

Controlador borroso para la inyección electrónica de motores de dos tiempos

GUTIERREZ, J.A.*; RODRIGO, J.A.**; HILERA, J.R.*; MARTINEZ, J.J.*; GUTIERREZ, J.M.*; OTON, S.*; FERNANDEZ DE SEVILLA, M.* Y MACIAS, J.*.

*Departamento de Ciencias de la Computación (Universidad de Alcalá) [{jantonio.gutierrez, jose.hilera}@uah.es]

**Departamento de Automática (Universidad de Alcalá) [jrodrigo@aut.uah.es]

España

Resumen

La futura entrada en vigor de las directrices Euro-2 y Euro-3 sobre la contaminación ambiental de los ciclomotores obliga a los centros de investigación a desarrollar sistemas para atajar esta fuente de contaminación siguiendo recomendaciones de la Unión Europea [1]. Para intentar reducir la contaminación de los ciclomotores, investigadores españoles están poniendo a punto una unidad controladora de encendido basada en métodos de agregación en lógica fuzzy borrosa que se describen en el presente artículo.

1. Introducción

La nueva ley obligará, cuando entre en funcionamiento, el 1 de enero de 2006, a que los ciclomotores de entonces, fabricados en la Unión Europea, produzcan, a lo sumo, los mismos contaminantes que un “turismo nuevo fabricado en el año 2000”; y, que un año después, en el 2007, no se podrá comercializar en los países miembros de la UE, ningún vehículo, con independencia de su lugar de fabricación, que incumpla el punto anterior. Esta ley, conocida como la Euro-3, tiene unas fases previas y se establece que, a partir de junio de 2002, todos los ciclomotores que se fabriquen hasta primeros del 2006 no podrán emitir más de 5,5 gramos por kilómetro de monóxido de carbono [2].

2. Situación del mercado actual de ciclomotores

En la actualidad, un ciclomotor (vehículo con motor de capacidad inferior a los 50 centímetros cúbicos), puede llegar a producir hasta un ochenta por ciento de contaminantes superiores a los vehículos automóviles lo que, recientemente, ha obligado al Parlamento Europeo a emitir una nueva legislación que conduzca a que se produzcan vehículos más respetuosos con el medio ambiente.

Los ciclomotores más económicos en coste de adquisición utilizan motores de dos tiempos, que por su bajo coste de fabricación, hacen muy populares a estos tipos de vehículos. Sin embargo este tipo de motores, por la sencillez de su diseño, y porque sus propulsores realizan una combustión “muy” incompleta, resultan ser los más

contaminantes. Los fabricantes de motocicletas saben que tienen que seguir únicamente dos caminos: O migrar la producción hacia motores ligeros de cuatro tiempos, lo que supondrían un encarecimiento de los vehículos, o bien lograr transformar sus motores de dos tiempos para que puedan asegurar una correcta combustión y así mejorar la “limpieza” de esos motores.

2 Modificación propuesta de los sistemas de encendido electrónico basados en control borroso

La solución en la que actualmente estamos trabajando consiste en sustituir toda la parte de carburación de los motores clásicos de dos tiempos para ciclomotores, por encendidos electrónicos regulados por control fuzzy borroso, con el requerimiento de que la bomba de inyección, que es la que impulsa el combustible hacia el cuerpo del motor y generan la presión suficiente para que se produzca la inyección a través de unas válvulas que conducirán, a la presión adecuada, el combustible hasta los tubos de admisión, deba de ser controlada mediante nuestra unidad electrónica, incidiendo en las citadas válvulas de admisión.

Por otra parte el sistema de aspiración hace llegar al motor el caudal de aire necesario, cuyo oxígeno hará las partes de comburente, a través de un filtro de aire, una mariposa conectada con el puño del acelerador y los distintos tubos de admisión.

El control se regula con una serie de sensores que toman medidas del motor en cada uno de los estados de servicio. En el momento de desarrollo actual se consideran los siguientes sensores: el de la presión de aire aspirado por el motor¹, el que registra la situación de la mariposa de forma que el sistema electrónico responda a las necesidades demandas por el piloto y el sensor que facilita información sobre el grado de revoluciones del motor. Igualmente se toma información relativa a las temperaturas del aire y del motor. Finalmente, el propio motor facilita la posición de avance del pistón como dato de entrada para la central de encendido.

