

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 703**

51 Int. Cl.:

**G05D 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2014 PCT/IB2014/063349**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2015 WO15011661**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2014 E 14771380 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 3025206**

54 Título: **Dispositivo y método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático**

30 Prioridad:

**26.07.2013 IT VR20130178**

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

**30.11.2017**

73 Titular/es:

**ELETTRIC 80 S.P.A. (100.0%)  
23, Via G. Marconi  
42030 Viano, Reggio Emilia, IT**

72 Inventor/es:

**OLMI, ROBERTO;  
DI TERLIZZI, DOMENICO;  
DABBENE, FABRIZIO;  
DELLA CROCE, FEDERICO;  
GHIRARDI, MARCO y  
SACCO, NICOLA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 644 703 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

Dispositivo y método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático

### Campo técnico de la invención

5 La invención se refiere a un dispositivo y un método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático y similares.

10 En particular, la presente invención se refiere a un dispositivo y un método que hace posible optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático utilizados por ejemplo en diferentes tipos de almacenes para transportar artículos, así como mejorar las rutas que los vehículos deben seguir para llegar a las diferentes estaciones, reduciendo los tiempos de transporte de los diferentes artículos, y evitando la creación de atascos a lo largo de las propias rutas.

### Estado de la técnica anterior

15 En varios campos es común utilizar vehículos de guiado automático, denominándose también esos vehículos AGV según su forma abreviada de las palabras en inglés Automated Guided Vehicle (Vehículo de Guiado Automático). Dichos vehículos se utilizan frecuentemente, por ejemplo, en diferentes tipos de almacenes industriales para transportar artículos de todo tipo dentro del almacén.

Los artículos para los que se utilizan los AGVs pueden pertenecer a diferentes campos tal como el campo de la cerámica, el campo de la alimentación, el denominado campo de las bebidas, es decir, botellas, latas y similares, el denominado campo del papel, es decir, rollos de papel en general y similares, el campo de la mecánica para mover productos semi-trabajados y piezas terminadas, etc.

20 Dichos vehículos de guiado automático pueden ser de varios tipos, y en todos los casos una función de gran importancia es la gestión de las rutas que siguen, de modo que ejecuten las misiones asignadas – por ejemplo, transportar artículos entre las varias estaciones – con eficiencia y velocidad.

25 Dispositivos conocidos para gestionar las rutas de vehículos de guiado automáticos comprenden, entre otras cosas, un denominado gráfico de conexión, es decir, un esquema de las posibles rutas a través de las cual deben ser guiados los vehículos.

El esquema de las rutas consiste en un cierto número de nodos y segmentos que conectan los nodos entre sí.

Para preparar las rutas para los vehículos de guiado automático, es necesario tomar en consideración la presencia de ciertas restricciones, la primera de las cuales es que un segmento puede ser asignado a un AGV solo si:

no hay otros vehículos en el mismo segmento;

30 no hay otro vehículo en segmentos con el mismo nodo de destino.

Se debería también tener en cuenta que un vehículo no es un punto, y por tanto debido al volumen del vehículo puede darse el caso de que un segmento pueda ser incompatible con algunos de los segmentos y nodos cercanos.

En particular, dicha incompatibilidad es verificada calculando – normalmente mediante un programa de CAD – la forma del área que cubre el vehículo mientras se desplaza sobre cada segmento y se posiciona en cada nodo.

35 Por tanto, para cada segmento se calcula la totalidad del tamaño, es decir, todos los segmentos y nodos para los que la forma calculada intersecta a la forma del segmento considerado.

Estos tamaños, denominados en adelante segmentos y nodos incompatibles, se definen como tamaños de bloque para el segmento considerado.

Por tanto, otras restricciones prevén que un segmento predeterminado pueda ser asignado a un vehículo solo si:

40 ningún segmento de bloque para el segmento predeterminado ha sido asignado a otro vehículo;

ningún segmento que termina en un nodo de bloque para el segmento predeterminado ha sido asignado a otro vehículo;

ningún segmento está en un nodo de bloque para el segmento predeterminado.

45 Además, cada vez que un vehículo abandona un nodo es necesario un cierto tiempo para liberar realmente el propio nodo, ya que toda la forma en planta del vehículo debe abandonar realmente el nodo.

Por tanto, cada segmento tiene un punto de liberación, que es precisamente el punto del segmento que debe pasar un vehículo antes de que el nodo pueda ser declarado libre y ocupado por otro vehículo.

Por tanto, una segunda restricción que se debe asignar es que:

ningún vehículo está en un segmento que parte de un nodo de bloque para el segmento predeterminado, pero que no ha pasado su punto de liberación.

5 Finalmente, se identifican todas aquellas situaciones en las que los AGVs, aunque no hayan violado ninguna de las restricciones descritas anteriormente, están situados en posiciones que impiden sus movimientos. Tales situaciones, que claramente ocurren si consideramos segmentos unidireccionales, son generalmente denominadas puntos muertos, es decir, bloqueos de AGV.

10 Se produce una situación análoga cuando los vehículos están en situaciones en las que solo son posibles movimientos que periódicamente devuelven los AGVs a las mismas posiciones. En este caso, no se impide el movimiento de los AGVs, pero en cualquier caso están en una situación punto muerto debido a que, como se ha dicho anteriormente, los AGVs pueden moverse pero periódicamente vuelven a las mismas posiciones. Estas situaciones se denominan puntos muertos móviles.

15 Sin embargo, los dispositivos y métodos para gestionar las rutas de vehículos de guiado automático se limitan simplemente a evitar la interferencia o colisión entre los diferentes vehículos de guiado automático, pero no aseguran un uso rápido y óptimo de los vehículos, lo que da como resultado pérdidas en el tiempo necesario para transportar los artículos y básicamente provocando también una pérdida económica.

20 El artículo "*A distributed route planning method for multiple robots using lagrangian decomposition technique*", de Nishi et al. y relativo a la Conferencia Internacional sobre Robótica y Automatización realizada en Taiwan en septiembre de 2003, así como el artículo "*A modular control system for warehouse automation – algorithms and simulations in USARSim*", de Damjan Miklic et al, y relativo a la Conferencia internacional sobre Robótica y Automatización realizada en Minnesota en mayo de 2012, describen respectivas soluciones de acuerdo con el estado de la técnica.

### Objetos de la invención

25 El objeto de la presente invención es por tanto proponer un dispositivo y un método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, que mejore las rutas que los vehículos deben seguir para llegar a las diferentes estaciones para llevar a cabo las misiones asignadas, así como disminuir los tiempos necesarios por ejemplo para el transporte de artículos entre las diferentes estaciones, y evitar la aparición de interferencias causadas entre los vehículos de guiado automático a lo largo de las propias rutas, especialmente en el caso en que se utiliza un gran número de vehículos de guiado automático.

30 Un objeto particular de la presente invención es un dispositivo y método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, que permite disminuir el tiempo de desplazamiento nominal total de todas las rutas seguidas por la totalidad de la flota de vehículos en una cierto área o almacén, obteniendo así un ahorro no sólo en tiempo, sino también económico.

35 El tiempo de desplazamiento nominal se define como la suma de todos los tiempos de desplazamiento nominales de cada segmento de la ruta, determinados como la relación entre la longitud y la velocidad nominal del vehículo en cada segmento.

