

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 648**

51 Int. Cl.:

G06Q 10/0631 (2013.01)

G06Q 10/20 (2013.01)

G06Q 50/40 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2023** **E 23205226 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2025** **EP 4361920**

54 Título: **Método para ordenar vehículos de una flota de vehículos según un requisito de mantenimiento; Programa informático y sistema informático asociados**

30 Prioridad:

24.10.2022 FR 2210996

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

09.05.2025

73 Titular/es:

**ALSTOM HOLDINGS (100.00%)
48 rue Albert Dhalenne
93400 Saint-Ouen-sur-Seine, FR**

72 Inventor/es:

**STAINO, ANDREA;
MIJATOVIC, NENAD;
KAY, FABIEN;
ROBERTS, JOHN y
CABOT, JULIEN**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 3 016 648 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 ordenar vehículos de una flota de vehículos según un requisito de mantenimiento; Programa informático y sistema informático asociados

El campo de la presente invención es el del mantenimiento de una flota de vehículos, en particular, de vehículos ferroviarios, tales como trenes, trenes de metro, tranvías, etc.

Se conocen sistemas para monitorizar posibles fallos en vehículos ferroviarios, basados en la generación de eventos durante la operación de este vehículo. Más precisamente, el vehículo monitorizado está equipado con una pluralidad de sensores capaces de adquirir datos que, una vez procesados, permiten generar eventos característicos. Un evento es una entrada nueva en una base de datos de monitorización. Se define mediante una pluralidad de atributos, tales como un identificador de vehículo, un identificador de evento, el momento en que ocurre el evento, el tipo de evento y varios valores que lo caracterizan (que pueden depender del tipo de evento).

Actualmente, los operadores de mantenimiento analizan los eventos generados para un vehículo para diagnosticar el estado del vehículo, y determinar si es necesario realizar una operación de mantenimiento en este vehículo y la naturaleza de esta operación de mantenimiento: una mera inspección o el reemplazo de un componente en particular que esté fallando (o a punto de fallar) en el vehículo ferroviario en cuestión.

Sin embargo, estos sistemas de monitorización generan miles de eventos cada día para cada vehículo de una flota.

Es difícil para un solo operador analizar tal cantidad de información. Este tipo de análisis sigue siendo complejo, especialmente cuando se trata de establecer correlaciones significativas entre los eventos. Por lo tanto, requiere una inversión significativa en términos de tiempo de trabajo y coste.

Además, es prácticamente imposible para un operador comparar los vehículos de una flota entre sí para determinar cuál de estos vehículos necesita mantenimiento urgente, a fin de priorizar las operaciones de mantenimiento requeridas en ese vehículo sobre otro. En el momento, la decisión de inspeccionar un vehículo sobre otro es esencialmente una decisión empírica tomada por el operador de mantenimiento.

Por lo tanto, sería ventajoso poder identificar rápida y fácilmente los uno o más vehículos de una flota que necesiten un mantenimiento prioritario, aunque solo sea para optimizar las tareas de mantenimiento y limitar el tiempo durante el cual no se puede utilizar un elemento de equipo.

El documento US-2019/197.798 A1 presenta un método implementado por ordenador para ordenar los vehículos de una flota de vehículos según una necesidad de mantenimiento, incluyendo el método las etapas de, para cada vehículo de la flota, determinar una serie temporal, incluyendo la serie temporal, para cada paso de tiempo, un valor instantáneo de al menos una cantidad de interés obtenida a partir de eventos de monitorización adquiridos mediante un sistema para la monitorización de vehículos de la flota de vehículos; y analizar, durante un intervalo de tiempo predeterminado, las series temporales, teniendo en cuenta las series temporales determinadas para todos los vehículos de la flota de vehículos, considerando que en cada paso de tiempo, el estado de un vehículo es bien un estado «normal» o un estado «anormal» que requiere mantenimiento, a fin de obtener una secuencia óptima de estados durante el intervalo de tiempo predeterminado.

El objeto de la presente invención es, en particular, abordar esta necesidad.

Con este fin, la invención proporciona un método alternativo, un producto de programa informático y un sistema informático según las reivindicaciones adjuntas.

La invención y sus ventajas se comprenderán mejor leyendo la siguiente descripción detallada de una realización particular, proporcionada únicamente a modo de ejemplo, realizándose esta descripción con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

La figura 1 muestra esquemáticamente un sistema informático para implementar el método según la invención, y

la figura 2 muestra esquemáticamente, en forma de diagrama de bloques, una realización preferida del método de ordenación según la invención.

