

MANIOBRA COOPERATIVA STOP & GO PARA VEHÍCULOS AUTOMATIZADOS BASADA EN ENTORNO VIRTUAL Y REAL

Carlos Hidalgo¹, Mauricio Marcano^{2,3}, Gerardo Fernández¹, Joshué Pérez³, Myriam Vaca³

¹Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

²Universidad del País Vasco, Bilbao, España

³Tecnalia Research & Innovation, Viscaya, España

carlos.hidalgo424@gmail.com, mauricio.marcano@tecnalia.com, gfernandez@usb.ve, joshue.perez@tecnalia.com, myriam.vaca@tecnalia.com

Resumen

La implementación de maniobras cooperativas entre vehículos automatizados es una necesidad dentro del progreso de los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS). Sin embargo, el desarrollo de estas estrategias en vehículos reales depende de la disponibilidad de un mínimo de plataformas experimentales, que involucran elevados costos y tiempos de pruebas. En este sentido, el presente trabajo presenta una herramienta para el diseño de la maniobra cooperativa Stop & Go, haciendo uso de un entorno virtual para la simulación de un vehículo líder, junto con un vehículo eléctrico automatizado que realiza el seguimiento dentro de un circuito cerrado. Para el diseño de la maniobra se establecerá comunicación V2V entre ambas plataformas, las cuales ejecutan una arquitectura general de conducción automatizada. El algoritmo de seguimiento está basado en un controlador de lógica difusa dependiente de la velocidad del vehículo líder y la distancia entre ambos coches. Los resultados demuestran la utilidad de combinar ambos entornos de prueba para la validación de maniobras cooperativas reduciendo el costo y el tiempo en comparación con pruebas reales.

Palabras clave: Maniobras Cooperativas, Stop & Go, Conducción Automatizada, Lógica Difusa.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad más de 1,25 millones de personas mueren cada año como consecuencia de accidentes de tránsito y aproximadamente 50 millones sufren traumatismos no mortales, los cuales puedan llegar a producir alguna discapacidad [3]. Dichos siniestros son causados, en su mayoría por la imprudencia del ser humano.

En este sentido, diferentes Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS) han sido integrados dentro de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), con el objetivo de aumentar la seguridad, la eficiencia y la comodidad durante la conducción. Sin embargo, al día de hoy, esta tecnología carece de robustez y ha sido causa de accidentes mortales [18].

En este orden de ideas, las maniobras cooperativas surgen como una solución que permite añadir confiabilidad a los nuevos sistemas de conducción automatizadas, permitiendo que el vehículo cuente con mayor información del entorno, provista por los diferentes agentes que conforman el sistema de tránsito vial.

Este tipo de maniobras requiere que los vehículos estén interconectados. Para esto se emplean los sistemas de comunicación vehiculares [5], que se pueden clasificar en distintos tipos: vehículos con vehículos (V2V), vehículos con infraestructuras (V2I), o una combinación de los distintos integrantes de los ITS (V2X), etc [2]. Estos sistemas permiten una gran versatilidad y efectividad al realizar las maniobras, debido a sus distintas características: la alta velocidad en el intercambio de datos, su rango de alcance, eficacia en reconexión, entre otras.

No obstante, aunque esta estrategia presenta distintas soluciones a los problemas de conducción automatizada, su validación requiere de mayores recursos por la necesidad de contar con un mínimo de dos vehículos, además de los riesgos que involucra probar algoritmos en situaciones de alta congestión, o en las que se tenga que frenar de manera urgente, como es el caso de la maniobra de Stop & Go [13].

La maniobra de Stop & Go presenta alto riesgo, ya que las acciones del movimiento del vehículo no dependen de sí mismo, sino de las realizadas por el vehículo delantero, por lo cual, ante alguna falla o comportamiento irregular del vehículo delantero, se puede producir algún tipo de accidente.

