

Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor

Automatización de un vehículo de carretera como plataforma para el estudio de Sistemas Avanzados de Asistencia

El control inteligente de vehículos autónomos es uno de los retos actuales más importantes de los Sistemas Inteligentes de Transporte. La aplicación de técnicas de inteligencia artificial para la gestión automática de los actuadores del vehículo permite a los diferentes sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y a los sistemas de conducción autónoma, realizar una gestión de nivel bajo de una manera muy similar a la de los conductores humanos, mejorando la seguridad y el confort. En este artículo se presenta un esquema de control para gestionar estos actuadores de bajo nivel del vehículo (dirección, acelerador y freno). Este sistema automático de control de bajo nivel se ha definido, implementado y probado en un vehículo Citroën C3 Pluriel, cuyos actuadores han sido automatizados y pueden recibir señales de control desde un ordenador de a bordo.

Por: Felipe Jiménez, Óscar Gómez, José Eugenio Naranjo, Francisco Serradilla, José María López, Ángel Martín

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil INSIA - UPM

La tarea de conducir resulta, durante la mayor parte del tiempo, una tarea fácil para los conductores con una cierta experiencia y práctica. Sin embargo, durante la conducción se presentan situaciones en las que la actuación del conductor puede no ser la óptima, por disponer de una información parcial, procesar la información recibida erróneamente o tomar decisiones equivocadas. Con el fin de paliar esas carencias, se ha venido promoviendo el desarrollo e incorporación en los vehículos de sistemas de asistencia orientados a proporcionar información adicional que el conductor no obtiene de forma sencilla (o no lo hace en ciertos entornos adversos), alertar de situaciones potencialmente peligrosas (dando un aviso visual o acústico, por ejemplo) o, incluso, actuar ante dichas situaciones. Dentro de este último grupo, se requiere que los sistemas de asistencia actúen sobre ciertos componentes del vehículo. En este sentido, según se avanza en estos campos, los nuevos sistemas requieren un mayor grado de automatización, siendo el último escalón la automatización completa del vehículo al margen de las actuaciones del conductor.

En este artículo se presenta una aproximación a dicha automatización del vehículo que incluye el control de la velocidad, a través de acciones sobre el acelerador y el freno, y de la dirección. Aprovechando esta arquitectura,

se pueden incorporar sistemas de asistencia a la conducción que mejoren la seguridad, como la frenada o la esquivada automática ante obstáculos. Estos sistemas de asistencia pueden reaccionar en menos tiempo que un conductor aunque requieren de sistemas complejos de percepción del entorno con el fin de evaluar la alternativa de actuación más conveniente en cada caso. Este desarrollo se ha llevado a cabo como parte de un proyecto que ha involucrado a la empresa Siemens, S.A. así como a grupos de investigación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, del Programa SEGVAUTO, financiado por la Comunidad de Madrid, además del propio Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid.



A continuación se pasa a presentar el control de bajo nivel que actúa sobre los mandos del vehículo. La automatización incluye el control de la velocidad, a través de acciones sobre el acelerador y el freno, y de la dirección. Cabe indicarse que se ha perseguido que la respuesta del sistema se aproxime, en la medida de lo posible, a la respuesta esperable de un conductor por medio de controladores borrosos de los actuadores. Por otra parte, habría que considerar la comunicación de la unidad de control con otros sistemas que le proporcionen las órdenes de consigna provenientes, por ejemplo, de un mando que controle un operador externo, otro ordenador, un *iPhone*, consignas *GPS* y de velocidad o seguimiento de trayectorias marcadas en la carretera.