El método según la invención permite que los trenes de una flota de trenes se ordenen automáticamente según la necesidad de mantenimiento.

Una flota de trenes está compuesta de una pluralidad de trenes similares, o incluso idénticos, que circulan en una red de una manera esencialmente intercambiable. Dicho de otro modo, ordenar los trenes de una flota en relación con los demás según las necesidades de mantenimiento, tiene sentido ya que estos distintos trenes son similares en términos

de estructura (y, por lo tanto, en términos de desgaste y deterioro, y posibles fallos) y en términos de uso (y, por lo tanto, en términos de condiciones operativas).

5 El método según la invención se basa en la detección de ráfagas mediante el análisis de una serie temporal de una cantidad de interés, derivada de los eventos generados por un sistema de monitorización de la técnica anterior.

10 En el contexto del análisis de series temporales de una cantidad, la detección de ráfagas es una técnica que permite identificar aquellos valores de esta cantidad que muestran un aumento sustancial durante un período de tiempo limitado en relación con un nivel de referencia.

Se conocen numerosos algoritmos de detección de ráfagas, particularmente en aplicaciones de procesamiento de señales. En términos generales, un algoritmo de detección de ráfagas identifica períodos de tiempo (o ráfagas) durante los cuales un valor objetivo es inusualmente frecuente.

15 Los algoritmos de detección de ráfagas se pueden adaptar para flujos de datos discretos, como en el caso de los eventos generados por un sistema de monitorización de flota de trenes. A continuación, la realización presentada en detalle implementa un algoritmo de detección de ráfagas basado en una verosimilitud máxima logarítmica.

20 Según la invención, la detección de ráfagas para un tren en particular se lleva a cabo determinando el nivel de referencia a partir de los eventos generados por el sistema de monitorización para todos los trenes de la flota.

La figura 1 muestra un sistema informático 10 para implementar el método según la invención.

25 Incluye una base 12 de datos de monitorización que recopila los eventos generados por un sistema 20 para la monitorización de los trenes de una flota.

El sistema informático 10 comprende un ordenador 14 que incluye medios informáticos, tales como un procesador, y medios de almacenamiento, tales como una memoria. La memoria almacena instrucciones de programas informáticos, en particular un programa 30, cuya ejecución permite implementar el método según la invención.

30 El programa 30 puede dividirse en módulos, en particular un módulo 32 para determinar una serie temporal de una cantidad de interés, un módulo 34 para el análisis de series temporales, un módulo 36 para la detección de ráfagas y un módulo 38 para ordenar los trenes de la flota.

35 Ventajosamente, el sistema informático 10 incluye una interfaz hombre-máquina 16, por ejemplo, una tableta, para mostrar a un operador de mantenimiento los resultados de la implementación del método según la invención.

40 Con referencia a la figura 2, se muestra una realización preferida de un método para ordenar los trenes de una flota de trenes según una necesidad de mantenimiento.

El método 100 se implementa independientemente de una etapa 90 anterior de adquisición de eventos.

45 El método 100 como tal incluye una etapa 110 de determinación de una serie temporal de una cantidad de interés o característica (esta etapa corresponde a la ejecución del módulo 32), una etapa 120 de análisis de una serie temporal (esta etapa corresponde a la ejecución del módulo 34), una etapa 130 de detección de ráfagas (esta etapa corresponde a la ejecución del módulo 36) y una etapa 140 de ordenación de los trenes de la flota (esta etapa corresponde a la ejecución del módulo 38).

50 Etapa 90 de adquisición

Esta etapa, antes de la implementación del método según la invención, se lleva a cabo según la técnica anterior.

Se lleva a cabo mediante el sistema 20 de monitorización.

55 Consiste en adquirir datos de monitorización para cada tren de la flota, y en crear eventos basados en los datos adquiridos.

Los datos los proporcionan los sensores de cada tren.

60 Los eventos están asociados a un tren en particular. Están fechados. Por ejemplo, el paso de tiempo seleccionado para fechar los eventos es un día.

Los eventos se registran en la base 12 de datos de monitorización.