Nuestra unidad de control electrónica analiza todas estas señales y “decide” mandar los impulsos necesarios para abrir y cerrar las válvulas de inyección incluidas en el sistema de alimentación. El sistema de alimentación estará

¹ También denominado sonda volumétrica del aire

formado por la propia bomba de inyección que mantiene constante la presión de combustible, el filtro de combustible, el tubo distribuidor, el regulador de presión, las válvulas de inyección y las válvulas de arranque en frío.

El control se regula con una serie de sensores que toman medidas del motor en cada uno de los estados de servicio, y que, en el momento de desarrollo actual, se consideran los siguientes: el de la presión de aire aspirado por el motor o sonda volumétrica del aire, el que registra la situación de la mariposa de forma que el sistema electrónico responda a las necesidades demandas por el piloto y el sensor que facilita información sobre el grado de revoluciones del motor. Igualmente se toma información relativa a las temperaturas del aire y del motor. Finalmente, el propio motor facilita la posición de avance del pistón como dato de entrada para la central de encendido.

Nuestra unidad de control electrónica analiza todas estas señales y “decide” mandar los impulsos necesarios para abrir y cerrar las válvulas de inyección incluidas en el sistema de alimentación. El sistema de alimentación estará formado por la propia bomba de inyección que mantiene constante la presión de combustible, el filtro de combustible, el tubo distribuidor, el regulador de presión, las válvulas de inyección y las válvulas de arranque en frío.

4. Diseño de la central de control

En el momento actual estamos realizando las funciones de respuesta del futuro controlador borroso con ayuda de un ordenador personal que nos servirá para registrar todas las acciones de las que tengamos información en el momento en que el ciclomotor pase a funcionar en su régimen general.

El modelo fuzzy definirá una relación entre los distintos sensores y obtendrá una reacción a base de estudiar los distintos parámetros de entrada que se reflejaran en una colección de “mapas de superficie” entendidos como un conjunto de tuplas clasificadas en forma de tabla en las que se recogerán, inicialmente, datos propuestos por el experto y que, posteriormente se irán ajustando mediante la utilización de técnicas de lógica borrosa que permitan suavizar las distintas curvas de nivel manifestadas en la descripción inicial una vez se logre el “arranque” del ciclomotor.

Es de señalar que el elevado número de revoluciones por minutos que debe de soportar el motor no nos permitirá introducir funciones muy complejas para determinar las señales de salida por lo que se deberá realizar una simulación de muchos parámetros para tratar de ajustar los niveles de contaminación en cada momento. Es decir, inicialmente el controlador tendrá que disponer de unos mapas de superficie bien ajustados como para que se produzca el arranque de la moto, después debe de saber modificar esos mapas para ajustarlos a sus regímenes de temperatura, tanto de aire como del propio motor, además deberá satisfacer las necesidades del piloto manifestadas a través de la mariposa y deberá registrar la emisión de dióxido de carbono y de hidrocarburos para poder

recalibrar todo el sistema hasta siete mil veces en un minuto.

Esta frecuencia de los impulsos se deberá calcular a partir del régimen de revoluciones el motor que junto al caudal de aire aspirado determinarán el tiempo básico de la inyección. Este tiempo de inyección se pondrá en consonancia con la situación del pistón para producir la inyección intermitente según un grupo de señales rectangulares de apertura/cierre de las válvulas inyectoras.

El control se realiza a través de programación en C++ descrito en la ponencia complementaria admitida como póster en este mismo congreso [4].

La unidad de control de inyección electrónica de motocicletas² existentes en el mercado se basan en la utilización de datos obtenidos de los bancos de trabajo en los que se han ensayado distintos parámetros para configurar los mapas de superficie registrados en el motor de inferencia del controlador y que se han obtenido en base al rodaje de distintos prototipos del mercado. Esto contrasta con nuestra situación de partida, donde lo interesante, en la etapa actual, es proceder al arranque de la moto sabiendo que a los pocos minutos, al no corregirse los parámetros de temperatura del motor, acabará parándose.

