

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 986**

51 Int. Cl.:

B61L 27/50 (2012.01)

B61L 27/53 (2012.01)

B61L 27/57 (2012.01)

B61L 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2019** **PCT/EP2019/075875**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020** **WO20064842**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2019** **E 19786467 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2025** **EP 3856606**

54 Título: **Método para analizar condiciones de componentes técnicos**

30 Prioridad:

26.09.2018 EP 18196838

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2025

73 Titular/es:

SIEMENS MOBILITY GMBH (100.00%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE

72 Inventor/es:

AUFDERHEIDE, HELGE;
SIVALINGAM, UDHAYARAJ y
TAYLOR, MICHAEL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 3 016 986 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

Método para analizar condiciones de componentes técnicos

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para analizar condiciones de componentes técnicos en vista de una rareza y/o una anormalidad de una condición. La presente invención se refiere además a usos del método de análisis para una observación de un estado de un componente técnico y para una predicción de fallas de un componente técnico.

Antecedentes de la invención

Los trenes modernos que operan en sistemas ferroviarios modernos están sujetos a demandas desafiantes, como el viajar con alta velocidad, durante largas distancias y duraciones, además de tener una prolongada vida útil. Por lo tanto, el tren y sus componentes necesitan soportar todo tipo de condiciones de operación, como cambios frecuentes de velocidad, por ejemplo, debido a detenerse o pasar una estación de tren, paradas de tren en señales de parada, límites de velocidad, por ejemplo, en puentes o túneles, (mal) clima y por lo tanto, cambios de temperatura. Por lo tanto, para asegurar una operación segura del sistema ferroviario es esencial la supervisión del tren y de los componentes especialmente importantes y probablemente estresados del tren.

Este trabajo de mantenimiento de supervisión se puede planificar y realizar de manera más precisa. Por ejemplo, un objetivo del mantenimiento predictivo y basado en condiciones es intercambiar o reparar componentes (desde sensores individuales, mediante módulos de un tren a un vehículo completo) cuando (o antes) fallan. Esto requiere conocer en cualquier momento el estado actual del componente: ¿Funciona normalmente, anormalmente, está en un estado de falla conocido? La forma de obtener este conocimiento es al analizar de manera constante y automática los datos producidos por los sensores, componentes electrónicos o sistema de control del componente. El enfoque habitual para detectar si un componente se comporta normalmente es a través de la llamada "detección de modo de falla": Tomar el historial de datos que provienen del componente o de los idénticos, y verificar si hay patrones que se hayan identificado como precursores de modos de falla específicos. Por ejemplo, un incremento en la varianza de las lecturas de temperatura de un sensor de cojinete puede apuntar hacia fluctuaciones más altas y un daño en el cojinete que progresa lentamente. La detección de modo de falla es un enfoque válido para los componentes en los que existe un stock suficiente de ejemplos de falla para entrenar realmente un algoritmo, o modelo, que detecte estas fallas. Sin embargo, en la industria ferroviaria, el bajo número de fallas reproducibles en los trenes hace que este enfoque sea muy difícil.

El desafío y oportunidad en el mundo ferroviario es que hay muchos trenes, frecuentemente idénticos, que pueden operar de maneras muy diferentes con el paso del tiempo. Es un desafío debido a que no es posible, a priori, saber si un patrón que se presenta raramente en los datos históricos es realmente anormal o simplemente indica un estado operativo raro. Al mismo tiempo, la similitud de los trenes es una oportunidad debido a que el conocimiento explícito no solo sobre las características de un flujo de datos históricos, sino también sobre qué punto de datos se origina a partir de qué componente en qué tren se puede tener.

Existen muchos enfoques y algoritmos disponibles para identificar "puntos de datos anormales" para detectar componentes defectuosos en diferentes industrias, desde la energía eólica hasta la química. Sin embargo, los métodos existentes se basan en el uso de datos de un componente dado para identificar estados anormales dentro de ese componente, tal como técnicas de análisis de series de tiempo. O combinan datos de la operación de muchos componentes sin tener en cuenta la identificación real del componente, lo que hace que los datos se puedan usar en marcos de detección de anomalías estándar, tal como por ejemplo OneClassSVM, selección de valores atípicos estadísticos; modelos estadísticos de Naïve Bayes, etc. Por último, hay modelos que actualmente permiten usar valores categóricos tal como identificación de componentes, junto con datos de sensores, tal como xgboost, u otros algoritmos de árbol de decisión. Estos algoritmos usan la identificación categórica como entrada genérica, es decir, un algoritmo de detección de anomalías de este tipo identificará un "componente raro" en lugar de usar el significado de esta variable en el proceso de puntuación general.

El documento DE 198 58 937 A1 divulga un método para detectar la presencia de eventos periódicos extraordinarios en un espectro de sonido de un tren que pasa. Este espectro se evalúa al compararlo con el de un tren no defectuoso.

Un primer objetivo de la invención es proporcionar un método para analizar condiciones de componentes técnicos en vista de una rareza y/o una anormalidad de una condición con la que se pueden mitigar los desafíos y deficiencias mencionados anteriormente y especialmente, proporcionar un método que sea más flexible y predictor como el sistema conocido de la técnica anterior, así como un método que proporcione más seguridad que los sistemas conocidos.

Además, un segundo objetivo de la invención es proporcionar un uso ventajoso del método para una observación

de un estado de un componente técnico y especialmente, para obtener un conocimiento confiable del estado del componente técnico para activar posibles contramedidas para proporcionar una operación segura del componente técnico.

5 Además, un tercer objetivo de la presente invención es proporcionar un uso para el método para una predicción de fallas de un componente técnico que permita una supervisión confiable del componente técnico y si es necesario, el inicio de contramedidas para una operación segura del componente técnico, así como un tren que comprende este componente.

10 Un cuarto objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de análisis con el que se pueda facilitar ventajosamente el análisis del componente técnico.

Además, un quinto y sexto objetivo de la presente invención es proporcionar un programa de computadora y un medio de almacenamiento leible por computadora para permitir que una computadora lleve a cabo de manera ventajosa los pasos del método de análisis.

15 Los objetivos primero a tercero se pueden resolver por un método y usos del método de acuerdo con la materia de las reivindicaciones independientes.

20 Sumario de la invención

Por consiguiente, la presente invención proporciona un método para analizar condiciones de componentes técnicos en vista de una rareza y/o una anomalía de una condición de acuerdo con la reivindicación 1.

25 El método comprende entre otros, los siguientes pasos:

A) Describir las condiciones de los componentes técnicos en un espacio de entrada de comportamiento que se abarca por variables de estado, que son características de los componentes técnicos,

30 B) Analizar una condición de un componente técnico con respecto a otras condiciones de este componente técnico en el espacio de entrada de comportamiento, por lo que se detecta una rareza de esta condición del componente técnico,

C) Analizar la condición del componente técnico también con respecto a los análisis de condiciones de componentes técnicos adicionales (otros) en el espacio de entrada de comportamiento, por lo que se detecta una anomalía (específicamente una anomalía de componente) de la condición del componente técnico.

35 Debido al método inventivo, se pueden realizar valoraciones mucho más precisas y automatizadas en nuevos datos entrantes si un componente está funcionando bien o en un estado anormal en comparación con los métodos del estado de la técnica. Además, el mapeo de las condiciones en el espacio de entrada de comportamiento permite la creación de características propuestas por expertos, así como la búsqueda automática de características. 40 Adicionalmente, se puede realizar la agregación de los datos mapeados, en tanto que se retiene información explícita sobre el componente de origen o se infiere (caracterización consciente de componente) en lugar de tenerlo en cuenta como una característica simple adicional. Además, se puede hacer de manera ventajosa la comparación de los datos agregados a través de regiones generales que se caracterizan no solo por la rareza, sino que usan explícitamente los datos de componentes adicionales para valorar la anomalía de una región. Además, se puede 45 realizar una correlación cruzada automática y valoración consciente de componente de toda la flota de la anomalía de los nuevos puntos de datos.

Además, esto se puede proporcionar para saber de forma preventiva cuándo el componente técnico está empezando a fallar o puede dar problemas u operar de una manera inusual y por lo tanto, digna de mención. 50 Además, el trabajo de mantenimiento se puede planificar por adelantado y se puede asegurar que las piezas de repuesto estén disponibles cuando sea necesario. Adicionalmente, se puede reducir al mínimo el tiempo de inactividad de un sistema en el que se emplea el componente para ahorrar costos y tiempo, así como también se pueden evitar posibles penalizaciones debido a que un sistema no funciona o es erróneo. Además, la confiabilidad y seguridad del componente o el sistema en el que se emplea el componente se puede mejorar en comparación 55 con los sistemas del estado de la técnica.

