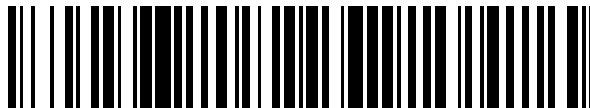


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 458**

51 Int. Cl.:

**A63H 17/39** (2006.01)  
**A63H 18/16** (2006.01)  
**A63H 30/04** (2006.01)  
**A63H 17/26** (2006.01)  
**A63H 17/32** (2006.01)  
**A63H 17/40** (2006.01)  
**A63H 17/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2010 E 10781209 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2435149**

54 Título: **Sistema distribuido de vehículos de juguete controlados de forma autónoma**

30 Prioridad:

**28.05.2009 US 181719 P**  
**13.11.2009 US 261023 P**

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

**31.08.2015**

73 Titular/es:

**ANKI, INC. (100.0%)**  
**55 Second Street, 15th Floor**  
**San Francisco, CA 94107, US**

72 Inventor/es:

**SOFMAN, BORIS;**  
**TAPPEINER, HANNS W. y**  
**PALATUCCI, MARK**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 544 458 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**

Sistema distribuido de vehículos de juguete controlados de forma autónoma

**5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica prioridad por las Solicitudes de Patente provisionales de Estados Unidos números 61/181.719, presentada el 28 de Mayo de 2009, y 61/261.023, presentada el 13 de Noviembre de 2009, que se incorporan aquí por referencia.

10

**Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

15 La invención se refiere al campo técnico de los juguetes electrónicos. Más específicamente, la invención se refiere a juguetes móviles tales como coches electrónicos y ferrocarriles de montar.

**Descripción de la técnica relacionada**

20 Muchos juguetes electrónicos son controlados por un operador humano. Los ejemplos incluyen coches y trenes en miniatura controlados por radio y a distancia que son controlados a través de un dispositivo de mano. El documento US2005/0186884A1 describe dicho sistema de juego de control remoto.

25 Estos tipos de juguetes tienen poca o nula capacidad de detectar e interactuar de forma inteligente y flexible con su entorno. Además, no tienen la capacidad de regular su comportamiento en respuesta a las acciones de otros juguetes. Además, muchos juguetes están limitados físicamente a sistemas de ranura o pista y por lo tanto su movimiento es restringido.

**Resumen de la invención**

30

La invención es un sistema de juguete que incluye una superficie de circulación compuesta de una pluralidad de segmentos, por ejemplo, sin limitación, un segmento recto, un segmento de intersección, un segmento de curva a la izquierda, un segmento de curva a la derecha, un segmento de giro a la izquierda, un segmento de giro a la derecha, y/o cualquier otro segmento adecuado y/o deseable que pueda ser contemplado. Cada segmento incluye marcas que codifican posiciones en el segmento y que codifican una posición del segmento en la superficie de circulación. El sistema de juguete también incluye al menos un vehículo de juguete (o agente móvil). El vehículo de juguete (o agente móvil) puede tomar cualquier forma adecuada y/o deseable, tal como, sin limitación, un vehículo (por ejemplo, un coche, un camión, una ambulancia, etc), un animal, o cualquier otra forma deseada. El vehículo de juguete incluye al menos un motor para impartir fuerza motriz al vehículo de juguete, un sistema de formación de imágenes operativo para tomar imágenes de las marcas, un transceptor inalámbrico de vehículo, y un microcontrolador acoplado operativamente al motor, el sistema de formación de imágenes, y el transceptor inalámbrico de vehículo. El microcontrolador es operativo para controlar, mediante el motor del vehículo de juguete, el movimiento detallado del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas de la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes. Por último, el vehículo de juguete incluye una estación base incluyendo un controlador y un transceptor inalámbrico de estación base acoplado operativamente al controlador. El controlador es operativo para determinar mediante comunicación inalámbrica desde cada transceptor inalámbrico de vehículo al transceptor inalámbrico de estación base una posición actual del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas de la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete. El controlador guarda una representación virtual de la superficie de circulación y determina en base a dicha representación virtual y la posición actual de cada vehículo de juguete en la superficie de circulación una acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación, tal como, sin limitación: la velocidad del vehículo, la aceleración del vehículo, la dirección/rumbo del vehículo, el estado de al menos una luz del vehículo, y/o un sonido emitido por un altavoz audio del vehículo. Por último, el controlador comunica al microcontrolador de cada vehículo de juguete la acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación mediante comunicación inalámbrica desde el transceptor inalámbrico de estación base al transceptor inalámbrico de vehículo.

El microcontrolador de cada vehículo de juguete puede ser sensible a la acción comunicada por el controlador para controlar el movimiento detallado del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas de la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes para hacer que el vehículo de juguete se desplace hacia una posición futura en la superficie de circulación. El movimiento detallado del vehículo de juguete incluye la implementación detallada del microcontrolador de la acción comunicada por el controlador, acción que incluye una o más acciones a realizar por el vehículo de juguete para desplazarse a la posición futura. Más específicamente, la posición futura reside en el controlador como una posición estática o dinámica adonde el controlador desea que el vehículo de juguete se mueva. La acción comunicada por el controlador al microprocesador incluye una o más acciones a realizar por el vehículo de juguete con vistas al objetivo general o

65

plan de movimiento del vehículo de juguete a la posición futura. Por último, el movimiento detallado del vehículo de juguete incluye, para cada acción a realizar por el vehículo de juguete, uno o más pasos a tomar por el vehículo de juguete con vistas a la acción.

5 Como se puede ver, la posición futura, la una o más acciones a realizar por el vehículo de juguete, y el movimiento detallado/pasos a realizar por el vehículo de juguete representan una jerarquía de órdenes distribuida, con estando la posición futura almacenada en el controlador en la parte superior de la jerarquía, la una o más acciones a realizar comunicadas por el controlador al microprocesador en el medio de la jerarquía, y estando el movimiento detallado/pasos a realizar por el vehículo de juguete en la parte inferior de la jerarquía. Cada nivel sucesivamente inferior de esta jerarquía de control distribuida incluye instrucciones/órdenes cada vez más detalladas en apoyo de una orden de nivel más alto. Por ejemplo, sin limitación, el microcontrolador puede tener que implementar un número de pasos en cumplimiento de una acción (por ejemplo, cambio a los carriles de la izquierda) comunicada al microcontrolador por la estación base. Igualmente, la estación base puede tener que implementar un número de acciones en cumplimiento del objetivo general o plan de movimiento del vehículo de juguete a la posición futura.

15 El sistema de juguete también puede incluir una pluralidad de vehículos de juguete. El controlador puede ser operativo para controlar la interacción de la pluralidad de vehículos de juguete en la superficie de circulación de manera coordinada uno con otro mediante comunicación inalámbrica desde el transceptor inalámbrico de estación base a los transceptores inalámbricos de vehículo de la pluralidad de vehículos de juguete.

20 El controlador puede ser operativo para controlar al menos uno de lo siguiente de al menos uno de la pluralidad de vehículos de juguete: una velocidad o aceleración del vehículo de juguete; un conjunto, por ejemplo, una fila, de marcas (carril de circulación) que el vehículo de juguete sigue en la superficie de circulación; un cambio del vehículo de juguete de un conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación; una dirección que el vehículo de juguete toma en una intersección de la superficie de circulación; el vehículo de juguete que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio o ambos de un vehículo de juguete. El controlador también puede ser operativo para actualizar software de control (por ejemplo, sin limitación, microprogramas) del vehículo que controla la operación del microprocesador de vehículo.

30 El sistema de juguete también puede incluir un control remoto en comunicación con la estación base, donde la estación base es sensible a órdenes dadas por el control remoto para controlar al menos uno de lo siguiente mediante la estación base: qué vehículo de una pluralidad de vehículos de juguete es sensible a las órdenes dadas por el control remoto; una velocidad o aceleración de un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto; un cambio de un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto de un conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación; una dirección que un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto toma en una intersección de la superficie de circulación; un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio o ambos de un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto.

45 El controlador puede ser operativo para controlar, en respuesta a o en la ausencia de respuesta al movimiento de un vehículo de control remoto, al menos uno de lo siguiente de cada vehículo de juguete que no esté bajo el control del control remoto: una velocidad o aceleración del vehículo de juguete; un conjunto de marcas (carril de circulación) que el vehículo de juguete sigue en la superficie de circulación; un cambio del vehículo de juguete de un conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación; una dirección que el vehículo de juguete toma en una intersección de la superficie de circulación; el vehículo de juguete que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio o ambos de un vehículo de juguete.

50 La superficie de circulación puede incluir al menos un dispositivo de estados múltiples (por ejemplo, un semáforo, una barrera de paso a nivel, un puente levadizo, una trampa en un tramo de carretera, una puerta de garaje, etc) en respuesta al controlador para cambiar de un estado a otro estado.

55 El sistema de formación de imágenes puede incluir una fuente de luz que emite luz hacia las marcas y un sensor de formación de imágenes para detectar la luz de la fuente de luz que reflejan las marcas.

60 Una capa puede cubrir las marcas de al menos un segmento. La capa puede ser transparente a luz emitida por el sistema de formación de imágenes del vehículo, pero opaca a longitudes de onda de luz visible por humanos. Las marcas pueden ser visibles o invisibles a frecuencias detectables por humanos.

65 El controlador puede ser sensible a la posición actual del vehículo de juguete en la superficie de circulación y la representación virtual de la superficie de circulación para hacer que una pantalla visualice lo siguiente: una imagen virtual de la superficie de circulación y una imagen virtual de al menos un vehículo de juguete y su posición, velocidad o ambas en la imagen virtual de la superficie de circulación.

La superficie de circulación puede estar compuesta de una pluralidad de segmentos discretos acoplados operativamente conjuntamente.

5 La invención también es un método de controlar el movimiento de uno o más vehículos de juguete autopropulsados (o agentes móviles) en una superficie de circulación que incluye marcas que definen uno o más recorridos de  
 10 marcha de vehículo de juguete en la superficie de circulación y que codifican posiciones en la superficie de circulación, donde cada vehículo de juguete incluye un sistema de formación de imágenes para adquirir imágenes de las marcas. Cada vehículo de juguete (o agente móvil) puede tomar cualquier forma adecuada y/o deseable, tal  
 como, sin limitación, un vehículo (por ejemplo, un coche, un camión, una ambulancia, etc), un animal, o cualquier  
 15 otra forma deseada. El método incluye (a) mientras se circula en la superficie de circulación, que un vehículo de juguete adquiere una imagen de una porción de las marcas de la superficie de circulación mediante el sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete; (b) en respuesta a la imagen adquirida en el paso (a), el vehículo de juguete controla su movimiento en la superficie de circulación; (c) el vehículo de juguete comunica de forma  
 inalámbrica a una estación base datos relativos a una posición en la superficie de circulación donde se adquirió la  
 20 porción de las marcas en el paso (a); (d) la estación base en respuesta a los datos comunicados en el paso (c) actualiza una posición del vehículo de juguete en una representación virtual de la superficie de circulación; (e) la estación base determina una acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a los datos relativos a la posición en la superficie de circulación de la porción de las marcas adquiridas en el paso (a); y (f) la estación base comunica de forma inalámbrica al vehículo de juguete dicha acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación.

El método también puede incluir repetir los pasos (a)-(f) al menos una vez. El paso (b) puede incluir que el vehículo de juguete sea sensible a la acción comunicada en el paso (f) para controlar su movimiento en la superficie de  
 25 circulación.

El paso (b) puede incluir la acción comunicada en el paso (f) de hacer que el vehículo de juguete cambie de circular en un primer recorrido definido por un primer conjunto de marcas a un segundo recorrido de marcha definido por un segundo conjunto de marcas, por lo que la acción comunicada en el paso (f) incluye dicho segundo recorrido de  
 30 marcha.

El paso (b) también puede incluir que el vehículo de juguete controle su velocidad, su aceleración, su dirección, un estado de una o varias de sus luces, si un dispositivo de replicación audio del vehículo emite sonido.

35 El método también puede incluir que la estación base determine la representación virtual de la superficie de circulación a partir de uno de lo siguiente: un archivo de definición accesible a la estación base; la exploración de la disposición física de la superficie de circulación por uno o más vehículos de juguete que actúan bajo el control de la estación base y comunican información relativa a la disposición física de la superficie de circulación a la estación base; o un sistema de bus de la superficie de circulación que está compuesto de una pluralidad de segmentos, donde cada segmento incluye un segmento de bus y un microcontrolador que comunica con la estación base y con  
 40 el microcontrolador de cada segmento conectado adyacente mediante el segmento de bus.

El paso (a) puede incluir adquirir la imagen de las marcas mediante una capa superior que es transparente al sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete, pero que es opaca a longitudes de onda de luz visible por humanos.  
 45

El método puede incluir repetir los pasos (a)-(f) para cada uno de una pluralidad de vehículos de juguete, donde: el paso (e) también puede incluir que la estación base determine para cada vehículo de juguete una acción única a realizar por el vehículo de juguete; y el paso (f) también puede incluir que la estación base comunique de forma inalámbrica a cada vehículo de juguete la acción única a realizar por dicho vehículo de juguete en la superficie de circulación de tal manera que la pluralidad de vehículos de juguete se muevan de manera coordinada en la  
 50 carretera.

El método también puede incluir que la estación base reciba una orden para el vehículo de juguete de un control remoto, donde el paso (e) también puede incluir que la estación base determine la acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a la orden recibida del control remoto.  
 55

**Breve descripción de los dibujos**

60 La figura 1 es una vista general de los componentes del sistema de la presente invención, a saber, una superficie de circulación, uno o más vehículos, una estación base, y una interfaz de usuario.

La figura 2 son marcas ejemplares que se pueden incluir en los tramos de carretera representados en la figura 1, donde las marcas codifican información relativa a la identidad del tipo de tramo de carretera, por ejemplo, recto, intersección, etc, una posición única en el tramo de carretera, y una línea central que indica una posición óptima para el vehículo si desea permanecer dentro de su carril.  
 65

- 5 Las figuras 3-5 son ejemplos de un tramo de carretera de intersección para un modo de circulación por calles de la invención, un tramo de carretera recto de carriles múltiples para un modo de circulación por calles de la invención, y un tramo de carretera con curvas de carriles múltiples para un modo de carreras de la invención, respectivamente.
- La figura 6 es una ilustración de tres tramos de carretera y sus puntos de conexión, y una estación base conectada a un sistema de bus de los tramos de carretera, donde cada tramo de carretera incluye un controlador que facilita la comunicación con otros tramos de carretera.
- 10 Las figuras 7-9 son ilustraciones de una superficie de circulación incluyendo tramos de carretera en los que circulan vehículos para descubrir la disposición de la superficie de circulación.
- La figura 10 es un diagrama de bloques de un vehículo de la presente invención que incluye un microcontrolador incluyendo hardware de soporte (RAM, ROM, etc) que opera bajo el control de un programa de software embebido, una red inalámbrica de radio, una unidad de accionamiento de motor, un sistema de formación de imágenes, y un sistema de entrada/salida secundaria, todos los cuales funcionan bajo el control del microcontrolador.
- 15 Las figuras 11A y 11B son exploraciones de las marcas en los tramos de carretera realizadas por un sensor de formación de imágenes del sistema de formación de imágenes del vehículo representado en la figura 10 usando luz visible y usando luz infrarroja cercana (NIR), respectivamente.
- 20 La figura 12A es una vista esquemática que muestra detalles del sistema de formación de imágenes de vehículo de la figura 10 en un esbozo de un vehículo.
- La figura 12B es una vista en perspectiva de una posición ejemplar de la ranura del sistema de formación de imágenes de vehículo de la figura 12A.
- 25 La figura 12C es una vista esquemática aislada del sistema de formación de imágenes de vehículo del vehículo de la figura 12A.
- 30 Las figuras 13A y 13B muestran el cambio de posición del sistema de formación de imágenes cuando el vehículo tiene un eje de dirección desplazado una distancia  $d_1$  del sistema de formación de imágenes.
- Las figuras 13C y 13D muestran cómo cambia la posición del sistema de formación de imágenes cuando  $d_1$  es igual a 0.
- 35 Las figuras 14A y 14B son vistas en perspectiva superior e inferior de un vehículo que representan la posición de una ranura de batería y aberturas de carga, respectivamente, para cargar una batería del vehículo, que se utilizan para suministrar potencia al microcontrolador, la red inalámbrica de radio, la unidad de accionamiento de motor, el sistema de formación de imágenes, y los sistemas de entrada/salida secundaria.
- 40 Las figuras 15A-15C son una exploración sin procesar de una marca de muestra en un tramo de carretera, la exploración después de la reescala de brillo, y una salida final después de la clasificación de la exploración.
- 45 La figura 16 es un gráfico que ilustra un acercamiento de seguimiento de gradiente utilizado en los datos de píxel sin procesar de la figura 15A para generar la exploración clasificada final representada en la figura 15C.
- Las figuras 17A-17C muestran errores de control de dirección para un tramo de carretera recto donde el vehículo intenta circular usando una orientación recta, el error si el vehículo intenta ir a una carretera con curva a la izquierda usando una orientación recta, y una reducción del error si el vehículo se orienta a una curva a la izquierda en el tramo de carretera con curva a la izquierda.
- 50 La figura 18 es un diagrama de flujo que representa los pasos de un algoritmo de control implementado por el microcontrolador de cada vehículo.
- 55 La figura 19 es un diagrama de bloques de la estación base de la figura 1 que representa su interacción con otros varios componentes posibles del sistema.
- La figura 20 es una vista de una superficie de circulación que reside en una memoria de la estación base.
- 60 La figura 21 es un ejemplo más grande de una superficie de circulación que puede ser almacenada en la memoria de la estación base.
- Las figuras 22A-25 son gráficos de una búsqueda A\* usada para hallar la distancia más corta entre dos nodos, a saber, el nodo A y el nodo D.
- 65

La figura 26 es una ilustración de un objeto de intersección que se almacena en una memoria de la estación base que representa puntos de entrada izquierdo y derecho ocupados donde el vehículo que va por la derecha tiene primera prioridad de avanzar debido a su tiempo de llegada anterior.

5 La figura 27 es un gráfico que representa la relación entre tiempo, velocidad, aceleración, y distancia durante un cambio de velocidad.

Las figuras 28A y 28B son ilustraciones relacionadas con un cálculo de mantenimiento de distancia realizado por la estación base para mantener una distancia de seguridad entre vehículos en movimiento.

10 Las figuras 29-32 son ilustraciones de planificación local por la estación base para hallar una serie de acciones y los estados resultantes para permitir que un vehículo atrapado en un carril por otros varios vehículos adelante a dichos vehículos.

15 La figura 33 representa el muestreo de posibles estados futuros que son posibles a partir del estado ilustrado en la figura 31 para el vehículo que adelante variando la velocidad o el carril del vehículo que adelanta.

La figura 34 es un diagrama de flujo que representa los pasos de un algoritmo de control implementado por la estación base.

20 Las figuras 35A y 35B son vistas en perspectiva del control remoto ejemplar representado en forma de diagrama de bloques en la figura 1.

25 Las figuras 36A y 36B son ejemplos de un tramo de carretera que incluye una trampa activada por vehículo para uso con un modo de carreras de la presente invención.

La figura 37 es una vista en perspectiva de un software de visualización que se ejecuta en un ordenador personal (PC) de la figura 19 para visualizar el estado del sistema en una pantalla visual (también se representa en la figura 19).

30 Las figuras 38A-38C son un ejemplo de un acercamiento de estimación de velocidad lateral que puede ser ejecutado por cada vehículo.

35 La figura 39 es un ejemplo de una maniobra que puede realizar un vehículo 2 utilizando el acercamiento de estimación de velocidad lateral descrito en conexión con las figuras 38A-38C.

40 La figura 40 es una ilustración de marcas impresas en un tramo de carretera en tinta o tinte visible estándar que es visible a humanos, cubiertas con un material que es transparente a luz con una longitud de onda fuera del espectro visible, por lo que un sensor óptico de un vehículo con una fuente de luz que corresponda a la longitud de onda de transparencia de materiales puede ver las marcas subyacentes mientras que un humano solamente puede ver la superficie del material dado que no es transparente a la luz visible.

45 La figura 41 es un ejemplo de un segmento, donde la porción inferior izquierda del segmento parece negra tal como la vería el ojo humano y la porción superior representa las marcas que serían visibles a luz NIR que sería detectable por el sistema de formación de imágenes de cada vehículo.

La figura 42 es una ilustración de una superficie de circulación de diseño personalizado ejemplar para uso con el sistema que se diseña usando una aplicación de software.

50 Y la figura 43 es una vista en perspectiva de una superficie de circulación de diseño personalizado que puede ser diseñada por un usuario y luego enviada al usuario después de la fabricación.

### **Descripción detallada de la invención**

55 La presente invención se describirá con referencia a las figuras acompañantes.

La presente invención es un sistema de vehículos de juguete que pueden circular de forma autónoma por un entorno sin ser retenidos físicamente en una ranura o pista. Los vehículos utilizan sensores de diseño especial que les permiten determinar su posición en un entorno. Esta información de posición es procesada por software (por ejemplo, sin limitación, software de inteligencia artificial (IA)) que se ejecuta en un ordenador separado o estación base. Operando bajo el control de dicho software, la estación base decide acerca de las acciones de los vehículos y les envía controles de alto nivel. Mientras que los vehículos anteriores requieren un control totalmente humano, el software puede controlar los vehículos y puede ordenarles que ejecuten acciones complejas. Esto permite que los vehículos interactúen y respondan a las acciones de otros vehículos así como otros objetos del entorno.

65 Aunque cada vehículo puede ser controlado de forma autónoma mediante el software, también está permitido el

control híbrido. Esto permite a los usuarios tomar el control de uno o más vehículos específicos desde la estación base. La estación base sigue rastreando el comportamiento de todos los vehículos y regula el comportamiento de los vehículos que no están bajo control del usuario en respuesta al (a los) vehículo(s) controlado(s) por el usuario. Los usuarios pueden decidir qué vehículo(s) es/son controlados por la estación base y cuáles son controlados por los usuarios.

Los vehículos circulan por una superficie de circulación que es una serie de tramos de carretera (por ejemplo, recto, giro a la izquierda, giro a la derecha, intersección) que están físicamente conectados conjuntamente. Se pueden mover hacia delante y hacia atrás, y también pueden girar libremente. Esto es fundamentalmente diferente de otros juguetes que utilizan tramos de circulación conectados y son retenidos físicamente en una ranura o pista. Además, los vehículos usan tecnologías de detección y control para determinar la posición de los carriles de conducción en la carretera. Esto permite a los vehículos del sistema interactuar y ejecutar comportamientos complejos como se ha descrito anteriormente. Los vehículos también pueden optar por salir de una carretera y pasar a otra parte del entorno. Ésta es otra diferencia significativa con respecto a los juguetes que utilizan un sistema de ranura o pista.

Usando tecnología de codificación, la información de posición se embebe en cada tramo de carretera. Cuando un vehículo circula por un tramo de carretera, emite luz que es reflejada por el tramo de carretera y la luz reflejada codifica información acerca de la posición del vehículo. El sensor de vehículo detecta dicha luz codificada y un microcontrolador del vehículo puede usarla para descodificar la posición y otra información. Este proceso puede quedar oculto para los usuarios usando luz emitida y reflejada que esté fuera del espectro visible humano normal (por ejemplo, infrarroja o ultravioleta).

El sistema tiene dos modos de operación primarios, carreras y no carreras. En modo de carreras, los tramos de carretera están diseñados a modo de una pista de carreras, y muchos vehículos pueden circular en estrecha proximidad física uno con otro cuando circulan por la superficie de circulación. En modo de no carreras, los tramos de carretera están diseñados a modo de calles estándar y autopistas como las de la circulación urbana típica. Aquí, los carriles están apropiadamente espaciados y los vehículos pueden optar por cumplir las normas de tráfico y comportarse de forma apropiada con otros vehículos y situaciones de la carretera. Estos dos modos se pueden combinar para crear superficies de circulación que tienen tanto secciones de carreras como de no carreras.

Con referencia a la figura 1, el sistema tiene cuatro componentes principales:

\* Superficie de circulación 6. Son modelos físicos de carreteras que pueden incluir objetos relevantes como señales de stop, semáforos 8 y pasos a nivel.

\* Vehículos 2. Los vehículos son agentes móviles del sistema capaces de movimiento independiente. Pueden ser modelados físicamente a modo de coches, camiones, ambulancias, etc, animales, o cualquier otra forma deseada. Cada vehículo incluye uno o más sensores 3 que pueden leer información de la superficie de circulación y un módulo de comunicación que puede enviar y recibir (deseablemente de forma inalámbrica) órdenes de una estación base.

\* Estación base 22. La estación base es un ordenador separado controlado por software. Bajo el control de su software, la estación base mantiene el estado de los vehículos y otros agentes y envía y recibe órdenes a y de los vehículos y otros agentes en el sistema. El ordenador puede ser un ordenador general, una consola de videojuegos, y análogos, que el software configura para implementar la presente invención de la manera descrita a continuación. El software puede estar almacenado de forma permanente o dinámica en cualquier medio legible por ordenador adecuado y/o deseable que facilite la operación del ordenador bajo el control del software. Ejemplos no limitadores de medio legible por ordenador adecuado incluyen RAM, ROM, EPROM, discos ópticos, unidades flash, medio de almacenamiento magnético, y análogos.

\* Interfaz de usuario 104/132. La interfaz de usuario incluye todo el hardware y software que un humano usa para interactuar con el sistema.

### 1. Tramos de carretera

Siguiendo haciendo referencia a la figura 1, los vehículos 2 circulan en una superficie 4 que incluye tramos de carretera individuales 6 que conectan en puntos de conexión especificados y que se pueden reconfigurar para construir cualquier estructura deseada. Esta estructura se denomina una superficie de circulación. Se puede crear superficies de circulación básicas a partir de una serie de tramos de carretera rectos 6-1; tramos de carretera de giro de 90 grados 6-3, 6-4, y 6-6; y tramos de intersección 6-2, 6-5, pero se puede crear superficies de circulación más sofisticadas a partir de tramos de carretera más complejos. Los tramos de carretera 6 incluyen regiones continuas en las que uno o más vehículos pueden circular, llamadas secciones de circulación y que conectan una con otra de un extremo al otro usando un simple mecanismo de clic presente en cada punto de conexión. Cada tramo de carretera 6 también puede transmitir potencia a un tramo de carretera adyacente 6 y puede incluir opcionalmente un microcontrolador para funcionalidad avanzada, tal como semáforos 8.

### 1.1. Identificación de tipo y posición de tramo

Con referencia a la figura 2 y con referencia continuada a la figura 1, cada vehículo 2 identifica su posición en la superficie de circulación leyendo marcas 12 en los tramos de carretera 6 cuando circula por ellos usando un sistema de formación de imágenes 3 a bordo del vehículo. Aquí, las marcas de carretera se representan en negro sobre fondo blanco para legibilidad y comprensión más fáciles. Sin embargo, estas marcas de carretera se pueden hacer invisibles al ojo humano y las superficies de circulación pueden tener cualquier color.

Estas marcas 12 pueden codificar información tal como la identidad del tipo de tramo de carretera 6 en el que el vehículo 2 está circulando actualmente (por ejemplo, recta, intersección, etc), posiciones únicas en dicho tramo de carretera 6, y una línea 10 para sugerir una posición óptima para el vehículo 2 si desea permanecer dentro de su carril. Aquí, esta línea se denominará una línea central 10, pero es importante observar que el vehículo 2 de ninguna forma tiene que seguir a limitarse a seguir dicha línea. En el ejemplo representado en la figura 2, aparece una línea central 10 en el centro del carril de circulación para poder dirigir el vehículo 2 dentro de dicho carril. Periódicamente, a lo largo de uno o ambos lados de la línea central 10, hay una serie de filas de marcas 12 que codifican la ID de tramo 14 (por ejemplo, a la derecha de la línea central 10) y las identificaciones (IDs) de posición única 16 (por ejemplo, a la izquierda de la línea central 10) en todo el carril. Aunque aquí se describen filas de marcas, esto no se ha de interpretar como limitación de la invención puesto que se contempla que se pueda utilizar cualquier conjunto de marcas adecuado y/o deseable (dispuesto en una o más filas o alguna(s) otra(s) configuración(es)) capaz de realizar la misma función que las filas de marcas aquí descritas. Estas identificaciones pueden incluir barras de grosor variable donde cada una codifica un valor único. Aunque en los ejemplos aquí explicados, cada barra es fina o gruesa representando un 0 o un 1 en codificación binaria de información, respectivamente, el número de grosores de barra únicos puede ser variable y depender primariamente de la exactitud y de la resolución del sistema de formación de imágenes 3 del vehículo 2. Dependiendo del número de IDs de tramo o posición únicos, cada ID es codificada sobre una o más filas de marcas consecutivas 12. Una barra más gruesa 18, aquí una "barra de stop" puede sustituir a todas las barras a ambos lados de la línea central 10 para marcar la terminación de cada ID de tramo o posición. Es deseable tener un espacio adicional entre los extremos de las marcas de carretera y los límites de la zona visible total del sistema de formación de imágenes de vehículo para permitir errores de traslación que naturalmente podrían producirse durante la circulación.

Cada ID de tramo 14 codifica un tipo de tramo único dentro de la red y permanece constante en todo el tramo de carretera 6. Cada ID de posición 16 codifica una posición única en dicho tramo de carretera concreto 6 y se cuenta, deseablemente, a partir de 0. El segmento ejemplar de la figura 2 codifica tramos de 8 bits e IDs de posición de tramo y posición de 8 bits 14, 16 en cuatro filas consecutivas (permitiendo hasta 256 IDs únicas para cada una) y, como se representa, identifica el tramo que es del tipo 16 e incluye dos IDs de posición 16 ("ID: 11" e "ID: 12")) para identificar posiciones únicas en dicho tramo.

Dado que las IDs de tramo y posición 14, 16 se supone que son de la misma longitud de bits, las barras de stop aparecen normalmente en cada lado de la línea central 10 simultáneamente. Así, se puede representar por lo tanto información especial de cada tramo de carretera 6 en posiciones que tienen una barra de stop solamente en un lado y una marca normal en el otro. Tales técnicas pueden ser usadas para codificar la dirección del tramo de carretera 6 (izquierda, recta o derecha) en la primera fila de marcas de cada tramo de carretera para indicar una dirección al software de control del vehículo (explicado a continuación).

