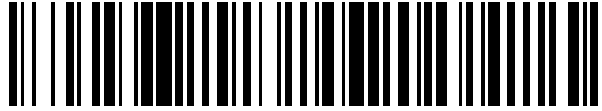


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 467 192**

51 Int. Cl.:

G01S 11/10 (2006.01)

G07B 15/06 (2011.01)

G08G 1/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2011 E 11799605 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014 EP 2564232**

54 Título: **Método y dispositivos para determinar la distancia entre una radiobaliza y un dispositivo de vehículo**

30 Prioridad:

07.12.2010 EP 10450189

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

12.06.2014

73 Titular/es:

**KAPSCH TRAFFICOM AG (100.0%)
Am Europlatz 2
1120 Wien, AT**

72 Inventor/es:

**SMELY, DIETER;
WINKLER, JOSEF;
NAGY, OLIVER;
PAIER, ALEXANDER y
POVOLNY, ROBERT**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 467 192 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivos para determinar la distancia entre una radiobaliza y un dispositivo de vehículo

5 La presente invención se refiere a un método para determinar la distancia entre una radiobaliza y una unidad de a bordo que pasa por esta en un sistema de peaje viario, en el que por lo menos uno de los dos componentes, la radiobaliza y la unidad de a bordo, emite una señal con una curva conocida de su frecuencia en función del tiempo. La invención se refiere, adicionalmente, a una radiobaliza, a un conjunto y a una unidad de a bordo para implementar un método de este tipo.

10 En los sistemas de peaje viario basados en radiobaliza, por ejemplo, de acuerdo con la norma DSRC (*dedicated short-range communication*, comunicación de corto alcance dedicada), WAVE (*wireless access in a vehicle environment*, acceso inalámbrico en un entorno de vehículo) o ITS-G5 (*intelligent transport systems generation 5*, sistemas de transporte inteligentes, generación 5) de los institutos de normas CEN o ETSI, las unidades de a bordo (OBU, *onboard unit*) portadas por los vehículos se comunican con radiobalizas geográficamente distribuidas a través de transmisión radioeléctrica de corto alcance tan pronto como estas pasan por las mismas. La comunicación radioeléctrica, en general, sirve para ubicar el vehículo en el área de cobertura radioeléctrica de la radiobaliza con el fin de aplicar el cargo por el uso de ubicaciones o también simplemente para transmitir datos de peaje generados por la OBU a las radiobalizas en su ruta.

20 A menudo, es deseable determinar la distancia a la que un vehículo pasa por una radiobaliza, por ejemplo, para penalizar las infracciones de peaje en el caso de las carreteras de múltiples carriles: cuando múltiples vehículos que se desplazan uno junto a otro en diferentes carriles pasan por la radiobaliza y una de sus comunicaciones radioeléctricas indica una infracción de peaje, por ejemplo, un cargo de tasa de peaje fallido, un saldo inadecuado de una cuenta de cargo, una OBU defectuosa o ajustada de manera incorrecta etc., o se debe calcular un importe de tasas o peaje dependiente del carril (carril de múltiples ocupantes), es esencial entonces conocer cuál de los vehículos que se desplazan uno junto a otro es responsable para poder identificarlo, por ejemplo, de manera visual *in situ* o en una prueba fotográfica de la sección de carretera de la baliza.

30 En la actualidad se conocen diversos métodos de determinación de la distancia. Una solución es el uso de múltiples antenas de recepción físicamente desplazadas en la radiobaliza para determinar las posiciones de las OBU en el campo de recepción radioeléctrica a partir de mediciones de diferencias de fase entre las señales de OBU que se reciben por las antenas individuales. Otra solución se conoce a partir de la patente de los Estados Unidos 5.790.052 y se basa en mediciones por efecto Doppler de las diferentes velocidades relativas de una OBU en relación con las antenas de recepción físicamente desplazadas de una radiobaliza para determinar la relación de las distancias con respecto a las dos antenas de recepción a partir de la relación de los valores medidos de velocidad. Por último, también sería posible el uso de una radiobaliza separada con un alcance de cobertura radioeléctrica bajo para cada carril. La totalidad de estas soluciones conocidas son extensivas, sobre todo debido a que estas están basadas en múltiples antenas de recepción.

40 El fin que establece la invención es proporcionar métodos y dispositivos para determinar la distancia entre una OBU y una radiobaliza en un sistema de peaje viario, que requiera un menor gasto en equipo para la conversión que las soluciones conocidas.

45 El presente fin se consigue en un primer aspecto de la invención con un método del tipo que se ha mencionado en lo que antecede, que se distingue por las etapas:

50 recibir la señal en el otro de los dos componentes durante el paso y el registro de la curva de su frecuencia en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;
 detectar un cambio en la curva de frecuencia registrada que supera un primer valor umbral;
 buscar dos regiones lejanas en la curva de frecuencia que se encuentran antes y después del cambio detectado en el tiempo que muestran un cambio de frecuencia por debajo de un segundo valor umbral;
 ajustar a escala la curva de frecuencia registrada de una forma tal que las regiones lejanas adoptan unos valores predeterminados; y
 55 determinar dicha distancia a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala.

60 La invención hace uso de la circunstancia de que en el tiempo del paso directo, el cambio de frecuencia relacionado con el efecto Doppler de la señal de radiobaliza o de OBU es inversamente proporcional a la distancia normal entre la radiobaliza y la OBU, cuando la distancia es mínima, a condición de que la curva de frecuencia esté normalizada a la velocidad relativa entre la baliza y el vehículo. Esto último se consigue mediante la evaluación de la curva de frecuencia en "regiones lejanas": en estas regiones lejanas, la distancia de los componentes uno con respecto a otro en comparación con la distancia normal es muy grande y esta es despreciable y, por lo tanto, la magnitud del desplazamiento Doppler en ellas solo depende sustancialmente de la velocidad inherente y esta puede determinarse a partir del mismo. Además, la dependencia con la distancia normal y, por lo tanto, esta en sí misma, puede determinarse a partir del análisis de la curva de frecuencia compensada por la velocidad inherente en la región cercana de la baliza en la que tiene lugar el cambio ("salto Doppler") más grande de la curva de frecuencia. Como

resultado, la distancia de paso puede determinarse solo a partir de la comunicación radioeléctrica entre la OBU y la radiobaliza con un único receptor y una única antena.

5 La curva de frecuencia ajustada a escala puede evaluarse en el alcance cercano mediante análisis de señal de una amplia diversidad de maneras. De acuerdo con una primera realización de la invención, dicha distancia se determina a partir del gradiente la curva de frecuencia ajustada a escala en un punto de inflexión de la misma. El gradiente en el punto de inflexión es inversamente proporcional a la distancia de paso y puede determinarse de manera simple, por ejemplo, por diferenciación.

10 De acuerdo con una realización alternativa de la invención, dicha distancia se determina a partir de un valor de frecuencia de la curva de frecuencia ajustada a escala que se encuentra entre un punto de inflexión de la curva de frecuencia ajustada a escala y una región lejana. En un punto de este tipo, que se encuentra tanto a una distancia con respecto al punto de inflexión como a una distancia con respecto a las regiones lejanas, el valor de frecuencia de la curva de frecuencia ajustada a escala es, en sí mismo, una dimensión significativa para la distancia: cuanto más alto sea el valor de frecuencia, más corta será la distancia de paso, y viceversa. Este criterio hace innecesaria una diferenciación de la curva de frecuencia; no obstante, debido a que la proporcionalidad es no lineal, una tabla de conversión es, en general, ventajosa para determinar la distancia de paso.

20 Una realización alternativa más es que dicha distancia se determina a partir de una integral de la curva de frecuencia ajustada a escala a lo largo de una sección que se encuentra entre un punto de inflexión de la misma y una región lejana. La integral de la curva de frecuencia ajustada a escala también es un criterio significativo para la distancia de paso. Por lo tanto, los valores de frecuencia de la curva de frecuencia ajustada a escala pueden integrarse, por ejemplo, entre el punto de inflexión y una de dichas regiones lejanas, y la integral ("el área bajo la curva") es una dimensión - aunque no lineal - para la distancia de paso: cuando más alta sea la integral, más corta será la distancia de paso, y viceversa. Una vez más, es ventajosa una tabla para la conversión de la proporcionalidad no lineal entre la integral y la distancia de paso.

30 El método de la invención puede realizarse en ambas direcciones entre la radiobaliza y la OBU, es decir, tanto en la OBU sobre la base de una evaluación de una señal de la radiobaliza como en la radiobaliza sobre la base de una evaluación de una señal de la OBU, o también en ambos componentes de forma simultánea. Por lo tanto, en una primera realización de la invención, la señal se emite por la radiobaliza y se recibe por la unidad de a bordo, en el que dichas etapas de registrar, detectar, buscar, ajustar a escala y determinar se llevan a cabo por la unidad de a bordo, como resultado de lo cual una unidad de a bordo puede determinar su distancia de paso con respecto a una radiobaliza.

35 La señal que se emite por la radiobaliza no ha de emitirse necesariamente de manera continua, preferiblemente también puede emitirse de manera intermitente y la curva de frecuencia se procesa de forma discreta en el tiempo para puntos de tiempo, en los que se recibe la señal. Como resultado, pueden determinarse valores de exploración discretos en el tiempo de la curva de frecuencia; si hay suficientes valores de exploración a unos intervalos de tiempo lo bastante cortos, la distancia puede determinarse a partir de los mismos con suficiente precisión.

45 La presente realización es particularmente adecuada para el caso de aplicación en el que la señal está formada por una señal de solicitud repetida de la radiobaliza, que pide a las unidades de a bordo que pasan que respondan. Si, por ejemplo, el sistema de peaje viario funciona de acuerdo con la norma CEN-DSRC o WAVE o ITS-G5 y, en consecuencia, la radiobaliza tiene un transceptor de CEN-DSRC, de WAVE o de ITS-G5, dicha señal intermitente puede ser un mensaje de Tabla de Servicios de Baliza (BST, *Beacon Service Table*) que se emite de manera periódica por la radiobaliza de acuerdo con la norma CEN-DSRC o un Anuncio de Servicio de WAVE (WSA, *WAVE Service Announcement*) de acuerdo con la norma WAVE o ITS-G5.

50 Una variante particularmente preferida de la presente realización se distingue por que la tasa de repetición de la señal de solicitud se pone en correspondencia de manera adaptativa con un valor medido por lo menos aproximado de la distancia entre la radiobaliza y la unidad de a bordo. Como resultado, puede obtenerse una resolución temporal más alta y, por lo tanto, el número de valores de exploración de las curvas de frecuencia en las proximidades del salto Doppler de interés, lo que aumenta la precisión de la determinación de distancia.

55 De una forma particularmente preferida, la distancia entre la radiobaliza y la unidad de a bordo puede determinarse aproximadamente a partir de la intensidad de señal recibida de la señal de respuesta de la unidad de a bordo que se recibe en la radiobaliza, lo que hace innecesario un sensor de medición de distancia separado.

60 En una realización alternativa, el método puede realizarse en la radiobaliza con el fin de determinar la distancia de las unidades de a bordo que pasan mediante la señal que se está emitiendo por la unidad de a bordo y que se está recibiendo por la radiobaliza, en el que dichas etapas de registrar, detectar, buscar, ajustar a escala y determinar se llevan a cabo por la radiobaliza.

65 De forma similar, en la presente realización la señal no ha de estar necesariamente presente de manera continua, sino que puede emitirse de manera intermitente y la curva de frecuencia puede procesarse de forma discreta en el

tiempo para puntos de tiempo, en los que se recibe la señal. Por ejemplo, la señal puede estar formada por una secuencia de señales de respuesta de la unidad de a bordo, que se dan respectivamente como respuesta a una señal de solicitud repetida de la radiobaliza. En dichas normas CEN-DSRC y WAVE o ITS-G5, tales señales de solicitud repetidas de la radiobaliza pueden ser mensajes de BST o de WSA o también meros mensajes de “eco”, que se emiten por una radiobaliza para indicar a una unidad de a bordo que meramente repita un mensaje, por ejemplo, para fines de prueba.

De forma similar, en la presente realización la tasa de repetición de la señal de solicitud puede ponerse en correspondencia de manera adaptativa con un valor medido por lo menos aproximado de la distancia entre la radiobaliza y la unidad de a bordo, lo que aumenta la precisión de la determinación del gradiente en el punto de inflexión y, por lo tanto, la determinación de distancia. Esto es particularmente preferido si la intensidad de señal recibida de la señal de la unidad de a bordo que se recibe en la radiobaliza y que se evalúa para la determinación de distancia se usa directamente para la determinación de distancia aproximada, de tal modo que no es necesario sensor de medición de distancia separado alguno para este fin.