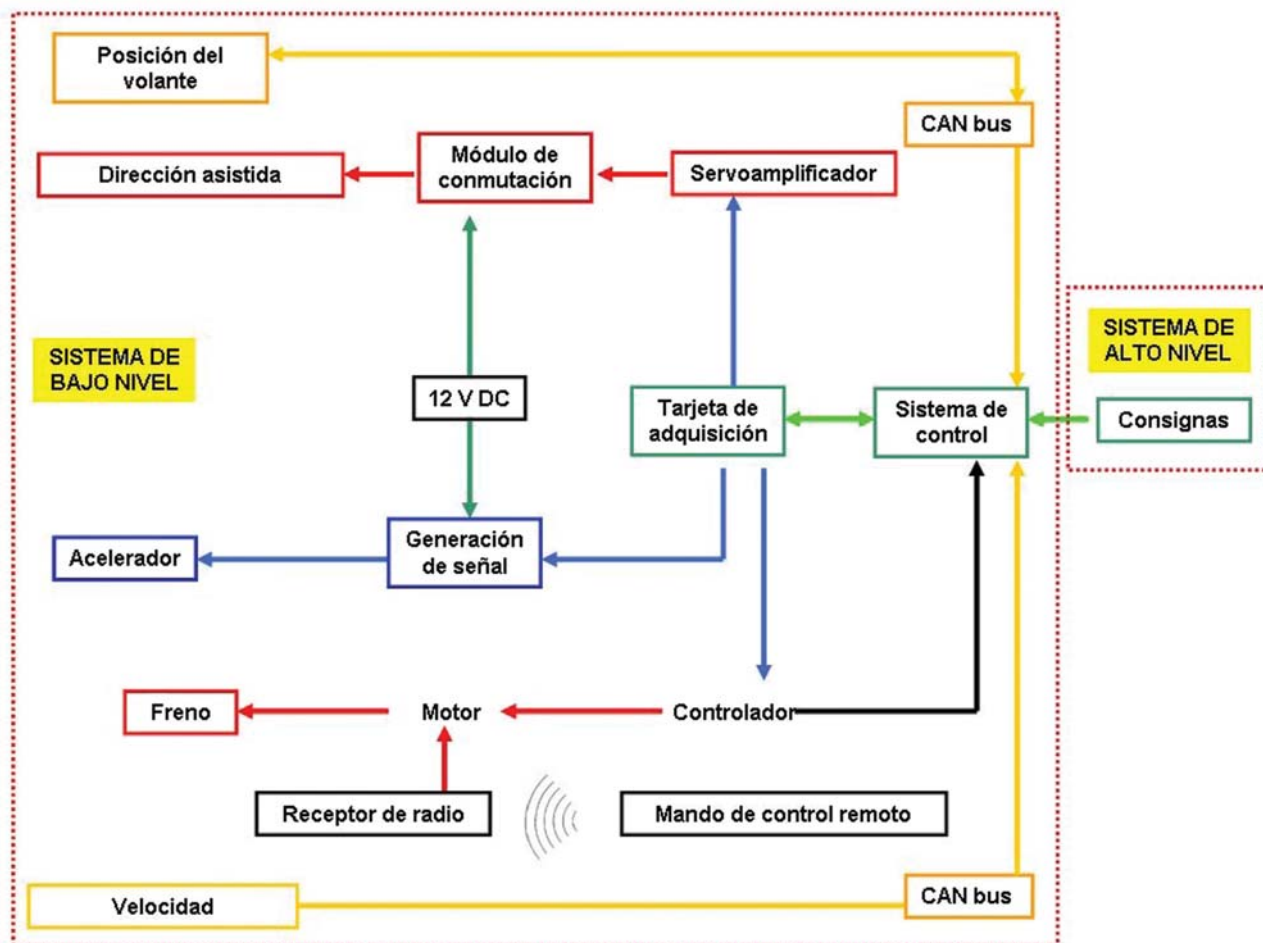
ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL

El diseño de la automatización ha implicado el uso de equipos comerciales de control y el diseño de elementos electrónicos y mecánicos. Por otra parte, y como se ha citado anteriormente, se ha previsto la comunicación del ordenador de control con otros sistemas a un nivel superior

que le proporcionen las órdenes de consigna de entrada a los controladores borrosos. El sistema permite tanto el control desde el propio ordenador como desde otros sistemas de más alto nivel que proporcionen las consignas. Además, permite tener control manual o automático de la velocidad y la dirección de forma independiente.