Con referencia a las figuras 3-5 y con referencia continuada a las figuras 1-2, cuando un tramo de carretera 6 incluye múltiples carriles 20, cada carril 20 puede incluir tales marcas. Dado que las IDs de posición 16 son únicas en cualquier lugar en el tramo de carretera 6, esto permite a un vehículo 2 identificar en qué carril está circulando actualmente.

Es deseable que parte de la información codificada en las marcas 12 sea interpretada directamente por el vehículo 2, mientras que otras porciones son enviadas a la estación base 22. La estación base 22 interpreta los códigos analizados por el vehículo 2 a partir de dichas marcas 12 y tiene una representación interna (virtual) de la superficie de circulación y cada tipo posible de tramo de carretera 6, que le permite identificar la posición exacta de cada vehículo 2 en la superficie de circulación y considerar esta posición y las posiciones de otros vehículos en la superficie de circulación en sus comportamientos ordenados del vehículo 2. Esto también permite tramos de carretera 6 de futura expansión o personalizados con solamente pequeñas actualizaciones de software en la estación base 22 en vez de tener que actualizar también cada vehículo 2.

Se puede usar una herramienta de software usada para generar esquemas de marcas de tramo de carretera 6 para generar superficies de tramo de carretera personalizando al mismo tiempo varios parámetros incluyendo, aunque sin limitación, las anchuras de barra, la espaciación entre barras, la espaciación entre filas de marcas, el número de filas de marcas por ID de tramo o posición completa, el número de carriles en cada dirección de tráfico, longitud del tramo de carretera, curva del tramo de carretera, etc. Una opción final permite la adición de una barra de suma de verificación en cada fila de marcas que servirá como una herramienta de verificación de errores codificando la paridad de las barras restantes.



Dicho esquema de codificación no es posible dentro de una intersección (representada en la figura 3) debido a muchos recorridos de cruce. Por esta razón, las IDs de posición y tramo 14, 16 se interrumpen y solamente las líneas centrales 10 continúan dentro de las intersecciones. Esto permite a un vehículo 2 seguir la línea central apropiada 10 a través de una intersección a un punto de salida deseado donde puede reanudar la estimación de posición basada en marcación.

La misma estructura de tramos de carretera puede ser usada tanto para las versiones de callejeo como de carreras del sistema, a excepción de que, en la versión de carreras, los tramos de carretera son de dirección única e incluyen carriles poco espaciados (véase por ejemplo, la figura 5). En el modo de carreras, esto permite que los vehículos 2 cambien en cualquier dirección al carril de una granularidad más fina, mientras que en el modo de callejeo esto permite comportamientos realistas de cambio de carril.

Las marcas 12 cumplen varias finalidades. En primer lugar, las marcas 12 permiten que los vehículos 2 identifiquen el tipo de tramo de carretera 6 en el que se encuentran durante la inicialización de la superficie de circulación (descrita más adelante). A continuación, las marcas 12 permiten la codificación de varios parámetros, tales como la dirección de curvatura del tramo de carretera 6 al entrar en un nuevo tramo de carretera 6, que permite a los vehículos 2 un mejor manejo de retos relacionados con el control. Además, las marcas 12 proporcionan estimaciones de posición a resoluciones suficientemente finas para que la estación base 22 pueda crear planos de alto nivel y comportamientos interactivos de los vehículos 2. Finalmente, cada vehículo 2 es capaz de mantener exactamente un rumbo dentro de un carril 20 usando la línea central 10 y estimar su velocidad y aceleración usando los períodos de tiempo durante los que las marcas son visibles o no visibles dado que las longitudes exactas de las barras y los espacios entre ellas son conocidas.

## 1.2 Identificación de estructura:

Deseablemente, la estación base 22 conoce la estructura exacta de la superficie de circulación. Dado que un usuario tiene libertad de reconfigurar los tramos de carretera 6 en cualquier momento, hay varias técnicas que permiten a la estación base 22 identificar la estructura de la superficie de circulación. Esta estructura se define por una serie de conexiones de tramo de carretera 6. Por ejemplo, conocer todos los tipos de tramo de carretera 6 y que, por ejemplo, el punto de conexión "2" del tramo de carretera "5" conecta con el punto de conexión "1" del tramo de carretera "7" informa a la estación base 22 acerca de la posición exacta relativa y la orientación de los dos tramos de carretera y, si uno de los tramos de carretera ya es fijo, esto fija la posición global de otro en la superficie de circulación. Dado que la información de conexión es a menudo redundante, la estructura puede ser identificada de forma única sin identificar exhaustivamente todos los pares de conexiones. Una vez que todos los tramos de carretera están fijados al marco de coordenadas global, la estación base 22 tiene un conocimiento completo de la estructura de la superficie de circulación.

En la sección siguiente se describen tres técnicas sobre cómo la estructura exacta de una superficie de circulación puede ser determinada por la estación base 22.

### 1.2.1 Lectura de archivo:

La forma más fácil de identificar la superficie de circulación es leer su definición de un archivo de definición definido por el usuario. Éste es un método simple y efectivo, especialmente a efectos de desarrollo.

### 1.2.2 Identificación electrónica instantánea:

Con referencia a la figura 6 y con referencia continuada a todas las figuras anteriores, es posible una segunda técnica con tramos de carretera 6 que también incluyan electrónica de bajo costo (por ejemplo, un microcontrolador). Cuando los tramos de carretera 6 están conectados uno a otro, la electrónica en cada de ellos también está conectada y crea una red lógica donde cada tramo de carretera 6 puede hablar con sus contiguos directos. Todos los tramos de carretera 6 y la estación base 22 están conectados mediante un sistema de bus 24, donde los tramos de carretera 6 son esclavos y responden a las peticiones de la subestación 22. Un ejemplo de un sistema de bus muy eficiente para esta finalidad es un ONE-WIRE-BUS de Dallas Semiconductor, donde la comunicación tiene lugar por las líneas de potencia estándar y tierra.

Usando el sistema de bus 24, la estación base 22 puede determinar qué tramos de carretera 6 están en la red. Además el bus propiamente dicho, cada tramo de carretera 6 solamente necesita una línea de entrada/salida digital por conector. Una línea de entrada/salida permite que un microcontrolador en cada tramo de carretera 6 elija si la línea se usa como una línea de entrada para leer una señal o una línea de salida para generar una señal. Por ejemplo, un tramo de carretera recto tiene dos conectores 26 (uno en cada extremo), y cada conector 26 tiene una línea de entrada/salida digital. Un tramo de intersección de cuatro vías tiene cuatro conectores 26 y por lo tanto cuatro líneas de entrada/salida digital, una por punto de conexión. La figura 6 es una ilustración de tramos de carretera 6 conectados uno a otro y a la estación base 22 de esa forma.

En esta configuración, una sola línea de E/S digital por conexión y un sistema de bus minimalista son suficientes

para que la estación base 22 pueda determinar exactamente la estructura de los tramos de carretera conectados s6. Esto lo logra la estación base 22 haciendo que las líneas de E/S digitales en cada tramo de carretera se enciendan secuencialmente, mientras que las otras líneas de E/S están configurados como entradas y escuchan señales. Entonces, la estación base 22 pregunta a cada tramo de carretera 6 si y dónde vio una señal de encendido. A continuación se describe el método usado para determinar la estructura de carretera usando el ejemplo de la figura 6.

### 1.2.2.1 Inicialización:

Con referencia a la figura 6, utilizando el sistema de bus 24, la estación base 22 determina qué tramos de carretera están en la red. En el ejemplo anterior ve los tramos de carretera 6-1, 6-2 y 6-3. En este punto no se conoce cuántos tramos están conectados uno a otro.

#### 1.2.2.1.1 Determinación de la estructura:

1. La estación base 22 indica a los microcontroladores de todos los tramos de carretera 6 que configuren sus líneas de E/S como entradas.

2. La estación base 22 indica a los microcontroladores de tramo de carretera 6-1 que pongan la línea de E/S A como salida y que la pongan en encendido.

3. La estación base 22 pregunta a los microcontroladores de todos los tramos de carretera 6 si ven una señal de encendido.

4. El microcontrolador de tramo de carretera 6-2 responderá que ve una señal de encendido en su línea de E/S C.

5. La estación base 22 conoce ahora que el tramo de carretera 6-1, línea de E/S A está conectado al tramo de carretera 6-2, línea de E/S C.

6. La estación base 22 indica al microcontrolador de todos los tramos de carretera 6 que configuren sus líneas de E/S como entradas.

7. La estación base 22 indica al tramo de carretera 6-1 que ponga la línea B como salida y la encienda.

8. La estación base 22 pregunta de nuevo a todos los tramos de carretera 6 si ven una señal de encendido.

9. No responderá ningún tramo.

10. La estación base conoce ahora que el tramo de carretera 6-1, línea de E/S B no está conectado.

Estos pasos se repiten con cada conexión desconocida hasta que la estructura de superficie de circulación esté completamente identificada. Este método es sumamente eficiente (la complejidad computacional escala linealmente con el número de tramos de carretera 6 en la red) de modo que la estación base 22 puede reaccionar rápidamente a cualquier cambio de la estructura. El sistema de bus es intercambiable con posibles alternativas incluyendo SPI, CAN, I2C, One-Wire, o una tecnología de red inalámbrica, a condición de que el bus 24 sea capaz de determinar IDs únicas de cada nodo y punto de conexión.

### 1.2.3 Vehículos de exploración:

Con referencia a las figuras 7-9 y con referencia continuada a todas las figuras anteriores, otro método de identificar la estructura de superficie de circulación es construir la red usando uno o más vehículos 2. Cuando un vehículo 2 se mueve (pasa) del tramo de carretera 6 al tramo de carretera 6, identifica los tipos de tramo de carretera 6 usando sus sistemas de formación de imágenes de vehículo 3. La estación base 22 conoce las especificaciones de cada tipo de tramo de carretera 6 y por lo tanto puede usar estas transiciones para expandir su gráfico interno de superficie de circulación o representación virtual de la superficie de circulación. Para que esto funcione, la estación base 22 debe tener un tramo de carretera de referencia conocido 6 en la superficie de circulación para fijar el gráfico de secciones de circulación. Esta posición de referencia conocida puede ser un solo tramo de carretera 6 con un único tipo que debe ser incluido dentro de cada superficie de circulación. Este tramo de carretera 6 podría estar físicamente conectado a la estación base 22 para asegurar que el resto de la red esté fuera de ella. Dado que puede haber muchos casos de otros tipos de tramo de carretera 6 pero solamente uno de este tipo especial, se garantiza poder identificar de forma única cualquier superficie de circulación.

Un método de llevar a cabo esta tarea con un vehículo 2 es rastrear puntos de conexión de tramo de carretera no explorados 6 cuando se construye dicha superficie de circulación y planificar repetidas veces recorridos a través de la salida no explorada más próxima hasta que no queden salidas sin explorar. Un ejemplo de este método se ilustra en las figuras 7-9.

En la figura 7, el sistema se inicia con una configuración de superficie de circulación desconocida. El tramo de carretera de estación base 6-3 es conocido y usado como un punto de anclaje en la red y la estación base 22 es capaz de identificar el tramo de carretera 6-4 como el tramo de carretera en el que está el vehículo 2 en base a las marcas 12 del tramo de carretera 6 analizadas por el vehículo 2 para la estación base 22. Las dos conexiones de tramo de carretera no exploradas 28, 30 se recuerdan para futura exploración.

Como se representa en la figura 8, la estación base 22 ordena al vehículo 2 que explore el punto de conexión superior 28, lo que da lugar a que la estación base 22 conozca que los tramos de carretera 6-2 y 6-4 están conectados (y su orientación relativa), así como las dos nuevas conexiones no exploradas 32 y 34 con los tramos de carretera 6-1 y 6-3, respectivamente.

Como se representa en la figura 9, la estación base 22 ordena entonces al vehículo 2 que tome la conexión derecha 34, lo que da lugar a que la estación base 22 conozca ahora que la superficie de circulación incluye los tramos de carretera 6-2, 6-3 y 6-4 así como sus orientaciones y cómo están anclados al tramo de carretera de estación base 6-3. Este acercamiento continúa hasta que no queden conexiones sin explorar.

Múltiples vehículos 2 pueden identificar más rápidamente la representación de superficie de circulación al realizar simultáneamente este procesado, pero se debe tomar en cuenta cualquier incertidumbre en sus posiciones con el fin de evitar colisiones. Por ejemplo, dos tramos de carretera de intersección 6 en el sistema pueden tener el mismo tipo de modo que los vehículos 2 deben estar seguros de que, si hay incertidumbre acerca del tramo en el que están, realicen acciones que bajo cualquier posible escenario no les haga chocar durante la exploración.

Aunque este acercamiento da lugar a tramos de carretera más baratos 6 dado que reutilizamos vehículos 2 y sistemas de formación de imágenes 3 existentes para la identificación de la superficie de circulación, requiere una completa exploración de la superficie de circulación por vehículos 2 cada vez que se efectúe un cambio.

#### 1.2.4 Capacidad de imprimir redes personalizadas:

Opcionalmente, se puede facilitar software que se ejecute en un ordenador general opcional y que dé al usuario la capacidad de diseñar superficies de circulación que tengan tramos de carretera personalizados. Aunque los tramos de carretera estándar 6 incluirán los tipos más comunes, por ejemplo sin limitación, secciones rectas, giros, intersecciones, etc, es posible que algunos usuarios deseen diseñar a su gusto tramos de carretera no estándar 6. Este software permitirá al usuario hacerlo, o incluso diseñar todas las superficies de circulación sofisticadas. Por ejemplo, un usuario podría diseñar un solo giro pronunciado de 45 grados o una pista de carreras a gran escala con carreteras extra anchas y salidas a boxes.

Usando este software, el usuario puede pedir que cada tramo de carretera no estándar 6 o incluso una superficie de circulación completa sea impresa, por ejemplo, sin limitación, en papel o transparencia. El usuario puede colocar entonces esta impresión en su superficie preferida.

El software también puede proporcionar un archivo de definición para la red de diseño personalizado que se pueda cargar en la estación base 22 del usuario, de modo que la estación base 22 conozca el (los) tramo(s) de carretera personalizado(s) 22 y/o la superficie de circulación y pueda planificar acciones apropiadas para los vehículos 2.

## 2 Vehículos:

Con referencia a la figura 10 y con referencia continuada a todas las figuras anteriores, los vehículos 2 son partes móviles especiales del sistema que pueden circular libremente en tramos de carretera de circulación predefinidos 6 como se ha descrito previamente. Ninguna barrera física como una ranura o pista impide los movimientos de los vehículos 2. Más bien, el vehículo 2 puede moverse libremente en cualquier lugar a lo largo de estos tramos de carretera 6. Para permitir tal comportamiento, el vehículo 2 tiene un sistema de formación de imágenes de vehículo 3 que permite a los vehículos estimar su posición en la superficie de circulación y el vehículo 2 está en contacto inalámbrico periódico con la estación base 22.

Cada vehículo 2 puede ser controlado completamente por la estación base 22 o mediante control híbrido entre un usuario mediante un control remoto 132 y la estación base 22. Si un usuario controla un vehículo 2, puede optar por hacer que el vehículo 2/la estación base 22 maneje controles de nivel bajo tales como dirección, permanencia dentro de carriles, etc, permitiendo al usuario interactuar con el sistema a un nivel más alto a través de órdenes tal como cambio de velocidad, direcciones de giro, tocar la bocina, etc. Esto es útil dado que los vehículos 2 son pequeños y se pueden mover rápidamente, haciendo difícil que un humano controle la dirección.

### 2.1 Componentes del sistema de vehículos:

Los vehículos 2 aquí descritos son diferentes de los coches de juguete de control remoto disponibles hoy día. Para permitir los comportamientos antes descritos, los vehículos 2 incluyen diversas tecnologías robóticas y de sensores.

Cada vehículo 2 incluye cinco componentes principales del sistema descrito en las secciones siguientes e ilustrado en la figura 10.

### 2.1.1 Microcontrolador:

Un microcontrolador 40 es el ordenador principal en cada vehículo 2. Realiza todas las funciones de control necesarias para que el vehículo 2 pueda circular, detectar y comunicar con la estación base 22 y supervisar su estado actual (como la posición en la superficie de circulación, la velocidad, el voltaje de la batería, etc). Es deseable que el microcontrolador 40 sea de bajo costo, que consuma poca potencia, pero que sea suficientemente potente para manejar de forma inteligente grandes cantidades de datos del sensor, requisitos de comunicaciones, y realizar el control de dirección y velocidad a alta velocidad. El microcontrolador 40 incluye varios dispositivos periféricos tales como temporizadores, salidas PWM (modulación de pulsos en anchura), convertidores A/D, UARTS, pines de E/S generales, etc. Un ejemplo de un microcontrolador adecuado 40 es el LPC210x con núcleo ARM7 de NXP.

### 2.1.2 Red radio inalámbrica:

Cada vehículo 2 incluye una red radio inalámbrica 42 (es decir, un radio transceptor inalámbrico) que opera bajo el control de microcontrolador 40 para facilitar la comunicación entre el microcontrolador 40 y la estación base 22. Potencialmente, muchos vehículos pueden circular simultáneamente en la superficie de circulación y la estación base 22 tiene que comunicar con todos ellos, independientemente de si son controlados por los usuarios, por la estación base 22 o ambos. Esto significa que los vehículos 2, los semáforos 8, la estación base 22 y los controles remotos 132 para interacción del usuario pueden ser parte de una red inalámbrica que pueda manejar múltiples (potencialmente cientos de) nodos. La topología de red se puede establecer como una red en estrella, donde cada vehículo 2, control remoto 132, etc, puede comunicar solamente con la estación base 22, que entonces comunica con los vehículos 22, el control remoto 132, etc. La segunda posibilidad es elegir una topología de red en malla, donde los nodos pueden comunicar directamente con otros nodos.

La versión de red en estrella es más simple y requiere menos espacio de código en el microcontrolador 40, pero todavía cumple todos los requisitos que necesita el sistema. Los ejemplos de tecnologías de red inalámbrica adecuadas incluyen ZigBee (IEEE/802.15.4), WiFi, Bluetooth (dependiendo de las capacidades de futuras versiones), etc. Específicamente, ZigBee (IEEE/802.15.4) o derivados relacionados como SimpliciTI de Texas Instruments ofrecen la funcionalidad deseada como tasa de datos, bajo consumo de potencia, huella pequeña y bajo costo de los componentes.

### 2.1.3 Sistema de formación de imágenes:

El sistema de formación de imágenes 3 de vehículo 2 permite al vehículo 2 determinar su posición en la superficie de circulación. Se usa un sensor de formación de imágenes 1D/2D CMOS 46 (representado en la figura 12A) dentro del vehículo 2 que mira a la superficie del tramo de carretera de conducción situado debajo para tomar imágenes de la superficie a altas frecuencias (en tiempos de hasta 500Hz o más).

Como se ha descrito anteriormente, los tramos de carretera 6 incluyen una configuración estructurada de marcas ópticas 12 que es deseable que sean visibles solamente en el espectro infrarrojo cercano (NIR), en el espectro IR (infrarrojo) o en el espectro UV (ultra violeta), y que sean completamente invisibles al ojo humano. Esto se logra con una combinación muy específica de tinta de bloqueo IR, NIR, o UV y una fuente de luz IR, NIR o UV adaptada. Las marcas invisibles son deseables dado que las marcas no son visibles para el usuario, haciendo que el aspecto de los tramos de carretera 6 corresponda mejor al de las carreteras reales. Sin embargo, sin cambios en el hardware, el mismo sistema opera también con tinta visible (tal como negra), permitiendo a los usuarios imprimir su propios tramos de carretera en una impresora estándar sin tener que comprar cartuchos especiales. El sensor de formación de imágenes 1D/2D CMOS en el vehículo, conjuntamente con una fuente de luz LED 44 (representada en la figura 12C) que emite luz a una frecuencia específica (por ejemplo NIR), puede leer dichas marcas e interpretarlas.

Por ejemplo, se puede usar una red de píxeles lineal 1D TSL3301 de TAOS INC o un MLX90255BC de Melexis como el sensor de imagen 46. La imagen de la superficie de un tramo de carretera 16 puede ser enfocada con una serie de lentes SELFOC 48 e iluminada por una fuente de luz LED NIR 44 que emita luz por ejemplo a 790 nm. La configuración de marcas 12 en los tramos de carretera 6 se imprimiría en ese caso con una tinta o tinte que absorba luz NIR. La frecuencia de absorción máxima es aproximadamente de la misma longitud de onda que aquella a la que la fuente de luz LED 44 emite luz, 790 nm en este ejemplo. Por lo tanto, una marca parece negra al sistema de formación de imágenes 3 y la superficie sin una marca parece blanca (véase las figuras 11A y 11B).

La combinación de la fuente de luz LED 44 con una frecuencia de emisión máxima aproximadamente igual a la frecuencia de absorción máxima de la tinta elimina completamente la necesidad de un filtro de luz si la luz de fuentes de luz exteriores puede ser blindada por la carrocería del vehículo. Éste es el caso del diseño del vehículo 2 representado en la figura 12B. Naturalmente, las longitudes de onda mencionadas son solamente ejemplos, y cualquier combinación de sensor CMOS/LED/tinta en el espectro NIR/IR o incluso en el espectro UV funcionaría de la misma forma, y varias tintas/tintes se pueden obtener de numerosos fabricantes como EPOLIN, MaxMax etc. El

microcontrolador 40 situado en el vehículo 2 lee a una frecuencia alta del sistema de formación de imágenes 3 y usa algoritmos de clasificación para interpretar las marcas 12 de cada lectura. El microcontrolador 40 transmite entonces las marcas analizadas a la estación base 22 mediante la red radio inalámbrica 42 para interpretación como la posición global del vehículo 2 en la superficie de circulación.

5

### 2.1.3.1 Posición dentro del vehículo:

Con referencia a las figuras 13A-13D y con referencia continuada a todas las figuras anteriores, un parámetro importante es la distancia  $d_1$  entre la posición del sistema de formación de imágenes 3 y el eje de dirección 50 en un vehículo 2. Dado que el vehículo 2 dirige usando un accionamiento diferencial, descrito a continuación, el eje de dirección 50 es el eje a lo largo de las dos ruedas motrices 58 y el punto de dirección 52 es el centro entre las dos ruedas motrices 54.

10

Como se describe aquí, el sistema de formación de imágenes 3 se usa para recoger información del sensor permitiendo que el vehículo 2 circule y mantenga una posición deseada en un tramo de carretera 6. La distancia  $d_1$  entre el sensor de imagen 46 del sistema de formación de imágenes 3 y el eje de dirección 50 es importante porque influye de forma significativa en la capacidad de dirección del vehículo 2.

15

Puede parecer inicialmente que el sistema de formación de imágenes 3 deberá estar situado lo más cerca que sea posible del eje de dirección 50, siendo la posición óptima un punto de dirección 52 entre las ruedas motrices 54 (como se representa en las figuras 13C-13D). Esta posición se considera que es óptima porque cuando el vehículo 2 vira, gira alrededor del punto de dirección 52, que no cambiaría la posición del sistema de formación de imágenes 3, solamente su orientación. Aunque esto introduce un efecto de alabeo en cómo se perciben las marcas, mantiene el sensor de formación de imágenes 46 en el centro del tramo de carretera 6 y lo más lejos posible de los bordes de las marcas 12.

20

25

Por desgracia, el vehículo 2 está sometido a una cierta cantidad de ruido de viraje producido por el control limitado sobre el comportamiento del motor, el deslizamiento, la holgura, el rozamiento variable y otros factores. Colocando el sistema de formación de imágenes 3 hacia delante del eje de dirección (como se representa en las figuras 13A-13B), un pequeño error de dirección será amplificado a un efecto grande percibido por el sensor de formación de imágenes 46 delante del eje de dirección 50, permitiendo que el microcontrolador 40 corrija más rápidamente los errores de dirección. Esto es lo inverso de la posición del sistema de formación de imágenes 3 en las figuras 13C-13D donde cualquier error de dirección no sería visible al sistema de formación de imágenes 3 hasta mucho más tarde y el vehículo 2 tendría que reaccionar más rápidamente a tal error.

30

35

La posición óptima del sistema de formación de imágenes 3 es un compromiso que hay que considerar al diseñar el vehículo 2. Si se coloca demasiado cerca del eje de dirección 50, entonces surgirá el problema indicado anteriormente. Por otra parte, si se coloca demasiado lejos hacia delante, entonces errores de dirección muy pequeños darán lugar a grandes traslaciones del sistema de formación de imágenes 3, aumentando posiblemente la dificultad del proceso de marcación/análisis. Un compromiso entre los dos extremos permitirá al vehículo 2 mantener más fácilmente su rumbo en un tramo de carretera, pero permitiendo al mismo tiempo el análisis consistente de las marcas de carretera.

40

Dado el tamaño de los vehículos 2 contemplados aquí, es deseable un  $d_1$  grande, por ejemplo  $d_1 = 25$  mm. Esto permite diseñar vehículos 2 sin codificadores de rueda (sensores para medir la posición angular y la velocidad de las ruedas) o sensores similares. Por lo general, se usan sensores como codificadores de rueda para poder dirigir con exactitud coches, robots, etc. Sin tales sensores, la capacidad de controlar la velocidad de rueda es limitada, lo que produce grandes errores de dirección. Sin embargo, en el diseño del vehículo 2 descrito aquí, el vehículo 2 compensa tales errores de dirección con un  $d_1$  grande, tomando un error de dirección potencial lo suficientemente pronto para compensar tal error.

50

Como se describe aquí, esto hace que el sistema de formación de imágenes 3 cambie de posición cuando el vehículo vire, pudiendo perder partes de las marcas de carretera subyacentes. Para tener en cuenta este cambio de posición producido por errores de dirección, las marcas de carretera 12 están diseñadas de manera que sean más pequeñas que la zona de sensor de los sistemas de formación de imágenes, dejando márgenes suficientemente grandes a ambos lados.

55

### 2.1.4 Unidad de accionamiento de motor:

Con referencia a las figuras 14A y 14B y con referencia continuada a todas las figuras anteriores, en una realización, la unidad de accionamiento de motor 56 usa dos micromotores eléctricos 58, uno para cada rueda trasera 54, para que el vehículo 2 pueda moverse en una dirección deseada. La unidad de accionamiento de motor 56 es conocida como un sistema de accionamiento diferencial. Controlando la velocidad relativa de cada motor 58 (controlando el voltaje aplicado al motor), el vehículo 2 puede virar a lo largo de pequeñas curvas arbitrarias. El microcontrolador 40 genera una señal PWM para cada motor 58. Cada señal es amplificada por accionadores de motor de puente H (no representados) para enviar la potencia que necesite el motor 58.

60

65

En otra realización, la unidad de accionamiento de motor es un solo micromotor eléctrico que mueve al menos una rueda trasera del vehículo. El microcontrolador 40 genera una señal PWM que es amplificada por un accionador de motor (no representado) para enviar la potencia necesaria para dicho motor. En esta realización, ambas ruedas delanteras del vehículo pueden girar como en un vehículo real, por ejemplo, dirección Ackermann.

El sistema de formación de imágenes 3 descrito anteriormente también se usa para estimar la velocidad de vehículo 2 y el ángulo de dirección y por lo tanto permite un control de velocidad y dirección de bucle cerrado. Además, el microcontrolador 40 puede usar una señal contra-EMF de uno o ambos motores 58 para estimar la velocidad del vehículo 2 a una frecuencia más alta sin necesidad de codificadores de rueda, pero con menos exactitud que con el sistema de formación de imágenes 3.

### 2.1.5 Entrada/salida secundaria:

Cada vehículo 2 también puede incluir un sistema de entrada/salida secundaria que incluye componentes que no son críticos para la operación central del vehículo 2, pero que aumentan la funcionalidad del vehículo 2 permitiendo un funcionamiento más realista.

Cada vehículo 2 incluye una pequeña batería 64 que alimenta el vehículo 2. El tipo de batería preferido es Polímero de Litio, pero también se puede usar otras tecnologías de batería a condición de que las baterías sean pequeñas. El vehículo usa un convertidor A/D en serie con un divisor de voltaje para que el microcontrolador 40 pueda medir el voltaje de la batería. Esta información es enviada a la estación base 22, que entonces planifica consiguientemente. Cuando la batería 64 está a voltajes muy bajos, el microcontrolador 40 puede reaccionar inmediatamente y parar la operación de vehículo 2 si es necesario. La batería 64 está conectada a la parte inferior del vehículo 2 para suministrar conectores de carga accesibles desde fuera 62, representados en la figura 14B. Los conectores 62 se han diseñado especialmente no solamente para permitir la fácil recarga de la batería del vehículo, sino también para que el vehículo 2 vaya a una estación de carga (no representada) sin la ayuda del usuario. Esto es necesario porque el sistema puede incluir estaciones de carga, donde los vehículos 2 pueden recargarse automáticamente sin intervención del usuario. Tanto la batería como los motores pueden ir montados en ranuras de cambio rápido para que el usuario pueda cambiarlos sin necesidad de herramientas, como un destornillador.

El vehículo 2 incluye LEDs que representan las luces delantera, de giro y de freno, y luces especiales en vehículos especiales como coches de policía o camiones de bomberos. La operación de dichas luces es similar a la operación de luces en un vehículo real. El microcontrolador 40 controla dichas luces en base a órdenes recibidas de la estación base 22 para mostrar acciones previstas como girar a la izquierda, frenar, luces largas, etc. La última parte del sistema de entrada/salida secundaria puede ser un altavoz audio que permita al vehículo 2 generar señales acústicas como el sonido de la bocina, el ruido del motor, los gritos de los conductores, las sirenas, etc, bajo el control de la estación base 22 mediante la red radio inalámbrica (radio transceptor) 42 y el microcontrolador 40.

