

MÉTODO Y EQUIPO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA DISPONIBLE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

2 Descripción del invento

2.1 Campo tecnológico de la invención

La presente invención se relaciona con un equipo y un método para la estimación de la energía disponible en motores de combustión interna, en diferentes aplicaciones como motores industriales y de vehículos.

2.2 Descripción del estado del arte

El motor de combustión interna ha sido parte importante de las industrias y ha tenido un papel primordial en la industria automovilística tanto para el transporte de carga como de pasajeros, tanto con motores de gasolina como diésel. El uso extendido de los mismos ha incentivado su constante desarrollo en diferentes áreas y también ha provocado que se conviertan en objeto de grandes exigencias en cuanto a su desempeño y eficiencia en su funcionamiento, en especial en términos de consumos de combustible y emisiones de gases contaminantes.

Con el avance de la tecnología se han hecho diversas invenciones que buscan la medición de parámetros de operación del motor y la estimación de valores de configuración futuros, que permiten controlar el funcionamiento del motor para mantener las condiciones dentro de los valores permitidos. Es el caso, por ejemplo, de la patente US 7,877,195 B2 por Ängeby la cual describe un método que permite la estimación de parámetros de operación a futuro, a partir de mediciones y valores previos de los diferentes sensores y dispositivos del motor. Se utilizan modelos estadísticos elaborados previamente o modelos físicos para generar valores posibles preferibles que luego se escogen mediante funciones de reducción de riesgo. Este método se soporta en las mediciones y valores de control provenientes de la unidad de control del motor (ECU) y sus diversos sensores para poder operar. Estos modelos tienen un rango de operación limitado y no es aplicable en diferentes motores sin modificaciones sustanciales, ya que requeriría nuevos modelos físicos o estadísticos, además de adaptarse a los equipos de cada ECU y sus sensores.

Buscando manejar diferentes sensores para alimentar ciclos de control y procesos de diagnóstico de condición, se reconoce que dentro de las variables que se pueden medir en el funcionamiento del motor de combustión interna, la presión en la cámara de combustión es aquella que brinda la mayor cantidad de información sobre las condiciones de operación. Por esto se buscan las mediciones de dicha variable para aportar al control de variables de configuración y el monitoreo, utilizando diversos sensores adicionales. En esta área se pueden encontrar invenciones como la patente US 7,455,047 B2 de Hashizume et al. y US 7,610,139 B2 de Mizuno et al. en las cuales desarrollan una unidad y un método de control del motor a partir de la detección del instante en que ocurre la mayor presión en la cámara de combustión. Se estima una presión de arrastre (presión cuando no hay combustión, cuando se mueve solo por la inercia). La posición angular del pico de presión se estima a partir de la diferencia entre la presión medida por el sensor y la presión estimada por la ECU y a partir de dicho cálculo se generan señales de control del motor. Este método requiere una unidad de control que incluya un sensor de presión en la cámara de combustión y diferentes

sensores para la temperatura, volumen de la cámara, flujo de aire, entre otros. De forma muy similar, Urano en la patente US 2015/0226642 A1 presenta un dispositivo mediante el cual, con un sensor de presión, uno de posición angular y uno de temperatura, se miden la presión en la cámara de combustión, la ubicación del punto de presión máxima en condiciones de arrastre y la temperatura del refrigerante, respectivamente, y a partir de dichos datos determina medios para corregir dicha posición angular y obtener la ubicación del punto muerto superior. Este método también utiliza la señal de temperatura del refrigerante. De igual forma, este dispositivo requiere sensores de la presión en la cámara, de la posición angular y de la temperatura del refrigerante.

Debido a la necesidad de estos dispositivos de utilizar sensores de presión, se han creado métodos que permiten reducir el número de sensores de presión requeridos, como es el caso de la patente US 7,962,273 B2 de Caretta la cual presenta un dispositivo y método de control para la determinación de la presión en la cámara de combustión de un motor de combustión interna, en el cual mediante la medición de un sensor de presión en un cilindro (el número de señales de presión medidas son menos que el número de cilindros total del motor) se pueden estimar las presiones en otros cilindros. Esto lo realizan a partir de la señal medida de presión (otro cilindro), la medición de la velocidad de rotación del motor y la generación de una relación entre la presión y la velocidad de rotación.

En algunas ocasiones se busca la obtención de otros parámetros relacionados con la presión en la cámara de combustión para alimentar los ciclos de control, como es el caso del par generado. Buscando obtener una estimación de este, Sano et al. en la patente US 8,688,358 B2 exponen un sistema para la estimación del par indicado a partir de la medición de la señal de la presión en un cilindro. El par en los otros cilindros se calcula a partir de un valor relacionado con la medida de la aceleración angular entre las explosiones correspondientes a los cilindros y el par indicado en el cilindro en el cual se mide la presión. Este método depende entonces también de un sensor de presión y un sensor de posición angular.

