

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN AUTOMATIZADA PARA CONTROL COMPARTIDO

Mario Rodríguez, Joseba Sarabia, Joshué Pérez

TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

mario.rodriguez@tecnalia.com, joseba.sarabia@tecnalia.com joshue.perez@tecnalia.com

Asier Zubizarreta

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

asier.zubizarreta@ehu.eus

Resumen

Las técnicas de control compartido para la conducción automatizada requieren equipos de alta calidad para pasar de simulación hardware-in-the-loop a aplicaciones reales. Sin embargo, no todos los coches utilizados hoy en día para la investigación de la conducción automatizada cuentan con un sistema de dirección adecuado. En este artículo se desarrollan controladores de bajo nivel, rápidos, fiables y eficientes de par y posición para una dirección asistida. De este modo y, siguiendo esta metodología, el control de par no sólo habilita las técnicas de control compartido, sino que también los vehículos totalmente automatizados pueden beneficiarse gracias al control de posición

Palabras clave: Conducción Automatizada, Control de la Dirección, Control de Par de Motor CC, Control de Posición de Motor CC.

nas tareas de conducción, como el control lateral o el longitudinal. El **nivel 2** corresponde a una automatización parcial de la conducción y obliga a un control lateral y longitudinal simultáneo del vehículo, pero el conductor sigue encargándose de la detección y reacción ante eventos y objetos. En el **nivel 3**, se puede utilizar por primera vez la palabra automatizado. Así, se supone que el vehículo detecta y reacciona al entorno cuando opera en el ODD, pero el conductor debe estar siempre alerta en caso de una situación de emergencia. En los **niveles 4 y 5**, se requiere una capacidad de conducción autónoma completa, sólo en el ODD en el nivel 4 y en todas las situaciones en las que una persona podría conducir en el nivel 5.

Sin embargo, el progreso actual está lejos de alcanzar el nivel 5. Actualmente se debaten cuestiones éticas como quién es el responsable en caso de accidente o cómo debe actuar el vehículo durante la conducción [5]. Por otra parte, existe un escepticismo hacia la automatización total, especialmente entre la población de edad avanzada [11]. Además, el exceso de confianza puede causar la degradación de la conciencia situacional del conductor, afectando negativamente a la seguridad en caso de necesitar retomar el control [17, 10].

Para evitar estos problemas potenciales, existe un interés creciente en mantener al conductor dentro del lazo de control [8, 16], lo que se conoce como control cooperativo. Dentro de este tipo de control existen varias modalidades en función del rol que desempeñan el humano y la automatización [4]. Una de ellas es el control compartido, en el que ambos participantes pueden afectar al resultado de la tarea al mismo tiempo, por lo que debe existir un consenso entre ambos [14].

Dentro del ámbito de la conducción automatizada, el control compartido se puede aplicar en tres niveles jerárquicos sobre la arquitectura de referencia en conducción automatizada [13]. El nivel estratégico hace referencia a la planificación de la tarea, por ejemplo, como ir de un punto a otro. Al nivel táctico corresponden la toma de decisiones y la gestión de tareas, como por ejemplo, planificar un adelantamiento o gestionar la distancia con el vehículo precedente. Finalmente, el nivel opera-

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, tanto la industria como el mundo académico han mostrado un gran interés y desarrollo en el campo de los sistemas avanzados de asistencia al conductor (en inglés, ADAS-Advanced Driver Assistance Systems). Este desarrollo ha demostrado ser crítico en la persecución de diferentes objetivos, como la mejora de la seguridad y la movilidad, la optimización de la energía y el aumento del confort [7, 1].

