

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 302**

51 Int. Cl.:

G06F 15/76	(2006.01)
G06N 3/02	(2006.01)
G06N 20/00	(2009.01)
H04M	(2011.01)
H04M 1/2755	(2006.01)
H04M	(2011.01)
G06N 3/04	(2006.01)
G06N 5/00	(2006.01)
G06N 7/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2018 PCT/US2018/043797**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2019 WO19103767**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2018 E 18759776 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2022 EP 3701708**

54 Título: **Diagnóstico de máquina usando dispositivos móviles y ordenadores en la nube**

30 Prioridad:

27.11.2017 US 201762590741 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2022

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**CLAUSSEN, HEIKO;
KURUGANTY, PHANI RAM KUMAR;
CUI, TAO y
STRUCK, GÜNTER**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 929 302 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Diagnóstico de máquina usando dispositivos móviles y ordenadores en la nube

- 5 La siguiente divulgación se refiere a diagnosticar una máquina usando dispositivos inteligentes portátiles y ordenadores en la nube.

Antecedentes

- 10 Las máquinas pueden requerir un mantenimiento regular. Puede realizarse un diagnóstico de un estado de funcionamiento de la máquina para planificar el mantenimiento. Puede ser necesario ajustar máquinas que están desajustadas para que funcionen en un estado óptimo. Una máquina particular puede tener problemas específicos o características de funcionamiento que son diferentes de otras máquinas del mismo tipo, clase o modelo.

- 15 Puede haber máquinas presentes en una variedad de entornos residenciales, comerciales e industriales. Los operarios expertos pueden desplazarse hasta las máquinas para reparar o ajustar las máquinas o pueden guiar a otro operario en la reparación y el ajuste a través de una conexión remota.

- 20 El documento de patente US2017/178311 A1 proporciona un método y un sistema de un diagnóstico en el sitio de uno o más problemas asociados con una máquina que incluye la recopilación de datos de sonido y datos de imagen asociados con una máquina a través de un dispositivo móvil y la transmisión de los mismos a un servidor en la nube a través de una red de comunicaciones. El documento de patente WO 2017/201345 A1 proporciona una plataforma de modelado de rendimiento de equipos que aplica procedimientos estadísticos y de adaptación automática a datos de sensor recibidos para proporcionar información y diagnóstico de equipos específicos. El documento de patente
25 US 2013/030765 A1 proporciona un sistema para monitorizar una máquina usada en una instalación industrial, realizando un análisis de medidas operacionales de la máquina para generar un conjunto de datos de espectro completo previamente establecido y determinando la variación entre conjuntos de datos de espectro completo previamente establecidos y específicos.

30 Sumario

Según la presente invención, se proporciona un método para determinar un estado de funcionamiento de una máquina, tal como se define por la reivindicación independiente 1.

- 35 Según la presente invención, se proporciona un dispositivo móvil para determinar un estado de funcionamiento de una máquina, tal como se define por la reivindicación independiente 8.

Breve descripción de los dibujos

- 40 En el presente documento se describen realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención con referencia a los siguientes dibujos.

La figura 1 ilustra un ejemplo de sistema para determinar un estado de funcionamiento de una máquina.

- 45 La figura 2 ilustra un ejemplo de técnica para diagnosticar y ajustar una máquina.

La figura 3 ilustra un ejemplo de sistema para entrenar un clasificador y determinar el estado de una máquina.

- 50 La figura 4 ilustra un ejemplo de dispositivo móvil.

La figura 5 ilustra un ejemplo de técnica para entrenar un clasificador.

La figura 6 ilustra un ejemplo de técnica para determinar el estado de funcionamiento de una máquina.

55 Descripción detallada

- Un operario humano experto puede diagnosticar manualmente o ajustar manualmente una máquina. El experto puede observar, escuchar y percibir el funcionamiento de la máquina para determinar el estado de funcionamiento de la máquina. El operario puede estar físicamente presente cerca de la máquina o mediante telepresencia para
60 examinar o ajustar la máquina. Por ejemplo, en un procedimiento de retroalimentación de "humano en el bucle", un experto puede examinar parámetros de funcionamiento de un accionamiento de motor, tales como el ruido o la vibración emitidos, para determinar si el motor está en buenas condiciones o no (por ejemplo, en un estado de funcionamiento normal) o necesita mantenimiento (por ejemplo, lubricación). En otro ejemplo, el experto puede cambiar parámetros de un quemador de gas, tales como la velocidad de flujo de gas o la mezcla de
65 aire/combustible, y examinar un cambio en los parámetros de funcionamiento, tales como ruido o color de una llama, para determinar si el quemador está funcionando en su estado óptimo o no.

5 El operario experto puede aprender el comportamiento único (por ejemplo ruidos, sacudidas, olores) de la máquina en una condición de funcionamiento, pero transferir tal conocimiento entre turnos o a nuevos operarios puede resultar difícil o requerir mucho tiempo. Usar a un experto para diagnosticar o ajustar máquinas de manera remota o en el sitio puede ser caro. La máquina puede estar ubicada en una zona remota a la que es difícil acceder físicamente o con conectividad limitada a Internet u otros canales de comunicación para acceso remoto por el experto. Puede necesitarse realizar mantenimiento o ajuste (y evaluación del estado de funcionamiento) en tiempo real, en el que grandes retardos o el funcionamiento fuera de línea pueden afectar de manera negativa al resultado del mantenimiento o ajuste. Cuando la máquina se produce en pequeñas cantidades, puede haber pocos expertos disponibles para ajustar, diagnosticar o entrenar a otros operarios. Las máquinas que funcionan en un programa de 10 24 horas pueden requerir que haya siempre un experto disponible.

15 El diagnóstico y ajuste de máquinas puede realizarse por operarios expertos humanos, pero con un gran coste y con baja disponibilidad. Aunque los operarios expertos pueden realizar el diagnóstico y ajuste de manera remota, las máquinas pueden estar ubicadas en zonas con restricciones sobre el uso de datos o acceso remoto (por ejemplo, debido a seguridad). Además, dado que la presencia remota de los operarios expertos todavía requiere que esté presente un operario experto en un extremo de la conexión remota, la presencia remota puede tener los mismos problemas de disponibilidad y coste que tener a los operarios expertos presentes personalmente en la máquina. Todavía adicionalmente, el acceso remoto puede no lograr cumplir los requisitos de tiempo real para el diagnóstico y 20 ajuste. Por ejemplo, puede ser difícil que un operario experto que usa acceso remoto escuche el ruido de un quemador mientras ajusta el parámetro del quemador.

25 Un operario experto puede usar un dispositivo móvil (por ejemplo un teléfono inteligente, dispositivo inteligente u ordenador portátil) para registrar datos relevantes de una máquina que va a diagnosticarse o ajustarse. El dispositivo móvil puede registrar un sonido, una vibración, un campo magnético, una temperatura o una imagen de la máquina con un micrófono, un acelerómetro, un magnetómetro, un termómetro, un dispositivo de obtención de imágenes térmico o una cámara que forma parte de, o está en comunicación con, el dispositivo móvil. El operario experto también puede introducir en el dispositivo móvil una evaluación del estado de funcionamiento de la máquina como etiqueta asociada con la(s) señal(es) registrada(s). Por ejemplo, el operario experto puede etiquetar la señal como 30 que está asociada con el estado de funcionamiento normal de la máquina, o un estado en el que la máquina necesita mantenimiento (por ejemplo lubricación) u otro servicio. El operario experto también puede introducir un código de identificación único de la máquina que puede permitir asociar la señal registrada y la etiqueta con la máquina particular.

35 La señal, la etiqueta y el código de identificación pueden transferirse a un ordenador remoto (por ejemplo, un servidor conectado en red o un ordenador en la nube). El ordenador remoto puede entrenar un clasificador o modelo de aprendizaje automático aplicando la señal, la etiqueta y el código de identificación al clasificador o modelo de aprendizaje automático. Cuando se entrena, el clasificador o modelo de aprendizaje automático puede ser capaz de generar una etiqueta para una señal de entrada que no era una de las señales usadas para entrenar el clasificador o 40 modelo (por ejemplo, una señal "no observada").

45 Una vez entrenado, el clasificador o modelo de aprendizaje automático puede transferirse al dispositivo móvil (u otro dispositivo) para el diagnóstico y ajuste. Un operario (no necesariamente un operario experto) puede usar el dispositivo móvil para el diagnóstico y ajuste de máquinas en tiempo real. El operario puede introducir el tipo, género, modelo o código de identificación único en el dispositivo móvil. Por ejemplo, el operario puede introducir esta información proporcionando un código de identificador, escaneando un código de barras en el dispositivo, mediante ubicación del dispositivo y punto de vista en la sala o reconociendo visualmente el dispositivo a través de una cámara de vídeo. Si el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado está disponible para la máquina identificada por la entrada, el dispositivo móvil puede cargar el clasificador o modelo entrenado. El operario puede 50 empezar el diagnóstico o ajuste de la máquina usando un sensor en comunicación con el dispositivo móvil para registrar una señal a partir de la máquina. El dispositivo móvil puede introducir la señal en el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado para generar una etiqueta para el estado de funcionamiento de la máquina basándose en las evaluaciones de experto de señales durante el entrenamiento. El clasificador o modelo entrenado puede generar la etiqueta del estado de funcionamiento sin una conexión con el ordenador remoto, de modo que el estado de funcionamiento puede determinarse en tiempo real sin transferencia de datos adicional con el ordenador remoto. Cuando la etiqueta indica un estado de funcionamiento anómalo de la máquina, la etiqueta (por ejemplo, en 55 conexión con el identificador único) puede usarse para recuperar información sobre cómo arreglar, realizar el mantenimiento o ajustar la máquina (por ejemplo, restaurar un estado de funcionamiento normal). Para el ajuste, el operario puede cambiar un parámetro de la máquina y medir otra señal de la máquina para recibir un indicador de adecuación de los dos estados de funcionamiento. El indicador de adecuación puede ser un indicador del ajuste de la máquina. En algunos casos, el indicador de adecuación puede ser la diferencia o similitud entre una señal o un estado de funcionamiento de la máquina y una señal o un estado de funcionamiento de "validación en el terreno" de una máquina ajustada. Por ejemplo, el operario puede recibir inicialmente un indicador de adecuación del 60% que muestra que la señal observada es significativamente diferente de la validación en el terreno correctamente ajustada para el dispositivo. Cuando se cambia un parámetro, el indicador de adecuación puede disminuir hasta el 58%, 60 65 indicando por tanto que el cambio de parámetro se realizó en el sentido equivocado. Cambiar el parámetro en otro

sentido puede dar como resultado que el indicador de adecuación aumente hasta el 92%, indicando una señal o un estado de máquina que es similar a la validación en el terreno. Cuando un cambio adicional del parámetro reduce de nuevo el indicador de adecuación, el ajuste óptimo para este parámetro puede haberse logrado mediante el ajuste anterior. En una segunda etapa de optimización, puede modificarse otro parámetro de la máquina para aumentar posiblemente de manera adicional el indicador de adecuación. Cuando se alcanza una indicación de adecuación alta (por ejemplo, por encima del 90%), puede considerarse que el dispositivo está bien ajustado. De esta manera, el operario puede ajustar de manera iterativa la máquina hasta que alcanza un estado de funcionamiento deseado o normal. El operario puede ajustar o realizar un mantenimiento de la máquina sin la presencia real o remota en tiempo real de un experto. El sensor y clasificador o modelo de aprendizaje automático pueden desplegarse en un teléfono celular, permitiendo que una persona no experta diagnostique y ajuste la máquina en una ubicación remota de manera inmediata sin traer a un experto. Adicionalmente, la señal registrada, la etiqueta y el identificador único pueden compartirse con otros dispositivos (por ejemplo, de un equipo de servicio) para obtener información y recomendaciones de otros operarios con respecto al mantenimiento de la máquina.