La figura 1 muestra el esquema general de la arquitectura del sistema de control del vehículo. En él se observa que el sistema de control recibe las señales de consigna de un sistema externo de más alto nivel y también recoge las medidas de posición del volante y velocidad del vehículo para cerrar los bucles de control. Por otra parte, actúa sobre pedales y volante mediante señales que son distribuidas desde una tarjeta de adquisición a los diferentes componentes del sistema. Por último, se establece un sistema de seguridad de frenada de emergencia mediante un control remoto. Con el diseño desarrollado, se logra el control de los mandos del vehículo a una frecuencia aproximada de 100 Hz, lo que permite una respuesta rápida casi en cualquier circunstancia de conducción. ▶

Figura 1: Esquema general de la arquitectura para el control automático del vehículo.



Así, el sistema de control automático del vehículo consta de los siguientes subsistemas que son descritos con mayor detalle a continuación:

- Control de la velocidad.
 - Control del acelerador.
 - Control del freno.
- Control de la dirección.
- Control remoto (parada de emergencia).

CONTROL DE LA VELOCIDAD

• Control del acelerador

El Citroën C3 Pluriel equipa un acelerador accionado electrónicamente, con lo que la mariposa de la admisión del motor de combustión está controlada por un motor eléctrico paso a paso. Dicho motor está gestionado por la centralita del vehículo, a la que le llega un voltaje variable que depende de la posición del pedal del acelerador. La solución empleada consiste en puentear esa señal eléctrica dada desde el pedal por otra generada desde la tarjeta de adquisición *Advantech USB-4711A*. Para conmutar entre la aceleración normal y el acelerador del sistema se realiza a través de un relé de conmutación (figura 2).

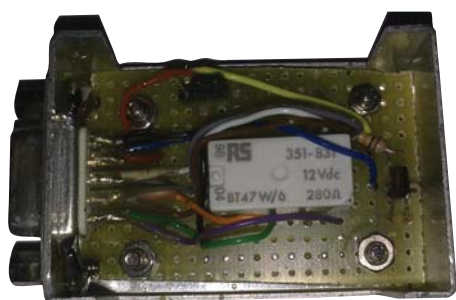


Figura 2: Relé de conmutación de acelerador.

Dado que el sistema que lleva implementado el Citroën C3 Pluriel para el control del acelerador es un sistema redundante para reforzar la seguridad ante una posible desconexión, es necesario utilizar como consigna de aceleración del coche dos señales eléctricas, una relacionada con la otra, y ambas generadas por la posición del pedal. Para lograr el mismo efecto, se ha incluido un módulo electrónico diseñado para este fin que permite la conmutación entre conducción manual y automática y genera las dos señales requeridas por el vehículo a partir de la consigna dada por la tarjeta de adquisición *Advantech USB-4711A*.

El control en bucle cerrado de la velocidad se completa con la medida de la velocidad proveniente del bus CAN del vehículo.

• Control del freno

El freno del vehículo automatizado no cuenta con ayudas eléctricas. El sistema permite frenar el vehículo en cualquier instante, ya sea a través de una frenada de emergencia como de una frenada programada a través del ordenador. La solución que se ha implementado consiste en el accionamiento directo sobre el pedal de freno a través de un actuador externo. El módulo de frenado consiste en un conjunto de motor paso a paso de tensión continua *Maxon RE35* y un encoder de posición *ENC HEDL 5540* (figura 3), controlado a través de la tarjeta de control de *Maxon* –controlador de posición *EPOS 24/5-* (figura 4) que recibe las órdenes de consigna del ordenador. El motor está conectado de tal forma que permite accionar el pedal de freno de acuerdo a cómo actuaría sobre él un conductor. La tarjeta de control se conecta a través de un protocolo de comunicación serie al ordenador.



Figura 3: Motor RE35 + encoder HEDL 5540.



Figura 4: Controlador motor EPOS 24/5.

Para poder ejercer sobre el pedal de freno la fuerza necesaria para una frenada se ha diseñado un utilaje basado en un soporte que impide el giro del conjunto motor y encoder, y una polea que guía un cable de acero, tal y como se muestra en la figura 5.

