

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 996 259**

51 Int. Cl.:

B61L 27/16 (2012.01)

G06N 3/084 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2019** **PCT/EP2019/069863**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2020** **WO20043397**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2019** **E 19752934 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024** **EP 3814194**

54 Título: **Optimización energética en la operación de una flota de vehículos ferroviarios**

30 Prioridad:

31.08.2018 DE 102018214813

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

12.02.2025

73 Titular/es:

SIEMENS MOBILITY GMBH (100.00%)

Otto-Hahn-Ring 6

81739 München, DE

72 Inventor/es:

AUFDERHEIDE, HELGE y

SIVALINGAM, UDHAYARAJ

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 996 259 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

Optimización energética en la operación de una flota de vehículos ferroviarios

La presente invención hace referencia a un procedimiento para el funcionamiento con optimización energética de una flota de vehículos ferroviarios, que se compone de múltiples vehículos ferroviarios, cada uno de los cuales presenta un sistema de control de estado para influir en el estado del vehículo, que puede generar y/o consumir energía eléctrica. La presente invención hace referencia, además, a una flota de vehículos ferroviarios con múltiples vehículos ferroviarios de esta clase.

Por lo general, un vehículo ferroviario debe cumplir uno o varios criterios específicos durante su funcionamiento. Por ejemplo, puede estar previsto que el vehículo ferroviario respete un horario predeterminado, no supere una velocidad de conducción máxima permitida y/o mantenga una temperatura interior dentro de un intervalo de temperatura predeterminado.

Por lo general, un vehículo ferroviario se opera con ayuda de su sistema de control de estado de tal manera que se cumplan (en gran medida) el o los criterios objetivo especificados. Un sistema de control de estado de un vehículo ferroviario sirve para influir en el estado del vehículo ferroviario. El sistema de control de estado puede servir, por ejemplo, para modificar la velocidad de desplazamiento del vehículo ferroviario y/o para modificar la temperatura interior del vehículo ferroviario.

Cuando el estado del vehículo ferroviario cambia, el sistema de control de estado puede consumir y/o generar energía eléctrica. Por ejemplo, el sistema que influye en el estado puede consumir energía eléctrica para acelerar el vehículo ferroviario mediante un motor de tracción eléctrico o generar energía eléctrica al frenar el vehículo ferroviario mediante un freno de recuperación.

En una flota de vehículos ferroviarios que comprende múltiples vehículos ferroviarios, por lo general, cada uno de los vehículos ferroviarios debe cumplir durante el funcionamiento uno o varios criterios objetivo propios. Por lo tanto, los vehículos ferroviarios individuales de la flota de vehículos ferroviarios se suelen operar con sus sistemas de control de estado, de tal modo que los vehículos ferroviarios cumplan (en gran medida) estos criterios objetivo.

En general, un operador de una flota de vehículos ferroviarios desea optimizar el balance de energía eléctrica general de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios (es decir, reducir el consumo de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios y/o aumentar la generación de energía eléctrica de los sistemas de control de estado).

La solicitud EP 3 213 974 A1 revela un procedimiento para el funcionamiento de vehículos ferroviarios. El artículo "Optimal automatic train operation via deep reinforcement learning" ("Operación óptima del tren automático a través del aprendizaje profundo por refuerzo") de ZHOU RUI ET AL, 10ª CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL AVANZADA (ICACI) de 2018, IEEE, 29 de marzo de 2018, páginas 103-108 describe un método para la optimización energética mediante aprendizaje profundo por refuerzo.

La solicitud DE 10 2011 106 440 A1 revela un procedimiento de acuerdo con el concepto general de la reivindicación independiente 1.

Un objeto de la presente invención consiste en permitir el funcionamiento con optimización energética de una flota de vehículos ferroviarios compuesta por múltiples vehículos ferroviarios.

Este objeto se resuelve mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y mediante una flota de vehículos ferroviarios según la reivindicación 13.

Las realizaciones ventajosas de la presente invención son objeto de las reivindicaciones relacionadas, así como de la descripción a continuación.

En el procedimiento según la presente invención para el funcionamiento con optimización energética de una flota de vehículos ferroviarios, la flota de vehículos ferroviarios comprende n vehículos ferroviarios, cada uno de los cuales presenta un sistema de control de estado para influir en el estado del vehículo, que puede generar y/o consumir energía eléctrica, y una unidad informática entrenada mediante un método de aprendizaje automático, en donde n es un número natural y es mayor que 1. Además, en el procedimiento conforme a la invención para todos los i de 1 a n en funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios, la unidad informática del i -ésimo vehículo ferroviario de los n vehículos ferroviarios selecciona una acción que

se aplicará al sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario, considerando al menos un criterio objetivo para el i -ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta, que, cuando se aplica al sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario, contribuye a la optimización del balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios, y la acción seleccionada se aplica al sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario, en donde i es un número natural.

El uso de unidades informáticas entrenadas mediante un método de aprendizaje automático para seleccionar las acciones para los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios ofrece la ventaja de que no es necesario implementar un gran número de reglas dependientes de la situación en las unidades informáticas de la flota de vehículos ferroviarios para seleccionar acciones para los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios en la respectiva situación, lo que permite optimizar el balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios.

Debido a que las unidades informáticas de la flota de vehículos ferroviarios se entrenan mediante un método de aprendizaje automático, las unidades informáticas pueden seleccionar de forma independiente acciones para los sistemas de control de estado en base a su entrenamiento previo (posiblemente aún en curso) sin una implementación explícita de reglas dependientes de la situación en base a los conocimientos que han aprendido hasta el momento en la respectiva situación, lo que permite una optimización del balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado. En otras palabras, el entrenamiento de las unidades informáticas de la flota de vehículos ferroviarios basado en un proceso de aprendizaje automático dota a los vehículos ferroviarios de una especie de «inteligencia de enjambre», que permite a los vehículos ferroviarios seleccionar acciones adecuadas para sus sistemas de control de estado en la correspondiente situación, que permiten optimizar el balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado.

El hecho de que la selección de la acción para el sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario se realiza considerando al menos un criterio objetivo para el i -ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta permite a la unidad informática del i -ésimo vehículo ferroviario seleccionar la acción para el sistema de control de estado en la respectiva situación bajo la condición límite de que la acción permita al i -ésimo vehículo ferroviario cumplir (al menos aproximadamente) el criterio objetivo correspondiente.