Las señales registradas, las etiquetas y el identificador único de la máquina pueden almacenarse y usarse para entrenar un clasificador o modelo de aprendizaje automático. Debido a reparaciones realizadas en la máquina, condiciones del entorno o de funcionamiento, u otros factores, el estado de funcionamiento normal de una máquina particular puede producir señales que son diferentes de estados de funcionamiento normales de otras máquinas del mismo tipo, género o modelo. El registro o las señales registradas, las etiquetas y el identificador único pueden subirse al ordenador remoto para entrenar, volver a entrenar o actualizar el clasificador o modelo, o para entrenar un nuevo clasificador o modelo para la máquina particular. Un nuevo operario que no está familiarizado con una máquina particular puede confirmar que la máquina está funcionando en un estado normal a pesar de producir señales que son diferentes de otras máquinas (o que indicarían un estado de funcionamiento anómalo en otra máquina). De manera adicional o alternativa, el clasificador o modelo entrenado con los datos para la máquina puede determinar un indicador de adecuación de una nueva señal basándose en las señales históricas usadas para entrenar el clasificador o modelo. El parámetro de adecuación puede proporcionar una advertencia temprana antes de una avería documentando un cambio en las señales producidas a lo largo del tiempo. Por ejemplo, puede registrarse una señal de vibración a lo largo del tiempo y facilitarse a una señal recién registrada un estado de funcionamiento o un indicador de adecuación por el clasificador o modelo entrenado para identificar un cambio en una propiedad de la vibración (por ejemplo, un aumento en la intensidad, magnitud, amplitud o frecuencia) que puede indicar que puede producirse una avería en el futuro. Por ejemplo, el cambio en la propiedad puede ser un aumento en una banda espectral característica de un cojinete dado el número de bolas en el cojinete y una velocidad de un husillo. Puede usarse una tendencia del aumento para predecir (por ejemplo, basándose en modelos físicos) cuándo se necesitará reemplazar el cojinete. Pueden monitorizarse tendencias similares usando modelos físicos o datos de fallo estadísticos a partir de uno o más dispositivos similares en el campo.

La figura 1 ilustra un ejemplo de sistema para determinar un estado de funcionamiento de una máquina. El sistema incluye un dispositivo 101 móvil y una máquina 103 para la que tiene que determinarse un estado de funcionamiento. El dispositivo 101 móvil puede ser un teléfono celular, teléfono inteligente, ordenador portátil u otro dispositivo portátil. El dispositivo 101 móvil puede estar en comunicación con uno o más sensores 105 y un almacén 107 de datos. El sensor 105 puede formar parte del, estar conectado al, o ser remoto con respecto al, dispositivo 101 móvil. El dispositivo 101 móvil puede conectarse a una red 109 y comunicarse con un ordenador 111 remoto. El ordenador 111 remoto puede ser un ordenador en la nube, un ordenador en la niebla local, un almacén de datos remoto, un servidor u otro dispositivo informático.

El dispositivo 101 móvil puede colocarse en proximidad a la máquina 103 para medir una o más señales de la máquina 103. De manera adicional o alternativa, el sensor 105 puede ponerse en proximidad de la máquina 103 para medir la señal. La señal puede ser una medida de un sonido, una vibración, un campo magnético, una temperatura o una imagen de la máquina según se mide por un sensor 105 tal como un micrófono, un acelerómetro, un magnetómetro, un termómetro, un dispositivo de obtención de imágenes térmico, una cámara de luz visible, una cámara acústica, un sensor de presión, un barómetro, un giroscopio, un sensor geomagnético, un sensor de efecto Hall o un sensor de proximidad.

El dispositivo 101 móvil o el sensor 105 también pueden escanear un identificador único (por ejemplo, un código de barras, un código de respuesta rápida (QR) u otro identificador) de la máquina 103. En algunos casos, el identificador único puede ser un atributo físico de la máquina 103, tal como un color, una posición (por ejemplo, coordenadas) u otro atributo. De manera adicional o alternativa, el operario puede introducir el identificador único de la máquina 103 en el dispositivo 101 móvil. El dispositivo 101 móvil puede usar el identificador único para seleccionar un clasificador o modelo de aprendizaje automático que está adaptado para la máquina 103. Por ejemplo, el dispositivo 101 móvil puede usar el identificador único para consultar en una tabla uno o más clasificadores o modelos de aprendizaje automático adaptados adecuados para la máquina 103 y seleccionar el clasificador o modelo basándose en la tabla. El clasificador o modelo seleccionado puede estar adaptado para el tipo, clase o género de la máquina 103. Por ejemplo, el clasificador o modelo adaptado puede entrenarse con señales y etiquetas a partir de máquinas del mismo tipo, clase o género que la máquina 103. De manera adicional o alternativa, el clasificador o modelo seleccionado puede estar adaptado para la máquina 103 específica. Por ejemplo, el clasificador o modelo seleccionado puede entrenarse con señales y etiquetas a partir de la máquina 103.

La máquina 103 puede ser cualquier maquinaria completa o parte de maquinaria que genera una señal que puede medirse por un sensor 105. Por ejemplo, la máquina 103 puede ser un accionamiento de motor, cojinete de motor, quemador de gas, horno u otro equipo. La máquina 103 puede generar una o más señales que pueden medirse por los sensores 105. Por ejemplo, la máquina puede crear ruido, vibraciones o campo magnético durante el funcionamiento que pueden medirse mediante los sensores 105. En otro ejemplo, la máquina 103 puede tener una temperatura, un color, una forma o un aspecto que pueden medirse o pueden detectarse por los sensores 105. De manera adicional o alternativa, una entrada o salida de la máquina 103 puede generar la señal. Por ejemplo, un fluido que fluye a través de la máquina 103 genera una señal que puede medirse por los sensores 105. En otro ejemplo, un árbol de salida de la máquina puede generar una señal que puede medirse por los sensores 105.

El sensor 105 puede estar configurado para medir una señal de la máquina 103 y comunicar la señal con el dispositivo 101 móvil. El sensor 105 puede ser remoto con respecto al, y en comunicación con el, dispositivo 101 móvil. Por ejemplo, el sensor 105 puede ser portátil o estar adaptado para colocarse sobre o cerca de la máquina 103. En otro ejemplo, el sensor 105 es un sensor integrado con, o que forma parte de, la máquina 103. El sensor 105 puede ser un sensor de presión, temperatura o velocidad de flujo ubicado dentro de un dispositivo encerrado, por ejemplo, en un entorno a prueba de explosiones. El sensor 105 puede comunicarse con el dispositivo 101 móvil a través de una conexión cableada o inalámbrica. Por ejemplo, el sensor 105 puede comunicarse con el dispositivo 105 móvil a través de una conexión por Wi-Fi, Bluetooth, infrarrojos u otra conexión inalámbrica de corto o largo alcance. El sensor 105 puede estar configurado para medir la señal durante un periodo de tiempo. Por ejemplo, el sensor puede medir la señal durante 5 segundos, 60 segundos u otro periodo de tiempo.

El sensor 105 puede ser un micrófono. En algunos casos, el micrófono puede estar integrado con el dispositivo 101 móvil. En otros casos, el micrófono puede ser externo al dispositivo 101 móvil. Por ejemplo, el micrófono puede ser externo al dispositivo 101 móvil y comunicarse a través de una conexión cableada o inalámbrica. El micrófono puede estar configurado para medir un sonido producido por la máquina 103. Por ejemplo, el micrófono puede medir los ruidos producidos mientras la máquina 103 está en funcionamiento. Pueden estar presentes múltiples micrófonos. Por ejemplo, puede usarse un primer micrófono para medir un sonido deseado (por ejemplo, un sonido producido por la máquina 103) y un segundo micrófono puede medir sonidos ambientales, de fondo o del entorno. De manera adicional o alternativa, pueden usarse múltiples micrófonos para formación de haces. Por ejemplo, múltiples micrófonos pueden permitir enfocar únicamente en direcciones de interés para la monitorización, reduciendo de ese modo las perturbaciones a partir de otras fuentes de sonido. El dispositivo 101 móvil puede reducir el ruido en la señal registrada eliminando cualquier ruido ambiental, de fondo o del entorno en el sonido registrado por el primer micrófono. La señal generada por el micrófono puede ser una medida de la desviación de una membrana u otro elemento del micrófono debido a la transmisión de las ondas acústicas a partir de la máquina a través de un medio.

El sensor 105 puede ser un acelerómetro. En algunos casos, el acelerómetro puede estar integrado con el dispositivo 101 móvil. Por ejemplo, el acelerómetro puede estar incorporado en el dispositivo 101 móvil de tal manera que el acelerómetro mide una vibración de la máquina 103 cuando se coloca sobre, cerca o en las inmediaciones de la máquina 103. En otros casos, el acelerómetro puede ser externo al dispositivo 101 móvil. La señal generada por el acelerómetro puede ser una medida de la desviación del acelerómetro debida a la vibración provocada por la máquina.

El sensor 105 puede ser un magnetómetro. En algunos casos, el magnetómetro puede estar integrado con el dispositivo 101 móvil. Por ejemplo, puede usarse el efecto de un campo magnético sobre un componente del dispositivo móvil para medir la intensidad u otra propiedad de un campo magnético generado por la máquina 103. En otros casos, el magnetómetro puede ser externo al dispositivo 101 móvil. Por ejemplo, un magnetómetro externo puede permitir la medición de campos magnéticos de alta intensidad que pueden ser perjudiciales para operarios o para el dispositivo 101 móvil. El magnetómetro puede medir la intensidad de campo magnético a una distancia particular de la máquina 101. Por ejemplo, la señal puede incluir una medida de la intensidad de campo y un valor de una distancia desde el sitio de la medición hasta la máquina 103. La señal generada por el magnetómetro puede ser una medida de la fuerza ejercida sobre el magnetómetro por un campo magnético externo.

El sensor 105 puede ser un termómetro. En algunos casos, el termómetro puede estar integrado con el dispositivo 101 móvil. En otros casos, el termómetro puede ser externo al dispositivo móvil. Por ejemplo, una sonda de temperatura puede medir una temperatura de la máquina 103 y transmitir la temperatura al dispositivo móvil. En algunos casos, la señal generada por el termómetro puede ser una medida de la energía cinética media presente en un material de la máquina. En otros casos, la señal generada por el termómetro puede ser una medida de una tensión que depende de una temperatura del termómetro. Por ejemplo, el termómetro puede ser un termopar.