Además, se puede hacer más transparente el desafío de que hay muchos trenes idénticos que pueden operar de maneras muy diferentes con el paso del tiempo. Por lo tanto, puede ser posible valorar, a priori, si un patrón que se presenta raramente en los datos históricos es realmente anormal o simplemente indica un estado operativo 60 raro. Al mismo tiempo, es una ventaja que el conocimiento explícito no solo sobre las características de un flujo de datos históricos esté disponible, sino también sobre qué punto de datos se origina a partir de qué componente en qué tren.

Por lo tanto, en lugar de una simple detección de modo de falla, el bajo número de fallas del tren requiere una llamada "detección de anomalías". En primer lugar, se usa el historial de flujos de datos de muchos componentes 65 diferentes para establecer el comportamiento normal de un componente (por ejemplo, las intrincadas dependencias

entre presiones, temperaturas y números de pasajeros que rigen un sistema de CA en funcionamiento en un tren). Al entrenar, por ejemplo, un modelo con esos datos, aprende a clasificar los patrones que se presentan comúnmente en los datos históricos combinados como normales, en tanto que marca cualquier dato nuevo que no coincida con estos patrones o características como anormal.

Además, puesto que la información de qué datos se origina en qué componentes está disponible, el método no proporciona una detección de anomalías simple que sea agnóstica de esta información categórica, sino que incluye explícitamente la correlación de componentes en la detección de comportamiento normal y anormal. La clave aquí es establecer un modelo que no solo incluya el "patrón de un componente" dado por los datos para determinar su anormalidad, sino también usar el conocimiento si este patrón se ha observado en otros componentes en el pasado y por lo tanto, puede ser normal. En palabras simples, se entrena un modelo que detecta no solo patrones raros, sino patrones raros que se presentan en pocos componentes (anormalidad de componente).

El establecimiento de un modelo de anomalía consciente de componente permite usar todos los datos históricos para identificar el comportamiento normal, pero al mismo tiempo permite distinguir patrones anormales que son solo "raros" pero parte de la operación normal de aquellos que son realmente "anormales". Por lo tanto, el modelo permite realizar valoraciones mucho más precisas y automatizadas en nuevos datos entrantes, si un componente está funcionando bien o en un estado anormal.

Incluso si se usa un término elegido en singular o en una forma numérica específica en las reivindicaciones y la especificación, el alcance de la patente (solicitud) no se debe restringir a la forma numérica singular o específica. También debe estar en el alcance de la invención tener más de una o una pluralidad de la o las estructuras específicas.

En este contexto, un componente técnico (también referido como únicamente "componente" en el siguiente texto) se debe entender como al menos una pieza o parte o como un ensamble de partes funcionalmente relacionadas. Este componente puede cambiar su estado debido a diferentes modos de operación (operaciones esperadas del componente) o con el paso del tiempo, debido a estrés (operación/estado inesperado o repentino del componente) o durante su vida útil de servicio normal. Por lo tanto, el componente puede tener diferentes condiciones.

El componente puede ser cualquier componente adecuado para una persona experta en la técnica. Preferentemente, es un componente de una unidad móvil. Una unidad móvil puede ser cualquier unidad, especialmente unidad construida, como un vehículo de motor (automóvil, motocicleta, bicicleta, camioneta, camión, autobús, tren) que se puede mover, especialmente por manipulación humana. Preferentemente, puede ser un vehículo guiado por vía. Se propone que un vehículo guiado por vía signifique cualquier vehículo factible para una persona experta en la técnica, que, debido a una interacción física con una vía, especialmente una vía predeterminada, se restringe a esta vía o ruta. Una interacción/conexión física se debe entender como una conexión de ajuste de forma, una conexión eléctrica o una conexión magnética. La conexión física puede ser liberable. En este contexto, se propone que una "vía predeterminada" signifique una vía o ruta construida por humanos, existente de antemano, que comprende medios seleccionados que construyen o forman la vía, como un riel o un cable. Preferentemente, la vía predeterminada es una vía de metro o una vía de ferrocarril, como el ferrocarril de la línea principal de Reino Unido, Alemania o Rusia.

El vehículo puede ser un tren, una locomotora, un ferrocarril subterráneo, un tranvía o un trolebús. Preferentemente, el vehículo guiado por vía puede ser un tren o una parte del mismo, como una locomotora. De manera ventajosa, el vehículo guiado por vía o el tren puede ser un tren de alta velocidad. Por lo tanto, el método se puede usar para una red en la que un alto nivel de seguridad es esencial y necesario. El vehículo guiado por vía también se puede referir como vehículo o tren en el siguiente texto.

En una mejora preferida de la invención, el componente y/o los componentes adicionales es/son un componente de tren y especialmente, un motor, una condición de aire, un eje, un vagón, un carro, un bogie, una rueda, una zapata de freno, una pastilla de freno, un muelle, un tornillo, un cojinete, un pantógrafo, un compresor, un transformador u otro sistema eléctrico, un sistema de refrigerante, un motor de ventilador, un sistema informático, una caja de engranajes, un sistema de iluminación, una puerta de pasajero o interna, una palanca, un micrófono, un HVAC (aire acondicionado + calefacción) o un sensor individual.

El componente y un componente adicional o los componentes adicionales pueden tener cualquier dependencia entre sí que pueda ser factible para una persona experta en la técnica, como pueden ser partes del mismo ensamble o una subparte de la unidad móvil (por ejemplo, vagón o bogie), pueden tener la o las mismas características funcionales, condicionales, operativas conocidas (el mismo material, estar expuesto a las mismas condiciones, como temperatura, presión, contaminación, etc.). Preferentemente, el componente y los componentes adicionales son componentes del mismo tipo. Por lo tanto, los parámetros, condiciones y estados de los componentes se pueden comparar fácilmente.

Además, la rareza o una condición rara se debe entender como un estado del componente que se presenta raramente y que puede representar una condición normal o anormal. Una clasificación resultante como "rara" solo

puede resultar de una comparación de la condición del componente con condiciones adicionales (históricas) del mismo componente (ver paso B) del método) y se puede llamar "rareza de componente". O la clasificación resulta de una comparación (adicional) con condiciones de componentes adicionales también y se puede llamar "rareza total". Para la evaluación de rareza se determina el número de apariciones de una condición.

Además, una anomalía o una condición anormal se debe entender como una condición predeterminada, inusual, errónea o como una condición inusual, cuyo origen es una condición errónea o un estado operativo extremadamente raro. Para la evaluación de anomalía se evalúa el o los valores que representan una condición. El paso C) del método que realiza una comparación de la condición con condiciones de componentes adicionales de por resultado una clasificación de la condición como "anomalía de componente", debido a que el componente muestra un comportamiento anormal en comparación con los otros componentes. Por el contrario, una comparación de la condición del componente con condiciones (históricas) del mismo componente se puede llamar únicamente "anomalía". Esta evaluación se puede hacer de antemano de la ejecución del método de análisis reivindicado.

Además, las variables de estado se deben entender como valores característicos que representan o describen un estado o condición específica del componente. Estos valores son preferentemente valores medidos o valores derivados de valores de medidas, en otras palabras, derivados de valores medidos. Por lo tanto, la variable de estado de las condiciones de los componentes técnicos comprende o se deriva de o es al menos un valor de sensor. Por lo tanto, se obtiene o se mide por un sensor.

El sensor puede, por ejemplo, monitorear una unidad móvil o una parte (el componente) de la misma. Por lo tanto, el sensor puede ser un sensor a bordo o externo (lado tierra). Además, el sensor se puede disponer en la unidad móvil. El sensor puede ser una parte de un arreglo de sensores, donde todos los sensores del arreglo funcionan de acuerdo con el mismo principio. El sensor puede ser cualquier sensor factible para una persona experta en la técnica, y puede ser, por ejemplo, un sensor seleccionado del grupo que consiste en: Un sensor de radar, un sensor IR, un sensor UV, un sensor magnético, un sensor de temperatura, una cámara y un dispositivo de medición láser.

Preferentemente, el sensor mide al menos un parámetro, donde el parámetro preferido depende del componente bajo consideración. El parámetro puede ser cualquier parámetro factible para una persona experta en la técnica y puede ser, por ejemplo, un parámetro seleccionado del grupo que consiste en: Una velocidad, una aceleración, una temperatura, una presión, humedad, visibilidad (por ejemplo, la influencia de la niebla) y una ubicación. Preferentemente, el parámetro puede ser una presión o una temperatura. Por ejemplo, se puede detectar una presión para un sistema presurizado (para capturar fugas) o una temperatura para un sistema con fricción (para capturar sobrecalentamiento).