Sin embargo, el uso de sensores de presión en la cámara de combustión, a pesar de brindar información valiosa y útil, tiene la desventaja de ser un método costoso e invasivo (sensores con un costo de adquisición elevado y de reducida vida útil debido a las difíciles condiciones de operación dentro de la cámara, además que en ocasiones requieren modificaciones del motor para su montaje, como sucede con los motores diésel). Esta situación ha incentivado la búsqueda de alternativas para la estimación de la presión en la cámara de combustión a partir del procesamiento de las mediciones de otras variables. En este sentido, en la patente US 8,041,499 B2 por Howard et al. se presenta un método y dispositivo que entrega una estimación de la presión en la cámara de combustión de un motor de combustión interna (de inyección de combustible), a partir de valores de presión en el colector de admisión en un momento preciso para el cierre de válvula y volúmenes de la cámara de combustión en el mismo tiempo y por lo menos otro tiempo más. Esto para alimentar un control de la inyección de combustible que compense por las variaciones de la presión en la cámara en el movimiento del pistón. Este sistema requiere entonces que el motor sea de inyección y que cuente con los sensores de la ECU necesarios y con suficiente sensibilidad, además de los medios para medir el volumen en la cámara en todo momento a partir de la medición de la posición angular. Hagari, en la patente US2015/0142294 A1, propone un dispositivo que utiliza un modelo del motor que le

permite estimar la presión en la cámara a partir de diversas señales de las condiciones de operación del motor, como son la posición de válvulas variable (VVT), la recirculación de gases EGR, sensor de paso de aire, entre otros y además obtener medios de cálculo para el tiempo de ignición, propagación de calor y la velocidad de combustión. Al igual que antes, este dispositivo requiere de los sensores adecuados y de modelados precisos para cada configuración de motor para poder funcionar.

Estos equipos expuestos presentan métodos de medición y estimación de la presión en la cámara de combustión y otras variables del motor para aplicaciones como el control de parámetros de la combustión en la unidad del control del motor, pero no se presentan desarrollos para la detección de falla ni el monitoreo de flota mediante el manejo de órdenes de medición, en la aplicación de planes de mantenimiento.

Con la presente invención se pretende proveer un dispositivo y un método para solucionar al menos una de las limitaciones mencionadas previamente o por lo menos ofrecer al público otra opción útil.

2.3 Breve descripción de las figuras

En las figuras adjuntas:

Figura 1. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del sistema de adquisición, almacenamiento y comunicación de señales.

Figura 2. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del sistema de activación y carga de configuración del equipo.

Figura 3. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del sistema para la adquisición de las señales.

Figura 4. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del sistema de comunicación y transmisión de la información.

Figura 5. Es un diagrama de bloques de la versión preferida de la metodología para la estimación de la presión a partir de la señal de vibración.

Figura 6. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del método de preprocesamiento de la señal.

Figura 7. Es un diagrama de bloques de la versión preferida del método de caracterización de la señal para su clasificación en los diferentes estados.

Figura 8. Es un diagrama de bloques de la versión preferida de la metodología para la elaboración de los modelos de estimación.

2.4 Descripción detallada de versiones de la invención

A continuación, se describen las figuras que representan una versión de la invención, mediante la cual se aclaran las características y ventajas de la misma.

En las figuras se presenta la descripción de la versión preferida de un equipo para la estimación de la energía disponible en un motor de combustión interna mediante la estimación de la presión en

la cámara de combustión a partir de la medición y procesamiento de señales de vibración de la culata.

La versión preferida de la presente invención consta primero de un dispositivo para la adquisición, almacenamiento y comunicación de las señales de vibración y posición angular del motor. Este dispositivo puede ser móvil o estar instalado en un vehículo en movimiento. Y segundo, de los medios para realizar el procesamiento de las bases de datos tomadas por dicho dispositivo y para el subsiguiente procedimiento de estimación de los valores buscados. Dichos medios para el procesamiento de datos pueden estar en una ubicación móvil o estacionaria.

