

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 580**

51 Int. Cl.:

G08G 1/01 (2006.01)

G08G 1/017 (2006.01)

G08G 1/052 (2006.01)

G01S 13/74 (2006.01)

G01S 13/82 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2014 E 14174025 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2843640**

54 Título: **Métodos y sistemas para la determinación de la posición de vehículos en un sistema automático de identificación de vehículos**

30 Prioridad:

26.08.2013 CA 2824703

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

06.09.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VINSKI, LILA;
KOHLI, JAPJEEV y
MALARKY, ALASTAIR**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 581 580 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

Métodos y sistemas para la determinación de la posición de vehículos en un sistema automático de identificación de vehículos

5

Campo de la invención

La presente solicitud se refiere a los sistemas de transporte inteligente (ITS) con identificación automática de vehículos, tales como los que se pueden utilizar en sistemas de cobro electrónico de peajes (ETC), y, en particular, a métodos y sistemas para la determinación de la posición de un vehículo en una carretera utilizando un sistema automático de identificación de vehículos. El documento US 2010/0237998 divulga tales métodos y sistemas para la ubicación de transpondedores de ETC mediante la evaluación de la intensidad de señal (RSSI) de sus respuestas.

10

Antecedentes de la invención

15

Los sistemas de transporte inteligentes, tales como los sistemas de ETC, utilizan las comunicaciones por radiofrecuencia (RF) entre lectores y transpondedores en el borde de la carretera dentro o asociados a los vehículos. Los lectores forman parte de un sistema automático de identificación de vehículos para identificar de forma única los vehículos en un área, como por ejemplo una plaza de peaje. Cada lector emite una señal de identificación codificada, y cuando un transpondedor entra en alcance de comunicación y detecta el lector, el transpondedor envía una señal de respuesta. La señal de respuesta contiene información de identificación del transpondedor, que incluye un ID único del transpondedor. En los Estados Unidos, los sistemas de comunicación de RF actuales basados en ITS, y en particular, basados en ETC, están registrados bajo la categoría de Sistemas de Ubicación y Seguimiento (LMS) en las disposiciones del Código de Regulaciones Federales (CFR), Título 47, Parte 90 Subparte M.

20

25

Los transpondedores montados en vehículos pueden ser activos o bien pasivos. Los transpondedores activos contienen una batería que alimenta el transpondedor. Cada transpondedor escucha un impulso de disparo o señal de un lector en el borde de la carretera y, tras la detección de uno, genera y transmite una señal de respuesta. Los transpondedores pasivos se basan en la energía suministrada por el lector en el borde de la carretera en forma de una señal de RF de onda continua. La señal de onda continua energiza el transpondedor y el transpondedor transmite su señal de respuesta por medio de modulación de retrodispersión de la señal de onda continua. Los transpondedores pasivos pueden o no incluir una batería en algunas implementaciones.

30

35

En algunas situaciones, las estaciones de carretera se diseñan para ser "carreteras abiertas", también conocidas como "flujo libre de múltiples carriles", lo que significa que las comunicaciones se realizan a la velocidad de la autopista y no hay separaciones físicas entre carriles para que los vehículos no se apiñen. En los sistemas de ETC esto ocurre sin puertas, lo que significa que las transacciones se realizan de forma rápida, y significa también que no hay una puerta o barrera que evite que un vehículo sin un transpondedor válido atraviese el área de peaje. Los sistemas de ETC de carretera abierta dependen en su ejecución *ex post facto*. Por ejemplo, en muchas implementaciones se captura una imagen de la superficie de la matrícula de cada vehículo. La captura de la imagen depende de un mecanismo de detección de vehículo, tal como una cortina de luz o un bucle magnético para detectar la presencia de vehículos en la carretera. La detección del vehículo y el punto de captura de imágenes están a menudo fuera de la zona de captura de RF dentro de la que el transpondedor a bordo del vehículo se comunica con el sistema de ETC. El sistema de ETC puede tener la tarea de correlacionar imágenes de matrículas capturadas con las transacciones de peaje basadas en el transpondedor procesadas para la determinación de si alguna de las imágenes de matrículas de vehículos pertenece a un vehículo que no haya completado una transacción exitosa de peaje electrónico. A ese propietario del vehículo se le podría enviar después una factura por el monto del peaje.

40

45

50

En otras estaciones ITS, la estación puede estar midiendo las características del vehículo, tales como el peso, o volumen, o la velocidad, y el sistema tiene la tarea de correlacionar las mediciones de los instrumentos con transacciones basadas en transpondedores procesadas para asociar las mediciones de los vehículos. La captura de imágenes se puede utilizar también en tales estaciones.