El sensor 105 puede ser un dispositivo de obtención de imágenes térmico o por infrarrojos. El dispositivo de obtención de imágenes puede estar configurado para medir radiación térmica o de infrarrojos a partir de la máquina 103. El dispositivo de obtención de imágenes puede transmitir una imagen que incluye información de temperatura al dispositivo 101 móvil. La información de temperatura puede someterse a resolución espacial. El dispositivo de obtención de imágenes térmico o por infrarrojos puede generar una imagen que incluye una medida sometida a resolución espacial de la intensidad de radiación infrarroja generada por la máquina.

5 El sensor 105 puede ser una cámara acústica. El sensor 105 puede estar configurado para medir el patrón especial de las emisiones acústicas de tiempo-frecuencia de un dispositivo más grande con múltiples componentes. Por ejemplo, la máquina 103 puede ser una bomba de alimentación de caldera que incluye componentes tales como una bomba, un motor, cojinetes y válvulas. Cada parte puede tener su propia característica de tiempo-frecuencia para un modo de funcionamiento particular. La cámara acústica puede ser capaz de detectar, distinguir y realizar un seguimiento de los componentes y sus emisiones respectivas (por ejemplo, características de tiempo-frecuencia, sonidos o señales), por ejemplo, usando un enfoque de segmentación de imágenes. La cámara acústica puede permitir modelar y monitorizar cada componente de manera independiente. Cuando se detecta una señal anómala, el sistema puede identificar automáticamente el componente de la máquina que emitió la señal anómala.

15 El sensor 105 puede ser una cámara de luz visible. En algunos casos, la cámara puede formar parte del dispositivo móvil. Por ejemplo, la cámara puede ser una cámara delantera o trasera del dispositivo 101 móvil. En otros casos, la cámara puede ser remota con respecto al, y estar en comunicación con el, dispositivo 101 móvil. La cámara puede estar configurada para captar una imagen de la máquina 103. Una o más cámaras pueden captar múltiples imágenes de la máquina 103. El dispositivo 101 móvil puede combinar o procesar las imágenes. Por ejemplo, una imagen puede procesarse para eliminar ruido o aislar parte o la totalidad de la máquina 103. En otro ejemplo, se combinan múltiples imágenes para determinar información de profundidad en las imágenes. La información de profundidad puede añadirse a cada píxel. En cada píxel de una imagen generada por la cámara, la cámara puede almacenar una medida de una intensidad de luz visible reflejada o irradiada por la máquina y, en algunos casos, un valor de color.

25 El dispositivo móvil puede recibir más de una medida a partir de los sensores 105. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede recibir una imagen térmica a partir de una cámara térmica y una imagen (por ejemplo, en el espectro de luz visible) a partir de una cámara. Las señales pueden combinarse o procesarse. Por ejemplo, el dispositivo 101 móvil puede superponer la imagen térmica sobre la imagen procedente de la cámara. La señal combinada o procesada puede formar la entrada para el clasificador o modelo de aprendizaje automático.

30 El almacén 107 de datos puede ser un módulo de memoria del dispositivo 101 móvil. El clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado puede almacenarse en el almacén 107 de datos. El almacén puede albergar múltiples clasificadores y modelos entrenados. El dispositivo móvil puede seleccionar un clasificador o modelo particular basándose en una medida de señal recibida o en un identificador único de la máquina 103. El almacén 107 de datos puede proporcionar el clasificador o modelo seleccionado al dispositivo 101 móvil. En algunos casos, pueden almacenarse fragmentos, parches o elementos de datos anómalos en el almacén 107 de datos para su análisis futuro. En algunos otros casos, pueden almacenarse fragmentos de datos en diversos momentos en el almacén 107 de datos, permitiendo un análisis de tendencia de la condición de funcionamiento de la máquina 103.

40 La figura 2 ilustra un ejemplo de técnica para diagnosticar y ajustar una máquina. Pueden proporcionarse acciones adicionales, diferentes o menos acciones. Por ejemplo, las acciones S107 y S109 pueden omitirse. Las acciones pueden realizarse en cualquier orden. Por ejemplo, la acción S111 puede proceder directamente desde la acción S105. Las acciones pueden realizarse por un procesador acoplado a una memoria. Las acciones pueden comprender instrucciones almacenadas en la memoria que, cuando se ejecutan, hacen que el procesador lleve a cabo las acciones. Según la invención tal como se reivindica, el dispositivo 101 móvil tiene un procesador con memoria acoplada al mismo configurado para realizar las acciones.

45 En la acción S101, se adquieren datos de sensor. Pueden adquirirse datos de sensor a partir de sensores que forman parte de, o son externos a, un dispositivo móvil. Los datos de sensor incluyen una medida de una señal o propiedad de una máquina. Por ejemplo, los datos de señal pueden incluir una medida de un sonido, una vibración, un campo magnético, una temperatura o una imagen de la máquina.

50 En la acción S103, se aplican los datos de sensor a un clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado en máquina. El clasificador o modelo entrenado puede haberse entrenado con un conjunto de datos de sensor de entrada y estados de funcionamiento asociados de máquinas. Por ejemplo, el entrenamiento de datos de sensor puede incluir señales de una máquina medidas por un dispositivo móvil y estados de funcionamiento evaluados por un operario experto. Un procesador aplica los datos de sensor al clasificador o modelo entrenado.

60 En la acción S105, se genera un estado de funcionamiento para los datos de sensor aplicados al clasificador o modelo entrenado. El estado de funcionamiento puede ser la salida del clasificador o modelo entrenado. El estado de funcionamiento puede describir el funcionamiento de la máquina cuando generó la señal medida por los datos de sensor. Por ejemplo, el estado de funcionamiento puede indicar que la máquina está en un estado de funcionamiento normal o estado de funcionamiento anómalo. En algunos casos, puede existir más de un estado de funcionamiento anómalo. Por ejemplo, el estado de funcionamiento anómalo puede describir la intensidad de la anomalía tal como funcionamiento anómalo menor o funcionamiento anómalo intenso.

65 En la acción S107, se examinan criterios de salida para determinar si se cumplen. Los criterios de salida pueden ser un estado de funcionamiento mínimo. Por ejemplo, los criterios de salida pueden especificar que debe generarse un

estado normal o anómalo menor para cumplir los criterios de salida. De manera adicional o alternativa, los criterios de salida pueden ser un número mínimo o máximo de iteraciones a través del procedimiento. En algunos casos, el procedimiento puede repetirse cuando no se cumplen los criterios de salida. Por ejemplo, cuando un operario está ajustando una máquina para determinar su funcionamiento óptimo o normal, el operario puede determinar que una máquina está en un estado de funcionamiento anómalo y puede ajustar un parámetro de la máquina. El estado de funcionamiento de la máquina con el parámetro ajustado puede determinarse de nuevo basándose en nuevos datos de sensor. El procedimiento puede repetirse hasta que se logra el funcionamiento normal de la máquina. Los criterios de salida pueden ser un estado de funcionamiento mínimo.

5
10 En la acción S109, el procedimiento puede terminar cuando se cumplen los criterios de salida. De manera adicional o alternativa, el procedimiento puede terminar después de una única iteración.

15 En la acción S111, se emiten instrucciones. Las instrucciones pueden contener información sobre la realización de una reparación, mantenimiento o ajuste de la máquina. En algunos casos, las instrucciones pueden ser genéricas para una clase, tipo, género o modelo de la máquina. En otros casos, las instrucciones pueden ser específicas para la máquina particular. Las instrucciones pueden basarse en un identificador único de la máquina.

20 Puede realizarse una reparación, operación de mantenimiento u operación de ajuste en la máquina. Por ejemplo, un operario puede intentar arreglar la máquina basándose en las instrucciones emitidas en la acción S111. La reparación u operación puede implicar cambiar un parámetro de la máquina. Por ejemplo, puede ajustarse la razón de aire/combustible o la velocidad de flujo de gas de un quemador según las instrucciones.

25 Cuando se realiza la reparación u operación, pueden adquirirse nuevos datos de sensor en la acción S101. Los nuevos datos de sensor pueden aplicarse al clasificador o modelo entrenado en la acción S103 y puede generarse un estado de funcionamiento actualizado de la máquina en la acción S105. Los criterios de salida (por ejemplo, que la máquina funcione en un estado de funcionamiento normal) pueden comprobarse en la acción S107 para verificar que la reparación u operación restauró el funcionamiento de la máquina. Si la reparación u operación no arregló suficientemente la máquina, puede realizarse otra iteración. En algunos casos, no se emiten nuevas instrucciones en la acción S111 después de la primera iteración. En otros casos, se emiten nuevas instrucciones en la acción S111. Por ejemplo, las instrucciones pueden avanzar por etapas a través de un árbol de fallos e identificar otros componentes para que un operario los compruebe, repare o ajuste.

30 La figura 3 ilustra un ejemplo de sistema para entrenar un clasificador y determinar el estado de una máquina. El sistema incluye un dispositivo 301 móvil en comunicación con un servidor 303. El dispositivo 301 móvil puede ser el dispositivo 101 móvil de la figura 1 o el dispositivo 401 móvil de la figura 4. El servidor 303 puede ser el ordenador 111 remoto. La comunicación puede atravesar una conexión de red tal como la red 109.

35 El dispositivo 301 móvil puede tener una interfaz 305 de sensor y una interfaz 307 de usuario. La interfaz 305 de sensor puede estar configurada para aceptar, requerir o recuperar datos 309 de sensor. Uno o más sensores 105 pueden generar los datos de sensor. Los datos 309 de sensor pueden ser una medida de una señal o propiedad de una máquina. En algunos casos, los datos 309 de sensor pueden incluir un identificador único de la máquina. En algunos otros casos, los datos 309 de sensor pueden generarse dentro del dispositivo 301 móvil, por ejemplo, como parte de un conjunto de sensor integrado comercial. La interfaz 305 de usuario puede aceptar la entrada de, y visualizar información para, un usuario u operario. La interfaz 305 de usuario puede estar configurada para aceptar etiquetas 311 de datos de sensor. Las etiquetas 311 pueden indicar un estado de funcionamiento de la máquina cuando se generaron los datos de sensor.

40 Durante el entrenamiento de un clasificador o modelo de aprendizaje automático, se adquieren datos 309 de sensor por la interfaz 305 de sensor. La interfaz de sensor puede comunicarse con los sensores. La interfaz 305 de sensor puede incluir amplificadores y otros componentes de conjunto de circuitos. La interfaz 305 de sensor puede incluir componentes de software. Los componentes de software pueden ser instrucciones que pueden ejecutarse por un procesador genérico o específico de aplicación para implementar la interfaz de sensor.