La expresión «para todos los i de 1 a n » también hace referencia a las formas de ejecución preferidas mencionadas en la siguiente descripción y a las reivindicaciones relacionadas en las que se hace referencia al vehículo ferroviario « i -ésimo». En otras palabras, las características descritas a continuación, en las que se hace referencia al « i -ésimo» vehículo ferroviario, se aplican en cada caso a todos los n vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios.

Los vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios pueden consistir en vagones individuales o en una combinación de varios vagones acoplados.

En el presente contexto, un sistema de control de estado de un vehículo ferroviario se debe entender como un sistema cuyos componentes pueden influir en un estado del vehículo ferroviario, como su velocidad de desplazamiento, una temperatura interior del vehículo ferroviario o similares. Al influir en el estado del vehículo, el sistema de control de estado o al menos algunos de sus componentes pueden consumir y/o generar energía eléctrica.

El consumo de energía eléctrica por el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario se incluye en el balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de los n vehículos ferroviarios con un signo negativo, mientras que la generación de energía eléctrica por el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario se incluye en el balance global de energía con un signo positivo.

El sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario se configura preferentemente para tomar energía eléctrica de una red de energía eléctrica y/o para suministrar energía eléctrica a la red de energía eléctrica.

De manera preferente, los vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios se alimentan de energía eléctrica a través de la misma red de energía eléctrica. El respectivo vehículo ferroviario de la flota de vehículos ferroviarios puede recibir energía eléctrica en particular a través de una catenaria, como una línea de contacto aérea o barra colectora.

En particular, los vehículos ferroviarios individuales de la flota de vehículos ferroviarios pueden viajar por la misma red ferroviaria o estar situados en la misma red ferroviaria.

De manera conveniente, la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario está equipada con una memoria de datos en la que se pueden almacenar datos y/o un programa informático. Además, resulta conveniente cuando la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario está equipada de un procesador en el cual se puede ejecutar un programa informático.

- 5 La selección de la respectiva acción no sucede necesariamente en simultáneo en los n vehículos ferroviarios. En otras palabras, la selección de la correspondiente acción mediante la respectiva unidad informática puede tener lugar con retarde en cada uno de los vehículos ferroviarios individuales de la flota de vehículos ferroviarios. Además, la respectiva acción se puede aplicar a cada uno de los vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios con un retardo de tiempo.
- 10 Los parámetros de estado, en función de los cuales la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario selecciona la acción, hacen referencia al respectivo vehículo ferroviario (en particular, a su estado de desplazamiento), a la ubicación en la que se encuentra el correspondiente vehículo ferroviario y/o a la ruta por delante del vehículo ferroviario.
- 15 La acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario puede tratarse de una acción que se aplicará a un único componente del sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario. De manera alternativa, la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario puede comprender varias subacciones, en particular diferentes, que deben aplicarse a diferentes componentes del sistema de control del estado del i-ésimo vehículo ferroviario. De manera conveniente, la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplica en el o los componentes correspondientes del sistema de control del estado del i-ésimo vehículo ferroviario.
- 20

De manera preferida, la acción seleccionada por la respectiva unidad informática se selecciona a partir de una lista de acciones posibles que pueden estar almacenadas, por ejemplo, en la respectiva unidad informática o en su memoria de datos.

- 25 En una posible variante de ejecución de la invención, la acción seleccionada por la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario se envía a través de un dispositivo de salida, como una pantalla, del respectivo vehículo ferroviario y la aplicación de la acción seleccionada al sistema de control de estado del vehículo ferroviario es iniciada por un conductor del vehículo a través de un elemento de control del vehículo ferroviario. Alternativamente, la acción seleccionada por la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario puede ser iniciada automáticamente por la unidad informática, es decir, sin autorización previa de un conductor de vehículo (y posiblemente sin notificar al conductor del vehículo). En este último caso, la unidad informática del respectivo vehículo ferroviario puede, por ejemplo, generar automáticamente una señal de control para ejecutar la acción seleccionada y transmitirla al componente o a los componentes correspondientes del sistema de control de estado del vehículo ferroviario.
- 30

- 35 La acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario puede comprender la activación de uno o varios componentes del sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario, la desactivación de uno o varios componentes de este sistema de control de estado, la modificación de una variable de ajuste (como, por ejemplo, una velocidad) de uno o varios componentes de este sistema de control de estado y/o la modificación de un modo de funcionamiento de uno o varios componentes de este sistema de control de estado.

- 40 El, al menos un, criterio objetivo mencionado para el i-ésimo vehículo ferroviario puede hacer referencia en particular a un horario que debe respetar el i-ésimo vehículo ferroviario. Por ejemplo, el criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario puede especificar el intervalo de tiempo máximo en el que la hora de llegada del i-ésimo vehículo ferroviario a una estación/parada puede desviarse de la hora de llegada del i-ésimo vehículo ferroviario programada según el horario.

- 45 Además, puede estar previsto que la acción sea seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario, considerando varios criterios objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario.

- 50 Al menos algunos de los criterios objetivo se refieren a una temperatura interior del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, una temperatura de un componente (que debe enfriarse) del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite superior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite inferior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario precedente y/o una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario que le sigue. De manera conveniente, el respectivo criterio objetivo se almacena en la memoria de datos de la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario.