Este objeto se consigue por medio del dispositivo para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, de acuerdo con la reivindicación 1.

40 Este objeto se consigue también mediante el método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, de acuerdo con la reivindicación 15.

Otras características ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.

### Breve descripción de los dibujos

Las características de la invención serán más claras para cualquier experto en la materia a partir de la siguiente descripción y de las tablas de dibujos adjuntas, que se proporcionan como un ejemplo no limitante, en las que:

45 La figura 1 es un esquema del dispositivo para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similar, de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 es una vista esquemática de posibles rutas bidireccionales para vehículos que pueden ser gestionadas mediante el método y el dispositivo para optimizar el movimiento de los vehículos de guiado automático de acuerdo con la presente invención.

50 La figura 3 es una vista esquemática de posibles rutas para vehículos que pueden ser gestionadas a través del método y el dispositivo para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con la presente invención.

La figura 4 es una vista esquemática de una secuencia de segmentos a través de los cuales pueden desplazarse dos vehículos de guiado automático de acuerdo con la presente invención.

### Realizaciones de la invención

5 De acuerdo con lo ilustrado en la figura 1, el dispositivo para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, que se indica con el número de referencia 20, comprende esencialmente:

un módulo 21 de gestión de tráfico que gestiona el movimiento de algunos vehículos de guiado automático AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn;

10 un módulo 24 de reasignación de las misiones de los vehículos de guiado automático – es decir, para asignar las misiones de recogida y entrega de los artículos, para cada vehículo, de acuerdo con un criterio de optimización – conectado para comunicarse con el módulo 21 de gestión de tráfico y con los vehículos de guiado automático AGVn recordando que aquí el término óptimo u optimizar tiene el significado de encontrar la mejor solución permitida con respecto de las restricciones impuestas;

un módulo 25 de resolución que está conectado a, y está en comunicación con, el módulo 21 de gestión de tráfico.

15 En algunos casos, el dispositivo 20 de optimización puede opcionalmente comprender un módulo 23 de supervisor de nivel superior, indicado por tanto en la figura 1 con una línea discontinua. Este módulo supervisor está a su vez en comunicación con el módulo 21 de gestión de tráfico y con el módulo 25 de resolución.

20 Entre las tareas del módulo de supervisor está la selección preliminar, en el término medio, de las rutas, la asignación anticipada de rutas a AGVs particulares a través de criterios de optimización, la secuenciación de las misiones de carga y descarga para “pre-planificar” el tráfico.

25 El dispositivo 20 de optimización también comprende una memoria 26 en la que está representada la planta del almacén – el denominado plano – o el área en la que se mueven los vehículos AGV, y a partir de este plano del almacén es posible entonces obtener el gráfico de conexión que está situado en el módulo 27 de gráfico de conexión respectivo, que comprende una guía de las posibles rutas para los vehículos AGV. El gráfico de conexión es entonces utilizado por el módulo 21 de gestión de tráfico para mover los vehículos AGV.

Con mayor detalle, el módulo 21 de gestión de tráfico recibe los datos del módulo 27 de gráfico de conexión y el estado global del sistema, es decir, la posición actual de los vehículos AGV, las misiones que deben llevar a cabo los vehículos, etc.

30 El módulo 21 de gestión de tráfico calcula entonces para cada AGV un gráfico de conexión reducido, es decir, un gráfico que está formado a partir de la porción general de gráfico a la que puede realmente llegar el AGV en un número predeterminado de pasos, que se denomina aquí como el marco temporal T.

35 Esta información, es decir, el estado global del sistema y el gráfico de conexión reducida para cada vehículo AGV, se pasa entonces al módulo 25 de resolución, que la reprocesa a través de un modelo de programación lineal entera, que se describe más adelante, proporcionando una solución preliminar optimizada de las rutas, en forma de una secuencia de segmentos por los que debe desplazarse cada AGV.

Como la solución preliminar proporcionada por el módulo 25 de resolución utilizó un modelo aproximado (que se describe más adelante), el módulo 21 de gestión de tráfico debe comprobar la compatibilidad real de la solución y por tanto comprobar las asignaciones de los segmentos de ruta a los vehículos en cuestión.

40 En el ejemplo ilustrado en la figura 4, el módulo 25 de resolución proporciona una secuencia de segmentos “b” y “c” para el vehículo AGV1, mientras que para el vehículo AGV2 proporciona la secuencia de segmentos “a” y “d”.

Se debería remarcar que dicha solución puede ser llevada a cabo por el módulo 25 de resolución debido a que en el primer paso el vehículo AGV1 se desplaza a lo largo del segmento “b” y el vehículo AGV2 se desplaza a lo largo del segmento “a” y en el siguiente paso el vehículo AGV1 se desplaza a lo largo del segmento “c” y el vehículo AGV2 se desplaza a lo largo del segmento “d”.

45 A partir del ejemplo indicado anteriormente, se puede apreciar que la solución propuesta anteriormente es compatible porque, a pesar de que los segmentos de ruta “a” y “c” se cruzan, los dos vehículos AGV1 y AGV2 se desplazan por estas secciones en momentos diferentes.

En detalle, el dispositivo 21 de acuerdo con la presente invención lleva a cabo las siguientes actividades:

50 comprueba periódicamente la posición actual de los vehículos de guiado automático en los diferentes segmentos de la ruta, y cada vez que un vehículo AGVn dado cambia su segmento actual, comprueba la posibilidad de asignar los otros segmentos a los otros vehículos AGV1, AGV2, ..., AGVn;

asigna un segmento de ruta a cierto vehículo de guiado automático en el período de tiempo “t1”, solo si todos los segmentos de ruta relativos al período de tiempo anterior “t1-1” ya han sido asignados a todos los otros vehículos, siendo esta regla necesaria para evitar que la solución aplicada satisfaga la prioridad de paso indicada en la solución del modelo;

- 5 compone un mensaje con los segmentos a asignar a cada vehículo y lo envía al gestor 21 de tráfico que lo ordena para los vehículos AGV implicados.

Cada vez que el módulo 25 de resolución ha procesado una solución para mover los AGVs, se llama al módulo 24 de reasignación, que reasigna los AGVs – de entre los que pueden ser reasignados – para activar las misiones.

- 10 Los vehículos AGV que pueden ser reasignados son aquellos que no están conectados, significando este término los vehículos AGV implicados en una misión desde el momento de inicio de recoger una carga de productos hasta el final de la descarga de la carga.

Durante este período de tiempo, la carga de los productos con relación a una misión está físicamente conectada al vehículo AGV relativo, y por tanto no es posible asignar la realización de esa misión a otros vehículos.

- 15 Se debería remarcar que el módulo 24 de reasignación asigna las misiones a los vehículos AGV de una manera matemáticamente optimizada, es decir, minimizando la suma del tiempo nominal relativo a las rutas más cortas (es decir, las rutas que permiten alcanzar el destino en el tiempo más corto posible sin considerar la necesidad de posibles desviaciones para evitar “atascos”) que deben seguir los vehículos para moverse desde el nodo final del segmento asignado hasta ese momento hasta los respectivos nodos de destino de la misión respectiva.

- 20 Con mayor detalle, el módulo 24 de reasignación reasigna las misiones a los vehículos AGV, minimizando la suma de los tiempos de desplazamiento de los propios vehiculos hasta que se ha cumplido el objetivo de la misión respectiva.