65 Obsérvese que un elevado número de ocurrencias de eventos puede deberse a una falla real en el elemento del equipo que se está monitorizando (el sistema de monitorización puede entonces continuar señalando esta falla hasta

que se repare). Sin embargo, un número elevado de ocurrencias también puede deberse a un error en el diseño del propio sistema de monitorización, en particular el modelado de fallas que este sistema utilice para generar eventos de monitorización (por lo que el sistema de monitorización señala el evento varias veces).

5 Etapa 110 de determinación de una serie temporal de una cantidad de interés

El objetivo de la etapa 110 es construir, para cada tren, una serie temporal de una cantidad de interés a partir de los eventos contenidos en la base 12 de datos de monitorización.

10 La cantidad de interés es cualquier variable de tiempo derivada de todos o algunos de los eventos de monitorización asociados a un tren, y que permite, al agregar estos eventos de monitorización, cuantificar la necesidad de mantenimiento en cada paso de tiempo.

15 Por ejemplo, primero se define una ventana de tiempo correspondiente, por ejemplo, a una semana de funcionamiento del tren.

20 La cantidad de interés es entonces, por ejemplo, el número total de eventos de monitorización generados dentro de la ventana de tiempo para el tren en cuestión. La cantidad de interés calculada de esta manera está fechada, por ejemplo, con el último día de la ventana de tiempo utilizada.

Entonces, se trata simplemente de repetir esta operación arrastrando la ventana de tiempo para el paso de tiempo elegido (en este caso, un día) para calcular una cantidad de interés por cada día que un tren esté en funcionamiento.

25 La serie temporal de un tren consiste entonces en la secuencia de valores de la cantidad de interés para ese tren.

Dicha serie temporal se obtiene para cada uno de los trenes de la flota.

30 Alternativamente, en lugar del número acumulado de eventos, la cantidad de interés podría corresponder al número acumulado de eventos de un tipo particular (es decir, aquellos asociados a una falla específica o un componente específico del tren). En otra variante, en lugar de analizar solo una serie temporal de una cantidad de interés, se podría optar por calcular diferentes cantidades de interés y hacer seguimiento de cada una de estas cantidades a lo largo del tiempo.

35 Etapa 120 de análisis de una serie temporal

Para cada tren de la flota, esta etapa consiste en el análisis de la serie temporal de la cantidad de interés obtenida en la etapa 110, mediante la aplicación de un algoritmo de detección de ráfagas y, a continuación, cuantificar la necesidad de mantenimiento del tren en cuestión, según las ráfagas detectadas.

40 Esta etapa tiene en cuenta no solo las series temporales asociadas al tren en cuestión, sino también las series temporales asociadas a los demás trenes de la flota.

45 El algoritmo de detección de ráfagas utilizado más particularmente en la presente realización se basa en el modelo según el cual, en cada paso de tiempo, un tren solo puede estar en dos estados posibles: un estado operativo nominal (en lo sucesivo, «estado normal») y un estado operativo que requiere mantenimiento (en lo sucesivo, «estado anormal»).

50 Más precisamente, suponiendo que los eventos siguen una distribución binomial cuando el tren está en el estado normal, y una distribución binomial (idéntica en aras de la simplicidad de la presente descripción) cuando el tren está en el estado anormal, el algoritmo de detección de ráfagas tiene por objeto determinar la secuencia de estados que mejor se corresponde con las observaciones formadas por los valores de la serie temporal de la cantidad de interés durante el intervalo de tiempo en cuestión.

55 Por ejemplo, se considera un intervalo de tiempo de una semana, subdividido en pasos de tiempo de un día. Cada paso de tiempo del intervalo se indexa con el número entero t entre 1 y T , donde T es el número máximo de pasos de tiempo en el intervalo de interés (en este caso, T es igual a 7).

Se considera una flota de N trenes. Cada tren está indexado con un número entero j entre 1 y N

60 El valor diario de la cantidad característica del tren j en el día t , se indica con: $g_j(t)$

El valor diario de la cantidad característica total de todos los trenes de la flota en el día t , viene dado por:

$$g_F(t) = \sum_{j=1}^N g_j(t)$$

El valor integrado de la cantidad característica del tren j durante el intervalo de tiempo, viene dado por:

$$G_j = \sum_{t=1}^T g_j(t)$$

El valor integrado de la cantidad característica total de todos los trenes de la flota durante el intervalo de tiempo, viene

$$G_F = \sum_{t=1}^T g_F(t)$$

5 dado por:

$$p_j^{\text{ref}} = G_j / G_F$$

La probabilidad del nivel de referencia para el tren j, o probabilidad de referencia, se define con:

10 Esta probabilidad de referencia está asociada al estado normal del tren j. Corresponde a los eventos que afectan al tren j en relación con todos los eventos que afectan a los trenes de la flota, durante el intervalo de tiempo en cuestión.