45 Un usuario (por ejemplo, un operario experto) puede etiquetar los datos 309 de sensor con la interfaz 307 de usuario. Por ejemplo, a cada elemento de datos 309 de sensor, o conjuntos de datos 309 de sensor, se le puede asignar una etiqueta 311 de datos por el operario experto. Las etiquetas 311 de datos de sensor pueden indicar un estado de funcionamiento de la máquina cuando se adquirieron los datos 309 de sensor. Por ejemplo, las etiquetas 311 de datos de sensor pueden indicar un estado de funcionamiento normal o anómalo de la máquina. En otro ejemplo, los datos 309 de sensor pueden indicar que la máquina necesita un servicio específico. Los datos 309 de sensor y las etiquetas 311 asociadas pueden transferirse al servidor 303.

50 El servidor 303 puede incluir un almacén 313 de datos y un nodo 319 de entrenamiento fuera de línea. El almacén 313 de datos puede incluir un almacén 315 de datos de sensor y un almacén 317 de modelo de aprendizaje automático. El almacén 313 de datos y el nodo 319 de entrenamiento fuera de línea pueden implementarse por un procesador acoplado a una memoria. Por ejemplo, el almacén 313 de datos puede almacenar la información para el almacén 315 de datos de sensor y el almacén 317 de modelo de aprendizaje automático. Un procesador del servidor

303 puede transferir datos dentro y fuera del almacén 313 de datos. En otro ejemplo, el nodo 319 de entrenamiento fuera de línea puede incluir instrucciones que pueden ejecutarse por un procesador genérico o específico de aplicación del servidor 303 para implementar el nodo 319 de entrenamiento fuera de línea.

5 Durante el entrenamiento, el almacén 313 de datos puede recibir los datos 309 de sensor y las etiquetas 311 asociadas. En algunos casos, el almacén 315 de datos de sensor puede almacenar los datos 309 de sensor y las etiquetas 311 asociadas. El servidor 303 puede implementar control de acceso para proteger los datos 309 de sensor almacenados, las etiquetas 311 y los clasificadores o modelos de aprendizaje automático. El control de acceso puede garantizar que sólo dispositivos móviles o usuarios autorizados puedan acceder al contenido almacenado en el servidor 303.

10 Con el fin de entrenar un clasificador o modelo de aprendizaje automático, el nodo 319 de entrenamiento fuera de línea puede recuperar un clasificador o modelo a partir del almacén 317 de modelo de aprendizaje automático y datos 309 de sensor y etiquetas 311 a partir del almacén 315 de datos de sensor. En algunos casos, el clasificador o modelo puede no estar entrenado.

15 El nodo 319 de entrenamiento fuera de línea entrena el clasificador o modelo aplicando pares de los datos 309 de sensor y la etiqueta 311 asociada. Aplicando los pares de datos 309 y etiquetas 311, el clasificador o modelo aprende a mapear un elemento introducido de datos 309 de sensor con una etiqueta 311 de salida de un estado de funcionamiento de la máquina. El nodo 319 de entrenamiento fuera de línea puede usar una o más técnicas para entrenar el clasificador o modelo de aprendizaje automático. Por ejemplo, el nodo 319 de entrenamiento fuera de línea puede usar un análisis de interdependencia mutua (MIA) o un modelo de mezcla gaussiana de múltiples variables (MGMM). En algunos casos, puede usarse MIA para procesar la entrada para el clasificador o modelo de aprendizaje automático. Por ejemplo, MIA puede extraer una representación óptima de los datos de sensor de entrada. Es decir, MIA extrae una representación común de muchas dimensiones a partir de un conjunto de representaciones de entrada tal como un conjunto de densidades espectrales de potencia a partir del modo de funcionamiento normal del dispositivo. En otros casos, puede usarse MGMM para procesar la entrada para el clasificador o modelo de aprendizaje automático. Por ejemplo, MGMM puede descomponer los datos de sensor de entrada para dar segmentos o parches, ajustar la entrada a un modelo y usar el modelo ajustado como entrada para el clasificador o modelo de aprendizaje automático. Otros modelos pueden incluir clasificadores de red neuronal profunda, clasificadores de bosque aleatorio o modelos temporales tales como redes neuronales recursivas o modelos ocultos de Márkov. Una vez entrenado, el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado puede transferirse al almacén 317 de modelo de aprendizaje automático.

20 El clasificador o modelo entrenado puede almacenarse con metainformación que describe el conjunto de datos de entrenamiento. En algunos casos, los metadatos incluyen un tipo, género, modelo o identificador único de la una o más máquinas que generaron la señal medida por los datos 309 de sensor. Esto puede permitir usar el clasificador o modelo entrenado con máquinas similares para generar estados de funcionamiento basándose en datos 309 de sensor y etiquetas 311 que no formaban parte del conjunto de entrenamiento. Usar un clasificador o modelo que se entrenó con datos a partir de una máquina que es similar a una segunda máquina que tiene que diagnosticarse o ajustarse puede aumentar la precisión de un estado de funcionamiento generado de la segunda máquina.

25 El clasificador o modelo entrenado se transfiere al dispositivo 301 móvil. El clasificador o modelo entrenado puede transferirse antes de diagnosticar o ajustar una máquina. Según la invención tal como se reivindica, el registro de los datos 309 de sensor y las etiquetas 311 (por ejemplo, y el identificador único) se realiza en el dispositivo 301 móvil, el entrenamiento se realiza de manera remota por el servidor 303, y la determinación del estado de funcionamiento de la máquina se realiza en el dispositivo 301 móvil sin ninguna transferencia de datos adicional (sin una conexión entre el dispositivo 301 móvil y el servidor 303). En el dispositivo 301 móvil, el clasificador o modelo entrenado pueden usarse para determinar un estado de funcionamiento de otra máquina. Dado que el clasificador o modelo entrenado se almacena de manera local en el dispositivo 301 móvil, el estado de funcionamiento de otra máquina se genera en tiempo real sin comunicación adicional con el servidor 303. Cuando el dispositivo 301 móvil se conecta y desconecta del servidor 303, el uno o más clasificadores o modelos entrenados almacenados en el mismo pueden actualizarse periódicamente o pueden añadirse nuevos clasificadores o modelos entrenados.

30 En un ejemplo, para generar un estado de funcionamiento de una máquina, un usuario puede introducir un tipo, marca o modelo de la máquina que va a diagnosticarse o ajustarse. El dispositivo 301 móvil puede determinar si está disponible o no un clasificador o modelo entrenado para el tipo o género particular de máquina basándose en la entrada. Cuando está disponible el clasificador o modelo entrenado para la máquina, el dispositivo 301 móvil puede cargar el clasificador o modelo entrenado. En algunos casos, cuando está disponible un clasificador o modelo entrenado para la máquina particular, pero el clasificador o modelo entrenado no está almacenado en el dispositivo 301 móvil sino en el almacén 317 de modelo de aprendizaje automático, el dispositivo 301 móvil puede pedir y descargar el clasificador o modelo entrenado apropiado. Con el clasificador o modelo entrenado cargado, el operario puede empezar el diagnóstico o ajuste de la máquina. El sensor del dispositivo 301 móvil puede generar datos 309 de sensor basándose en el funcionamiento de la máquina. El dispositivo 301 móvil introduce los datos 309 de sensor en el clasificador o modelo obtenido por aprendizaje automático cargado. La salida del clasificador o modelo entrenado es una etiqueta de un estado de funcionamiento de la máquina correspondiente a las etiquetas evaluadas

por el experto durante el procedimiento de entrenamiento del clasificador o modelo. De manera adicional o alternativa, puede emitirse un indicador de adecuación que representa la similitud de los datos 309 de sensor con el estado de funcionamiento normal o estado ajustado de manera óptima de la máquina. El parámetro de adecuación puede representarse, por ejemplo, como un ajuste en porcentaje. Durante el diagnóstico o ajuste en tiempo real de una máquina, el dispositivo 301 móvil puede realizar la determinación del estado de funcionamiento sin una conexión con el servidor 303. La determinación de estados de funcionamiento sin una conexión con el servidor (o, por ejemplo, Internet) puede ser posible porque los datos 309 de sensor de entrada y la etiqueta 311 asociada se codifican en el clasificador o modelo entrenado que se cargó en el dispositivo 301 móvil antes del diagnóstico o ajuste.

La figura 4 ilustra un ejemplo del dispositivo 401 móvil. El dispositivo 401 móvil incluye un procesador 403 en conexión con una interfaz 405 de red, un sensor 407, una memoria 409, una interfaz 411 de usuario y un conjunto 413 de circuitos de posición. El dispositivo 401 móvil puede carecer del conjunto 413 de circuitos de posición.

El dispositivo 401 móvil puede ser un teléfono celular, teléfono inteligente, ordenador móvil u otro dispositivo informático móvil o portátil. El dispositivo 401 móvil puede ser reconfigurable. Por ejemplo, puede cargarse una aplicación en el dispositivo 401 móvil que realiza el diagnóstico o ajuste de una máquina (por ejemplo, el método de la figura 2).

El procesador 403 puede ejecutar instrucciones e implementar aplicaciones. El procesador 403 puede ser un procesador general o específico de aplicación. El procesador 403 puede estar acoplado a la memoria 409. El procesador 403 puede estar configurado para comparar un estado de funcionamiento de la máquina con un estado de funcionamiento alterado, deseado o normal de la máquina. Por ejemplo, durante el ajuste, el procesador 403 puede comparar el estado de funcionamiento actual de la máquina con un estado alterado o normal de la máquina para determinar si la máquina está funcionando en el estado alterado o normal o no y, en última instancia, si puede realizarse o no otra iteración del procedimiento de ajuste.

El procesador 403 está configurado para recuperar un clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado con el rendimiento histórico de la máquina. El rendimiento histórico puede incluir señales anteriores de la máquina. El procesador 403 está configurado para aplicar una señal actualmente medida de la máquina al clasificador o modelo entrenado con el registro histórico para la máquina. La aplicación puede generar un indicador de adecuación que indica una similitud o diferencia entre la señal o el estado de funcionamiento actual de la máquina y una señal o un estado de funcionamiento históricos de la máquina en funcionamiento normal o ajustado. De esta manera, un cambio en el parámetro de adecuación puede indicar que puede ser probable que se produzca una avería de la máquina o que la máquina está desajustada. Por ejemplo, cuando una vibración de la máquina ha aumentado a lo largo del tiempo según el registro histórico, una tendencia de parámetros de adecuación decrecientes puede indicar que es probable que se averíe la máquina. El valor real de la señal de vibración todavía puede clasificarse como comportamiento normal por el clasificador o modelo entrenado mientras que la tendencia o cantidad de cambio en el parámetro de adecuación, a lo largo del tiempo, puede indicar que puede producirse un fallo.