La Aplicación actual se basa en un desarrollo en C++ que en su momento podrá ser reutilizado en la creación del chip de control, y que toma datos del experto en forma de tabla de dos dimensiones modificadas por unos factores de peso según otras dimensiones.

Los valores miembros de la relación deben ser considerados en el momento en que los sensores las soliciten, de esta forma, una primer aproximación podría ser la utilización de algún cierto porcentaje que corrija la colección estándar de datos de la tabla base. El beneficio principal de esta aproximación es la simplicidad, una sola clase en programa C++ solucionaría el problema de la corrección de la tabla debido al incremento de temperatura del motor. En general se utilizará este sistema, en las fases iniciales de control, para efectuar la primera aproximación del problema a la hora de diseño.

Esta clase será la responsable de preservar las relaciones entre las tablas de relaciones básicas y las modificaciones debidas a posibles desplazamientos frente al resto de los sensores. Sin embargo existen otra serie de aproximaciones en nuestro dominio del problema que tendremos que considerar en el momento del diseño.

En general definimos una colección de esqueletos, que almacenaremos en nuestra CPU, para poder tener una referencia de todo tipo de asociaciones de control. En nuestro caso nos referimos a nuestra colección de esqueletos de interfaces que definen el comportamiento de todas las asociaciones fuzzy [5]. En concreto las tablas implementadas que dan soporte a la interfase que facilita las distintas formas de asociación. Serán restringidas a la opinión del experto que podrá elegir en el banco de trabajo

² Considérese que se trata de motores de cuatro tiempos muy distintos al objeto de investigación del actual grupo.

cual de las distintas clases utilizar en función de sus resultados esperados

En el diseño que estamos realizando, los enlaces han sido indexados con el valor de un cierto peso de tal forma que para acomodar la opinión del valor borroso al campo real se han almacenado una serie de valores con una precisión razonable, que representan el comportamiento de la relación. Considérese que con dos valores decimales se tiene una representación del modelo suficientemente ajustada (esto es un atributo con un valor de $\mu_R = 0.50$ es difícilmente distinguible de otro con valor $\mu_R = 0.51$) en la mayoría de las aplicaciones.

Usando diccionario con valores de precisión fija facilitamos el cálculo de la función de respuesta fundamentalmente en los alfa-cortes y, en definitiva, en los procesos de decisión.

Este camino, lo representamos indicando que la resolución se efectúa con pasos sencillo representados en:

$$R = \bigcup_{\alpha} \alpha R_{\alpha} \quad \alpha \in \Lambda_R$$

donde Λ_R es el conjunto de niveles de R y alfa un valor concreto marcado por un sensor. Tenga en cuenta que estas asociaciones requieren de un orden específico lo que conduce a una especialización de las clases de nuestra librería para dar soporte a distintas clases de comportamiento [6].

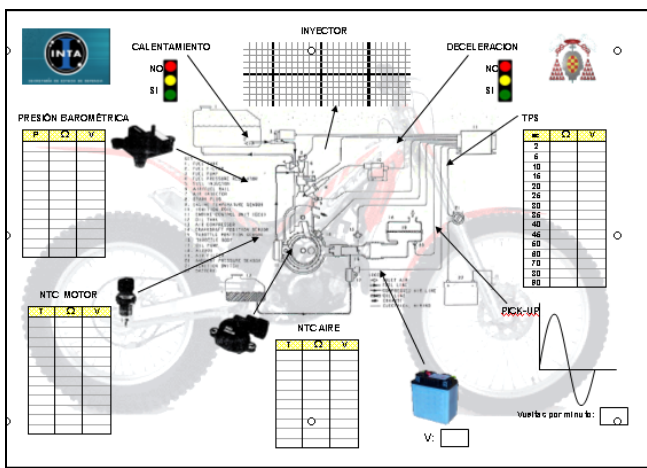


Fig. 1. Ejemplo el interfaz gráfico de usuario donde se permite la sustitución de sensores

Las relaciones de similitud las podemos considerar como una extensión del concepto de igualdad, y pueden ser implementadas como una asociación fuzzy reflexiva especial que daría soporte a otras asociaciones de semántica similar. En particular el programa de control dispone de un sistema de configuración de tablas de superficie que permite modelar asociaciones fuzzy entre distintos estados de los sensores y que producen, una vez filtrado a través del puerto Centronics, una onda en forma de castillo que responde a las indicaciones de la unidad de control para abrir y cerrar las válvulas de admisión.