Figura 5: Montaje para la actuación sobre el pedal de freno.



CONTROL DE LA DIRECCIÓN

El vehículo Citroën C3 Pluriel equipa una dirección asistida eléctricamente. Esta asistencia consiste en un motor de corriente continua que proporciona una fuerza proporcional a la ejecutada por el conductor. Este accionamiento en el vehículo ha sido empleado para la automatización de la dirección del vehículo.

Así, se conecta la entrada al motor de la asistencia a una tarjeta de control de potencia. Esta señal de entrada al servoamplificador es generada desde la tarjeta de adquisición conectada al ordenador de control. La conmutación entre el control manual y automático se logra puenteando la centralita de la dirección asistida y sustituyendo la señal de ésta por la propia, que proviene de la tarjeta de potencia por medio de una caja de relés de potencia. El bucle de realimentación para el control se realiza a través de la señal proporcionada por el sensor de giro de volante incluido en la columna de la dirección. El sensor se monta en los vehículos dotados de *ESP*, aunque podría ser incluido externamente si el vehículo no dispone de él. La frecuencia de muestreo empleada es de 100 Hz. Resumiendo, el control de la dirección incluye los siguientes subsistemas:

- Servoamplificador (figura 6): este módulo se encarga de controlar el motor de la dirección asistida del vehículo. El motor tiene una respuesta proporcional a la señal entregada desde la tarjeta de adquisición controlada desde el ordenador, haciendo girar la columna de la dirección del vehículo un ángulo determinado. El equipo que se utiliza para controlar el motor es un servoamplificador de la marca *Maxon* (*ADS 50/10 Servoamplificador 4-Q-DC*).
- Sensor de posición del volante (figura 7): este sensor se utiliza para comprobar el ángulo que gira la columna de la dirección y así implementar la realimentación negativa para un control estable del sistema. El sensor está formado por un encoder de posición con comunicación por bus *CAN* y un conversor de bus *CAN* a *USB*, para poder leer la posición de la columna de la dirección desde el ordenador de control.
- Módulo de conmutación (figura 8): este módulo está basado en cuatro relés que permiten que el motor de la dirección asistida del vehículo sea controlado por el propio vehículo o por el servoamplificador y, por lo tanto, por el sistema embarcado de control. Cada relé empleado permite una corriente de paso máxima de hasta 60 amperios, suficiente para el correcto funcionamiento de la dirección asistida.



Figura 6:
Servoamplificador Maxon ADS 50/10.



Figura 7:
Encoder de posición de volante.



Figura 8:
Módulo de conmutación de relés.

CONTROL REMOTO (PARADA DE EMERGENCIA)

Por otra parte, la automatización del vehículo se ha realizado de tal forma que es posible la detención del vehículo externamente en cualquier momento. En concreto, el pedal del freno puede ser accionado en cualquier circunstancia por parte del conductor, con independencia de la señal del sistema de control, al igual que la dirección del vehículo. Adicionalmente, se ha incluido un mando a distancia que permite una frenada de emergencia, una frenada suave y progresiva independiente de las demás órdenes dadas por el sistema de control y la conmutación entre los estados de accionamiento manual y automático. El sistema cuenta con un dispositivo de emergencia que se compone de un mando emisor, un receptor (*RF Solutions*) –mostrados en la figura 9– y una placa de control (figura 10). El accionamiento de los cuatro botones de que dispone el mando a distancia permite la conmutación de 4 relés que integra el receptor. Del receptor de radiofrecuencia se obtienen un conjunto de señales que se utilizan como señales de entradas a un microprocesador de 8 bits que gestiona las órdenes. El módulo de control remoto permite las siguientes operaciones:

- **Parada de emergencia:** frena el vehículo de una forma brusca nada más pulsar el botón cuadrado (después de un tiempo, una vez detenido el vehículo, libera el pedal del freno).

- **Frenada suave / progresiva:** frena el vehículo mientras esté pulsado el botón triangular.
- **Modo normal:** al pulsar el botón circular se desactiva el sistema y permite el control del vehículo de modo normal.
- **Restablecer el control desde el ordenador.**



Figura 9: Receptor y emisor de radiofrecuencia.