## 2.2 Software de control del vehículo:

El microcontrolador 40 en cada vehículo 2 opera bajo el control de software de control del vehículo para controlar la porción de nivel bajo en tiempo real del comportamiento del vehículo, mientras que los comportamientos de alto nivel son controlados por la estación base 22. El software de vehículo opera en tiempo real con ejecución de subsistemas que tienen lugar dentro de períodos o intervalos de tiempo fijos. Esto significa que el microcontrolador 40 ejecuta varias tareas tales como medir la velocidad, ordenar el voltaje de motor, dirección y verificación de mensajes en diferentes intervalos. Se usan temporizadores de hardware en el microcontrolador 40 para asegurar que cada tarea se ejecute como se desee. Por ejemplo, cada microcontrolador 40 puede realizar una exploración usando el sistema de formación de imágenes a frecuencias de entre 500Hz-1000Hz, ordenar nuevas velocidades del motor a frecuencias de entre 250Hz-500Hz, comprobar nuevos mensajes a 100Hz y comprobar el voltaje de batería cada 10 segundos. Algunas tareas tardan más que otras en ejecutarse, pero todas ellas deberán ejecutarse dentro de sus períodos o intervalos de tiempo asignados. El software de vehículo puede estar dividido en los subsistemas siguientes:

### 2.2.1 Comunicación:

Cada vehículo 2, mediante su microcontrolador 40 y la red radio inalámbrica 42, comunica de forma inalámbrica mediante mensajes con la estación base 22 (que también incluye un transceptor inalámbrico) y reacciona a los mensajes enviados por la estación base 22. Los mensajes enviados por la estación base 22 pueden incluir, por ejemplo, aunque sin limitación, una nueva velocidad deseada, una nueva aceleración deseada, una orden de cambio de carril, petición de voltaje de batería, petición de la información de última posición del vehículo, giro en una señal de giro, emisión de un sonido, etc. El vehículo 2 también puede enviar mensajes acerca de su propio estado sin petición de la estación base 22. Esto puede suceder cuando, por ejemplo, sin limitación, el voltaje de batería es muy bajo o el vehículo 2 pierde su posición.

### 2.2.2 Reconocimiento/interpretación de marcas:

Las exploraciones sin procesar de las marcas 12 tomadas por el sistema de formación de imágenes 3 (donde cada píxel incluye un valor de escala de grises en el rango de 0 a 255) son analizadas por el microcontrolador 40 pasando a valores de bits de modo que las IDs de tramo y posición puedan ser calculadas. Esto sucede a través de una serie de pasos mostrados en las figuras 15A-15C. En primer lugar, la exploración sin procesar (figura 15A) es reescalada de modo que el nivel más brillante (figura 15B) tenga un valor de 255. Esto reduce el impacto de las variaciones de una exploración a otra debidas a condiciones externas como iluminación, color de la superficie, etc.

A continuación, se puede usar alguna o varias técnicas para clasificar los píxeles en bruto de la exploración en negro o blanco (figura 15C). La técnica más simple implica usar un umbral para decidir la clasificación de valores en bruto. Esto funciona bien cuando hay pocas barras por fila y están bastante espaciadas relativamente como en este ejemplo. Sin embargo, si están más próximas, los efectos de emborronamiento de los bordes de barra hacen que un simple acercamiento de umbral sea insuficiente para manejar el problema. En este caso, se puede usar acercamientos de aprendizaje automático computacionalmente eficiente entrenados mediante exploraciones etiquetadas a mano. Dos de tales técnicas incluyen máquinas de vectores de soporte (SVMs) y árboles de decisión. Ambas técnicas clasifican un píxel como blanco o negro usando varias características calculadas para dicho píxel usando su valor y los valores de sus contiguos. Como se representa en la figura 16, se puede usar un acercamiento de seguimiento de gradiente usado en los valores de píxel en bruto en cada dirección del píxel actual para generar características para dicho conjunto continuo de píxeles: los valores máximo y mínimo del gradiente, la magnitud de este rango, donde el píxel actual está dentro de dicho rango, etc. Las SVMs crean un límite de decisión lineal dentro de dicho espacio de características (también son posibles las extensiones no lineales), mientras que los árboles de decisión deciden sobre la clasificación a través de una serie de comparaciones de característica única. En el acercamiento de seguimiento de gradiente, se determina el gradiente de valores de píxel en cada dirección. En la figura 16, el gradiente se calcula para el píxel rodeado con círculo. El conjunto de valores de píxel resaltados (estrellados) puede ser usado para generar características que permitirían clasificar el píxel con círculo como "blanco". Los índices de píxel se muestran a lo largo del eje x, mientras que las intensidades de píxel se muestran a lo largo del eje y.

Una vez clasificada la exploración como píxeles blancos y negros, los grupos resultantes de píxeles negros pueden ser inspeccionados con técnicas de comprobación de errores para corregir errores aislados y clasificarse en el tipo de barra apropiado usando anchuras de píxeles esperadas con el fin de identificar la línea central 10 y valores codificados en una fila de marcas 12.

### 2.2.3 Algoritmo de control de dirección:

Cada vehículo 2 tiene que ser capaz de virar exactamente y a altas velocidades para seguir un carril (por ejemplo, sin limitación, la línea central 10) en un tramo de carretera 6. El microcontrolador 40 situado en el vehículo 2 usa el sistema de formación de imágenes 3 no solamente para identificar marcas de los tramos de carretera 6, sino también para calcular su posición horizontal dentro del campo de visión del sensor de formación de imágenes 46 del sistema de formación de imágenes 3 a una frecuencia alta. A no ser que la estación base 22 indique lo contrario, el microcontrolador 40 está programado para intentar mantener el vehículo 2 centrado sobre la línea central 10 según se ve en una explicación inmediatamente precedente realizada por el sistema de formación de imágenes 3. El microcontrolador 40 calculará la posición de las marcas 12 con relación al centro del vehículo 2, y si el vehículo 2 no está centrado, hará que el vehículo 2 vire lo necesario para mover las marcas 12 hacia el centro de vehículo 2. El microcontrolador 40 usa un algoritmo de bucle abierto/cerrado para lograr dicho objetivo.

La porción de bucle cerrado de este algoritmo es un control PID (Proporcional-Integral-Derivada) que calcula el ángulo de dirección para el error de posición actual. La porción de bucle abierto de este algoritmo usa el conocimiento anterior embebido en las marcas 12 en los tramos de carretera 6 para determinar si el vehículo 2 está a punto de atravesar un tramo de carretera recto (figura 17A), un tramo de carretera con curva a la izquierda (figuras 17B-17C) o un tramo de carretera con curva a la derecha 6. El microcontrolador 40 ordena entonces una velocidad de bucle abierto a los motores 58 del vehículo 2 que moverán el vehículo 2 en una trayectoria aproximadamente correcta que en efecto es una primera predisposición, u orientación, en las órdenes de dirección apropiada para dicha sección de tramo de carretera 6. El controlador PID opera entonces sobre la trayectoria de control de bucle abierto para eliminar errores en tiempo real. Un ejemplo de este comportamiento se muestra en las figuras 17B-17C. Sin la primera predisposición, el vehículo 2 tiende a seguir aproximadamente recto. En un tramo de carretera con curva 6, esto origina un error de dirección grande 68 que el control PID corrige. La utilización de una orientación en base al conocimiento anterior (por ejemplo, las marcas 12 y, por ello, si el vehículo 2 está actualmente en un tramo de carretera recto, con curva a la izquierda o a la derecha) reduce significativamente el error que el control PID tiene que corregir y por lo tanto hace más estable la dirección de vehículo 2 por el microcontrolador 40. Para calcular una buena orientación para diferentes maniobras, como un giro a la izquierda o un giro a la derecha, se analizan datos del comportamiento de marcha del vehículo 2 a diferentes velocidades, ángulos de dirección y a través de múltiples vehículos.

Si lo ordena la estación base 22, el microcontrolador 40 puede elegir no centrar el vehículo 2 en las marcas de carretera 12, sino seguir una trayectoria completamente libre. Esto se usa, por ejemplo, cuando el vehículo 2 pasa

de un carril de carretera (por ejemplo, la línea central 10) a otro.

Esta capacidad define una diferencia entre el sistema de la presente invención y los coches de juguete de ranura o sistemas de ferrocarril en miniatura de la técnica anterior: a saber, mientras que los coches de juguete de ranura o los sistemas de ferrocarril en miniatura de la técnica anterior están bloqueados a una ranura o pista física y no pueden salirse de ella, los vehículos 2 del sistema de la presente invención pueden seguir marcas de carretera 12 durante algún tiempo, pero pueden abandonarlas en cualquier momento y hacer un uso frecuente de dicha capacidad.

#### 2.2.4 Algoritmo de control de velocidad:

El microcontrolador 40 también es sensible al movimiento del vehículo 2 a una velocidad deseada. El microcontrolador 40 utiliza un algoritmo de control de velocidad de bucle abierto/bucle cerrado para el control de la velocidad. La parte de control de velocidad de bucle abierto ordena a los motores 58 una velocidad de bucle abierto que hará que el vehículo 2 se mueva a aproximadamente la velocidad correcta hacia delante. Las marcas de carretera analizadas 12 adquiridas por el sistema de formación de imágenes de vehículo 3 se usan para medir la cantidad de tiempo que tardó el vehículo 2 en recorrer longitudes conocidas de las marcas de carretera analizadas 12. El microcontrolador 40 convierte esto a la velocidad actual hacia delante del vehículo 2. Entonces, el microcontrolador 40 usa un control de velocidad de bucle cerrado (PID) para eliminar la diferencia entre la velocidad deseada/ordenada y la velocidad actual del vehículo 2.

Como se ha descrito anteriormente, la estimación de velocidad hacia delante se lleva a cabo midiendo el tiempo que el sistema de formación de imágenes de vehículo 3 del vehículo 2 ve una fila de marcas 12. Dado que la longitud de cada una de estas filas es conocida, el tiempo medido durante el que se ven las barras incluyendo cada marca 12, puede ser traducido a una velocidad estimada del vehículo 2.

También es deseable medir la velocidad lateral durante los cambios de carril para poder especificar y controlar la velocidad de cambios de carril, permitiendo planes más exactos y diversos que implican decisiones de cambio de carril tanto suave como brusco mediante una mejor predicibilidad del movimiento del vehículo 2. Además, esto reduce la posibilidad de cambiar a un número de carril incorrecto rastreando siempre la distancia lateral recorrida hasta entonces. Esto permite planificar grandes acciones a través de muchos carriles en vez de hacer una serie de pequeños cambios de carril único debido a cuestiones de incertidumbre.

En vez de hacer el seguimiento del tiempo que se ve una marca 12 como en el caso del movimiento hacia delante, la estimación de velocidad lateral opera haciendo el seguimiento del movimiento lateral de las líneas centrales 10 de todas las marcas 12 visibles por el sistema de formación de imágenes de vehículo 3 durante todo el cambio de carril. En cada exploración realizada por el sistema de formación de imágenes de vehículo 3, las posiciones de píxel de todas las líneas centrales de barras visibles 10 son calculadas y comparadas con las posiciones de la exploración anterior. A una frecuencia de exploración suficientemente alta, estas posiciones se moverán un máximo de unos pocos píxeles entre exploraciones, permitiendo al microcontrolador 40 comparar exactamente las barras de exploraciones consecutivas. El microcontrolador 40 hace el seguimiento del progreso general de una línea central de referencia 10 y pasa a otra línea central 10 que es la nueva línea central de referencia 10 tan pronto como la línea central de referencia actual 10 sale del campo de visión, permitiendo el seguimiento lateral ininterrumpido durante todo el movimiento.

Intercambiando las líneas centrales 10 cuando pasan a través del campo de visión del sistema de formación de imágenes de vehículo 3, el microcontrolador 40 puede estimar una cantidad general de traslación horizontal en números de píxeles a partir de algún punto de inicio, incluso cuando la traslación total es mucho más grande que la anchura del campo de visión del sistema de formación de imágenes 3 de vehículo. Dado que las distancias entre carriles son conocidas, el microcontrolador 40 puede ejecutar un cambio de carril a una velocidad lateral dada regulando el rumbo del vehículo 2 minimizando la diferencia entre un progreso lateral calculado/determinado y un progreso lateral deseado en cada punto de tiempo. Si el vehículo 2 retrocede en su progreso lateral, el microcontrolador 40 puede hacer que el vehículo 2 gire de forma más pronunciada para recuperarse, y si el vehículo 2 se desplaza a un lado demasiado rápidamente, el microcontrolador 40 puede hacer que el vehículo 2 enderece su rumbo con relación al tramo de carretera 6 para ralentizar su progreso lateral y reducir el error.

Esto proporciona un alto grado de exactitud en el control de velocidad lateral dado que al menos una línea central 10 es visible en la mayoría de las posiciones en los tramos de carretera (obsérvese que el análisis completo de la fila de marcación no es necesario para este cálculo). En la minoría de las situaciones donde no hay marcas 12 o líneas centrales 10 visibles, el movimiento lateral actual puede ser estimado a partir de la última tasa de movimiento lateral medida.

Un ejemplo de este último acercamiento se representa en las figuras 38A-38C en tres puntos en el tiempo. Aquí, el vehículo 2 inicia un cambio de carril a la izquierda. Inicialmente, como se representa en la figura 38A, toda la fila de marcación está centrada (se representa con la línea de trazos 142) en la zona visible del sistema de formación de imágenes de vehículo 3. Se identifican cinco barras y el microcontrolador 40 decide rastrear la cuarta barra \*4\*.



5 Cuando el vehículo 2 cambia a la izquierda como se representa en la figura 38B, las barras comienzan a salir de la zona visible a la derecha. Cuando la barra que estaba siendo rastreada sale del campo de visión, como se representa en la figura 38B, el microcontrolador 40 comienza a rastrear su progreso usando la primera barra (barra número \*1\*, en la figura 38C) en su lugar, permitiendo que el vehículo 2 mantenga una estimación del progreso de movimiento lateral general desde el inicio de la maniobra de cambio de carril, incluso cuando las barras entran y salen del campo de visión del sistema de formación de imágenes de vehículo 3. En la figura 38C, el comienzo de otra fila de marcas a la izquierda comienza a aparecer, y se usará para rastrear el movimiento cuando las barras de la primera fila de marcación ya no sean visibles.

10 La ejecución exacta del movimiento lateral mediante técnicas como ésta es necesaria para que el vehículo 2 pueda ejecutar maniobras como la representada en la figura 39.

### 2.2.5 Algoritmo de flujo de control de movimiento:

15 Un diagrama de flujo de nivel alto que describe el algoritmo de control implementado por el microcontrolador 40 de cada vehículo 2 se representa en la figura 18.

20 El algoritmo de control incluye control tanto de dirección como de velocidad y todos los componentes necesarios para recoger la información necesaria para dirigir correctamente y mover el vehículo 2. Cada ciclo empieza en el paso 82 realizando una exploración usando el sistema de formación de imágenes 3. En el paso 84, dicha exploración del paso 82 es analizada e interpretada. Si la exploración no es válida, se puede enviar un mensaje de error a la estación base 22 y el vehículo 2 puede usar información de exploraciones pasadas para moverse hasta que una exploración válida sea reconocida por el microcontrolador 40 o la estación base 22 se lo ordene de otro modo al microcontrolador 40. Si la exploración es válida, lo que quiere decir que incluye marcas de carretera analizadas con éxito 12, en el paso 84 se elige la acción siguiente para el vehículo en base a dicha exploración y el estado actual del vehículo 2.

30 En el paso 84, si el vehículo 2 determina que la exploración no es válida o si el vehículo 2 no puede determinar su paso siguiente, el algoritmo avanza al paso 85 donde se para la ejecución del algoritmo y el vehículo 2 ejecuta una parada, detención, pausa, etc. En contraposición, si el vehículo 2 está en un modo de seguimiento de carril, el algoritmo avanza al paso 86 donde el microcontrolador 40 calcula el centro de la línea central 10 en la exploración y lo usa para calcular un nuevo ángulo de dirección para centrar el vehículo 2 sobre las marcas de carretera 12. Hacer esto consecutivamente para un número de marcas de carretera 12 hace que el vehículo 2 siga un recorrido descrito por las marcas de carretera 12. Si, en el paso 84, se determina que el vehículo 2 está en modo de bucle abierto, el algoritmo avanza al paso 87 donde el microcontrolador 40 ejecuta una trayectoria arbitraria ordenada por la estación base 22. Dicha trayectoria puede incluir cambio de carril, giros en bucle abierto, o cualquier otra cosa. Tan pronto como la maniobra de bucle abierto haya sido ejecutada, el algoritmo repetirá los pasos 80-84 y entrará en el modo de seguimiento de carril pasando al paso 86. Como se representa en la figura 18, un mensaje procedente de la estación base 22 en el paso 83 puede afectar al modo en que el vehículo 2 se comporta en el paso 84.

40 Si, en el paso 86, el microcontrolador 40 determina que el sistema de formación de imágenes 3 no ha identificado la línea central 10, el algoritmo avanza al paso 88 donde el microcontrolador 40 transmite un aviso a la estación base 22 mediante la red radio inalámbrica 42. La estación base 22 responde a este aviso transmitiendo información de control de dirección al microcontrolador 40 que avanza al paso 90 y ejecuta control de dirección del vehículo 2 utilizando esta información procedente de la estación base 22. Por otra parte, si en el paso 86, el microcontrolador 40 determina que la línea central 10 se ha hallado, el algoritmo avanza al paso 92 donde se calcula un nuevo ángulo de dirección. El algoritmo avanza entonces al paso 90 donde el microcontrolador 40 ejecuta el nuevo ángulo de dirección. Así, en el paso 90, el microcontrolador 40 puede actuar en la información de control de dirección procedente de la estación base 22, o el ángulo de dirección determinado por el microcontrolador 40 en el paso 92.

50 El algoritmo avanza desde el paso 90 al paso 94 donde se determina si el sistema de formación de imágenes 3 ha llegado al final de una marca 12. En caso negativo, el algoritmo vuelve al paso 80 como se representa. Por otra parte, si se ha llegado al final de una marca 12, el algoritmo avanza al paso 96 donde el microcontrolador 40 ejecuta el algoritmo de control de velocidad explicado anteriormente.

55 El algoritmo de la figura 18 avanza entonces al paso 98 donde el microcontrolador 40 determina si se ha visto todo el código representado por una sola marca 12. En caso negativo, el algoritmo vuelve al paso 80. Por otra parte, si se ha visto todo el código representado por un solo conjunto de marcas 12, el algoritmo avanza al paso 100 donde el microcontrolador 40 envía el código (la ID de posición, la ID de tramo o ambas) a la estación base 22. A continuación, el algoritmo vuelve al paso 80 como se representa.

60 Dependiendo de la(s) última(s) marca(s) 12 vista(s), el microcontrolador 40 puede tomar decisiones de nivel más alto. Por ejemplo, después de detectar una serie de marcas 12 que describen una posición única en un tramo de carretera 6 de la superficie de circulación, el microcontrolador 40 puede enviar esta información de posición de nuevo a la estación base 22 para permitirle rastrear la posición del vehículo 2. Otro ejemplo es determinar a partir de las marcas 12 si un tramo de carretera 6 es recto, o gira a izquierda o derecha, lo que permite dirigir el vehículo 2

teniendo en cuenta la curva esperada de la carretera sin tener que comunicar específicamente con la estación base 22.

**2.2.6 Software de control secundario:**

5 El software de control del vehículo también puede gestionar varias tareas secundarias. Por ejemplo, puede supervisar el voltaje de batería del vehículo 2 y decide si es demasiado bajo y notificarlo a la estación base 22 o parar la operación del vehículo 2 en casos extremos.

10 El software de control del vehículo también incluye un módulo de luz que controla los faros LED del vehículo, señales de giro y luces de freno. El brillo de todos los LEDs es controlado por PWM (modulación de pulsos en anchura). El módulo de luz es un ejemplo de software con múltiples niveles de control. En la mayoría de los casos, la estación base 22 interactuará con el módulo de luz como un conductor usando el control de luz en un coche real. La estación base 22 puede elegir usar señales de giro al girar, elegir encender/apagar las luces o la luz larga, mientras que funciones como las luces de freno funcionan automáticamente siempre que el vehículo 2 disminuye rápidamente la velocidad (frena). La estación base 22 puede tomar también o alternativamente el control directo de luces únicas y determinar su estado, como brillo, frecuencia de destellos, etc. Éste no es un comportamiento realista, pero es útil para indicar mensajes especiales al usuario, por ejemplo cuando las baterías están muy bajas, el software de vehículo se está reiniciando, durante actualizaciones de software, etc.

20 El software de vehículo también incluye un módulo de sonido que hace que se envíe una señal PWM a un altavoz. El módulo de sonido puede modular varias frecuencias una encima de otra para generar sonidos del orden de un simple zumbido a voces realistas.

25 El software de vehículo también puede incluir un módulo de estado que realiza el seguimiento del último estado del vehículo 2 y recuerda el estado aunque el vehículo 2 se apague. Esto permite que cada vehículo 2 mantenga datos y parámetros como la velocidad máxima, sonido (tal como hacer sonar la bocina o las sirenas), su identificador único (tal como una placa de matrícula), etc, sin requerir cambios en el software de vehículo.

30 Un cargador de autoarranque puede permitir actualizaciones de software inalámbricas en cada vehículo 2. La estación base 22 puede iniciar una actualización de software y transmitir el nuevo software a un vehículo específico 2 o a todos los vehículos 2 simultáneamente.

**3 Agentes no vehículo:**

35 También puede haber agentes no vehículo en el sistema. Estos pueden incluir, sin limitación, luces de parada 8, pasos a nivel, puentes levadizos, garajes, etc. Cada uno de estos agentes no vehículo pueden compartir la misma estructura operativa y de comunicaciones general que los vehículos: a saber, cada agente no vehículo puede tener un microcontrolador que opere bajo el control de software para ejecutar lógica y comportamientos, y actuar como otro nodo en la red del sistema. Esto permite que cada agente no vehículo sea representado y razonado dentro de la estación base 22 como con todos los demás vehículos 2 y agentes.

**4 Estación base:**

45 Con referencia a la figura 19, la estación base 22 opera bajo el control de software para gestionar todos los comportamientos de alto nivel del sistema. Mantiene una representación virtual del estado actual del sistema, que la estación base 22 actualiza según un plan, por ejemplo, sin limitación, regular o periódicamente, así como el estado y las intenciones de cada vehículo 2 y agente no vehículo del sistema. Además, interpreta las órdenes de cada usuario y envía dichas órdenes al vehículo físico bajo el control del usuario y/u otros agentes del sistema. También actúa como una estructura de comunicación que coordina todas las comunicaciones del sistema: inalámbricas a agentes móviles como vehículos, alámbricas a agentes estáticos como tramos de carretera 6, semáforos 8, etc, y también a un PC host opcional (por ejemplo mediante USB). El papel de la estación base 22 dentro del sistema se representa en la figura 19.

**4.1 Hardware:**

A continuación se describirá los componentes centrales de la estación base 22.

**4.1.1 Ordenador embebido:**

60 La estación base 22 incluye un ordenador embebido (controlador) que aloja el software principal incluyendo, sin limitación, software de IA, software de comunicaciones, etc. Lo deseable es que el ordenador sea un pequeño sistema embebido, por ejemplo un Intel Atom, ARM9, etc, con suficiente memoria y velocidad de reloj para manejar los algoritmos dentro del software y para escalar a un número razonablemente grande de vehículos 2 y otros agentes. El ordenador también puede alojar un sistema operativo en tiempo real/casi en tiempo real como Linux embebido, XWorks, QNX, uLinux o similar. Sin embargo, la descripción anterior no se habrá de interpretar como

limitación de la invención dado que se contempla que la estación base 22 pueda ser implementada por cualquier combinación adecuada y/o deseable de hardware, sistema operativo, y software ahora conocido en la técnica (por ejemplo, sin limitación, una consola de juegos) o que se desarrolle posteriormente que sea capaz de implementar las funciones de la estación base 22 aquí descrita.

De forma análoga a cada vehículo 2, la estación base 22 aloja un módulo/transceptor inalámbrico 100 (por ejemplo ZigBee, Bluetooth, WiFi, Simpliciti, o similar) para permitir la comunicación con cada vehículo y/o agente, por ejemplo, mediante la red radio inalámbrica 42 del vehículo 2. La única diferencia es que la estación base 22 es el coordinador de comunicación, mientras que los vehículos 2 son los dispositivos finales.

#### 4.1.2 Interfaz de usuario:

La estación base 22 puede tener una simple interfaz de usuario 102 que incluya botones y conmutadores (no representados) para entrada del usuario y LEDs y, opcionalmente, una pantalla LCD (no representada) para realimentación al usuario. La interfaz de usuario 102 permite al usuario controlar funciones de nivel alto. Por ejemplo, si se está utilizando la exploración a base de vehículo para detectar la superficie de circulación, la interfaz de usuario 102 permite al usuario hacer que la estación base 22 inicie dicha exploración. Otro ejemplo sería una interfaz de arranque/parada general para iniciar o terminar la operación.

#### 4.1.3 Conexión a PC:

Es posible conectar la estación base 22 a un PC u ordenador portátil 106 mediante una conexión de PC 104, tal como USB. En este caso, el usuario puede tener más control sobre las funciones del sistema así como mejor realimentación de usuario, por ejemplo, mediante una aplicación de visualización RoadViz aquí descrita. Mediante el software de PC 106, el usuario puede ajustar varios parámetros del sistema, tal como, sin limitación, la velocidad máxima del vehículo, los comportamientos del vehículo, los comportamientos de la superficie de circulación, etc.

### 4.2 Software:

#### 4.2.1 Herramienta de visualización:

La estación base 22 comunica con una aplicación de visualización RoadViz que se puede ejecutar en PC 106 usando una interfaz de red (por ejemplo, el protocolo TCP/IP o UDP/IP). La estación base 22 envía a la aplicación de visualización RoadViz mensajes que actualizan el estado del sistema, tal como, sin limitación, la estructura de la superficie de circulación y las posiciones y planes del vehículo. El protocolo de comunicaciones descrito aquí más adelante detalla algunos mensajes ejemplares entre la estación base 22 y la aplicación de visualización RoadViz que se ejecuta en PC 106.

#### 4.2.2 Vehículos y agentes:

La estación base 22 comunica con vehículos 2 y otros agentes usando una red inalámbrica (tal como Zigbee o Bluetooth) o una red alámbrica en el caso de agentes estáticos, por ejemplo, semáforos 8, conectados a tramos de carretera 6. Es deseable que el módulo/transceptor inalámbrico 100 esté conectado a la estación base 22 usando una interfaz serie RS-232 estándar. Se usa un conjunto de órdenes de atención (AT) para enviar/recibir mensajes a/de vehículos 2 y agentes específicos.

Cuando se introduce un vehículo 2 o agente nuevo en el sistema, debe registrarse en la estación base 22 de modo que pueda ser modelado dentro del sistema y controlado. Cuando se arranque el nuevo vehículo 2 o agente, enviará un mensaje a la estación base 22. La estación base 22 también puede enviar un mensaje emitido a toda la red consultando a todos los vehículos 2 y agentes presentes (por ejemplo, durante la inicialización). Lo deseable es usar un sistema de identificación especial de modo que múltiples estaciones base 22 puedan ser usadas una cerca de otra, y los vehículos 2 deberán elegir registrarse con una estación base específica 22. En cualquier caso, cada vehículo 2 es un nodo único en la red de comunicaciones que tiene una dirección única que permite a la estación base 22 comunicar de forma única con el vehículo 2.

#### 4.2.3 Librería de mensajes:

La estación base 22 incluye un módulo de software que facilita la comunicación con vehículos 2 y otros agentes mediante el transceptor inalámbrico 100 y gestiona el procesado y la distribución de mensajes. Este módulo de software tiene varios componentes. El primer componente, serialComms, se usa para leer y escribir datos a/de un puerto serie de la estación base 22. Este módulo realiza funciones que resumen la capa de transporte específica de comunicaciones. El segundo componente, carComms, es utilizado por la estación base 22 para formular y enviar mensajes a vehículos 2 y otros agentes. El módulo también mantendrá un buzón de mensajes para cada vehículo 2 y agente, y procesará los mensajes entrantes y los distribuirá al buzón de correo apropiado. El tercer componente, carMessages, se usa para instanciar los mensajes específicos. Estos componentes proporcionan capacidad básica de almacenamiento y serialización. El módulo carComms instanciará un mensaje usando carMessages, y luego lo

enviará usando el componente serialComms.

#### 4.2.4 Algoritmo de inteligencia artificial:

5 Todas las interacciones y los comportamientos de alto nivel del sistema son controlados por los algoritmos esperados por la estación base 22. Esto incluye dónde desean conducir los vehículos 2, cómo planifican llegar allí, cómo interactúan con otros vehículos 2 en la superficie de circulación, si cumplen las normas de tráfico, etc. La estación base 22 puede controlar agentes tanto físicos como simulados. La única diferencia es que los objetos del sistema que representan agentes físicos (por ejemplo, vehículos 2 y agentes, tal como la señal de tráfico 8), envían y reciben mensajes reales, mientras que los agentes simulados interactúan con una capa de software que simula las respuestas y actualizaciones de posición de un agente físico. Ambos parecen idénticos a la estación base 22, permitiendo complejas simulaciones híbridas con combinaciones de agentes reales y simulados.

15 Lo deseable es que, aunque cada vehículo 2 ejecuta todos los comportamientos, sólo controla directamente los comportamientos de nivel bajo como el control de velocidad, mantener el rumbo dentro de un carril, y pasar lateralmente a carriles adyacentes. Toda la planificación de nivel superior descrita se calcula totalmente dentro de la estación base 22 y se envía al vehículo 2 que ejecuta dichos planes a través de una serie de comportamientos más simples.

20 Gran parte del comportamiento del sistema es activada por aleatoriedad (destinos de los vehículos, algunos comportamientos, etc). Es deseable que la estación base 22 sea capaz de reproducir el comportamiento en un sistema completamente simulado de agentes usando un generador determinista de números aleatorios que parta de un valor semilla. Este valor semilla puede ser inicializado para producir un comportamiento aleatorio (del reloj del sistema por ejemplo) o a un valor semilla previamente usado para replicar perfectamente el comportamiento del sistema durante dicha ejecución con el fin de investigar los problemas que surjan.

##### 4.2.4.1 Representación de la red de tramos de carretera:

30 Antes de iniciar la operación normal, la estación base 22 debe tener una representación de la superficie de circulación que se esté usando. Ésta se puede leer de un archivo accesible para la estación base 22 o ser determinada por la estación base 22 en tiempo de ejecución usando uno de los métodos descritos anteriormente.