Esta investigación ha evolucionado durante los últimos años hacia la búsqueda de lo que al principio parecía casi utópico, la conducción completamente automatizada. Con el objetivo de crear un marco común y estandarizar las diferentes funcionalidades de la conducción automatizada y semiautomatizada, así como su dominio de diseño operativo (en inglés, Operational Design Domain, ODD), la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) desarrolló el estándar J3016 [9], que establece una clasificación basada en niveles. En el **nivel 0** no existe automatización de la conducción más allá de ayudas puntuales o visuales. En el **nivel 1**, el conductor es asistido en algu-

cional interactúa con los actuadores, generando el comando exacto que el control de bajo nivel debe acometer. A este último nivel pertenecen la mayoría de las aplicaciones actuales, que incluyen el control longitudinal, a través de los pedales de aceleración y freno, y el control lateral, por medio del volante [2, 14].

El desarrollo de sistemas de control compartido es una tarea compleja, dado que requiere considerar al conductor en el lazo de control, y gestionar la interacción con el mismo. Así, la mayoría de los desarrollos en el ámbito del control compartido se han implementado y validado en simuladores de conducción, en los cuales el conductor interactúa con el entorno de simulación a través de un volante con motor [15]. Sin embargo, en la actualidad existe una carencia en la validación sobre vehículos reales de este tipo de controladores, así como estudios que avalen su aceptabilidad y usabilidad.

En este marco, el proyecto HADRIAN [17] busca, entre otros, avanzar en el desarrollo de estrategias de control compartido en el área de la automoción, desarrollando tecnologías que permitan la interacción entre el conductor y el vehículo de forma fluida y segura.

En este artículo se presenta el trabajo realizado en el marco del proyecto HADRIAN para la adaptación del sistema de dirección de dos prototipos de vehículo automatizado basados en Renault Twizy para permitir la implementación de controladores compartidos o de seguimiento de trayectoria.

El resto del artículo se ha estructurado de la siguiente manera. En la Sección 2 se presenta la arquitectura general de control para la implementación del control compartido, y el módulo en el que se enfoca este trabajo. La sección 3 presenta el prototipo y los elementos de actuación para la implementación de la dirección automatizada. La sección 4 presenta el diseño de los controladores propuestos para el seguimiento de referencias de par y velocidad, así como sus validaciones. La sección 5 presenta una validación en un entorno de simulación basado en Dynacar, que implementa una estrategia de control compartida. Por último, las ideas más relevantes son analizadas.

2 ARQUITECTURA DE CONDUCCIÓN AUTOMATIZADA y CONTROL COMPARTIDO

Con el fin de desarrollar aplicaciones de conducción automatizada, la arquitectura para conducción automatizada propuesta por [6] se con-

sidera actualmente como referente. Esta arquitectura sigue una filosofía modular basada en seis bloques o módulos, cada uno con una función bien definida dentro del flujo de trabajo de un vehículo automatizado. El módulo de **adquisición** se encarga de recibir y procesar la información de los sensores. En **percepción**, la información recibida del módulo de adquisición se utiliza para generar información sobre el vehículo y el entorno. El módulo de **comunicación** provee información sobre otros vehículos (V2V), infraestructura (V2I) u otra entidad (V2X). El módulo de **decisión** es el centro de la arquitectura, en el cual se procesa la información de percepción y comunicación para decidir el comportamiento dinámico que el vehículo debería seguir, tanto a nivel global, como local, así como planificar maniobras. El módulo de **control** se asegura de que la trayectoria recibida de decisión se ejecuta correctamente. Por último, la **actuación** sirve como interfaz con los pedales y el volante.

La anterior arquitectura está ideada para la conducción totalmente automatizada. Sin embargo, tal y como propone [15], la implementación del control compartido requiere de algunas modificaciones, traducidas en la adición de cuatro submódulos distribuidos entre los módulos de decisión, control y actuación.

El módulo de decisión recibe la adición de un submódulo de **arbitraje**, que armoniza las entradas del sistema automatizado y el conductor, así como un sistema **fallback**, que proporciona soporte en casos de emergencia. En el control se añade el **controlador compartido**, que usa el par o la fuerza, en lugar de la posición, como variable controlada. Por último, en el módulo de actuación se debe modificar el **control de bajo nivel**, añadiendo la instrumentación necesaria y adaptando el control.