Dentro de la realización del algoritmo de la maniobra, se tiene como principal problema, el poder adaptar los sistemas de control de cruce adaptativo (ACC), a bajas velocidades, el cual permita realizar el avance y frenado de manera confiable. Es por esto que diversos autores han probado distintas estrategias de control para adaptar dichos sistemas a los requerimientos de la maniobra.

En [21] presentan un algoritmo basado en un controlador clásico de tipo PID, donde se comparan la velocidad y distancia deseadas con la que posee el vehículo. Para la validación del algoritmo se rea-

lizaron las pruebas en un entorno completamente virtual, empleando Simulink. A diferencia de ésta técnica en [16], presentan un controlador basado en la lógica difusa, en el cual contemplan distintas entradas como el error en la velocidad, el error en el intervalo de tiempo, la aceleración del vehículo, etc. En este caso, las pruebas se hicieron en un entorno real, empleando furgonetas de la compañía Citroën.

Por otro lado, en [22] presentan una comparación entre un controlador difuso y un PID inteligente para la realización de la maniobra de Stop & Go, al igual que en el primer caso presentado, usaron como entradas del sistema los errores de velocidad y distancia. Como resultado de esta comparación se obtuvo que ambas estrategias presentaron un desempeño muy similar. Cabe destacar, que para la validación de estos algoritmos sólo se emplearon plataformas virtuales.

En [14] se presenta otro caso de comparación, evaluando el desempeño de un controlador borroso y un PI inteligente, empleando las mismas entradas que en el estudio anterior, con la diferencia que en este artículo se realizan las pruebas en simulación, para luego validarlas en vehículos reales. Como resultado, se obtuvo de igual forma un comportamiento similar para ambas estrategias, con la salvedad que en esta circunstancia encontraron en el controlador borroso una herramienta más adaptable al entorno real.

Como se puede apreciar, los controladores borrosos son utilizados ampliamente en el control de vehículos autónomos. Su uso se remonta en los años ochenta cuando Sugeno publicó distintos trabajos sobre el control de vehículos automatizados [20], demostrando que los sistemas de inferencia borrosa son una alternativa viable para realizar esta labor. Este tipo de controladores se caracterizan por plasmar la lógica humana en la resolución del control de procesos complejos al dar valores intermedios entre dos extremos de una variable [8].

En este trabajo se presenta la combinación de los entornos reales y virtuales para la realización de pruebas de maniobras cooperativas, más específicamente, la de Stop & Go. Dichas pruebas, involucran un vehículo virtual simulado con Dynacar, el cual ejerce la función de líder y un vehículo real, que cumple la función de seguidor. Para la validación de la maniobra se hacen uso de comunicaciones V2V, en donde ambos vehículo intercambian información, referente a su posición, velocidad y demás estados del sistema, siendo el coche seguidor el encargado de hacer la maniobra.

El resto del artículo se divide de la siguiente forma: en la sección 2 se explican las plataformas con las cuales se trabajó, así como la arquitectura de conducción autónoma empleada. En la sección 3 se describe la maniobra a realizar, el algoritmo de

control y su implementación. En la sección 4 se describe el entorno donde se realizaron las pruebas, así como los resultados obtenidos, para finalmente en la sección 5 explicar las conclusiones que se obtienen del trabajo realizado, así como los trabajos futuros que se pueden desarrollar, a partir del presentado.

2. MARCO COOPERATIVO DE VEHÍCULOS AUTOMATIZADOS

En esta sección se presenta una descripción de las plataformas sobre las cuales se implementaron los algoritmos de control: el entorno virtual, Dynacar [10] y un vehículo eléctrico Renault Twizy. Ambas utilizando una arquitectura de control generalizada para conducción automatizada [6].