La probabilidad de ráfaga asociada para el tren j se define entonces por: $p_j^{\text{ráfaga}} = \alpha \cdot p_j^{\text{ref}}$, donde α es una constante de proporcionalidad.

15 Esta probabilidad de ráfaga está asociada al estado anormal del tren j.

El siguiente paso es calcular una secuencia de estados $s(t)$ durante el intervalo de tiempo en cuestión, que sea compatible con los valores característicos $g_j(t)$ y $g_F(t)$ del tren j.

20 Para ello, se elige un criterio estadístico. Por ejemplo, en la presente realización, el criterio estadístico elegido se basa en una función de coste que asocia una función de verosimilitud logarítmica combinada ventajosamente con una función de transición.

La función de verosimilitud instantánea asociada al estado $s(t)$ en el tiempo t (también indicado por s) para el tren j, es

25 la función de verosimilitud binomial $\mathcal{L}_{s,j}(t)$:

$$\mathcal{L}_{s,j}(t) = \binom{g_F(t)}{g_j(t)} \cdot p_j^s]^{g_j(t)} \cdot [(1 - p_j^s)]^{g_F(t) - g_j(t)}$$

Por razones numéricas, se busca minimizar el logaritmo de $\mathcal{L}_{s,j}(t)$ durante el intervalo de tiempo en cuestión. Para

30 evaluar la verosimilitud del estado normal ($s = \text{«normal»}$), se considera que la probabilidad p_j^s es igual a p_j^{ref} . La verosimilitud del estado anormal ($s = \text{«anormal»}$) se evalúa considerando que p_j^s es igual a $p_j^{\text{ráfaga}}$.

La función de transición $H_{s,j}^{s'}(t)$ del estado s en el tiempo t al estado s' en el siguiente tiempo $t+1$, asocia un coste a un cambio de estado.

35 Preferiblemente, dado que, por definición, el estado normal es el estado esperado del tren, y el estado anormal es un estado «excepcional», la función de transición es distinta de cero solo si hay un cambio de estado y la transición es del estado normal al estado anormal.

40 Es concebible que la función de transición sea proporcional a T, para que sea comparable con el término de verosimilitud en el proceso de optimización a medida que T aumenta (es decir, a medida que aumenta el intervalo de tiempo).

Por lo tanto, el criterio instantáneo a minimizar es:

45

$$f_j(t) = -\ln(\mathcal{L}_{s,j}(t)) + H_{s,j}^{s'}(t)$$

Durante el intervalo de tiempo, el criterio a minimizar pasa a ser:

$$F_j = \sum_{t=1}^T f_j(t)$$

- 5 La secuencia óptima de los estados $s(t)$ del tren j , es decir, la secuencia de los estados («normal» o «anormal») del tren j que mejor explica la observación según el modelo binomial, es, por lo tanto, la que minimiza la función de coste para todos los pasos de tiempo en el intervalo de tiempo en cuestión.

- 10 La secuencia óptima se determina, por ejemplo, mediante la optimización utilizando un algoritmo «voraz», tal como conoce un experto en la técnica.

Etapas 130 de detección de ráfagas

- 15 Finalmente, se analiza la secuencia óptima de estados para aislar cualquier ráfaga en la misma. Una ráfaga se caracteriza por un número mínimo de pasos de tiempo consecutivos en el estado anormal. Este número de umbral está predefinido. Se puede establecer en uno, en cuyo caso se detecta una ráfaga tan pronto como el tren esté en estado anormal.

- 20 Además de su duración, una ráfaga se puede caracterizar por su intensidad. La intensidad de una ráfaga viene dada, por ejemplo, por la suma de los valores de la función de coste $f_j(t)$ a lo largo de uno o más pasos de tiempo asociados a la ráfaga.

Etapas 140 de ordenación

- 25 Una vez que se hayan completado las etapas anteriores para cada tren, la forma en que se ordenan los trenes de la flota depende de la cantidad de interés.