55

El desafío en cualquier sistema carretera abierta es correlacionar con rapidez y precisión la información del vehículo procedente de los sensores, como imágenes de placas de matrícula, con la transacción de comunicación del transpondedor. En los sistemas de ETC es particularmente importante que los vehículos detectados se correlacionen con las transacciones de peaje procesadas con el fin de identificar qué vehículo, en su caso, no paga un peaje a través de un transpondedor. Uno de los retos en todos estos sistemas es estimar con precisión la trayectoria recorrida por un vehículo asociado con un transpondedor que haya completado una transacción, por lo que la posición del vehículo se puede correlacionar con los otros sensores, por ejemplo, un vehículo identificado por el sistema de detección de vehículos utilizado por el sistema de captura de imágenes.

60

Breve descripción de los dibujos

65

A continuación se hará referencia, a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos que muestran realizaciones de la presente invención, y en los que:

la Figura 1 muestra, en forma de diagrama de bloques, un sistema de cobro electrónico de peajes (ETC);

la Figura 2 muestra, en forma de diagrama de bloques, un diagrama de bloques simplificado de un lector de RFID para la determinación de la desviación Doppler en un RFID de retrodispersión;

la Figura 3 muestra, en forma de diagrama de bloques, una vista lateral de una zona de captura del sistema de ETC ejemplar;

la Figura 4 muestra un diagrama de bloques simplificado de una vista en planta de trayectorias de vehículos a través de una zona de captura del sistema de ETC ejemplar;

La Figura 5 muestra un diagrama simplificado de un intervalo de determinaciones de la posición de un vehículo en una zona de captura del sistema de ETC;

la Figura 6 muestra otro diagrama simplificado de un intervalo de determinaciones de la posición de un vehículo en una zona de captura del sistema de ETC;

la Figura 7 muestra un gráfico de mediciones de magnitud de tasa de variación de alcance ejemplares y una curva ajustada a los datos;

la Figura 8 muestra otro gráfico de mediciones de tasa de variación de alcance ejemplares con una curva ajustada a los datos; y

la Figura 9 muestra un diagrama aún más simplificado de un intervalo de determinaciones de posición para un vehículo en una zona de captura del sistema de ETC de múltiples antenas.

Los números de referencia similares se utilizan en las diferentes Figuras para denotar componentes similares.

Descripción de las realizaciones específicas

En un aspecto, la presente solicitud describe un método de determinación de una tasa de variación de alcance de un transpondedor de retrodispersión a bordo del vehículo en una carretera utilizando un sistema automático de identificación de vehículos, incluyendo el sistema una antena que define un área de cobertura para su comunicación con el transpondedor de retrodispersión, siendo la tasa de variación de alcance una velocidad del transpondedor en relación con la antena, en adelante también referida como una tasa de cambio de una distancia entre el transpondedor y la antena. El método incluye la transmisión, a través de la antena, de una señal de onda continua que tiene una frecuencia portadora; la recepción una señal de respuesta reflejada modulada procedente del transpondedor, en el que la modulación es a una frecuencia de modulación; la conversión de la señal de respuesta reflejada modulada en una señal descendentemente convertida mediante la mezcla de la señal de respuesta reflejada modulada con la frecuencia portadora; el filtrado por paso de banda de la señal descendentemente convertida para pasar una señal filtrada por paso de banda que contiene, al menos, la frecuencia de modulación; la aplicación de una función de transferencia de amplitud no lineal en la señal filtrada por paso de banda para eliminar la modulación y producir una señal de modulación suprimida; la medición de la frecuencia de la señal de modulación suprimida; y la determinación de la tasa de variación de alcance basándose en una desviación Doppler correspondiente a la frecuencia medida de la señal de modulación suprimida.

En otro aspecto, la presente solicitud describe un lector para la determinación de una tasa de variación de alcance de un transpondedor de retrodispersión a bordo del vehículo en una carretera. El lector incluye un transmisor para generar una señal de onda continua que tiene una frecuencia portadora; una antena para transmitir la señal de onda continua y para recibir una señal de respuesta reflejada modulada del transpondedor, en el que la modulación es a una frecuencia de modulación, y en el que la tasa de variación de alcance es un tasa de cambio de una distancia entre el transpondedor y la antena; un mezclador para mezclar la señal de respuesta refleja modulada con la frecuencia portadora para producir una señal descendentemente convertida; un filtro de paso de banda para filtrar la señal descendentemente convertida para pasar una señal filtrada por paso de banda que contiene, al menos, la frecuencia de modulación; una función de transferencia de amplitud no lineal para producir una señal de modulación suprimida cuando la función se aplica a la señal filtrada por paso de banda para eliminar la modulación; y un medidor de frecuencia para medir la frecuencia de la señal de modulación suprimida y para la determinación de la tasa de variación de alcance de la frecuencia medida.