El espacio de entrada de comportamiento también se puede llamar espacio de entrada condicional o la redacción se puede expresar "Describir las condiciones de los componentes técnicos en un espacio de entrada de condiciones de operación".

En resumen al paso A): Los datos de entrada (variables de estado) se incrustan en un espacio de entrada adecuado, en el que una posición en el espacio de entrada indica una combinación de valores o características de sensor para un componente dado. Al hacer esto para todos los componentes individualmente, se obtiene un conjunto de distribuciones multivariadas en este espacio, una para cada componente. Multivariable se debe entender como una distribución $P(X, Y, \dots)$ que depende de múltiplo de las variables de estado $(X, Y, \dots)$. Por ejemplo: si X =temperatura, Y =presión, Z =velocidad, entonces $P(X=100\text{ °C}, Y=400\text{ KPa (4 bar)}, Z=100\text{ km/h})$ es la frecuencia de la combinación $(100\text{ °C}, 400\text{ KPa (4 bar)}, 100\text{ km/h})$, de modo que $P(X, Y, Z)$ depende de las tres métricas.

En una realización preferida de la invención, el paso A) del método comprende el paso de: generar el espacio de entrada de comportamiento al usar una estadística realizada en datos históricos del comportamiento de los componentes técnicos. Por lo tanto, los datos usados para el espacio de entrada se pueden obtener de manera conveniente y fácil. Una estadística utilizable puede ser cualquier estadística adecuada para una persona experta en la técnica, como cualquier función de densidad discreta, por ejemplo, agrupada o continua (o función de densidad de probabilidad que captura). Por ejemplo: Frecuencia de aparición de las combinaciones de variables de estado de entrada, tiempo relativo de una combinación de variables de estado dada que está presente, derivados procesados matemáticamente de lo anterior, tal como versiones suavizadas o una distribución corregida por valores atípicos. También puede ser una distribución establecida al usar datos históricos, pero agregando conocimiento experto de dominio, como Filtrado de Kalman, Filtrado de combinaciones de estado no válidas o similares. Preferentemente, la estadística da por resultado una distribución de densidad de los puntos de datos que representan las condiciones.

En una realización adicional de la invención, el paso A) del método puede comprender los pasos adicionales de: consolidar las estadísticas para la generación del espacio de entrada de comportamiento de las condiciones de los componentes técnicos. Con esto, las estadísticas se pueden comparar fácilmente. En otras palabras, las condiciones se mapean en el espacio de entrada de tal forma que los comportamientos sean comparables. La consolidación se puede hacer, por ejemplo, al transformar las estadísticas en vectores comparables. Por ejemplo,

para hacer que las distribuciones de dos componentes sean comparables, se puede dividir la frecuencia de aparición de un estado dado para cada componente por la suma de todas las apariciones observadas de cualquier estado para ese componente. En palabras simples, cuando todas las condiciones se mapean en el mismo espacio de entrada, estas condiciones son comparables, ya que todas las condiciones se representan por los mismos valores de estado característico.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, cada condición del componente técnico y de los componentes técnicos adicionales en el espacio de entrada de comportamiento se representa por un punto de datos, donde cada punto de datos se caracteriza por a) su posición (= valores de entrada/valores de estado o derivados de los mismos) y b) un valor que indica el componente de origen y opcionalmente c) el sello de tiempo o intervalo de medición. Por lo tanto, el componente, así como todos los componentes, se pueden describir de manera precisa y hacer que cada componente se distinga de otros componentes.

El primer paso del descubrimiento de comportamiento normal se puede visualizar mejor al considerar cada medida de entrada (normalmente un valor de sensor específico, estado operativo o derivado de esos) como una dimensión del gran espacio de entrada. Por lo tanto, cada punto de datos en la serie de tiempo de estas medidas es un punto en este espacio de entrada. Al combinar todos los puntos de datos de todos los componentes, se puede obtener una distribución de densidad en el espacio de entrada, donde cada punto de datos se caracteriza por a), b) y preferentemente como pared por c). Intuitivamente hablando, el comportamiento habitual de todos los componentes aparece como las áreas más densamente pobladas de este espacio, en tanto que el comportamiento raro aparece como áreas dispersas.

De acuerdo con un refinamiento adicional de la invención, el paso A) del método comprende los pasos adicionales de: obtener la estadística por un método seleccionado del grupo que consiste en: volver a modificar la escala de señales de entrada, técnicas de reducción de dimensionalidad (por ejemplo, PCA) o usar derivados obtenidos al aplicar otras métricas estadísticas o transformaciones a las señales de entrada que son adecuadas para la aplicación. Por lo tanto, se pueden emplear métodos conocidos y establecidos que dan por resultado resultados confiables.

El paso B) del método comprende los pasos de: determinar una distribución de las condiciones del componente técnico en el espacio de entrada de comportamiento para el análisis de las condiciones del componente técnico, identificar regiones características en el espacio de entrada de comportamiento al usar la distribución del componente en el espacio de entrada de comportamiento, determinar una frecuencia o al menos un número de condiciones del componente técnico en al menos una región característica del espacio de entrada de comportamiento. En consecuencia, cada condición del componente se puede validar en vista de su rareza en comparación con todas las demás condiciones conocidas del mismo componente. En pocas palabras, una región característica comprende varias condiciones, estas condiciones se pueden ver como condiciones que se presentan con frecuencia y por lo tanto, como condiciones normales. Sin embargo, cuando la región característica comprende pocas o solo una condición, esta/estas condiciones se pueden valorar como raras y potencialmente como anormales. Estos pasos se pueden realizar solo para un componente o para varios componentes individualmente.

Se puede detectar fácilmente una anomalía si el método comprende en el paso C) el paso de: determinar una frecuencia de condiciones de los componentes técnicos adicionales en al menos una región característica del espacio de entrada de comportamiento para analizar la condición del componente técnico también con respecto a los análisis de condiciones de componentes técnicos adicionales.

Por lo tanto, los pasos B) y C) del método pueden determinar para cada región característica si un componente contribuye a una región característica y/o cuántos componentes contribuyen a una región característica y/o qué componentes contribuyen al número de condiciones en una región característica.

En otras palabras, se obtienen métricas comparables para cada región característica (grupo) y para cada distribución se determina cuánto contribuye cada componente a los puntos de datos en esa región característica al establecer para cada región característica un vector que contiene como entradas una caracterización de métrica.

Para obtener la distribución de las condiciones en el espacio de entrada de comportamiento o para realizar el análisis, se puede emplear cada método o principio factible para una persona experta en la técnica, como un "algoritmo de detección de valores atípicos". Preferentemente, el paso C) del método comprende los pasos de: obtener la distribución de las condiciones en el espacio de entrada de comportamiento por un método seleccionado del grupo que consiste en: un enfoque de densidad simple, selección de valores atípicos estadísticos, un enfoque basado en aprendizaje automático, inferencia de componentes, un enfoque basado en AI (por ejemplo, autocodificador), un enfoque basado en una comparación de distribución de probabilidad. Debido a esto, se pueden emplear métodos conocidos y establecidos que dan por resultado resultados confiables.

Además, la determinación del número de contribuyentes para cada región característica se puede hacer por cualquier método adecuado para una persona experta en la técnica. El método o métrica debe ser capaz de filtrar las entradas relevantes de una comparación de entradas de un vector. De manera ventajosa, el paso C) del método

comprende los pasos de: determinar el número de contribuyentes para cada región característica por un método seleccionado del grupo que consiste en: conteo de entradas distintas de cero, relación de participación inversa (IPR). Por lo tanto, se pueden usar métodos convenientes para obtener resultados confiables.

- 5 Con base en las distribuciones de múltiples componentes, se puede realizar identificación de cualquier punto de datos nuevo o existente como normal o anómalo. Más específicamente, para un punto de datos dado, se puede calcular la posición del punto de datos en el espacio de entrada y a partir de esto qué tan "anormal" es con respecto a la distribución de su componente original, qué tan "raro" es con respecto a la distribución conjunta de todos los demás componentes, pero también qué tan "anormal en cuanto a componentes" es con respecto a cada otro componente. Por lo tanto, anormalidad significa que la condición representada por el punto de datos es inusual en comparación con las condiciones históricas del componente. Rareza significa que la condición del componente es inusual contra una aparición general de esta condición, ya sea solo en comparación con condiciones del mismo componente (rareza de componente) o en comparación con componentes adicionales (rareza total). Además, anormalidad de componente significa que la condición representada por el punto de datos es inusual en comparación con la aparición de condiciones (históricas) de componentes adicionales.