- 30 Si, como en el ejemplo anterior, se considera el número acumulado de eventos diarios, entonces los trenes se pueden clasificar en orden descendente según la duración de las ráfagas detectadas para cada tren durante el intervalo de tiempo en cuestión. Si dos ráfagas tienen la misma duración, los trenes se clasifican según la intensidad decreciente de estas ráfagas.

- 35 Si, por el contrario, se considera el número de eventos diarios de un tipo determinado, entonces las ráfagas se clasifican por intensidad (considerando que la intensidad tiene en cuenta la duración de la ráfaga de alguna manera).

- Una vez que los trenes de la flota se han ordenado por prioridad, solo los identificadores de los primeros X trenes (p. ej., $X = 3$) se muestran en la interfaz 16.

- 40 Ventajosamente, al seleccionar el identificador de un tren, el operador accede a los Y eventos más recurrentes (por ejemplo, $Y = 5$) que afecten a este tren.

Ventajas

- 45 Este método ayuda a los operadores de mantenimiento a seleccionar el tren de máxima prioridad para un mantenimiento rápido y eficiente.

- 50 Lo que es importante para clasificar los trenes en relación unos con otros no es el número de ocurrencias de eventos en sí, sino más bien un cambio significativo en la proporción de eventos generados por un tren en relación con el resto de la flota, durante un período de tiempo determinado y, posiblemente, para un determinado tipo de evento.

- Si se produce un aumento inusual y abrupto para un tren en particular (en el número total de eventos, o solo para un solo tipo de evento), entonces se puede considerar que, por la razón que sea, el comportamiento de este tren ha cambiado. Es importante señalar esto automáticamente, ya que puede ser un síntoma de algo anormal que debe corregirse lo antes posible.

55

REIVINDICACIONES

1. Un método (100) implementado por ordenador para ordenar los vehículos de una flota de vehículos según una necesidad de mantenimiento, incluyendo el método las etapas de, para cada vehículo de la flota:
 - determinar (110) una serie temporal, incluyendo la serie temporal, para cada paso de tiempo, un valor instantáneo de al menos una cantidad de interés obtenida a partir de eventos de monitorización adquiridos por medio de un sistema para la monitorización de vehículos de la flota de vehículos; y,
 - analizar (120), durante un intervalo de tiempo predeterminado, la serie temporal, teniendo en cuenta la serie temporal determinada para todos los vehículos de la flota de vehículos, considerando que, en cada paso de tiempo, el estado de un vehículo es bien un estado «normal» o un estado «anormal» que requiere mantenimiento, a fin de obtener una secuencia óptima de estados durante el intervalo de tiempo predeterminado,
 estando el método caracterizado por que comprende las etapas adicionales de:
 - detectar (130), para cada vehículo de la flota, la presencia, si la hubiera, de una o varias ráfagas en la secuencia óptima de estados; a continuación,
 - solicitar (140) una lista de vehículos de la flota de vehículos según las propiedades de las ráfagas detectadas para cada vehículo.
2. El método según la reivindicación 1, en donde la cantidad de interés es el número total de eventos, o el número total de eventos de un tipo particular, que afectan al vehículo considerado, adquiridos durante una ventana de tiempo de referencia.
3. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el análisis de la serie temporal incluye una optimización de una función de coste, asociando una función de verosimilitud y, preferiblemente, una función de transición, a fin de determinar una probabilidad instantánea para cada paso de tiempo.
4. El método según la reivindicación 3, en donde la probabilidad instantánea para un paso de tiempo se compara con una probabilidad de referencia calculada a partir de las cantidades de interés de todos los vehículos de la flota de vehículos, a fin de determinar el estado óptimo del vehículo considerado en el paso de tiempo considerado.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde detectar la presencia de ráfagas en la secuencia óptima de estados, consiste en determinar un número de pasos de tiempo consecutivos que el vehículo pasa en el estado «anormal» en la secuencia óptima de estados y, cuando el número de pasos de tiempo sea mayor que un umbral predeterminado, considerarlo como una ráfaga.
6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una ráfaga se caracteriza por una duración y/o una intensidad, y la ordenación de la lista de vehículos de la flota de vehículos según las propiedades de las ráfagas detectadas para cada vehículo, se lleva a cabo en función de la duración y/o la intensidad de dichas ráfagas.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el vehículo es un vehículo ferroviario, tal como un tren, un tren de metro o un tranvía.
8. Un programa informático que incluye instrucciones de software que, cuando son ejecutadas por un ordenador, implementan un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Un sistema informático (10), caracterizado por que el mismo es adecuado para implementar un método (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, siendo el sistema informático adecuado para acceder al contenido de una base (23) de datos de monitorización, para leer los eventos de monitorización adquiridos por un sistema (20) de monitorización.
10. El sistema según la reivindicación 9, que incluye:
 - un módulo (32) para la determinación de una serie temporal de una cantidad de interés;
 - un módulo (34) para el análisis de la serie temporal de una cantidad de interés, para la determinación de una secuencia óptima de estados;
 - un módulo (36) para la detección de ráfagas en la secuencia óptima de estados; y,