En un aspecto, la presente solicitud describe un método de estimación de la ubicación de vehículos en una carretera utilizando un sistema automático de identificación de vehículos, el sistema incluye una antena que define un área de cobertura para su comunicación con un transpondedor a bordo del vehículo en la carretera. El método incluye la recepción de un conjunto de señales de respuesta del transpondedor en puntos de tiempo y la determinación de una tasa de variación de alcance del transpondedor con respecto a la antena en cada punto de tiempo; la identificación de un valor mínimo de la tasa de variación de alcance, en adelante también denominado como mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance; la estimación de una primera posición del transpondedor en un primer

tiempo que corresponde a la ocurrencia de los mínimos; la estimación de una velocidad del vehículo basándose en uno o más de las tasas de variación de alcance determinadas; y la estimación de una segunda posición del transpondedor basándose en la primera posición y la velocidad.

5 En otro aspecto, la presente solicitud describe un sistema automático de identificación de vehículos para la identificación de la posición de un vehículo en una carretera. El sistema comprende una antena para su comunicación con un transpondedor a bordo del vehículo en la carretera; un transceptor para transmitir una señal de onda continua sobre la antena y para recibir señales de respuesta del transpondedor; una memoria que almacena la posición del vehículo para localizar las instrucciones; y un procesador, que cuando ejecuta las instrucciones de
10 ubicación de la posición del vehículo, se configurado para la determinación de una tasa de variación de alcance del transpondedor en relación con la antena basándose en las señales de respuesta recibidas en los puntos de tiempo, identificar un mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance, estimar una primera posición del transpondedor en un primer tiempo que corresponde a la ocurrencia de los mínimos, estimar una velocidad del vehículo basándose en uno o más de las tasas de variación de alcance determinadas, y estimar una segunda
15 posición del transpondedor basándose en la primera posición y la velocidad.

En otro aspecto adicional, la presente solicitud describe un medio legible por ordenador no transitorio que almacena instrucciones ejecutables por procesador que, al ejecutarse, hacen que un procesador realice uno de los métodos descritos en la presente memoria.

20 Otros aspectos y características de la presente invención serán evidentes para los expertos ordinarios en la materia a partir de una revisión de la siguiente descripción detallada cuando se considera junto con los dibujos.

Se hace referencia en primer lugar a la Figura 1, que muestra, en forma de diagrama de bloques, un sistema de cobro de peaje electrónico (ETC) ejemplar 10. El sistema de ETC 10 se emplea en conexión con una carretera 12 que tiene uno o más carriles para el tráfico vehicular. La flecha indica la dirección de marcha en la carretera 12. Para fines esquemáticos, un vehículo 22 se ilustra en la carretera 12. En algunos casos, la carretera 12 puede ser una carretera de acceso que conduce hacia o se aleja de una autopista de peaje. En otros casos, la carretera 12 puede ser la autopista de peaje.

30 El vehículo 22 se muestra en la Figura 1 con un transpondedor 20 montado en el parabrisas. En otras realizaciones, el transpondedor 20 se puede montar en otras ubicaciones.

El sistema de ETC incluye antenas 18 conectadas a un lector de identificación automática de vehículos (AVI) 17. El lector 17 genera señales para ser transmitidas por las antenas 18 y procesa las señales que se reciben por las antenas 18. El lector 17 incluye un procesador 35 y uno o más módulos de radiofrecuencia (RF) 24 (se muestra por claridad). En muchas implementaciones, cada antena 18 puede tener un módulo de RF dedicado 24; aunque en algunas realizaciones de un módulo de RF 24 se puede compartir por más de una antena 18 a través de multiplexación en el tiempo.

40 Las antenas 18 son antenas de transmisión y recepción direccional que, en la realización ilustrada, están orientadas para definir un intervalo de zonas de captura 26 que se extienden a través de la carretera 12 en una dirección ortogonal. La disposición de las zonas de captura 26 define el área de comunicación dentro de la que se realizan las transacciones de peaje utilizando un protocolo de comunicaciones de ETC.

45 El sistema de ETC 10 puede operar, por ejemplo, dentro de las bandas (ISM) de radio industriales, científicas y médicas a 902-928 MHz. Por ejemplo, el sistema de ETC 10 puede realizar las comunicaciones a 915 MHz. En otras realizaciones, otras bandas/frecuencias se pueden utilizar, incluyendo 2,4 GHz, 5,9 GHz, etc.