- Considerando los criterios objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario, que se refieren al límite inferior y superior de la tensión de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, es posible, por ejemplo, que los vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios funcionen de tal manera que la tensión de la catenaria en la ubicación del respectivo vehículo ferroviario se mantenga estable (entre el límite superior y el límite inferior). De este modo, se puede evitar que la tensión de la catenaria en la ubicación del respectivo vehículo ferroviario se desvíe significativamente de su valor normal (es decir, que la tensión de la catenaria supere/sea inferior al límite superior/inferior), lo que podría, por ejemplo, provocar daños en el respectivo vehículo ferroviario y/o su parada de emergencia.
- Los parámetros de estado, en función de los cuales la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona la acción, pueden comprender en particular una tensión instantánea de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario y/o uno o más valores estadísticos de tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario.
- Un valor estadístico de la tensión de catenaria, en función de la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario, puede ser, por ejemplo, un valor medio o normal de la tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario. Otro valor estadístico de la tensión de catenaria, en función del cual la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona la acción, puede ser, por ejemplo, una tolerancia de tensión media o una fluctuación de tensión media de la tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario.
- De manera ventajosa, la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario consiste en una acción que contribuye a que la tensión instantánea de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario se desvíe lo menos posible del valor medio/normal de la tensión de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario.
- El correspondiente valor estadístico de la tensión de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, en función de la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario, se puede almacenar en una memoria de datos del i-ésimo vehículo ferroviario o, alternativamente, transmitir por radio desde un centro de control a la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario. Además, el respectivo valor estadístico de la tensión de la catenaria puede depender del tiempo, en particular, de la hora y/o de la fecha.
- En una variante de ejecución preferida de la invención, la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se selecciona en función de la desviación entre la tensión instantánea de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario y la tensión media de la catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario.
- Los parámetros de estado, en función de los cuales la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona la acción, pueden comprender, entre otros, una posición del i-ésimo vehículo ferroviario, una velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario, un estado del sistema de frenado del i-ésimo vehículo ferroviario, al menos un parámetro meteorológico en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, una distancia a un vehículo ferroviario precedente, una distancia a un vehículo ferroviario siguiente, al menos un parámetro de infraestructura y/o al menos un parámetro de la ruta.
- Los parámetros meteorológicos pueden comprender, por ejemplo, una temperatura exterior y/o una cantidad de precipitaciones por unidad de tiempo. Los parámetros de la ruta pueden comprender, entre otras cosas, una velocidad máxima permitida en una sección de ruta precedente, un radio de curva de la sección de ruta precedente y/o una pendiente de la sección de ruta precedente. Los parámetros de infraestructura pueden comprender, por ejemplo, los estados de los sistemas de señalización en la vía y/o las posiciones de las agujas.
- De manera conveniente, el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario comprende al menos un motor eléctrico de tracción. Puede estar previsto que la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplique al menos al motor de tracción del sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario. En particular, se puede modificar la velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario, es decir, aumentarla o reducirla. Una reducción de la velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario se puede realizar mediante su motor de tracción, por ejemplo, conmutando el motor de tracción del modo de tracción al modo de frenado.
- Además, el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario puede comprender al menos un sistema de aire acondicionado. Puede estar previsto que la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplique al menos al sistema de aire acondicionado del sistema de control de

estado del i-ésimo vehículo ferroviario. De esta manera se puede aumentar o disminuir, por ejemplo, una temperatura interior del i-ésimo vehículo ferroviario.

5 También resulta conveniente cuando el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario presenta al menos un sistema de frenado. Puede estar previsto que la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplique al menos al sistema de frenado del i-ésimo vehículo ferroviario. Aquí se puede reducir, por ejemplo, la velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario.

10 Además, el sistema de control de estado del respectivo vehículo ferroviario puede presentar al menos un acumulador de energía para suministrar energía eléctrica. En este caso, puede estar previsto que la acción seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplique al menos al acumulador de energía del sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario. En particular, el acumulador de energía del i-ésimo vehículo ferroviario se puede cargar o descargar.

15 El acumulador de energía puede comprender, por ejemplo, una celda galvánica o una interconexión de varias celdas galvánicas, en particular, del mismo tipo. Alternativa o adicionalmente, el acumulador de energía eléctrica puede comprender un condensador, como el así denominado como supercondensador, o una interconexión de múltiples condensadores, en particular, del mismo tipo.

20 En una posible variante de realización, el acumulador de energía comprende un volante de inercia y un motor eléctrico acoplado/acoplable al volante de inercia que puede funcionar como generador. El motor eléctrico puede accionar el volante de inercia utilizando energía eléctrica. El volante de inercia puede almacenar la energía que absorbe del motor eléctrico como energía rotacional. A la inversa, cuando el acumulador de energía debe proporcionar energía eléctrica, el volante de inercia puede utilizar su energía rotacional para accionar el motor eléctrico en su modo generador.

25 De acuerdo con la invención, las unidades informáticas de los n vehículos ferroviarios comprenden respectivamente una red neuronal artificial entrenada mediante un método de aprendizaje automático, en particular, una red neuronal artificial profunda. Las redes neuronales artificiales han demostrado su eficacia en el aprendizaje de relaciones/dependencias complejas entre diversos parámetros y criterios objetivo que deben cumplirse utilizando datos de entrenamiento. De manera conveniente, la red neuronal artificial de la respectiva unidad informática se implementa en su memoria de datos. Preferentemente, la acción es seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario con ayuda de su red neuronal artificial.

30 En una variante de ejecución preferida de la invención, la red neuronal artificial de la respectiva unidad informática es una red perceptrón, en particular, una red perceptrón multicapa.

35 Las redes neuronales artificiales de las n unidades informáticas pueden presentar la misma topología de red. Alternativamente, las redes neuronales artificiales de las n unidades informáticas pueden presentar diferentes topologías (de red). Además, las redes neuronales artificiales de las n unidades informáticas pueden estar diseñadas de tal forma que las redes neuronales artificiales tengan un comportamiento dependiente del tiempo y/o estocástico, en particular, para evitar fenómenos de resonancia.

40 La unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario, en particular, su red neuronal artificial, se entrena a partir de un estado inicial no entrenado mediante dicho método de aprendizaje automático para seleccionar una acción que se aplicará al sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario durante el funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios, considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta; acción que, cuando se aplica al sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario, contribuye a la optimización del balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios. El entrenamiento de la respectiva unidad informática se realiza convenientemente utilizando datos de entrenamiento, basados, por ejemplo, en una simulación o en mediciones.

De manera preferida, el método de aprendizaje automático mediante el cual se entrena la respectiva unidad informática consiste en un método de aprendizaje supervisado (del inglés: supervised learning) como, por ejemplo, un método de retropropagación o un método en línea.

50 El entrenamiento puede comprender una pluralidad de ciclos de entrenamiento sucesivos. De manera conveniente, en cada ciclo de entrenamiento, se transmite un conjunto de parámetros de estado a la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario y la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona una acción en función de los parámetros de estado recibidos y considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario, la cual se aplicará al sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario.