En una tercera variante, tanto la radiobaliza como la unidad de a bordo pueden determinar respectivamente su distancia con respecto al otro componente respectivo de la manera que se ha esbozado; preferiblemente por lo menos uno de los componentes, la radiobaliza y la unidad de a bordo, transmite la distancia que ha determinado al otro de los dos componentes, que compara la distancia así recibida con la distancia que ha determinado por sí mismo para fines de verificación.

Preferiblemente, el carril de carretera de una carretera de múltiples carriles, en el que el vehículo se está moviendo, se determina entonces a partir de la distancia. Como resultado, las infracciones de peaje pueden ponerse en correspondencia de manera inequívoca con un carril de carretera y el vehículo o vehículos que se encuentran en el mismo, en el caso de vehículos que pasan en paralelo.

Si la determinación de carril de carretera tiene lugar en la unidad de a bordo, por ejemplo, con el fin de calcular un peaje dependiente del carril de carretera, entonces la información de carril de carretera también puede transmitirse de la unidad de a bordo a la radiobaliza y puede realizarse una verificación cruzada de la información de carril de carretera por dicha radiobaliza frente a una distancia que esta ha determinado por sí misma o frente a un carril de carretera que esta ha determinado por sí misma. En el presente caso, la determinación de distancia de la radiobaliza puede llevarse a cabo tanto de una forma convencional, por ejemplo, por medio de sensores de medición de distancia convencionales, como de la forma que se presenta en el presente caso. La determinación de distancia se realiza preferiblemente en la radiobaliza con menor precisión que en la unidad de a bordo, particularmente preferida con tasas de exploración reducidas, debido a que esto es suficiente para fines de verificación. El caso inverso también es posible y puede ser beneficioso si, por ejemplo, la determinación de distancia puede llevarse a cabo de manera más precisa en la radiobaliza que con los componentes optimizados en cuanto al coste en la unidad de a bordo, los cuales tienen una menor potencia de cálculo.

El desplazamiento Doppler que se evalúa con el método de la invención puede medirse a cualquier frecuencia deseada de la señal, ya sea esta una frecuencia de portadora o, preferiblemente, una frecuencia de modulación de la misma. Se entiende que la frecuencia de modulación es una frecuencia de cualquier modulación deseada de la señal de OBU, ya sea esta una modulación en amplitud o en frecuencia simple, una de las frecuencias de modulación de una modulación de OFDM, o también una modulación por impulsos o por ráfagas tal como tiene lugar como resultado de transferencias periódicas de bloques de datos enteros; una tasa de repetición de bloques de este tipo también puede considerarse como una frecuencia de modulación, el desplazamiento de frecuencia de Doppler de la cual puede medirse.

El método de la invención es adecuado para todos los tipos de sistemas de peaje viario basados en radiobaliza. El método es particularmente adecuado para los sistemas de peaje viario de CEN-DSRC y de WAVE o de ITS-G5, en los que un transmisor de CEN-DSRC o de WAVE o de ITS-G5 de la unidad de a bordo se usa para emitir la señal. También son posibles otras configuraciones que usan tecnología de RFID, o también cualesquiera tecnologías radioeléctricas celulares (por ejemplo, GSM, UMTS, LTE) y de corto alcance (por ejemplo, Bluetooth, WLAN).

En un segundo aspecto, la invención también proporciona una radiobaliza para un sistema de peaje viario para determinar la distancia de un vehículo que pasa por esta, que está equipado con una unidad de a bordo, que emite una señal con una curva conocida de su frecuencia en función del tiempo, radiobaliza que se distingue por:

- un receptor, que está configurado para recibir la señal de un vehículo que pasa;
- una memoria conectada con el receptor, que está configurada para registrar la curva de la frecuencia de la señal recibida en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;
- un detector, que está conectado con la memoria y está configurado para detectar un cambio en la curva de frecuencia registrada que supera un primer valor umbral;
- un primer dispositivo de evaluación, que está conectado con el detector y la memoria y está configurado para buscar dos regiones lejanas en la curva de frecuencia que se encuentran antes y después del cambio detectado en el tiempo que muestran un cambio de frecuencia por debajo de un segundo valor umbral;

un dispositivo de ajuste a escala, que está conectado con la memoria y el primer dispositivo de evaluación y está configurado para ajustar a escala la curva de frecuencia registrada de una forma tal que las regiones lejanas adoptan unos valores predeterminados; y

5 un segundo dispositivo de evaluación, que está conectado después del dispositivo de ajuste a escala y está configurado para determinar la distancia a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala.

La radiobaliza puede estar dispuesta tanto para estar fija en una carretera como también para ser móvil, por ejemplo, montada en un vehículo de control del sistema de peaje viario.

10 En un tercer aspecto, la invención proporciona un conjunto para determinar el carril de carretera de un vehículo que pasa con una unidad de a bordo en una carretera de múltiples carriles, que comprende

15 por lo menos dos radiobalizas del tipo que se propone en el presente caso, que se encuentran aproximadamente al mismo nivel a una distancia una con respecto a otra en un plano normal con respecto a la dirección longitudinal a la carretera y determinan respectivamente su distancia con respecto a la unidad de a bordo, y un tercer dispositivo de evaluación, que está conectado con las radiobalizas y recibe sus distancias determinadas, selecciona la distancia más corta a partir de estas y determina el carril de carretera a partir de la misma.

20 El conjunto de acuerdo con la invención está basado en el conocimiento de que la precisión de la distancia determinada por medio de análisis de salto Doppler - a condición de que no sea tan pequeño que la resolución temporal para la correcta captura de la curva de frecuencia en la región de salto de interés haya dejado de ser suficiente - es más alta para las distancias más pequeñas que para las distancias más grandes.

25 Si se usan unas radiobalizas móviles montadas en un vehículo de control, las dos radiobalizas del conjunto pueden estar montadas preferiblemente a cada lado del vehículo de control, de tal modo que estas se encuentran a una distancia una con respecto a otra pueden identificar con claridad los vehículos que pasan a ambos lados del vehículo de control debido a sus diferentes distancias con respecto a las dos radiobalizas.

30 En un cuarto aspecto, la invención proporciona un conjunto para determinar el carril de carretera de un vehículo que pasa con una unidad de a bordo en una carretera de múltiples carriles, que comprende

35 por lo menos dos radiobalizas del tipo que se propone en el presente caso, que se encuentran en un plano normal con respecto a la dirección longitudinal a la carretera a una distancia una con respecto a otra y determinan respectivamente su distancia con respecto a la unidad de a bordo, y un tercer dispositivo de evaluación, que está conectado con las radiobalizas y recibe sus distancias determinadas y determina el carril de carretera por triangulación a partir de la posición de las radiobalizas, su distancia una con respecto a otra y las distancias determinadas.

40 Con un conjunto de este tipo de acuerdo con la invención, por ejemplo, también pueden usarse radiobalizas dispuestas por encima de la carretera, por ejemplo, en una viga de puente que cruza la carretera, y el carril de carretera respectivo puede determinarse por triangulación a partir de sus distancias determinadas.

45 En un quinto aspecto, la invención proporciona una unidad de a bordo (OBU) para un sistema de peaje viario para determinar la distancia con respecto a una radiobaliza del sistema de peaje viario, que emite una señal con una curva conocida de su frecuencia en función del tiempo, que se distingue por un receptor, que está configurado para recibir la señal de una radiobaliza;

50 una memoria conectada con el receptor, que está configurada para registrar la curva de la frecuencia de la señal recibida en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;

un detector, que está conectado con la memoria y está configurado para detectar un cambio en la curva de frecuencia registrada que supera un primer valor umbral;

55 un primer dispositivo de evaluación, que está conectado con el detector y la memoria y está configurado para buscar dos regiones lejanas en la curva de frecuencia que se encuentran antes y después del cambio detectado en el tiempo que muestran un cambio de frecuencia por debajo de un segundo valor umbral;

un dispositivo de ajuste a escala, que está conectado con la memoria y el primer dispositivo de evaluación y está configurado para ajustar a escala la curva de frecuencia registrada de una forma tal que las regiones lejanas adoptan unos valores predeterminados; y

60 un segundo dispositivo de evaluación conectado después del dispositivo de ajuste a escala, que está configurado para determinar la distancia a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala.

Con respecto a características y ventajas adicionales de la radiobaliza, el conjunto y la unidad de a bordo de acuerdo con la invención, se hace referencia a las declaraciones anteriores con respecto al método.

65 La invención se explicará con más detalle en lo sucesivo sobre la base de realizaciones a modo de ejemplo preferidas con referencia a los dibujos adjuntos:

la figura 1 es una vista en planta esquemática de una radiobaliza en una carretera de múltiples carriles que muestra las relaciones geométricas durante el paso de dos vehículos;
 la figura 2 muestra curvas de frecuencia de las señales de dos vehículos cuando pasan por la radiobaliza;
 la figura 3 muestra las curvas de frecuencia de la figura 2 después de ajustarse a escala;
 la figura 4 muestra las diferenciales de las curvas de frecuencia ajustadas a escala de la figura 3;
 la figura 5 es un diagrama de bloques de la radiobaliza o la unidad de a bordo de acuerdo con la invención;
 las figuras 6 y 7 muestran métodos de evaluación alternativos para las curvas de frecuencia ajustadas a escala de la figura 3;
 las figuras 8a y 8b muestran variantes del segundo dispositivo de evaluación de la radiobaliza o la unidad de a bordo de la figura 5 para implementar los métodos de las figuras 6 y 7;
 la figura 9 muestra una variante de la invención sobre la base de unas señales que se emiten de manera intermitente y unas curvas de frecuencia correspondientemente intermitentes;
 las figuras 10 a 13 muestran diferentes realizaciones de conjuntos de acuerdo con la invención para la determinación de carril de carretera en carreteras de múltiples carriles usando múltiples radiobalizas de la invención tanto en una vista en planta (las figuras 10 y 11) como en una vista lateral que se observa en la dirección de la carretera (las figuras 12 y 13);
 la figura 14 muestra una radiobaliza de acuerdo con la invención montada en un vehículo de control; y
 la figura 15 muestra un conjunto con dos radiobalizas de acuerdo con la invención montadas en un vehículo de control.

La figura 1 muestra un sistema de peaje viario 1 que comprende una pluralidad de radiobalizas 2 geográficamente distribuidas (solo se muestra una para su representación), que conectan con una unidad de control central (que no se muestra) del sistema de peaje viario 1 a través de unas conexiones de datos 3. Las radiobalizas 2 están instaladas respectivamente en una carretera 4 que puede comprender múltiples calzadas o carriles 5, 6.

Por ejemplo, la radiobaliza 2 consiste en un ordenador local 7, un (transmisor/) receptor 8 y una cámara 9, la cual - accionada por el ordenador 7 - puede registrar imágenes de la carretera 4 con sus carriles 5, 6 para penalizar las infracciones de peaje.

El (transmisor/) receptor 8 sirve para llevar a cabo unas comunicaciones radioeléctricas 10 con las unidades de a bordo o las OBU 11 que se portan por los vehículos 12 que pasan por la radiobaliza 2 en los carriles de carretera 5, 6. Las comunicaciones radioeléctricas 10 son, en general, conexiones de paquetes de datos bidireccionales. Un análisis de las señales enviadas por las OBU 11 al (transmisor/) receptor 8 de la radiobaliza 2 es suficiente en una primera realización de la invención y, por lo tanto, en lo sucesivo solo se describirá la OBU 11 que envía las señales 10 al receptor 8 de la radiobaliza 2. Las señales 10 en el sentido opuesto también se analizarán en las realizaciones que se explican en lo sucesivo.

Se entiende que la radiobaliza 2 no ha de ser necesariamente fija, sino que esta misma también puede portarse por un vehículo, por ejemplo, por un vehículo de control 2', que en tráfico en movimiento pasa por vehículos 12 con OBU 11 o se ve pasado por estos, véanse las realizaciones de las figuras 14 y 15 que se explican posteriormente.