Por lo tanto, en caso de una evaluación de una condición de un componente técnico como no clasificado en vista de la rareza y/o anormalidad de la condición, el método comprende los pasos de: identificar una región característica del espacio de entrada de comportamiento al verificar si la condición no clasificada encaja en la región característica, asumir una rareza de la condición no clasificada si un número de condiciones clasificadas en la región característica es menor que un primer umbral predefinido (valor límite, límite) de un número de condiciones clasificadas que contribuyen a la región característica, y asumir una anormalidad de la condición no clasificada si un número de condiciones clasificadas en la región característica es menor que un segundo umbral predefinido de un número de condiciones clasificadas que contribuyen a la región característica, y en caso de la suposición de rareza y anormalidad clasificar la condición antes no clasificada como condición clasificada rara y anormal. Por lo tanto, se puede hacer una evaluación de la condición desconocida de manera rápida y conveniente. El término "número" también se debe entender como una combinación de números, por ejemplo, diez condiciones de al menos tres componentes.

- Además, también puede ser posible usar un enfoque más dinámico y autoadaptable. El método se ejecutaría completamente como se describió anteriormente.

Se propone además que el método comprende el paso de: asumir un fallo del componente en caso de una clasificación de la condición antes no clasificada como una condición clasificada rara y anormal. Por lo tanto, se puede hacer una evaluación precisa. En consecuencia, se pueden activar contramedidas, como cambiar el componente erróneo antes de que se presenten circunstancias severas, como una ruptura total. En otras palabras, se asume una falla en caso de: a) el número de componentes que contribuyen a la región característicamente es bajo y b) la característica (por ejemplo, un valor de una variable de estado) de un componente es rara.

- En resumen, la detección de anomalías conscientes de componente se puede resolver al dividirla en tres partes: En primer lugar, un establecimiento de estadísticas sobre el comportamiento histórico de cada componente individual; en segundo lugar, una consolidación de estas medidas estadísticas de los componentes individuales en vectores comparables para cada uno de ellos, y en tercer lugar, una comparación inteligente de las distribuciones de las condiciones de los componentes para separar sus partes anormales y normales. Después de eso, se está listo para clasificar cualquier dato, existente o nuevo, como normal o anormal de acuerdo con el algoritmo de detección de anomalías consciente de componente.

El cálculo de anormalidad, rareza y anormalidad de componente para cada punto de datos permite una valoración detallada del estado de componente: En primer lugar, el desarrollo en el tiempo de una puntuación combinada de estos tres indicadores (anormalidad, rareza y anormalidad de componente) se puede usar para identificar cuándo un componente desarrolla un comportamiento anómalo con respecto a su propio historial de componentes (por ejemplo, a través de autocorrelación temporal con medidas pasadas).

En segundo lugar, ejecutar un algoritmo de agrupamiento en la distribución de múltiples componentes que divide regiones con alta puntuación de anormalidad de componente y baja rareza (en otras palabras, la condición es una condición frecuente (habitual), pero se presenta solo para componentes de vista. Por lo tanto, es un escenario sistemático que usualmente es un comportamiento normal), de regiones con alta rareza y anormalidad de componente bajo (en otras palabras, la condición es una condición rara y se presenta para muchos componentes. Por lo tanto, es un estado operativo raro y no representa ninguna falla. Esto contrasta con el caso cuando las regiones tienen alta rareza y alta anormalidad de componente, donde la condición es una condición rara y se presenta para un componente de vista y por lo tanto, señala una falla) puede distinguir automáticamente el comportamiento anormal de uno o múltiples componentes que se debe a una operación rara o comportamiento anormal de componente sistemático.

- En tercer lugar, la rareza y anormalidad por componente en nuevos puntos de datos se pueden usar para clasificarlos como normales o inusuales con respecto a la flota, otros componentes y el componente propio, lo que

permite valorar de manera flexible la anomalía y por lo tanto, el riesgo de falla.

La invención se refiere además a un uso del método de análisis descrito de antemano para una observación de un estado de un componente técnico. Se propone que el uso comprende al menos los pasos de: obtener diferentes condiciones cronológicas de un componente técnico al monitorear el estado (condición) del componente técnico durante un período de tiempo, y asignar una rareza y una anomalía para cada condición cronológica.

Debido a la materia inventiva, se puede determinar en qué punto de tiempo se debe reemplazar un tipo especial de componente puesto que el riesgo de una falla del componente incrementa después de este punto de tiempo. Esto incrementa la seguridad de un ensamble que comprende este componente.

La invención se refiere además a un uso del método de análisis descrito de antemano para una predicción de fallas de un componente técnico, especialmente en caso de un evento de falla raro. Se propone que el uso comprenda al menos los pasos de: asumir una falla del componente técnico en dependencia de una clasificación de una condición del componente técnico como rara y anormal.

Debido a la materia inventiva, se puede proporcionar una operación segura y confiable del componente, así como de un sistema o ensamble que comprende el componente.

La falla predicha puede ser cualquier falla factible para una persona experta en la técnica, como una caída, una medición errónea, una respuesta retardada, una suciedad o conexión bloqueada al componente.

La invención y/o las realizaciones descritas de la misma se pueden realizar, al menos parcial o completamente, en software y/o en hardware, este último por ejemplo por medio de un circuito eléctrico especial. Además, la invención y/o las realizaciones descritas de esta se pueden realizar, al menos parcial o completamente, por medio de un medio legible por computadora que tiene un programa de computadora. Por lo tanto, la presente invención también se refiere a un programa de computadora que comprende instrucciones que, cuando el programa se ejecuta por una computadora, provocan que la computadora lleve a cabo los pasos del método de análisis y/o de acuerdo con las realizaciones del mismo. Además, la presente invención también se refiere a un medio de almacenamiento legible por computadora que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por una computadora, provocan que la computadora lleve a cabo los pasos del método de análisis. Además, la invención también se refiere a un portador de datos legible por computadora que tiene almacenado en el mismo el programa de computadora desde arriba.

La presente divulgación también se refiere a un sistema de análisis y/o predicción que comprende, por ejemplo, un sistema de aprendizaje automático para analizar una condición rara y anormal del componente y/o para predecir una falla del componente.

Se propone que el sistema de análisis comprenda un dispositivo de recepción adaptado para recibir como datos de entrada información condicional discreta del componente y un dispositivo de evaluación adaptado para realizar los pasos del método y/o para, por ejemplo, predecir una falla del componente. En otras palabras, el sistema de análisis se adapta para realizar los pasos del método de análisis.

El sistema de análisis puede comprender una computadora y se puede ubicar y/o controlar desde un centro de control de la red o en la propia unidad móvil.

Debido a estas cuestiones inventivas, el análisis se puede realizar automáticamente y por lo tanto, se ahorra tiempo y mano de obra.

La descripción previamente dada de realizaciones ventajosas de la invención contiene numerosas características que se combinan parcialmente entre sí en las reivindicaciones dependientes.

Además, las características del método, formuladas como características del aparato, se pueden considerar como características del ensamble y por consiguiente, las características del ensamble, formuladas como características del proceso, se pueden considerar como características del método.

Las características, rasgos y ventajas de la invención descritos anteriormente y la manera en que se logran se pueden entender más claramente en relación con la siguiente descripción de realizaciones de ejemplo que se explicarán con referencia a los dibujos. Se propone que las realizaciones de ejemplo ilustren la invención, pero no se supone que restrinjan el alcance de la invención que se define por las reivindicaciones independientes.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá con referencia a los dibujos en los cuales:

FIG 1: muestra esquemáticamente un tren con varios componentes técnicos y un sistema de análisis para analizar

condiciones de los componentes en vista de una rareza y/o una anomalía,
 FIG 2: muestra un diagrama de bloques de una estrategia operativa del método de análisis,
 FIG 3: muestra en un diagrama las distribuciones de densidad de cuatro componentes diferentes y
 FIG 4: muestra en un diagrama la distribución codificada por colores de lo digno de mención de los estados de
 5 operación de un componente de la FIG 3.

Descripción detallada de las realizaciones ilustradas

La FIG 1 muestra en una vista esquemática una vía predeterminada 28 de un sistema ferroviario 30, como, por
 10 ejemplo, el ferrocarril de la línea principal alemana o rusa o el metro de Múnich. Además, la FIG 1 muestra una
 unidad móvil, como un vehículo guiado por vía, por ejemplo, un tren 32 en la forma de un tren de alta velocidad
 32, que se puede mover en la vía predeterminada 28.

El sistema ferroviario 30 tiene además un centro de control 34 que comprende una computadora 36 equipada con
 15 un programa de computadora apropiado que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por la computadora
 36, provocan que la computadora 36 lleve a cabo los pasos de un método de análisis. De manera alternativa, la
 computadora 36 se puede ubicar a bordo del tren 32. El método propuesto se puede usar para predecir una falla
 F de un componente 14 o un componente de tren 24, respectivamente, como un motor 26 de un vagón, del tren
 20 32 (los detalles se ven más adelante).