Además, resulta conveniente cuando en cada ciclo de entrenamiento se calcula el balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios en base a las acciones seleccionadas por las unidades informáticas de los n vehículos ferroviarios en el respectivo ciclo de entrenamiento y en base a este balance energético total calculado, se determina una recompensa para cada una de las unidades informáticas.

El conjunto de parámetros de estado, que durante el correspondiente ciclo de entrenamiento se transmite a la unidad informática del i -ésimo vehículo ferroviario, se puede generar, por ejemplo, mediante una unidad de simulación.

Como se mencionó en la introducción, la presente invención hace referencia, entre otras cosas, a una flota de vehículos ferroviarios.

La flota de vehículos ferroviarios conforme a la invención comprende n vehículos ferroviarios, cada uno de los cuales presenta un sistema de control de estado para influir en el estado del vehículo, que puede generar y/o consumir energía eléctrica, y una unidad informática entrenada mediante un método de aprendizaje automático, en donde n es un número natural y es mayor que 1. Además, en la flota de vehículos ferroviarios conforme a la invención está previsto que para todos los i de 1 a n la unidad informática del i -ésimo vehículo ferroviario de los n vehículos ferroviarios esté configurada para seleccionar una acción que se aplicará al sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario durante el funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios, considerando al menos un criterio objetivo para el i -ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta, acción que, cuando se aplica al sistema de control de estado del i -ésimo vehículo ferroviario, contribuye a optimizar un balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios, en donde i es un número natural.

Otras formas de ejecución, detalles de realización y ventajas descritas anteriormente en relación con el procedimiento conforme a la invención también pueden referirse a la flota de vehículos ferroviarios conforme a la invención.

El procedimiento según la invención se puede ejecutar preferentemente con ayuda de la flota de vehículos ferroviarios según la invención.

La descripción desarrollada hasta ahora de las realizaciones ventajosas de la presente invención contiene numerosas características, algunas de las cuales se reproducen en diferentes formas combinadas en las reivindicaciones relacionadas individuales. Sin embargo, estas características también se pueden considerar individualmente e integradas para conformar otras combinaciones útiles. En particular, cada una de estas características se puede combinar individualmente y en cualquier combinación adecuada con el procedimiento de acuerdo con la invención y la flota de vehículos ferroviarios conforme a la invención. Además, las características del procedimiento también se pueden considerar como propiedades de la correspondiente unidad de dispositivo.

Las propiedades, características y ventajas de la presente invención, arriba mencionadas, así como la forma en la que las mismas se logran, se clarifican y deducen en relación con la siguiente descripción de los ejemplos de ejecución de la invención, los cuales se explican en detalle en relación con las figuras. El ejemplo de ejecución sirve para explicar la invención y no restringe la invención a las combinaciones de características allí especificadas, ni tampoco con respecto a características funcionales. Además, las características adecuadas del ejemplo de ejecución también se pueden considerar explícitamente de forma aislada y combinarse con cualquiera de las reivindicaciones.

Las figuras muestran:

Figura 1: una flota de vehículos ferroviarios que comprende múltiples vehículos ferroviarios.

Figura 2: uno de los vehículos ferroviarios de la flota de vehículos ferroviarios de la figura 1.

Figura 3: una representación esquemática de una red neuronal artificial de uno de los vehículos ferroviarios.

Figura 4: una secuencia de proceso de un procedimiento para el entrenamiento de las unidades informáticas de la flota de vehículos ferroviarios.

La figura 1 muestra una flota de vehículos ferroviarios 2 que comprende múltiples vehículos ferroviarios 4. Más concretamente, la flota de vehículos ferroviarios 2 comprende un primer vehículo ferroviario 4a, un segundo vehículo ferroviario 4b y un tercer vehículo ferroviario 4c.

5 El primer y el tercer vehículo ferroviario 4a, 4c presentan exactamente un vagón 6 cada uno. Por el contrario, el segundo vehículo ferroviario 4b presenta dos vagones 6 acoplados.

10 El número de vehículos ferroviarios 4 de la flota de vehículos ferroviarios 2 y su respectivo número de vagones 6 están seleccionados arbitrariamente en el presente ejemplo de ejecución. Esto significa, en principio, que la flota de vehículos ferroviarios 2 puede comprender un número diferente de vehículos ferroviarios 4. Además, los vehículos ferroviarios 4 de la flota de vehículos ferroviarios 2 pueden presentar un número diferente de vagones 6.

En el presente ejemplo de ejecución, los vehículos ferroviarios 4 de la flota de vehículos ferroviarios 2 viajan por la misma vía férrea 8, aunque esto no es un requisito necesario para la invención.

15 Los vehículos ferroviarios 4 de la flota de vehículos ferroviarios 2 presentan respectivamente un pantógrafo 10, que está en contacto con una catenaria 12 conformada como línea de contacto aérea. Cada uno de los vehículos ferroviarios 4, dependiendo del estado de funcionamiento, puede tomar energía eléctrica de la catenaria 12 o suministrar energía eléctrica en la catenaria 12 con la ayuda de su pantógrafo 10.

La figura 2 muestra un ejemplo del primer vehículo ferroviario 4a de la flota de vehículos ferroviarios 2.

20 Los otros vehículos ferroviarios 4b, 4c de la flota de vehículos ferroviarios 2 están equipados con los mismos dispositivos que el primer vehículo ferroviario 4a y las siguientes explicaciones también se aplican análogamente a los otros vehículos ferroviarios 4b, 4c de la flota de vehículos ferroviarios 2.

25 El primer vehículo ferroviario 4a comprende un sistema de control de estado 14 para influir en el estado del vehículo, que comprende múltiples componentes. Los componentes del sistema de control de estado 14 incluyen un sistema de aire acondicionado 16 para climatizar el interior del vehículo y una pluralidad de motores eléctricos de tracción 18. Los motores de tracción 18 se pueden utilizar como frenos eléctricos (en modo generador) y conforman elementos de un sistema de frenado 20 del primer vehículo ferroviario 4a.

30 Otro componente del sistema de control de estado 14 es un acumulador de energía 22 para almacenar energía eléctrica. Los motores de tracción 18 están conectados con el acumulador de energía 22 a través de líneas de transmisión de energía 24, de modo que los motores de tracción 18 -dependiendo del estado de funcionamiento- pueden tomar energía eléctrica del acumulador de energía 22 o pueden cargar el acumulador de energía con energía eléctrica.