La función objetivo a minimizar es la suma de todos los tiempos de desplazamiento nominales desde el punto final de cada vehículo AGV, lo que significa el punto en el que los segmentos datos terminan hasta ese momento.

- 25 La suma anteriormente mencionada de todas las distancias se suma con antelación basándose en las rutas predeterminadas, para cada par de nodos, a través de un algoritmo para calcular las rutas mínimas (como, por ejemplo, el conocido algoritmo Dijkstra).

En la práctica, cada nodo del gráfico de conexión tiene una matriz asociada que comprende todos los tiempos nominales mínimos hacia los otros nodos, calculados con el algoritmo de cálculo de las rutas mínimas.

- 30 El módulo 25 de resolución genera un modelo de programación lineal entera que utiliza los datos recibidos del módulo 21 de gestión de tráfico.

En particular, el módulo 25 de resolución comprende una memoria en la que los elementos de la programación lineal entera que definen el sistema son almacenados: variables, coeficientes de la función objetivo, matriz de las restricciones; el módulo 25 de resolución también comprende un solucionador lineal.

Como se ha determinado anteriormente, el módulo de resolución utiliza un modelo lineal aproximado, en el que:

- 35 a) se considera que el tiempo de desplazamiento de cada segmento del gráfico es conocido y fijo, es decir, cada segmento es recorrido siempre en el mismo tiempo. Esta es la aproximación más importante, que evidentemente no es satisfecha por los gráficos actuales en los que coexisten segmentos muy cortos y segmentos muy largos. Sin embargo, a partir de la simulación llevada a cabo, hemos sido capaces de descubrir que, si la relación entre la longitud de los segmentos más largos y más cortos de la ruta está entre 40 1,5 y 2, entonces la secuencia óptima de pasos de desplazamiento es casi siempre la misma. En realidad, por supuesto, los tiempos de desplazamiento de los segmentos pueden variar, y esta es la razón de la comprobación de compatibilidad que se lleva a cabo en cada paso por parte del módulo de gestión de tráfico;

- 45 b) en la actual realización de la invención, se ignoran los puntos de liberación, es decir, el punto que un vehículo debe pasar en un cierto segmento antes de que el nodo anterior pueda declararse libre; esta hipótesis se deduce de la consideración de que el uso de la información sobre los puntos de liberación puede considerarse excesiva si se compara con el tiempo necesario para la comunicación/decisión.

- 50 Una buena planificación asegura que los vehículos se pueden mover de manera fluida incluso aunque estén muy cerca unos de otros. En la práctica, sin embargo, si los tiempos de programación son demasiado cortos, pueden estar en situaciones diferentes no-ideales. Por supuesto, el módulo 21 de gestión de tráfico tiene en cuenta los puntos de liberación durante la asignación de segmentos.

Se debería remarcar que la solución propuesta por el solucionador no puede ser aplicada, o es en la práctica imposible de conseguir, sólo en el caso de un bucle cerrado de segmentos (figura 3), en el que cada segmento está

- 5 bloqueado mientras que el nodo de destino está todavía ocupado, pero esta es una situación a la que es casi imposible llegar, ya que cada vehículo se desplaza en dirección a su destino y es difícil que los vehículos tengan rutas en un bucle cerrado de segmentos. Sin embargo, para evitar la mayoría de estas situaciones, se añade una incompatibilidad adicional para cada bucle de 2 segmentos ( $n_1, n_2$ ) y ( $n_2, n_1$ ), permitiendo la posibilidad de que se produzcan bucles de orden más alto (tres AGVs para tres segmentos, cuatro AGVs para cuatro segmentos, y así sucesivamente), cuya probabilidad es despreciable.
- 10 Volviendo al módulo del gráfico de conexión 27 y como ya se ha establecido anteriormente, en dicho se lleva a cabo módulo el cálculo de las distancias mínimas entre cada par de nodos del gráfico de conexión. Dicho cálculo se lleva a cabo, por ejemplo, a través del algoritmo Dijkstra, entonces una matriz se asocia a cada nodo del gráfico que comprende todas las distancias mínimas en dirección a los otros nodos.
- En el módulo del gráfico de conexión 27 también se verifican, con antelación, las incompatibilidades de las rutas para los vehículos AGV identificados mediante el análisis del gráfico.
- 15 Por ejemplo, haciendo referencia al esquema ilustrado en la figura 2 de un corredor bidireccional, consideremos los segmentos (1, 2) y (4, 3): dichos segmentos no se bloquean entre sí. Sin embargo, si dichos segmentos son asignados uno tras otro a dos vehículos AGV, los dos vehículos se verán forzados a parar, es decir, se produce un denominado punto muerto.
- Además, el par de segmentos (1, 2) y (5, 4) puede también tener el mismo problema: después de la asignación a dos vehículos AGV diferentes, el vehículo en el nodo 4 solo puede desplazarse a lo largo del segmento (4, 3), que es incompatible con el segmento (1, 2). Como resultado, los segmentos (1, 2) y (5, 4) tendrán una denominada incompatibilidad estática, que se describirá más adelante.
- 20 El esquema de la figura 3 representa otro ejemplo de incompatibilidad con 3 segmentos.
- Si un primer vehículo AGV1 es enrutado en el segmento (8, 1), un segundo vehículo AGV2 es enrutado en el segmento (7, 2), y un tercer vehículo AGV3 es enrutado en el segmento (9, 3), se producirá un estado de punto muerto.
- 25 En efecto, el segmento (1, 4) para el primer vehículo es bloqueado por el nodo 2, el segmento (2, 5) para el segundo vehículo es bloqueado por el nodo 3, y el segmento (3, 6) para el tercer vehículo es bloqueado por el nodo 1.
- La consecuencia es que el conjunto de segmentos incompatibles, definido por la cadena  $S_{incomp} = \{(8, 1), (7, 2), (9, 3)\}$ , puede añadirse a una lista de segmentos que no se desea asignar a diferentes vehículos de manera consecutiva. Este conjunto de segmentos será tenido en cuenta en el modelo resuelto por el módulo 25 de resolución a través de algunas restricciones, conocidas como restricciones de "incompatibilidad estática".
- 30 Las situaciones de segmentos incompatibles deben identificarse con antelación en la estructura del gráfico, es decir, es necesario encontrar todos los segmentos que no pueden ser ocupados simultáneamente.
- Para llevar a cabo este análisis, es posible proceder comprobando automáticamente el gráfico de conexión, es decir, a través de un algoritmo adecuado cuyos detalles se proporcionarán más adelante.
- 35 También es posible llevar a cabo sesiones de pruebas experimentales con los vehículos AGV para encontrar, a través de simulación, situaciones de bloqueo o punto muerto.
- Una vez se han identificado los grupos de segmentos incompatibles que provocan el bloqueo en una simulación, se almacenan en una lista y el módulo 25 de resolución aplicará restricciones adecuadas para evitar que los AGVs se sitúen en dichos grupos de segmentos incompatibles.
- 40 Un caso particular a considerar es el de los segmentos bidireccionales. En general, es mejor evitar que un vehículo AGV continúe moviéndose hacia adelante y atrás en segmentos bidireccionales: esta situación es comparable a los puntos muertos móviles anteriormente indicados y, incluso cuando no lleva al sistema a un estado irresoluble, provoca una pérdida de tiempo y, por tanto, una caída del rendimiento.
- 45 Por tanto, en el paso de búsqueda de incompatibilidades, solo se consideran los movimientos de los AGVs que no vuelven a un segmento ya visto.
- Sin embargo, este es un caso particular en el que se desea que el vehículo AGV vuelva al mismo segmento de ruta.
- Este caso se produce cuando un vehículo AGV entra en el área de carga que tiene asignada, y está claro que después el vehículo tendrá que salir de nuevo de dicha área, y este es el único caso en el que se permite que un vehículo AGV vuelva al mismo segmento de ruta.
- 50 Por supuesto, si no consideramos este caso particular, todos los conjuntos posibles de últimos segmentos a un nodo de misión podrían ser clasificados como incompatibles.