50 En esta realización, el sistema de ETC 10 funciona utilizando un transpondedor de retrodispersión pasiva. El sistema de ETC 10, y, en particular, el lector 17 y las antenas 18, sondean continuamente las zonas de captura 26 utilizando la multiplexación por división de tiempo o multiplexación por división de frecuencia o multiplexación por división de código para poder suprimir o ignorar las señales de superposición de las zonas de captura 26. El sondeo puede incluir transmitir una señal de RF de onda continua y esperar una señal de respuesta detectada de cualquier
55 transpondedor que resulta que está dentro de la zona de captura 26. La señal de respuesta incluye generalmente una señal reflejada modulada desde el transpondedor. En algunos casos, cada una de las antenas 18 puede incluir una antena de transmisión y una antena de recepción separadas. En algunos otros casos, cada antena 18 incluye una única antena utilizada para la transmisión y la recepción y las trayectorias de transmisión y recepción se acoplan a la antena 18 a través de un miembro de circulación u otro dispositivo de división/acoplamiento de señales.

60 En el sistema de ETC 10, los vehículos se detectan cuando entran en las zonas de captura 26 y el transpondedor 20 a bordo del vehículo responde a la señal de RF transmitida por una de las antenas 18. La frecuencia del sondeo cíclico es tal que a medida que el vehículo 22 atraviesa las zonas de captura 26, el transpondedor 20 recibe y responde a las señales de RF procedentes del lector 17 un número de veces. Cada uno de estos intercambios de respuesta a sondeo se puede denominar "acuse de recibo" o "acuse de recibo lector-transpondedor" en la presente memoria.

Una vez que el lector 17 identifica el transpondedor 20 como un transpondedor recién llegado 20 se iniciará la realización de una transacción de peaje de ETC. Esto puede incluir la programación del transpondedor 20 a través de envío de una señal de programación que el transpondedor 20 utiliza para actualizar la información del transpondedor almacenada en la memoria en el transpondedor 20.

5 El sistema de ETC 10 incluye, además, un sistema de cumplimiento. El sistema de cumplimiento puede incluir un sistema de imágenes del vehículo, indicado generalmente con el número de referencia 34. El sistema de imágenes del vehículo 34 se configura para capturar una imagen de un vehículo en la carretera 12, en particular la matrícula del vehículo. Si el vehículo no puede completar una transacción de peaje con éxito, entonces la imagen de la matrícula se utiliza para identificar al propietario del vehículo y se envía una factura al propietario. El sistema de imágenes del vehículo 34 incluye cámaras 36 montadas a fin de capturar la matrícula delantera y/o trasera de un vehículo en la carretera 12. Un detector de vehículos 40 define una línea de detección de vehículos 44 que se extiende ortogonalmente a través de la carretera 12. El detector de vehículos 40 puede incluir un pórtico que soporta un sistema de detección y clasificación de vehículos (VDAC) para identificar la presencia física del vehículo que pasa por debajo del pórtico y que los clasificar operativamente en cuanto a sus características físicas, por ejemplo, la altura. En algunas realizaciones ejemplares, el detector de vehículo 40 puede incluir detectores de bucle dentro de la carretera para detectar un vehículo que pasa. Otros sistemas para la detección de la presencia de un vehículo en la carretera 12 se pueden emplear, incluyendo cortinas de luz, sistemas de detección por láser, y otros sistemas.

20 El procesador de imágenes 40 y el detector de vehículos 42 se acoplan e interactúan con un controlador 30 en el borde de la carretera. El controlador 30 en el borde de la carretera se comunica también con los componentes o sistemas de ETC remotos (no mostrados) para el procesamiento de las transacciones de peaje. El controlador 30 en el borde de la carretera recibe datos procedentes del lector 17 en relación con el transpondedor 20 y la presencia del vehículo 22 en la carretera 12. El controlador 30 en el borde de la carretera inicia una transacción de peaje que, en algunas realizaciones, puede incluir la comunicación con sistemas remotos o bases de datos. Al término de una transacción de peaje, el controlador 30 en el borde de la carretera instruye al lector 17 comunicarse con un transpondedor 20 para indicar si la transacción de peaje fue exitosa. El transpondedor 20 puede recibir una señal de programación del lector 17 avisando del éxito o fracaso de la transacción de peaje y haciendo que actualice sus contenidos de memoria. Por ejemplo, el transpondedor 20 se puede configurar para almacenar la hora y el lugar de su último pago de peaje o saldo en cuenta.