35 Además, el primer vehículo ferroviario 4a comprende una pluralidad de dispositivos para detectar parámetros de estado. Estos incluyen un primer sensor de temperatura 26 para medir una temperatura interior del primer vehículo ferroviario 4a, un segundo sensor de temperatura 28 para medir la temperatura exterior, y un sensor de velocidad 30 para medir la velocidad de desplazamiento del primer vehículo ferroviario 4a. Otros dispositivos para detectar parámetros de estado son un dispositivo de detección de posición 32, como un receptor GPS, y un dispositivo de medición de tensión 34 para medir la tensión instantánea de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a.

40 Además, el primer vehículo ferroviario 4a comprende un dispositivo de radio 36 para transmitir y recibir datos mediante ondas de radio. Con ayuda del dispositivo de radio 36, el primer vehículo ferroviario 4a puede intercambiar datos con un centro de control y/o con los demás vehículos ferroviarios 4b, 4c de la flota de vehículos ferroviarios 2. Por ejemplo, los vehículos ferroviarios 4 de la flota de vehículos ferroviarios 2 pueden intercambiar datos de posición a través de sus dispositivos de radio, que se pueden utilizar para determinar las distancias entre los vehículos ferroviarios 4.

45 Además, el primer vehículo ferroviario 4a presenta una unidad informática 38 en cuya memoria de datos se implementa una red neuronal artificial (véase la figura 3) entrenada mediante un método de aprendizaje automático. La unidad informática 38 está conectada a través de líneas de señal 40 con los dispositivos mencionados anteriormente del primer vehículo ferroviario 4a (es decir, el sistema de aire acondicionado 16, los motores de tracción 18, el acumulador de energía 22, los sensores 26-30, el dispositivo de detección de posición 32, el dispositivo de medición de tensión 34 y el dispositivo de radio 36) y está configurada para controlar dichos dispositivos.

Durante el funcionamiento del primer vehículo ferroviario 4a, varios parámetros de estado, tales como la temperatura interior del primer vehículo ferroviario 4a, la temperatura exterior, la velocidad de desplazamiento

del primer vehículo ferroviario 4a, la posición del primer vehículo ferroviario 4a y la tensión instantánea de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a, son detectados por sus dispositivos y transmitidos a la unidad informática 38 del primer vehículo ferroviario 4a. Además, el primer vehículo ferroviario 4a recibe las posiciones de los demás vehículos ferroviarios 4b, 4c de la flota de vehículos ferroviarios 2 a través de su dispositivo de radio 36 y transmite estos parámetros de estado a su unidad informática 38. Además, el primer vehículo ferroviario 4a recibe el valor medio/normal de la tensión de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a y la fluctuación de tensión media de la tensión de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a a través de su dispositivo de radio 36 desde un centro de control y también reenvía estos parámetros de estado a su unidad informática 38.

La unidad informática 38 del primer vehículo ferroviario 4a selecciona una acción que debe aplicarse al sistema de control de estado 14 del primer vehículo ferroviario 4a en función de los parámetros de estado y considerando una pluralidad de criterios objetivo predeterminados para el primer vehículo ferroviario 4a, acción que, cuando se aplica a dicho sistema de control de estado 14, contribuye a optimizar un balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios 2. A continuación, la unidad informática 38 aplica la acción seleccionada al sistema de control de estado 14 del primer vehículo ferroviario 4a.

Los criterios objetivo para el primer vehículo ferroviario 4a pueden hacer referencia, entre otras cosas, a un horario que debe cumplir el primer vehículo ferroviario 4a, a una temperatura interior del vehículo que debe cumplirse (en función de la temperatura exterior), a un límite superior para la tensión de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a, a un límite inferior para la tensión de la catenaria en la ubicación del primer vehículo ferroviario 4a, a una distancia mínima admisible a los demás vehículos ferroviarios 4b, 4c de la flota de vehículos ferroviarios 2 y/o a una velocidad de desplazamiento máxima admisible.

Los criterios objetivo pueden prever, por ejemplo, que el retraso del primer vehículo ferroviario 4a con respecto al horario a respetar no supere un tiempo máximo predeterminado, que la velocidad de desplazamiento del primer vehículo ferroviario 4a no supere una velocidad de desplazamiento máxima permitida, que la desviación de la temperatura interior del primer vehículo ferroviario 4a con respecto a la temperatura interior del vehículo a mantener no exceda un valor máximo predeterminado, la distancia entre el primer vehículo ferroviario 4a y los otros vehículos ferroviarios 4b, 4c no se encuentre por debajo la distancia mínima permitida y/o que la tensión de la catenaria en el lugar del primer vehículo ferroviario 4a no exceda o caiga por debajo de dichos límites superior e inferior.

La acción seleccionada por la unidad informática 38 del primer vehículo ferroviario 4a puede consistir en conectar uno o varios componentes del sistema de control de estado 14 del primer vehículo ferroviario 4a, desconectar uno o varios componentes de este sistema de control de estado 14, modificar un variable de ajuste de uno o más componentes de este sistema de control de estado 14 y/o modificar un modo de funcionamiento de uno o más componentes de este sistema de control de estado 14.

Al aplicar la acción seleccionada al sistema de control de estado 14 del primer vehículo ferroviario 4a, se optimiza el balance de energía eléctrica global de todos los sistemas de control de estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios 2 y se garantiza que se cumplan los criterios objetivo para los respectivos vehículos ferroviarios 4.

La figura 3 muestra una representación esquemática de una red neuronal artificial 42 de una de las unidades informáticas 38 de la flota de vehículos ferroviarios 2. Las redes neuronales artificiales de las otras unidades informáticas 38 de la flota de vehículos ferroviarios 2 pueden presentar respectivamente una estructura similar a la red neuronal artificial 42 de la figura 3 o similares.

La red neuronal artificial 42 mostrada en la figura 3 comprende un gran número de neuronas artificiales 44 que conforman múltiples capas. En el presente caso, las neuronas 44 conforman una capa de entrada 46, una capa de salida 48 y - entre la capa de entrada 46 y la capa de salida 48 - una primera capa intermedia 50 y una segunda capa intermedia 52.