La sencillez de la interfase permite, en una primera fase, introducir valores que el experto considera apropiados y así, rápidamente, poder analizar los resultados esperados que servirán de retroalimentación a sus hipótesis.

El modelo fuzzy borroso define una relación entre los distintos sensores y obtiene una reacción en base al estudio de los distintos parámetros de entrada que se reflejarán en una colección de “mapas de superficie” entendidos como un conjunto de tuplas clasificadas en forma de tabla en las que se recogerán, inicialmente, datos propuestos por el experto y que, posteriormente, se irán ajustando mediante la utilización de técnicas de lógica borrosa que permitan suavizar las distintas curvas de nivel manifestadas en la descripción inicial una vez se logre el “arranque” del ciclomotor.

El desarrollo actual está soportado en un ordenador personal con Windows XP para permitir efectuar todo tipo de pruebas y ajustes sin tener que pagar un alto coste en el desarrollo, sin embargo, la versión final, tendrá que estar desarrollada dentro de un pequeño equipo, de muy bajo coste, que permita la conversión analógica-digital de varias entradas y viceversa para su implantación en la industria y tendrá que ser la utilizada dentro del prototipo de ciclomotor para regular la combustión interna y otros aspectos de seguridad.

6. Conclusiones

Se está efectuando un estudio, de momento a nivel teórico, que se está trasladando al campo experimental sustituyendo, de momento sobre el banco de trabajo, todo el sistema de carburación de una motocicleta por un controlador digital a fin de reducir la emisión de contaminantes. Las perspectivas parecen alentadoras y se han caracterizado todas las partes analógicas que definen el funcionamiento eléctrico de los sensores. La máquina experimental pretendemos que arranque en la última semana de noviembre y, a partir de entonces, comenzarán los trabajos de calibración del controlador.

La línea de investigación aquí expuesta tendrá una duración mínima esperada de tres años y a final de este periodo se intentará fomentar la utilización de estas tecnologías en los ciclomotores que se comercialicen en la Unión Europea y en el reto del mundo.

7. Agradecimientos

El presente artículo ha sido parcialmente subvencionado por el Ministerio de Educación dentro del proyecto de investigación “Desarrollo y verificación de Sistemas Expertos con técnicas lógicas y algebraicas. Teoría y aplicaciones multidisciplinares”. Igualmente es de destacar la información aportada por el Centro de Experimentación y Certificación de Vehículos del Instituto de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas, entidad que lidera el proyecto.

Referencias

- [1] COMISIÓN EUROPEA: Aplicación de la estrategia comunitaria para reducir las emisiones de CO2 producidas por los automóviles: Un acuerdo sobre

medio ambiente con la industria europea del automóvil, p 495 final, 1998.

- [2] AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE: Prospects and scenarios N 1: Environment and European enlargement: Air emissions CE, 1999.
- [3] AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE: Economic evaluation of Community options to limit CO2 emissions at the horizon 2005 and 2010 CE, 1998 ISBN: 92-828-2873-5.
- [4] Gutiérrez, J.A. *et al.* Controlador neuroborroso : un caso de estudio. Internacional Conference Telec'02. Santiago de Cuba, julio de 2002.
- [5] Fahlman S.E.: *Fast-learning Variations on Back-Propagation: an empirical study*. Proceedings of the 1988 Connectionist Models Summer School (Pittsburgh), pp. 38-51. Morgan Kaufmann, San Mateo. USA, 1989.
- [6] Myller M.F.: A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. Research Report, Computer Science Department, University of Aarhus. Alemania, 1990.