35 Con referencia a la figura 20, se representa una representación virtual de la superficie de circulación dentro de la estación base 22 como un gráfico dirigido que se usa para planificación por todos los demás vehículos 2 y/o agentes en el sistema. Los bordes en este gráfico son conocidos como secciones de circulación. Las secciones de circulación son segmentos dirigidos de un tramo de carretera en el que se puede conducir un vehículo, y los nodos son puntos donde termina una sección de circulación extremos y comienza una o varias secciones de circulación. Por ejemplo, en un tramo de carretera de intersección de cuatro vías, cada entrada a la intersección es una sección de circulación que luego se bifurca en otras cuatro secciones de circulación que conducen a cada posible salida de intersección (derecha, recto, izquierda, giro en U). Estas secciones de circulación representan flujos de tráfico de nivel superior, de modo que, aunque haya múltiples carriles en un tramo de carretera, todos los carriles en cada dirección de tráfico sean representados por una sección de circulación. Un ejemplo más grande de una superficie de circulación se representa en la figura 21.

45 Junto con una representación del estado del sistema (tal como estructura de superficie de circulación), cada vehículo 2 y cada agente estático (tal como un semáforo 8) se representa en la representación virtual como un objeto que incluye toda la información relevante para dicho agente. A las frecuencias especificadas, cada vehículo 2 y/o agente estático es presentado por la estación base 22 con la información relevante relativa al estado del resto del sistema y se le indica que actualice la estación base 22 con su estado, haciendo en efecto una decisión relativa a su comportamiento para el intervalo de tiempo siguiente (período de tiempo). Esta estructura permite que el procesado relativo a vehículos 2 y/o agentes estáticos sea paralelizado a través de múltiples hilos, si se desea.

##### 4.2.4.2 Algoritmo de planificación global:

55 Un algoritmo de planificación global es el núcleo de la estación base 22. Todo el comportamiento del vehículo es manejado por módulos que se denominan el planificador global y el planificador local. El planificador global es responsable de las decisiones de nivel alto a largo plazo tal como determinar las series de tramos de carretera de circulación 6 que hay que atravesar con el fin de llegar a algún destino en la superficie de circulación. Por ejemplo, podría determinar que la forma más eficiente para que un vehículo 2 vaya de un punto a otro sería hacer un giro en U seguido de un giro a la izquierda en la intersección siguiente. El planificador global abstrae toda la complejidad local tal como cambio de carril, señalización, control de velocidad e interacciones con otros vehículos y solamente considera el problema a escala global.

65 Aunque en muchas aplicaciones de planificación de recorridos se podría usar una rejilla para buscar recorridos (donde cada recuadro está conectado a todos sus contiguos, que representan posibles movimientos), el sistema de la presente invención tiene una estructura adicional en forma de secciones de circulación (tramos de carretera 6)

que puede aprovechar para realizar una planificación efectiva a un nivel más alto. El planificador global calcula recorridos globales operando en la estructura de gráfico dirigido antes descrita. Cada borde en el gráfico incluye el costo de atravesar dicha sección de circulación. Dicho costo es una función de varios parámetros tales como la longitud, la velocidad máxima, el número de carriles y la presencia de señales de stop y luces, y podría ser personalizado para cada agente dependiendo de sus prioridades. El planificador global usa este gráfico dirigido ponderado para calcular recorridos óptimos usando un algoritmo de búsqueda de gráfico tal como el algoritmo A\* o Dijkstra.

La diferencia entre los algoritmos A\* y Dijkstra es que A\* usa una función heurística que estima el costo total desde cualquier estado al objetivo para guiar la dirección de la búsqueda. Dado que se puede hacer una estimación razonable de este costo a partir de cualquier estado, A\* es más deseable para esta aplicación. El algoritmo A\* atraviesa varios recorridos desde el inicio al objetivo y para cada nodo x, mantiene tres valores:

$g(x)$ : el costo de recorrido más pequeño hallado desde el nodo de inicio al nodo x;

$h(x)$ : el costo heurístico desde el nodo x al objetivo; y

$f(x) = g(x) + h(x)$  = el costo estimado de la solución más barata a través del nodo x;

Comenzando con el nodo inicial, A\* mantiene una cola de prioridad de nodos a explorar, conocida como el conjunto abierto, clasificada en el orden del valor creciente de  $f(x)$ . En cada paso, el nodo con el valor  $f(x)$  más bajo se quita de la cola para ser evaluado (dado que el objetivo es hallar la solución más barata), los valores  $g$  y  $f$  de sus contiguos son actualizados para reflejar la nueva información hallada, y se añaden los contiguos al conjunto abierto si previamente no habían sido evaluados o si sus valores  $f$  han disminuido con respecto a la evaluación anterior, lo que representa una posibilidad de un mejor recorrido a través de dicho nodo. En efecto, el algoritmo A\* busca en la dirección que parece ser mejor, dando lugar a menudo al recorrido óptimo con una cantidad de trabajo mucho menor en comparación con una búsqueda de fuerza bruta.

Una heurística se considera admisible si se garantiza que no sobreestima el verdadero costo al objetivo. En dicho ejemplo de planificación de recorrido bidimensional, si el costo de un recorrido fuese igual a la distancia, la heurística admisible más simple es la distancia en línea recta al objetivo. Con una heurística admisible, una vez hallado un recorrido al objetivo cuyo costo es inferior al mejor  $f(x)$  de la cola de prioridad, se garantiza que sea el recorrido óptimo de costo más bajo. El algoritmo de Dijkstra es equivalente a un caso especial de A\* donde  $h(x) = 0$  para todos los estados.

Para un simple ejemplo de búsqueda con A\*, véase las figuras 22A-25. Aquí, el objetivo es hallar el recorrido de costo más bajo desde el nodo A al nodo D donde el costo de un borde es simplemente su distancia y la función heurística  $h$  es la distancia en línea recta al nodo objetivo.

Con referencia a la figura 22A, se inserta un nodo de inicio A en el conjunto abierto con estimación optimista de costo total de "8". En la figura 22B, se quita el nodo A de la cola de prioridad y se actualiza el costo de los contiguos de A, B y F, y se añaden los nodos al conjunto abierto. Cada valor de prioridad de nodo en el conjunto abierto es igual a su valor de  $f$ , la suma del mejor recorrido desde el nodo A a dicho nodo ( $g$ ), más el costo heurístico desde dicho nodo al objetivo ( $h$ ).

En la figura 23A, el nodo de estimación más baja en el conjunto abierto se quita de la cola de prioridad, se actualiza el costo del contiguo de B C, y se añade C al conjunto abierto. En la figura 23B, se quita el nodo C de la cola de prioridad y se añade su nodo contiguo G al conjunto abierto.

En la figura 24A, el nodo F, el nodo de menor costo del conjunto abierto, se ha quitado de la cola de prioridad y se ha añadido su contiguo E a la lista abierta con su valor nuevamente calculado para  $f$ . En la figura 24B, el nodo E se ha quitado de la cola de prioridad y su nodo contiguo D se ha añadido a la lista abierta.

En la figura 25, el nodo objetivo, el nodo D, se ha quitado del conjunto abierto. El costo total del mejor recorrido hallado en este recorrido es 12, es decir, el recorrido incluyendo los nodos A, F, E, y D. El nodo G todavía está en el conjunto abierto. Si el nodo G tiene un valor de  $f$  que es menor que el mejor costo de recorrido actual, a saber 12, la búsqueda continuará porque todavía hay posibilidad de un mejor recorrido al objetivo que el ya hallado. Sin embargo, dado que el recorrido optimista del recorrido desde el nodo A al nodo D a través del nodo G tiene un valor de  $f$  de 15, que es superior a 12, se sabe que se ha hallado el recorrido óptimo y finaliza la búsqueda. En la figura 25, el recorrido óptimo se representa como una serie de flechas en trazo grueso.

A\* se puede extender fácilmente a buscar en un conjunto de nodos objetivo más bien que a un solo nodo objetivo ajustando la función heurística para la estimación del costo optimista a cualquier nodo objetivo. Además, aunque el ejemplo de las figuras 22A-25 representa una búsqueda en un gráfico relativamente pequeño con nodos limitados y solamente dos dimensiones (coordenadas bidimensionales), A\* se usa a menudo para problemas de búsqueda de dimensiones mucho más altas donde las dimensiones adicionales pueden representar aspectos adicionales del

estado del vehículo tal como la velocidad y el tiempo. Esto permite planificar con movimientos más realistas y teniendo en cuenta los obstáculos móviles. Estas extensiones se pueden aprovechar durante la planificación local, descrita a continuación.

5 **4.2.4.3 Algoritmo de planificación local:**

La estación base 22 incluye un algoritmo de planificación local que ejecuta los pasos que permiten que los vehículos 2 ejecuten un plan global. Éste incluye el control de la velocidad, mantener la distancia a otros vehículos, decisiones de cambio de carril, comportamientos en intersecciones, y señalización. Para realismo y escalabilidad, las decisiones relativas a los vehículos 2 se toman usando solamente el conocimiento local más bien que todo el conocimiento del sistema para reflejar la lógica del mundo real y poder escalar la complejidad del sistema con muchos vehículos 2 de forma tratable. Por ejemplo, un objeto que representa un vehículo 2 tiene pleno conocimiento de su propio estado y plan, pero no puede usar los planes de otros vehículos 2 al tomar su decisión. Solamente tiene acceso a aspectos del estado del sistema que serían visibles en el respectivo escenario del mundo real (posiciones y velocidades de los vehículos próximos 2, el estado de los semáforos 8, etc).

**4.2.4.3.1 Comportamiento en intersección:**

Con referencia a la figura 26, para una estructura y una eficiencia computacional más efectivas, cada intersección 108 también se representa como un objeto dentro de la estación base 22 que hace el seguimiento de su propio estado y del (de los) estado(s) del (de los) vehículo(s) 2 con el(los) que interactúa actualmente. Cada vez que la estación base 22 actualiza el estado de objetos en el sistema, el objeto intersección 108 identifica cuáles de sus puntos de entrada 110 (representados por recuadros de trazos en la figura 26) están ocupados por vehículos 2. El objeto intersección hace el seguimiento del tiempo en el que cada vehículo 2 entra en cada uno de los puntos de entrada de intersección 110 y determina cuándo le toca avanzar a un vehículo 2. Por ejemplo, en una señal de stop de cuatro vías, un vehículo 2 puede ser identificado como capaz de avanzar si ha llegado antes que todos los vehículos 2 a la intersección 108, la intersección interior está libre de otros vehículos 2 y ha estado estática durante una cierta cantidad mínima de tiempo. En intersecciones que tienen semáforos 8 o señales de stop solamente en un subconjunto de sus puntos de entrada, los movimientos actuales de vehículos relevantes 2 pueden ser considerados al determinar la vía libre para seguir. Cuando un vehículo 2 está en una intersección 108 y desea seguir adelante, solamente lo hace si el objeto intersección determina que es apropiado seguir adelante.

**4.2.4.3.2 Control de velocidad:**

35 Los cálculos de alto nivel relacionados con la velocidad realizados por la estación base 22 asumen deseablemente una aceleración fija y, por lo tanto, usan el modelo simple ilustrado en la figura 27.

Aquí un vehículo cambia de una velocidad inicial  $V_i$  a una velocidad final  $V_f$  con el tiempo  $t$  con una aceleración de  $a$ . La distancia,  $d$ , en la que tendrá lugar dicho cambio de velocidad se puede determinar integrando la zona bajo esta función de la siguiente manera:

$$d = \int V dt = t * \min(V_i, V_f) + \frac{t * |V_i - V_f|}{2}$$

$$t = \frac{|V_i - V_f|}{a}$$

45 Hay numerosos escenarios cuando hay que calcular una variable y se conocen otras variables. Por ejemplo, si se desea parar desde una velocidad inicial  $V_i$  en el tiempo  $t$ , se precisa una aceleración de

$$a = \frac{V_i}{d}$$

Con referencia a la figura 28, un problema más complejo es que un vehículo  $V_2$  mantenga una distancia de seguridad detrás de un vehículo  $V_1$  que vaya delante de él. El vehículo de atrás  $V_2$  lleva a cabo esto intentando adaptarse a la velocidad del vehículo delantero  $V_1$  a una distancia de seguimiento de  $D_{space}$  que es una distancia de seguimiento segura que es una función de factores tales como el límite de velocidad de la carretera y la velocidad del vehículo que va delante,  $V_1$ . El movimiento del vehículo  $V_1$  es simulado durante el tiempo  $t$ , suponiendo que mantiene su velocidad original. Por lo tanto, el vehículo  $V_2$  debe calcular la aceleración  $a$  que le permite pasar de su velocidad original  $V_1$  a una velocidad final  $V_f$  en una distancia de travelDist:

55

$$travelDist = t * \left( V_f + \frac{|V_i - V_f|}{2} \right)$$

$$travelDist = \frac{|V_i - V_f|}{a} * \left( V_f + \frac{|V_i - V_f|}{2} \right)$$

$$a = \frac{|V_i - V_f|}{travelDist} * \left( V_f + \frac{|V_i - V_f|}{2} \right)$$

5 Cuando esto se ejecuta a una frecuencia relativamente alta para cada vehículo 2, la estación base 22 es capaz de lograr un mantenimiento suave y realista de la distancia en sistemas de tráfico complejos a través de este acercamiento computacionalmente eficiente y descentralizado.

10 Se puede usar el mismo cálculo para lograr un cambio de velocidad tal como parar en una posición específica: el vehículo 2 puede calcular la aceleración  $\alpha$  que permita pasar de su velocidad original  $V_i$  a una velocidad final  $V_f = 0$  en una distancia restante. Sin embargo, debido a retardos de comunicación, la incertidumbre de los cambios de posición y velocidad impredecibles debidos a las condiciones del tráfico y otras, las órdenes de cambio de velocidad dentro de la estación base 22 y los vehículos 2 se especifican con relación a posiciones absolutas identificadas por marcas de posición 12 más bien que las ordenadas para ejecución inmediata. Por ejemplo, para parar en una señal de stop o al final de un trayecto, la estación base 22 enviaría a un vehículo 2 una orden para lograr una velocidad de 0 con una cierta deceleración a partir de algunas marcas de posición 12 encontradas antes. Teniendo una posición absoluta a partir de la que rastrear su posición, cuando el vehículo 2 se aproxime al punto de parada deseado, el vehículo 2 recalculará continuamente travelDist, la distancia requerida para lograr la velocidad deseada a la aceleración especificada, y comenzará a ejecutar el cambio de velocidad cuando travelDist sea igual a la distancia restante al destino. De esta forma, el vehículo 2 es capaz de ejecutar una parada realista en señales de stop independientemente de las condiciones de tráfico en las que se esté moviendo.

20

#### 4.2.4.3.3 Planificación local plena con cambio de carril:

25 El algoritmo de planificación local plena implementado por la estación base 22, que incluye la velocidad y decisiones de cambio de carril, puede ser tratado como un problema de planificación multidimensional más bien que planificación en un espacio de búsqueda bidimensional basada en posición, como en el caso del algoritmo de planificación global. Un acercamiento deseable usado por la estación base 22 es tratar este problema como un problema de planificación en cuatro dimensiones:

30 \* Carril: la posición de carril en un tramo de carretera 6. Es deseablemente un número entero que tiene un valor que es pequeño para la versión de callejeo del sistema (dado que los carriles están espaciados) y deseablemente de dos dígitos bajos para la versión de carreras del sistema dado que los carriles son más numerosos y están poco espaciados representando más posiciones laterales posibles continuas.

35 \* Distancia hacia delante: la distancia hacia delante desde una posición inicial hasta algún horizonte de planificación. Se puede discretizar a alguna resolución relevante, por ejemplo, por las posiciones de marca de carretera 12.

\* Velocidad: la velocidad del vehículo. La velocidad inicial es la velocidad actual del vehículo que puede cambiar a alguna tasa especificada.

40 \* Tiempo: el tiempo a partir de 0, el instante de tiempo actual. Esto es importante dado que hay otros vehículos 2 en movimiento en la superficie de circulación que cambian las posiciones y deben ser tenidos en cuenta.

45 Estas dimensiones forman el espacio de búsqueda donde un punto en este espacio corresponde a un estado, es decir, algún valor para cada una de las dimensiones mencionadas anteriormente. Cada punto en este espacio conecta con otros puntos en este espacio que representan estados que se pueden alcanzar a partir del estado después de realizar alguna acción. Por ejemplo, un punto en este espacio puede tener una conexión con otro punto que represente carriles adyacentes hacia delante en distancia y tiempo con relación a su velocidad, pero no a puntos que representen carriles lejanos o tiempos del pasado (dado que estas transiciones no son posibles). Así, en efecto, esto forma un problema de búsqueda de gráfico como con el algoritmo de planificación global, a excepción de que el espacio de búsqueda y el factor de bifurcación son significativamente más grandes. De hecho, aunque hay gran número de estados posibles en base a estas cuatro dimensiones, solamente un subconjunto relativamente pequeño de ellos es relevante para el problema de búsqueda. El horizonte de planificación, o hasta qué distancia futura la estación base 22 calcula planes, se define por el valor máximo de la dimensión de distancia hacia delante

50

en consideración. Esto es un compromiso entre complejidad computacional (dado que una mayor distancia hacia delante aumenta el tamaño del gráfico a buscar) y la efectividad del plan (la necesidad de planificar suficientemente lejos en el futuro para generar planes inteligentes).

5 Un supuesto para compensar ventanas de planificación cortas con relación a los recorridos de otros vehículos 2 es que estos otros vehículos 2 mantendrán su velocidad y carril actuales a no ser que lo señalen de otro modo. También es posible incorporar incertidumbre acerca de los movimientos de otros vehículos 2 penalizando estados que tengan alguna posibilidad de ser afectados por los vehículos 2. Aunque el plan local es calculado por la estación base 22 suficientemente lejos en el futuro para identificar comportamientos sofisticados, el plan local será  
10 recalculado frecuentemente, permitiendo que la estación base 22 reaccione a cualesquiera desviaciones del comportamiento supuesto de los vehículos 2.

La estación base 22 resuelve este problema de planificación multidimensional planificando a partir del punto de inicio en este espacio a cualquier punto en el horizonte de planificación (todos los nodos con el valor especificado de  
15 dimensión de distancia hacia delante se consideran estados objetivo) sujetos a alguna función de optimización. Tal función podría penalizar, por ejemplo, los cambios de carril o velocidad y los mayores acercamientos a obstáculos móviles, y recompensar las velocidades más altas, el avance hacia un objetivo o la colocación en un carril específico si se planifica un giro en el futuro. La función optimizada captura el objetivo actual del vehículo 2, y el objetivo de la estación base 22 es hallar una serie de acciones permisibles a través de este espacio dimensional alto que optimiza  
20 el valor que se obtiene de esta función.

Como se ha mencionado previamente, aunque este espacio de estado multidimensional puede ser grande y difícil de representar completamente en una memoria de la estación base 22, no todo el espacio tiene que ser representado dado que la mayoría de los estados nunca serán considerados. Una implementación deseable, no limitadora, puede asignar espacio para nuevos estados solamente cuando sean considerados, reduciendo la  
25 memoria necesaria solamente a la fracción relevante del espacio de estado completo.

La estación base 22 puede usar algoritmos óptimos, como A\* o Dijkstra, o puede utilizar acercamientos probabilísticos basados en muestreo como Árboles Aleatorios de Exploración Rápida (RRTs) orientados hacia el  
30 horizonte de planificación dado que los planes no tienen que ser óptimos y el espacio de búsqueda puede ser demasiado grande. En tales acercamientos, los aspectos del espacio de estado ya no tienen que ser discretizados a una resolución específica dado que las técnicas de muestreo pueden operar en posiciones arbitrarias en el espacio de estado.

35 Otra opción es utilizar una versión especial de A\* llamada Anytime Repairing A\* (ARA\*). ARA\* tiene la propiedad de que primero hallará rápidamente una solución subóptima al problema de planificación y pasará el tiempo restante mejorándola iterativamente mientras el tiempo lo permita. ARA\* lleva a cabo esto reclamando repetidas veces el algoritmo A\* normal, pero multiplicando los valores devueltos por la función heurística por alguna constante  $\epsilon > 1$ . Esta nueva heurística ya no es admisible (dado que puede sobreestimar el verdadero costo al objetivo desde cualquier estado), pero reduce significativamente el tiempo de búsqueda dado que menos estados parecerán tener  
40 posibilidad de contribuir al recorrido. Aunque la solución final ya no será óptima, se garantiza que tendrá un costo a lo sumo  $\epsilon$  veces mayor que el costo óptimo verdadero y en la práctica a menudo está mucho más próximo al óptimo. Reduciendo gradualmente  $\epsilon$  y reutilizando de forma inteligente muchos de los cálculos de iteraciones anteriores, ARA\* tiene la propiedad deseable de que una solución razonable, a menudo próxima a la óptima, siempre estará disponible dentro del tiempo fijo que el algoritmo tiene para operar. Esto permite que la estación base 22 calcule planes de alta calidad al mismo tiempo que garantiza que se cumplan sus frecuencias de actualización requeridas.  
45

Para entender mejor la finalidad de esta planificación local que realiza la estación base 22 y los tipos de planes que se pueden hallar mediante dicho acercamiento, considérese el plan ejemplar representado en las figuras 29-33.  
50 Aquí, el vehículo 2 situado junto a la estrella tiene mucho interés en llegar a su destino lo más rápidamente posible, pero se encuentra atrapado en el carril derecho por otros varios vehículos 2 que circulan a una velocidad moderada. Un plan ingenuo sería aguantar en el carril actual y mantener la distancia más corta posible al vehículo 2 situado delante puesto que éste es el comportamiento óptimo de forma instantánea. Sin embargo, dada la función objetiva de este vehículo 2 con estrella junto a él, la planificación local realizada por la estación base 22 es capaz de hallar  
55 una serie de acciones y estados resultantes que permiten a dicho vehículo 2 escapar del carril derecho reduciendo primero la velocidad (como representa la flecha 112 en la figura 29) para dejar que pasen los otros vehículos 2 y luego pasar por el hueco al carril izquierdo que está desocupado, como representan las flechas 114, 116 y 118 en las figuras 30-32, respectivamente. Aunque las figuras 29-32 solamente muestran una secuencia ejemplar de estados seleccionados, cada estado se bifurca a otros muchos estados que no se eligieron. La figura 33 representa un muestreo de tales estados futuros que son posibles a partir del estado ilustrado en la figura 31 variando la  
60 velocidad del vehículo o el carril. Una buena heurística para guiar la búsqueda puede superar dichos factores de bifurcación grandes al mismo tiempo que halla planes aceptables para un horizonte de planificación suficiente explorando en primer lugar las opciones que es muy probable que den buenos resultados.

65 **4.2.4.3.4 Otra lógica:**



Lógica adicional dentro de la estación base 22 controla comportamientos como la lógica de la señalización de semáforos 8 y la ejecución de sonidos. El comportamiento previsto es comunicado por la estación base 22 mediante mensajes a los agentes físicos para su ejecución.

#### 5 4.2.5 Resumen del software de estación base:

Un diagrama de flujo que explica la lógica posible en la estación base 22 a un nivel alto se representa en la figura 34. En primer lugar se inicializa 120 el conocimiento de la superficie de circulación, seguido de la identificación 122 de todos los vehículos 2 de la red. A continuación comienza el bucle principal de estación base 124 que primero comprueba si hay mensajes entrantes, los procesa con respecto a cada vehículo, y actualiza los estados de vehículo como sus velocidades y posiciones en la red. Después de que cualquier entrada del usuario desde controles conectados a distancia u ordenadores sea procesada en 126, el sistema comprueba el estado del plan global actual 128 para cada vehículo 2. Si se ha completado, se puede calcular uno nuevo cuando sea necesario. Siguiendo el plan global la actualización 128 es una actualización de plan local 130 para cada vehículo 2. Incluye lógica que controla el cambio de carril, la distancia mantenida, la lógica de intersección, los cambios de velocidad, las actualizaciones de señales, etc. Una vez realizadas todas las actualizaciones de planificación, las actualizaciones necesarias son enviadas a cada vehículo en la red así como a la herramienta de visualización de carretera si está disponible.

#### 20 5 Interfaz de usuario:

Los vehículos 2 pueden ser controlados por la estación base 22 o por un usuario, por ejemplo, mediante un control remoto 132. Las herramientas de interacción principales del usuario con el sistema son un control remoto 132, un PC 106 conectado a la estación base 22, o tanto un control remoto 132 como un PC 106.

25

#### 5.1 Control remoto:

Cada control remoto 132 incluye un transceptor inalámbrico (no representado) que es parte de la red inalámbrica del sistema. Como con los vehículos 2, puede haber muchos controles remotos 132 que interactúen con la estación base 22 y los vehículos 2 simultáneamente. En el caso más común, cada control remoto 132 es usado por el usuario para controlar un vehículo específico 2. El vehículo 2 que se esté controlando lo puede cambiar el usuario en cualquier momento. Cuando el usuario conmuta el control de un vehículo 2, la estación base 22 reanuda el pleno control sobre dicho vehículo 2. Todos los vehículos 2 no controlados por un control remoto 132 son controlados automáticamente por la estación base 22. En comparación con los coches de juguete de control remoto ordinarios, los controles remotos 132 aquí descritos ofrecen un nivel de interacción más alto. Es deseable que la dirección propiamente dicha la realice el vehículo 2 y no el usuario, dado que los vehículos 2 pueden moverse rápidamente y las carreteras pueden ser estrechas. En cambio, el usuario puede dar órdenes de nivel más alto a un vehículo 2 en forma de ajustes de velocidad, decidir cambiar de carril, decidir dónde girar en las intersecciones, iniciar giros en U, adelantar a otros vehículos 2, etc. Además, el usuario puede tener el control de funciones secundarias del vehículo con señales de giro, luces, hacer sonar la bocina, etc.

40

Las figuras 35A-35B muestran un diseño ejemplar de un control remoto 132. El botón delantero medio (seleccionar) permite a un usuario ciclar entre vehículos.

45

Además de controlar vehículos, los controles remotos 132 también se pueden usar para controlar agentes estacionarios, como los componentes especiales: trampas en tramos de carretera, semáforos 8, barreras de carretera, puertas de garaje, etc. Las figuras 36A-36B muestran un ejemplo de un agente estacionario, a saber, una trampa 134 en un tramo de carretera 6 que se usa en un modo de carreras. En este caso, la trampa 134 es asignada por la estación base 22 al primer vehículo 2 que pase por un hexágono 136. El conductor tiene entonces control sobre la trampa 134 y puede armarla en cualquier tiempo usando el control remoto 132. En este caso, la trampa 134 elevará una pared 138 montada en el tramo de carretera 6 para bloquear el paso de los vehículos siguientes 2 durante una cierta cantidad de tiempo. También son posibles trampas puramente virtuales. Por ejemplo, cuando un vehículo 2 pasa por una cierta parte de la carretera, puede ser capaz de ir solamente a la mitad de su velocidad máxima durante algún tiempo. Hay gran número de trampas reales y virtuales 134 que pueden ser diseñadas de forma similar y que pueden ser armadas y controladas tanto por usuarios con controles remotos 132 como por la estación base 22.

55

#### 5.2 Control por PC:

Los controles descritos anteriormente en conexión con el control remoto 132 también o alternativamente pueden ser replicados a través de PC 106 usando un teclado, un ratón y/o un teclado de juegos unido. Además, esto permite la posibilidad de que un operador dé órdenes a un vehículo por Internet usando una pantalla del estado del sistema.

60

#### 6 Software de visualización:

65

Con referencia a la figura 37, es deseable facilitar la aplicación de visualización RoadViz en PC 106 que pueda

visualizar el estado del sistema en la estación base 22 y hacer que la estación base 22 visualice el estado del sistema en una pantalla visual 140 conectada, por ejemplo, al PC 106, representado en la figura 19. El estado del sistema incluye toda la información necesaria para visualizar y gestionar el sistema y sus agentes. Esto incluye elementos como tramos de carretera 6 y sus posiciones, posiciones y velocidades de vehículo 2, y el estado de agentes estáticos (por ejemplo, si un semáforo 8 está en verde, amarillo, rojo). La aplicación de visualización puede supervisar la comprensión del sistema por parte de la estación base 22 y es útil para ejecutar simulaciones de prueba de los módulos de software.

## 6.1 Componentes:

### 6.1.1 Motor de gráficos:

Es deseable que la aplicación de visualización use un motor de gráficos 3D. Se puede construir una implementación usando C# y la plataforma Microsoft XNA. Mediante la aplicación de visualización, el usuario puede controlar una cámara virtual para ver la red en una posición deseada. En la figura 37 se representa una captura de pantalla ejemplar en la pantalla visual 140.

### 6.1.2 Estructura de software:

Es deseable que la aplicación de visualización use varios hilos para distribuir su carga computacional. Un hilo de aplicación está dedicado a presentar los gráficos, y otro hilo es para comunicaciones por red con la estación base 22.

### 6.1.3 Comunicaciones:

Es deseable que la aplicación de visualización use comunicaciones de zócalo por red (tal como TCP/IP) y actúe como un servidor. El agente de estación base 22 (o similar) puede conectar con la aplicación de visualización que se ejecuta en PC 106 (figura 19) como un cliente. Cuando la aplicación de visualización recibe una petición de conexión, abre un hilo para procesar las comunicaciones de red para ese cliente. Múltiples clientes pueden conectar simultáneamente.

Entonces la estación base 22 puede enviar y recibir mensajes mediante la aplicación de visualización. Algunos mensajes ejemplares se explican a continuación.

## 6.2 Capacidades de depuración:

La aplicación de visualización es útil para depurar la estación base 22. La aplicación de visualización recibe información de estado del sistema y puede pedir o enviar información de nuevo a la estación base 22. Es deseable que la aplicación de visualización incluya un sistema de menús en el que un usuario puede ver la superficie de circulación o enviar/recibir dicha información específica.

## 7 Protocolo de comunicaciones:

El protocolo de comunicación entre varios componentes del sistema se describirá a continuación con referencia a un muestreo de los varios mensajes que pueden ser usados por el sistema.

### 7.1 Estación base - Herramienta de aplicación de visualización:

#### 7.1.1 Descripciones de mensajes:

CLEAR\_MAP: resetea el estado de la aplicación de visualización y quita todos los tramos de carretera, vehículos, etc;

DISPLAY\_ROAD\_PIECE: ordena a la aplicación de visualización que visualice un tipo concreto de tramo de carretera en una posición particular;

CREATE\_CAR: ordena a la aplicación de visualización que visualice un tipo concreto de vehículo en una posición particular;

SET\_CAR\_POSE: ordena a la aplicación de visualización que actualice la posición y la orientación de un vehículo;

DISPLAY\_PATH\_PLAN: ordena a la aplicación de visualización que visualice el recorrido planificado de un vehículo;

SET\_STATE: cambia el estado de una variable en la estación base pedida por el usuario de aplicación de visualización;

REQUEST\_STATE: pide a la estación base información a visualizar por la aplicación de visualización en la pantalla visual 140.