Esta arquitectura ha sido implementada sobre el software AUDRIC (Figura 1) desarrollado por el grupo de Conducción Automatizada de *Tecnalia Research & Innovation* [13], que ha sido implementado en varios tipos de vehículo, y cuya segunda versión permite su implementación en sistemas de prototipado rápido como Matlab/Simulink o ROS [12].

3 SISTEMA DE DIRECCIÓN AUTOMATIZADO

3.1 PLATAFORMA DE VEHÍCULO AUTOMATIZADO

Tal y como se ha detallado en la introducción, el grupo de Conducción Automatizada de *Tecnalia*

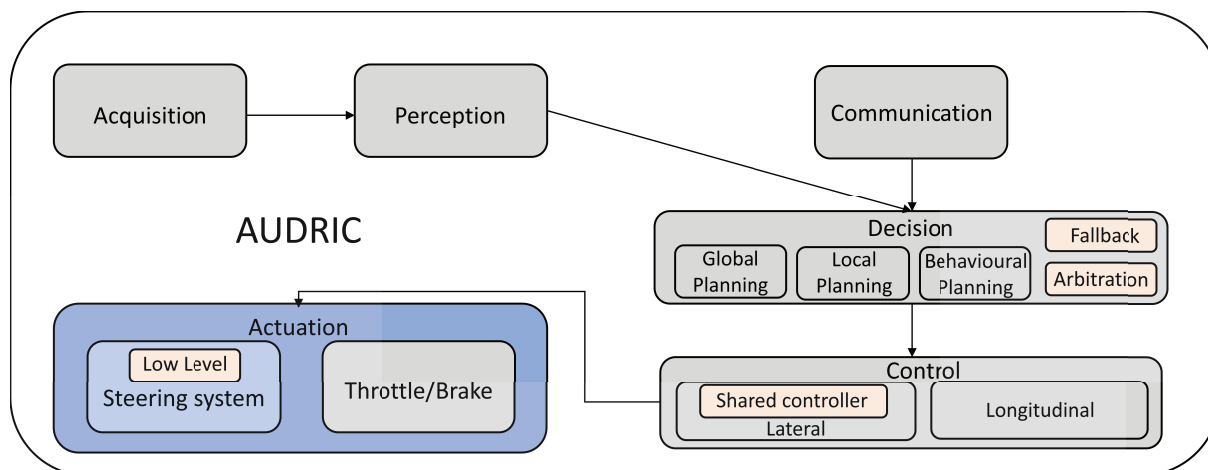


Figura 1: Arquitectura propuesta por [6] y adaptada en [15]

Research & Innovation cuenta con dos Renault Twizy (Figura 2), como plataforma de investigación.

Hasta ahora, las aplicaciones implementadas han sido de conducción totalmente automatizada. Sin embargo, la implementación de aplicaciones de control compartido en esta plataforma presenta un importante inconveniente. Debido al diseño mecánico del actuador, que cuenta con un motor reductor de relación 200/1 y que actúa la columna por medio de una correa [20], la actuación del volante genera comportamientos no lineales. Además, mover el volante requiere de un esfuerzo considerable cuando se conduce en modo manual o semi-automático.



Figura 2: Renault Twizy automatizado

Actualmente, existen dos tipologías a la hora de actuar sobre la dirección en un vehículo automatizado. Por un lado, la tipología desacoplada o Steer-By-Wire, desacopla la acción del conductor de la que se refleja en las ruedas, que no necesariamente tiene que coincidir. Esto genera ventajas como la disminución del esfuerzo físico para actuar sobre la dirección y del desgaste mecánico, pero puede producir rechazo por parte de la población [3, 18].

Por otro lado, en la tipología acoplada, la más utilizada en vehículos tradicionales, existe un vínculo mecánico entre el volante y las ruedas, por lo que el conductor siempre puede sobrescribir el efecto de la automatización si genera la suficiente oposición. Este es el caso del Renault Twizy y que, por tanto, se utiliza en este artículo [14].