Normalmente, las condiciones 10 de varios componentes 14, 14', 16 se pueden analizar simultáneamente. En esta
 especificación, una condición 10 de un componente 14 solo se examinará o explicará de manera ejemplar como
 un componente activo 14 en el proceso de análisis y la predicción de fallas. Cada uno de los componentes
 adicionales 14', 16 se verá como un elemento pasivo. Sin embargo, puesto que normalmente la condición 10 de
 25 varios componentes 14, 14', 16 se puede estar cambiando, el análisis se puede hacer para cada componente 14,
 14', 16 individualmente.

Además, el centro de control 34 comprende como parte de la computadora 36 un sistema de análisis 38 que
 comprende un dispositivo de recepción 40 para recibir como datos de entrada valores de sensor S de la condición
 30 10 del componente 14. Además, el sistema de análisis 38 comprende un dispositivo de almacenamiento 42 para
 el almacenamiento de parámetros, como datos históricos D (como valores de sensor S con puntos de tiempo
 relacionados t1, t2) o primer y segundo umbral predefinidos H, h (valor límite o límite) con números Q, q de
 condiciones 10', 12' que no deben excederse para cumplir con el umbral H, h. Además, el sistema de análisis 38
 comprende un dispositivo de evaluación 44 para procesar o evaluar las condiciones 10, 10', 12' de los componentes
 35 14, 14', 16 en vista de la rareza R, r y/o anomalía Y, y de las condiciones 10, 10', 12'. El dispositivo de recepción
 40 y el dispositivo de evaluación 44 son dispositivos de procesamiento.

El centro de control 34 se puede supervisar por un operador 46 que también puede recibir salidas emitidas, como
 40 información sobre la rareza R, r o la anomalía Y, y o una falla F como resultado de la predicción de falla o un
 punto de tiempo (marca de tiempo TS) para un reemplazo de un componente (los detalles se ven más adelante).
 El operador 46 también puede ser un conductor del tren 32 o a bordo del tren 32.

Como se indicó anteriormente, la invención se refiere a un método para analizar condiciones 10, 10', 12' de
 45 componentes técnicos 14, 14', 16 en vista de una rareza R, r y/o una anomalía Y, y de una condición 10, 10',
 12'. La condición 10 es el estado real del componente 14, como el motor 26 de un vagón, del tren 32. Las
 condiciones 10' y 12' son datos históricos D del componente 14 (condición 10') y de los componentes adicionales
 14', 16 (condición 12'). Por lo tanto, el tren 32 del que se obtuvieron los datos históricos D se muestra en líneas
 discontinuas. Las condiciones 10, 10', 12' se representan por variables de estado V que comprenden al menos un
 50 valor de sensor S o son valores de sensor S, como una temperatura o una presión. El componente 14 y el
 componente adicional 14' son componentes 14, 14' del mismo tipo. En otras palabras, ambos son motores 26 de
 diferentes vagones del tren 32. Los componentes 14, 16 también pueden ser de un tipo diferente. Sin embargo, en
 ese caso, sus variables de estado V necesitan tener una correlación conocida entre sí. En la siguiente descripción
 solo se describirán los componentes 14, 14' y las condiciones 10, 10', 12'.

El método de análisis se describirá ahora con referencia a la FIG 1 y FIG 2, donde esta última muestra un diagrama
 de bloques de la estrategia operativa del método de análisis.

En un primer paso o en el paso A del método, las condiciones 10, 10', 12' de los componentes técnicos 14, 14' se
 60 describen en un espacio de entrada condicional/de comportamiento 20 que se abarca por las variables de estado
 V, que son características de los componentes técnicos 14, 14'.

El primer paso del descubrimiento de comportamiento normal se puede visualizar mejor al considerar cada medida
 de entrada (normalmente un valor de sensor específico, estado operativo o derivado de esos) como una dimensión
 de un gran espacio de entrada de comportamiento 20.

Por lo tanto, cada punto de datos P en la serie de tiempo de estas medidas es un punto en este espacio de entrada

20. Al combinar todos los puntos de datos P de todos los componentes 14, 14', se puede obtener una distribución de densidad en el espacio de entrada 20, donde cada condición 10, 10', 12' del componente técnico 14 y de los componentes técnicos adicionales 14' en el espacio de entrada de comportamiento 20 se representa por un punto de datos P. Cada punto de datos P se caracteriza por a) su posición = valores de entrada o derivados y b) un valor que indica el componente de origen 14, 14' y c) la marca de tiempo TS o intervalo de medición.

El espacio de entrada de comportamiento 20 se puede generar al usar una estadística realizada en los datos históricos D del comportamiento de los componentes técnicos 14, 14'. En la práctica, hay varios métodos posibles para lograr la incorporación anterior de las variables de estado V o los valores de entrada en un espacio de entrada de comportamiento adecuado 20. En particular, se pueden usar posiciones adecuadas al volver a modificar la escala de señales de entrada, técnicas de reducción de dimensionalidad (por ejemplo, PCA) o usar otros derivados. También, la incrustación no necesita ser continua, pero también se puede tener un eje categórico, como predicciones hechas por un clasificador aplicado a los datos originales.

En resumen, primero las variables de estado V o los datos de entrada se incrustan en el espacio de entrada adecuado 20, en el que una posición indica una combinación de valores de sensor S o características para un componente dado 14, 14'. Al hacer esto para todos los componentes 14, 14' individualmente, se obtiene un conjunto de distribuciones multivariadas en este espacio 20, una para cada componente 14, 14'.

Un ejemplo para el espacio de entrada 20 que se puede analizar se muestra en la FIG 3. Más específicamente, muestra dos métricas de entrada en los ejes X e Y, cada punto de datos P indica una combinación observada. Los símbolos (ciclo negro, ciclo abierto, triángulo abierto, cruz) indican el componente 14, 14' asignado a cada punto de datos P (indicado con números de referencia para dos componentes 14 (ciclo negro), 14' (ciclo abierto) solamente).

Cuando se superpone la "entrada" para cuatro componentes diferentes 14, 14', se puede observar que la distribución de sus puntos de datos P es diferente en algunas regiones e idéntica en otras.

En el segundo o en el paso B) del método, se analiza una condición 10 del componente técnico 14 con respecto a otras condiciones 10' de este componente técnico 14 en el espacio de entrada de comportamiento 20, por lo que se detecta una rareza R de esta condición 10 del componente técnico 14.

En este paso adicional se consolidan las estadísticas. Para el análisis de las condiciones 10 del componente técnico 14 se determina la distribución de las condiciones 10, 10' del componente técnico 14 en el espacio de entrada de comportamiento 20. En otras palabras, las diferentes distribuciones de componentes 14, 14' en el espacio de entrada 20 se consolidan, de tal forma que se puedan comparar entre sí. Para la comparación, los puntos de datos sin procesar P para diferentes regiones 18, 18' del espacio de entrada 20 se deben agregar de tal manera que se obtengan métricas comparables para cada región 18, 18' y para cada distribución. Más específicamente, para cada región 18, 18' se establecerá un vector que contiene como entradas una métrica que caracteriza cuánto contribuye cada componente 14, 14' a los puntos de datos P en esa región 18, 18'.

Hay varias formas de obtener estos vectores que indican la contribución de componentes en diferentes regiones 18, 18' del espacio de entrada 20. Van desde simplemente calcular la densidad relativa de puntos de datos P de cada componente 14, 14' en un cubo del espacio de entrada 20 hasta usar redes neuronales para inferir la probabilidad de un punto P en un origen de región 18, 18' de un tren dado 32, usando agrupamiento para identificar las partes más significativas del espacio de entrada 20 o solo eventos raros. Estos métodos para consolidar los datos de entrada sin procesar en distribuciones agregadas comparables para cada componente 14, 14' se detallan en el siguiente pasaje.

El objetivo de los tres métodos presentados es agregar un conjunto de datos sin procesar en una distribución por componente "centrada en la región" agregada en el espacio de entrada 20. En otras palabras, se debe establecer el vector V_regionindex, que contiene como entradas las contribuciones por componente de los datos de entrada en diferentes regiones 18, 18' del espacio de entrada 20. Los métodos se explican a modo de ejemplo con trenes como componentes 14, 14' y sin números de referencia para mejor legibilidad.

Enfoque 1 - Densidad simple

En este enfoque, la técnica de medición de densidad se usa para obtener una región de mapeo de probabilidad para el conjunto de trenes. El método tiene múltiples pasos que se describen a continuación.