**7:2 Estación base - Agentes (vehículos, etc):**

5 **7.2.1 Descripciones de mensajes:**

CMD\_LIGHTS: la estación base 22 ordena a un vehículo que encienda, apague o haga destellar sus luces;

10 CMD\_LINARRAY\_DATA\_REQUEST: la estación base 22 ordena a un vehículo 2 que envíe datos de una exploración de serie lineal realizada por el sistema de formación de imágenes 3;

CMD\_LINARRAY\_DATA\_RESPONSE: el vehículo 2 envía los datos de exploración de serie lineal a la estación base 22;

15 CMD\_SCANLED: la estación base 22 ordena al vehículo 2 que encienda/apague su LED de exploración 44;

CMD\_SET\_EXPOSURE: la estación base 22 ordena al vehículo 2 que ponga el tiempo de exposición de la serie lineal del sistema de formación de imágenes 3;

20 CMD\_BATTERY\_VOLTAGE\_REQUEST: la estación base 22 pide el voltaje de batería del vehículo;

CMD\_BATTERY\_VOLTAGE\_RESPONSE: el vehículo 22 envía el voltaje de su batería a la estación base 22;

25 CMD\_SHIFT\_LANE: la estación base 22 ordena a un vehículo 2 que cambie a otro carril;

CMD\_SET\_SPEED: la estación base 22 ordena a un vehículo 2 que alcance una cierta velocidad;

30 CMD\_PING\_REQUEST: la estación base 22 pide a un vehículo 2 (o a todos los vehículos) que respondan con una indicación de "activo" (ping);

CMD\_PING\_RESPONSE: el vehículo 2 envía una respuesta de "activo" (ping) a la estación base 22;

35 CMD\_POSE\_REQUEST: la estación base 22 pide la información de posición del vehículo 2 a una frecuencia particular;

CMD\_POSE\_UPDATE: el vehículo 2 envía información de su posición a la estación base;

40 CMD\_BRANCH: la estación base indica al vehículo que siga una bifurcación a través de una intersección (izquierda, derecha, recto).

**7.2.2 Uso típico:**

45 A continuación se describirá toda la secuencia de mensajes que se pasan entre un vehículo 2 y la estación base 22 durante una maniobra de movimiento compleja. La maniobra implica un vehículo 2 que refiere su posición (donde "posición" significa una posición del vehículo x, y y rumbo theta) durante el movimiento normal, cambia de carril de izquierda a derecha, para en una intersección, y luego efectúa un giro a la derecha y reanuda el movimiento normal en una sección de circulación nueva. Es importante observar que el vehículo 2 no tiene que enviar realmente toda la información de posición a la estación base, sino solamente exploraciones analizadas de marcas 12 realizadas por el sistema de formación de imágenes de vehículo 3, que la estación base 22 usa para derivar la posición del vehículo 2. Esto reduce en gran medida la necesidad de potencia computacional en el vehículo 2.

Tiempo transcurrido (segundos)	Dirección del mensaje	Descripción del mensaje
0	Estación base → Vehículo	CMD POSE petición: Conducción normal (actualizaciones de 1 segundo)
1	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE: enviar información de posición
2	Estación base ← Vehículo	CMD POSE UPDATE
3	Estación base ← Vehículo	CMD POSE UPDATE
4	Estación base ← Vehículo	CMD POSE UPDATE

5	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
6	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
7	Estación base → Vehículo	CMD_SHIFT_LANES: indicar al coche que pase al carril derecho
8	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
9	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE (cambio de carril completado)
10	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
11	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
12	Estación base → Vehículo	CMD_POSE_REQUEST: petición de actualizaciones de alta frecuencia  CMD_SET_SPEED: indicar al vehículo que inicie la parada cuando llegue a cierta posición  CMD_LIGHTS: poner intermitente derecho
12,5	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
13	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
13,5	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
14	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE (vehículo parado en este punto, no se envían más actualizaciones hasta que se reciba nueva orden)
16	Estación base → Vehículo	CMD_BRANCH: indicar al vehículo que tome la bifurcación a la derecha a través de intersección  CMD_SET_SPEED: indicar al vehículo que alcance cierta velocidad con aceleración dada después de girar
17	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
17,5	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
18	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE (el vehículo realizó el giro y ahora está en una nueva sección de circulación, gira a la derecha, apagar intermitente)
18,5	Estación base → Vehículo	CMD_POSE_REQUEST: pedir actualizaciones de frecuencia de movimiento ordinarias (por ejemplo, 1 segundo)
19	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE
20	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE (se ha alcanzado la velocidad deseada)
21	Estación base ← Vehículo	CMD_POSE_UPDATE

### 7.2.3 Manejo de la incertidumbre:

- 5 Aunque los transceptores inalámbricos del sistema garantizarán la distribución de mensajes, hay cierta incertidumbre en cuanto al tiempo de distribución de estos mensajes. El protocolo de mensajes no garantiza la distribución de mensajes dentro de cualquier cantidad de tiempo especificada y, como resultado, hay una cierta cantidad de incertidumbre del retardo entre el tiempo en que se envía un mensaje y el tiempo en que se recibe. Así, tanto la estación base 22 como los vehículos 2 deben tener en cuenta esta incertidumbre.
- 10 Por fortuna, el vehículo 2 es responsable del control de nivel bajo (seguimiento en carril, etc) y la estación base 22 solamente tiene que enviar controles de alto nivel al vehículo 2. Esto permite que la estación base 22 envíe mensajes mucho antes de que el vehículo 2 tenga que actuar en ellos. Por ejemplo, una orden de cambio de velocidad ordenará al vehículo 2 que cambie la velocidad después de llegar a una cierta posición. El vehículo 2 recibe este mensaje posiblemente varios segundos antes, y luego realiza la acción apropiada cuando lo necesite
- 15 (por ejemplo, el cambio de velocidad después de que una cierta marca 12 sea leída por el sistema de formación de imágenes de vehículo 3).

Además, la estación base 22 puede crear planes de recorrido para vehículos 2 que tengan en cuenta el tiempo

incierto de la distribución de mensajes. Los vehículos 2 mantendrán una distancia de seguridad detrás de otros vehículos 2 de modo que tendrán bastante tiempo para recibir mensajes y actuar en ellos.

La estación base 22 también simulará la posición del vehículo 2. Dado que la estación base 22 conoce la velocidad del vehículo 2, puede estimar la posición actual del vehículo 2 entre la recepción de actualizaciones de posición a través del mensaje CMD\_POSE\_UPDATE. Este conocimiento, junto con estadística de los tiempos de distribución de mensajes, puede ser usado para estimar mejor cuándo se deberán enviar mensajes de modo que puedan ser recibidos y se actúe en ellos oportunamente.

## 8.0 Obnubilación del marcador a través de la película transparente IR:

Como se ha descrito anteriormente, una serie de marcas 12 permite a los vehículos 2 identificar sus posiciones únicas en la superficie de circulación. Una técnica descrita anteriormente para codificar marcas de forma no visible para humanos se basaba en imprimir las marcas con una tinta o tinte que no fuese visible (transparente) al ojo humano y que absorba luz en el espectro IR, NIR o UV. Usando una fuente de luz de la misma longitud de onda de luz, estas marcas parecen negras al sensor óptico, pero son casi o completamente invisible para los humanos.

Alternativamente, las marcas 12 se pueden imprimir en tinta o tinte visible estándar, por ejemplo la usada en impresoras comerciales de inyección de tinta, impresoras láser o impresoras offset o serigráficas profesionales. Después de imprimir las marcas, se aplica una segunda capa para cubrir las marcas. Esta segunda capa incluye una tinta o tinte o una película fina de plástico que sea transparente por encima o por debajo de longitudes de onda visibles por humanos, pero parece opaca en el espectro visible por humano. Se comercializan materiales que tienen dichas propiedades.

A los efectos de este ejemplo, se explicará la luz infrarroja cercana (NIR) con longitud de onda de aproximadamente 790 nm, pero se puede usar el mismo acercamiento para cualquier porción no visible del espectro de luz (UV, IR, NIR, etc). Cuando esta superficie se use con un sistema de formación de imágenes de vehículo 3 con un sensor de formación de imágenes sensible a NIR 46 bajo luz NIR procedente de la fuente de luz LED 44, la luz pasará a través del material transparente a NIR, permitiendo que el sensor óptico detecte las marcas 12 situadas debajo (la mayor parte de la tinta/tinte negro estándar seguirá pareciendo negro al sensor óptico bajo luz NIR). Solamente el material de la superficie será visible al ojo humano, dado que la luz en el espectro visible no podrá pasar a su través. Una

acercamiento así como el aspecto para el ojo humano de un segmento que usa este acercamiento se puede ver en las figuras 40 y 41, respectivamente.

Tal acercamiento proporciona una ventaja en términos de facilidad de fabricar y potencialmente bajo costo porque entonces los códigos se pueden imprimir usando tinta o tinte estándar y técnicas de impresión estándar (inyección de tinta, láser, máquinas offset, máquinas de serigrafía, etc). Entonces se puede aplicar material transparente a luz no visible usando cualquier método. Algunos ejemplos incluyen: impresión, película, pintura pulverizada, pegatinas, calcografías, etc. Esto también puede permitir a los usuarios imprimir sus propias superficies de circulación y luego aplicar simplemente el material transparente a la superficie usando alguna de las técnicas indicadas.

Se contempla que se pueda facilitar una aplicación de software (a través de una interfaz basada en web o PC) que permita al usuario diseñar una superficie de circulación según sus especificaciones personales. Por ejemplo, el usuario puede desarrollar superficies de circulación de gran formato (por ejemplo 12 pies x 30 pies) que usen segmentos de circulación de diseño personalizado. Los usuarios pueden especificar cualquier forma de tramo de carretera que deseen que incluya combinaciones de segmentos rectos y arcos de círculos (cada segmento tendría que tener alguna longitud mínima) o incluso formas más complejas como radios, etc. La aplicación de software procesa entonces la forma de red final y la descompone en la combinación necesaria de segmentos. La figura 42 representa un aspecto ejemplar no limitador de dicha aplicación.

Entonces, dicha superficie de circulación personalizada puede ser fabricada para el usuario usando un material flexible, como vinilo, que puede ser enrollado, transportado y almacenado fácilmente, ocupando solamente una fracción del espacio necesario en comparación con una superficie de circulación similar hecha de piezas de plástico rígido. La superficie de circulación tendrá el mismo aspecto visual que el diseñado por el usuario, pero también contendrá las marcas de identificación de posición que se ocultan a la vista usando las técnicas descritas anteriormente. La figura 43 representa el aspecto que podría tener una superficie de circulación final ejemplar, no limitadora, enviada al usuario después de la fabricación.

Además de la superficie de circulación final, al usuario también se le puede facilitar un archivo que defina dicha red concreta. El archivo puede ser transferido a la estación base 22 del usuario de modo que la estación base 22 pueda interactuar con la única estructura de dicha superficie de circulación identificando las posiciones únicas que cada conjunto de marcas codifica y permitiendo que los vehículos 2 generen planes consiguientemente.

La invención se ha descrito con referencia a realizaciones ejemplares. Otras personas pensarán en modificaciones y alteraciones obvias después de leer y entender la descripción detallada anterior. Se prevé que la invención sea interpretada incluyendo todas esas modificaciones y alteraciones en la medida en que caigan dentro del alcance de

las reivindicaciones anexas o sus equivalentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de juguete incluyendo:

5 una superficie de circulación compuesta de una pluralidad de segmentos, donde cada segmento incluye marcas que codifican posiciones en el segmento y que codifican una posición del segmento en la superficie de circulación;

10 al menos un vehículo de juguete o agente móvil, incluyendo cada vehículo de juguete al menos un motor para impartir fuerza motriz al vehículo de juguete, un sistema de formación de imágenes operativo para tomar imágenes de las marcas, un transceptor inalámbrico de vehículo, y un microcontrolador acoplado operativamente al motor, el sistema de formación de imágenes, y el transceptor inalámbrico de vehículo, siendo operativo el microcontrolador para controlar, mediante el motor del vehículo de juguete, el movimiento detallado del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas de la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes; y **caracterizado por**

15 una estación base incluyendo un controlador y un transceptor inalámbrico de estación base acoplado operativamente al controlador, siendo operativo el controlador:

20 para determinar mediante comunicación inalámbrica desde cada transceptor inalámbrico de vehículo al transceptor inalámbrico de estación base una posición actual del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas de la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete;

25 para almacenar una representación virtual de la superficie de circulación y para determinar en base a dicha representación virtual y la posición actual de cada vehículo de juguete en la superficie de circulación una acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación, incluyendo la acción, para al menos un vehículo de juguete, seguir un recorrido definido para desplazamiento desde una primera posición a una segunda posición; y

30 para comunicar al microcontrolador de cada vehículo de juguete la acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación mediante comunicación inalámbrica desde el transceptor inalámbrico de estación base al transceptor inalámbrico de vehículo.

35 2. El sistema de juguete de la reivindicación 1, donde el microcontrolador de cada vehículo de juguete es sensible a la acción comunicada por el controlador para controlar el movimiento detallado del vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a imágenes de las marcas en la superficie de circulación tomadas por el sistema de formación de imágenes.

3. El sistema de juguete de la reivindicación 1, donde:

40 el sistema de juguete incluye una pluralidad de vehículos de juguete; y

45 el controlador es operativo para controlar la interacción de la pluralidad de vehículos de juguete en la superficie de circulación de manera coordinada uno con otro mediante comunicación inalámbrica desde el transceptor inalámbrico de estación base a los transceptores inalámbricos de vehículo de la pluralidad de vehículos de juguete,

50 donde el controlador es preferiblemente operativo para controlar al menos uno de lo siguiente de al menos uno de la pluralidad de vehículos de juguete:

55 una velocidad o aceleración del vehículo de juguete;

un conjunto de marcas que el vehículo de juguete sigue en la superficie de circulación;

un cambio del vehículo de juguete de un conjunto de marcas en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas en la superficie de circulación;

una dirección que el vehículo de juguete toma en una intersección de la superficie de circulación;

el vehículo de juguete que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o

60 la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio, o ambos del vehículo de juguete.

65 4. El sistema de juguete de la reivindicación 1, incluyendo además un control remoto en comunicación con la estación base, donde la estación base es sensible a órdenes dadas por el control remoto para controlar al menos uno de lo siguiente mediante la estación base:

cuál de una pluralidad de vehículos de juguete es sensible a las órdenes dadas por el control remoto;

- una velocidad o aceleración de un vehículo de juguete en respuesta a las órdenes dadas por el control remoto;
- 5 un cambio de un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto desde un conjunto de marcas en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas en la superficie de circulación;
- una dirección que toma un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto en una intersección de la superficie de circulación;
- 10 un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o
- la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio, o ambos de un vehículo de juguete en respuesta a órdenes dadas por el control remoto,
- 15 donde el controlador es preferiblemente operativo para controlar, en respuesta a o en ausencia de una respuesta al movimiento de un vehículo de control remoto, al menos uno de lo siguiente de cada vehículo de juguete que no está bajo el control del control remoto:
- 20 una velocidad o aceleración del vehículo de juguete;
- un conjunto de marcas (carril de circulación) que el vehículo de juguete sigue en la superficie de circulación;
- 25 un cambio del vehículo de juguete desde un conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación a otro conjunto de marcas (carril de circulación) en la superficie de circulación;
- una dirección que el vehículo de juguete toma en una intersección de la superficie de circulación;
- 30 el vehículo de juguete que va delante, sigue o adelanta a otro vehículo de juguete en la superficie de circulación; o
- la activación o desactivación de una luz, un altavoz audio, o ambos del vehículo de juguete.
5. El sistema de juguete de la reivindicación 1, donde la superficie de circulación incluye al menos un dispositivo de estados múltiples en respuesta al controlador para cambiar de un estado a otro estado.
- 35 6. El sistema de juguete de la reivindicación 1, donde el sistema de formación de imágenes incluye:
- una fuente de luz que emite luz hacia las marcas; y
- 40 un sensor de formación de imágenes para detectar luz reflejada por las marcas,
- incluyendo además preferiblemente una capa que cubre las marcas de al menos un segmento, donde dicha capa es transparente a la luz emitida por el sistema de formación de imágenes del vehículo, pero es opaca a longitudes de onda de luz visible por humanos, donde las marcas son visibles o invisibles a longitudes de onda de luz visible por humanos.
- 45 7. El sistema de juguete de la reivindicación 1, incluyendo además el controlador sensible a la posición actual del vehículo de juguete en la superficie de circulación y la representación virtual de la superficie de circulación para hacer que una pantalla visualice lo siguiente:
- 50 una imagen virtual de la superficie de circulación; y
- una imagen virtual de al menos un vehículo de juguete y su posición, velocidad o ambas en la imagen virtual de la superficie de circulación.
- 55 8. El sistema de juguete de la reivindicación 1, donde la superficie de circulación está compuesta de una pluralidad de segmentos discretos acoplados operativamente.
9. Un método de controlar el movimiento de uno o más vehículos de juguete autopropulsados o agentes móviles en una superficie de circulación que incluye marcas que definen uno o más recorridos de marcha de vehículo de juguete en la superficie de circulación y que codifican posiciones en la superficie de circulación, donde cada vehículo de juguete incluye un sistema de formación de imágenes para adquirir imágenes de las marcas, incluyendo el método:
- 60 (a) mientras avanza en la superficie de circulación, un vehículo de juguete adquiere una imagen de una porción de las marcas de la superficie de circulación mediante el sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete;
- 65



- (b) en respuesta a la imagen adquirida en el paso (a), el vehículo de juguete controla su movimiento en la superficie de circulación;
- 5 (c) el vehículo de juguete comunica de forma inalámbrica a una estación base datos relativos a una posición donde se adquirió la porción de las marcas en el paso (a);
- (d) la estación base responde a los datos comunicados en el paso (c) para actualizar una posición del vehículo de juguete en una representación virtual de la superficie de circulación;
- 10 (e) la estación base determina una acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a los datos relativos a la posición en la superficie de circulación de la porción de las marcas adquiridas en el paso (a), incluyendo la acción para al menos un vehículo de juguete, seguir un recorrido definido para desplazarse de una primera posición a una segunda posición; y
- 15 (f) la estación base comunica de forma inalámbrica al vehículo de juguete dicha acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación.
- 20 10. El método de la reivindicación 9, incluyendo además repetir los pasos (a)-(f) al menos una vez, donde el paso (b) incluye preferiblemente el vehículo de juguete sensible además a la acción comunicada en el paso (f) para controlar su movimiento en la superficie de circulación, y
- 25 donde el paso (b) incluye preferiblemente la acción comunicada en el paso (f) haciendo que el vehículo de juguete cambie de avanzar en un primer recorrido definido por un primer conjunto de marcas a un segundo recorrido de marcha definido por un segundo conjunto de marcas, por lo que la acción comunicada en el paso (f) incluye dicho segundo recorrido de marcha.
- 30 11. El método de la reivindicación 9, donde el paso (b) incluye además el vehículo de juguete que controla su velocidad, su aceleración, su dirección, un estado de una o varias de sus luces, si un dispositivo de replicación audio del vehículo emite sonido, o alguna combinación de ellos en respuesta a la acción comunicada en el paso (f).
- 35 12. El método de la reivindicación 9, incluyendo además que la estación base determina la representación virtual de la superficie de circulación a partir de uno de lo siguiente:
- un archivo de definición accesible a la estación base;
- la exploración de la disposición física de la superficie de circulación por uno o más vehículos de juguete que actúan bajo el control de la estación base y que comunican información relativa a la disposición física de la superficie de circulación a la estación base; o
- 40 un sistema de bus de la superficie de circulación que está compuesto de una pluralidad de segmentos, donde cada segmento incluye un segmento de bus y un microcontrolador que comunica con la estación base y con el microcontrolador de cada segmento conectado adyacente mediante el segmento de bus.
- 45 13. El método de la reivindicación 9, donde el paso (a) incluye adquirir la imagen de las marcas mediante una capa superior que es transparente al sistema de formación de imágenes del vehículo de juguete, pero que es opaca a longitudes de onda de luz visible por humanos.
- 50 14. El método de la reivindicación 9, incluyendo además repetir los pasos (a)-(f) para cada uno de una pluralidad de vehículos de juguete, donde:
- el paso (e) incluye además que la estación base determina para cada vehículo de juguete una acción única a realizar por el vehículo de juguete; y
- 55 el paso (f) incluye además que la estación base comunica de forma inalámbrica a cada vehículo de juguete la acción única a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación de manera que permita a la pluralidad de vehículos de juguete moverse de manera coordinada en la carretera.
- 60 15. El método de la reivindicación 9, incluyendo además que la estación base recibe una orden para el vehículo de juguete de un control remoto, donde el paso (e) incluye además que la estación base determina la acción a realizar por el vehículo de juguete en la superficie de circulación en base a la orden recibida del control remoto.