Debido a las características del vehículo y de los controles de alto nivel empleados en las aplicaciones de conducción automatizada, la solución diseñada debe ceñirse a los requisitos de diseño recogidos en la Tabla 1.

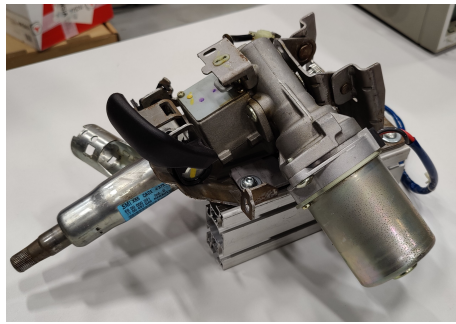
Tabla 1: Requisitos de diseño

Requisito	Control de posición	Control de par
Tiempo de muestreo	1 ms	1 ms
Error estacionario	$\leq 1.5^\circ$	$\leq 1 \text{ Nm}$
Tiempo Real	✓	✓
Par mínimo	X	10 Nm
Bajas vibraciones	X	✓

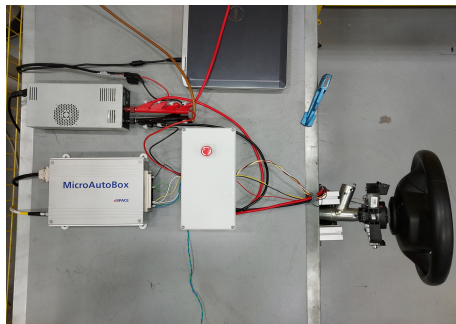
3.2 ESTRUCTURA HARDWARE

La estructura hardware para implementar el sistema dirección automatizada se resume en la Figura 3. Como se observa, se ha incorporado en el prototipo anterior un módulo de dirección asistida de un Renault Clio, formado por un Motor CC con escobillas y una reductora de relación 13,5/1 que lo une con la caña de la dirección. Para la implementación del controlador y su integración en la arquitectura de control, se emplea una dSPACE MicroAutoBox II como unidad de cómputo y un puente H Sabertooth 2x60 como controlador del motor.

El diseño de los controladores asociados a este conjunto, se engloba dentro del bloque de actuación



(a) Conjunto de la dirección asistida



(b) Hardware utilizado

Figura 3: Descripción del sistema

de la estructura modular de conducción automatizada de la Figura 1. Tal y como se muestra en la Figura 4, se desarrollan dos controladores en paralelo, diseñados para las distintas aplicaciones implementadas en el vehículo, para lo cual se hace uso de distintos sensores como un encoder, un sensor de corriente y otro de par integrado en la columna de la dirección.

4 DISEÑO DE LOS CONTROLADORES

En esta sección se detallará el diseño de los controladores de par y posición desarrollados para el sistema de dirección automatizada.

4.1 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL ACTUADOR

Con el objetivo de desarrollar el control de posición, se ha realizado una estimación del modelo dinámico del sistema en lazo abierto mediante la System Identification Toolbox de Matlab. El modelo escogido es el de caja gris, tomando como base la función de transferencia teórica de un sistema motor de CC,

$$\frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_M \cdot \frac{N_1}{N_2}}{LJs^3 + (LB + RJ)s^2 + (K_M^2 + RB)s} \quad (1)$$

Con el fin de obtener el conjunto de datos para

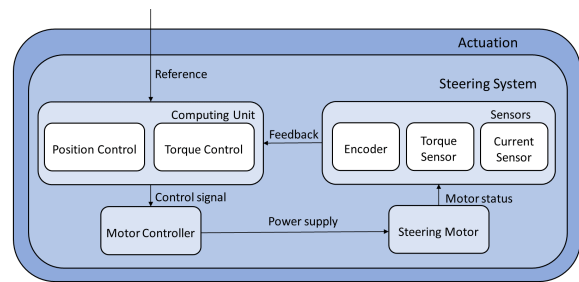


Figura 4: Esquema de la solución propuesta

realizar la estimación de parámetros, se han realizado varios experimentos consistentes en introducir distintas señales de entrada de tensión al motor en lazo abierto, y medir su salida. Posteriormente, se ha ejecutado un proceso de optimización de la función de transferencia sobre los experimentos.