La FIGURA 1 es el diagrama general del dispositivo para la adquisición, almacenamiento y comunicación de las señales de vibración y posición angular del motor. Dicho dispositivo puede ser utilizado en motores que utilizan como combustible diésel, gasolina, gas natural o mezclas de combustible como por ejemplo gasolina-alcohol, entre otros; y que pueden ser de diferentes tamaños y configuraciones en número y disposición de los cilindros. El equipo recibe una orden de encendido o activación a partir de la configuración de su funcionamiento al comenzar su operación. La vibración del motor es captada por los sensores del equipo, que en su versión preferida consisten en dos acelerómetros y un sensor de posición angular, los cuales envían una señal eléctrica representativa de la vibración del motor y la posición angular del cigüeñal, a un módulo para la adquisición de las señales, cuando este ejecuta la orden de realizar las mediciones. En la versión preferida del equipo, las señales que pasan por el módulo de adquisición llegan entonces al módulo de comunicaciones, el cual se encarga de establecer una conexión inalámbrica con un servidor remoto para la transmisión de la información para su posterior almacenamiento, procesamiento y análisis. El funcionamiento de los módulos del equipo de adquisición de las señales se presenta en más detalle en las FIGURAS 2, 3 y 4.

En la versión preferida de la invención los tres módulos del dispositivo (configuración, adquisición y comunicación) se ejecutan en un único equipo de procesamiento, el cual debe poseer medios para el procesamiento de tareas, que puede ser un procesador tipo ARM Cortex, un sistema operativo sobre el cual realizar su programación, que puede ser Ubuntu, medios para el almacenamiento de la información recolectada, que puede ser almacenamiento tipo Flash, y medios de comunicación de la información con un servidor remoto, como por ejemplo un módulo WiFi.

La FIGURA 2 es un diagrama de bloques que muestra la versión preferida del módulo para el procedimiento de configuración del sistema de adquisición. Para el funcionamiento del equipo se requiere de una orden de activación por parte del usuario, la cual activa la carga del archivo de configuración del dispositivo, el cual puede ser el archivo por defecto almacenado en el dispositivo o puede ser un archivo alternativo modificado por el usuario, el cual puede contener diferentes condiciones de las mediciones como número de datos (N), hora de la medición, tiempo de captura, velocidad de operación del motor requerida, entre otros. Esta configuración y las condiciones de captura pasan entonces al módulo para la adquisición.

La FIGURA 3 es un diagrama de bloques que muestra la versión preferida del módulo de adquisición de señales y sus condiciones de operación. Los datos de configuración de la toma de datos,

incluyendo el número de datos a tomar y la hora a la que se requiere realizar la medición, entran para dirigir el procedimiento a seguir. La activación del módulo de adquisición se puede realizar por lo menos de dos formas, activación mediante GPS en donde se recibe la orden de captura a través del canal GPS o mediante la comparación de la hora actual con el valor de la hora de la medición requerida por los datos de configuración. Si uno de estos comandos es activado se realiza una última comprobación para asegurar que la velocidad de rotación del motor se encuentre dentro de un umbral especificado que permita entonces realizar la adquisición y almacenamiento de las señales de vibración y posición angular. Este proceso se repite entonces hasta realizar el número de mediciones requerido. Cuando se activa el proceso de medición, la señal sale de los sensores como una señal eléctrica analógica, representativa de la vibración del motor y la posición angular del cigüeñal para pasar a dos módulos de acondicionamiento de la señal, los cuales entregan una señal de voltaje proporcional a la señal de entrada. Esta señal pasa entonces a un circuito de preprocesamiento en el cual se acondiciona la señal de modo que pueda ser adquirida por la unidad principal de adquisición. En la versión preferida de la invención, en la etapa de adquisición y preprocesamiento, se convierten las señales de AC a DC; se ajustan los rangos de amplitud del voltaje; y además, dependiendo del tipo de sensor, se hacen diversos ajustes como puede ser añadir un nivel DC de forma que la señal sea completamente positiva, entre otros. Esta señal acondicionada y preparada, es ingresada entonces al equipo de procesamiento donde se transforma a una señal digital para poder ser almacenada en la unidad. En este equipo se construyen bloques de información que contienen: una cabecera con información general del motor, fecha y hora de la toma de datos, número de muestras y frecuencia de muestreo empleada; las muestras de las señales provenientes de los acelerómetros y del sensor de posición angular. Una vez contruidos, estos bloques de información pasan entonces al módulo de comunicación.

La FIGURA 4 representa el módulo de comunicación, en la versión preferida de la presente invención, el cual es el encargado de enviar la información fuera del dispositivo para su almacenamiento permanente y posterior tratamiento y análisis. En este módulo primero se establece la conexión con el servidor, para luego realizar la transmisión de la información de las mediciones, recibir órdenes en un archivo de configuración y comprobar los datos. El establecimiento de la conexión se debe realizar ya que en la versión preferida de la invención la conexión del dispositivo con el servidor externo puede no ser permanente debido a los desplazamientos del equipo, por lo que la comunicación solo podrá ocurrir cuando se encuentre dentro del rango de alcance de la conexión con el servidor, mediante algún medio como puede ser el Wi-Fi. Luego se puede pasar al apagado del dispositivo.