Dicha arquitectura consta de seis bloques específicos: Adquisición, Percepción, Comunicación, Decisión, Control y Actuación. La misma ha sido utilizada en distintos trabajos previos, de los cuales se pueden destacar, la validación de un control longitudinal [12] y el desarrollo de maniobras como la del adelantamiento [9]. A continuación, se presenta una descripción de cada bloque:

- **Adquisición:** bloque encargado de obtener las señales provenientes de los sensores del vehículo, en el caso del vehículo real, el GPS diferencial, sensores de visión, etc. Mientras que en el caso virtual, a través del modelo multi-cuerpo que representa el vehículo simulado.
- **Percepción:** es el módulo responsable de recolectar y organizar la data proveniente del bloque de adquisición y distribuirla a los demás bloques. Dentro de estos datos, se pueden destacar: la estimación del estado del vehículo, detección y/o clasificación de objetos, entre otros.
- **Comunicación:** es el bloque encargado de llevar a cabo las comunicaciones entre vehículos, bien sean, virtuales, reales o una combinación de ambos. El mismo se basa en el uso de redes W-Lan, como se muestra en [15] y en [11], para efectuar la conexión entre vehículos. Además, incorpora un sub módulo para poder realizar el monitoreo en el simulador del vehículo con el cual se está comunicando.
- **Decisión:** módulo responsable de generar la ruta por la cual se va a transitar, para lo cual el módulo se divide en dos sub bloques, el planificador global, encargado de generar la trayectoria, y el planificador local, responsable de suavizar dicha trayectoria, para lo cual se utilizan técnicas como las curvas de bezier [7], o curvas paramétricas [17].

- Control: se encarga del control longitudinal (acelerador y freno) y el control lateral (volante). Para cumplir este objetivo, el módulo recibe la información del bloque de decisión, con la cual ejecuta las acciones necesarias. Distintas técnicas son tomadas en cuenta para la realización del control, como lo pueden ser: los controladores PID, para la parte longitudinal, o controladores basados en la lógica difusa para la parte lateral [19].
- Actuadores: es el módulo encargado de traducir las salidas normalizadas del bloque de control, a señales de acción reales sobre el acelerador, freno y volante. Dichas señales, son posteriormente enviadas a los respectivos módulos del vehículo real (actuadores) y virtual (modelo multi-cuerpo).

2.1. PLATAFORMA VIRTUAL: DYNACAR

Dynacar es una herramienta de simulación desarrollada por Tecnia Research & Innovation, que permite diseñar y probar modelos de vehículos en ambientes completos y personalizables. Consta básicamente de dos entornos, el modelado del vehículo y el Visor 3D:

- Modelado del vehículo: para representar el vehículo virtualmente, Dynacar hace uso de un modelo multi-cuerpo, el cual emplea coordenadas relativas y ecuaciones semi-recursivas del movimiento basadas en la transformación de la velocidad [1]. Dicho modelo establece las coordenadas cartesianas del chasis, en el medio de las ruedas delanteras, los ángulos de navegación, en los nudillos y finalmente las macro juntas, en las ruedas [12].
- Visor 3D: es empleado para monitorear los vehículos. El Visor 3D (Figura 1) permite visualizar el comportamiento de los coches en tiempo real, mostrando distintas características, como lo son: velocidad, ángulos de dirección, acciones sobre los actuadores, etc.



Figura 1: Visor 3D

2.2. PLATAFORMA EXPERIMENTAL: RENAULT TWIZY

La plataforma real empleada es el Renault Twizy 80, un vehículo eléctrico, capaz de alcanzar una velocidad máxima de 80 Km/h, el cual ha sido instrumentado de tal forma que el control del volante (manejado por un motor paso a paso), del acelerador (controlado por una unidad de control del motor) y el freno (manejado a través de un actuador mecánico lineal) es realizado a través de una red de Bus CAN. En la tabla 1, se puede conseguir una lista donde se detallan los elementos con los cuales fue instrumentado dicho vehículo.

Tabla 1: Sensores y dispositivos electrónicos.