La interfaz 405 de red puede permitir la comunicación entre el dispositivo 401 móvil y recursos en la red tales como servidores, ordenadores remotos u ordenadores en la nube. La interfaz de red puede incluir puertos para conectarse a la red, amplificadores de señales, convertidores de digital a analógico y convertidores de analógico a digital. De manera adicional o alternativa, la interfaz 405 de red puede incluir instrucciones ejecutables por el procesador 403 para implementar la interfaz 405 de red. Las instrucciones pueden estar almacenadas en la memoria 409. En algunos casos, la interfaz 405 de red puede facilitar comunicaciones entre el dispositivo 401 móvil y un servidor (por ejemplo, el ordenador 111 remoto). La interfaz de red puede estar en comunicación con la red 109. La interfaz 405 de red puede facilitar la transmisión de las señales de máquina y etiquetas asociadas al servidor durante el entrenamiento de la red neuronal. El servidor puede enviar el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado al dispositivo 401 móvil a través de la interfaz 405 de red.

El sensor 407 está configurado para medir una señal o una propiedad de una máquina. El sensor 407 puede formar parte del, o ser remoto con respecto al, dispositivo 401 móvil y el procesador 403. Por ejemplo, la conexión entre el sensor 407 y el procesador 403 puede ser cableada, inalámbrica o una combinación de cableada e inalámbrica. El sensor 407 puede estar configurado para tomar medidas sucesivas de la máquina. Por ejemplo, cuando está ajustándose la máquina, el sensor 407 puede registrar o medir una señal o propiedad de la máquina en cada iteración del procedimiento de ajuste. El sensor 407 puede tomar la medida antes o después de haberse ajustado un parámetro de la máquina. Cuando el procedimiento de ajuste no ha dado como resultado un estado de funcionamiento deseado o normal de la máquina, el sensor 407 puede tomar una segunda, tercera o más medidas.

La memoria 409 puede estar acoplada con el procesador 403. La memoria 409 puede almacenar instrucciones y un clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado. El clasificador o modelo entrenado se almacena en la memoria 409 y está configurado para mapear una entrada a una salida. Por ejemplo, el clasificador o modelo entrenado puede entrenarse para tomar como entrada una señal o medida registrada por el sensor 407 y para emitir un estado de funcionamiento asociado de la máquina. El clasificador o modelo de aprendizaje automático se entrena basándose en una pluralidad de señales o propiedades de máquina y estados de funcionamiento asociados de la

máquina (por ejemplo, tal como se evalúa por un operario experto). En un procedimiento de ajuste, el clasificador o modelo entrenado puede estar configurado para generar estados de funcionamiento adicionales basándose en la señal actualizada registrada por el sensor 407.

5 Las instrucciones almacenadas por la memoria 409 pueden almacenarse u organizarse en una biblioteca de instrucciones. La biblioteca de instrucciones puede contener instrucciones para la transición de la máquina desde un estado de funcionamiento actual (por ejemplo, un estado anómalo) hasta uno alterado (por ejemplo, normal). Por ejemplo, la biblioteca de instrucciones puede contener manuales, instrucciones u otros documentos en información para ayudar a un operario en la reparación o el ajuste de la máquina. Las instrucciones pueden estar vinculadas a clases, géneros, tipos o modelos definidos de máquinas. De manera adicional o alternativa, las instrucciones en la biblioteca pueden estar vinculadas o asociadas con un identificador único de la máquina.

15 La interfaz 411 de usuario puede estar configurada para aceptar entrada de usuario y visualizar información. Por ejemplo, la interfaz de usuario puede incluir uno o más de un teclado, un elemento de visualización y una pantalla táctil. La interfaz 411 de usuario puede estar configurada para visualizar o emitir el estado de funcionamiento de la máquina. Por ejemplo, la interfaz de usuario puede visualizar una alarma cuando el estado de funcionamiento de la máquina es anómalo o se desvía de señales y estados históricos de la máquina tal como se indica por un indicador de adecuación. De manera adicional o alternativa, la interfaz 411 de usuario puede estar configurada para visualizar instrucciones para cambiar el estado de la máquina. Por ejemplo, la interfaz de usuario puede visualizar un manual con instrucciones para ayudar a un operario en la reparación o el ajuste de la máquina.

20 El conjunto 413 de circuitos de posición puede estar configurado para determinar una posición del dispositivo 401 móvil. El conjunto de circuitos de posición puede incluir amplificadores, correlacionadores, un reloj u otros componentes. El conjunto 413 de circuitos de posición puede estar en comunicación con un sistema de satélite de navegación global (GNSS) para el posicionamiento. Por ejemplo, el conjunto 413 de circuitos de posición puede comunicarse con uno o más satélites de sistema de posicionamiento global (GPS) para determinar la posición del dispositivo 401 móvil. La posición del dispositivo 401 móvil puede usarse como identificador único de la máquina. Por ejemplo, cuando el dispositivo 401 móvil está en la proximidad de la máquina, la ubicación del dispositivo 401 móvil puede estar cerca de la ubicación de la máquina, y puede usarse la ubicación del dispositivo móvil para determinar la máquina específica (por ejemplo, en comparación con una máquina similar en una ubicación diferente).

35 La figura 5 ilustra un ejemplo de técnica para entrenar un clasificador o modelo de aprendizaje automático. Según la invención tal como se reivindica, el clasificador se entrena por un servidor remoto con respecto a un dispositivo móvil. Por ejemplo, el servidor 111 de la figura 1 puede realizar las acciones para entrenar el clasificador o modelo de aprendizaje automático.

40 En la acción S201, un procesador recibe una pluralidad de señales de máquina. En algunos casos, el procesador puede ser un procesador del servidor 111. Las señales de máquina pueden generarse por un sensor y enviarse al procesador por un dispositivo móvil en comunicación con el sensor. Las señales de máquina pueden representar medidas tomadas por un sensor de señales generadas por una máquina durante el funcionamiento. Por ejemplo, las señales pueden ser medidas de sonidos, vibraciones, campos magnéticos, temperaturas o imágenes de una o más máquinas.

45 En la acción S203, las señales de máquina se almacenan con etiquetas asociadas. Las señales y etiquetas asociadas pueden almacenarse en una memoria acoplada con el procesador. Las etiquetas pueden evaluarse para cada señal por un operario. Por ejemplo, un operario experto puede etiquetar una señal de máquina como que está asociada con un estado de funcionamiento de la máquina. La etiqueta puede indicar que una señal está asociada con un estado de funcionamiento normal o un estado en el que la máquina necesita servicio (por ejemplo, un estado anómalo). La etiqueta puede indicar un servicio particular o específico que va a realizarse en la máquina. Por ejemplo, la etiqueta puede indicar que la máquina está en un estado de funcionamiento anómalo y necesita someter a servicio una pieza específica para restaurar el funcionamiento normal.

55 Las etiquetas para las señales pueden recibirse con las señales en la acción S201. En algunos casos, el operario puede etiquetar las señales en un dispositivo móvil (por ejemplo, el dispositivo móvil que está en comunicación con los sensores que midieron la señal) y el dispositivo móvil puede transferir las señales y las etiquetas al procesador. De manera adicional o alternativa, las etiquetas pueden añadirse desde una ubicación o un dispositivo diferente o recibirse por el procesador en un momento anterior o posterior a cuando se reciben las señales de máquina.

60 Las señales y etiquetas pueden almacenarse con metainformación. La metainformación puede incluir un identificador único de la máquina que generó las señales. Incluyendo los metadatos con las señales de máquina y etiquetas, el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado con las señales y etiquetas puede asociarse con (o adaptarse para) un género, tipo, categoría o modelo de máquina, o con la máquina específica que produjo las señales.

65 En la acción S205, el procesador entrena el clasificador o modelo de aprendizaje automático con aprendizaje

automático basándose en la pluralidad de señales de máquina almacenadas y estados de funcionamiento asociados. El procesador puede entrenar el clasificador o modelo aplicando pares de entradas y salidas. Por ejemplo, el clasificador o modelo de aprendizaje automático puede aprender a aceptar como entrada una señal de máquina y producir como salida el estado de funcionamiento etiquetado asociado con la señal de máquina. El clasificador o modelo entrenado puede mapear las señales de máquina a los estados de funcionamiento etiquetados de la máquina. Entrenar el clasificador o modelo con múltiples pares de señales y estados de funcionamiento etiquetados puede aumentar la precisión del clasificador o modelo en la predicción de un estado de funcionamiento correcto.

Una vez entrenados, el clasificador o modelo de aprendizaje automático puede recibir como entrada una señal de máquina no observada y producir o generar como salida un estado de funcionamiento de la máquina. Por ejemplo, una señal de máquina a partir de la misma máquina o una diferente que no formaba parte de las señales de máquina usadas en el entrenamiento puede aplicarse por un procesador al clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado. El clasificador o modelo entrenado puede emitir un estado de funcionamiento de la máquina asociada con la señal de máquina de entrada basándose en las señales y los estados de funcionamiento etiquetados usados para el entrenamiento.

La figura 6 ilustra un ejemplo de técnica para determinar el estado de funcionamiento de una máquina. Pueden proporcionarse acciones adicionales, diferentes o menos acciones. Por ejemplo, las acciones S315 y S317 pueden omitirse. Las acciones pueden realizarse en cualquier orden. Por ejemplo, la acción S319 puede realizarse antes que la acción S317. La técnica puede ser iterativa de tal manera que determinadas acciones pueden repetirse. Por ejemplo, las acciones S301, S307a, S307b y S309 pueden repetirse para cada iteración. Ajustar la máquina puede requerir múltiples iteraciones de acciones.

Las acciones pueden realizarse por un procesador acoplado a una memoria. Las acciones pueden comprender instrucciones almacenadas en memoria que, cuando se ejecutan, hacen que el procesador lleve a cabo las acciones. Según la invención tal como se reivindica, el dispositivo 101 móvil tiene un procesador con memoria acoplada al mismo configurado para realizar las acciones.

En la acción S301, se mide una señal de una máquina por un dispositivo móvil. La señal puede ser una señal producida por la máquina durante el funcionamiento. Por ejemplo, la señal puede ser un sonido, una vibración, un campo magnético, una temperatura de la máquina que se mide. De manera adicional o alternativa, la señal puede ser una imagen en el espectro visible, acústico, infrarrojo u otro espectro de luz de la máquina. La señal puede producirse a partir de la totalidad o una parte de la máquina. La señal puede medirse por un sensor del dispositivo móvil o un sensor en comunicación con el dispositivo móvil. Por ejemplo, la señal puede medirse por un micrófono, un acelerómetro, un magnetómetro, un termómetro, un dispositivo de obtención de imágenes térmico o una cámara que forma parte del, o es externa al, dispositivo móvil.

En la acción S303a, puede identificarse un tipo de la máquina. Por ejemplo, cuando la máquina es un motor, un tipo del motor puede ser con escobillas o sin escobillas, de corriente continua o alterna, o de potencia bifásica o trifásica. El tipo también puede incluir un modelo, fabricante u otra información sobre la máquina.