En la red neuronal artificial 42 de la figura 3, la capa de entrada 46 y la segunda capa intermedia 52 comprenden tres neuronas 44, mientras que la primera capa intermedia 50 comprende cinco neuronas 44 y la capa de salida 48 comprende una neurona 44, en donde el número de neuronas 44 de las respectivas capas 46-52 fueron seleccionado sólo a modo de ejemplo.

Las distintas capas 46 a 52 de la red neuronal artificial 42 están unidas entre sí mediante conexiones neuronales 54, que unen de a dos las neuronas 44 entre sí. En el presente caso, cada neurona 44 de la capa de entrada 46 está conectada a cada neurona 44 de la primera capa intermedia 52. Además, las neuronas 44 de la primera capa intermedia 50 están conectadas respectivamente a cada neurona 44 de la segunda capa

intermedia 52. Cada neurona 44 de la segunda capa intermedia 52 está conectada a su vez a la neurona 44 de la capa de salida 48.

5 La red neuronal artificial 42 está implementada en la memoria de datos de una de las unidades informáticas 38 de la flota de vehículos ferroviarios 2. En el estado entrenado, la red neuronal artificial 42 se utiliza para seleccionar una acción para el vehículo ferroviario 4 al que pertenece la unidad informática 38, acción que después se aplica al sistema de control de estado 14 de dicho vehículo ferroviario 4 y que contribuye a la optimización de un balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios 2.

10 Para ello se transmite un conjunto de datos 56, que comprende una pluralidad de parámetros de estado 58, a la capa de entrada 46 de la red neuronal artificial 44. Dependiendo de los parámetros de estado 58 transmitidos a la capa de entrada 46 y considerando al menos un criterio objetivo predeterminado, la red neuronal artificial 42 selecciona la acción 60 a aplicar (por ejemplo de una lista de diferentes acciones posibles) y la envía a través de su capa de salida 48.

15 La figura 4 muestra una secuencia de proceso de un procedimiento para el entrenamiento de las unidades informáticas 38 de la flota de vehículos ferroviarios 2.

20 En base a la figura 4, a continuación se explica cómo se entrena la unidad informática 38 del respectivo vehículo ferroviario 4 mediante un método de aprendizaje automático monitoreado (a partir de un estado inicialmente no entrenado) para seleccionar una acción que, cuando se aplica al sistema de control de estado 14 del mismo vehículo ferroviario 4 contribuye a optimizar el balance energético global de los sistemas de control de estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios 2.

25 Desde una unidad de simulación 62 se genera un conjunto de parámetros de estado 58 para cada una de las unidades informáticas 38 y se transmite a la unidad informática 38 correspondiente. La respectiva unidad informática 38 selecciona una acción que se aplicará al sistema de control de estado 14 del mismo vehículo ferroviario 4 dependiendo de los parámetros de estado 58 recibidos por ella y considerando al menos un criterio objetivo predeterminado para el vehículo ferroviario 4 al que pertenece la unidad informática 38.

30 A partir de las acciones seleccionadas por todas las unidades informáticas 38, la unidad de simulación 62 calcula un balance de energía eléctrica total de los sistemas de control del estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios 2, en base al cual la unidad de simulación 62 determina una recompensa 64 para cada una de las unidades de ordenador 38, que se envía a la respectiva unidad de ordenador 38. La recompensa 64 recibida sirve como base para que la unidad informática 38 correspondiente evalúe si la acción seleccionada por la unidad informática 38 era conveniente para optimizar el balance de energía eléctrica global de los sistemas de control del estado 14 de la flota de vehículos ferroviarios. 2.

35 El proceso descrito representa la ejecución de un único ciclo de entrenamiento de las unidades informáticas 38, en donde el entrenamiento de las unidades informáticas 38 comprende varios ciclos de entrenamiento sucesivos de este tipo.

Aunque la invención ha sido descrita e ilustrada en detalle a través de ejemplos de ejecución preferidos, dicha invención no está restringida por el ejemplo revelado.

El alcance de la presente invención está definida mediante las reivindicaciones independientes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento con optimización energética de una flota de vehículos ferroviarios (2), en el cual la flota de vehículos ferroviarios (2) comprende n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c), cada uno de los cuales presenta un sistema de control de estado (14) para influir en el estado del vehículo, que puede generar y/o consumir energía eléctrica, y que presenta una unidad informática (38), y para todos los i del 1 al n en funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios (2)

- considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario y dependiendo de la ubicación del vehículo - y/o parámetros de estado relacionados con la ruta (58) del i-ésimo vehículo ferroviario, desde la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) se selecciona una acción (60) que se aplicará al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, que, cuando se aplica al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, contribuye a optimizar el balance de energía eléctrica global de los sistemas de control de estado de la flota de vehículos ferroviarios (2); y

- la acción seleccionada (60) se aplica al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario,

en donde i y n son números naturales y n es mayor que 1; caracterizado porque las unidades informáticas (38) de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) comprenden respectivamente una red neuronal artificial (42) entrenada mediante un método de aprendizaje automático, en donde la acción (60) es seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario con ayuda de su red neuronal artificial (42), en donde la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario se entrena a partir de un estado inicial no entrenado mediante dicho método de aprendizaje automático, para seleccionar una acción (60) que se aplicará al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario durante el funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios (2), considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta (58), que, cuando se aplica al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, contribuye a la optimización del balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado (14) de la flota de vehículos ferroviarios (2); en donde la acción (60) es seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario considerando varios criterios objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario; en donde al menos algunos de los criterios objetivo se refieren a una temperatura interior del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, una temperatura de un componente del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite superior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite inferior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario precedente y/o una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario que le sigue.

2. Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizado porque

la acción (60) seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario comprende la activación de uno o varios componentes del sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, la desactivación de uno o varios componentes de este sistema de control de estado (14), la modificación de una variable de ajuste de uno o varios componentes de este sistema de control de estado (14) y/o la modificación de un modo de funcionamiento de uno o varios componentes de este sistema de control de estado (14).

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2,

caracterizado porque

el, al menos un, criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario se refiere a un horario que debe respetar el i-ésimo vehículo ferroviario.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

los parámetros de estado (58), en función de los cuales la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona la acción (60), comprenden una tensión instantánea de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario y/o uno o más valores estadísticos de tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario.