Una vez realizada la optimización, el modelo ha sido evaluado frente a un experimento de validación, generado de la misma manera, pero con una señal de entrada sinusoidal. El método de optimización usado es el de Gauss-Newton, con el que se ha obtenido el siguiente modelo,

$$\frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{5.367 \cdot 10^5}{s^3 + 55.47s^2 + 823s} \quad (2)$$

que presenta una correlación del 99,26% con el experimento de estimación, y un 83,99% con el de validación.

El comportamiento del sistema real y del modelo se muestra en la Figura 5. La correlación del modelo es lo suficientemente buena como para poder ser utilizado en el desarrollo del modelo.

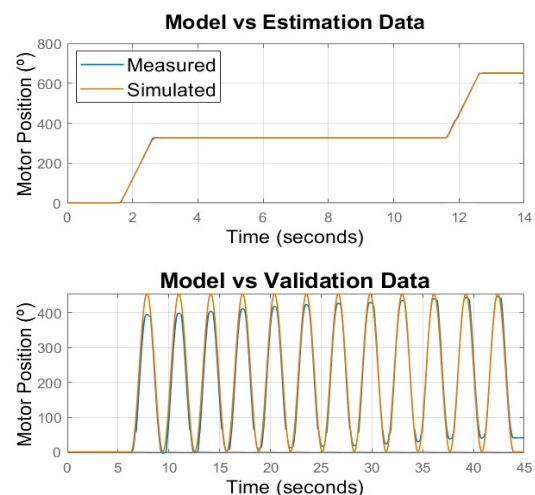


Figura 5: Resultados de la identificación

4.2 CONTROL DE POSICIÓN

El control de posición se desarrolla en base al modelo obtenido en la subsección anterior. Debido a las características de la aplicación, es suficiente con que el controlador no presente error en estado estacionario ante escalones. Como la función de transferencia identificada ya presenta un polo en el origen, no es necesario añadir acción integral. Por tanto, se opta por implementar un controlador proporcional. Sin embargo, para mejorar el rendimiento, el controlador proporcional implementado varía su ganancia entre 0,015 y 0,03 dependiendo del ratio de cambio de la referencia y del error instantáneo.

La Figura 6 muestra el rendimiento del controlador ante distintos niveles de fricción, simulados por medio de unas abrazaderas con fieltros ajustables instaladas en la columna de la dirección.

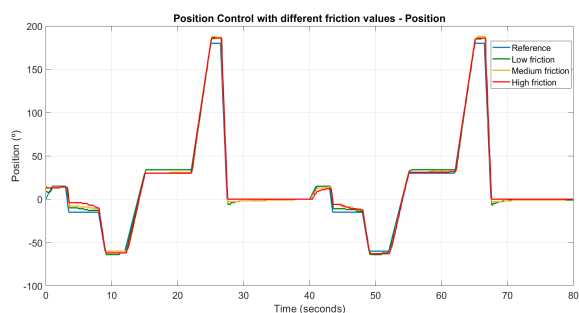


Figura 6: Control de posición de la columna real frente a distintos niveles de fricción

A pesar de que cuanto más alta es la fricción, los transitorios se vuelven más lentos, el error en estado estacionario se consigue eliminar en todos los casos. Esta característica resulta de vital importancia debido a las distintas superficies y condiciones sobre las que puede circular el vehículo.