En la acción S303b, se escanea un identificador único de la máquina. El dispositivo móvil o un sensor en comunicación con el dispositivo móvil puede escanear el código. El identificador único puede indicar el tipo de máquina como en la acción S303a. Por ejemplo, el identificador único puede ser un número de modelo o número de serie de la máquina. El dispositivo móvil puede usar el identificador único para consultar más información sobre la máquina. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede usar el identificador único para consultar una entrada en una tabla que tiene información sobre la máquina y sobre clasificadores o modelos de aprendizaje automático entrenados adecuados o adaptados para usarse con la máquina. En algunos casos, el identificador único puede estar codificado. Por ejemplo, el identificador único puede ser un código de barras, código QR u otra codificación. El dispositivo móvil puede escanear el código de barras o QR con una cámara u otro sensor para decodificar el identificador único. De manera adicional o alternativa, el identificador único puede ser una posición de la máquina. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede usar la ubicación de la máquina (o una ubicación del dispositivo móvil en proximidad de la máquina) para consultar una entrada en una tabla con información almacenada para la ubicación o la máquina.

En la acción S305, se selecciona un modelo de aprendizaje automático o clasificador obtenido por aprendizaje automático. El dispositivo móvil almacena una pluralidad de clasificadores o modelos entrenados que están adaptados para una o más máquinas. El dispositivo móvil puede seleccionar un clasificador o modelo entrenado a partir de la pluralidad que está adaptado para determinar un estado de funcionamiento de la máquina que está diagnosticándose o ajustándose. Puede considerarse que un clasificador o modelo entrenado está adaptado para una máquina cuando el clasificador o modelo se entrenó basándose en señales de entrenamiento medidas a partir de máquinas que son del mismo tipo, género, clase o modelo de la máquina que está diagnosticándose o ajustándose. En algunos casos, el modelo o clasificador adaptado puede entrenarse basándose en señales que se produjeron por la máquina particular que está diagnosticándose o ajustándose.

En la acción S307a, se aplica la señal medida de la máquina por el procesador al clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado. El clasificador o modelo entrenado es el clasificador o modelo adaptado seleccionado en la acción S305. La señal medida puede formar la entrada para el clasificador o modelo entrenado.

5 En la acción S307b, se genera el estado de funcionamiento de la máquina por el procesador. El estado de funcionamiento puede ser la salida del clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado basándose en la señal de entrada de la máquina. El estado de funcionamiento puede indicar que la máquina está funcionando en una condición de funcionamiento normal o que la máquina necesita servicio. De manera adicional o alternativa, puede generarse un indicador de adecuación que ilustra la similitud del registro actual con la validación en el terreno, por ejemplo, un estado de funcionamiento normal o bien ajustado de la máquina, usada para el entrenamiento. El indicador de adecuación puede ilustrarse como un ajuste en percentil con respecto a la validación en el terreno. Además, puede visualizarse una representación de datos en tiempo real, tal como una densidad espectral de potencia, permitiendo que un operario realice una interpretación visual de la señal actual a partir de la máquina.

15 En la acción S309, se emite el estado de funcionamiento de la máquina. En algunos casos, el estado de funcionamiento de la máquina puede emitirse a una interfaz de usuario de un dispositivo móvil. Por ejemplo, el estado de funcionamiento puede visualizarse en un elemento de visualización del dispositivo móvil. De manera adicional o alternativa, el estado de funcionamiento puede enviarse a otro dispositivo u ordenador. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede enviar el estado de funcionamiento a un ordenador remoto o a otro dispositivo móvil. Enviando el estado de funcionamiento a otros dispositivos, un operario puede recibir comentarios a partir de otros operarios sobre la máquina y el estado de funcionamiento.

25 En la acción S311a, el dispositivo móvil puede generar o recuperar instrucciones. La instrucción puede contener información sobre el cambio de un estado de la máquina. En algunos casos, las instrucciones contendrán información sobre la transición desde el estado actual de la máquina hasta un estado alterado (por ejemplo, un estado de funcionamiento normal de la máquina). Por ejemplo, las instrucciones pueden contener indicaciones para corregir un fallo en la máquina. Las instrucciones pueden describir parámetros a cambiar para realizar la transición al estado alterado de la máquina. Por ejemplo, las instrucciones pueden indicar al operario que sustituya un cojinete de un motor, ajuste una razón de aire/combustible de un quemador o apriete un perno de montaje de la máquina. La instrucción puede contener una lista de herramientas para implementar la transición.

35 El dispositivo móvil puede tener una biblioteca de instrucciones almacenada en memoria. El dispositivo móvil puede recuperar las instrucciones a partir del almacenamiento basándose en el identificador único de la máquina, el estado de funcionamiento de la máquina o ambos. El dispositivo móvil puede generar una instrucción modificando las instrucciones almacenadas.

40 En la acción S311b, se emiten las instrucciones por el dispositivo móvil. En algunos casos, el dispositivo móvil puede visualizar las instrucciones con la interfaz de usuario. Por ejemplo, las instrucciones pueden visualizarse en un elemento de visualización del dispositivo móvil. En otros casos, las instrucciones se envían a otro dispositivo. De manera adicional o alternativa, las instrucciones pueden sintetizarse acústicamente. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede leer las instrucciones para el operario en voz alta para un funcionamiento en manos libres o reparaciones/ajustes que requieren una ubicación de operario diferente del dispositivo móvil que realiza la clasificación en tiempo real del funcionamiento de la máquina.

45 Cuando se desea un diagnóstico o ajuste iterativo de la máquina, el procedimiento puede repetir una o más acciones. Por ejemplo, después de una o más de las acciones S309, S311a, S311b o S313, puede medirse una segunda señal de máquina en la acción S301. La segunda señal de máquina puede aplicarse al clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado en las acciones S307a y S307b para generar un segundo estado de funcionamiento de la máquina. En algunos casos, un operario puede ajustar un parámetro de la máquina o intentar una reparación de la máquina antes de medirse la segunda señal de la máquina.

55 En la acción S313, se compara el segundo estado de funcionamiento de la máquina con el estado alterado. Esta comparación puede comprobar si el ajuste o mantenimiento realizado por el operario ha provocado o no que la máquina pase al estado de funcionamiento alterado, deseado o normal. Cuando el segundo estado no corresponde al estado alterado (por ejemplo, cuando la máquina no ha pasado a un estado de funcionamiento normal), puede realizarse otra iteración. Por ejemplo, cuando el segundo estado de funcionamiento no corresponde al estado alterado, puede medirse una tercera señal de la máquina en la acción S301. El operario puede intentar un ajuste o una reparación adicional antes de medirse la tercera señal.

60 En la acción S315, se compara un valor del indicador de adecuación con un umbral. La comparación puede establecer una desviación con respecto a una máquina normal o ajustada usada para entrenar el clasificador o modelo. Por ejemplo, cuando se ajusta la máquina, puede establecerse un valor de umbral al 90%. Cuando el parámetro de adecuación está en o por encima de un valor del 90%, el parámetro de adecuación puede indicar que la máquina está ajustada. Un valor de adecuación de menos del 90% puede indicar que la máquina está desajustada.

65

5 En la acción S317, el procesador puede emitir una alerta basándose en la comparación. En algunos casos, la alerta puede advertir sobre un fallo de máquina inminente o un estado de funcionamiento anómalo de la máquina. En otros casos, la alerta puede indicar que la máquina está ajustada o desajustada. La alerta puede indicar un cambio, una diferencia, una similitud o la discrepancia de la señal medida. La alerta puede emitirse cuando la discrepancia está por encima de, por debajo de o en un valor de umbral. Por ejemplo, la alerta puede emitirse cuando la señal medida es mayor que una cantidad de umbral más intensa que una señal anterior de la máquina (por ejemplo, cuando la máquina está produciendo un ruido que es más alto que un ruido de la máquina usada para entrenar el clasificador o modelo de aprendizaje automático). En otro ejemplo, la alerta puede emitirse cuando un valor del indicador de adecuación es mayor que un valor de umbral, indicando que la máquina ha alcanzado un estado de funcionamiento ajustado o históricamente normal. En un ejemplo adicional, la alerta puede emitirse cuando el indicador de adecuación es menor que un valor de umbral, indicando que la máquina está desajustada o requiere ajuste. La alerta puede emitirse a través de una interfaz de usuario del dispositivo móvil. Por ejemplo, un elemento de visualización del dispositivo móvil puede emitir la alerta. De manera adicional o alternativa, la alerta puede enviarse a otro dispositivo. Por ejemplo, la alerta puede transferirse a otro dispositivo móvil o a un servidor remoto. La alerta puede notificar al operario o a otros operarios sobre una condición de la máquina.

20 En la acción S319, el procesador envía la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina a un ordenador remoto. Por ejemplo, el dispositivo móvil puede enviar la señal y el estado de funcionamiento (o únicamente la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina) al servidor 303.

25 En la acción S321, el procesador recibe un modelo de aprendizaje automático o clasificador obtenido por aprendizaje automático entrenado. En algunos casos, el ordenador remoto puede volver a entrenar el clasificador o modelo o entrenar un nuevo clasificador o modelo con la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina. El ordenador remoto puede enviar el clasificador o modelo de aprendizaje automático entrenado con la señal medida actualizada, el estado de funcionamiento, al dispositivo móvil.

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar un estado de funcionamiento de una máquina (103), comprendiendo el método:
- 5 medir, con un dispositivo (101, 301, 401) móvil, una señal de la máquina (103);
- identificar, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, un tipo de la máquina (103);
- 10 seleccionar, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, un clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado a partir de una pluralidad de clasificadores obtenidos por aprendizaje automático almacenados de manera local en el dispositivo (101, 301, 401) móvil, basándose en el tipo de la máquina (103);
- 15 aplicar (S103), por un procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, la señal medida al clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado obtenido por aprendizaje con una pluralidad de señales de máquina y estados de funcionamiento asociados;
- 20 generar (S105), por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, el estado de funcionamiento de la máquina (103) basándose en la aplicación de la señal medida al clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado sin una conexión a un ordenador remoto;
- emitir, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, el estado de funcionamiento de la máquina (103);
- 25 enviar, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina al ordenador remoto; y
- 30 recibir, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, un clasificador obtenido por aprendizaje automático actualizado entrenado en el ordenador remoto con la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina (103),
- 35 en el que el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil realiza la aplicación y generación en tiempo real.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la señal se mide por un micrófono, un acelerómetro, un magnetómetro, un termómetro, un dispositivo de obtención de imágenes térmico o una cámara del dispositivo (101, 301, 401) móvil.
3. Método según la reivindicación 1, en el que la señal comprende una medida de sonido, una medida de vibración, una medida de campo magnético, una medida de temperatura o una imagen de la máquina (103).
- 40 4. Método según la reivindicación 1, que comprende además:
- generar, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, una o más instrucciones para la transición del estado de funcionamiento de la máquina (103) a un estado alterado; y
- 45 emitir, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, la una o más instrucciones.
5. Método según la reivindicación 4, que comprende además:
- 50 medir, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, una segunda señal de la máquina (103);
- aplicar, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, la segunda señal al clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado;
- 55 generar, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, un segundo estado de funcionamiento de la máquina basándose en la aplicación de la segunda señal al clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado;
- 60 comparar, por el dispositivo (101, 301, 401) móvil, el segundo estado de funcionamiento con el estado alterado; y
- medir, con el dispositivo (101, 301, 401) móvil, una tercera señal de la máquina cuando el segundo estado de funcionamiento no corresponde al estado alterado, en el que el estado alterado es un estado de funcionamiento normal de la máquina (103).
- 65 6. Método según la reivindicación 1, en el que se usa una posición del dispositivo (101, 301, 401) móvil determinada por un conjunto (413) de circuitos de posición del dispositivo (101, 301, 401) móvil como

identificador único de la máquina (103).

