-1367.
- Naranjo J.E., González C., García R., de Pedro T (2006). ACC+Stop&go maneuvers with throttle and brake fuzzy control. En *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*; 7(2), 213-225.
- Obradovic D., Lenz H. and Schupfner M. (2007). Fusion of Sensor Data in Siemens Car Navigation System. En *IEEE Trans. on Vehicular Technology*. 56(1), 43-50.
- Rezaei S. and Sengupta R. (2005). Kalman Filter Based Integration of DGPS and Vehicle Sensors for Localization. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation*. 455-460.
- Urmson C. et al. (2006). A robust Approach to High-Speed Navigation for Unrehearsed Desert Terrain. En *Journal of Field Robotics*. 23(8), 467-508.
- Wang F., Herget C. and Zeng D. (2005). Guest Editorial Developing and Improving Transportation Systems: The Structure and Operation of IEEE Intelligent Transportation System Society. En *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*. 6(3), 261-264.
- Wang J., Schroedl S., Mezger K., Ortloff R., Joos A. and Passegger T. (2005). Lane Keeping Based on Localization Technology. En *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*. 6(3), 351-356.
- Wright M., Stallings D. and Dunn D. (2003). The Effectiveness of Global Positioning System Electronic Navigation. En *Proceedings IEEE Southeastcon*. 62-67.