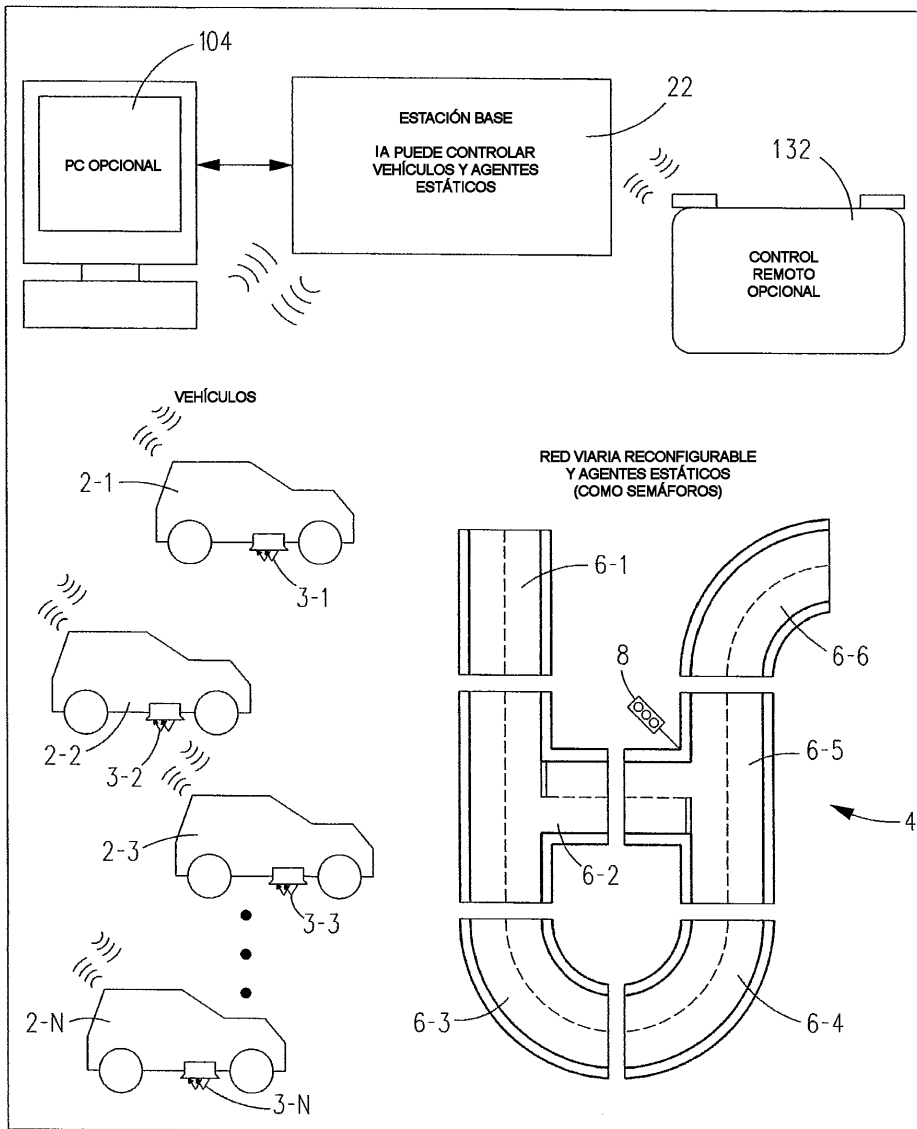


FIG. 1

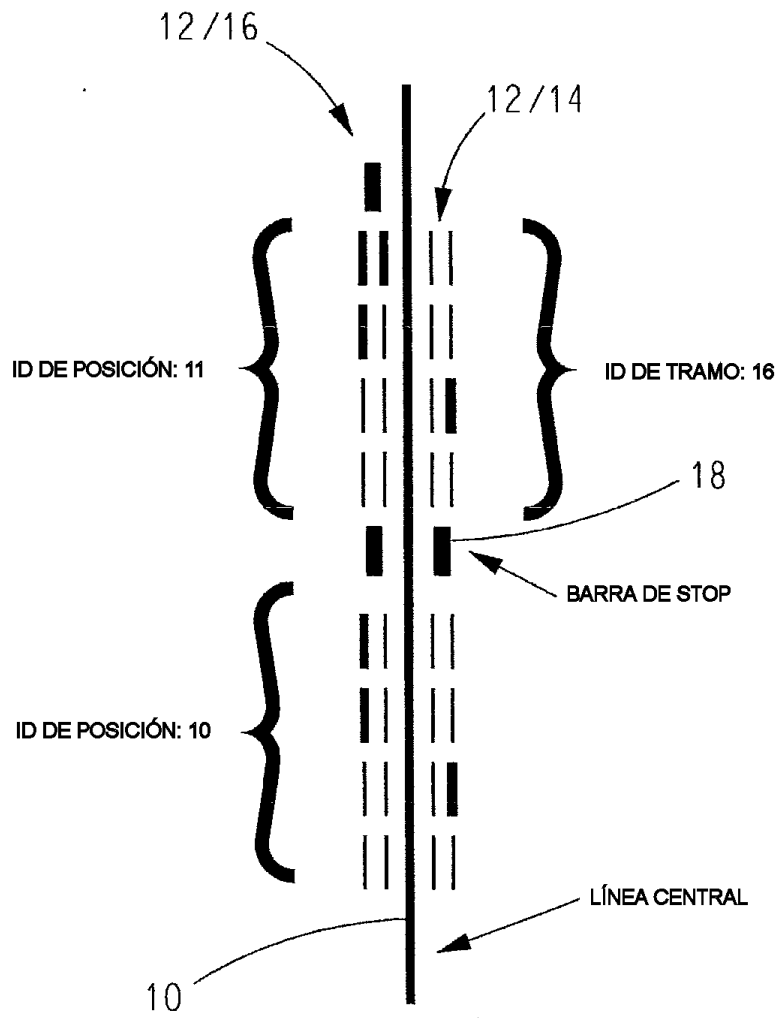


FIG. 2

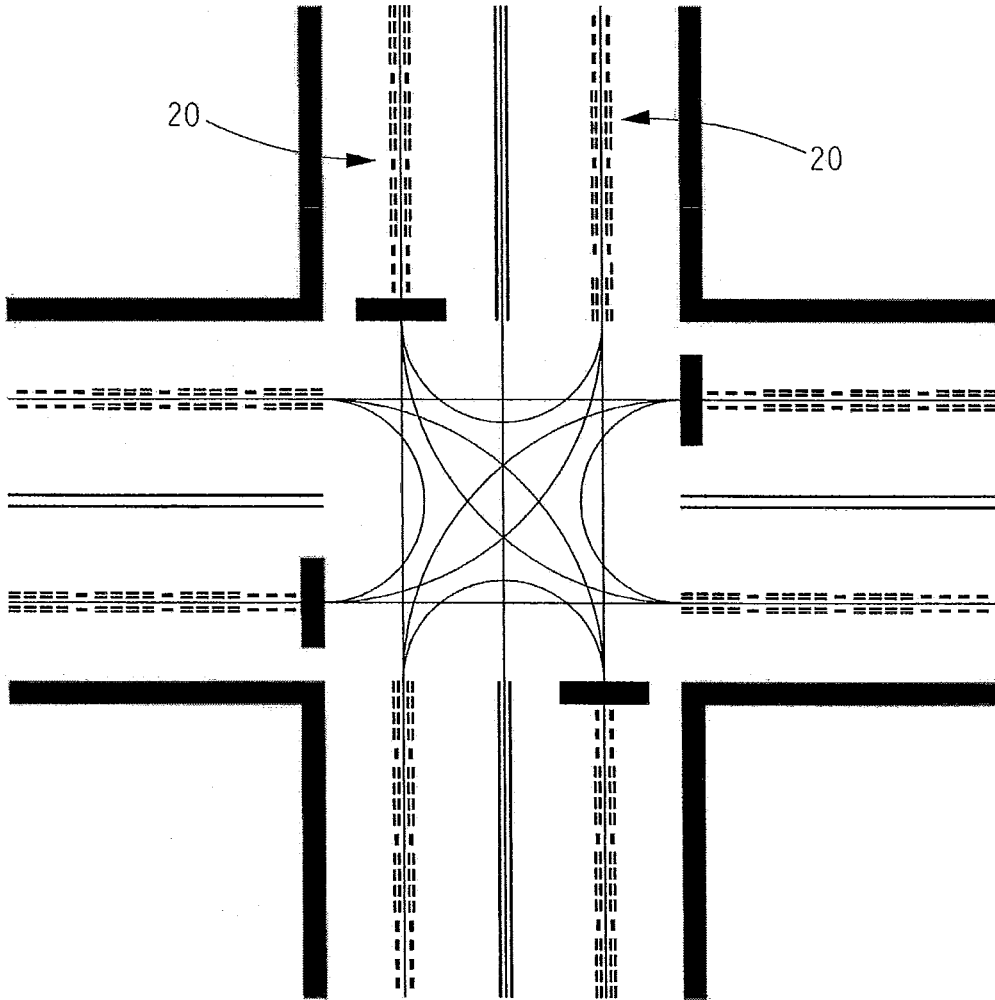


FIG. 3

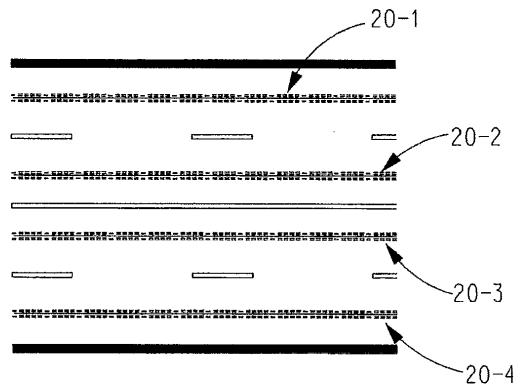


FIG. 4

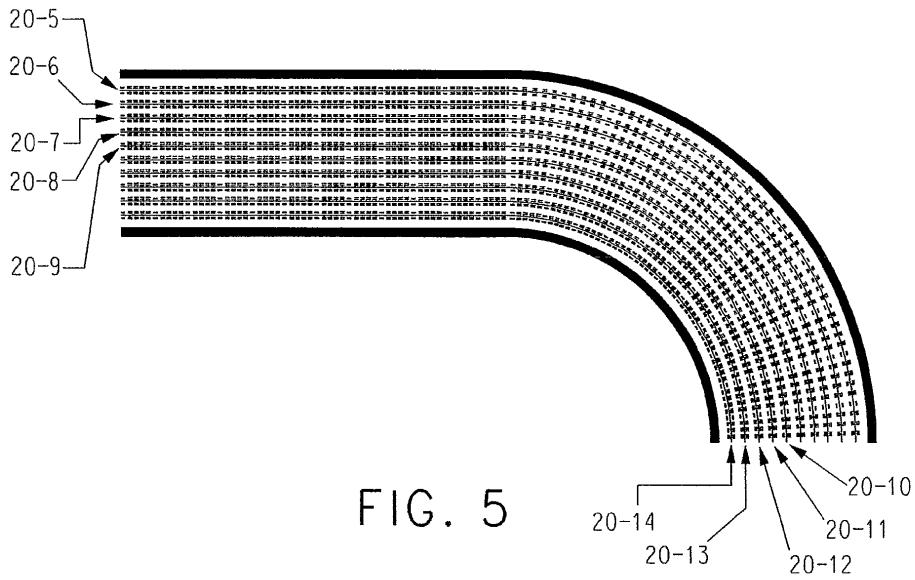
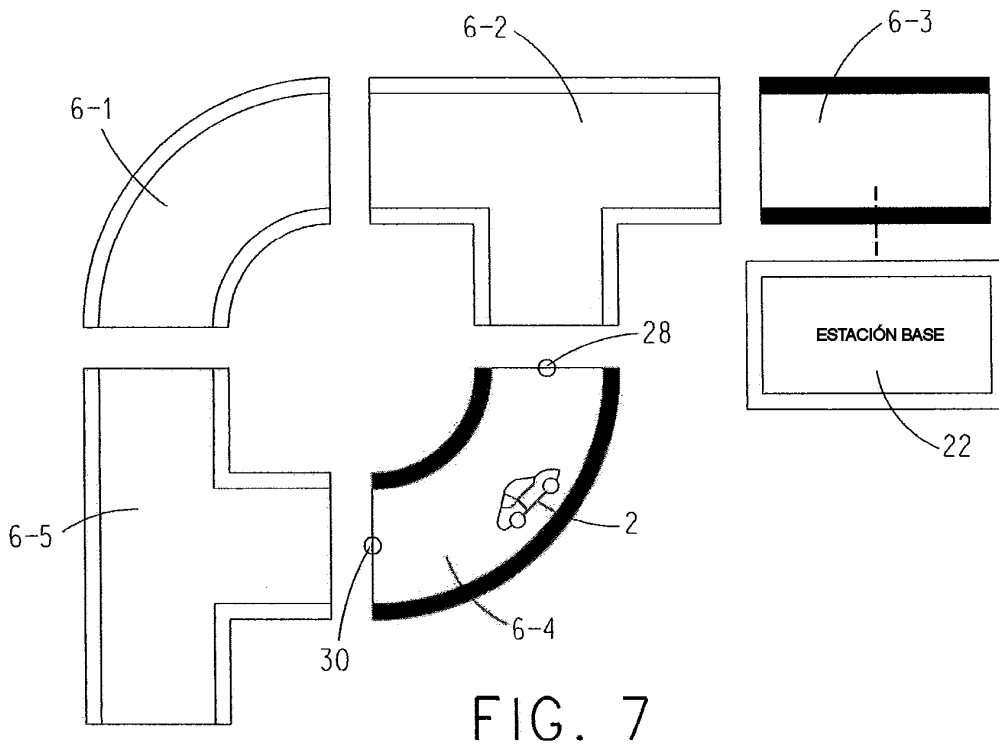
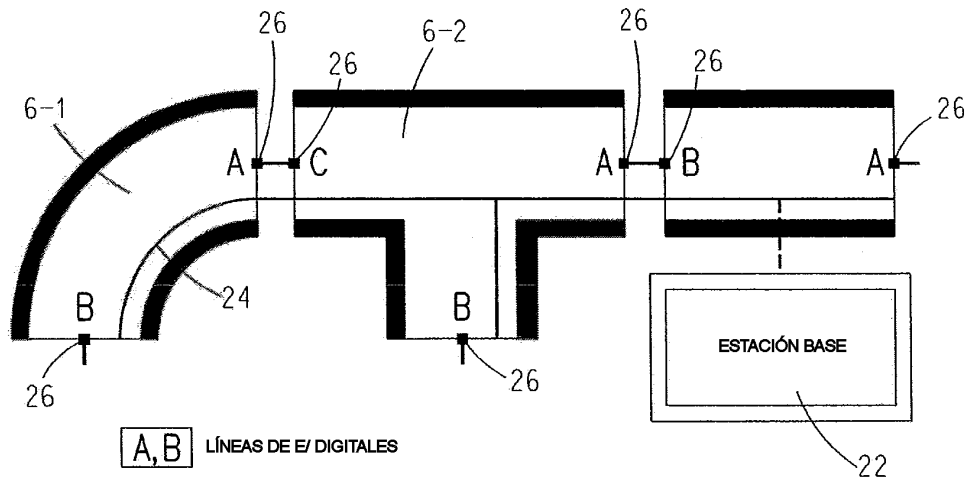


FIG. 5



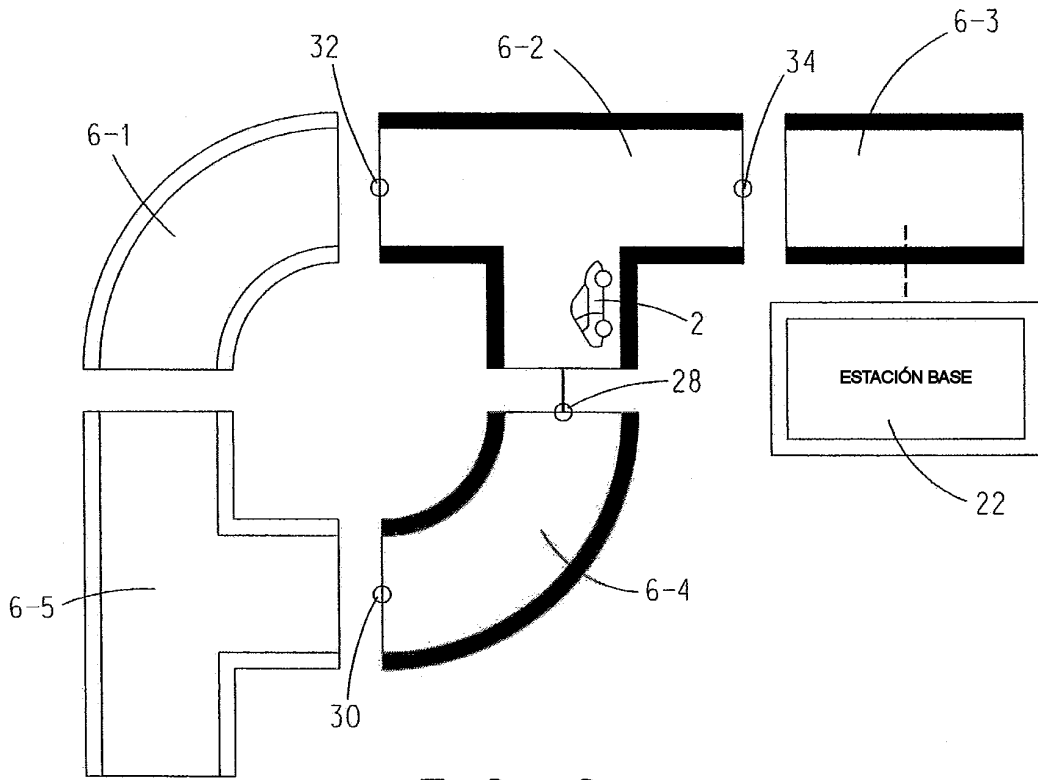


FIG. 8

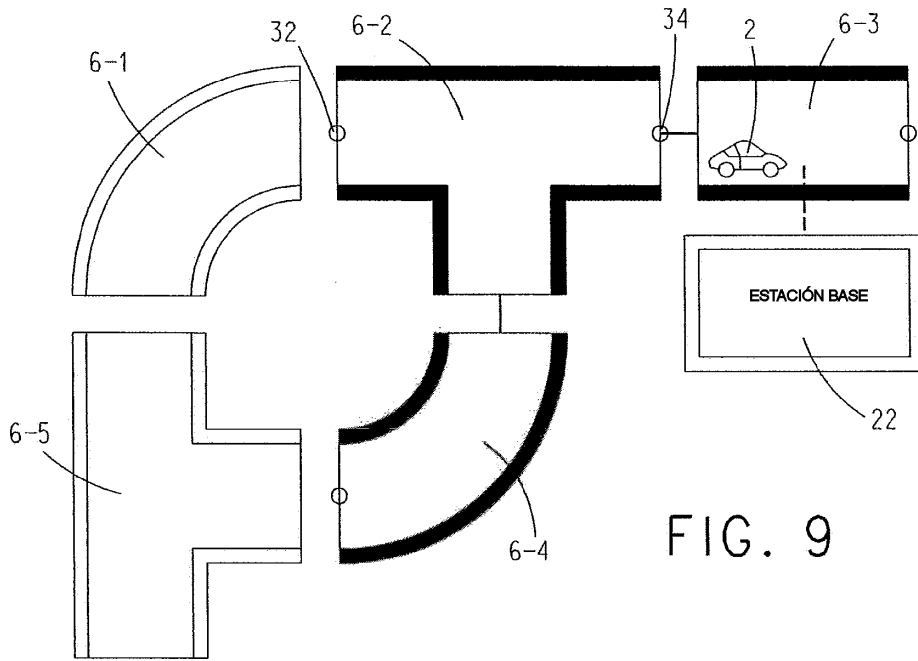


FIG. 9

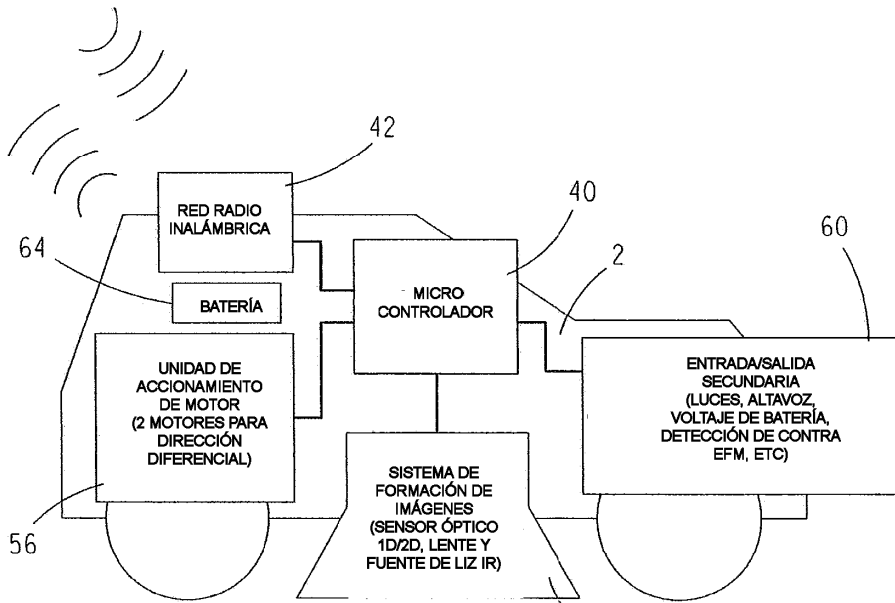


FIG. 10



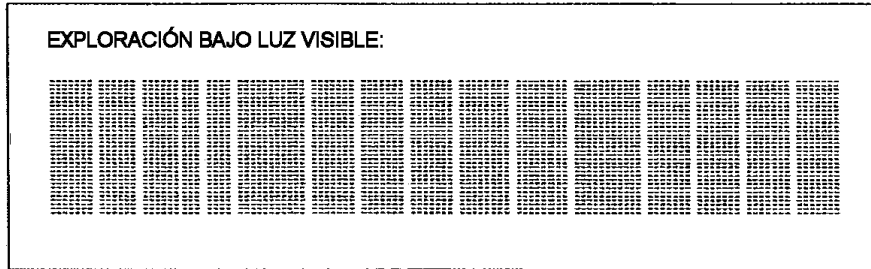


FIG. 11A

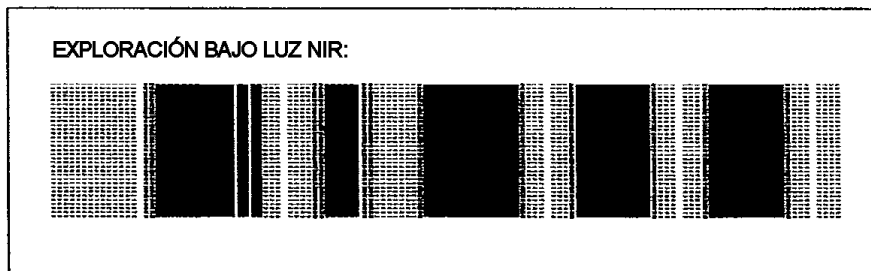
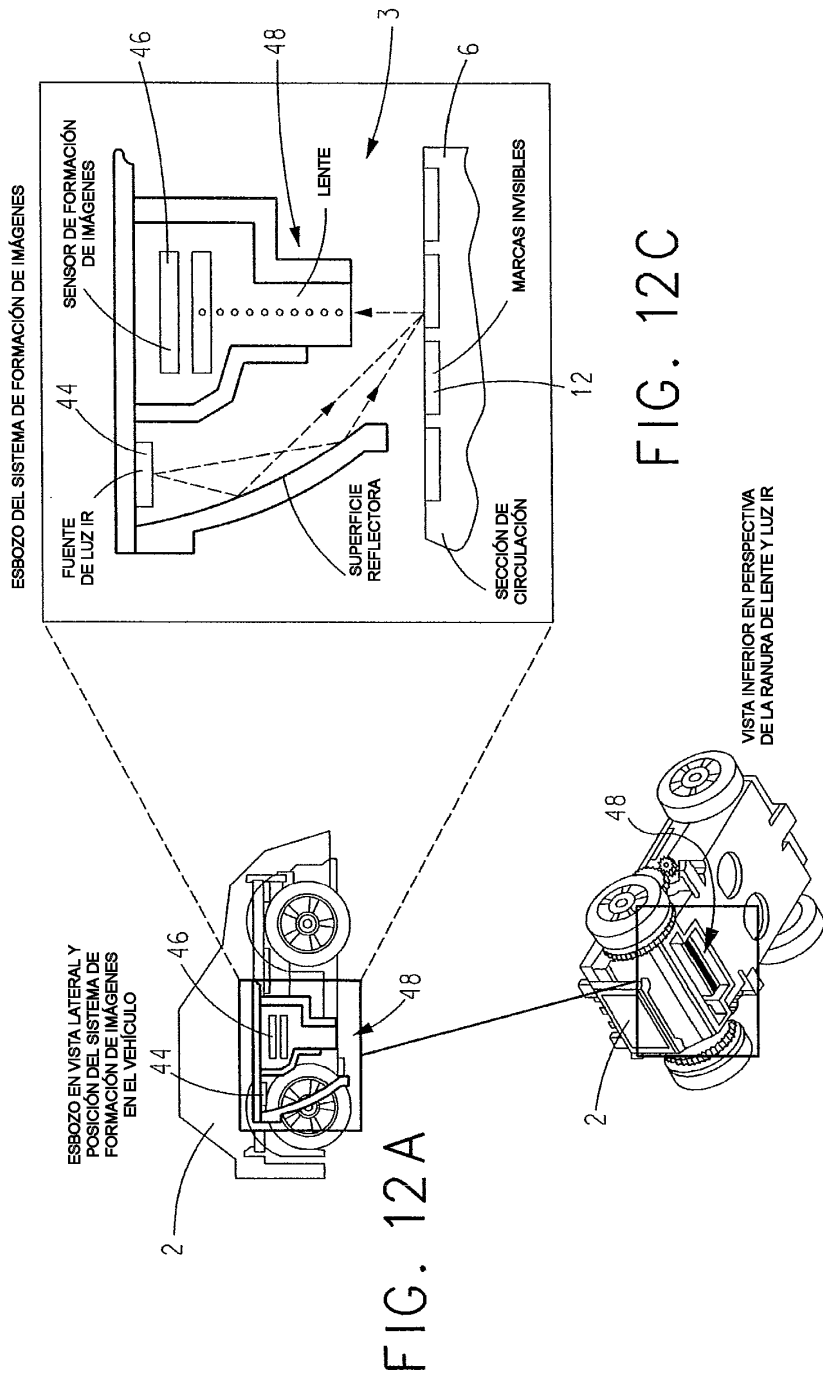