El controlador 30 en el borde de la carretera puede recibir datos procedentes del sistema de imágenes del vehículo 34 y/o del detector de vehículo 40 con respecto a los vehículos detectados en la línea de detección de vehículos 44. El controlador 30 en el borde de la carretera controla la operación del sistema de cumplimiento coordinando la detección de vehículos con la posición de los vehículos que han completado con éxito una transacción de peaje. Por ejemplo, si se detecta un vehículo en la carretera en la línea de detección de vehículos 44 en una vía particular, el controlador 30 en el borde de la carretera evalúa si se ha comunicado con un vehículo que ha completado una transacción de peaje con éxito y cuya posición corresponde a la posición del vehículo detectado. Si no es así, entonces el controlador 30 en el borde de la carretera hace que el procesador de imágenes 42 capture una imagen de la matrícula del vehículo detectado o, si ya se ha capturado aguas arriba, entonces el controlador 30 en el borde de la carretera puede iniciar un proceso de cumplimiento, tal como un proceso automático o manual de identificación de la matrícula seguido por la facturación. La matrícula, una vez identificada, se puede correlacionar con la misma matrícula identificada en otro punto de entrada/salida con el fin de calcular el monto de paje apropiado para la facturación.

45 La línea de detección de vehículos 44 puede quedar fuera de las zonas de captura 26. El sistema de ETC 100 tiene que determinar la posición o la trayectoria probable de un transpondedor con el que se ha comunicado para determinar cuándo y dónde el transpondedor habría cruzado probablemente la línea de detección de vehículos 44. A continuación, se puede correlacionar con transpondedores imágenes del vehículo.

50 Hay algunas soluciones existentes para la determinación de la ubicación del vehículo en un sistema de ETC. Una de ellas es proporcionar múltiples conjuntos de lectores de carretera para realizar un barrido de haz estrecho a medida que el vehículo se aproxima a las zonas de captura. Al utilizar los lectores a ambos lados de la carretera, los haces de intersección a los que responde un transpondedor proporcionan una indicación de la posición probable. Esta solución requiere la instalación de equipos de carretera adicionales y puede no ser adecuada para todas las instalaciones, particularmente sistemas de retrodispersión pasivos, ya que requiere un largo tiempo de espera en la zona, haces estrechos de movimiento rápido, y pueden depender de mediciones RSSI.

60 Otra solución es utilizar receptores de carretera adicionales para recibir las transmisiones del transpondedor junto con antenas monoimpulso. Estas antenas permiten determinar la dirección de llegada y con dos de estas la ubicación del vehículo se puede determinar. Esta solución requiere la instalación de equipos de carretera adicionales y puede no ser adecuada para todas las instalaciones. Puede que sea más adecuado para un sistema de transpondedor activo ya que en un sistema transpondedor pasivo la transmisión del lector recogida por los receptores barrerán fuera las señales del transpondedor y degradarán la operación monoimpulso. También hay soluciones dirigidas a determinar el carril en el que es probable que un vehículo se esté deslazando. Los denominados algoritmos "voto" tomar una decisión de asignación de carriles basándose en el número de acuses de

recibo validados con cada antena, a veces utilizando un algoritmo de ponderación u otras técnicas. Estas soluciones, sin embargo, solo indican la posición lateral probable de un vehículo en la carretera al momento en que el vehículo está atravesando las zonas de captura 26.

5 De acuerdo con un aspecto de la presente solicitud, el sistema de ETC 10 determina la desviación Doppler asociado con las señales recibidas por las antenas 18 desde el transpondedor 20. La desviación Doppler se correlaciona con un tasa de variación de alcance, es decir, la velocidad a la que la distancia entre el transpondedor 20 y la antena 18 está cambiando; en otras palabras, la velocidad del transpondedor hacia o lejos de la antena (tenga en cuenta que las antenas 18 están normalmente elevadas por encima de la carretera y que el vehículo se mueve tangencial a la antena 18). La tasa de variación de alcance llega a un punto de cruce por cero cuando el transpondedor pasa por debajo del pórtico que sostiene la antena de tal manera que después se aleja de la antena en lugar de ir hacia la antena. De acuerdo con esto, si el sistema de ETC 10 determina el punto de cruce por cero de una tasa de variación de alcance del transpondedor, entonces se conoce el punto en que cruza por debajo del pórtico. Al utilizar una o más de las mediciones de tasa de variación de alcance anteriores (o posteriores) de las señales del transpondedor anteriores (o posteriores), la velocidad del vehículo se puede estimar después en puntos de tiempo anteriores (o posteriores), permitiendo de esta manera la estimación de una trayectoria probable del vehículo hacia (o lejos de) la antena. En algunos de los siguientes ejemplos, el punto de detección de vehículos se presume que es aguas arriba de las zonas de captura; por lo tanto, el sistema de ETC 10 busca estimar la posición del vehículo en un punto anterior en el tiempo basándose en mediciones de tasa de variación de alcance de las señales del transpondedor. Sin embargo, se apreciará que técnicas similares se pueden utilizar para la determinación de la posición aguas abajo en un punto de tiempo posterior utilizando mediciones de tasa de variación de alcance posteriores.