- Inicialmente se forma una gráfica de dispersión de señales o valores del sensor y se divide en N regiones de potencia (número de señales del sensor), donde $N = (1, 2, 3, \dots, N)$. La gráfica se divide en un número adecuado N de regiones individuales, tal como cubos multidimensionales que llenan todo el espacio de estados. Por ejemplo, si se usan dos dimensiones como en los ejemplos, entonces el espacio de entrada se divide en rectángulos (= cubos de dimensión 2).

- Cada región en la gráfica de dispersión tendrá muestras de diferentes trenes. Algunas regiones se pueden poblar con muestras de todos los trenes, algunas regiones de pocos trenes, algunas de un tren individual y algunas regiones pueden estar vacías.

5 • Un vector multietiqueta $Y_{\text{regionindex}} = [y_k]$, $k = (1, 2, 3 \dots M)$ denota el número de tren, M es el número de trenes, se asigna a cada región dividida. y_k denota el número de puntos del tren k en esa región particular. Aquí la densidad se calcula con la técnica de conteo básica y se puede reemplazar con cualquier técnica sofisticada de cálculo de densidad.

- Posiblemente se aplican múltiples filtros de suavizado o convolucionales, interpolación u otras técnicas de spline para obtener una distribución de densidad de lectura del sensor suave y continua.

10 • El vector de múltiples etiquetas se normaliza para tener un vector unitario que a su vez actúa como un mapeo de probabilidad de la región al tren.

- Este vector normalizado se pasa a través del modelo matemático genérico que se explica anteriormente para obtener las puntuaciones anómalas.

15 Enfoque: 2 (basado en aprendizaje automático - inferencia de componentes)

En este enfoque, se usa una técnica de aprendizaje automático supervisada para obtener un mapeo de probabilidad de cada región en el espacio de lecturas de sensor para el conjunto de trenes. El método tiene múltiples pasos que se describen a continuación.

20 • Inicialmente se forma una gráfica de dispersión de señales del sensor y se divide en N regiones de potencia (número de señales del sensor), donde $N = (1, 2, 3, \dots N)$

- Cada región en la gráfica de dispersión tendrá muestras de diferentes trenes. Algunas regiones se pueden poblar con muestras de todos los trenes, algunas regiones de pocos trenes, algunas de un tren individual y algunas regiones pueden estar vacías.

25 • Un vector multietiqueta $Y_{\text{regionindex}} = [y_k]$, $k = (1, 2, 3 \dots M)$ denota el número de tren, M es el número de trenes, se asigna a cada región dividida. $y_k = 1$ si el tren k tiene puntos en la región dada e $y_k = 0$ si el tren k no tiene ningún punto en la región dada. es decir, $Y_{\text{regionindex}} = [1, 0, 1, 1]$ en el ejemplo dado, se ve que el índice de región dado se rellena con los puntos de los trenes 1, 3, 4 pero no de 2.

30 • Se elige un algoritmo de aprendizaje automático supervisado, en el caso la red neuronal convolucional, para aprender el mapeo de las regiones de entrada a la asignación de arreglo multietiqueta de salida. Las regiones de entrada y el vector multietiqueta correspondiente actúan como muestras de entrenamiento para el entrenamiento de redes neuronales. El modelo aprende la función F que mapea la región a la asignación de vectores de múltiples etiquetas

35 • Una vez que el modelo se entrena durante el tiempo de operación, cada región se pasa a través del modelo y el vector multietiqueta se predice con el modelo. El vector predicho se normaliza para hacer un mapeo de probabilidad de la región al tren.

- Este vector predicho se pasa a través del modelo matemático genérico que se explica anteriormente para obtener las puntuaciones anómalas.

40 Entrenamiento:

Sensores de entrada $\rightarrow$ (Regiones, vector multietiqueta) $\rightarrow F \rightarrow F_{\text{modelo aprendido}}$

Operación:

45 Sensores de entrada $\rightarrow$ (Regiones) $\rightarrow F_{\text{modelo aprendido}} \rightarrow$ vector de multietiqueta $\rightarrow$ Normalización $\rightarrow$ multi_label_norm_vector $\rightarrow$ Modelo matemático basado en Anomaly scorer $\rightarrow$ Puntuaciones anómalas

Enfoque: 3 (basado en comparación de distribución de probabilidad)

50 En este enfoque, la distancia de movimiento de tierra (EMD) se usa para obtener un mapeo de probabilidad de región para el conjunto de trenes. El método tiene múltiples pasos que se describen a continuación.

- Inicialmente se forma una gráfica de dispersión de señales del sensor y se divide en N regiones de potencia (número de señales del sensor), donde $N = (1, 2, 3, \dots N)$

55 • Cada región en la gráfica de dispersión tendrá muestras de diferentes trenes. Algunas regiones se pueden poblar con muestras de todos los trenes, algunas regiones de pocos trenes, algunas de un tren individual y algunas regiones pueden estar vacías. El histograma normalizado multidimensional (proxy de distribución de probabilidad) para cada tren en una región se formula de cada una de las regiones.

60 • En cada región, la similitud entre un histograma (un tren) con el otro histograma (otros trenes) se calcula utilizando la distancia del Earth Mover. Cada tren tendrá una lista de puntuaciones de similitud $S_k = (sk1, sk2, \dots skM)$, donde $k = (1, 2, 3, \dots M)$ denota el número de tren, donde m es el número de trenes.

- Un vector multietiqueta $Y_{\text{regionindex}} = [y_k]$, $k = (1, 2, 3 \dots M)$, denota que el número de tren M es el número de trenes, se calcula para cada región dividida. y_k es el promedio de todas las puntuaciones en S_k .

- El vector de múltiples etiquetas se normaliza para tener un vector unitario que a su vez actúa como un mapeo de probabilidad de la región al tren.
- Este vector normalizado se pasa a través del modelo matemático genérico que se explica anteriormente para obtener las puntuaciones anómalas.

Aquí, se ilustrará a modo de ejemplo el cálculo de los vectores de contribución de componentes a través de un enfoque simple. El espacio de entrada 20 se corta en cubos de igual tamaño y la densidad de puntos P dentro de cada cubo se calcula para cada componente 14, 14'. Para el ejemplo en la FIG 3, el espacio de entrada se divide en pequeños cuadrados y se calcula el número de puntos P dentro de cada cuadrado en relación con el número total de puntos P para el componente 14, 14' (no se muestra). En otras palabras, para cada cuadrado ("región") se establece un vector con las entradas $v_i = N_i(\text{región})/N_i(\text{total})$, donde i indica los diferentes componentes 14, 14'.

Por lo tanto, las regiones características 18, 18' en el espacio de entrada de comportamiento 20 se identifican al usar la distribución del componente 14 en el espacio de entrada de comportamiento 20. Entonces se determina un número U de condiciones 10, 10' del componente técnico 14 en al menos una región característica 18, 18' del espacio de entrada de comportamiento 20.

De acuerdo con un tercer paso o paso C) del método, la condición 10 del componente técnico 14 también se analiza con respecto a los análisis de condiciones 12' de componentes técnicos adicionales 14' en el espacio de entrada de comportamiento 20, por lo que se detecta una anomalía Y de la condición 10 del componente técnico 14. Por lo tanto, se determina un número de condiciones 12' de los componentes técnicos adicionales 14' en al menos una región característica 18, 18' del espacio de entrada de comportamiento 20 para analizar la condición 10 del componente técnico 14 también con respecto a los análisis de condiciones 12' de componentes técnicos adicionales 14'.

Por lo tanto, el tercer paso es identificar las regiones 18, 18' de comportamiento anormal a través de los vectores v_i . Intuitivamente hablando, se deben identificar las regiones 18, 18', donde a) el número M de componentes 14, 14' que contribuyen es bajo y b) las características de un componente 14, 14' son raras. Para ello, se requieren métricas que identifiquen a) a partir de las contribuciones vectoriales. La métrica más simple para esto es contar entradas distintas de cero, las métricas más avanzadas son la relación de participación inversa (IPR) $(\sum(v_i^4)/\sum(v_i)^2)$, que i varía entre $1/\#\text{componentes}$ y 1 dependiendo del número M de componentes contribuyentes 14, 14' o contribuyentes 22, 22'. $\#\text{Componentes}$ = Número de componentes, es decir, cuando se tienen 4 componentes 14, 14', entonces el vector tiene 4 entradas y el $IPR > 1/4$. Además, "i" se ejecuta sobre las entradas de componente 1... 4.

Indicar la IPR para los resultados del ejemplo anterior en el diagrama que se muestra en la FIG 4, que muestra las puntuaciones de anomalía extraídas de las distribuciones de densidad de la FIG 3: La ubicación de cuadrícula de los puntos se debe a las regiones cuadradas que se usaron para agregar, cada punto representa el valor de una región dada 18, 18'. El "grado de gris" indica qué tan "anormal" es esa región dada 18, 18' de acuerdo con la IPR, el negro indica regiones anormales y blanco regiones normales.