FIG. 11B



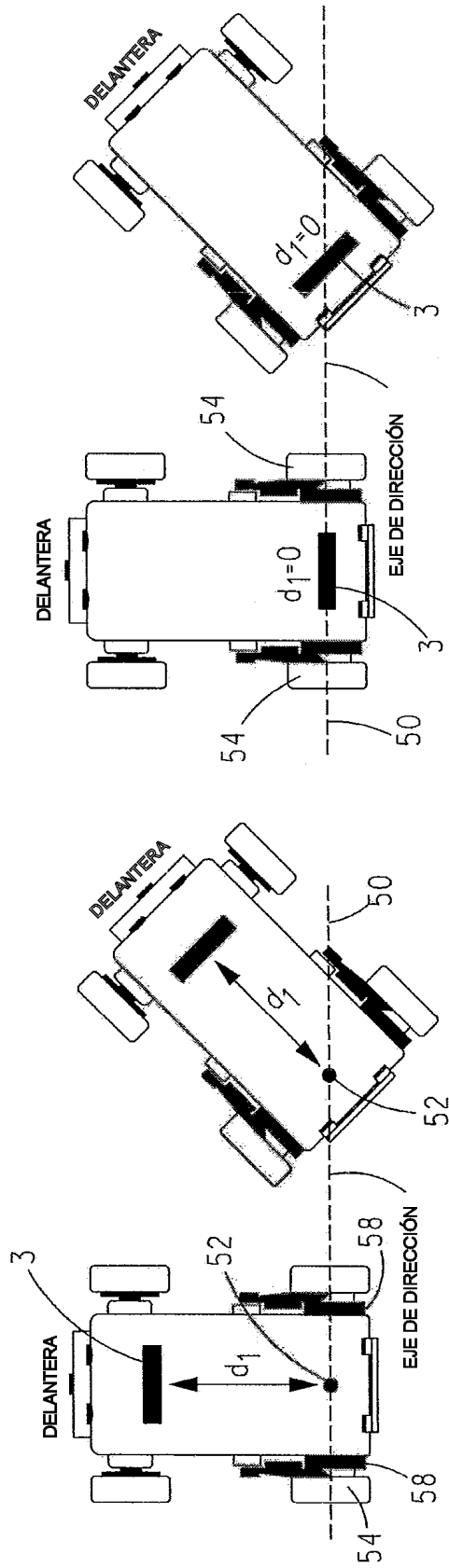


FIG. 13A FIG. 13B FIG. 13C FIG. 13D

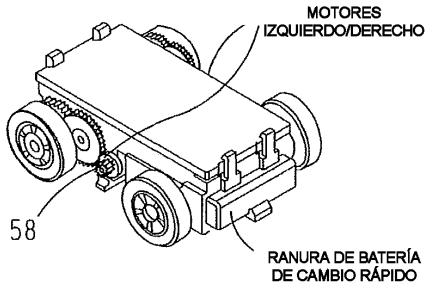


FIG. 14 A

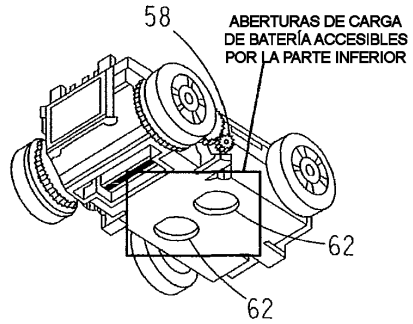


FIG. 14 B

FIG. 15 A

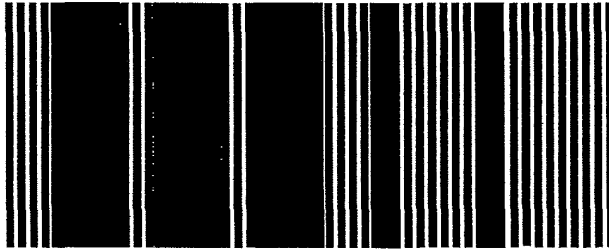


FIG. 15 B

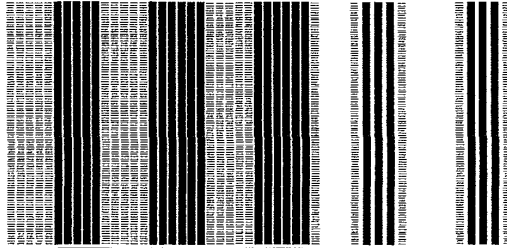


FIG. 15 C



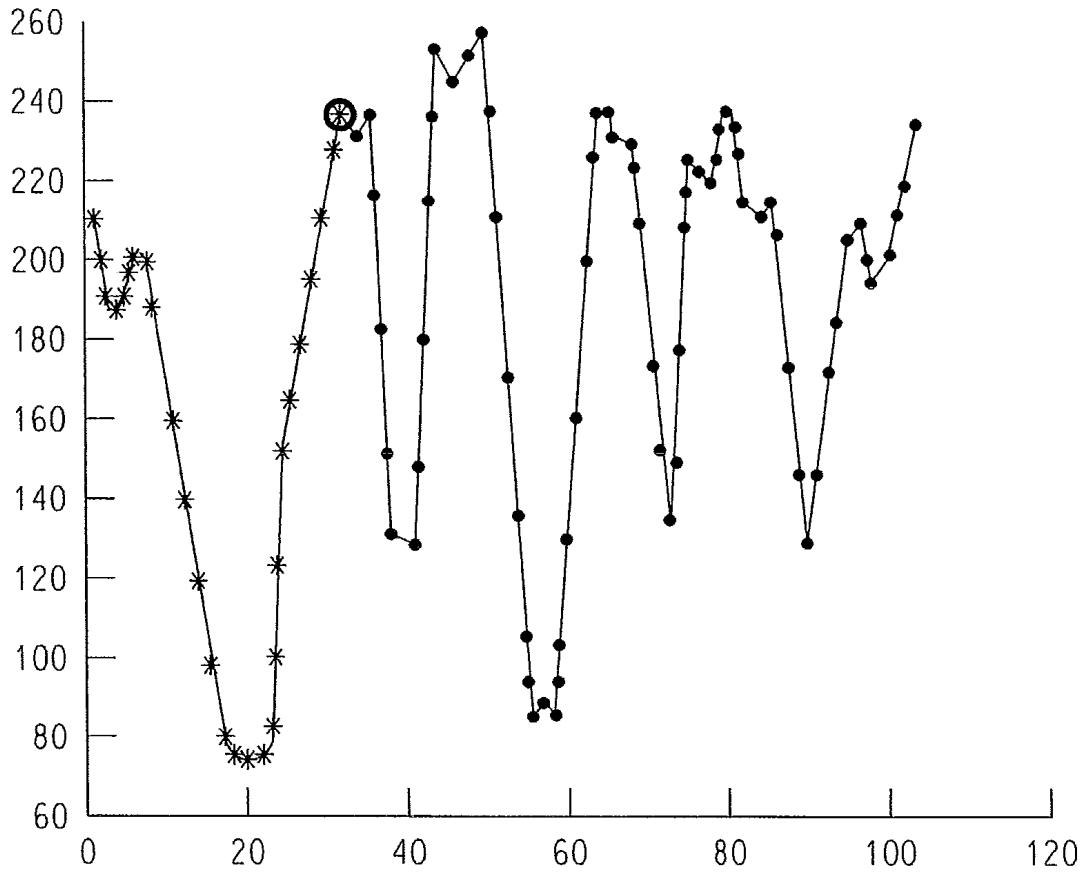


FIG. 16

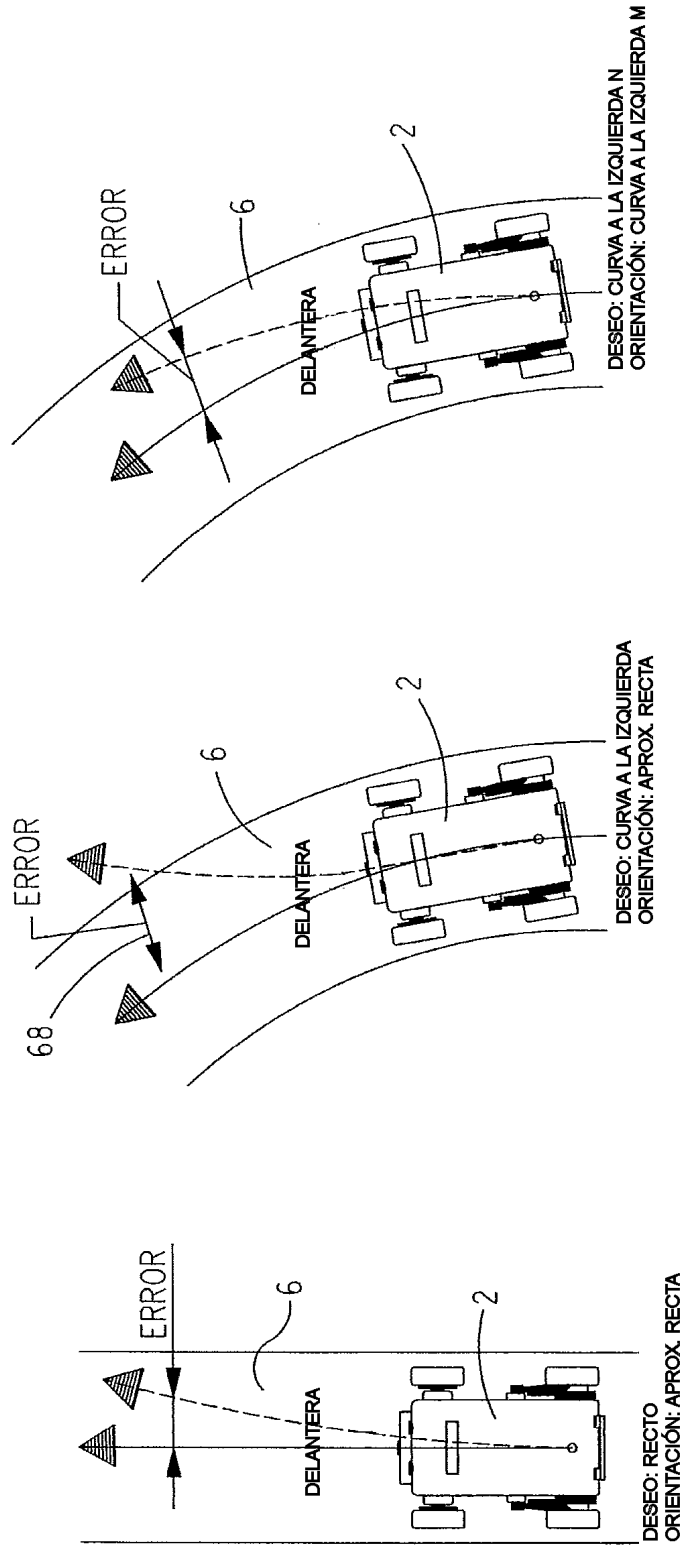


FIG. 17C

FIG. 17B

FIG. 17A

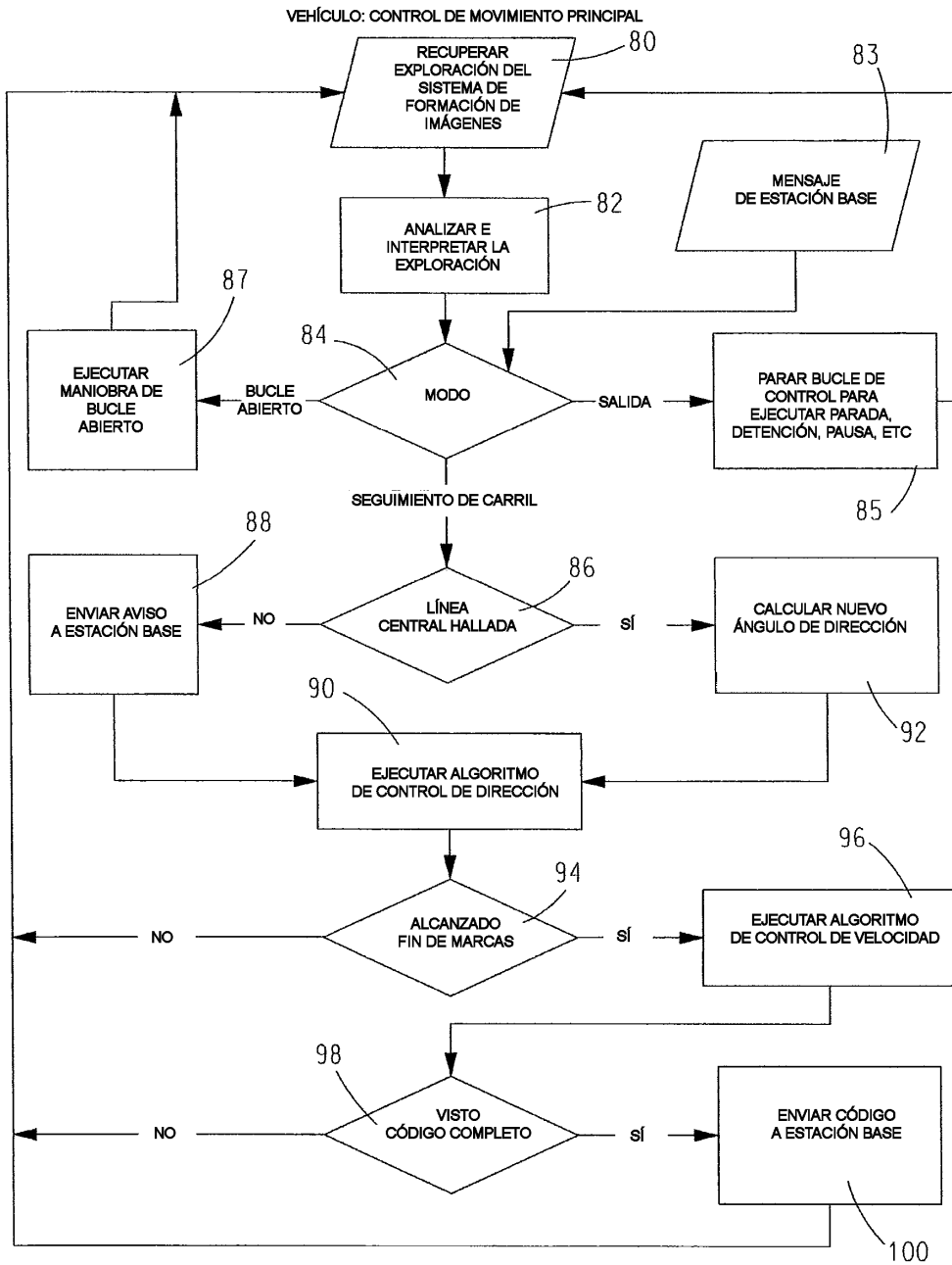


FIG. 18

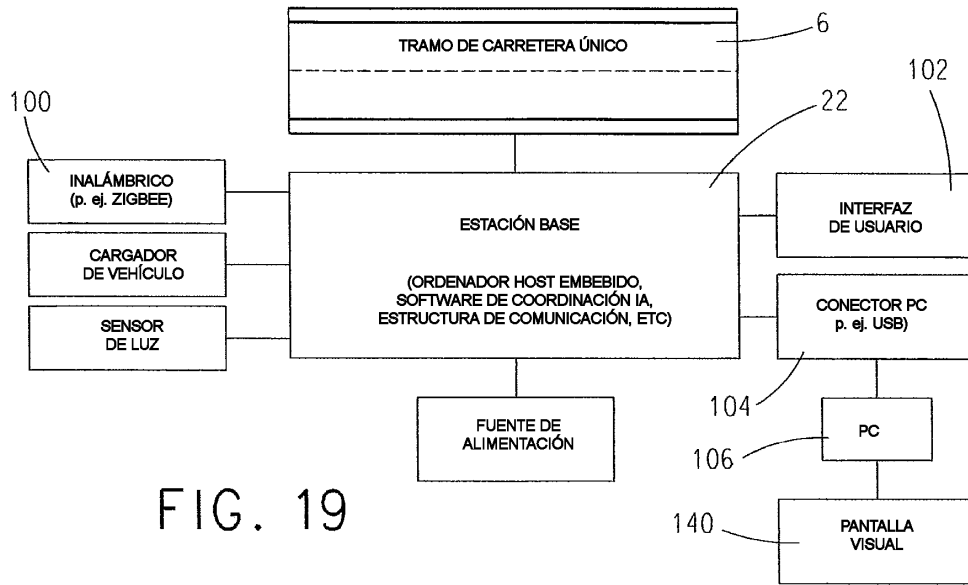


FIG. 19

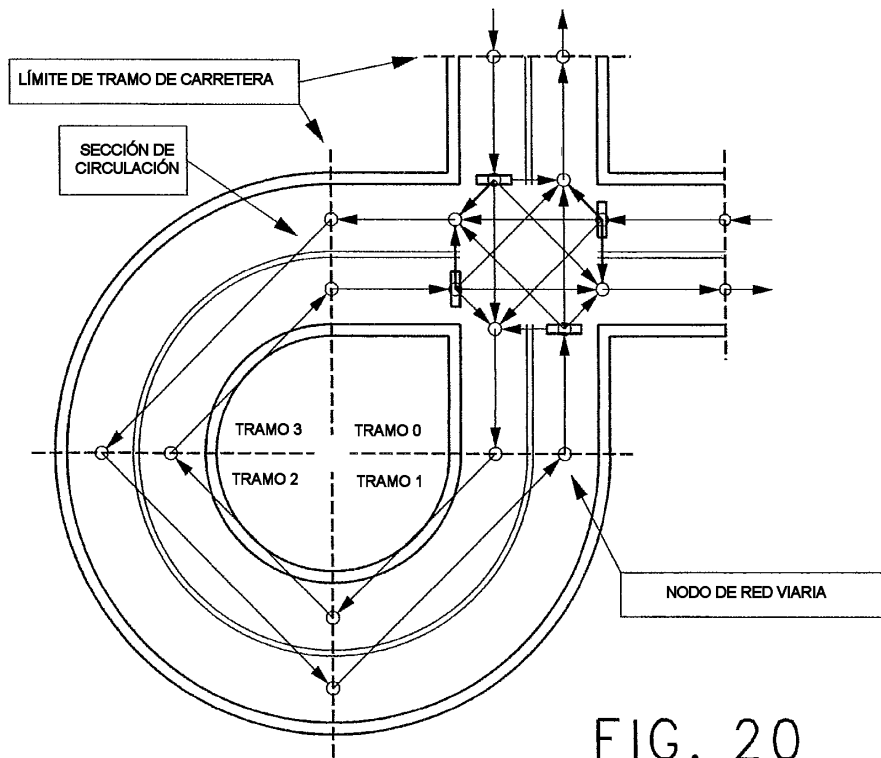


FIG. 20



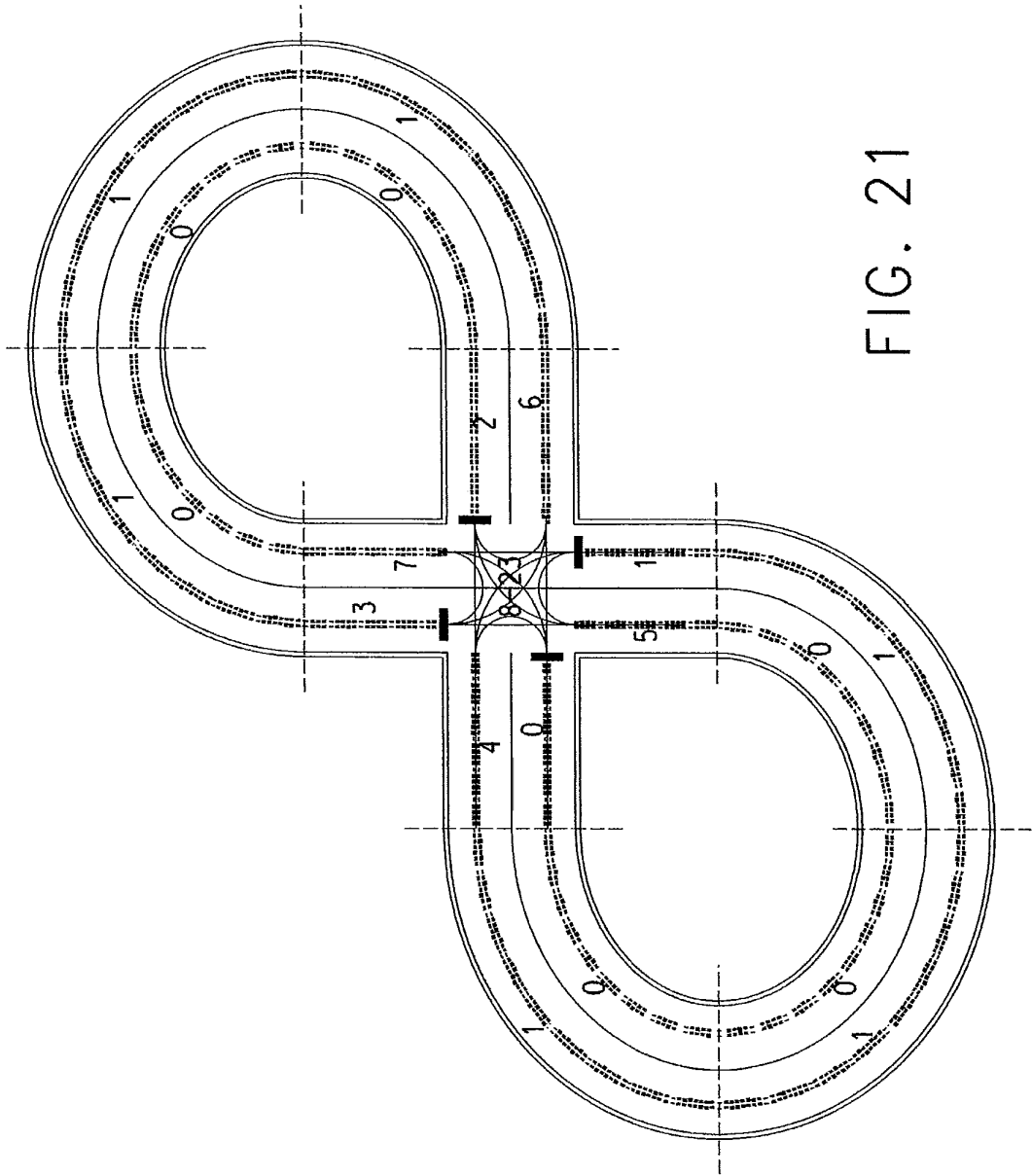


FIG. 21

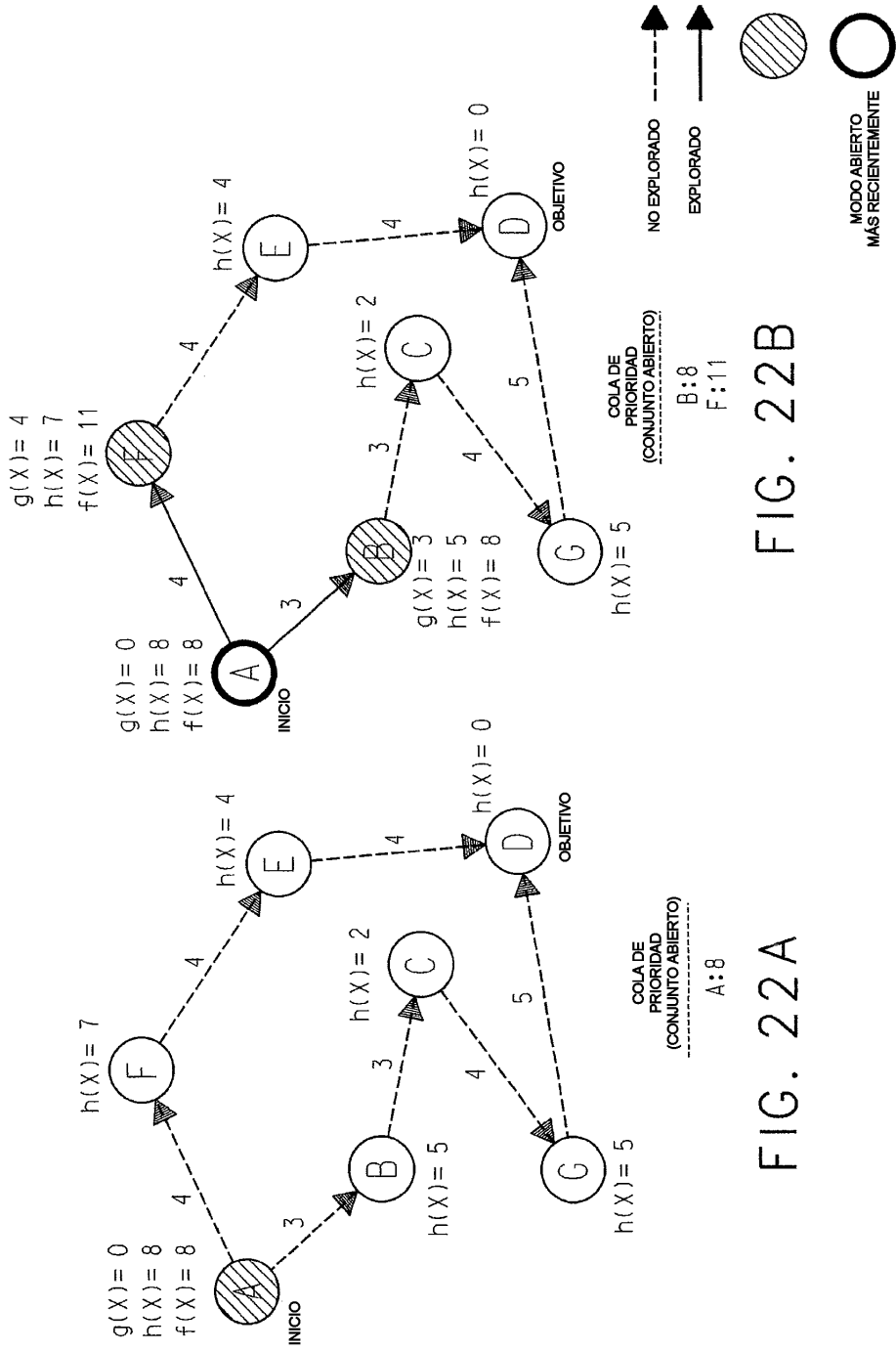


FIG. 22B

FIG. 22A

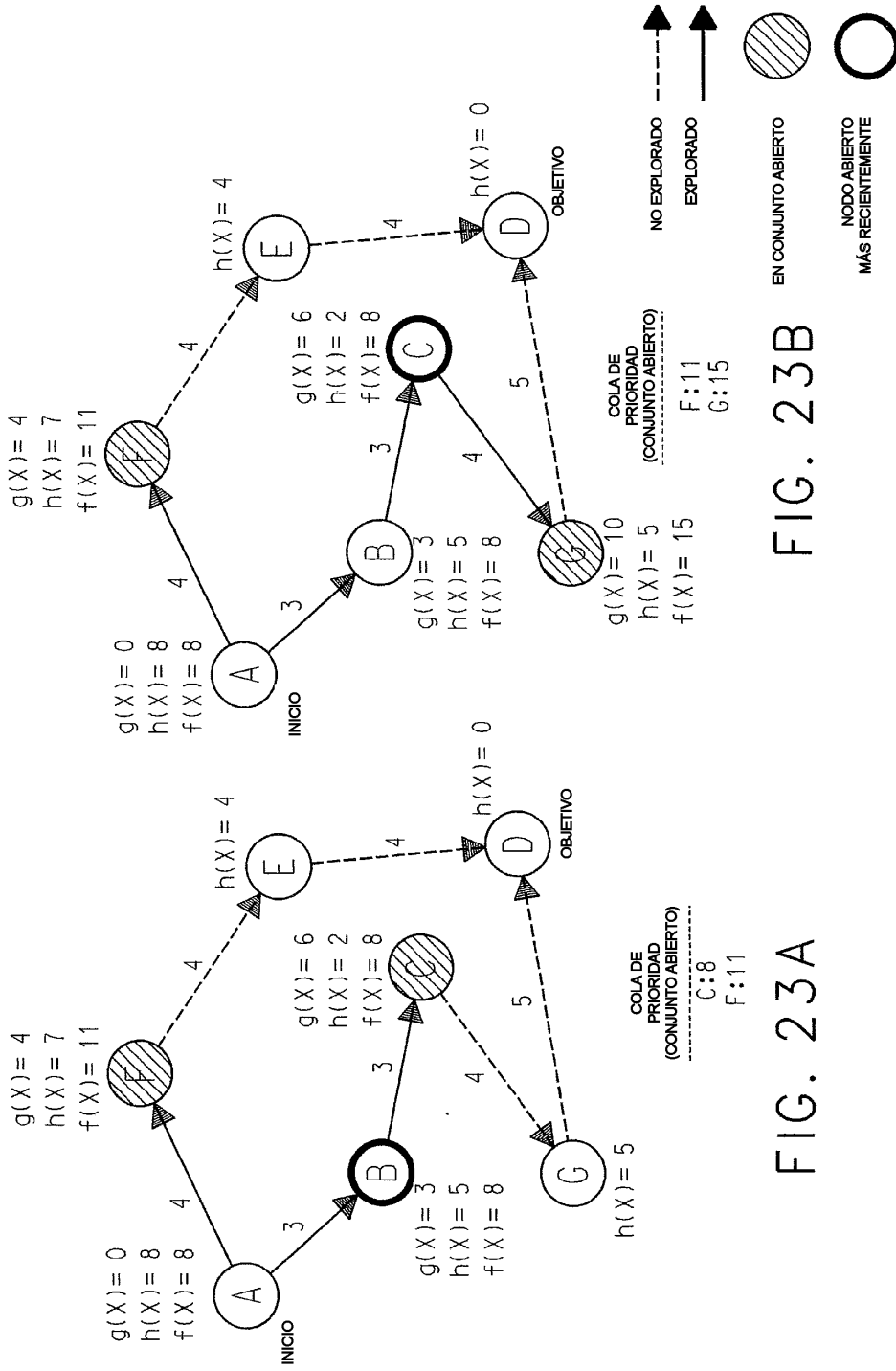


FIG. 23B

FIG. 23A

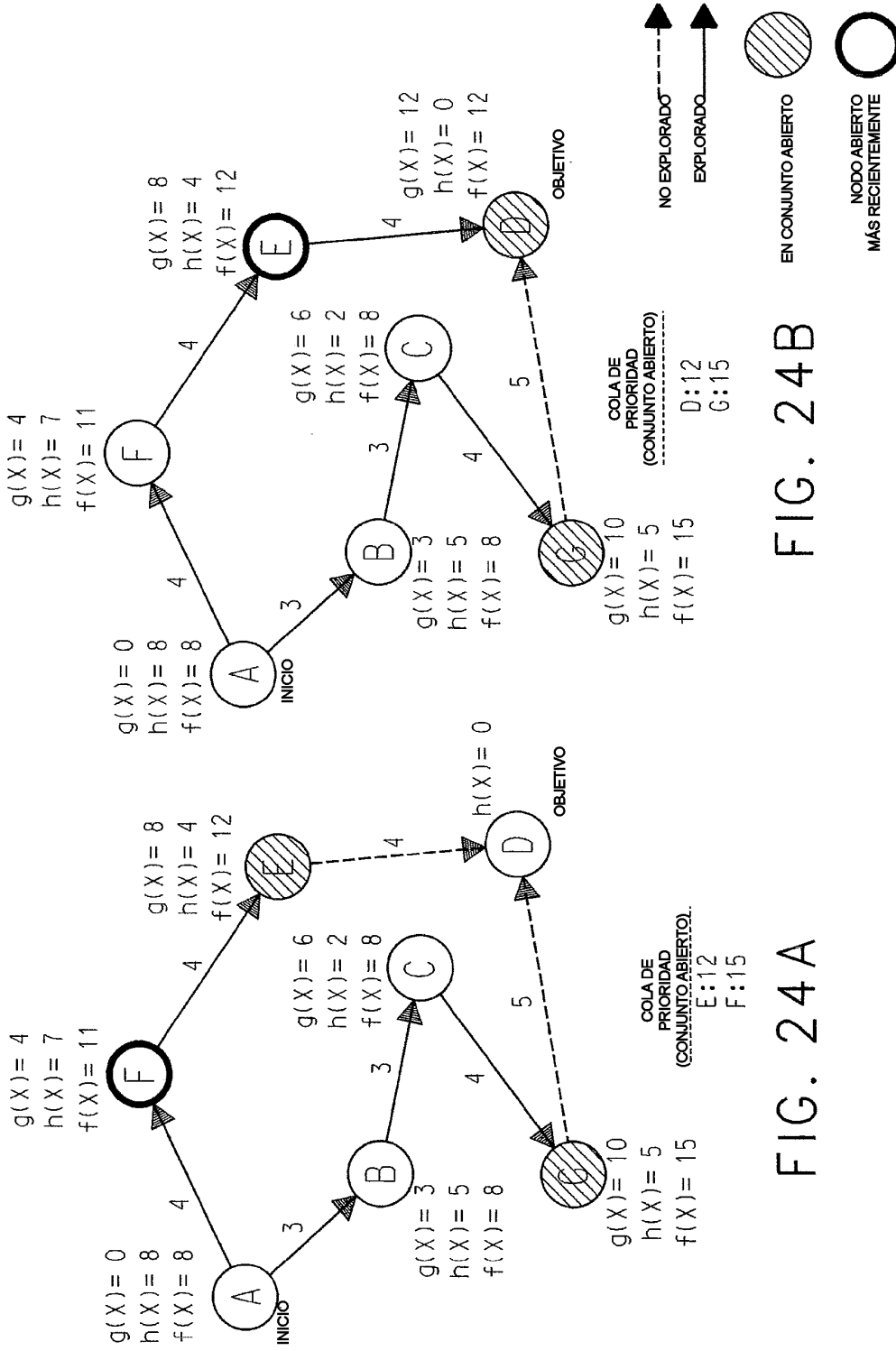


FIG. 24B

FIG. 24A

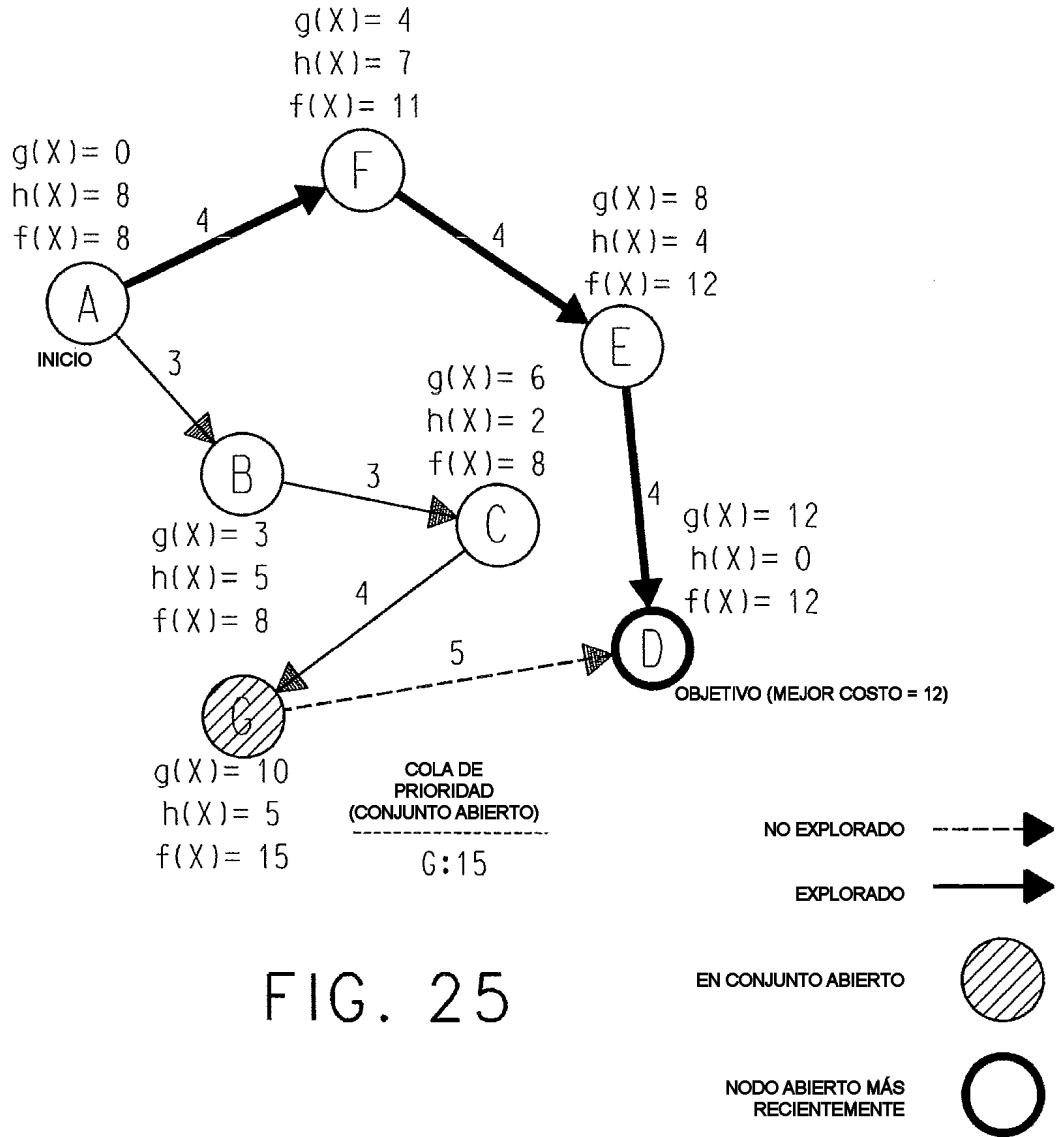


FIG. 25

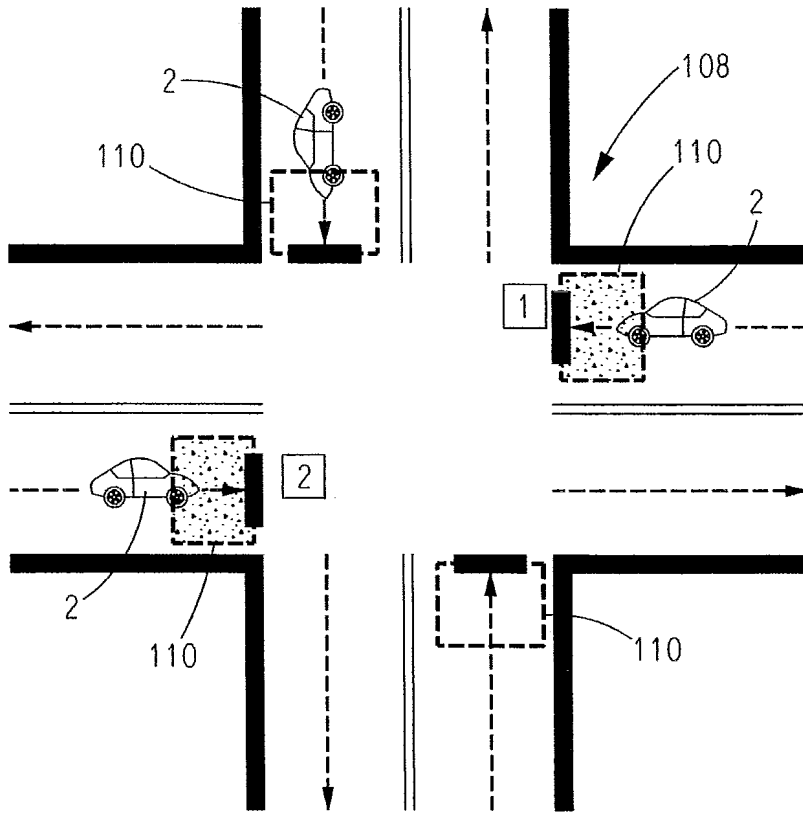


FIG. 26

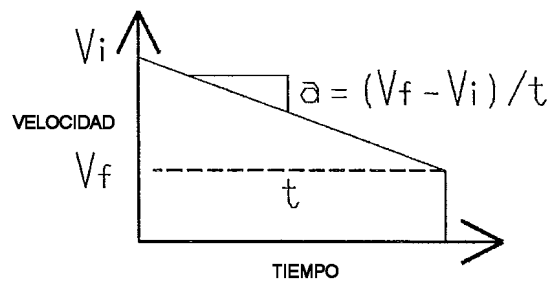


FIG. 27