Los vehículos 12 con las OBU 11 se mueven en los carriles 5, 6 a diferentes velocidades v_1 , v_2 más allá de la radiobaliza 2, de manera más precisa su receptor 8, a diferentes distancias de paso o normales a_1 , a_2 . En el presente caso, las señales 10 que se emiten por las OBU 11 se someten respectivamente a desplazamientos Doppler dependientes de la frecuencia de acuerdo con la fórmula conocida

$$f_D = \frac{f_s}{1 - \frac{v}{c}} \quad (1)$$

en la que

f_s - frecuencia de transmisión de la señal 10 de la OBU 11

f_D - frecuencia de recepción desplazada por efecto Doppler de la señal 10 en la radiobaliza 2 si la OBU 11 se moviera hacia la misma de manera frontal a la misma;

v - velocidad de la OBU 11; y

c - velocidad de la luz.

Si la OBU 11 se mueve más allá de la radiobaliza 2 a una distancia a , la ecuación (1) puede escribirse por medio de consideraciones geométricas

$$f_B \equiv \cos \left[\arctan \left(\frac{a}{x} \right) \right] f_D \quad (2)$$

en la que

a - distancia vertical de la OBU 11 con respecto a la radiobaliza 2 en el sistema de coordenadas de la figura 1;

- x - distancia horizontal de la OBU 11 con respecto a la radiobaliza 2 en el sistema de coordenadas de la figura 1; suponiendo una velocidad constante v o v_1, v_2 de las OBU 11, la distancia horizontal también se corresponde de forma simultánea con el tiempo t ; y
- f_B - frecuencia de recepción desplazada por efecto Doppler de la señal 10 en la radiobaliza 2 cuando la OBU 11 se está moviendo más allá de la misma a la distancia a .

La figura 2 muestra dos curvas a modo de ejemplo de la frecuencia de recepción f_B en relación con la distancia horizontal x o el tiempo t . La línea continua 13 muestra la curva de frecuencia de recepción para la OBU 11 en el carril 5 y la línea discontinua 14 muestra la misma para la OBU 11 en el carril 6. Tal como puede verse, el desplazamiento de frecuencia relacionado con el efecto Doppler $\pm\Delta f_1, \pm\Delta f_2$ en las "regiones lejanas" 15, 16 de las curvas de frecuencia 13, 14 mucho antes y después de una región 17 de máximo cambio $f_B' = \partial f_B / \partial \Delta t$ es pequeño, es decir, el cambio de frecuencia f_B' se encuentra por debajo de un umbral de significación ϵ en las regiones lejanas 15, 16.

Por lo tanto, en las regiones lejanas 15, 16 (y naturalmente también más fuera de estas) la magnitud del desplazamiento Doppler $\pm\Delta f$ apenas sigue siendo dependiente de la distancia de paso a y, en su lugar, depende casi exclusivamente de la velocidad v . Por lo tanto, el efecto de la velocidad v del vehículo sobre las curvas de frecuencia 13, 14 puede eliminarse mediante el ajuste a escala de estas de tal modo que las mismas adoptan respectivamente el mismo valor en las regiones lejanas 15, 16, por ejemplo, un valor predeterminado $\pm\Delta F$.

La figura 3 muestra el resultado de tal ajuste a escala, en el que las curvas de frecuencia registradas 13, 14 se han ajustado a escala ("normalizado") de tal modo que las mismas adoptan los valores predeterminados $\pm\Delta F$ en las regiones lejanas 15, 16.

Por lo tanto, las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' son más dependientes de la relación a/x , es decir, la distancia de paso a con respecto a la distancia horizontal x o con respecto al tiempo t , de acuerdo con lo sucesivo

$$f_B \equiv \cos \left[\arctan \left(\frac{a}{x} \right) \right] f_s \quad (3)$$

Tal como puede verse a partir de la figura 3, las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' difieren particularmente con claridad en su gradiente $f_B' = \partial f_B / \partial \Delta t$ en la ubicación $x = t = 0$, en la que su curva al mismo tiempo muestra un punto de inflexión 20: cuanto más grande sea la distancia de paso a , "más desgastada" estará la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14', es decir, más bajo será el gradiente f_B' en el punto de inflexión 20. Por lo tanto, la distancia de paso a es inversamente proporcional al gradiente f_B' , es decir,

$$\frac{1}{a} \equiv \lim_{x \rightarrow 0} f_B'(x) \quad (4)$$

El gradiente f_B' en el punto de inflexión 20 puede determinarse por diferenciación de las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14', y el resultado de la diferenciación se muestra en la figura 4.

Con el conocimiento de la anchura de carril b_1, b_2 de los carriles 5, 6 - el carril 5, 6 respectivo en el que la OBU 11 se encontraba durante la transmisión de su señal 10 puede determinarse entonces a partir de las distancias de paso a_1, a_2 determinadas de esta forma. A menudo, también es suficiente una comparación relativa simple de las distancias de paso a_1, a_2 para determinar la secuencia local de los vehículos.

Hasta ahora se ha supuesto que la frecuencia de transmisión f_s de la señal 10 de la OBU 11 es constante, es decir, su propia curva en función del tiempo es una curva constante. No obstante, también es posible que la OBU 11 transmita una señal 10 con una curva de frecuencia de transmisión que sea no constante en el tiempo, por ejemplo, en el caso de unas comunicaciones radioeléctricas con salto de frecuencia, en las que cambia de manera constante la frecuencia de transmisión f_s - de acuerdo con un patrón predeterminado o conocido. Las curvas de frecuencia de recepción registradas 13, 14 se registran en relación con la curva conocida anterior de la frecuencia de transmisión f_s de la OBU 11 en función del tiempo, ya sea esta constante o cambiante, es decir, se normaliza a o se pone en relación con estas, de tal modo que puede compensarse el efecto de cambios conocidos en la frecuencia de transmisión de la OBU 11.

Por lo tanto, el método para determinar la distancia de paso a de las OBU 11 que pasan por la radiobaliza 2 está configurado tal como sigue:

En primer lugar, la curva de frecuencia 13, 14 de la señal 10 de la OBU 11 se representa gráficamente en relación con el tiempo $t (= x)$ - basándose posiblemente, de manera relativa, en una curva conocida anterior de la frecuencia

de transmisión f_s en función del tiempo. A continuación, la región 17 se determina de manera aproximada en la curva de frecuencia 13, 14 en la que de hecho tiene lugar un cambio significativo, es decir, $\partial f_B / \partial \Delta t$ supera un umbral de detección σ ("primer umbral") predeterminado. Esto sirve para obtener un punto de referencia temporal para buscar las dos regiones lejanas 15, 16 que han de encontrarse antes y después del cambio 17 y estar tan retiradas que no tenga lugar cambio de frecuencia $\partial f_B / \partial \Delta t$ significativo adicional en estas, es decir, se encuentra por debajo del umbral de significación ε ("segundo umbral") predeterminado.

Con el conocimiento de las regiones lejanas 17, 18 y los desplazamientos Doppler $\pm \Delta f_1$, $\pm \Delta f_2$ que tienen lugar en las mismas (que también puede considerarse que son cuasi-constantes debido a que su cambio no supera el umbral de significación ε), las curvas de frecuencia 13, 14 pueden ajustarse entonces a escala de tal modo que estas adoptan respectivamente el mismo valor predeterminado $\pm \Delta F$ en sus regiones lejanas 15, 16.

Se busca entonces el punto de inflexión 20 en las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14'. Para esto, se busca la ubicación x o el tiempo t en las curvas de frecuencia en las que la frecuencia de recepción f_B adopta o bien el valor medio de frecuencia (la "mitad") entre las regiones lejanas "cuasi-constantes" 15, 16 o bien - si la frecuencia nominal de la señal 10 de la OBU en reposo 11 es conocida - adopta esta frecuencia nominal. El punto de inflexión 20 puede determinarse de ambas maneras, es decir, tanto antes del ajuste a escala en las curvas de frecuencia 13, 14 como después del ajuste a escala en las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14'.

Después de determinar el punto de inflexión 20, el gradiente f_B' ($x = t = 0$) de las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' en el punto de inflexión 20 puede determinarse a continuación (véase la figura 4) y la distancia de paso a o a_1 , a_2 puede determinarse a partir del mismo, tal como se ha explicado en lo que antecede.

La figura 5 muestra una configuración de soporte físico a modo de ejemplo de la radiobaliza 2 para llevar a cabo el método que se esboza. En conexión con el receptor 8, la radiobaliza 2 tiene una memoria 21, en la que se registran las curvas de frecuencia de tiempo 13, 14 de las señales recibidas 10. Un detector 22 conectado con la memoria 21 detecta la región de cambio 17 ($\partial f_B / \partial \Delta t > \sigma$) e introduce esta información 17 en un primer dispositivo de evaluación 23. El primer dispositivo de evaluación 23 determina las regiones lejanas 15, 16 de las curvas de frecuencia 13, 14 con $\partial f_B / \partial \Delta t < \varepsilon$ a partir de la misma y, con esta información 15, 16, acciona un dispositivo de ajuste a escala 24 que ajusta a escala las curvas de frecuencia 13, 14 a las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14'. Estas últimas se introducen en un segundo dispositivo de evaluación 25 en la forma de un diferenciador, el cual calcula el gradiente $f_B'(0) = \partial f_B / \partial \Delta t$ en la ubicación $x = t = 0$ de su punto de inflexión 20 con el fin de determinar las distancias de paso a_1 , a_2 a partir del mismo.

Los componentes 21 - 25 pueden implementarse, por ejemplo, por el ordenador local 8 de la radiobaliza 2.

Las figuras 6 y 7 muestran unas realizaciones alternativas del método que se ha esbozado hasta el momento, que difieren en la etapa de determinar la distancia de paso a a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14': tal como se ha explicado en lo que antecede, a pesar de que la evaluación del gradiente f_B' de la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14' en el punto de inflexión 20 es un criterio particularmente significativo para la distancia de paso a , en lugar de este también pueden evaluarse otros parámetros de análisis de señal de la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14'.

La figura 6 muestra una primera variante, en la que los valores de frecuencia $f_{B,1}$ o $f_{B,2}$ de las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' se evalúan en una ubicación $x = t$ que se encuentra *entre* el punto de inflexión 20 ($x = t = 0$) y una de las regiones lejanas 15, 16, es decir, $f_{B,1}(\Delta t)$ o $f_{B,2}(\Delta t)$. La ubicación $\Delta x = \Delta t$ puede seleccionarse, por ejemplo, a medio camino entre el punto de inflexión 20 y una de las regiones lejanas 15 o 16.

Entonces, la distancia de paso a_1 , a_2 respectiva puede determinarse a partir del correspondiente valor de frecuencia $f_{B,1}(\Delta t)$ o $f_{B,2}(\Delta t)$: cuanto más alto sea el valor de frecuencia f_B en la ubicación predeterminada t , más pequeña será la distancia de paso a . El valor de frecuencia f_B de la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14' en relación con una distancia de paso específica a , puede determinarse en series de pruebas y almacenarse en una tabla o banco de datos, por ejemplo, a la que se accede entonces durante la medición con el fin de determinar la distancia de paso a respectiva a partir de un valor de frecuencia f_B .

La figura 8a muestra un segundo dispositivo de evaluación 25 de la radiobaliza 2 de la figura 5 modificado para esta. El segundo dispositivo de evaluación 25 no está configurado como un diferenciador en el presente caso, sino como un elemento de exploración, el cual simplemente extrae el valor de función f_B en la ubicación predeterminada t de la curva de frecuencia ajustada a escala 13', 14', en la que se selecciona la ubicación t entre el punto de inflexión 20 y una región lejana, por ejemplo, la región lejana 16.

La figura 7 muestra una posibilidad adicional para evaluar las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' mediante el cálculo de integrales de las mismas. Las integrales de las curvas de frecuencia ajustadas a escala 13', 14' desde el punto de inflexión 20 hasta una ubicación predeterminada $x = t$ se corresponden con las áreas $F_{B,1}$ para la curva de frecuencia ajustada a escala 13' o $F_{B,2}$ para la curva de frecuencia ajustada a escala 14' representadas

mediante sombreado en la figura 7. Tal como puede verse, las integrales $f_B(\Delta t)$ son diferentes dependiendo de la distancia de paso a . Cuanto más pequeña sea la distancia de paso a , más grande será la integral o el área F_B . Una vez más, por medio de series de pruebas para diferentes distancias de paso a , las áreas o integrales F_B que respectivamente aparecen, pueden determinarse y almacenarse previamente en una tabla o banco de datos de tal modo que la distancia de paso a respectivamente asociada puede determinarse posteriormente en la operación de medición a partir de un valor integral medido F_B .