Sistemas	Dispositivos
Data de la Inercia y Posición	GNSS-aided IMS + Base Station
Unidad a Bordo	Fanless - i7-6700TE - 32 GB RAM.
Sistema de Frenado	Actuador Lineal - 750 N Driver de 20 A del Motor DC
Sistema del Volante	Motor paso a paso híbrido de alto torque Codificador magnético con CANopen Driver de 20-80 V del motor paso a paso

3. DISEÑO DE LA MANIOBRA

En esta sección se presenta el desarrollo del controlador para la maniobra de Stop & Go. Primero, describiendo de forma breve en qué consiste dicha maniobra, para luego profundizar en el algoritmo de control empleado, así como su debida implementación.

La maniobra de Stop & Go busca evaluar la capacidad del vehículo para frenar y acelerar en casos de tráfico, o cuando se deba de frenar de manera brusca debido a las acciones del vehículo delantero. Es decir, cuando el mismo realiza de igual forma un frenado abrupto. Este caso es también conocido como frenado de emergencia.

En este orden de ideas, para la implementación de la maniobra se siguió el esquema presentado en la Figura 2, donde primero se reúne la información proveniente de los sensores o del modelo multi-cuerpo, luego se organiza y se envía al otro vehículo. En el caso del coche real se procesa la data y se realizan las acciones de control necesarias, mientras que en el simulador se envían los datos al Visor 3D, donde se monitorean ambos vehículos.

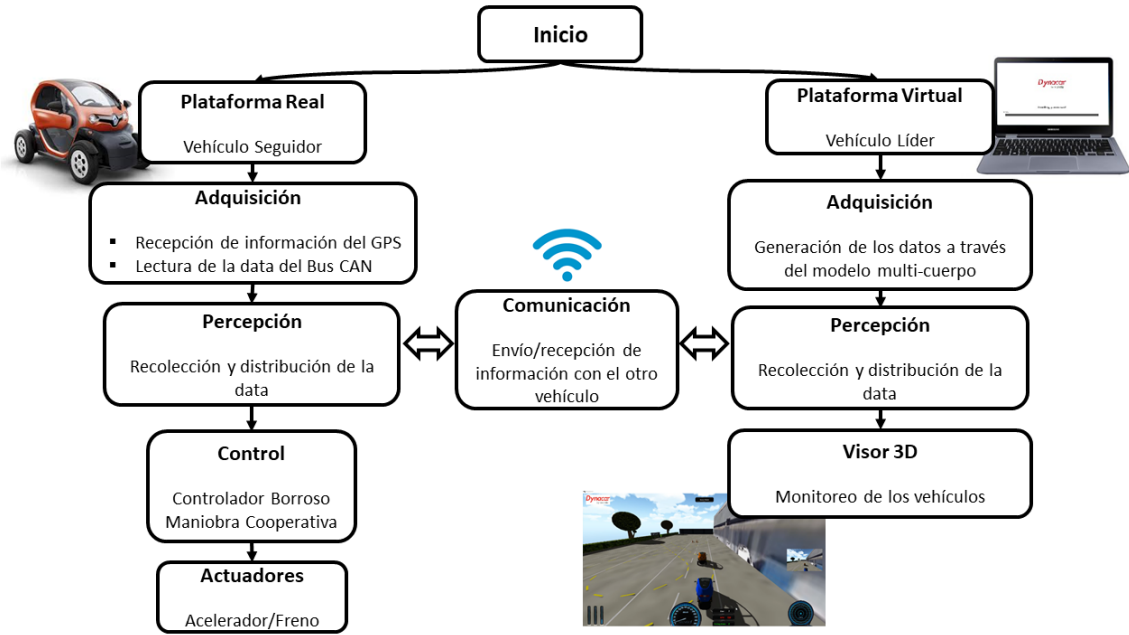


Figura 2: Arquitectura lógica de la implementación de la maniobra

Para la implementación del controlador de la maniobra, se hizo uso del Toolbox de MATLAB para controladores borrosos. Se escogieron como entradas el error de la velocidad y el error de la distancia entre ambos vehículos, con el fin de poder mantener la posición del vehículo, lo más cercano a la referencia de distancia, con lo cual, cuando se tenga que realizar el frenado de emergencia, el mismo lo pueda ejecutar guardando cierta distancia de seguridad. Los errores fueron calculados de la siguiente forma:

- Error de la velocidad: se calcula como la diferencia entre la velocidad del vehículo líder (v_l) y la velocidad del vehículo seguidor (v_s) (Ecuación 1).

$$e_{vel} = v_l - v_s \quad (1)$$

Se definieron cuatro funciones de membresía (Figura 3), tres de ellas en el intervalo $[-1;1.5]$, para mantener la velocidad lo más parecido posible a la del vehículo líder, y una para los valores muy negativos, con la cual se busca ejercer mayor acción sobre el freno.

- Error de la distancia: se calcula como la diferencia de la distancia real entre los vehículos (d) y la distancia de referencia (d_{ref}) (Ecuación 2).

$$e_{dist} = d - d_{ref} \quad (2)$$

Donde la separación entre los vehículos es calculada como la distancia Euclidiana entre dos puntos (Ecuación 3).

$$d = \sqrt{(x_l - x_s)^2 + (y_l - y_s)^2} \quad (3)$$

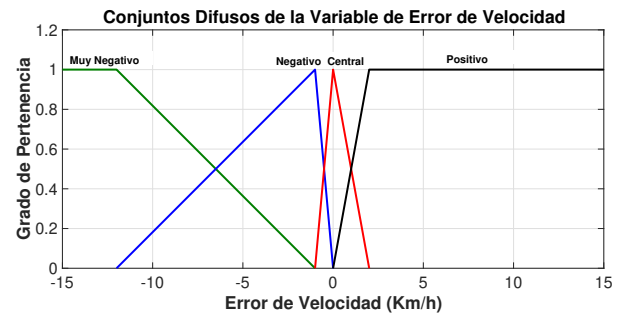


Figura 3: Función de pertenencia del error de la velocidad

En cuanto a la distancia de referencia, la misma es calculada a través de la fórmula del cuadrado de la velocidad, dada por la dirección general de tráfico española, DGT [4], complementada con una distancia de seguridad (d_s) de 7 m (Ecuación 4).

$$d_{ref} = \left(\text{Entero}\left(\frac{v_s}{10}\right)\right)^2 + d_s \quad (4)$$

Al igual que en el error de la velocidad, se definieron cuatro funciones de pertenencia (Figura 4), tres para mantener el error cerca de la referencia, que en este caso es fijada en el rango de $[-2;1]$ y una para el caso en que la distancia sea muy positiva, para lo cual se ejerce más acción sobre el acelerador.

La salida del controlador borroso, corresponde a la señal normalizada sobre los actuadores, acelerador y freno, definidas en el rango de $[-1;0]$ para el freno y $[0;1]$ para el acelerador (Figura 5). Estos rangos, como los definidos para las entradas fueron establecidos de manera experimental, observando los

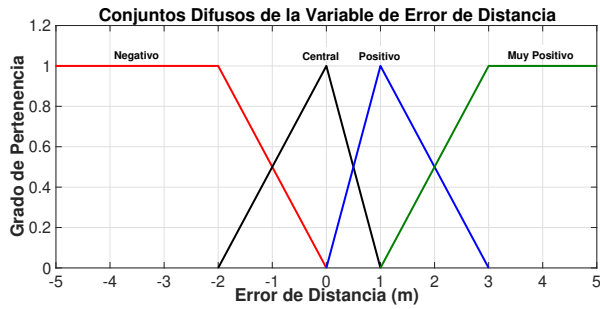


Figura 4: Función de pertenencia del error de la distancia

resultados a medida que se modificaban los valores progresivamente.