Finalmente, el último caso a considerar consiste en la definición de los denominados nodos sin-parada. Por motivos teóricos y tecnológicos, y para limitar el tiempo de resolución, los modelos de programación lineales enteros no pueden tener un número elevado de variables.

5 Por este motivo, según se observa, consideramos un marco temporal de T períodos de tiempo – o de un modo equivalente T segmentos asignables, como máximo, para cada vehículo.

Es ventajoso que el último segmento asignado a un vehículo no sea tal que su nodo final entorpezca, en el sentido de incompatibilidad entre movimientos, las maniobras de otros AGVS cercanos a los respectivos nodos de misión. De este modo, se asegura que los AGVs que abandonan sus puntos de misión se dirigen hacia su siguiente destino sin necesidad de esperar a que vehículos entrantes liberen el segmento.

10 Por este motivo, para cada nodo de misión se determinan a priori todos los nodos que no tienen que ser el punto final del último segmento asignado a un AGV: dichos nodos se denominan nodos sin-parada, ya que no se permite que los AGVs se detengan en dichos nodos. El algoritmo para la identificación de los nodos sin-parada se describirá más adelante.

15 Finalmente, en algunas situaciones puede ser ventajoso planificar, al menos de una manera aproximada, secciones de ruta significativamente con antelación: por ejemplo, para decidir el orden de entrada de los AGVs en un área de la planta. La tarea de planificar con antelación, “en otro nivel”, el desplazamiento a lo largo de estos corredores puede ser llevado a cabo por el módulo 23 de alto nivel que, en cualquier caso, delega al solucionador 25 objeto de esta invención la tarea de resolver el problema “local” de seleccionar la ruta de aproximación al corredor, de asignar segmentos a todos los vehículos presentes para evitar un punto muerto.

20 **Formulación del modelo de programación lineal**

Como es conocido, los modelos de optimización lineal especifican la relación entre las variables de decisión y los parámetros, calculando la optimización de una medida representativa y otras variables resultantes.

25 Las restricciones, por otro lado, establecen limitaciones en el espacio de las posibles decisiones; los valores admisibles de las variables de decisión se determinan a través de una serie de restricciones de igualdad o desigualdad.

Por tanto, es necesario seleccionar los valores de las variables de decisión para satisfacer las restricciones de desigualdad y al mismo tiempo maximizar o minimizar el resultado.

30 El modelo de programación lineal entera que se utiliza en el módulo 25 de resolución es definido en una fórmula matemática que se describe a continuación. Con relación a esto, con relación a las variables de decisión y las restricciones, el problema es descrito por las variables de decisión binarias  $X_n^v(t)$  donde el superíndice v, con v=1, 2, ..., V indica el número del vehículo, y el subíndice n indica el nodo actual, y donde t=1, 2, ..., T es el período de tiempo actual, siendo T el número total de períodos de tiempo considerados.

Por tanto, la definición de la variable de decisión es

$$X_n^v(t) = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } v \text{ está en el nodo } n \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \forall t$$

35 Con esta notación, la variable  $X_n^v(0)$  representa el estado inicial, representando el estado inicial del sistema.

En lo que respecta a la función objetivo, es una función de programación lineal entera definida como

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{v=1}^V \sum_{t=0}^T f(n, v, t) X_n^v(t) \tag{1.1}$$

40 donde los coeficientes f(v, n, t) dependen principalmente de la distancia mínima entre el nodo n, en el que estaría situado el vehículo v en el momento t, y nodo de misión del vehículo v. Otros detalles relativos a la función objetivo se describirán más adelante en este documento.

También están las siguientes restricciones

$$\sum_n X_n^v(t) = 1 \quad \forall v, t \tag{1.2}$$

$$\sum_v X_n^v(t) \leq 1 \quad \forall n, t \tag{1.3}$$

$$X_n^v(t+1) \leq \sum_{n' \in V(n)} X_{n'}^v(t) \quad \forall n, v, t < T \tag{1.4}$$

45 que tienen el siguiente significado:

la restricción (1.2) indica que cada vehículo debe ocupar uno, y solo un, nodo en cada momento de tiempo;

la restricción (1.3) impone que no puede haber más de un vehículo en uno nodo en cada momento de

tiempo;

la restricción (1.4) impone la estructura del gráfico.

5 En efecto, como  $V(n)$  es el conjunto de nodos que pueden alcanzarse a través de un único segmento de ruta que sale del nodo  $n$ , la restricción (1.4) asegura que en el momento  $t+1$  el AGV  $v$  está en un nodo que puede ser alcanzado por uno de los nodos  $n' \in V(n)$ , con un único segmento de ruta.

Otras restricciones tienen en cuenta las dimensiones físicas de los AGVs y la incompatibilidad entre segmentos y nodos descrita anteriormente.

Tales restricciones se denominan reglas de bloqueo.

10 La primera restricción expresa la situación “el segmento  $(n_1, n_2)$  bloquea el segmento  $(n_3, n_4)$ ” y puede expresarse de la siguiente forma lineal

$$X_{n_1}^{v_1}(t) + X_{n_2}^{v_1}(t+1) + X_{n_3}^{v_2}(t) + X_{n_4}^{v_2}(t+1) \leq 3 \quad (1.5)$$

escrita para cada par de vehículos  $v_1, v_2$  y para el momento de tiempo  $t = 0, \dots, T-1$ .

La segunda restricción expresa la situación “el nodo  $k$  bloquea el segmento  $(n_1, n_2)$ ”

$$2X_{n_1}^{v_1}(t) + 2X_{n_2}^{v_1}(t+1) + X_k^{v_2}(t) + X_k^{v_2}(t+1) \leq 4 \quad (1.6)$$

15 escrita para cada par de vehículos  $v_1, v_2$  y para cada momento de tiempo  $t = 0, \dots, T-1$ .

20 Otra restricción “estática” hace que no se permita ninguna posición de un conjunto de vehículos que conduciría a un punto muerto, es decir, en el estado en el que ningún AGV puede desplazarse sin chocar con otro. Antes de describir dicha restricción, es importante observar que el conjunto de posiciones no permitidas se determina a priori, una única vez, a partir del gráfico y a partir de las reglas de incompatibilidad segmento/segmento y nodo/segmento que se han descrito a través del algoritmo ad hoc que se describirá en adelante. Las restricciones de este tipo se denominan restricciones estáticas debido a que se calculan a priori y no dependen del tipo de misión de los AGVs o del estado relativo conectado o desconectado.