En el presente caso, los límites de integración de las integrales F_B pueden seleccionarse respectivamente desde el punto de inflexión 20 ($x = t = 0$) hasta un punto $\Delta x = \Delta t$ entre el punto de inflexión 20 y una de las regiones lejanas 15, 16, o también desde el punto de inflexión 20 hasta una región lejana 15, 16. En lugar del punto de inflexión 20, también puede seleccionarse un punto separado con respecto al mismo y que se encuentra delante de una de las regiones lejanas 15, 16 como límite de integración inferior.

La figura 8b muestra una configuración a modo de ejemplo de un segundo dispositivo de evaluación 25 para la radiobaliza 2 de la figura 5, que está formado por un integrador. El integrador lleva a cabo la integración de las regiones de frecuencia puesta a escala 13', 14' entre dichos límites de integración, por ejemplo, el punto de inflexión 20 y una región lejana 16, para determinar la distancia de paso a_1, a_2 respectiva a partir de la misma - por ejemplo, sobre la base de una tabla de banco de datos.

En una realización más de la invención, la totalidad del método que se ha descrito hasta el momento para determinar la distancia a también puede realizarse en la OBU 11, es decir, sobre la base de una evaluación de las señales 10 que esta recibe a partir de la radiobaliza 2. En consecuencia, las figuras 5 y 8 muestran al mismo tiempo una configuración de soporte físico a modo de ejemplo de una OBU 11 para llevar a cabo esta variante de método y, en consecuencia, los componentes 7, 8, 21-25 son componentes internos de una OBU 11.

También es posible que tanto la radiobaliza 2 como la OBU 11 determinen la distancia con respecto al otro componente respectivo 11 o 2 de acuerdo con el método esbozado. Los receptores 8 de la baliza 2 y la OBU 11 pueden estar configurados entonces como transceptores y la radiobaliza 2 puede transmitir opcionalmente a la OBU 11 la distancia a que esta ha determinado y / o la OBU 11 puede transmitir opcionalmente a la radiobaliza 2 la distancia a que esta ha determinado para realizar una verificación cruzada con la distancia a respectivamente determinada allí.

De la misma manera, la radiobaliza 2 y la OBU 11 también pueden intercambiar o impartir una información específica que está basada en la distancia a determinada y se refiere al carril de carretera 5, 6 respectivo, en el que se encuentra el vehículo 12 con la OBU 11. La información en relación con el carril de carretera 5, 6 es útil, por ejemplo, si ha de aplicarse el cargo de un peaje dependiente del carril de carretera o ha de penalizarse un uso no autorizado de un carril de carretera: los así denominados "carriles de HOT" (carriles de peaje de alta ocupación, *high occupancy toll*) están reservados, por ejemplo, para vehículos con un número específico mínimo de ocupantes (los así denominados vehículos de alta ocupación, VAO), si bien también pueden usarse por vehículos con menos ocupantes previo pago por ejemplo, de un peaje dependiente del número de ocupantes (cargo de HOT). Si la propia OBU 11 determina el carril de carretera 5, 6 como base para el cálculo de un cargo de HOT y comunica este a la radiobaliza 2, esta puede verificar el cálculo correcto del cargo de HOT por medio de su propia medición de distancia.

La figura 9 muestra una variante más de los métodos, las radiobalizas y las OBU que se esbozan, en la que la señal 10 no está presente de manera continua o constante durante la totalidad del intervalo de tiempo del paso de interés en el presente caso, sino de manera intermitente, es decir, interrumpida por unos huecos 26 - debido a la división de la comunicación radioeléctrica en unos paquetes de datos $10_1, 10_2, 10_3$ etc., en general 10_i . La frecuencia de recepción f_B de la señal 10 en el interlocutor de comunicación de recepción respectivo, ya sea la radiobaliza 2 o la OBU 11, solo puede registrarse, por lo tanto, en instantes discretos, de tal modo que las curvas de frecuencia 13, 14 se cuantifican de forma discreta en el tiempo (se exploran temporalmente) para dar los valores de exploración $27_1, 27_2, 27_3$ etc., en general 27_i .

Se entiende que la diferencial f_B' de una secuencia discreta de este tipo de los valores de exploración 27_i puede determinarse de manera muy simple por medio de técnicas de cálculo a partir de los gradientes de las líneas de conexión entre dos valores de exploración consecutivos respectivos, como se conoce en la técnica y, en consecuencia, el gradiente f_B' en el punto de inflexión 20 se corresponde aproximadamente con el gradiente entre los dos valores de exploración $27'$ que encierran el punto de inflexión 20, lo que también simplifica la estructura del diferenciador 25 en consecuencia.

Debido a que la realización "no interrumpida" de las figuras 1 a 4 cuando se implementa con un sistema de procesador temporizado de manera convencional, por ejemplo, de acuerdo con las figuras 5 y 8, también representa un sistema discreto en el tiempo con una tasa de exploración que se corresponde con las tasas de exploración de los 17 convertidores analógico / digital usados y las tasas de reloj de los procesadores usados, esto significa meramente una reducción en la precisión a la magnitud de una tasa de exploración reducida a los puntos de tiempo 27_i en comparación con las realizaciones que se han mencionado en lo que antecede. Si los puntos de tiempo 27_i se

establecen de manera correspondientemente cercana, resulta una tasa de exploración correspondientemente alta para las curvas de frecuencia 13, 14 cuantificadas de forma discreta en el tiempo que solo da lugar a una ligera reducción en la precisión en la determinación de la distancia a.

5 Las señales intermitentes 10 de la realización de la figura 9 pueden estar formadas, por ejemplo, por una secuencia de paquetes de datos 10_i, que se intercambian entre la radiobaliza 2 y la OBU 11 de acuerdo con la norma CEN-DSRC o WAVE o ITS-G5. De acuerdo con la norma de CEN-DSRC, por ejemplo, una radiobaliza 2 transmite de manera periódica los así denominados mensajes de Tabla de Servicios de Baliza (BST) para indicar a las OBU 11 que entran en su área de cobertura radioeléctrica que respondan. De una forma similar, de acuerdo con la norma
10 WAVE o ITS-G5, una radiobaliza 2 puede transmitir de manera repetida los así denominados mensajes de Anuncio de Servicio de WAVE (WSA), que pueden recogerse por las OBU que pasan 11. Cada mensaje de BST o de WSA de la radiobaliza 2 forma entonces un paquete de datos 10_i de una secuencia, que puede evaluarse como una señal 10 por la OBU 11 de la forma que se describe.

15 A la inversa, una radiobaliza 2 puede evaluar transmisiones de datos repetidas de una OBU 11 como una señal 10. Debido a que, de acuerdo con la norma CEN-DSRC y WAVE o ITS-G5, los OBU 11, en general, solo responden tras petición por una radiobaliza 2, preferiblemente la radiobaliza 2 transmite una señal de solicitud repetida de manera periódica para esto que pide respectivamente una respuesta de una OBU 11, por ejemplo, una secuencia periódica de mensajes de BST o de WSA o de los así denominados mensajes de "eco", que se repiten por una OBU 11. De
20 esta manera, puede darse lugar a que las OBU 11 transmitan de manera repetida unos paquetes de datos 10_i, que pueden evaluarse en la radiobaliza 2 de la manera que se ha esbozado con el fin de determinar la distancia a.

En una realización a modo de ejemplo con una radiobaliza 2, el área de cobertura radioeléctrica de la cual, observada en la dirección de marcha de la carretera 4, se extiende aproximadamente 20 m delante y 20 m detrás de la baliza, es decir, tiene una longitud de aproximadamente 40 m, y con un intervalo de tiempo de los paquetes de
25 datos 10_i de aproximadamente 10 ms, que se corresponde con una tasa de transmisión de paquetes de datos de aproximadamente 100 Hz, una OBU 11 a una velocidad de desplazamiento de 10 km / h se encuentra en el área de cobertura radioeléctrica de la radiobaliza 2 durante aproximadamente 13 segundos, de tal modo que se transmiten 1300 paquetes de datos 10_i y, por lo tanto, pueden crearse 1300 valores de exploración 27_i de las curvas de frecuencia 13, 14. Aún pueden crearse aproximadamente 100 valores de exploración 27_i a una velocidad de desplazamiento de aproximadamente 130 km / h, lo que proporciona una resolución temporal adecuada de las curvas de frecuencia 13, 14 y, por lo tanto, una precisión adecuada de la determinación de la distancia a.

Si tanto la radiobaliza 2 como la OBU 11 determinan, cada una, la distancia a y la OBU 11 transmite a la radiobaliza 2 la distancia a que esta ha determinado para realizar una verificación cruzada, pueden proporcionarse diferentes tasas de exploración para las curvas de frecuencia 13, 14 también en la baliza 2, por un lado, y la OBU 11, por el otro, en particular puede proporcionarse una tasa de exploración reducida en la parte de la baliza 2 debido a que esta es suficiente para la validación de la distancia a comunicada por la OBU 11.

40 Una posibilidad adicional es poner en correspondencia de manera adaptativa la tasa de repetición f_A de los paquetes de datos 10' con la distancia

$$e = \sqrt{a^2 + x^2}$$

45 entre la radiobaliza 2 y la OBU 11, es decir, de tal modo que la tasa de repetición se aumenta a medida que la distancia e disminuye y se disminuye a medida que aumenta la distancia e, es decir,

$$f_A \equiv \frac{1}{e} .$$

50 Como resultado, puede conseguirse una resolución temporal o tasa de exploración más alta de los valores de exploración 27_i en las proximidades del salto Doppler de interés, lo que es beneficioso para la precisión de la determinación del punto de inflexión 20 y el gradiente f_B' en el punto de inflexión 20 y, por lo tanto, la distancia a.

55 La distancia e puede determinarse por medio de o bien un sensor de medición de distancia separado en la radiobaliza 2 o bien la OBU 11; o, preferiblemente, de manera aproximada a partir de un valor medido RSSI (la indicación de intensidad de señal recibida) de la señal 10 en el transceptor 8 de la radiobaliza 2 o la propia OBU 11, es decir,

$$f_A \equiv RSSI .$$

60 Cuando se usan mensajes de BST, de WSA o de eco de la radiobaliza 2, ya sea como paquetes de datos 10' de la radiobaliza 2 para la evaluación de la OBU 11 o para desencadenar unos paquetes de datos de respuesta 10'

correspondientes de la OBU 11 para la evaluación en la radiobaliza 2, puede hacerse que la tasa de repetición f_A varíe en ambas variantes como una función de la intensidad de señal recibida RSSI de los paquetes de datos de respuesta respectivos de la OBU 11.

5 Las figuras 10 a 13 y 15 muestran diferentes variantes de un conjunto 28 para determinar el carril de carretera 5, 6, 6' de una carretera de múltiples carriles 4 usado por los vehículos 12, conjunto que comprende múltiples radiobalizas 2 del tipo especificado. Las radiobalizas 2 pueden tener respectivamente sus propios ordenadores locales 7 o un ordenador local conjunto 7 y conectan una con otra a través de una red de datos local correspondiente (que no se muestra) y con el centro de control (que no se muestra) del sistema de peaje viario 1 a través de la conexión de datos 3.

10 La totalidad de las radiobalizas 2 del conjunto 28 se encuentra aproximadamente en el mismo plano normal 29 con respecto a la dirección longitudinal a la carretera x y pueden estar instaladas a aproximadamente la misma altura por encima de la carretera 4 (las figuras 10, 11, 12, 15) o a diferentes alturas (las figuras 13, 15), es decir, tanto en sentido lateral a ambos lados de la carretera 4 (la figura 10), como junto a o entre los carriles de carretera 5, 6, 6' (la figura 11), por encima de la carretera 4 en una viga de puente 30 que cruza la carretera 4 (la figura 12), en una combinación de los tipos de instalación tanto en sentido lateral como por encima de la carretera 4 (la figura 13) o en sentido lateral en un vehículo móvil 2' (la figura 15). Cada de las radiobalizas 2 determina su distancia a' , a'' , a''' respectiva con respecto a una OBU 11 que pasa en el plano normal 29. Las distancias a' , a'' y a''' así determinadas pueden evaluarse de diferentes formas - dependiendo de la disposición de las radiobalizas:

15 En esas realizaciones de las figuras 10, 11, 12 y 15, en las que se encuentran las radiobalizas 2 a aproximadamente la misma altura en relación con la carretera 4, el carril de carretera 5, 6, 6' respectivo puede determinarse directamente por medio de la radiobaliza 2 que mide la distancia más pequeña a' , a'' , a''' - si cada radiobaliza 2 tiene un carril de carretera 5, 6, 6' asociado.