En un ejemplo, el punto de cruce por cero y una única medición de tasa de variación de alcance anterior se utiliza para la determinación de un intervalo de estimaciones de velocidad (basándose en un intervalo limitado de las alturas del transpondedor, y un intervalo limitado de los ángulos de desplazamiento hacia la antena y desplazamientos laterales desde la antena), que, suponiendo una velocidad constante, se correlacionan con un intervalo de posiciones del vehículo estimadas en los puntos de tiempo anteriores. Este intervalo de estimaciones de trayectorias y velocidades se utiliza para estimar probablemente la posición del vehículo al momento de cruzar la línea de detección de vehículos. La estimación de la posición del vehículo al momento de cruzar la línea de detección de vehículos se puede correlacionar después con los datos del vehículo detectados físicamente.

En otro ejemplo, se determinan múltiples mediciones de tasa de variación de alcance y las estimaciones de velocidad correspondientes determinadas para esos puntos de tiempo. Al utilizar ajustes de curva, la velocidad y la posición del vehículo en diferentes puntos de tiempo se pueden estimar a continuación, con las estimaciones de alcance estando limitadas por los límites en altura del transpondedor, ángulos de recorrido y desplazamientos laterales de la trayectoria del vehículo desde la antena. En algunos casos, dos conjuntos de estimaciones pueden determinarse en correspondencia con las señales recibidas por dos de las antenas. Los dos conjuntos de estimaciones se pueden comparar después para encontrar puntos de intersección entre las series de trayectorias/velocidades estimadas para llegar a un subconjunto más preciso de estimaciones y también se pueden utilizar para la determinación del ángulo de desplazamiento a través del camino.

En otro ejemplo, el proceso de estimación de la posición basada en la tasa de variación de alcance se combina con otros sistemas de ubicación de posición, tal como un sistema de asignación de carriles, para mejorar la precisión de la estimación de la posición.

45 ***Determinación de la tasa de variación de alcance***

La primera dificultad que surge en la implementación de realizaciones del sistema de ubicación de posiciones es la determinación de la tasa de variación de alcance de un transpondedor. En un sistema de ETC, la antena es estacionaria y el dispositivo de RFID (transpondedor) está en movimiento; sin embargo surgirían problemas similares en el caso de un lector/antena de movimiento y un dispositivo de RFID estacionario, o en el caso de tanto el lector como un dispositivo de RFID en movimiento.

En un sistema basado en retrodispersión, el lector difunde una señal de RF hacia el dispositivo de RFID y recibe de vuelta una señal reflejada. El dispositivo de RFID impone la modulación en la señal reflejada, que se detecta y demodula por el lector.

En el caso de los sistemas de vehículos del tipo descrito en la presente memoria, particularmente a las velocidades de la autopista, la desviación Doppler no es constante con el tiempo y se manifiesta como un gran desplazamiento de fase variable en el tiempo durante la duración de un único paquete de modulación desde el dispositivo de RFID. Esto hace que la recuperación de la modulación y la detección de la desviación Doppler sean desafiantes. La medición de desviación Doppler en un radar convencional o n tales sistemas implica normalmente medir directamente el cambio de fase de una señal reflejada en relación con una señal transmitida. Mediante la medición de ese desplazamiento de fase en el tiempo, la desviación Doppler se puede utilizar para la determinación de la velocidad del dispositivo de RFID y/o cambios en la velocidad.

En el caso de RFID a bordo del vehículo, la fase de la señal recibida incluye la señal reflejada desde el dispositivo de RFID, pero también los componentes de distorsión que introducen errores en las mediciones de fase. La distorsión puede surgir de la fuga de transmisión en el receptor, reflejos de otros artículos, no idealidades en la trayectoria de señal/circuito receptor como desplazamientos CC, reflexiones de trayectoria múltiple de objetos estacionarios y móviles, y la reflexión de la señal de vehículos, incluyendo el vehículo con el dispositivo de RFID.

Una alta relación señal-ruido (SNR) se requiere normalmente para medir directamente la fase con suficiente precisión para la determinación del efecto Doppler. Con RFID de retrodispersión, a causa de la modulación impuesta a la señal reflejada y la variabilidad de la velocidad de modulación entre los dispositivos RFID, hay poca SNR disponible para mediciones directas del desplazamiento de fase de la señal reflejada recibida.

De acuerdo con un aspecto de la presente solicitud, la desviación Doppler y/o la tasa de variación de alcance se pueden determinar aprovechando el hecho de que la modulación de retrodispersión en dispositivos RFID se manifiesta como una modulación de amplitud bipolar de la señal recibida. En el lector, la señal reflejada se convierte descendientemente a filtrados de banda base y paso de banda para pasar la porción modulada de la señal reflejada de la desviación Doppler. Esa señal filtrada se ajusta después mediante la aplicación de una función de transferencia de amplitud no lineal que sirve para eliminar eficazmente la modulación y dejar una señal modificada de la desviación Doppler que se puede medir directamente.