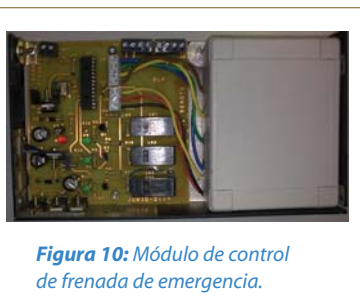


Figura 10: Módulo de control de frenada de emergencia.

SISTEMA DE CONTROL DE BAJO NIVEL

Para el desarrollo de la arquitectura de control del vehículo autónomo, se ha optado por seleccionar un esquema totalmente abierto y adaptable, que permita la interoperabilidad con todo tipo de aplicaciones de seguridad y de asistencia a la conducción de alto nivel, pero que al mismo tiempo evite la modificación de los componentes ya instalados en el vehículo. Por ello, se ha seleccionado una arquitectura en cascada, donde un sistema de control de bajo nivel controla todos los actuadores y sensores del vehículo, y además permite la conexión de cualquier tipo de aplicación vehicular de alto nivel a través de una conexión de red de área local, mediante un protocolo de comunicaciones desarrollado a tal efecto. De esta manera, el manejo automático de los actuadores del coche está siempre garantizado, independientemente de la aplicación con la que se trabaje y, por otro lado, las aplicaciones de alto nivel no necesitan conocer los detalles de la instrumentación del vehículo, ya que el sistema de control de bajo nivel actúa como una capa de abstracción que garantiza el correcto seguimiento de los comandos que se envían desde el sistema de alto nivel. De hecho, ambos sistemas de control se encuentran en máquinas separadas, con el único condicionante de disponer de una conexión adecuada.

El objetivo del sistema de control de bajo nivel es manejar los actuadores que permiten el control del vehículo,

EL MANEJO AUTOMÁTICO DE LOS ACTUADORES
DEL COCHE ESTÁ SIEMPRE GARANTIZADO,
INDEPENDIENTEMENTE DE LA APLICACIÓN
CON LA QUE SE TRABAJE

actuadores que han sido descritos con anterioridad. Este sistema de control será capaz de recibir consignas de volante y velocidad del control de alto nivel, y mover el volante, el acelerador y el freno del coche para cumplir con esas consignas. Hay que tener en cuenta que las características de estos actuadores hacen que su comportamiento no sea lineal, por lo que será necesario diseñar un sistema de control que sea capaz de lidiar con esta característica. Para ello se ha tomado la decisión de utilizar un sistema de control inteligente, más concretamente basado en lógica borrosa, que tiene como gran ventaja un buen comportamiento manejando aplicaciones no lineales y que, además, es capaz de representar el conocimiento procedimental humano, muy útil, por ejemplo, cuando se trata de tareas que los humanos hacemos con suma facilidad y corrección como es la conducción de un vehículo.

Por tanto, se han diseñado dos controladores borrosos: uno que permita el control de la dirección y otro el control de la velocidad.

• Control borroso de la dirección:

Este controlador va a tener como entradas, por un lado, el error entre la posición actual del volante y el comando de volante recibido desde el controlador de alto nivel. Por otro lado, va a tener como segunda entrada el ángulo actual del volante. La salida del controlador indicará la potencia que debe ser generada por el servoamplificador para hacer 0 el error de posición, que constituye la variable borrosa de salida.

• Control borroso de la velocidad:

Este controlador va a tener la capacidad de controlar dos actuadores simultáneamente, el acelerador y el freno, cuya actuación, además, es incompatible entre sí. Por tanto, este controlador va a tener dos entradas, la diferencia entre la velocidad actual del coche y la velocidad deseada, y la aceleración. La salida de controlador indicará la presión con la que deben ser accionados los pedales de acelerador y freno para hacer 0 el error de velocidad.