20 No obstante, la mayoría de las radiobalizas 2 del conjunto 28 también puede usarse para aumentar la precisión de la determinación de distancia por que, de las múltiples radiobalizas y las distancias a' , a'' , a''' determinadas por las mismas, se usa para su evaluación adicional la distancia que es la más pequeña, por ejemplo, la distancia a' en las figuras 10, 11 y 2. Esto hace uso del efecto de que resolver las ecuaciones anteriores (1) - (4) en un ordenador de punto fijo decimal 7 conduce a un resultado más preciso cuando el gradiente f_B' no es demasiado plano, mientras que la distancia no cae por debajo de una distancia mínima a debido a la ubicación de instalación de la baliza 2, es decir, el gradiente f_B' no es tan pronunciado que ya no pudiera resolverse en un sistema discreto en el tiempo con un número suficiente de valores de distancia 27.

25 En una tercera variante, la pluralidad de radiobalizas 2 del conjunto 28 puede usarse para calcular la distancia transversal a y también, opcionalmente, la altura h de la OBU 11 por encima de la carretera 4 por medio de triangulación trigonométrica - con el conocimiento de las ubicaciones de instalación de las radiobalizas 2 y sus distancias 31 una con respecto a otra (las figuras 12, 13, 15).

30 La totalidad de dichas evaluaciones de la pluralidad de radiobalizas 2 puede llevarse a cabo, por ejemplo, en uno o más de los ordenadores 7 ("tercer dispositivo de evaluación").

35 La figura 14 muestra el uso de una radiobaliza 2 en un vehículo de control móvil 2' del sistema de peaje viario 1 y la figura 15 muestra el uso de dos radiobalizas 2 en forma de un conjunto 28. Por lo tanto, los vehículos 12 que pasan el vehículo de control 2' en diferentes carriles de carretera 5, 6, 6' pueden distinguirse uno de otro sobre la base de sus diferentes distancias de paso a_1 , a_2 . Si, de acuerdo con la figura 15, por lo menos dos radiobalizas 2 están instaladas en el vehículo de control 2' con una distancia 31 entre las mismas, por ejemplo, a ambos lados del vehículo de control 2', también puede determinarse sobre la base de las distancias de paso a_1 , a_2 medidas por las radiobalizas 2 individuales si un vehículo que pasa 12 se está desplazando más allá del vehículo de control 2' por la izquierda o por la derecha.

40 La invención no se limita a las realizaciones representadas, sino que cubre todas las variantes y modificaciones que caigan dentro del marco de las reivindicaciones adjuntas.

55

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para determinar la distancia (a) entre una radiobaliza (2) y una unidad de a bordo (11) que pasa por la baliza en un sistema de peaje viario (1), en el que por lo menos uno de los dos componentes, la radiobaliza (2) y la unidad de a bordo (11), emite una señal (10) con una curva conocida de su frecuencia (f_s) en función del tiempo, **caracterizado por** las etapas:
- 10 recibir la señal (10) en el otro de los dos componentes (2, 11) durante el paso y el registro de la curva (13, 14) de su frecuencia (f_B) en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;
- 10 detectar un cambio (17) en la curva de frecuencia registrada (13, 14) que supera un primer valor umbral (σ);
- 10 buscar dos regiones lejanas (15, 16) en la curva de frecuencia (13, 14) que se encuentran antes y después del cambio detectado (17) en el tiempo que muestran un cambio de frecuencia (f_B') por debajo de un segundo valor umbral (ϵ);
- 15 ajustar a escala la curva de frecuencia registrada (13, 14) de una forma tal que las regiones lejanas (15, 16) adoptan unos valores predeterminados ($\pm\Delta F$); y
- 15 determinar dicha distancia (a) a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14').
- 20 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha distancia (a) se determina a partir del gradiente (f_B') de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') en un punto de inflexión (20) de la misma.
- 20 3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha distancia (a) se determina a partir de un valor de frecuencia (f_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la curva de frecuencia ajustada a escala y una región lejana (15, 16).
- 25 4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha distancia (a) se determina a partir de una integral (F_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') a lo largo de una sección (Δt) que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la misma y una región lejana (15, 16).
- 30 5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la señal (10) es emitida por la radiobaliza (2) y es recibida por la unidad de a bordo (11), en el que dichas etapas de registrar, detectar, buscar, ajustar a escala y determinar las lleva a cabo la unidad de a bordo (11).
- 35 6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** la señal (10) se emite de manera intermitente y la curva de frecuencia (13, 14) se procesa de forma discreta en el tiempo para puntos de tiempo (27_i), en los que se recibe la señal (10).
- 40 7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** la señal (10) está formada por una señal de solicitud repetida ($10'$) de la radiobaliza (2), que pide a las unidades de a bordo que pasan (11) que respondan.
- 40 8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** la tasa de repetición (f_A) de la señal de solicitud ($10'$) se pone en correspondencia de manera adaptativa con un valor medido por lo menos aproximado de la distancia (e) entre la radiobaliza (2) y la unidad de a bordo (11), preferiblemente a la intensidad de señal recibida (RSSI) de una señal de respuesta de la unidad de a bordo (11) recibida en la radiobaliza (2).
- 45 9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** la señal (10) es emitida por la unidad de a bordo (11) y es recibida por la radiobaliza (2), en el que dichas etapas de registrar, detectar, buscar, ajustar a escala y determinar las lleva a cabo la radiobaliza (2).
- 50 10. Método de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** la señal (10) se emite de manera intermitente y la curva de frecuencia (13, 14) se procesa de forma discreta en el tiempo para puntos de tiempo (27_i), en los que se recibe la señal (10).
- 55 11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** la señal (10) está formada por una secuencia de señales de respuesta de la unidad de a bordo (11), que se pasan respectivamente a la radiobaliza (2) como respuesta a una señal de solicitud repetida.
- 60 12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por que** la tasa de repetición (f_A) de la señal de solicitud se pone en correspondencia de manera adaptativa con un valor medido por lo menos aproximado de la distancia (e) entre la radiobaliza (2) y la unidad de a bordo (11), preferiblemente a la intensidad de señal recibida (RSSI) de la señal (10) recibida en la radiobaliza (2).
- 65 13. Método que comprende un primer método de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 8 y un segundo método de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado por que** por lo menos uno de los dos componentes, la radiobaliza (2) y la unidad de a bordo (11), transmite la distancia (a) que ha determinado al otro de los dos componentes (11, 2), que compara la distancia (a) así recibida con la distancia (a) que ha determinado por sí mismo para fines de verificación.

14. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado por que** el carril de carretera (5, 6, 6') de una carretera de múltiples carriles (4), en el que el vehículo (12) se está moviendo, se determina a partir de la distancia (a).
- 5 15. Método de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 14, **caracterizado por que** la determinación del carril de carretera tiene lugar en la unidad de a bordo (11), **por que** una información en relación con el carril de carretera (5, 6, 6') determinado se transmite de la unidad de a bordo (11) a la radiobaliza (2), y **por que** la radiobaliza (2) realiza una verificación cruzada de la información de carril de carretera frente a una distancia (a) que ha determinado por sí misma.
- 10 16. Radiobaliza (2) para un sistema de peaje viario (1) para determinar la distancia (a) de un vehículo (12) que pasa por la radiobaliza, vehículo que está equipado con una unidad de a bordo (11), que emite una señal (10) con una curva conocida (13, 14) de su frecuencia (f_s) en función del tiempo, **caracterizada por:**
- 15 un receptor (8), que está configurado para recibir la señal (10) de un vehículo que pasa (12);
una memoria (21) conectada con el receptor, que está configurada para registrar la curva (13, 14) de la frecuencia (f_B) de la señal recibida (10) en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;
- 20 un detector (22), que está conectado con la memoria (21) y está configurado para detectar un cambio (17) en la curva de frecuencia registrada (13, 14) que supera un primer valor umbral (σ);
un primer dispositivo de evaluación (23), que está conectado con el detector (22) y la memoria (21) y está configurado para buscar dos regiones lejanas (15, 16) en la curva de frecuencia (13, 14) que se encuentran antes y después del cambio detectado (17) en el tiempo que muestran un cambio de frecuencia (f_B') por debajo de un segundo valor umbral (ϵ);
- 25 un dispositivo de ajuste a escala (24), que está conectado con la memoria (21) y el primer dispositivo de evaluación (23) y está configurado para ajustar a escala la curva de frecuencia registrada (13, 14) de una forma tal que las regiones lejanas (15, 16) adoptan valores predeterminados ($\pm\Delta F$); y
un segundo dispositivo de evaluación (25), que está conectado después del dispositivo de ajuste a escala (24) y está configurado para determinar la distancia (a) a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14').
- 30 17. Radiobaliza de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir del gradiente (f_B') de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') en un punto de inflexión (20) de la misma.
- 35 18. Radiobaliza de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir de un valor de frecuencia (f_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') y una región lejana (15, 16).
- 40 19. Radiobaliza de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir de una integral (F_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') a lo largo de una sección (Δt) que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la misma y una región lejana (15, 16).
- 45 20. Radiobaliza de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 19, **caracterizada por que** tiene un transmisor (8) para la emisión repetida de una señal de solicitud con el fin de pedir a las unidades de a bordo que pasan (11) que emitan respectivamente una señal de respuesta (10_i), señales de respuesta (10_i) que forman de manera intermitente dicha señal (10), en la que la radiobaliza (2) procesa la curva de frecuencia (13, 14) de forma discreta en el tiempo para puntos de tiempo (27_i), en los que se recibe la señal (10).
- 50 21. Radiobaliza de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizada por que** la tasa de repetición (f_A) de la señal de solicitud se pone en correspondencia de manera adaptativa con un valor medido por lo menos aproximado de la distancia (e) entre la radiobaliza (2) y la unidad de a bordo (11), preferiblemente a la intensidad de señal recibida (RSSI) de la señal (10) recibida en la radiobaliza (2).
- 55 22. Radiobaliza de acuerdo con las reivindicaciones 20 o 21, **caracterizada por que** el transmisor (8) es un transceptor de GEN-DSRC, de WAVE o de ITS-G5 y su señal de solicitud es un mensaje de Tabla de Servicios de Baliza o de Anuncio de Servicio de WAVE.
- 60 23. Radiobaliza de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 22, **caracterizada por que** está instalada en una carretera de múltiples carriles (4) y el diferenciador (25) está configurado para determinar el carril de carretera (5, 6, 6'), en el que el vehículo (12) se está moviendo, a partir de la distancia (a).
- 65 24. Radiobaliza de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 23, **caracterizada por que** está montada en un vehículo de control (2') del sistema de peaje viario (1).

25. Conjunto para determinar el carril de carretera (5, 6, 6') de un vehículo que pasa (12) con una unidad de a bordo (11) en una carretera de múltiples carriles (4), que comprende

5 por lo menos dos radiobalizas (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 24, que se encuentran en un plano normal (29) con respecto a la dirección longitudinal a la carretera (x) aproximadamente al mismo nivel a una distancia (31) una con respecto a otra y determinan respectivamente su distancia (a) con respecto a la unidad de a bordo (11), y
 10 un tercer dispositivo de evaluación (7), que está conectado con las radiobalizas (2) y recibe sus distancias determinadas (a', a'', a'''), selecciona la distancia más corta (a) a partir de estas y determina el carril de carretera (5, 6, 6') a partir de la misma.

26. Conjunto de acuerdo con las reivindicaciones 24 y 25, **caracterizado por que** las dos radiobalizas (2) están montadas respectivamente a un lado del vehículo de control (2').

15 27. Conjunto para determinar el carril de carretera (5, 6, 6') de un vehículo que pasa (12) con una unidad de a bordo (11) en una carretera de múltiples carriles (4), que comprende

20 por lo menos dos radiobalizas (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 24, que se encuentran en un plano normal (29) con respecto a la dirección longitudinal a la carretera (x) a una distancia (31) una con respecto a otra y determinan respectivamente su distancia (a', a'', a''') con respecto a la unidad de a bordo (11), y un tercer dispositivo de evaluación (7), que está conectado con las radiobalizas (2) y recibe sus distancias determinadas (a', a'', a''') y determina el carril de carretera (5, 6, 6') por triangulación a partir de la posición de las radiobalizas, su distancia (31) una con respecto a otra y las distancias determinadas (a', a'', a''').