El uso de una distribución consciente de componente da una imagen mucho más detallada del comportamiento normal y anómalo. Por ejemplo, la región de (0, 0) se marca como normal N a pesar de un número muy bajo de puntos de datos P, debido a que casi todos los componentes 14, 14' muestran este comportamiento algunas veces. Al mismo tiempo, el punto de datos P en la parte inferior derecha se marca como inusual o anormal Y, debido a que los puntos de datos P en esta región 18, 18' solo son exhibidos por pocos componentes 14, 14'. En tanto que la región negra en el medio se habría identificado como normal N por cualquier enfoque estándar, este nivel de detalle hace posible distinguir de manera más granular un comportamiento raro de anormal.

Con base en las distribuciones de múltiples componentes, ahora se puede identificar cualquier punto de datos nuevo o existente P como normal N o anómalo Y. Más específicamente, para un punto de datos dado P, se puede calcular la posición del punto de datos P en el espacio de entrada 20 y a partir de esto qué tan "anormal" es con respecto a la distribución de su componente original 14, qué tan "raro" es con respecto a la distribución conjunta de todos los demás componentes 14', pero también qué tan "anormal en cuanto a componentes" es con respecto a cada otro componente 14'. Como se muestra en la FIG 3, los puntos de datos P o condiciones 10, 10', 12' agrupadas en la región densamente media 18' se valorarán con frecuencia como O (no raro) y normal N (no anormal) para las condiciones 10, 10' del componente 14 (ciclo negro) y con frecuencia como o y normal n para la condición 12' del componente adicional 14' (ciclo abierto). Sin embargo, los puntos de datos P o condiciones 10, 10', 12' en una región menos poblada 18 (no marcada por un cuadrado y con un número de referencia 18) se valorarán como raros R y anormales Y para las condiciones 10, 10' del componente 14 (ciclo negro) y como raros r y anormales y para la condición 12' del componente adicional 14' (ciclo abierto).

Por lo tanto, en caso de una evaluación de una condición 10 de un componente técnico 14 como no clasificado en vista de una rareza R y/o una anomalía Y de la condición 10, el método comprende los pasos de: identificar una

región característica 18, 18' del espacio de entrada de comportamiento 20 al verificar por el dispositivo de evaluación 44 si la condición no clasificada 10 encaja en la región característica 18, 18', asumiendo una rareza R de la condición no clasificada 10 si un número U de condiciones clasificadas 10' en la región característica 18, 18' es menor que el primer umbral predefinido H del número Q de condiciones clasificadas 10', 12' que contribuyen a la región característica 18, 18', y asumir una anomalía Y de la condición no clasificada 10 si un número U, u (también la suma de los números U y u) de condiciones clasificadas 10', 12' en la región característica 18, 18' es menor que el segundo umbral predefinido h del número q de condiciones clasificadas 10', 12' que contribuyen a la región característica 18, 18', y en caso de la suposición de rareza R y anomalía Y clasificar la condición antes no clasificada 10 como condición clasificada rara y anormal 10.

Por ejemplo, el primer valor límite/umbral H es un número Q de un máximo de tres condiciones 10' del componente 14 y el segundo valor límite/umbral h es un número q de un máximo de diez condiciones 10' 12' de al menos tres componentes diferentes 14, 14'. Se identificó que la condición no clasificada 10 encaja en la región 18 (no se muestra con detalle). En esta región 18, el número U de condiciones 10' del componente 14 que contribuyen a esta región 18 es dos y el número U, u de condiciones 10', 12' de componentes 14, 14' que contribuyen a esta región 18 es nueve condiciones 10', 12' de cuatro componentes 14, 14' (el número U de dos condiciones 10' del componente 14, como números u la suma de tres condiciones 12' de un primer componente adicional 14' y dos veces dos condiciones 12' de un segundo y tercer componentes adicionales 14'). El valor dos se ajusta a los criterios del número Q del primer valor límite H de "un máximo de tres condiciones 10'". Además, el valor nueve se ajusta a los criterios del número q del segundo valor límite h de "un máximo de diez condiciones 10' 12' de al menos tres componentes diferentes 14, 14'". Por lo tanto, la condición no clasificada 10 se valoraría como rara Y anormal Y.

Además, en un paso adicional del método inventivo, se asume un fallo F del componente 10 en caso de una clasificación de la condición antes no clasificada 10 como una condición clasificada rara y anormal 10.

El cálculo de anomalía Y, rareza R y anomalía de componente para cada punto de datos P permite una valoración detallada del estado de componente: En primer lugar, se puede usar el desarrollo en el tiempo de una puntuación combinada de estos tres indicadores para identificar cuándo un componente 14 desarrolla un comportamiento anómalo con respecto a su propio historial de componentes (por ejemplo, a través de autocorrelación temporal con medidas pasadas). En segundo lugar, ejecutar un algoritmo de agrupamiento en la distribución de múltiples componentes que divide las regiones 18, 18' con alta puntuación de anomalía de componente y baja rareza, de las regiones 18, 18' con alta rareza y baja anomalía de componente puede distinguir automáticamente el comportamiento anormal de uno o múltiples componentes 14 que se debe a una operación rara o comportamiento anormal de componente sistemático. Por lo tanto, esta detección de anomalías verdaderas permite distinguir si se necesita mantener el componente o no. En tercer lugar, la rareza y anomalía por componente se pueden usar en nuevos puntos de datos P para clasificarlos como normales o inusuales/anormales Y con respecto a la flota, otros componentes 14', 16 y el componente propio 14, lo que permite valorar de manera flexible la anomalía y por lo tanto, el riesgo de falla F.

Por lo tanto, el método se puede usar para una observación de un estado del componente técnico 14, donde el uso comprende los pasos de: obtener diferentes condiciones cronológicas 10, 10' del componente técnico 14 al monitorear el estado del componente técnico 14 durante un período de tiempo t1, t2, y asignar rareza R y anomalía Y para cada condición cronológica 10, 10'. A través de esto, se puede seleccionar un punto de tiempo para indicar cuándo se necesita reemplazar este tipo de componente 14. Este punto de tiempo se representa por la marca de tiempo TS de la condición 10.

Además, el método se puede usar para una predicción de fallas del componente técnico 14, donde el uso comprende el paso de: asumir una falla F del componente técnico 14 en dependencia de una clasificación de una condición 10 del componente técnico 14 como rara R y anormal Y.

Cabe señalar que el término "comprender" no excluye otros elementos o pasos y "uno" o "una" no excluye una pluralidad. También se pueden combinar elementos descritos en asociación con diferentes realizaciones. También debe tenerse en cuenta que los signos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las reivindicaciones.

Aunque la invención se ilustra y se describe con detalle por las realizaciones preferidas, la invención no se limita por los ejemplos divulgados. El alcance de la invención se define únicamente en las reivindicaciones independientes.

REIVINDICACIONES

1. Método para analizar condiciones (10, 10'; 12') de componentes técnicos (14, 14'; 16) en vista de una rareza (R, r) y una anomalía (Y, y) de una condición (10, 10'; 12'), en donde el método comprende al menos los siguientes pasos:

A) describir las condiciones (10, 10'; 12') de los componentes técnicos (14, 14'; 16) en un espacio de entrada de comportamiento (20) que se abarca por variables de estado (V), que son características de los componentes técnicos (14, 14'; 16),

B) analizar una condición (10) de un componente técnico (14) con respecto a otras condiciones (10') de este componente técnico (14) en el espacio de entrada de comportamiento (20), por lo que se detecta una rareza (R) de esta condición (10) del componente técnico (14), en donde el paso B) comprende los pasos de:

- determinar una distribución de las condiciones (10, 10') del componente técnico (14) en el espacio de entrada de comportamiento (20) para el análisis de las condiciones (10) del componente técnico (14),

- identificar regiones características (18, 18') en el espacio de entrada de comportamiento (20) al usar la distribución del componente (14) en el espacio de entrada de comportamiento (20),

- determinar un número (U) de condiciones (10, 10') del componente técnico (14) en al menos una región característica (18, 18') del espacio de entrada de comportamiento (20);

C) analizar la condición (10) del componente técnico (14) también con respecto a los análisis de condiciones (12') de componentes técnicos adicionales (14'; 16) en el espacio de entrada de comportamiento (20), por lo que se detecta una anomalía (Y) de la condición (10) del componente técnico (14), en donde el paso C) del método comprende los pasos de:

- determinar un número (u) de condiciones (12') de los componentes técnicos adicionales (14'; 16) en al menos una región característica (18, 18') del espacio de entrada de comportamiento (20) para analizar la condición (10) del componente técnico (14) también con respecto a los análisis de condiciones (12') de componentes técnicos adicionales (14'; 16),

en donde en caso de una evaluación de una condición (10) de un componente técnico (14) como no clasificado en vista de una rareza (R) y/o una anomalía (Y) de la condición (10), el método comprende los pasos de:

- identificar una región característica (18, 18') del espacio de entrada de comportamiento (20) al verificar si la condición no clasificada (10) encaja en la región característica (18, 18'),

- asumir una rareza (R) de la condición no clasificada (10) si un número (U) de condiciones clasificadas (10') en la región característica (18, 18') es menor que un primer umbral predefinido (H) de un número (Q) de condiciones clasificadas (10') que contribuyen a la región característica (18, 18'), y

- asumir una anomalía (Y) de la condición no clasificada (10) si un número (U, u) de condiciones clasificadas (10'; 12') en la región característica (18, 18') es menor que un segundo umbral predefinido (h) de un número (q) de condiciones clasificadas (10'; 12') que contribuyen a la región característica (18, 18'), y en caso de la suposición de rareza (R) y anomalía (Y)

- clasificar la condición antes no clasificada (10) como una condición clasificada rara y anormal (10).