7. Método según la reivindicación 1, que comprende además:

5 comparar, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, un indicador de adecuación que indica una similitud o diferencia entre la señal de la máquina (103) y una señal histórica de la máquina (103) con respecto a un valor de umbral, y

10 emitir, por el procesador del dispositivo (101, 301, 401) móvil, una alerta basándose en el indicador de adecuación cuando el indicador de adecuación está por encima del valor de umbral.

8. Dispositivo (101, 301, 401) móvil para determinar un estado de funcionamiento de una máquina (103), comprendiendo el dispositivo (101, 301, 401) móvil:

15 un sensor (407) configurado para medir una señal de la máquina (103);

20 un procesador (403) configurado para identificar un tipo de la máquina (103), seleccionar un clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado a partir de una pluralidad de clasificadores obtenidos por aprendizaje automático almacenados de manera local en el dispositivo (101, 301, 401) móvil, basándose en el tipo de la máquina (103), y generar el estado de funcionamiento de la máquina (103) basándose en la aplicación de la señal medida al clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado sin una conexión a un ordenador remoto;

25 una memoria (409) que tiene almacenado en la misma el clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado, obteniéndose por aprendizaje el clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado con una pluralidad de señales de máquina y estados de funcionamiento asociados; y

una interfaz (411) de usuario configurada para emitir el estado de funcionamiento de la máquina (103),

30 en el que el procesador (403) está configurado además para enviar la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina al ordenador remoto; y recibir un clasificador obtenido por aprendizaje automático actualizado entrenado en el ordenador remoto con la señal medida y el estado de funcionamiento de la máquina (103),

35 en el que el procesador (403) está configurado para generar el estado de funcionamiento de la máquina (103) en tiempo real.

9. Dispositivo (101, 301, 401) móvil según la reivindicación 8, que comprende además:

40 una biblioteca de instrucciones configurada para proporcionar una o más instrucciones para la transición del estado de funcionamiento de la máquina (103) a un estado alterado, en el que la interfaz de usuario está configurada además para emitir la una o más instrucciones.

45 10. Dispositivo (101, 301, 401) móvil según la reivindicación 9,

en el que el sensor (407) está configurado además para medir una segunda señal de la máquina (103),

50 en el que el clasificador obtenido por aprendizaje automático adaptado está configurado además para generar un segundo estado de funcionamiento de la máquina (103) basándose en la segunda señal,

en el que el estado alterado es un estado de funcionamiento normal de la máquina (103), y

55 en el que el procesador está configurado para comparar el segundo estado de funcionamiento con el estado alterado.

11. Dispositivo (101, 301, 401) móvil según la reivindicación 8, que comprende además:

60 un conjunto (413) de circuitos de posición configurado para determinar una posición del dispositivo (101, 301, 401) móvil, usándose la posición del dispositivo (101, 301, 401) móvil como identificador único de la máquina (103).

12. Dispositivo (101, 301, 401) móvil según la reivindicación 8,

65 en el que el procesador (403) está configurado para comparar un indicador de adecuación que indica una similitud o diferencia entre la señal de la máquina (103) y una señal histórica de la máquina (103) con un umbral, y

en el que la interfaz (411) de usuario está configurada para emitir una alerta basándose en la comparación.