25 28. Unidad de a bordo para un sistema de peaje viario para determinar la distancia (a', a'', a''') con respecto a una radiobaliza (2) del sistema de peaje viario (1), que emite una señal (10) con una curva conocida de su frecuencia en función del tiempo, **caracterizada por:**

30 un receptor (8), que está configurado para recibir la señal (10) de una radiobaliza (2);
 una memoria (21) conectada con el receptor (8), que está configurada para registrar la curva (13, 14) de la frecuencia (f_B) de la señal recibida (10) en función del tiempo en relación con la curva conocida en función del tiempo;
 un detector (22), que está conectado con la memoria (21) y está configurado para detectar un cambio (17) en la curva de frecuencia registrada (13, 14) que supera un primer valor umbral (σ);
 35 un primer dispositivo de evaluación (23), que está conectado con el detector (22) y la memoria (21) y está configurado para buscar dos regiones lejanas (15, 16) en la curva de frecuencia (13, 14) que se encuentran antes y después del cambio detectado (17) en el tiempo, que muestran un cambio de frecuencia (f_B') por debajo de un segundo valor umbral (ϵ);
 un dispositivo de ajuste a escala (24), que está conectado con la memoria (21) y el primer dispositivo de evaluación (23) y está configurado para ajustar a escala la curva de frecuencia registrada (13, 14) de una forma tal que las regiones lejanas (15, 16) adoptan unos valores predeterminados ($\pm\Delta F$); y
 40 un segundo dispositivo de evaluación (25) conectado después del dispositivo de ajuste a escala, que está configurado para determinar la distancia (a) a partir de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14').

45 29. Unidad de a bordo de acuerdo con la reivindicación 28, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir del gradiente (f_B') de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') en un punto de inflexión (20) de la misma.

50 30. Unidad de a bordo de acuerdo con la reivindicación 28, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir de un valor de frecuencia (f_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') y una región lejana (15, 16).

55 31. Unidad de a bordo de acuerdo con la reivindicación 28, **caracterizada por que** el segundo dispositivo de evaluación (25) está configurado para determinar dicha distancia (a) a partir de una integral (F_B) de la curva de frecuencia ajustada a escala (13', 14') a lo largo de una sección (Δt) que se encuentra entre un punto de inflexión (20) de la misma y una región lejana (15, 16).

60 32. Unidad de a bordo de acuerdo con una de las reivindicaciones 28 a 31, **caracterizada por que** procesa la curva de frecuencia (13, 14) de forma discreta en el tiempo para puntos de tiempo (27_i), en los que se recibe la señal (10).

65 33. Unidad de a bordo de acuerdo con una de las reivindicaciones 28 a 32, **caracterizada por que** el diferenciador (25) está configurado para determinar el carril de carretera (5, 6, 6') de una carretera de múltiples carriles (4), en el que se encuentra la unidad de a bordo (11), a partir de la distancia (a', a'', a''').

34. Unidad de a bordo de acuerdo con la reivindicación 33, **caracterizada por que** tiene un transmisor (8) y está

configurada para transmitir información en relación con el carril de carretera (5, 6, 6') determinado a una radiobaliza (2).