Como se estableció anteriormente, en la versión preferida de la invención, la segunda parte consiste en los medios para el procesamiento y análisis de las señales almacenadas en el servidor remoto, en una ubicación fija de control. En la versión preferida de la invención dicho servidor remoto puede ser un computador que debe incluir uno o varios microprocesadores, además de medios para el almacenamiento de las señales y medios para realizar la comunicación con el sistema de adquisición, almacenamiento y comunicación de señales. El computador puede funcionar bajo el control de un sistema operativo de la familia Windows®, Linux u otro. El computador debe poseer la aplicación de software particular de la invención que le permita el procesamiento y análisis de las señales provenientes del sistema de adquisición, almacenamiento y comunicación de señales. El

computador debe poseer medios para mostrar imágenes, como por ejemplo en una pantalla, para la visualización de la aplicación de análisis de señales y de los resultados producidos, además debe contar con medios para la entrada de datos e información, como por ejemplo un teclado, un puntero o mouse o una pantalla del tipo táctil. El computador puede ser un computador de escritorio, un computador portátil, una tableta o cualquier otra configuración deseada.

Una vez la información ha sido enviada al servidor remoto y almacenada allí, se forma una base de datos que permite realizar diferentes análisis a partir del procesamiento de las señales. La FIGURA 5 presenta el diagrama de bloques de la metodología para la estimación de la presión a partir del procesamiento y análisis de las señales de vibración y posición angular. Las señales de la base de datos son sometidas a un preprocesamiento que prepara las señales para su posterior análisis, luego son sometidas a un proceso de caracterización que permite distinguir las señales y clasificarlas en uno de los estados de funcionamiento, cada uno de los cuales tiene su propio modelo de estimación de la presión a partir de la señal de vibración, para obtener los resultados requeridos (Estos módulos se explican en más detalle con ayuda de las FIGURAS 6 y 7).

En la FIGURA 6 se presenta el diagrama de bloques del módulo de preprocesamiento de las señales. En la versión preferida de la presente invención el preprocesamiento consiste en primera instancia de la segmentación de las señales de la base de datos, en el menor tamaño posible que aún contenga la información necesaria y suficiente para el análisis, el cual puede ser un ciclo de combustión completo, es decir dos giros completos del cigüeñal. Las señales segmentadas luego son sometidas a un acondicionamiento que transforma las señales de acuerdo con las sensibilidades de los sensores utilizados y al tipo de señal para acercarlo a los valores medidos esperados. Estas señales acondicionadas pasan por un proceso de filtrado para disminuir los niveles de ruido inherentes a los procesos de captura de las señales.

En la FIGURA 7 se presenta el diagrama de bloques del proceso de caracterización y clasificación de las señales, el cual toma las señales procesadas y aplica una serie de métodos, que en esta versión consiste en las máquinas de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) como método de clasificación aplicadas sobre características obtenidas mediante la transformada de Fourier de tiempo corto (STFT, por sus siglas en inglés). Los resultados de la extracción de características permiten clasificar las señales de vibración en los diferentes estados de funcionamiento.

En la FIGURA 8 se presenta la metodología para la obtención de los modelos para la estimación de la presión en la cámara de combustión a partir de las señales de vibración, a los que se hace referencia al final de la metodología para la estimación de la presión a partir de la señal de vibración presentada en la FIGURA 5. Esta es una metodología de aprendizaje de máquina en la que con unas señales de entrada y salida completamente conocidas se utiliza un ciclo para determinar el modelo que relacione dichas entradas y salidas con el menor error posible. La primera señal de entrada es entonces la señal de presión, la cual entra a una función de costo que alimenta la función que modela la dependencia entre presión y vibración, luego esta función es puesta a prueba con los datos de características extraídos de la señal de vibración del motor (que en este caso corresponde a la STFT) para obtener una estimación de los puntos de la curva de presión. Una vez obtenida esta

curva estimada se calcula un valor del error de estimación, que luego alimenta la función de costo para cerrar el ciclo.

En una segunda versión de la invención la comunicación de la información entre el sistema de adquisición, almacenamiento y comunicación de las señales y el servidor remoto para el procesamiento de las señales se realiza de forma continua o en el momento en que se realicen las mediciones, a través de medios de comunicación continua como pueden ser un canal de GPS.

En una tercera versión de la invención los medios para el procesamiento y análisis de las señales de vibración y posición angular se encuentran incluidos junto con el equipo de adquisición, almacenamiento y comunicación de las señales, por lo que se obtendría un dispositivo portátil para la estimación de la energía disponible en un motor de combustión interna y para el monitoreo de condición del mismo.