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el paso A) del método comprende el paso de:

- generar el espacio de entrada de comportamiento (20) al usar una estadística realizada en datos históricos (D) del comportamiento de los componentes técnicos (14, 14'; 16).

3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el paso A) del método comprende el paso de:

- consolidar las estadísticas para la generación del espacio de entrada de comportamiento (20) de las condiciones (10, 10'; 12') de los componentes técnicos (14, 14'; 16).

4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde

cada condición (10, 10'; 12') del componente técnico (14) y de los componentes técnicos adicionales (14'; 16) en el espacio de entrada de comportamiento (20) se representa por un punto de datos (P), en donde cada punto de datos (P) se caracteriza por a) su posición y b) un valor que indica el componente de origen (14, 14'; 16) y opcionalmente c) el sello de tiempo (TS) o intervalo de medición.

5. Método al menos de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el paso A) del método comprende los pasos de:

- obtener la estadística por un método seleccionado del grupo que consiste en: volver a modificar la escala de señales de entrada, técnicas de reducción de dimensionalidad o usar derivados obtenidos al aplicar métricas estadísticas o transformaciones a las señales de entrada.

6. Método al menos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso C) del método

comprende los pasos de:

- 5 - obtener la distribución de las condiciones (10, 10'; 12') en el espacio de entrada de comportamiento (20) por un método seleccionado del grupo que consiste en: un enfoque de densidad simple, selección de valores atípicos estadísticos, un enfoque basado en aprendizaje automático, inferencia de componentes, un enfoque basado en AI, un enfoque basado en una comparación de distribución de probabilidad.
- 10 7. Método al menos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso C) del método comprende los pasos de:
- determinar el número (M) de contribuyentes (22, 22') para cada región característica (18, 18') por un método seleccionado del grupo que consiste en: conteo de entradas distintas de cero, relación de participación inversa.
- 15 8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el método comprende el paso de:
- asumir una falla (F) del componente (14) en caso de una clasificación de la condición antes no clasificada (10) como una condición clasificada rara y anormal (10).
- 20 9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la variable de estado (V) de las condiciones (10, 10'; 12') de los componentes técnicos (14, 14'; 16) comprende al menos un valor de sensor (S).
- 25 10. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el componente (14) y los componentes adicionales (14') son componentes (14, 14') del mismo tipo y/o el componente (14) y/o los componentes adicionales (14'; 16) es/son un componente de tren (24) y especialmente, un motor (26), una condición de aire, un eje, un vagón, un carro, un bogie, una rueda, una zapata de freno, una pastilla de freno, un muelle, un tornillo, un cojinete, un pantógrafo, un compresor, un transformador u otro sistema eléctrico, un sistema de refrigerante, un motor de ventilador, un sistema informático, una caja de engranajes, un sistema de iluminación, una puerta de pasajero o interna, una palanca, un micrófono, un HVAC o un sensor individual.
- 30 11. Uso del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para una observación de un estado de un componente técnico (14), en donde el uso comprende los pasos de:
- obtener diferentes condiciones cronológicas (10, 10') de un componente técnico (14) al monitorear el estado del
35 componente técnico (14) durante un período de tiempo (t1, t2), y
- asignar una rareza (R) y una anormalidad (Y) para cada condición cronológica (10, 10').
- 40 12. Uso del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para una predicción de fallas de un componente técnico (14), en donde el uso comprende el paso de:
- asumir una falla (F) del componente técnico (14) en dependencia de una clasificación de una condición (10) del
componente técnico (14) como rara (R) y anormal (Y).

DIBUJOS

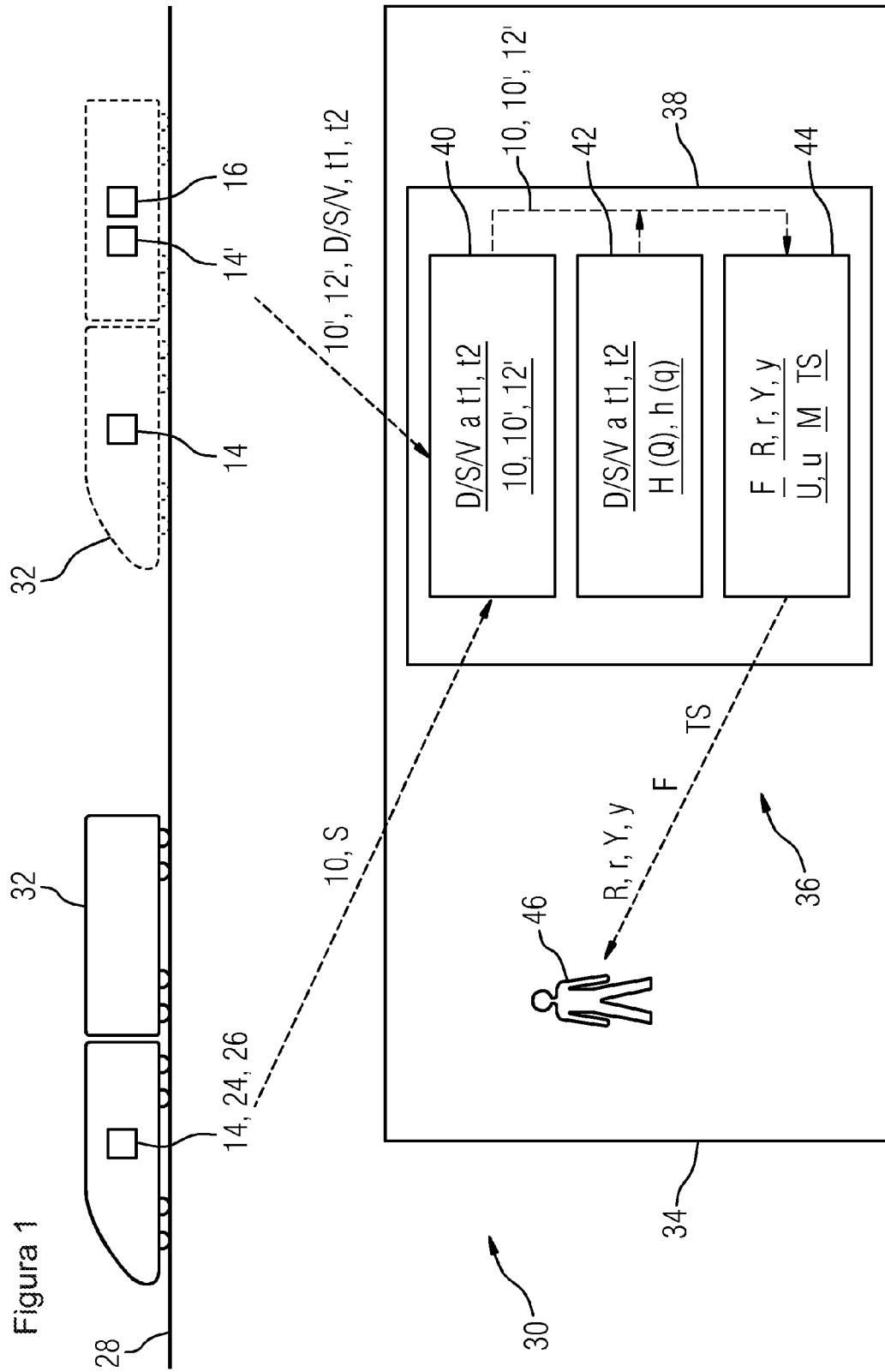


Figura 2