- un módulo (38) para planificación de la ordenación de los vehículos de una flota de vehículos según las propiedades de las ráfagas detectadas.

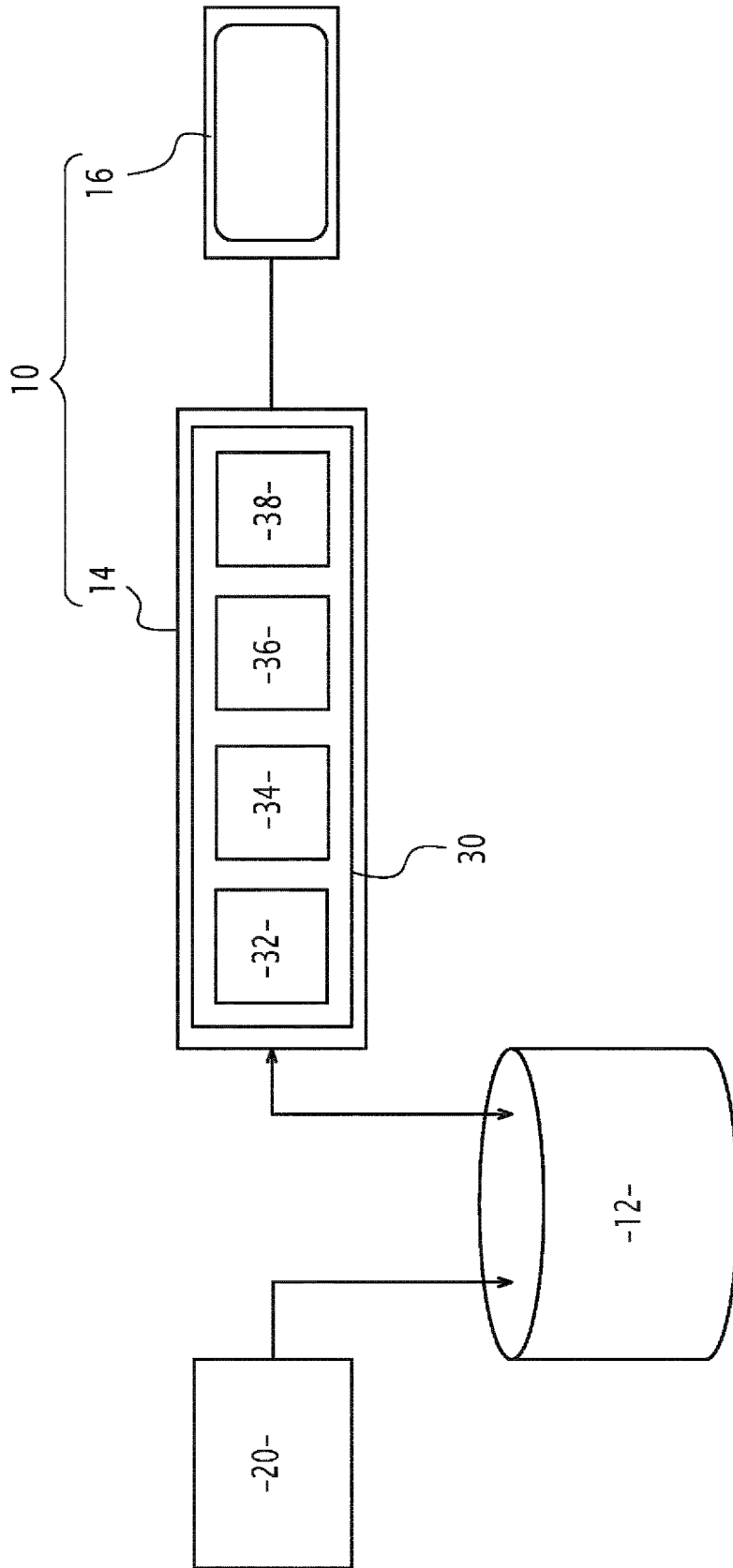


Figura 1

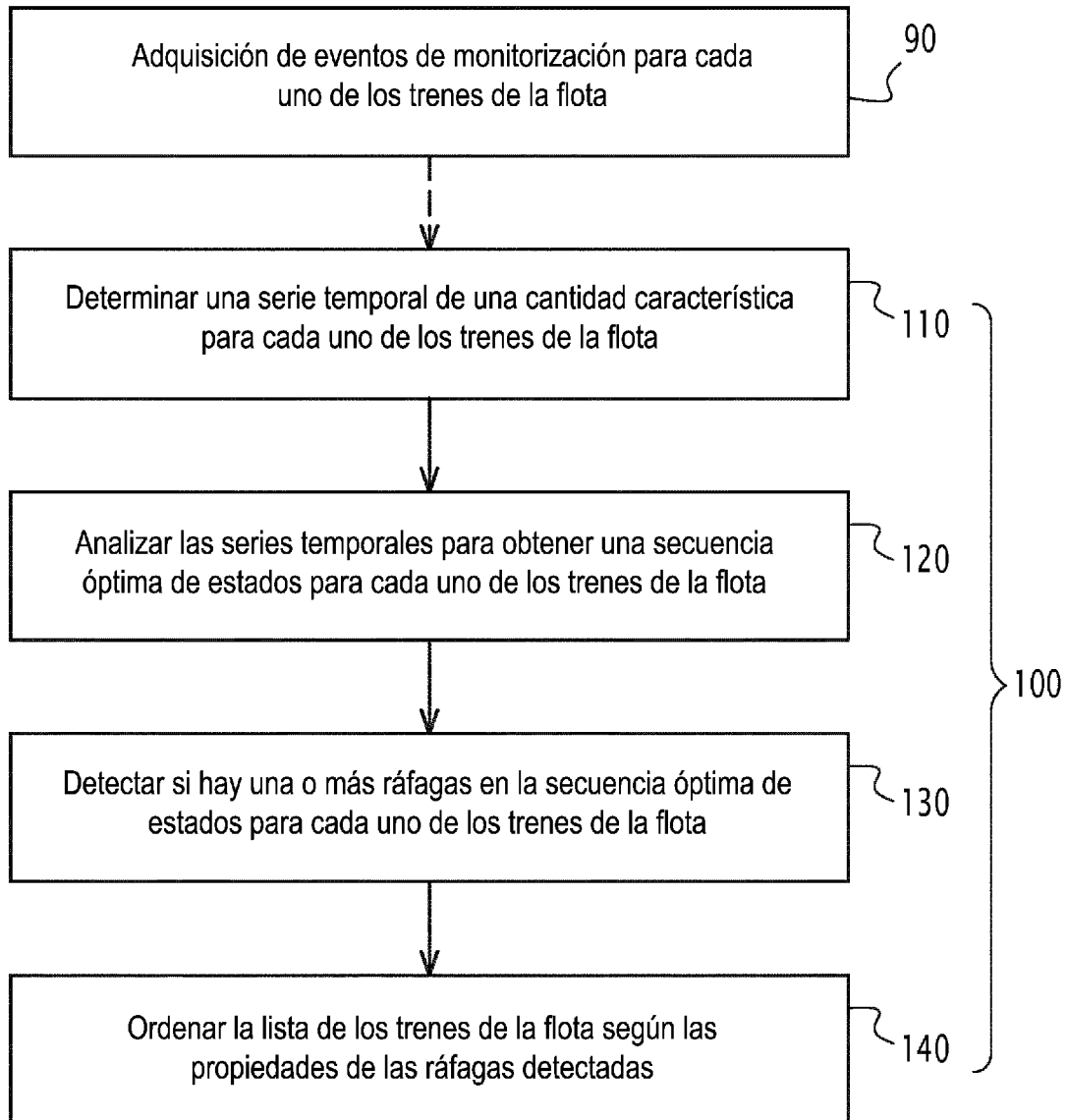


Figura 2