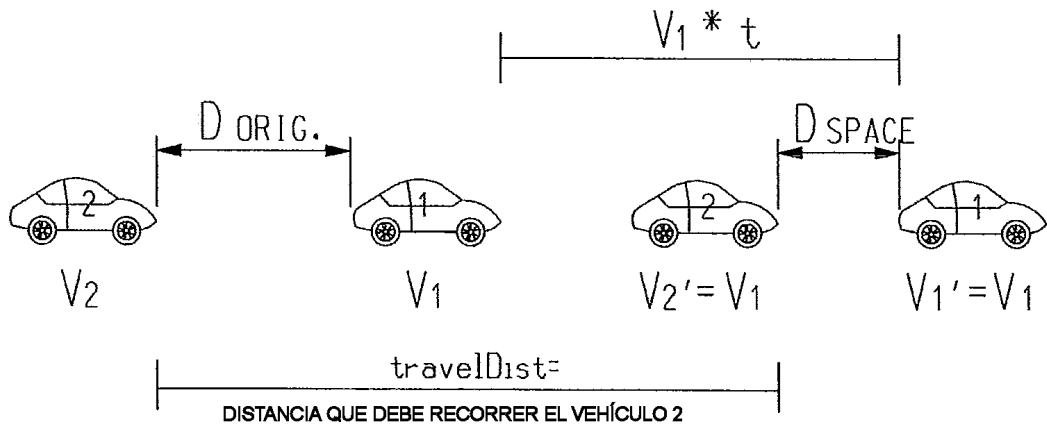


FIG. 28A

FIG. 28B

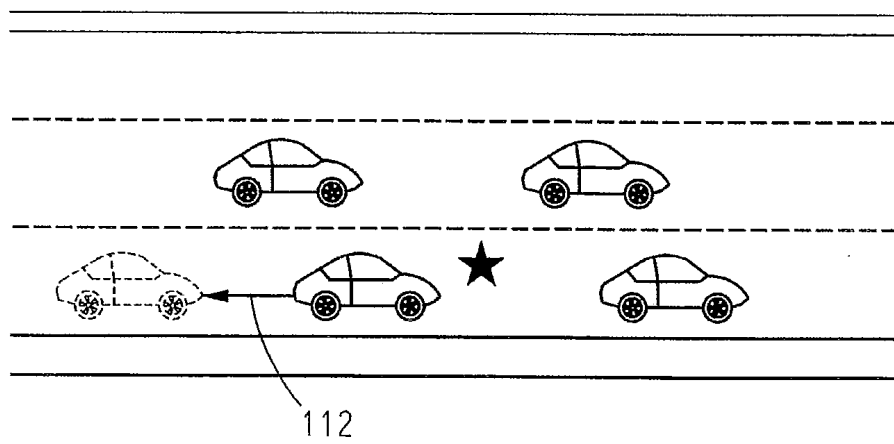


FIG. 29

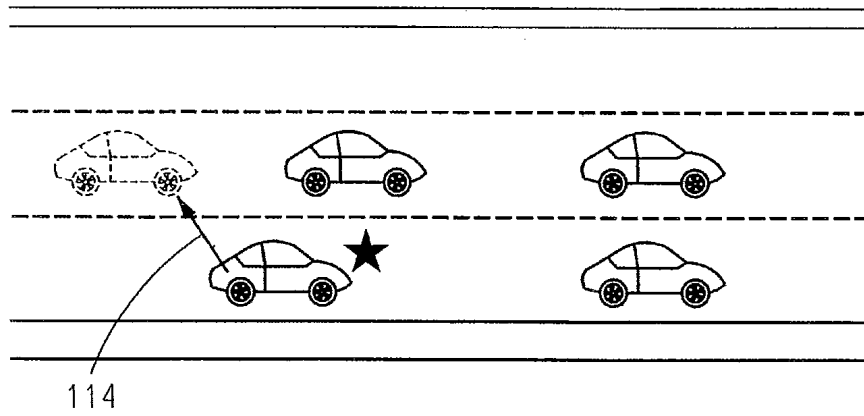


FIG. 30

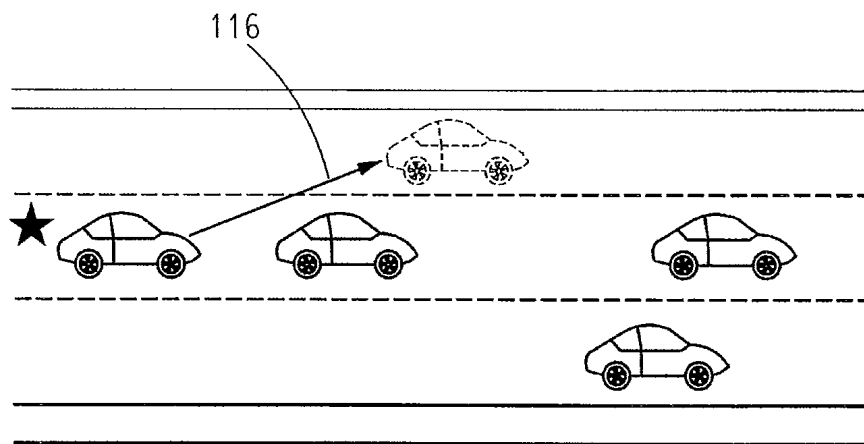


FIG. 31



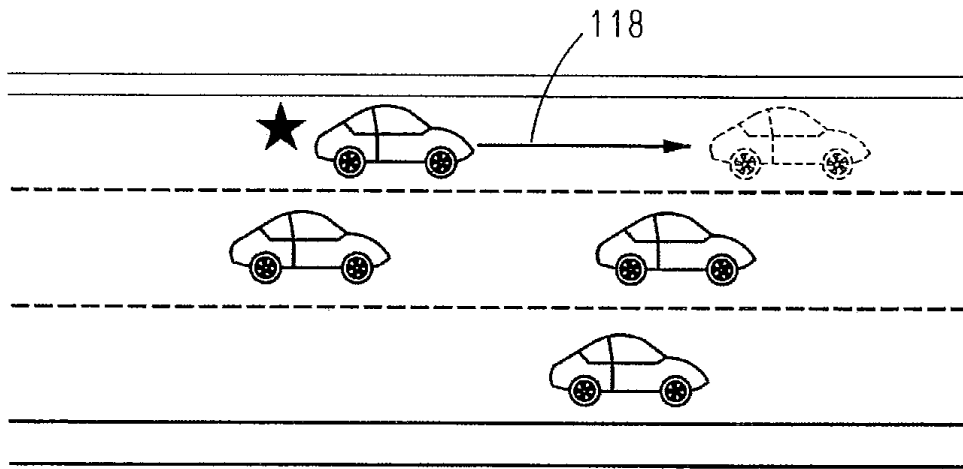


FIG. 32

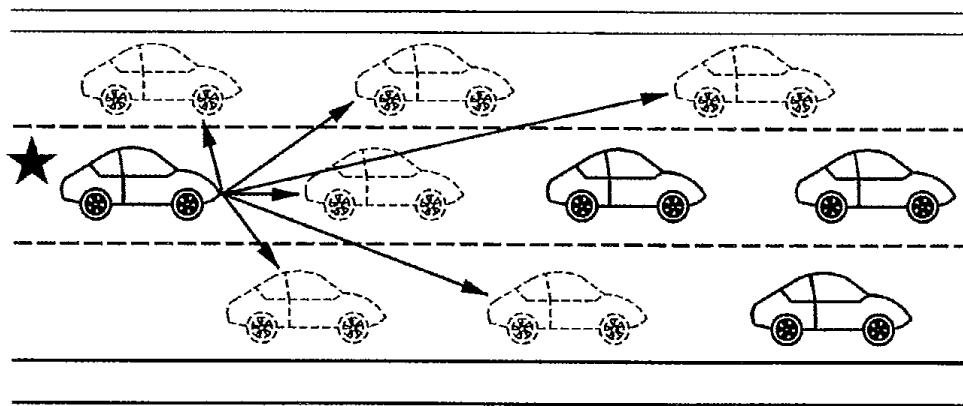


FIG. 33

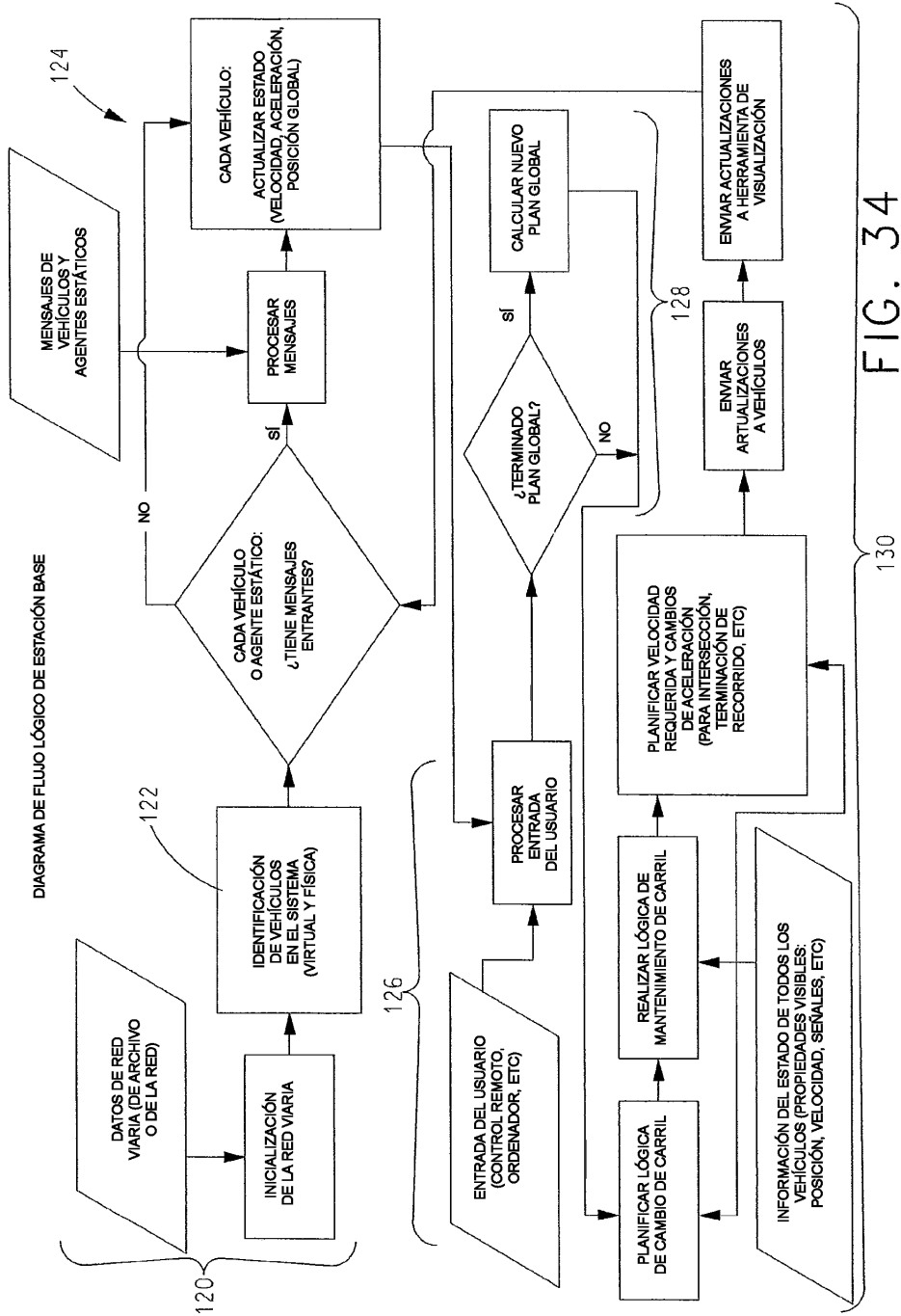


FIG. 34

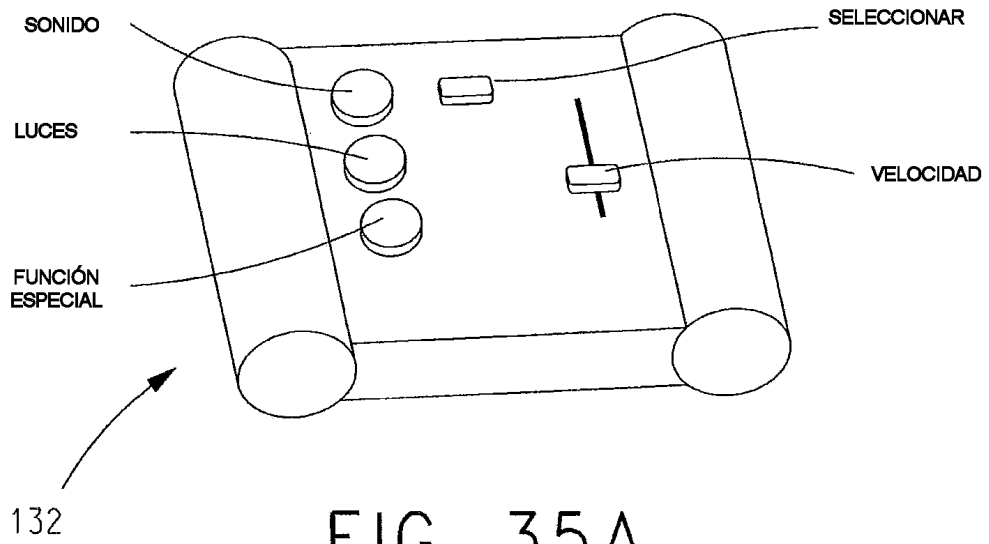


FIG. 35A

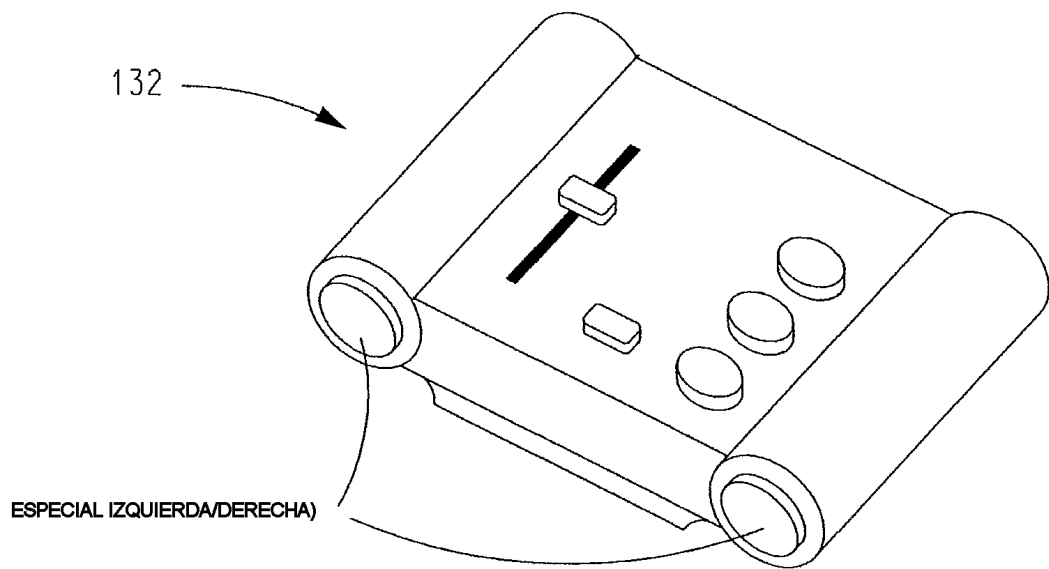


FIG. 35B

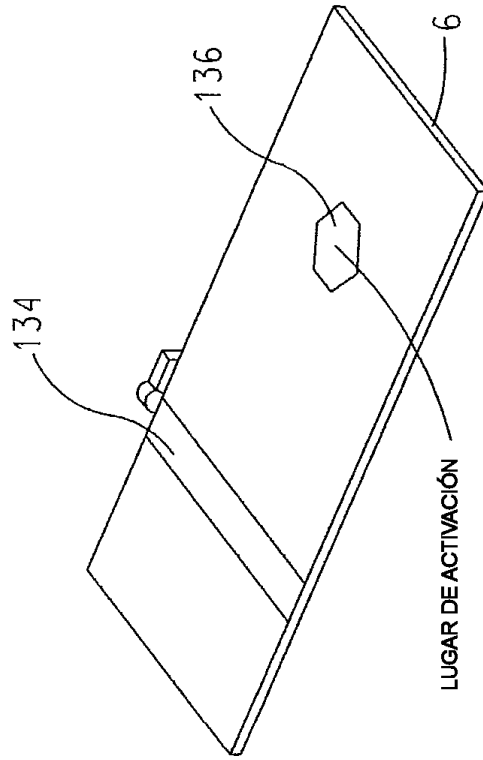
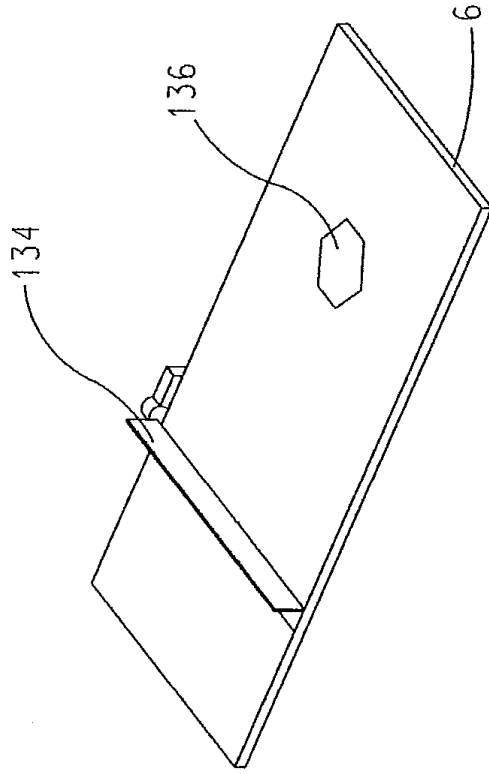


FIG. 36B

FIG. 36A

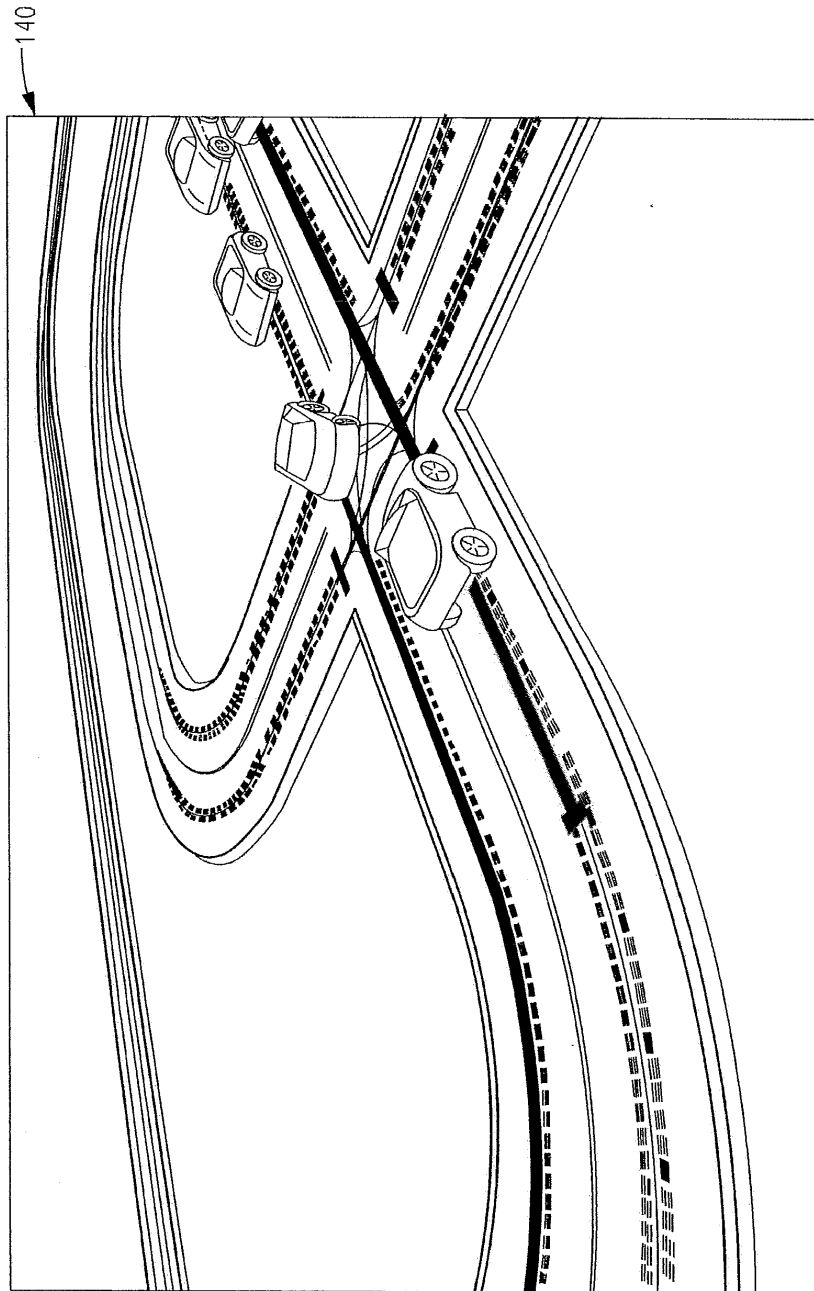
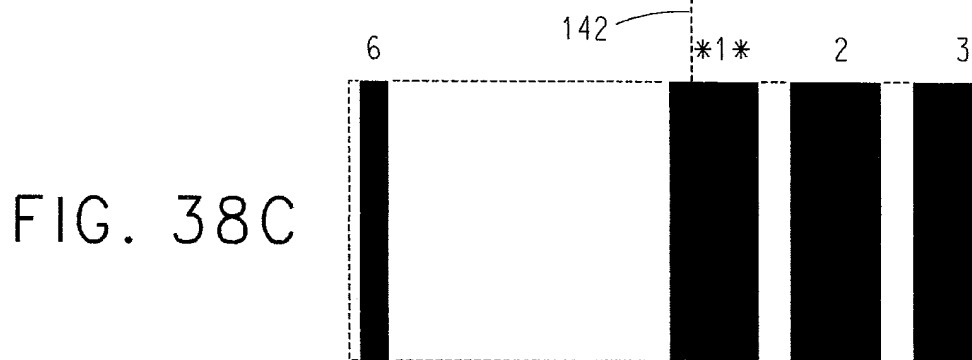
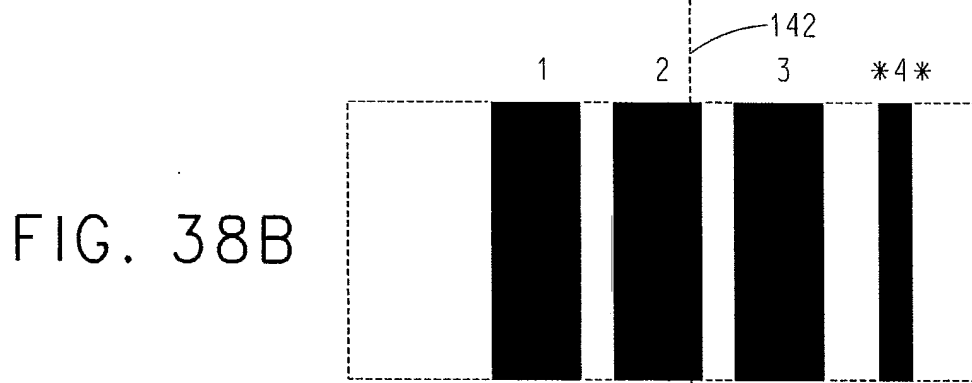
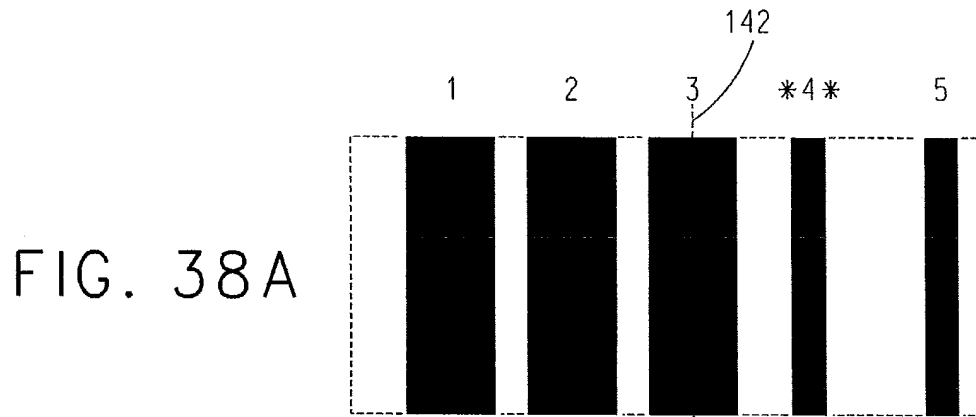


FIG. 37



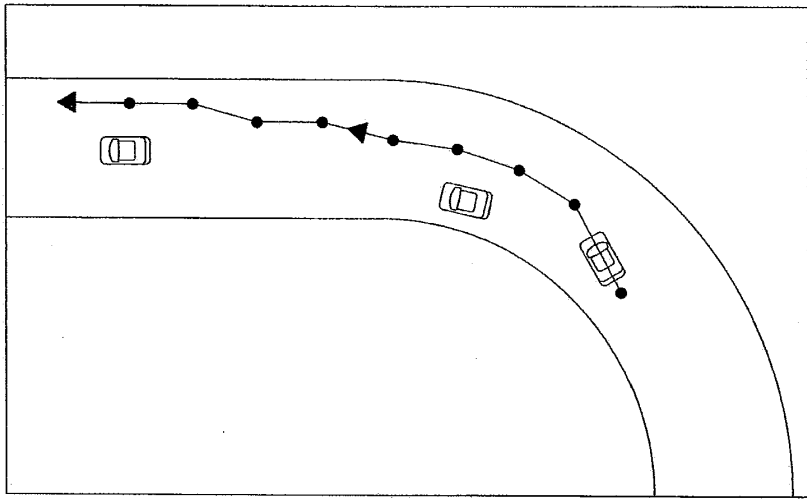


FIG. 39

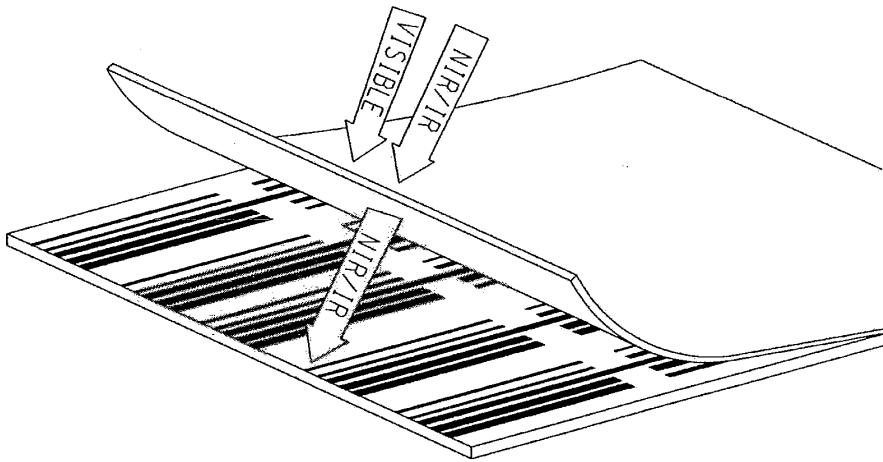


FIG. 40

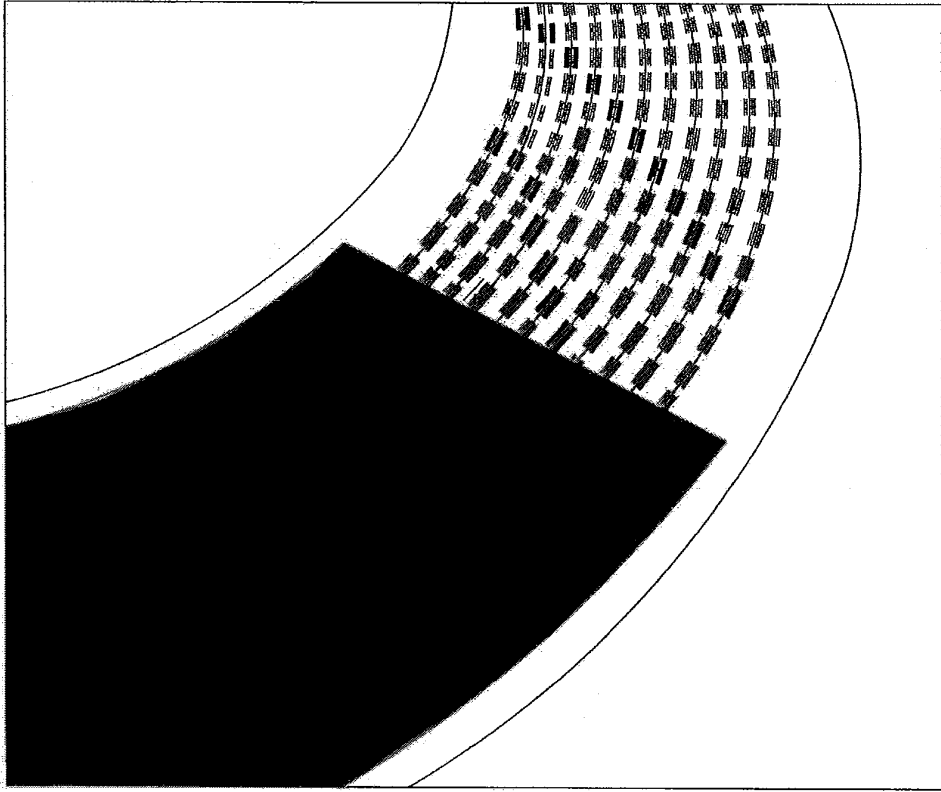


FIG. 41



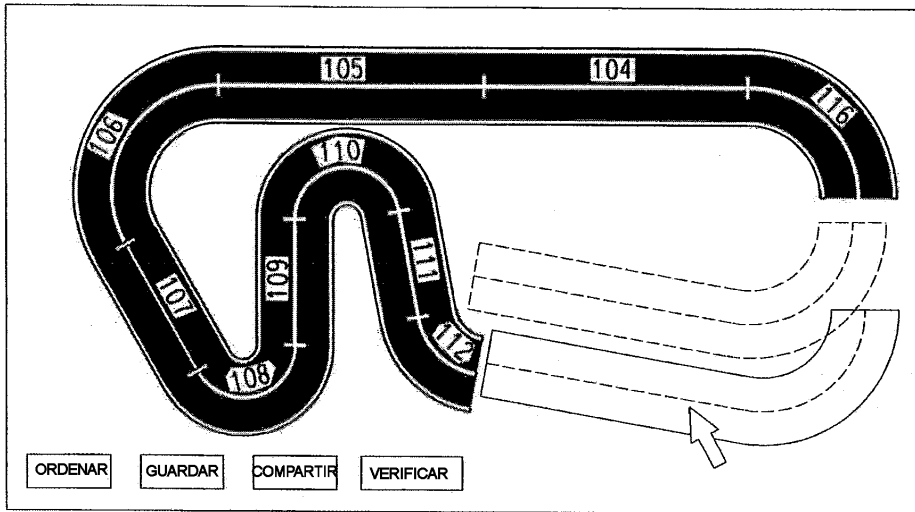


FIG. 42

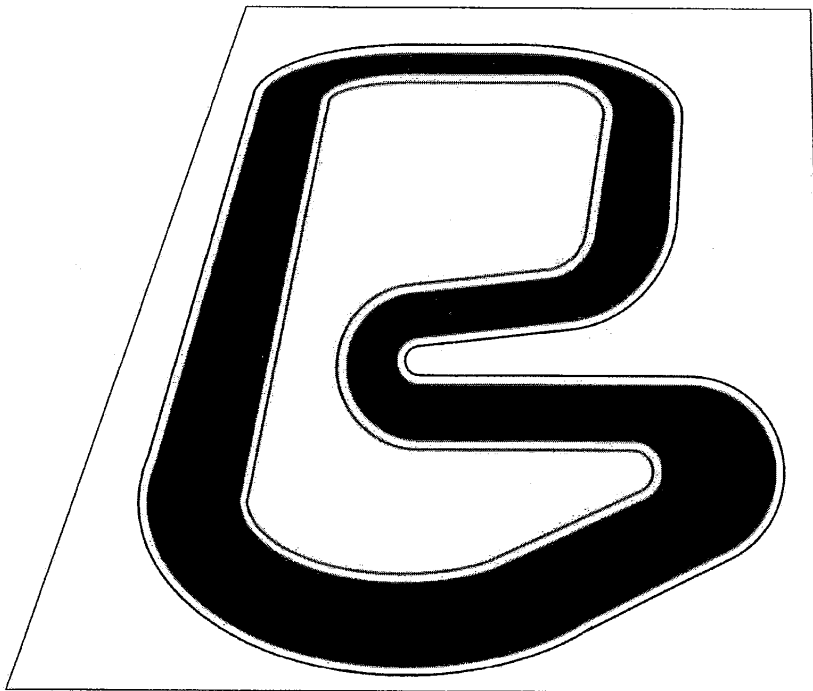


FIG. 43