4.3 CONTROL DE PAR

Como se ha indicado en la Tabla 1, en el control de par, además de cumplir requisitos de error en estado estacionario, se deben generar las mínimas vibraciones posibles. El motivo de este requisito es que, a diferencia del control por posición, las aplicaciones de control compartido requieren que el conductor mantenga las manos sobre el volante. Por tanto, vibraciones que podrían ser asumibles en el control por posición no lo son en el control por par. Esto supone que sea necesario encontrar un compromiso entre capacidad de seguimiento de trayectoria y vibraciones generadas.

La medición del par ejercido por el motor se realiza a través de la corriente que circula por los bornes del motor, que es directamente proporcional al par

por medio de la K_M del motor. Si se bloquea la columna de la dirección, la medición del sensor de par integrado en el volante coincide con la obtenida a través del sensor de corriente.

Tabla 2: Control de par con diferentes controladores

	P	I
Controlador 1	0.2	0.05
Controlador 2	0.5	0.05
Controlador 3	0.3	0.08

La Tabla 2 muestra las distintas parejas de parámetros del controlador PI, cuyos resultados se muestran en la Figura 7. La parte superior muestra el par obtenido a partir de la medición de corriente junto con la referencia, mientras que en la mitad inferior se muestra la lectura del sensor de par integrado en el volante, en el cual se reflejan las vibraciones transmitidas al conductor.

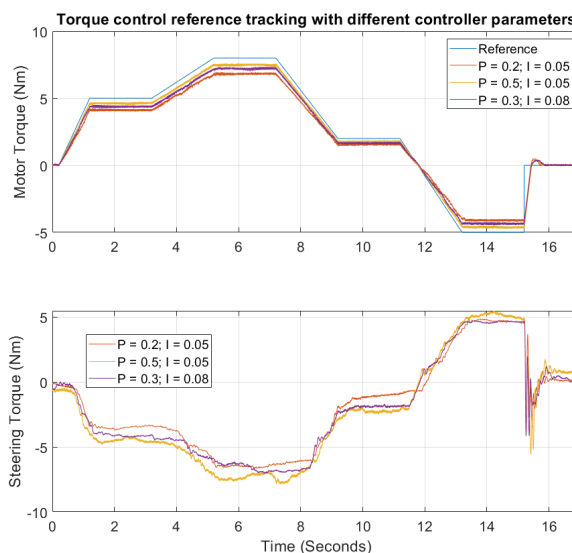


Figura 7: Control de par de la columna real con distintos controladores

Ampliar en exceso la constante proporcional, conlleva que se amplifica el ruido eléctrico inherente a la conmutación del puente-H y se introduce en el lazo de control. Por ello, el controlador que mejor balancea la capacidad de seguimiento de trayectoria y las vibraciones generadas es el número 3.

5 VALIDACIÓN

En esta sección se presenta la validación del control de par anteriormente diseñado para un caso de uso asociado al control compartido.

Para ello se utiliza una simulación basada en DY-

NACAR [19], un simulador de dinámica vehicular desarrollado en Tecnalia Research & Innovation [19], que permite la integración con AUDRIC2 [12] en su versión de MATLAB/Simulink y la incorporación de la estructura de control compartido [15].

Con el fin de realizar el experimento, se realiza el montaje de todo el sistema de dirección hasta la columna, incluyendo unas abrazaderas con fieltros que generan fricción, con el objetivo de simular una aplicación más cercana a la que se encuentra en un vehículo en movimiento. Si bien la dirección es real, la dinámica del vehículo y su interacción con la columna de dirección se simula a través de DYNACAR.

El experimento de validación realizado consta de una primera fase en la cual se valida el funcionamiento bajo condiciones normales, en las cuales se aplican pares de bajo valor al volante, simulando pequeñas distracciones que desvían el vehículo de la carretera. En cambio, en la fase final, se examina la respuesta del sistema ante emergencias, generando un giro de amplia magnitud en el volante.