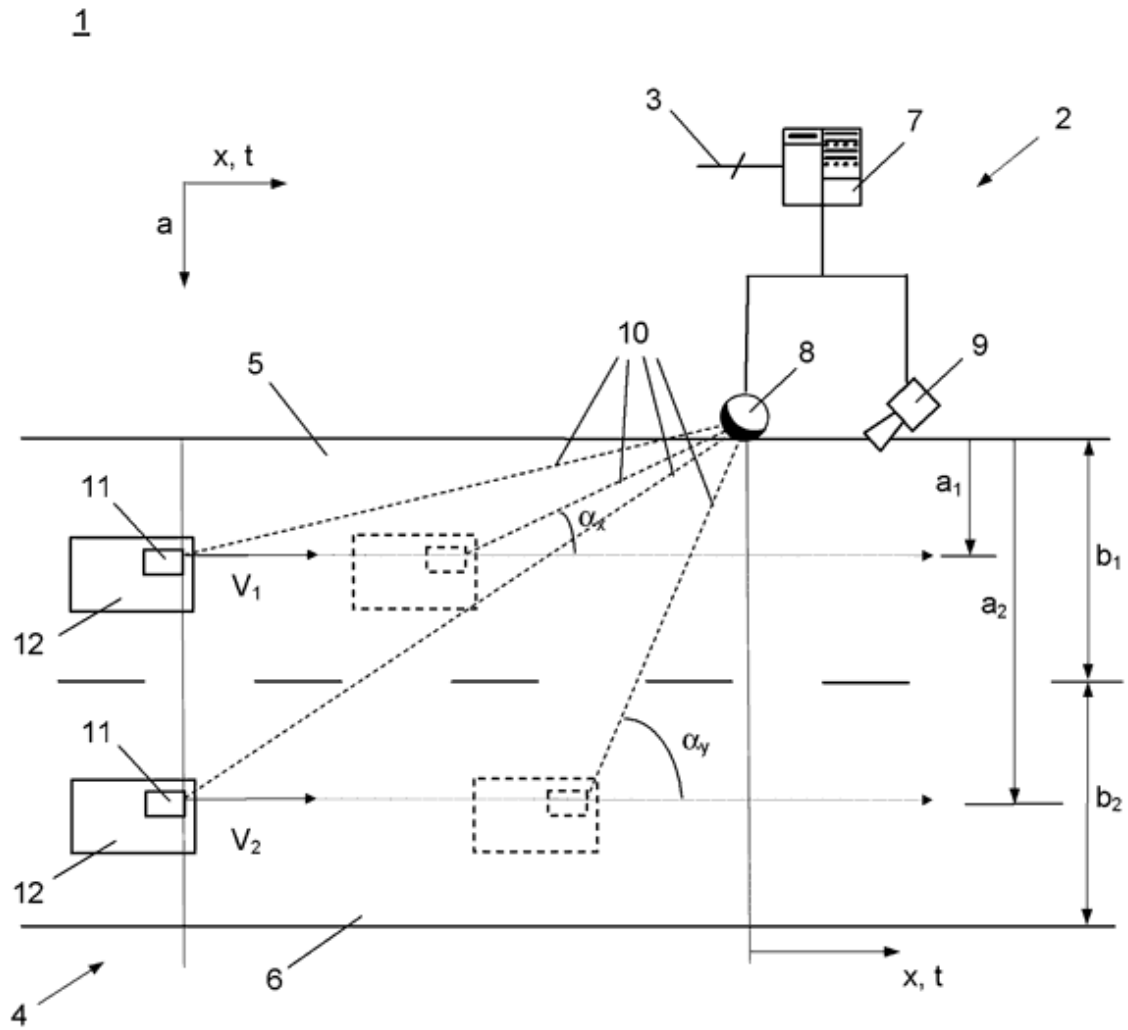


Fig. 1

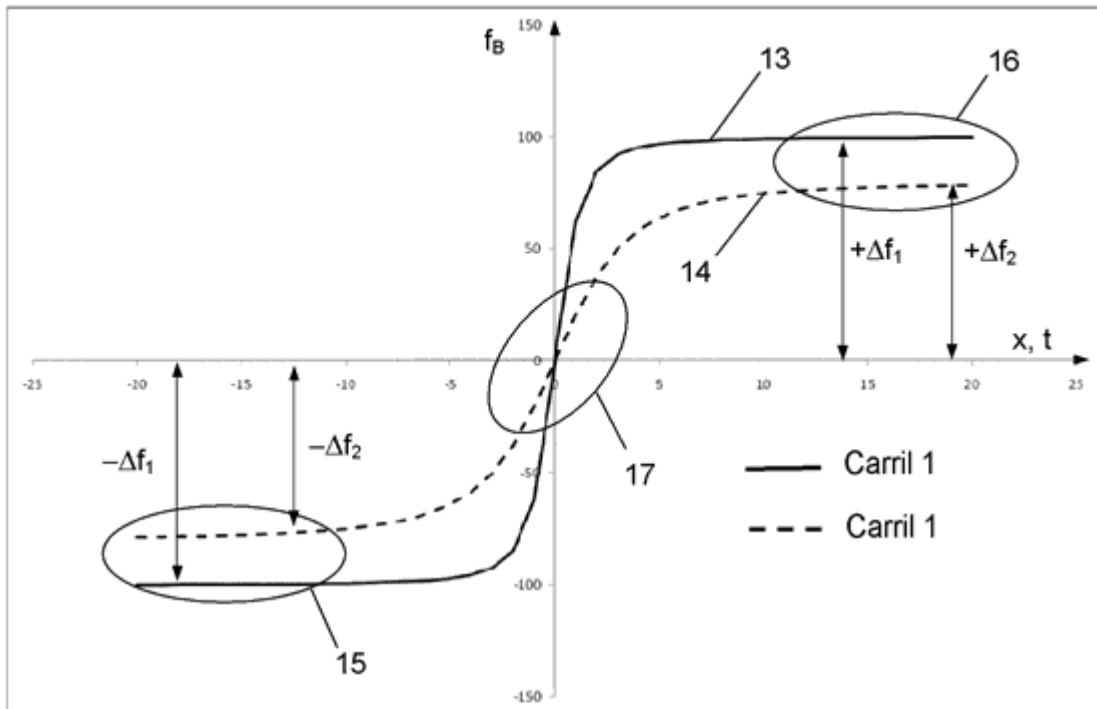


Fig. 2

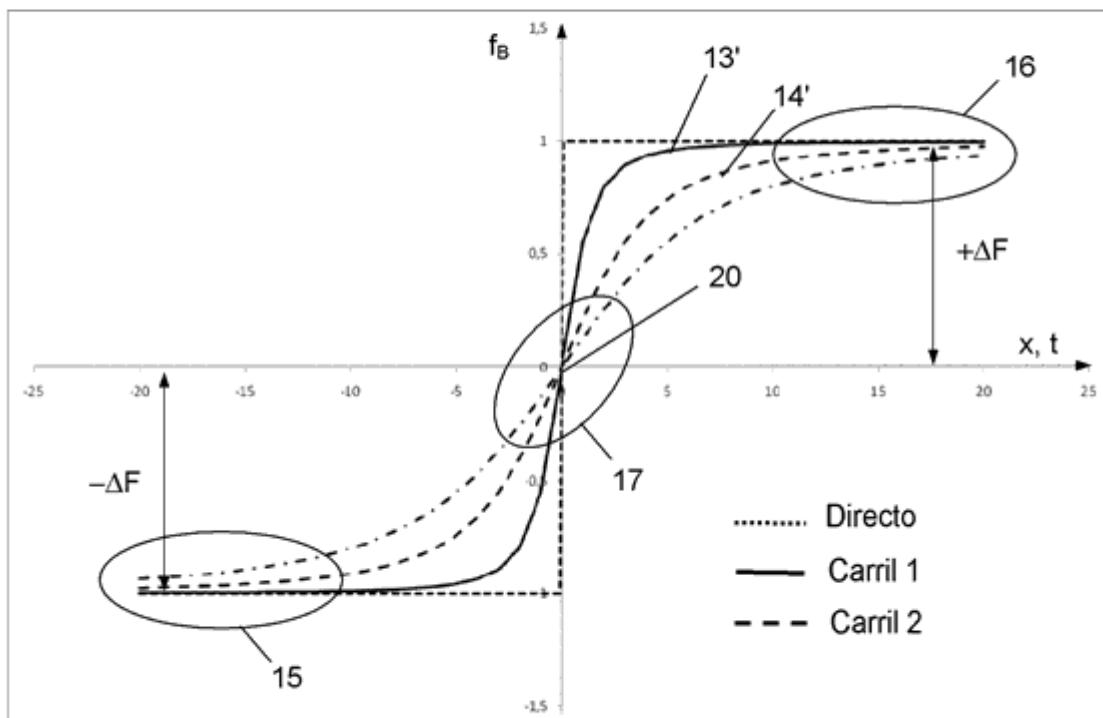


Fig. 3

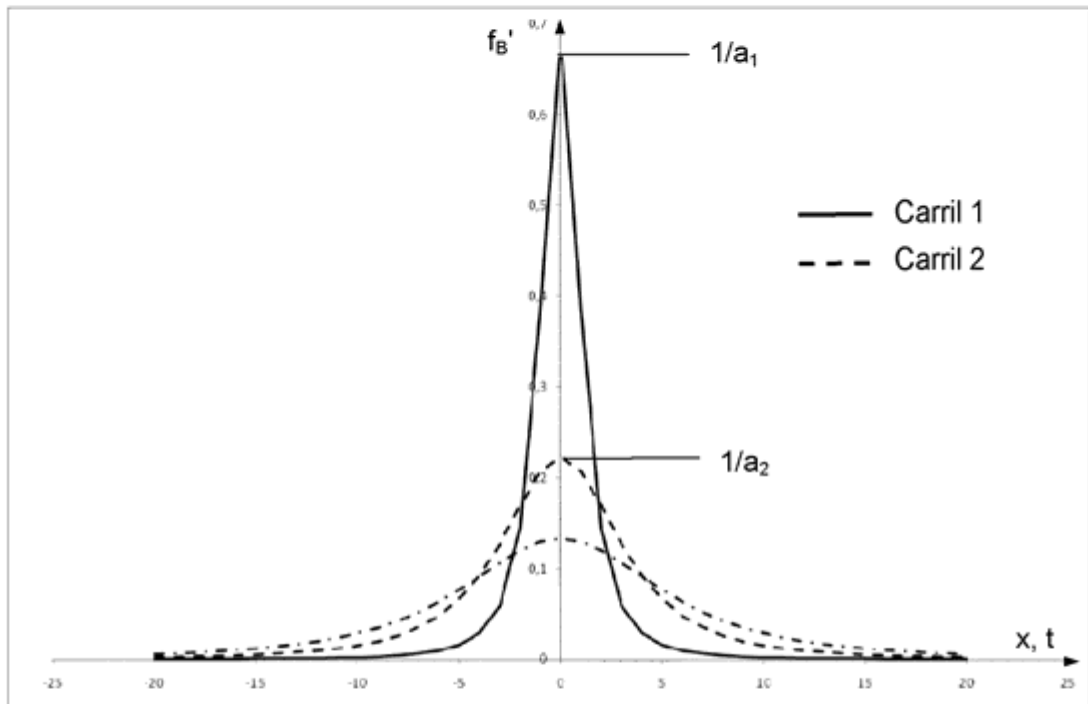


Fig. 4

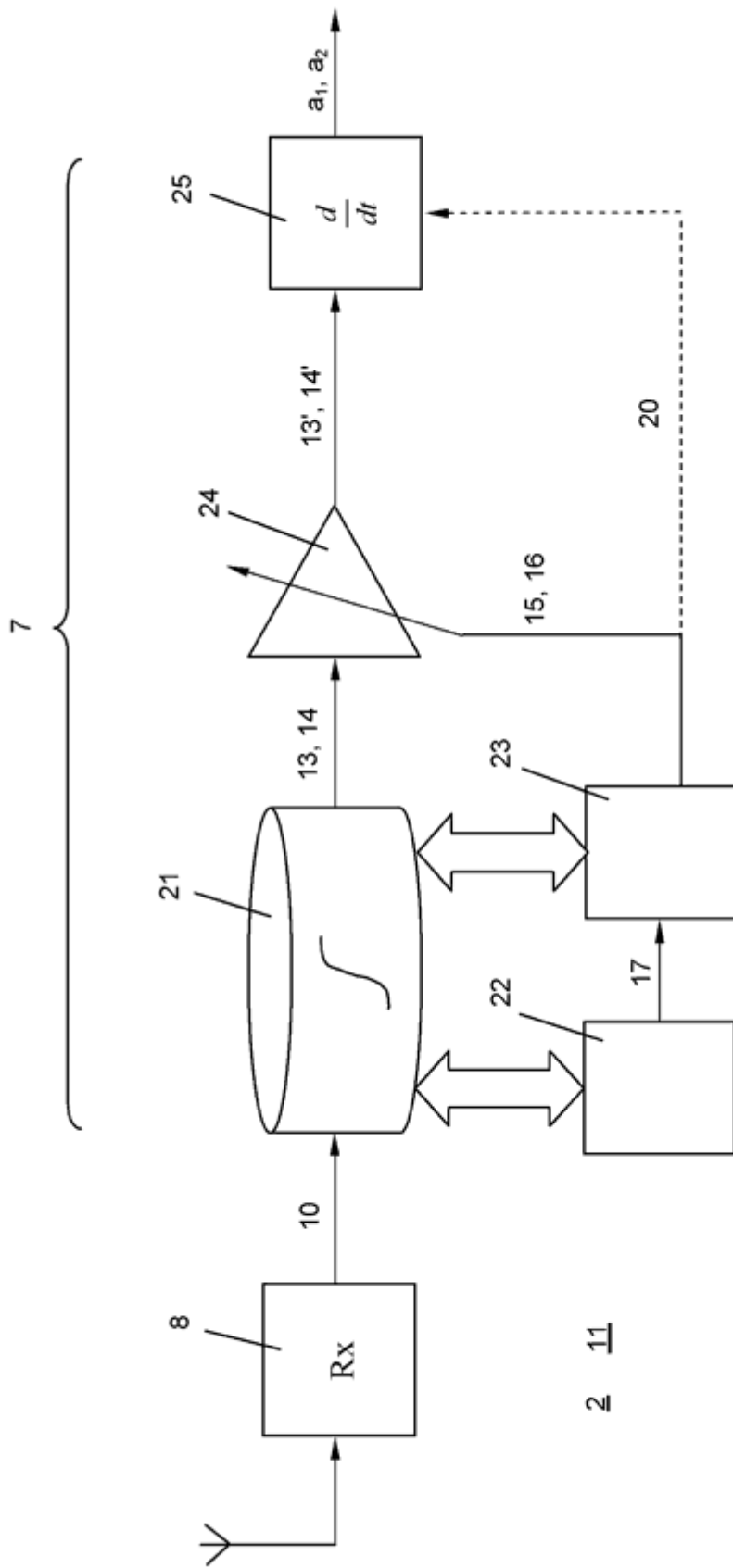


Fig. 5

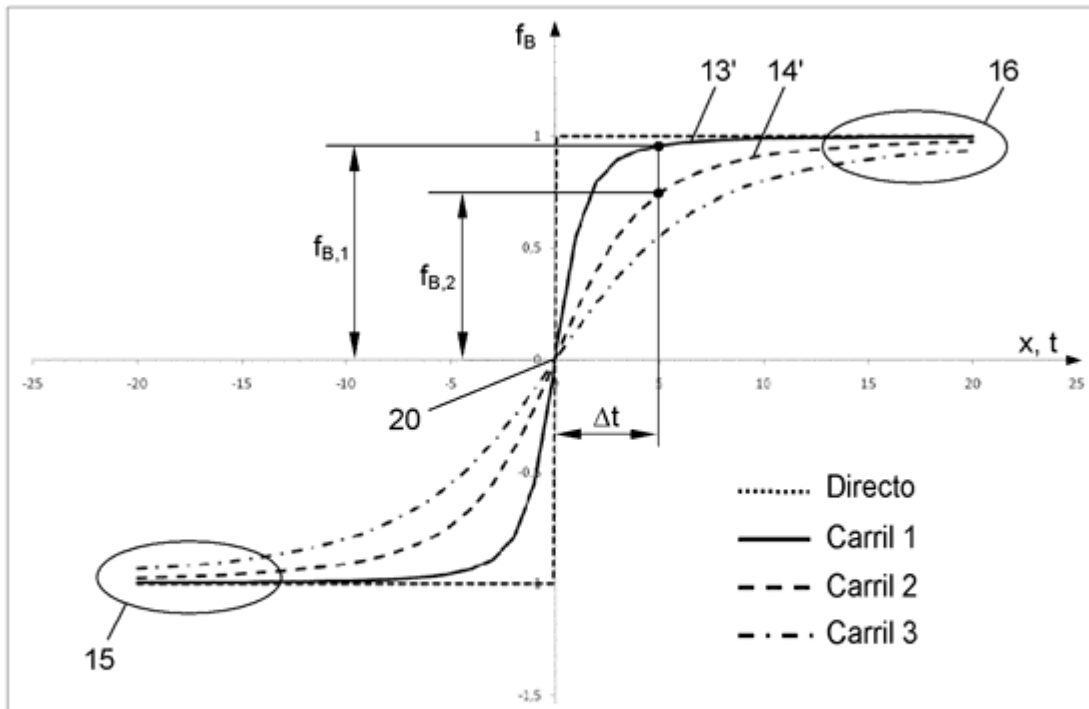


Fig. 6

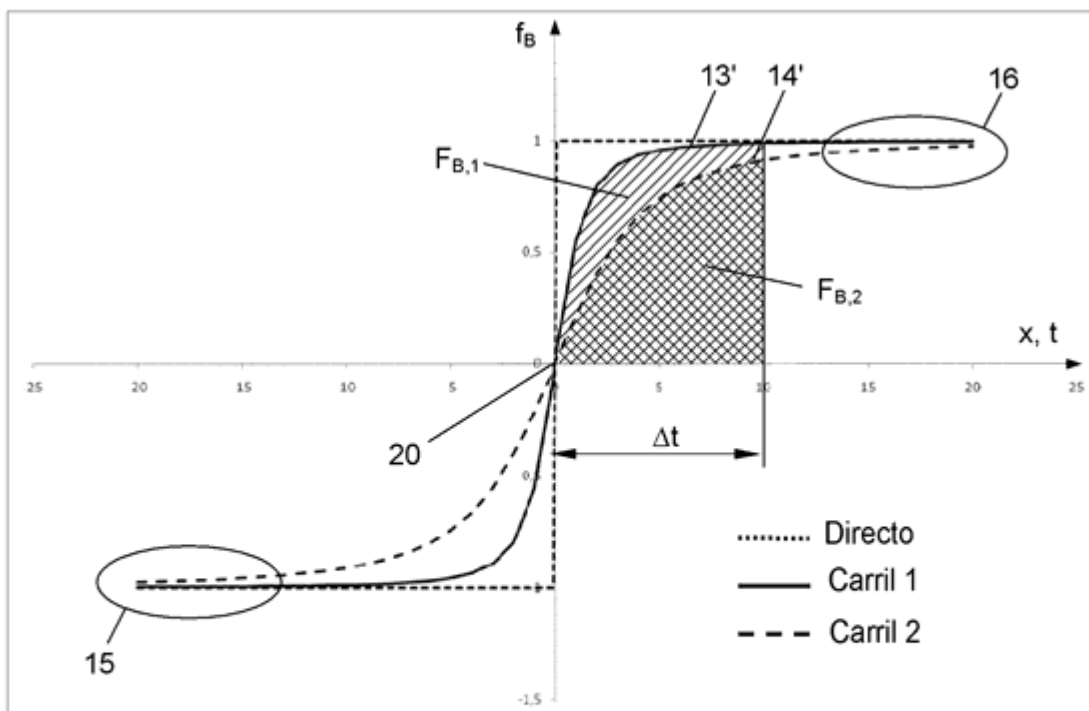


Fig. 7

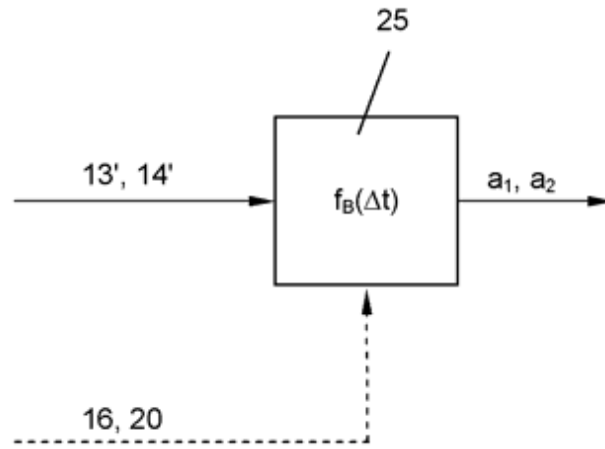