Este sistema tendrá una ventaja adicional y es que cualquier controlador de alto nivel que se conecte a él, percibirá el coche como un sistema totalmente lineal al que, simplemente, se le envían comandos de velocidad y giro de volante y él los cumple, lo cual facilita enormemente el diseño de este tipo de aplicaciones ADAS.

INTERACCIÓN CON LOS MÓDULOS DE MÁS ALTO NIVEL

Para hacer el sistema compatible con un control de más alto nivel, se permite la conexión con otros dispositivos

mediante *Ethernet, Wifi...* De esta forma, las señales de realimentación recibidas por la unidad de control (velocidad y giro de volante) pueden ser enviadas al sistema de nivel superior que, a su vez, envía las consignas que deben ser alcanzadas, aplicándose los controles borrosos para proporcionar las salidas a los diferentes actuadores.

Como ejemplo se ha desarrollado una aplicación para *iPhone* que permite controlar remotamente el vehículo. La aplicación utiliza los acelerómetros del dispositivo para calcular la velocidad y giro del volante que el usuario desea enviar al controlador del vehículo. El interfaz consiste en un volante superpuesto al salpicadero (figura 11). Mientras el volante permanece fijo, y por tanto rota al rotar el teléfono, el salpicadero rota en sentido contrario, manteniéndose siempre horizontal, dando así la impresión de que el que gira es el volante. Por otra parte, si el teléfono se inclina hacia adelante se envía una consigna de mayor velocidad y viceversa. La aplicación se puede configurar en dos modos de funcionamiento: modo "ruta" y modo "maniobra", que discriminan la sensibilidad de la respuesta ante acciones sobre el dispositivo. Para la comunicación con el sistema de control del automóvil se utiliza una red *wifi ad-hoc*, a través de la cual el teléfono envía las consignas de velocidad y giro. Por otro lado, la



Figura 11: Interfaz en el iPhone.

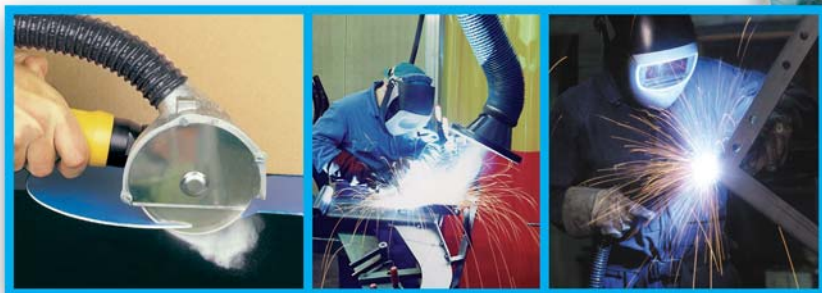
aplicación obtiene y presenta en pantalla las imágenes captadas por la *webcam* embarcada en el automóvil.

En la actualidad se está trabajando en la línea de desarrollar un sistema de evitación de colisiones que actúe sobre los mandos del vehículo cuando detecte un obstáculo en su trayectoria. Las actuaciones usuales son el frenado y la esquivada. Para ello, se debe implementar en el vehículo un sistema de supervisión del entorno que proporcione una visión lo más completa y precisa posible de las zonas cercanas al vehículo con el fin de detectar dichos obstáculos, así como las zonas libres a las que se podría mover para evitar la colisión. ❖

Soluciones Nederman

Soporte Técnico a Ingenierías para la elaboración de Proyectos de Extracción Localizada

Sistemas de extracción localizada, aspiración y filtración industrial para la eliminación de humos y aire contaminado, polvos y virutas.



Aplicables a todo tipo de industria:

Metalúrgica, automoción, farmacéutica, alimentación, etc.

En Nederman tenemos a su disposición una práctica Guía para el Diseño de sus Proyectos.

Llámenos y recibirá, gratuitamente, su Guía de Diseño.

Nederman

IMPROVING YOUR WORKSPACE

Avda. Camino de lo Cortao, 34 - Nave 5. 28709 San Sebastián de los Reyes (MADRID). Tel.: 91 659 24 30. Fax: 91 651 33 94

nederman@nederman.es www.nederman.es