A continuación se hace referencia a la Figura 2, que muestra un diagrama de bloques simplificado de un lector de RFID 100 para la determinación de la desviación Doppler en un sistema de retrodispersión de RFID. El lector de RFID 100 incluye un transmisor 102 y una antena de transmisión 104. El lector de RFID 100 incluye, además, una antena de recepción 106, aunque en algunas realizaciones, la antena de transmisión 104 y la antena de recepción 106 son la misma antena, que se acoplan después al transmisor 102 y a la circuitería del receptor a través de un miembro de circulación u o dispositivo de división/combinación de señales.

El transmisor 102 genera y transmite una señal de RF utilizando la antena de transmisión 104. La señal RF transmitida se puede definir como:

$$A_T \cdot \cos(w_T \cdot t)$$

En esta expresión, A_T es la magnitud de la señal de transmisión, w_T es la frecuencia en radianes, y t es el tiempo instantáneo.

Un dispositivo de RFID (no mostrado) recibe la señal de RF y devuelve una señal reflejada. El dispositivo de RFID impone la modulación de la señal reflejada. La señal reflejada se recibe por el lector de RFID 100 a través de la antena de recepción 102. La señal reflejada de cualquier objeto en el campo se puede expresar como:

$$A_T \cdot (L_x(t))^2 \cdot O_x(t) \cdot \left(\cos \left(w_T \left(t - 2 \frac{d_x(t)}{c} \right) \right) \right) \\ = R_x(t) \cdot \cos((w_T + w_x(t)) \cdot t)$$

El índice x denota el objeto desde el que se refleja la señal, que puede incluir objetos estacionarios o en movimiento, incluyendo vehículos. En la expresión anterior, $L_x(t)$ es la pérdida de potencia de RF para una señal entre la transmisión y la recepción de la reflexión. Incluye la ganancia de las antenas del subsistema en la dirección del objeto, así como los efectos de propagación. Si el objeto está en movimiento será dependiente del tiempo. Es unipolar (es decir, que solo puede tener valores positivos o negativos) dentro de la región de interés. $O_x(t)$ es la cantidad de la reflexión por el objeto en la dirección de la antena de recepción. Es dependiente del tiempo si el objeto está en movimiento. También es unipolar en la región de interés.

El término $d_x(t)$ denota la distancia (alcance) entre el objeto y la antena de recepción. Es dependiente del tiempo si el objeto está en movimiento. La velocidad de propagación de RF viene dada por c . El término $R_x(t)$ es la magnitud de la señal recibida, e incluye $A_T \cdot (L_x(t))^2 \cdot O_x(t)$. La desviación Doppler en radianes viene dado por $w_x(t)$ si el objeto está en movimiento. Expresado en Hz, la desviación Doppler es $f_x(t)$. Tenga en cuenta que:

$$f_x(t) = -2 \cdot \frac{f_T}{c} \cdot \frac{d(d_x(t))}{dt}$$

En esta expresión, f_T es la frecuencia de la señal de transmisión y $d(d_x(t))/dt$ es el diferencial del alcance con respecto al tiempo, es decir, la tasa de variación de alcance o velocidad del objeto con respecto a la antena de recepción.

La señal reflejada desde el propio dispositivo de RFID se puede expresar como:

$$m_r(t) \cdot A_T \cdot (L_r(t))^2 \cdot O_r(t) \cdot \left(\cos \left(w_T \left(t - 2 \frac{d_r(t)}{c} \right) \right) \right)$$

$$= m_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos((w_T + w_r(t)) \cdot t)$$

5 En la expresión anterior, el término $m_r(t)$ denota la modulación impuesta por el dispositivo de RFID de la señal reflejada. El índice r indica que los términos se refieren al dispositivo de RFID, a diferencia de otros objetos en el campo. Tenga en cuenta que el elemento de particular interés es $w_r(t)$, que es la frecuencia en radianes de la desviación Doppler de la señal desde el dispositivo de RFID en movimiento. En Hz, esto se puede expresar como:

$$10 \quad f_r(t) = -2 \cdot \frac{f_T}{c} \cdot \frac{d(d_r(t))}{dt}$$

Haciendo referencia todavía a la Figura 2, la señal reflejada recibida en la antena de recepción 106 se convierte descendientemente utilizando una señal de frecuencia portadora (más algo de desplazamiento de fase constante θ) desde el transmisor 104 y un combinador 108. La señal descendientemente convertida se puede expresar como:

$$15 \quad m_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos((w_T + w_r(t)) \cdot t) \cdot \cos(w_T \cdot t + \theta)$$