Fig. 8a

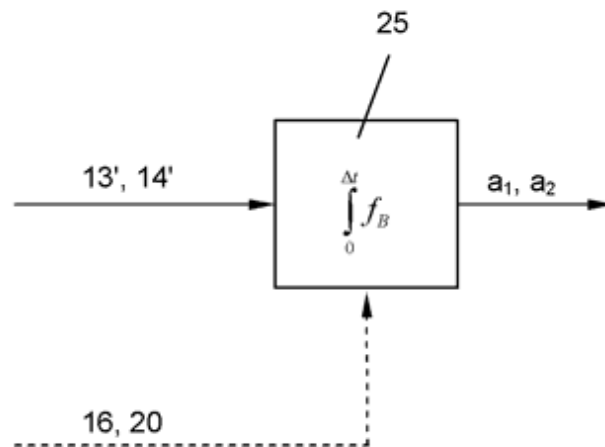


Fig. 8b

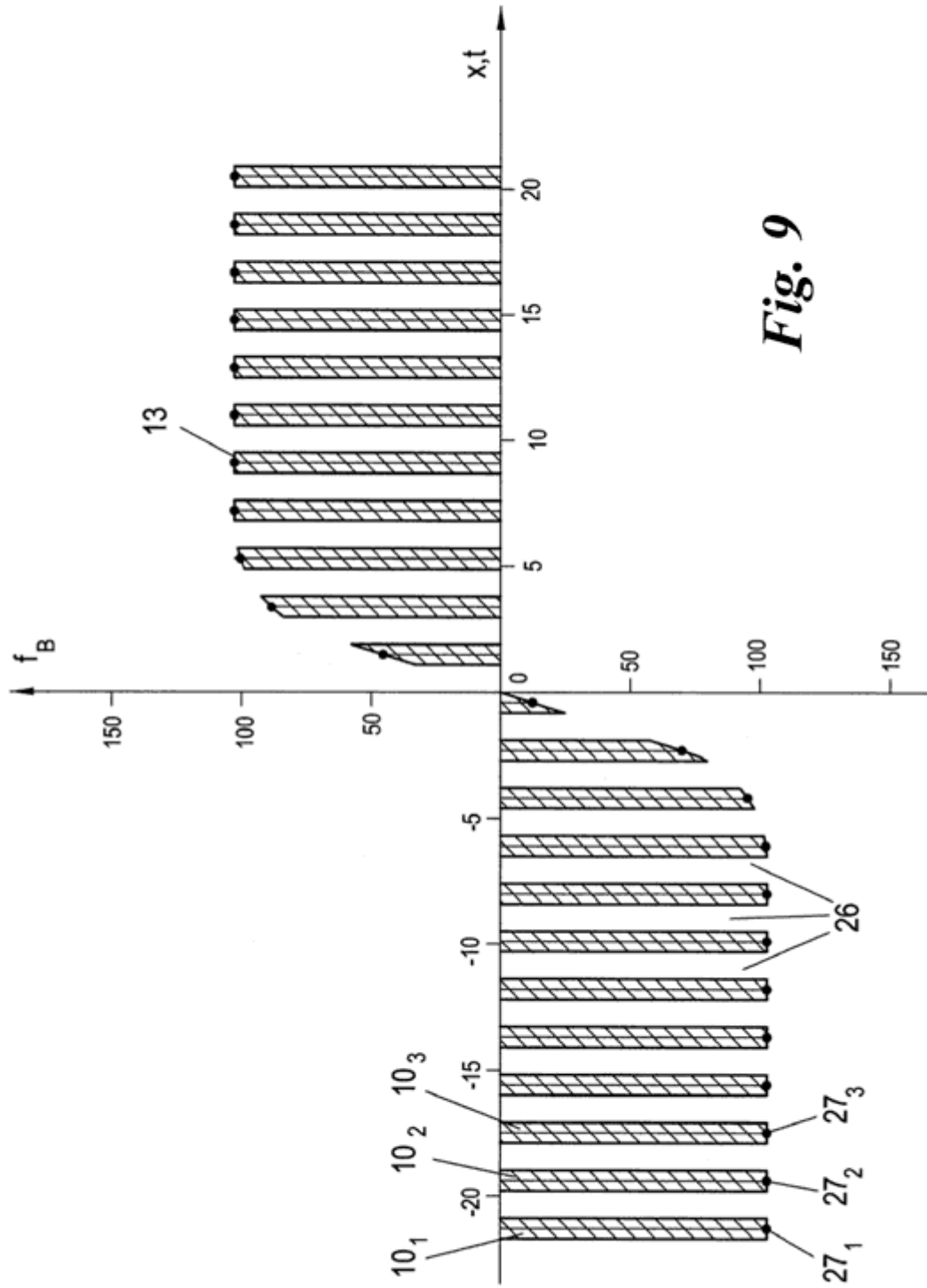


Fig. 9

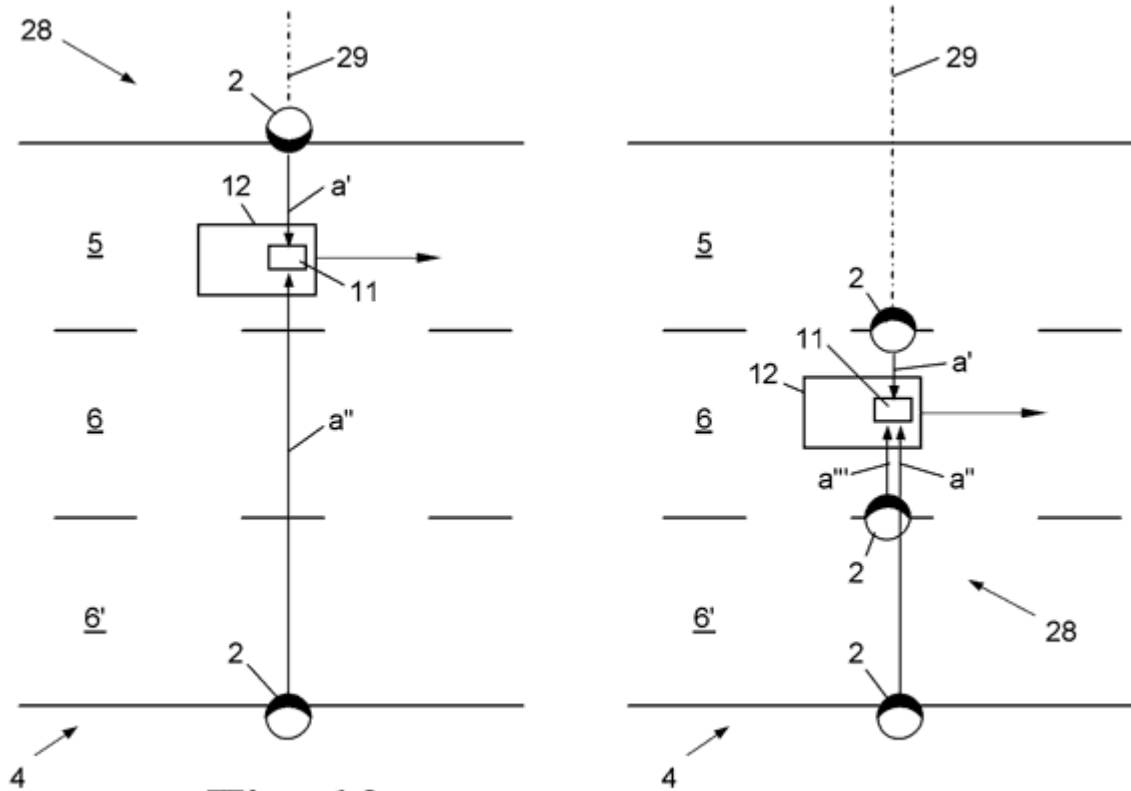


Fig. 10

Fig. 11

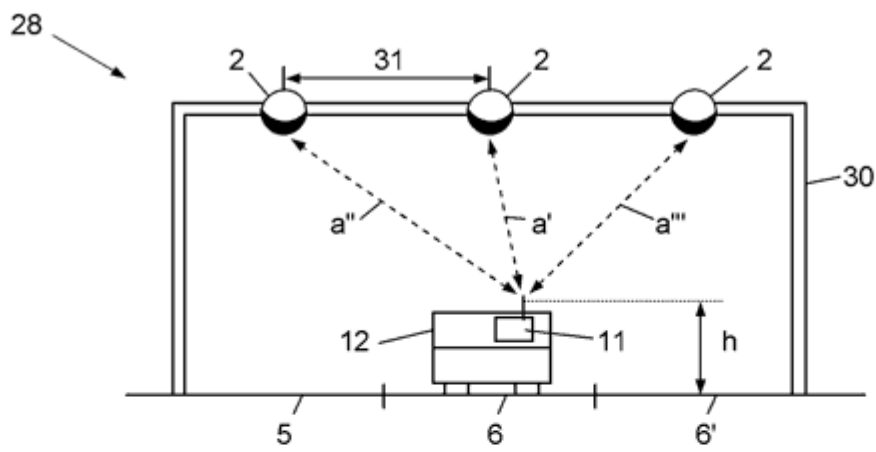


Fig. 12

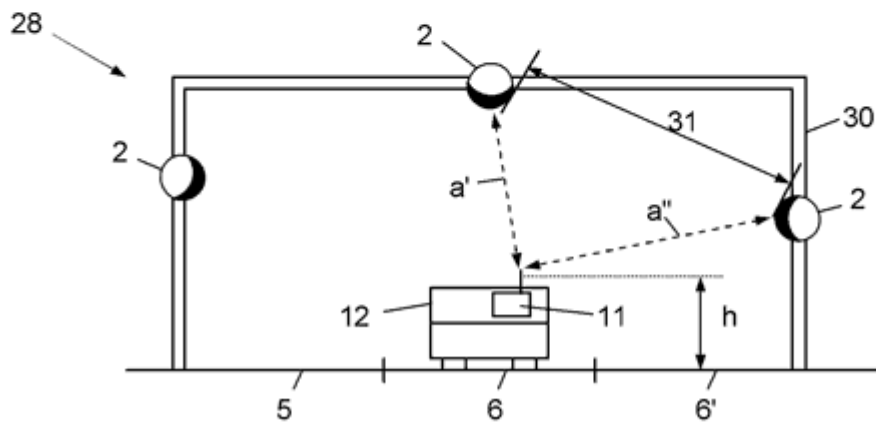


Fig. 13

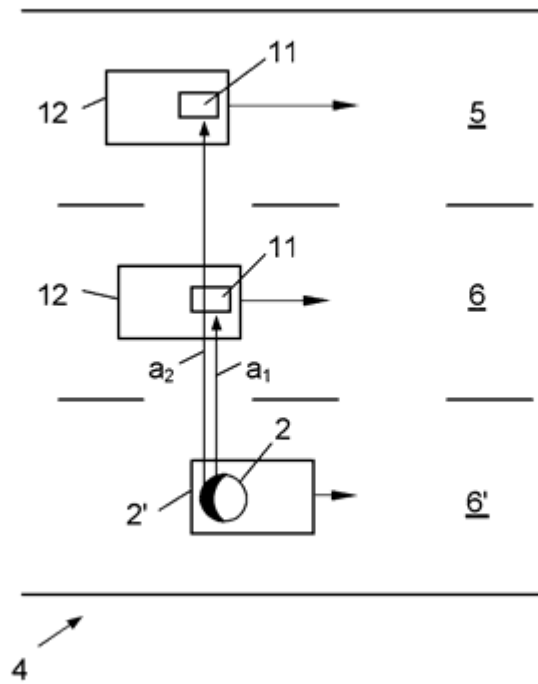


Fig. 14

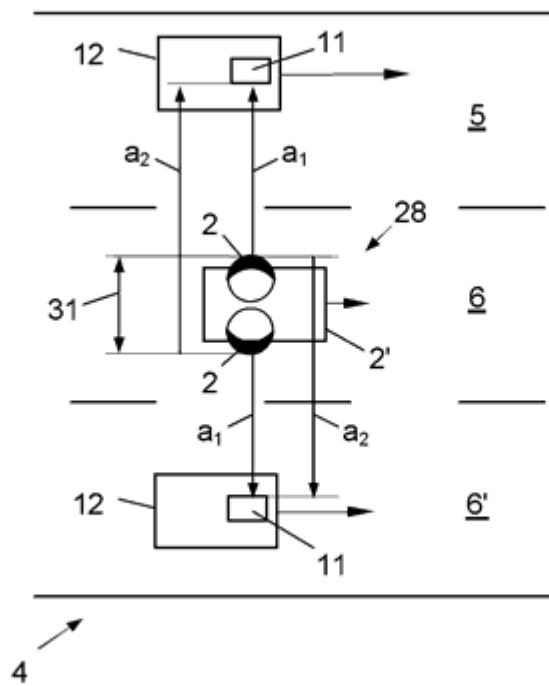


Fig. 15