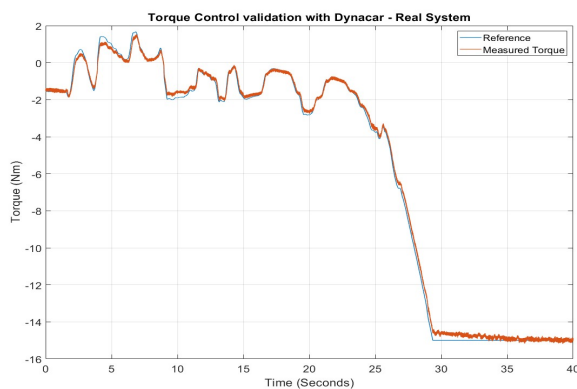


Figura 8: Validación de la columna real con Dynacar [19]

La Figura 8 muestra como el controlador consigue un seguimiento de la referencia de par generada por el control compartido adecuada durante todo el experimento, sin producir sobreimpulso. Si bien es cierto que el rendimiento se reduce en la situación de emergencia, en la cual se emplea más tiempo en alcanzar el estado estacionario, el error se mantiene en todo momento por debajo de 1 Nm.

Tan importante como el diseño de los controladores es la capacidad de la unidad de cómputo para ejecutar el algoritmo en los plazos establecidos. Por ello, se realizan mediciones del tiempo empleado por la MicroAutoBox para ejecutar ambos controles, incluyendo la lectura de sensores y la escritura del comando en el puente-H. Los re-

sultados son 0,0159 ms por parte del control de posición y 0,0167 ms por parte del control de par, ambos alrededor de 5 veces por debajo del requisito temporal de 1 ms, por lo que el sistema está garantizado en plazos.

6 CONCLUSIONES

La metodología desarrollada en este artículo posibilita el cambio del sistema de dirección de un Renault Twizy, lo cual a su vez permite el desarrollo y la validación de aplicaciones de control compartido para el control lateral en vehículos reales, uno de los futuros trabajos expuestos en [15]. Este tipo de vehículos ligeros pueden servir como plataforma de validación para los centros de investigación no vinculados directamente con fabricantes de automóviles, para el desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la conducción automatizada, aprovechando su diseño simplificado y accesible, así como su coste reducido.

Tanto el control de bajo nivel de posición como el de par se han desarrollado a partir de una dirección asistida electrónica comercial de un Renault Clio. De hecho, esta dualidad configurable facilita el despliegue en la misma plataforma de algoritmos basados en la posición y en el par en cuestión de segundos. De este modo, se añade flexibilidad a las posibilidades del vehículo.

Tanto el control de posición como el de par están pensados para servir de control de bajo nivel para algoritmos más complejos basados en controladores como los controladores predictivos basados en modelo (MPC), como el mencionado control compartido, o seguidores de trayectoria avanzados. Esto implica bajos tiempos de muestreo, capacidades en tiempo real y un alto rendimiento siguiendo la referencia. Sin embargo, en el caso concreto del control de par, también hay que tener en cuenta la comodidad del conductor al manejar el volante, lo que lleva a la necesidad de encontrar un punto intermedio.

Agradecimientos

Este trabajo cuenta con el apoyo del proyecto HADRIAN, el cual ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención No 875597, así como del proyecto ELKARTEK KK-2021/00123, financiado por el Gobierno Vasco.

English summary

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED STEERING SYSTEM FOR SHARED CONTROL

Abstract

Shared control techniques for Automated Driving require high-quality equipment to step up from hardware-in-the-loop simulations to real applications. Nevertheless, not every car used nowadays for Automated Driving research has a suitable steering system. In this paper, a fast, reliable, and efficient two-way low-level controller of a power steering is developed, focusing on its application in torque and position control. Hence, following this methodology, not only shared control techniques are enabled by the torque control, but also fully automated vehicles can benefit from the position control.

Keywords: Automated Driving, Steering System Control, DC Motor Torque Control, DC Motor Position Control.