FIG. 1

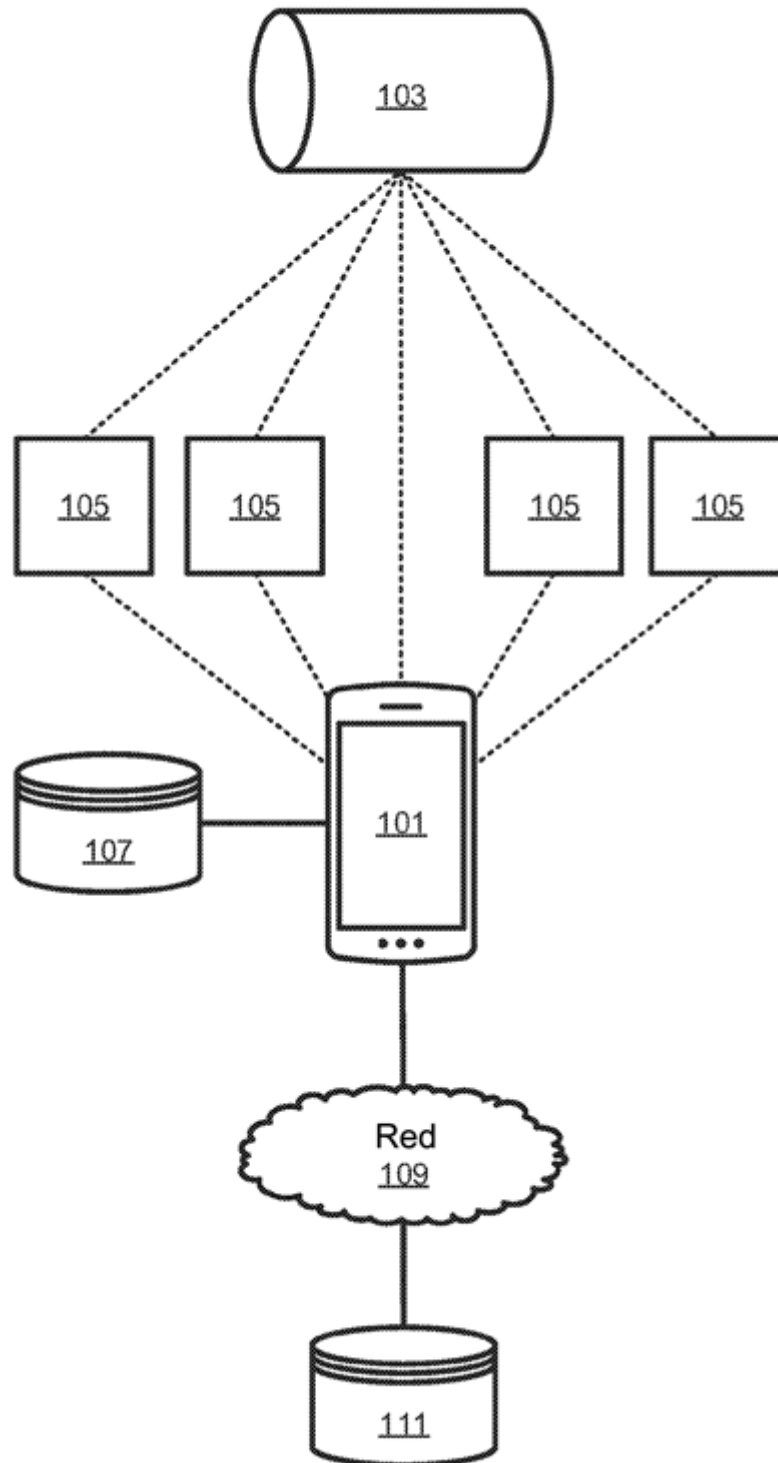


FIG. 2

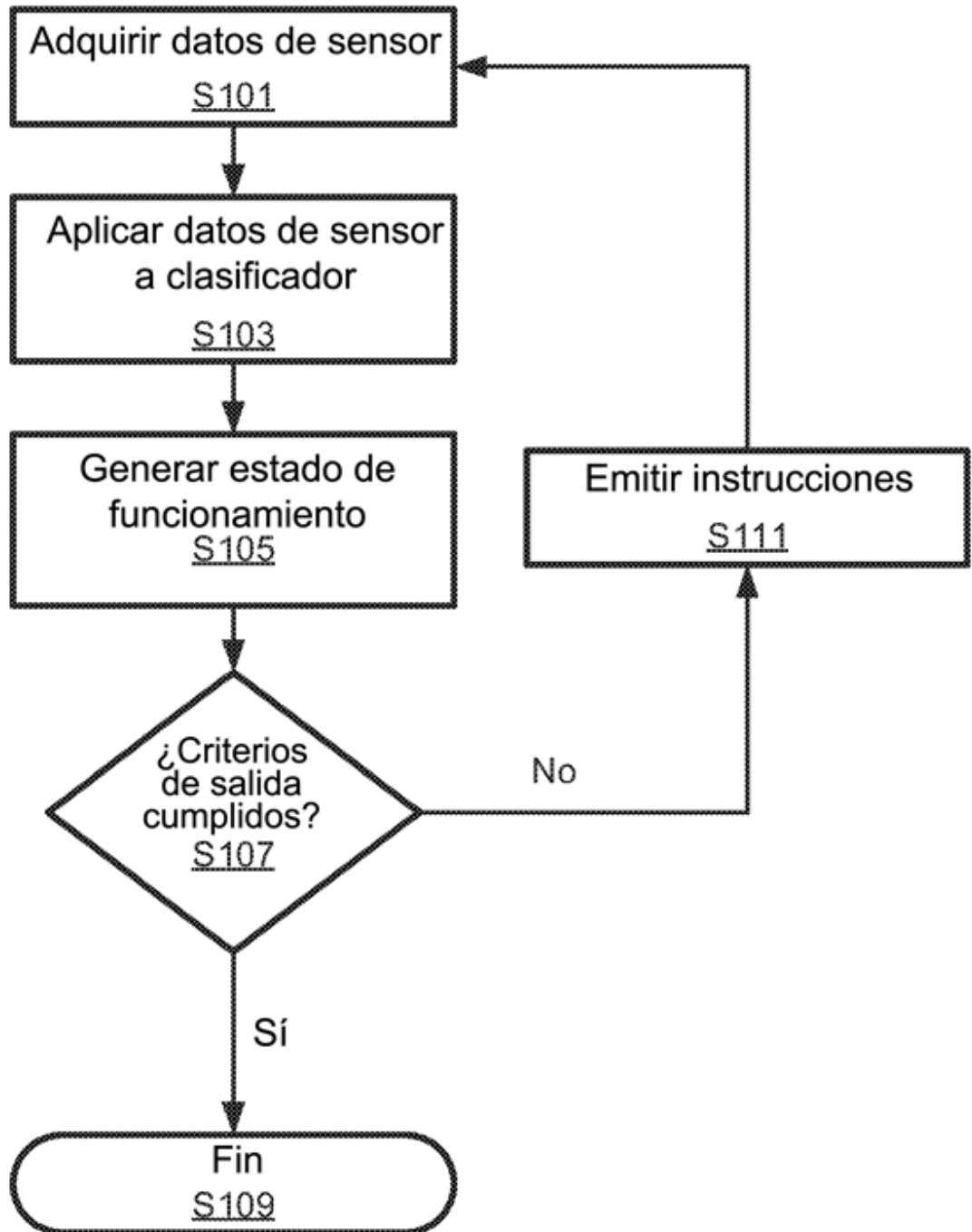


FIG. 3

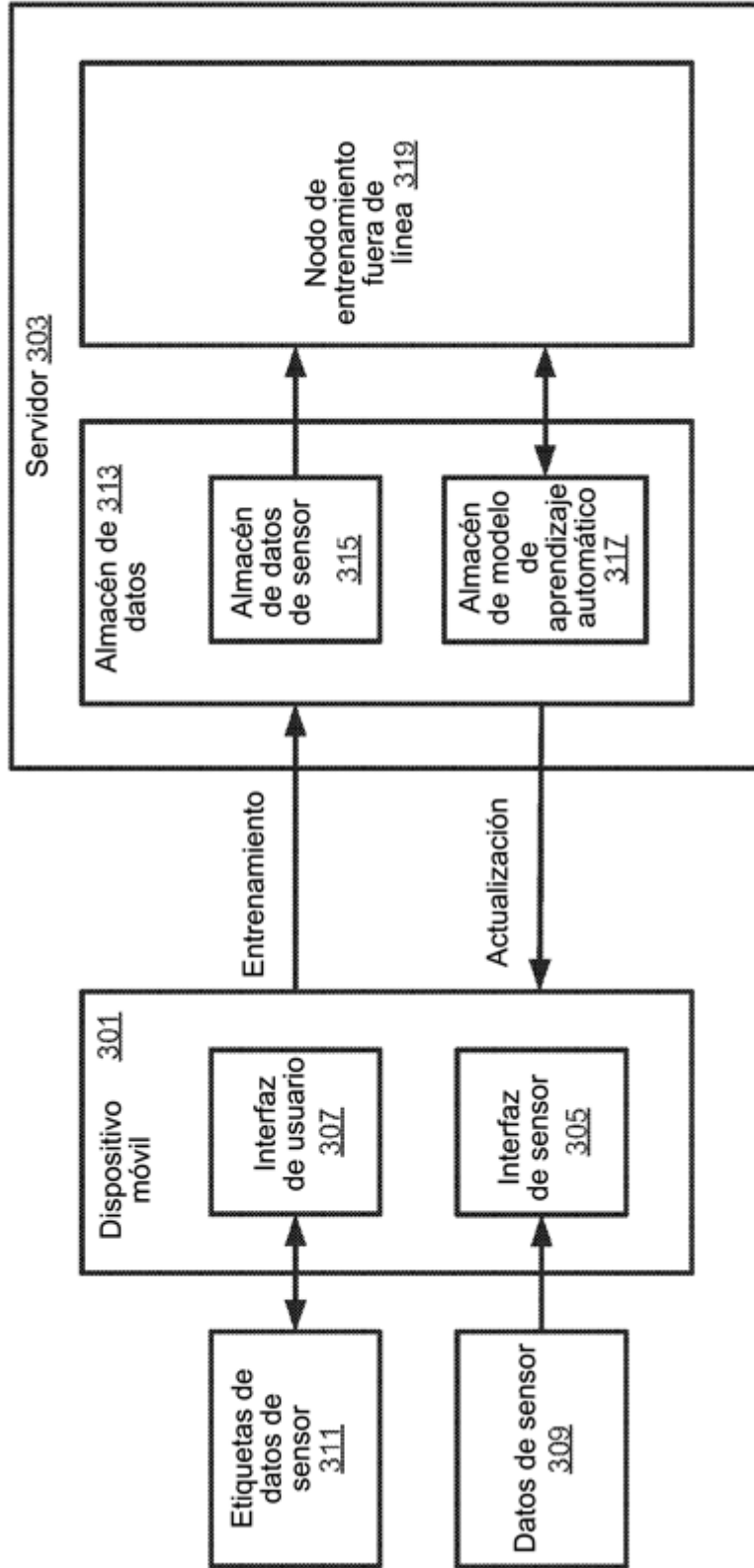


FIG. 4

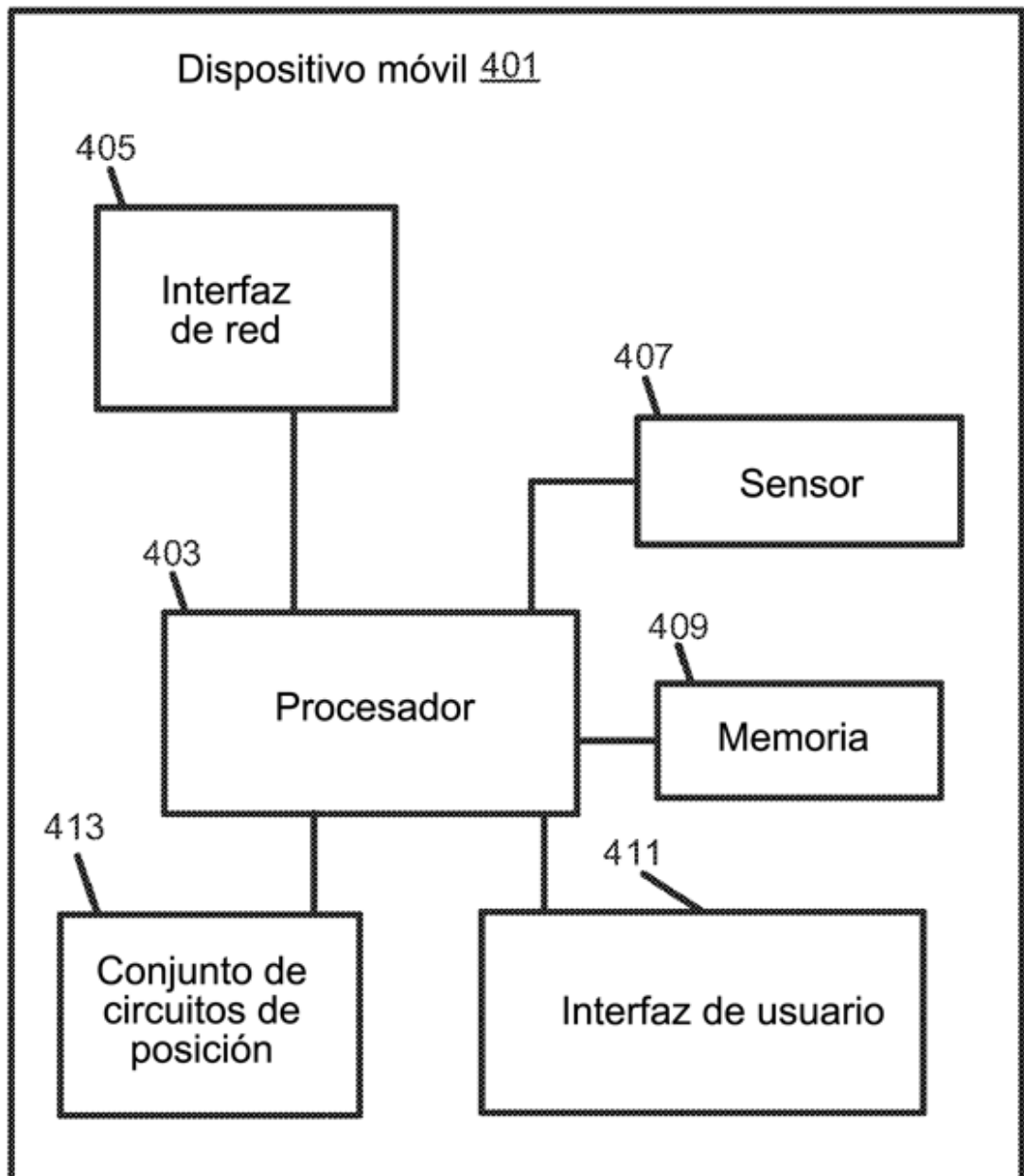


FIG. 5

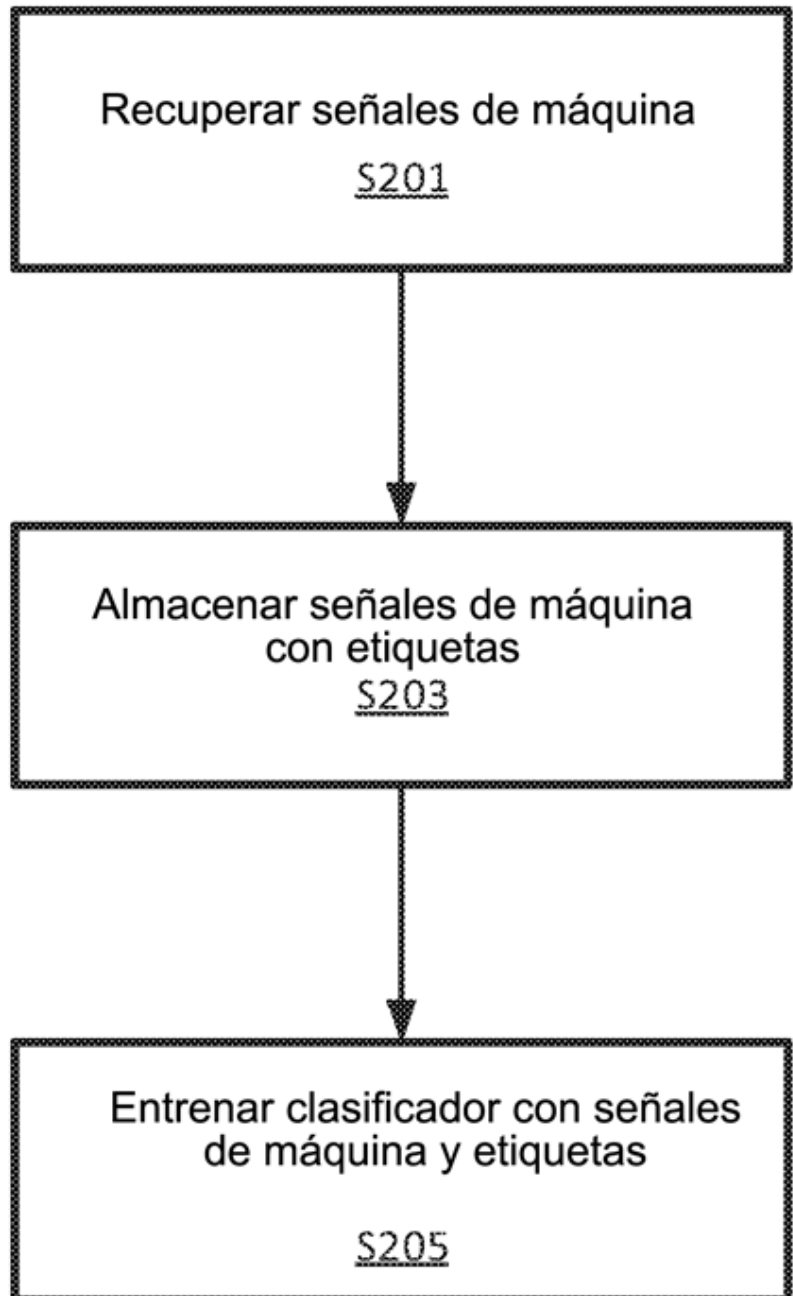


FIG. 6