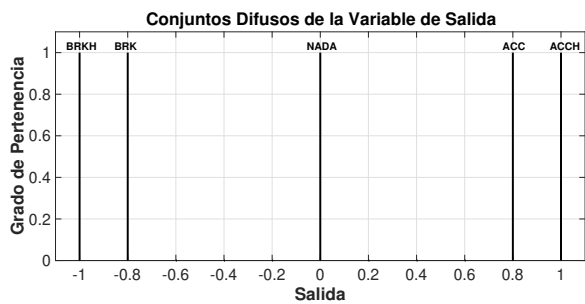


Figura 5: Función de pertenencia de la salida

En la tabla 2 se presentan las reglas que constituyen al controlador. A las cuales se les agregaron dos reglas más, para incrementar las acciones sobre los controladores:

IF ErrorVel *MuyNegativo* THEN ACC/BRK
BRKH
 IF ErrorDist *MuyPositivo* THEN ACC/BRK
ACCH

Tabla 2: Reglas del controlador difuso.

Error de Velocidad	Error de Distancia		
	Negativo	Central	Positivo
Negativo	BRKH	BRK	NADA
Central	BRK	NADA	ACC
Positivo	NADA	ACC	ACCH

A partir de la configuración completa de las salidas, junto a las funciones de pertenencia y a las reglas se obtiene la superficie de control presentada en la Figura 6, mediante la cual se puede predecir el comportamiento del controlador. Además se puede observar que no hay discontinuidades que pongan en riesgo la maniobra.

4. RESULTADOS

Las pruebas experimentales fueron llevadas a cabo en la pista de Tecnia Research & Innovation (Fi-

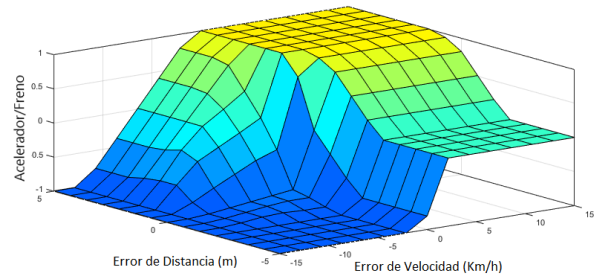


Figura 6: Superficie de control

gura 7), un circuito cerrado de 180 m, compuesto, por dos curvas, un cambio de canal y un tramo largo. Siendo este último, el segmento empleado para realizar la maniobra, debido a su longitud, la cual permite acelerar al vehículo hasta 15 Km/h y poder frenar sin mayores riesgos.



Figura 7: Pista de Tecnia Research & Innovation real y virtual

De esta forma, se realizó la prueba, empleando el vehículo virtual como el líder, el cual, una vez alcanzado una velocidad de 11 Km/h, frena de manera abrupta, produciendo que el vehículo real busque frenar con cierta distancia de seguridad. Así pues, en la Figura 8 se puede observar, como el vehículo virtual efectivamente alcanza la velocidad establecida, y frena bruscamente, mientras que el vehículo real, en un intento de alcanzar la distancia de referencia, excede dicha velocidad, hasta unos 13 Km/h, para luego frenar.

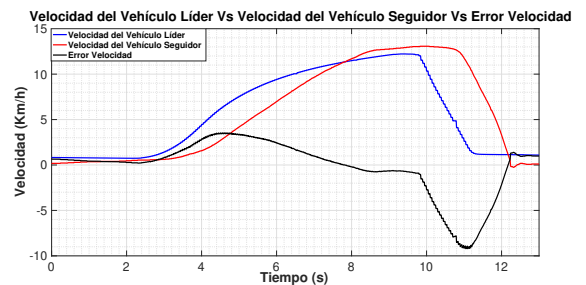


Figura 8: Gráfica de la velocidad de los vehículos

En cuanto a la distancia, se puede observar en la Figura 9, como el vehículo busca alcanzar la

referencia y al momento de realizar el frenado, el mismo finaliza a 6 m de distancia con respecto al vehículo líder, excediendo en 1 m la distancia de seguridad. Si bien, se tiene un 14 % de error, la separación que guarda en relación al coche virtual, es considerada más que aceptable, ya que no se corre ningún riesgo de accidente.