25 El principio expresado por esta restricción asegura que, en un conjunto  $S_s$  dado de un número de  $s$  segmentos incompatibles, por ejemplo el conjunto  $S_2$  de dos segmentos que son incompatibles entre sí, el conjunto  $S_3$  de tres segmentos que son incompatibles entre sí, y así sucesivamente, no se asigna ningún subconjunto de  $s$  vehículos a los segmentos de  $S_s$ .

Se debería remarcar que el número  $s$  de segmentos incompatibles corresponde al número  $s$  de vehículos que se tienen en cuenta.

30 Por ejemplo, no se asignan dos vehículos a dos segmentos que corresponden a un elemento de  $S_2$ , no se asignan tres vehículos a tres segmentos que corresponden a uno de los elementos de  $S_3$ , y así sucesivamente.

En particular, en el caso de incompatibilidad entre los dos segmentos  $(n_1, n_2)$ , por los que podría desplazarse AGV1( $v_1$ ), y  $(n_3, n_4)$ , por los que podría desplazarse AGV2 ( $v_2$ ), la restricción se convierte en

$$X_{n_1}^{v_1}(t_1) + \sum_{t=t_1+1}^T X_{n_2}^{v_1}(t) + X_{n_3}^{v_2}(t_2) + \sum_{t=t_2+1}^T X_{n_4}^{v_2}(t) \leq 2(T+1) - t_1 - t_2 - 1 \quad (1.7)$$

35 escrito para cada par de vehículos  $v_1, v_2$ , con  $v_1 \neq v_2$ , y para cada par de momentos de tiempo  $t_1 = 0, \dots, T-1$  y  $t_2 = 0, \dots, T-1$ .

Se debería mencionar que el segundo miembro es una constante que expresa el número de variables presente en el primer miembro, decrementado en 1.

40 En caso de que  $k$  vehículos respectivamente se desplacen a lo largo de los arcos  $(n_{s_i}, n_{d_i})$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , y puedan bloquearse uno al otro, mientras que  $k-1$  vehículos todavía tendrían la posibilidad de desplazarse a lo largo de las respectivas rutas, la restricción adopta la forma

$$\sum_{i=1}^k \left( X_{n_{s_i}}^{v_i}(t_i) + \sum_{t=t_i+1}^T X_{n_{d_i}}^{v_i}(t) \right) \leq k(T+1) - \sum_{i=1}^k t_i - 1 \quad (1.8)$$

donde  $n_{s_i}$  y  $n_{d_i}$  representan el nodo inicial y final del  $i$ -ésimo AGV,  $i = 1, 2, \dots, k$ . La restricción (1.8) está escrita para cada par de  $s$  y para cada par de momentos de tiempo  $t_i = 0, \dots, T-1$ .

45 Un segundo tipo de restricción considerada gestiona los nodos sin-parada, que impone que  $n_x$  no puede ser asignado a un vehículo, por ejemplo el vehículo  $v_2$ , como el último nodo, si otro vehículo, por ejemplo  $v_1$ , ya se ha desplazado a lo largo de un segmento particular, por ejemplo  $(n_s, n_d)$ .



En este caso, la restricción expresada en forma analítica es

$$X_{n_s}^{v_1}(t_1) + \sum_{t=t_1+1}^T X_{n_d}^{v_1}(t) + X_{n_x}^{v_2}(T) \leq T - t_1 + 1 \quad (1.9)$$

escrita para cada par de vehículos  $v_1, v_2$ , con  $v_1 \neq v_2$ , y para cada par de momentos de tiempo  $t_1 = 0, \dots, T-1$  y  $t_2 = 0, \dots, T-1$ .

- 5 Se debería remarcar que tanto las restricciones estáticas como las restricciones de nodo sin-parada introducen comprobaciones del tipo “el último segmento por el que se ha desplazado el vehículo ...”.

Como no es posible conocer a priori en qué franja de tiempo se asignará el último segmento, dichas restricciones requieren la generación de T restricciones, una para cada período de tiempo desde 0 hasta T-1.

- 10 Finalmente, se debería remarcar que los nodos considerados en el paso de optimización son solo aquellos que puede alcanzar un vehículo determinado v dentro del período de tiempo T, partiendo del nodo ocupado en el período de tiempo 0.

En lo que respecta a la función objetiva a minimizar, los coeficientes  $f(n, v, t)$  anteriormente mencionados son diferentes para los vehículos con o sin una misión.

Para vehículos con misiones, el término  $f(n, v, t)$  es:

$$15 \quad f(n, v, t) = B(n) + M(t) + D(n, v) \quad (1.11)$$

donde B(n) es un parámetro adicional diferente de cero si el nodo “n” no es un nodo de misión, D(n, v) es el tiempo de desplazamiento nominal de la ruta mínima entre el nodo “n” y el nodo de misión del AGV “v” y

$$M(t) = \begin{cases} t & \text{si } t < T \\ t(t-1) & \text{si } t = T \end{cases} \quad (1.12)$$

- 20 si un cierto vehículo AGV no tiene una misión, el módulo de reasignación de las misiones 24 lo redirecciona hacia una posición denominada posición de origen. El nodo más cercano al AGV de entre aquellos que pertenecen a un conjunto predefinido (almacenado en el módulo 27) y no ocupado por otros AGVs se selecciona como la posición de origen.

- 25 En lo que respecta a los AGVs sin misión, los coeficientes de la función objetivo son iguales a 1 para los nodos en los que están situados los vehículos, e iguales a 2 para todo el resto de vehículos. Con esta selección, dichos vehículos “tienden” a mantenerse quietos, a no ser que estén en la ruta de un vehículo AGV con una misión, o son incompatibles con la misma. En este caso, el coste total aumentado provocado por el movimiento de dichos vehículos (es decir, 2 para cada nodo desplazado) es despreciable con relación a la reducción en coste total debido al acercamiento de los vehículos con misión a sus respectivos objetivos.

- 30 Se puede aplicar fácilmente el mismo principio al caso en el que los AGVs sin una misión son dirigidos a las denominadas posiciones de origen. En este caso, tan pronto como un vehículo AGV llega a la posición de origen n, el coste del segmento virtual (n, n), que representa el comportamiento “permanecer en el mismo nodo durante un período de tiempo” se establece en 1, mientras que el coste del segmento (n, m), con  $n \neq m$ , se establece en 2; con estas elecciones, también en este caso un vehículo sin misión permanece en la posición inicial a no ser que constituya un obstáculo para los otros vehículos con misiones asignadas;

- 35 como regla adicional, para cada vehículo sin una misión, consideramos entonces una “fuerza de repulsión” desde los nodos de misión de otros AGVs, de modo que se reduce la interferencia entre los vehículos con y sin misión. El coste adicional por el cual se multiplican los coeficientes  $f(n, v, t)$  del vehículo v para todos los nodos n que son, o pueden ser, la misión de otros AGVs está dado por la siguiente fórmula

$$\text{MaxRepulsion} - \min D(v) * \text{CoefRepulsion} \quad (1.10)$$

- 40 donde MaxRepulsion y CoefRepulsion son parámetros de diseño, y  $\min D(v)$  es la distancia mínima entre el nodo en el que está situado el vehículo v sin destino y los nodos de misión del resto.