5 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

10 los parámetros de estado (58), en función de los cuales la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona la acción (60), comprenden una posición del i-ésimo vehículo ferroviario, una velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario, un estado del sistema de frenado del i-ésimo vehículo ferroviario, al menos un parámetro meteorológico en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, una distancia a un vehículo ferroviario precedente, una distancia a un vehículo ferroviario siguiente, al menos un parámetro de infraestructura y/o al menos un parámetro de la ruta.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

15 caracterizado porque

20 el sistema de control de estado (14) del respectivo vehículo ferroviario (4, 4a-4c) presenta al menos un motor de tracción eléctrico (18) y la acción (60) seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario se aplica al menos al motor de tracción (18) del sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, para modificar la velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

25 el sistema de control de estado (14) del respectivo vehículo ferroviario (4, 4a-4c) presenta al menos un sistema de frenado (20) y la acción (60) seleccionada por la unidad informática del i-ésimo vehículo ferroviario se aplica al menos al sistema de frenado (20) del i-ésimo vehículo ferroviario para reducir la velocidad de desplazamiento del i-ésimo vehículo ferroviario.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

30 el sistema de control de estado (14) del respectivo vehículo ferroviario (4, 4a-4c) presenta al menos un acumulador de energía (22) para suministrar energía eléctrica y la acción (60) seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario se aplica al menos al acumulador de energía (22) del sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, en donde el acumulador de energía (22) del i-ésimo vehículo ferroviario se carga o se descarga.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

35 caracterizado porque

las unidades informáticas (38) de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) comprenden respectivamente una red neuronal artificial profunda entrenada con un método de aprendizaje automático.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

40 el método de aprendizaje automático con el que se entrena la respectiva unidad informática (38) consiste en un método de aprendizaje automático supervisado.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

el entrenamiento comprende una pluralidad de ciclos de entrenamiento sucesivos, en donde en cada ciclo de entrenamiento se transmite un conjunto de parámetros de estado (58) a la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario y la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario selecciona una acción (60) en función de los parámetros de estado (58) recibidos y considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario, acción que se aplicará al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario; en donde en cada ciclo de entrenamiento se calcula un balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado (14) de la flota de vehículos ferroviarios (2) en base a las acciones (60) seleccionadas por las unidades informáticas (38) de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) en el respectivo ciclo de entrenamiento, y a partir de este balance energético global se determina una recompensa para cada una de las unidades informáticas (38).

12. Procedimiento según la reivindicación 11,

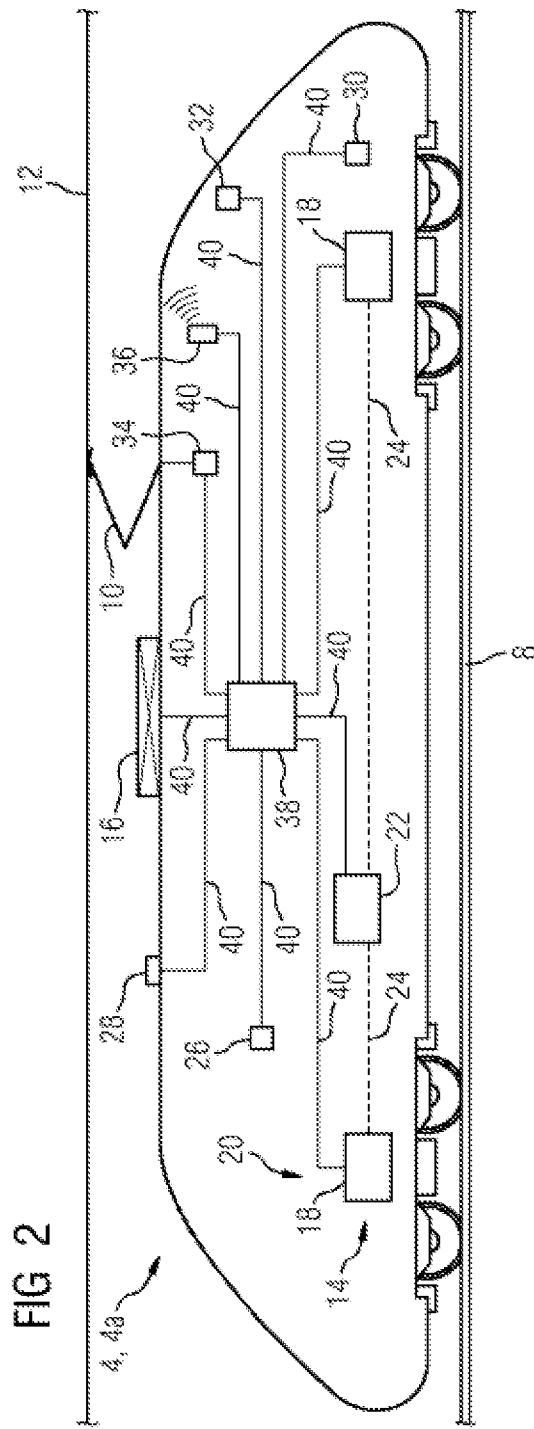
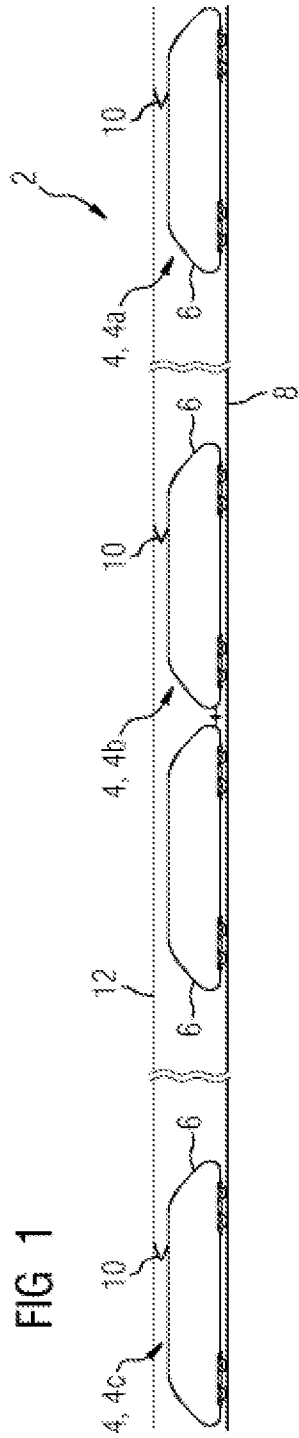
caracterizado porque

el conjunto de parámetros de estado (58), que durante el correspondiente ciclo de entrenamiento se transmite a la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario, se genera mediante una unidad de simulación (62).