Referencias

- [1] Regulation (eu) 2019/2144 of the european parliament and of the council of 27 november 2019.
- [2] David A. Abbink, Tom Carlson, Mark Mulder, Joost C.F. De Winter, Farzad Aminravan, Tricia L. Gibo, and Erwin R. Boer. A topology of shared control systems-finding common ground in diversity. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48:509–525, 10 2018.
- [3] Elizabeth A Bretz. By-wire cars turn the corner. *IEEE Spectrum*, 38(4):68–73, 2001.
- [4] F. Flemisch, D. A. Abbink, M. Itoh, M. P. Pacaux-Lemoine, and G. Weßel. Joining the blunt and the pointy end of the spear: towards a common framework of joint action, human-machine cooperation, cooperative guidance and control, shared, traded and supervisory control. *Cognition, Technology and Work*, 21:555–568, 11 2019.
- [5] Jan Gogoll and Julian F. Müller. Autonomous cars: In favor of a mandatory ethics setting. *Science and Engineering Ethics*, 23:681–700, 6 2017.
- [6] David González, Joshué Pérez, Vicente Milanés, and Fawzi Nashashibi. A review of motion planning techniques for automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17:1135–1145, 4 2016.
- [7] Dominique Gruyer, Valentin Magnier, Karima Hamdi, Laurène Claussmann, Olivier Orfila, and Andry Rakotonirainy. Perception, information processing and modeling: Critical stages for autonomous driving applications. *Annual Reviews in Control*, 44:323–341, 2017.
- [8] Chao Huang, Fazel Naghdy, and Haiping Du. Fault tolerant sliding mode predictive control for uncertain steer-by-wire system. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 49:261–272, 1 2019.
- [9] SAE INTERNATIONAL. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles, 2021.
- [10] M. Kyriakidis, J. C. F. de Winter, N. Stanton, T. Bellet, B. van Arem, K. Brookhuis, M. H. Martens, K. Bengler, J. Andersson, N. Merat, N. Reed, M. Flament, M. Hagenzieker, and R. Happee. A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3):223–249, 2019.
- [11] Timo Lajunen and Mark J.M. Sullman. Attitudes toward four levels of self-driving technology among elderly drivers. *Frontiers in Psychology*, 12, 6 2021.
- [12] Ray Lattarulo, Carlos Hidalgo, Asier Arizala, and Joshue Perez. Audric2: A modular and highly interconnected automated driving framework focus on decision making and vehicle control. In *2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, pages 763–769, 2021.
- [13] Ray Lattarulo, Joshué Pérez, and Martin Dendaluce. A complete framework for developing and testing automated driving controllers. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1):258–263, 2017.
- [14] Mauricio Marcano, Sergio Díaz, Joshue Perez, and Eloy Irigoyen. A review of shared control for automated vehicles: Theory and applications. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50:475–491, 12 2020.
- [15] Mauricio A Marcano. Shared control strategies for automated vehicles, 2022.

- [16] Franck Mars, Mathieu Deroo, and Jean Michel Hoc. Analysis of human-machine cooperation when driving with different degrees of haptic shared control. *IEEE Transactions on Haptics*, 7:324–333, 7 2014.
- [17] Peter Moertl. Human-systems integration for driving automation systems: Holistic approach for driver role integration and automation allocation for european mobility needs. In Heidi Krömker, editor, *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design*, pages 78–88, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [18] Seyed Abolfazl Mortazavizadeh, Ahmad Ghaderi, Mohammad Ebrahimi, and Masood Hajian. Recent developments in the vehicle steer-by-wire system. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6(3):1226–1235, 2020.
- [19] Alberto Peña, Iñaki Iglesias, Juan Valera, and A Martin. Development and validation of dynacar rt software, a new integrated solution for design of electric and hybrid vehicles. volume 3, 05 2012.
- [20] Joseba Sarabia, José A. Matute-Peaspan, and Asier Zubizarreta. Caracterización de los sistemas de actuación para vehículos altamente automatizados. pages 596–603. Universidade da Coruna, 8 2019.



© 2022 by the authors.
Submitted for possible
open access publication
under the terms and conditions of the Creative
Commons Attribution CC-BY-NC 4.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).