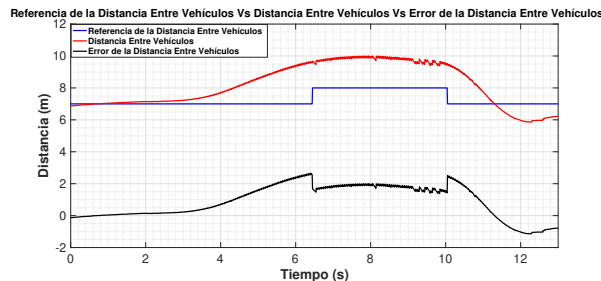


Figura 9: Gráfica de la distancia entre los vehículos

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la combinación de los entornos reales y virtuales, para la validación de maniobras cooperativas, más concretamente la maniobra de Stop & Go. En donde el vehículo virtual cumple la función de líder, y el vehículo real el del seguidor, siendo este último, el que posee el controlador borroso diseñado.

La prueba planteada para comprobar el desempeño de la maniobra en el entorno combinado, mostró un resultado satisfactorio. El vehículo real pudo ejecutar la maniobra correctamente, al efectuar el frenado con cierta distancia de separación con respecto al vehículo virtual. Si bien se obtuvo un resultado aceptable, para garantizar una completa validación del uso de vehículos reales y virtuales para el desarrollo de maniobras cooperativas es necesario la realización de un mayor número de ensayos que demuestren el correcto comportamiento del sistema en distintos escenarios.

Los resultados obtenidos abren la posibilidad al desarrollo y validación de distintas maniobras, empleando la metodología planteada en la presente investigación. Como trabajos futuros, se pueden presentar la validación de más maniobras, como lo pueden ser: intersecciones, ACC, toma de decisiones en rotondas, adelantamientos con más de un vehículo, etc, así como la optimización de la maniobra mostrada.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al proyecto SerIoT H2020 (Con número de concesión 780139) por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

English summary

STOP & GO A COOPERATIVE MANEUVER FOR AUTOMATED

VEHICLES BASED ON VIRTUAL AND REAL ENVIRONMENT

Abstrac

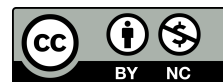
The implementation of cooperative maneuvers between automated vehicles is a necessary for the improvement of the Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). However, the development of these strategies in real vehicles depends on the availability of experimental platforms, which involves high costs and a lot of testing time. In this line of thought, the present work shows a tool for the design of the Stop & Go cooperative maneuver, making use of a virtual environment for the simulation of a leading vehicle, along with an automated electric vehicle that performs the tracking within a closed circuit. For the design of the maneuver, a V2V communication system between the two platforms will be established, bearing in mind that they execute an automated driving general architecture. The tracking algorithm is based on a fuzzy logic controller, dependent on the leading vehicle speed and the distance between the two vehicles. The results show the usefulness of combining the two test environments for the validation of the cooperative maneuver, reducing the cost and the time in comparison with the real test environment.

Keywords: Cooperative Maneuver, Stop & Go, Automated Driving, Fuzzy Logic.

Bibliografía

- [1] CUADRADO, J., VILELA, D., IGLESIAS, I., MARTÍN, A. et PEÑA, A. (2013). A multibody model to assess the effect of automotive motor in-wheel configuration on vehicle stability and comfort. *ECCOMAS Multibody Dynamics*.
- [2] DA CUNHA, F. D., BOUKERCHE, A., VILLAS, L., VIANA, A. C. et LOUREIRO, A. A. (2014). *Data communication in VANETs: a survey, challenges and applications*. Thèse de doctorat, INRIA Saclay; INRIA.
- [3] de la SALUD, O. M. (2018). Lesiones causadas por el tránsito. <http://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- [4] de TRÁNSITO ESPAÑOLA, D. G. (2015). Seguridad vial. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/>.