13. Una flota de vehículos ferroviarios (2)

que comprende n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c), cada uno de los cuales presenta un sistema de control de estado (14) para controlar el estado del vehículo, que puede generar y/o consumir energía eléctrica, y una unidad informática (38); en donde para todos los i de 1 a n está previsto que la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) esté configurada para seleccionar una acción (60) que se aplicará al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario durante el funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios (2), considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta (58), acción que, cuando se aplica al sistema de control de estado del i-ésimo vehículo ferroviario, contribuye a la optimización de un balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado (14) de la flota de vehículos ferroviarios (2), en donde i y n son números naturales y n es mayor que 1; caracterizada porque las unidades informáticas (38) de los n vehículos ferroviarios (4, 4a-4c) comprenden respectivamente una red neuronal artificial (42) entrenada mediante un método de aprendizaje automático, en donde la acción (60) es seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario con ayuda de su red neuronal artificial (42), en donde la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario está entrenada a partir de un estado inicial no entrenado mediante dicho método de aprendizaje automático para seleccionar una acción (60) que se aplicará al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario durante el funcionamiento de la flota de vehículos ferroviarios (2), considerando al menos un criterio objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario y en función de parámetros de estado relacionados con el vehículo, la ubicación y/o la ruta (58), que, cuando se aplica al sistema de control de estado (14) del i-ésimo vehículo ferroviario, contribuye a la optimización del balance global de energía eléctrica de los sistemas de control de estado (14) de la flota de vehículos ferroviarios (2); en donde la acción (60) es seleccionada por la unidad informática (38) del i-ésimo vehículo ferroviario considerando varios criterios objetivo para el i-ésimo vehículo ferroviario; en donde al menos algunos de los criterios objetivo se refieren a una temperatura interior del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, una temperatura de un componente del vehículo del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite superior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, un límite inferior para una tensión de catenaria en la ubicación del i-ésimo vehículo ferroviario, una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario precedente y/o una distancia mínima admisible con respecto a un vehículo ferroviario que le sigue.

DIBUJOS



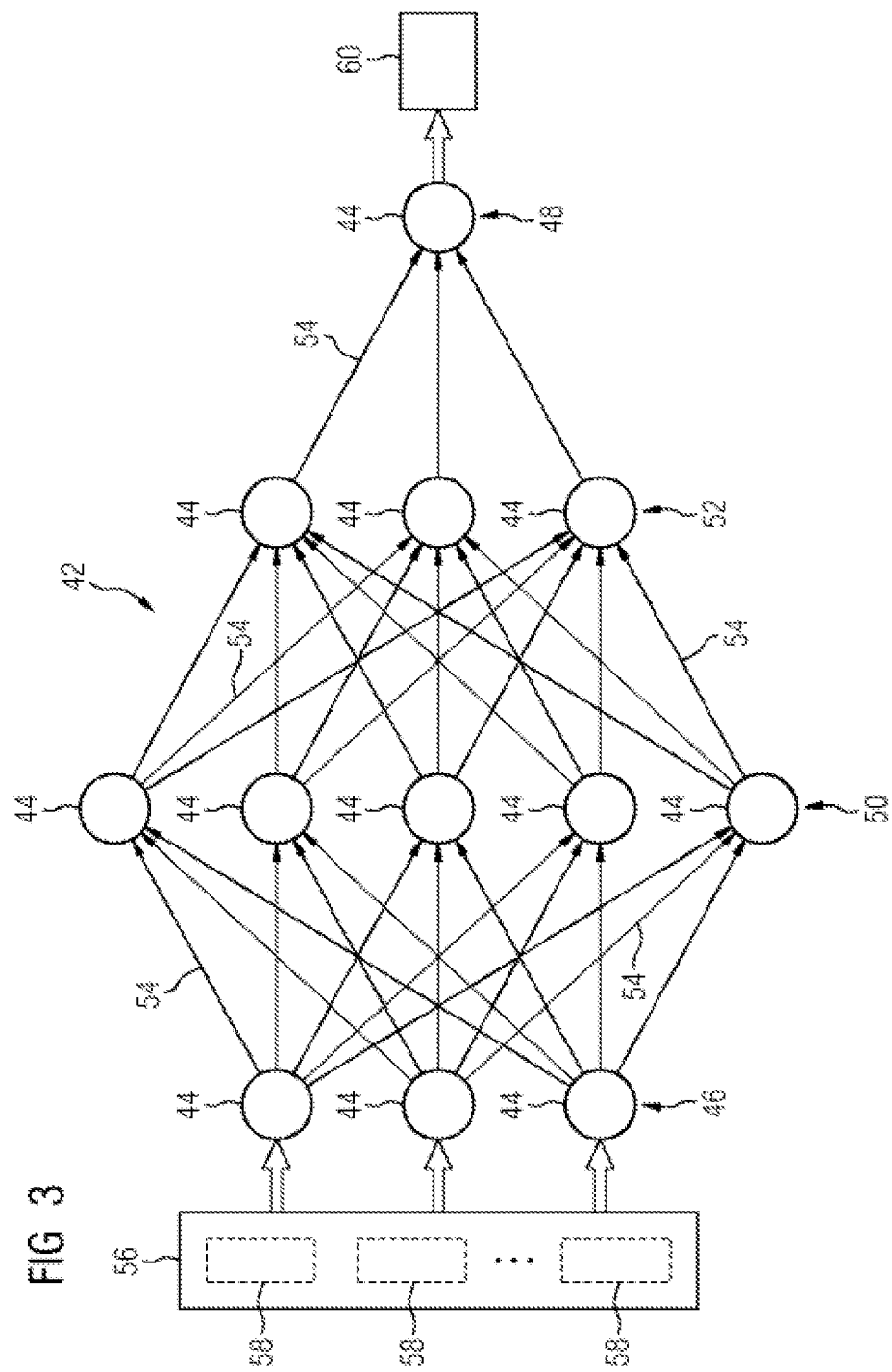


FIG 4