Las siguientes excepciones también afectan a la definición de función de coste:

- 45 si n es un nodo de misión, y si el vehículo v no tiene una misión en el nodo n, entonces  $f(n, v, t) = \text{MAX\_INT}$ , donde MAX\_INT es el número entero mayor que puede ser representado por una calculadora. Esta selección evita que un vehículo sea dirigido en dirección a un nodo de misión diferente del suyo propio;

si desde el último cambio de misión un AGV ha estado en el mismo nodo durante períodos de tiempo TSPuntoMuerto (punto muerto potencial), o ha pasado por el mismo nodo más de TS\_Cuenta veces (punto muerto móvil potencial), entonces el coste se hace

$$F(n, v, t) = B(n) + M(t) * \text{MalusParaPuntoMuerto} \quad (1.13)$$

donde MalusParaPuntoMuerto es un parámetro de diseño.

**Algoritmos adicionales: restricciones estáticas**

5 Para identificar los conjuntos de segmentos incompatibles que definen las restricciones estáticas, es posible proceder de dos modos:

evaluando las reglas de bloqueo que evitan colisiones entre vehículos y determinando manualmente cuáles son grupos de segmentos incompatibles; este proceso permite identificar casi todos los pares de segmentos incompatibles;

10 llevando a cabo una simulación y almacenando como incompatibles todos los grupos de segmentos en los que se producen situaciones de punto muerto; este método permite identificar los grupos de más de dos segmentos que son incompatibles y posiblemente pares que no fueron detectados durante la evaluación manual de acuerdo con el punto anterior.

**Algoritmos adicionales: nodos sin-parada**

En este párrafo describiremos el algoritmo utilizado para identificar los denominados NODOS SIN-PARADA.

15 Con relación a esto, es importante observar que cada segmento  $s$  se caracteriza por un conjunto diferente de NODOS SIN-PARADA, en adelante indicados como  $NSN_s$ .

El algoritmo prevé que:

1.  $S$  es el conjunto de segmentos que conectan todos los nodos de las posibles rutas;
2. para cada segmento  $s$  en  $S$ , todos los nodos que son incompatibles con los que se encuentran después de  $s$  son NODOS SIN-PARADA;
- 20 3. si  $S$  no está vacío
  - a. Haber extraído un segmento  $s$  de  $S$ , y eliminado de  $S$ , añadir a  $NSN_s$  todos los nodos que son NODOS SIN-PARADA para aquellos después de  $s$ , excluyendo el segmento inverso  $(j, i)$  de  $s = (i, j)$ , si no es el único;
  - 25 b. Si el conjunto  $NSN_s$  ha cambiado, añadir entonces a  $S$ , si no está presente todavía, todos los segmentos que preceden a  $s$ ;
4. añadir a  $NSN_s$  todos los nodos que son incompatibles con los que están después de  $s$ ;
5. para cada segmento  $s = (i, j)$  eliminar los NODOS SIN-PARADA  $n$  si
  - a.  $n$  coincide con  $i$ , o con  $j$ , o es un nodo de misión;
  - 30 b. La ruta mínima entre  $i$  y  $n$  añadida al parámetro umbral  $NSN\_Umbral$  es menor que la distancia mínima entre  $n$  y  $j$ ;
  - c. la distancia mínima entre  $j$  y  $n$  es mayor que una cierta distancia  $NSN\_RangoMetros$ .

En este algoritmo, como los puntos 2, 3 y 4 pueden generar muchos NODOS SIN-PARADA para cada segmento  $s$ , se utilizan mecanismos de limitación del conjunto  $NSN_s$ , de acuerdo con lo que se indica en el punto 5 anterior:

- 35 el primer mecanismo 5a de limitación elimina los nodos de origen y destino de  $s$  y los nodos de misión;
- el segundo mecanismo 5b de limitación implementa una regla heurística dirigida a eliminar del conjunto  $NSN_s$  algunos nodos que, aunque satisfacen el punto 4 del algoritmo, es decir, son "incompatibles" con los sucesores  $s$ , no son verdaderos NODOS SIN-PARADA porque no hay arcos que puedan enrutarse hacia atrás hasta  $s$ , una condición expresada mediante la desigualdad entre las distancias;
- 40 el tercer mecanismo 5c de limitación limita el conjunto  $NSN_s$  a nodos dentro de una cierta distancia ( $NSN\_RangoMetros$ ) de  $s$ .

La invención así concebida permite obtener importantes ventajas técnicas.

45 Una importante ventaja técnica es que el método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, permite que las rutas que deben seguir los vehículos entre estaciones para llevar a cabo las misiones asignadas se optimicen, reduciendo el tiempo necesario para el transporte de artículos, y asegurando que no

pueden crearse atascos a lo largo de las rutas, incluso en el caso de un elevado número de vehículos de guiado automático. El método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, y similares, también permite ahorrar no solo tiempo, sino también dinero. Por tanto, se ha visto cómo la invención permite conseguir los objetivos propuestos.

- 5 La presente invención se ha descrito de acuerdo con realizaciones preferidas, pero pueden diseñarse variantes equivalentes sin apartarse del alcance de la protección ofrecida por las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático, que comprende un módulo (21) de gestión de tráfico para gestionar el movimiento de algunos vehículos de guiado automático (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn) a lo largo de rutas de un gráfico definido por segmentos y nodos para conectar los segmentos, estando indicados dichos vehículos de guiado automático por un número v, donde v indica el vehículo actual, siendo v = 1, 2, ..., V, estando indicados dichos nodos mediante un número n, donde n indica el nodo actual, siendo n = 1, 2, ..., N, de acuerdo con períodos de tiempo t, y donde t = 1, 2, ..., T es el período de tiempo actual, donde el dispositivo (20) comprende un módulo (25) de resolución conectado a, y en comunicación con, el módulo (21) de gestión de tráfico, estando caracterizado el dispositivo por que

10 dicho módulo (25) de resolución ejecuta una solución optimizada utilizando la siguiente función de programación lineal entera:

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{v=1}^V \sum_{t=0}^T f(n, v, t) X_n^v(t) \quad (1.1)$$

donde dicha función representa la función objetivo, y los coeficientes f(n, v, t) indican la distancia mínima entre el nodo n en el que el vehículo v podría estar situado en el momento t, con respecto del nodo de misión del vehículo v, y donde  $X_n^v(t)$  es una decisión variable definida como

$$X_n^v(t) = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } v \text{ está en el nodo } n \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \forall t$$

con las siguientes restricciones

$$\sum_n X_n^v(t) = 1 \quad \forall v, t \quad (1.2)$$

$$\sum_v X_n^v(t) \leq 1 \quad \forall n, t \quad (1.3)$$

$$20 \quad X_n^v(t+1) \leq \sum_{n' \in V(n)} X_{n'}^v(t) \quad \forall n, v, t < T \quad (1.4)$$

que tienen el siguiente significado:

la restricción (1.2) indica que cada vehículo debe ocupar uno, y solo un nodo, en cada momento de tiempo;

la restricción (1.3) impone que no puede haber más de un vehículo en un nodo en cada momento de tiempo;

25 la restricción (1.4) impone la estructura del gráfico,

donde V(n) es el conjunto de nodos a los que puede llegarse a través de un segmento de ruta simple que sale del nodo n.

2. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una restricción que expresa la situación en la que el segmento (n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>) bloquea el segmento (n<sub>3</sub>, n<sub>4</sub>) y está expresada en la forma lineal

$$30 \quad X_{n_1}^{v_1}(t) + X_{n_2}^{v_1}(t+1) + X_{n_3}^{v_2}(t) + X_{n_4}^{v_2}(t+1) \leq 3 \quad (1.5)$$

escrita para cada par de vehículos v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub> y para cada momento de tiempo t = 0, ..., T-1

3. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende una restricción que expresa la situación en la que el nodo k bloquea el segmento (n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>) y está expresada en la forma lineal

$$35 \quad 2X_{n_1}^{v_1}(t) + 2X_{n_2}^{v_1}(t+1) + X_k^{v_2}(t) + X_k^{v_2}(t+1) \leq 4 \quad (1.6)$$

escrita para cada par de vehículos v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub> y para cada momento de tiempo t = 0, ..., T-1

4. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una restricción que asegura que, tomando dos segmentos incompatibles, la totalidad de los últimos segmentos asignados a cada uno de los vehículos no es igual que uno de los elementos de S, y se expresa en la forma lineal

$$40 \quad X_{n_1}^{v_1}(t_1) + \sum_{t=t_1+1}^T X_{n_2}^{v_1}(t) + X_{n_3}^{v_2}(t_2) + \sum_{t=t_2+1}^T X_{n_4}^{v_2}(t) \leq 2(T+1) - t_1 - t_2 - 1 \quad (1.7)$$

escrita para cada par de vehículos v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub> con v<sub>1</sub> ≠ v<sub>2</sub>, y para cada par de momentos de tiempo t<sub>1</sub> = 0, ..., T-1 y t<sub>2</sub> = 0, ..., T-1.

45

5. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una restricción que expresa la situación en la que s vehículos pueden bloquearse unos a otros, donde s-1 vehículos todavía tendrían la posibilidad de moverse a lo largo de las rutas respectivas, y se expresa en la forma lineal

$$5 \quad \sum_{i=1}^k \left( X_{n_{s_i}}^{v_i}(t_i) + \sum_{t=t_1+1}^T X_{n_{d_i}}^{v_i}(t) \right) \leq k(T+1) - \sum_{i=1}^k t_i - 1 \quad (1.8)$$

donde  $n_{s_i}$  y  $n_{d_i}$  representan el nodo inicial y final del i-ésimo AGV, con  $i = 1, 2, \dots, k$ . La restricción (1.8) se escribe para cada par de conjuntos de s y para cada par de momentos de tiempo  $t_i = 0, \dots, T-1$ .

6. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una restricción que impone que  $n_x$  no puede asignarse como último nodo a un vehículo, por ejemplo el vehículo  $v_2$ , si otro vehículo, por ejemplo el vehículo  $v_1$ , ya se ha desplazado a lo largo de un segmento particular, por ejemplo (ns, nd), y se expresa en la forma lineal

$$10 \quad X_{n_s}^{v_1}(t_1) + \sum_{t=t_1+1}^T X_{n_d}^{v_1}(t) + X_{n_x}^{v_2}(T) \leq T - t_1 + 1 \quad (1.9)$$

escrita para cada par de vehículos  $v_1, v_2$  con  $v_1 \neq v_2$ , y para cada par de momentos de tiempo  $t_1 = 0, \dots, T-1$  y  $t_2 = 0, \dots, T-1$ .

7. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la función  $f(n, v, t)$  se determina del siguiente modo:

$$15 \quad f(n, v, t) = B(n) + M(t) + D(n, v) \quad (1.11)$$

donde  $B(n)$  es un parámetro adicional diferente de cero si el nodo "n" no es un nodo de misión,  $D(n, v)$  es el tiempo de desplazamiento nominal de la ruta mínima entre el nodo "n" y el nodo de misión del AGV "v" y

$$20 \quad M(t) = \begin{cases} t & \text{si } t < T \\ t(t-1) & \text{si } t = T \end{cases} \quad (1.12)$$

si n es un nodo de misión, y si el vehículo v no tiene una misión en el nodo v, entonces  $f(n, v, t) = \text{MAX\_INT}$ , donde MAX\_INT es el mayor número entero que puede ser representado por un ordenador, evitando así que un vehículo pueda dirigirse a un nodo de misión diferente del suyo propio;

25 si un cierto vehículo AGV no tiene una misión, el módulo (21) de gestión de tráfico lo redirecciona hacia una posición de origen, denominada posición de origen n, establecida con antelación, o lo deja en el último nodo al que ha llegado; tan pronto como el vehículo (AGVn) llega a la posición de origen n, bien se queda en el último nodo al que ha llegado, el coste del segmento virtual (n, n), que representa el comportamiento de quedaren el mismo nodo durante un período de tiempo, se establece en 1, mientras que el coste del segmento (n, m), con  $n \neq m$ , se establece en 2; de este modo, un cierto vehículo (AGVn) permanece en la posición inicial si no constituye un obstáculo para los otros vehículos con misiones asignadas.

30 8. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende una regla de modo que para cada vehículo (AGVn) sin una misión, se considera una fuerza de repulsión desde los nodos de misión de otros vehículos (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn-1, ..., AGVn+1, ...), de modo que se reducen las interferencias entre los vehículos con una misión y vehículos sin una misión; el coste adicional por el cual el coeficiente  $f(n, v, t)$  de un nodo sin misión es multiplicado está dado por la fórmula

$$\text{MaxRepulsion} - \text{MinD} \cdot \text{CoefRepulsion} \quad (1.10)$$

donde MaxRepulsion y CoefRepulsion son parámetros de diseño, y minD es la distancia mínima entre el nodo en el que está situado el vehículo sin destino y los nodos de misión del resto.

40 9. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una regla de modo que para cada vehículo (AGVn) con una misión, el coste adicional por el que se multiplica el coeficiente  $f(n, v, t)$  es

$$f(n, v, t) = \text{BonusDeMision} + \text{ModTiempo}(t) \cdot \text{distancia}(n, \text{Mision}(v)) \quad (1.11)$$

donde BonusDeMision es un parámetro adicional diferente de cero si el nodo n no es un nodo de misión y

$$45 \quad \text{ModTiempo}(t) = \begin{cases} t & \text{si } t < T \\ t(t-1) & \text{si } t = T \end{cases} \quad (1.12)$$

10. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la regla:

si desde el último cambio de misión un AGV ha estado en el mismo nodo durante períodos de tiempo TSPuntoMuerto (punto muerto potencial), o ha pasado por el mismo nodo más de TS\_Cuenta veces (punto muerto móvil potencial), entonces el coste se convierte en

$$f(n, v, t) = \text{BonusDeMisión} + \text{ModTiempo}(t) \cdot \text{MalusParaPuntoMuerto} \quad (1.13)$$

5 donde MalusParaPuntoMuerto es un parámetro de diseño.

11. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una regla a través de la cual para cada nodo de misión se determinan todos los nodos que no deben ser el punto final del último segmento asignado a un cierto AGV, definiéndose tales nodos como nodos sin-parada, comprendiendo la regla anterior:

10 cada segmento  $s$  se caracteriza por un conjunto diferente de NODOS SIN-PARADA, indicados por  $\text{NSN}_s$ ;

$S$  es el conjunto de todos los segmentos que conectan todos los nodos de las posibles rutas;

para cada segmento  $s$  en  $S$ , todos los nodos que son incompatibles con todos los sucesores de  $s$  son NODOS SIN-PARADA;

si  $S$  no está vacío

15 haber extraído un segmento  $s$  de  $S$ , y eliminado de  $S$ , añadir a  $\text{NSN}_s$  todos los nodos que son NODOS SIN-PARADA para todos los sucesores de  $s$ , excluyendo el segmento inverso  $(j, i)$  de  $s = (i, j)$ , si no es el único;

si el conjunto  $\text{NSN}_s$  ha cambiado, añadir entonces a  $S$ , si no está presente todavía, todos los segmentos que preceden a  $s$ ;

20 añadir a  $\text{NSN}_s$  todos los nodos que son incompatibles con los sucesores de  $s$ ;

para cada segmento  $s = (i, j)$  eliminar los  $n$ -ésimos NODOS SIN-PARADA ( $n$ ) si

$n$  coincide con  $i$ , o con  $j$ , o es un nodo de misión;

la ruta mínima entre  $i$  y  $n$  añadida al parámetro umbral ( $\text{NSN\_Umbral}$ ) es menor que la distancia mínima entre  $n$  y  $j$ ;

25 la distancia mínima entre  $j$  y  $n$  es mayor que una cierta distancia ( $\text{NSN-RangoMetros}$ ).

12. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende un módulo (24) de reasignación de las misiones de los vehículos de guiado automático, estando conectado dicho módulo (24) de reasignación de modo que se comunica con el nodo (21) de gestión de tráfico y con los vehículos de guiado automático (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn).

30 13. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un módulo (27) de gráfico de conexión, que comprende un plano de las posibles rutas para los vehículos (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn).

35 14. Dispositivo (20) para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho módulo (25) de resolución proporciona una solución aproximada de las asignaciones de las rutas a dichos vehículos (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn), y donde dicho módulo (21) de gestión de tráfico debe verificar la compatibilidad real de la solución y luego comprobar las asignaciones de los segmentos de ruta a dichos vehículos (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn).

15. Método para optimizar el movimiento de vehículos de guiado automático (AGV1, AGV2, ..., AGVn), que comprende los pasos de:

40 Gestionar el movimiento de algunos vehículos de guiado automático (AGV1, AGV2, AGV3, ..., AGVn) en rutas de un gráfico definido por segmentos y nodos que conectan los segmentos, estando indicados dichos vehículos de guiado automático por un número  $v$ , donde  $v$  indica el vehículo actual, siendo  $v = 1, 2, \dots, V$ , estando indicados dichos nodos por un número  $n$ , donde  $n$  indica el nodo actual, siendo  $n = 1, 2, \dots, N$ , de acuerdo con períodos de tiempo  $t$ , y donde  $t = 1, 2, \dots, T$  es el período de tiempo actual, caracterizado por

45 que comprende un paso de optimización de solución de dicho movimiento de algunos vehículos de guiado automático obtenido utilizando la siguiente función de programación lineal entera:

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{v=1}^V \sum_{t=0}^T f(n, v, t) X_n^v(t) \quad (1.1)$$

donde dicha función representa la función objetivo, y los coeficientes  $f(n, v, t)$  indican la distancia mínima entre el nodo  $n$  en el que el vehículo  $v$  podría estar situado en el momento  $t$ , con respecto del nodo de

misión del vehículo  $v$ , y donde  $X_n^v(t)$  es una decisión variable binaria definida como

$$X_n^v(t) = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } v \text{ está en el nodo } n \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \forall t$$

con las siguientes restricciones

$$\sum_n X_n^v(t) = 1 \quad \forall v, t \quad (1.2)$$

$$5 \quad \sum_v X_n^v(t) \leq 1 \quad \forall n, t \quad (1.3)$$

$$X_n^v(t+1) \leq \sum_{n' \in V(n)} X_{n'}^v(t) \quad \forall n, v, t < T \quad (1.4)$$

que tienen el siguiente significado:

la restricción (1.2) indica que cada vehículo debe ocupar uno, y solo un nodo, en cada momento de tiempo;

10 la restricción (1.3) impone que no puede haber más de un vehículo en un nodo en cada momento de tiempo;

la restricción (1.4) impone la estructura del gráfico,

donde  $V(n)$  es el conjunto de nodos a los que puede llegarse a través de un segmento de ruta simple que sale del nodo  $n$ .

15

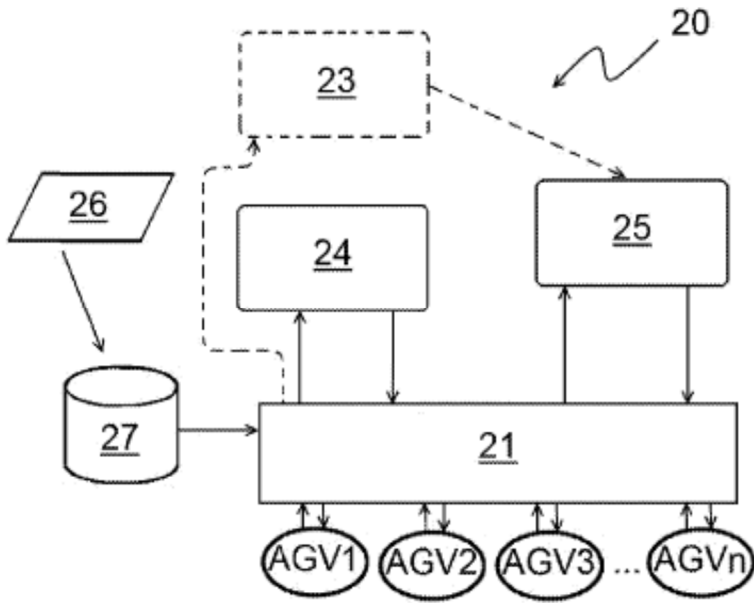


Fig. 1



Fig. 2

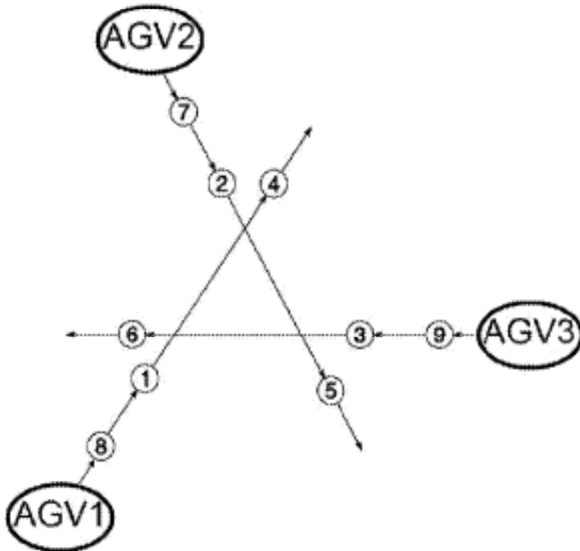


Fig. 3

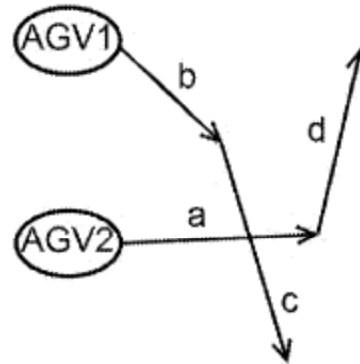


Fig. 4