- [5] FESTAG, A. (2014). Cooperative intelligent transport systems standards in europe. *IEEE communications magazine*, 52(12):166–172.
- [6] GONZÁLEZ, D. et PÉREZ, J. (2013). Control architecture for cybernetic transportation systems in urban environments. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*, pages 1119–1124. IEEE.
- [7] GONZÁLEZ, D., PÉREZ, J., MILANÉS, V. et NASHASHIBI, F. (2016). A review of motion planning techniques for automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4):1135–1145.
- [8] JANG, J.-S. (1996). Input selection for anfis learning. In *Fuzzy Systems, 1996., Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on*, volume 2, pages 1493–1499. IEEE.
- [9] LATTARULO, R., MARCANO, M. et PÉREZ, J. (2017a). Overtaking maneuver for automated driving using virtual environments. In *International Conference on Computer Aided Systems Theory*, pages 446–453. Springer.
- [10] LATTARULO, R., PÉREZ, J. et DENDALUCE, M. (2017b). A complete framework for developing and testing automated driving controllers. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1):258–263.
- [11] LIN, W.-Y., LI, M.-W., LAN, K.-C. et HSU, C.-H. (2010). A comparison of 802.11 a and 802.11 p for v-to-i communication: A measurement study. In *International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*, pages 559–570. Springer.
- [12] MARCANO, M., MATUTE, J. A., LATTARULO, R., MARTÍ, E. et PÉREZ, J. (2018). Low speed longitudinal control algorithms for automated vehicles in simulation and real platforms. *Complexity*, 2018.
- [13] MARZBANRAD, J., MOGHADDAM, T.-z. *et al.* (2015). Prediction of driver’s accelerating behavior in the stop and go maneuvers using genetic algorithm-artificial neural network hybrid intelligence. *International Journal of Automotive Engineering*, 5(2):986–998.
- [14] MILANÉS, V., VILLAGRÁ, J., GODOY, J. et GONZÁLEZ, C. (2012). Comparing fuzzy and intelligent pi controllers in stop-and-go manoeuvres. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 20(3):770–778.
- [15] MILANES, V., VILLAGRA, J., GODOY, J., SIMO, J., PÉREZ, J. et ONIEVA, E. (2012). An intelligent v2i-based traffic management system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1):49–58.
- [16] NARANJO, J. E., GONZÁLEZ, C., GARCÍA, R. et DE PEDRO, T. (2006). Acc+ stop&go maneuvers with throttle and brake fuzzy control. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 7(2):213–225.
- [17] PÉREZ, J., GODOY, J., VILLAGRÁ, J. et ONIEVA, E. (2013). Trajectory generator for autonomous vehicles in urban environments. In *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pages 409–414. IEEE.
- [18] PÉREZ, J., MILANÉS, V., ALONSO, J., ONIEVA, E. et DE PEDRO, T. (2010). Adelantamiento con vehículos autónomos en carreteras de doble sentido. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(3):25–33.
- [19] RASTELLI, J. P. (2012). *Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autopistas*. Thèse de doctorat, Universidad Complutense de Madrid.
- [20] SUGENO, M. et MURAKAMI, K. (1984). Fuzzy parking control of model car. In *Decision and Control, 1984. The 23rd IEEE Conference on*, volume 23, pages 902–903. IEEE.
- [21] VAN AREM, B., VAN DRIEL, C. J. et VISSER, R. (2006). The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(4):429–436.
- [22] VILLAGRÁ, J., MILANÉS, V., PÉREZ, J. et GONZÁLEZ, C. (2010). Model-free control techniques for stop & go systems. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on*, pages 1899–1904. IEEE.



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC 3.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>).