Esto también se puede expresar como:

$$20 \quad = 0,5 \cdot m_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos(2w_T \cdot t + w_r(t) \cdot t + \theta) +$$

$$0,5 \cdot m_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$$

20 El primer término es el doble de la frecuencia portadora y el segundo término están en la banda base con respecto a la portadora. Se observará que el segundo término incluye la modulación dependiente del tiempo $m_r(t)$ y los cambios dependientes del tiempo en la reflectividad y la pérdida de potencia que resultan del movimiento del dispositivo de RFID. Se apreciará también que la mezcla/conversión descendente producirá otros productos, generalmente a mayores múltiplos de la frecuencia portadora. Para los fines del presente análisis, estos términos se ignoran, ya que serán filtrados de la señal descendientemente convertida.

25 Obsérvese que la señal recibida incluirá otras señales reflejadas, además de la señal reflejada modulada desde el dispositivo de RFID. Después de la conversión descendente, estas otras señales vendrán dadas por:

$$30 \quad 0,5 \cdot R_x(t) \cdot (\cos(2w_T \cdot t + w_x(t) \cdot t + \theta) + \cos(w_x(t) \cdot t - \theta))$$

$$= 0,5 \cdot R_x(t) \cdot (\cos(2w_T \cdot t + w_x(t) \cdot t + \theta))$$

$$+ 0,5 \cdot R_x(t) \cdot \cos(w_x(t) \cdot t - \theta)$$

35 Como se ha señalado anteriormente, la modulación $m_r(t)$ a partir de un dispositivo de RFID se puede representar como una modulación de fase bipolar o una modulación de amplitud bipolar, con algo de desplazamiento medio. En el caso de modulación de amplitud bipolar, la modulación se expresa como:

$$m_r(t) = a_1 + a_m \cdot H_r(t)$$

40 En esta expresión, a_1 es el desplazamiento medio, a_m es la magnitud del cambio de señal, y $H_r(t)$ es uno de dos estados: (1, -1). Como caso concreto, en la manipulación encendido-apagado $a_1 \geq a_m$.

La modulación de fase bipolar se puede expresar como:

$$45 \quad m_r(t) = a_1 + a_2 \cdot \cos(G_r(t) + \varphi)$$

En la expresión anterior, $G_r(t)$ puede tomar uno de dos estados: (0, π). Esta expresión es entonces equivalente a:

$$m_r(t) = a_1 + a_2 \cdot \cos(G_r(t)) \cdot \cos(\varphi)$$

$$= a_1 + a_m \cdot H_r(t)$$

En otras palabras, la modulación de fase bipolar (así definida) se puede tratar igual que la modulación de amplitud bipolar.

5 Si la expresión anterior para la modulación bipolar se sustituye en la expresión para la conversión descendente de la señal reflejada modulada, entonces se convierte en:

$$0,5 \cdot (a_1 + a_m \cdot H_r(t)) \cdot R_r(t) \cdot (\cos(2w_T \cdot t + w_r(t) \cdot t + \theta) + \cos(w_r(t) \cdot t - \theta))$$

$$= 0,5 \cdot (a_1 + a_m \cdot H_r(t)) \cdot R_r(t) \cdot (\cos(2w_T \cdot t + w_r(t) \cdot t + \theta))$$

$$+ 0,5 \cdot a_1 \cdot R_r(t) \cdot \cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$$

$$+ 0,5 \cdot a_m \cdot H_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$$

10 La siguiente observación se puede hacer con respecto a los componentes de frecuencia de algunos de los términos dependientes del tiempo en las expresiones anteriores. Para cualquier tipo de tasa Doppler razonable, se apreciará que:

$$\frac{d(H_r(t))}{dt} \gg \frac{d(f_x(t))}{dt} > \frac{d(R_x(t))}{dt} \approx \frac{d(R_r(t))}{dt}$$

15 En otras palabras, la tasa de cambio de la magnitud de la señal debido a cambios en la pérdida de propagación y la reflectividad debido al movimiento del objeto o dispositivo de RFID será menor que la tasa de cambio en la desviación Doppler, que a su vez es mucho menor que la tasa de modulación.

20 Por consiguiente, haciendo referencia de nuevo a la Figura 2, un filtro de paso de banda 110 se puede utilizar para filtrar las señales descendientemente convertidas y pasar las frecuencias de modulación, rechazando cualquiera de los términos que contienen múltiplos de la frecuencia portadora (demasiado altos) o cualquiera de los términos que no se modulan (demasiado bajos). Con un filtro de paso de banda 110 de este tipo, se eliminan los dos términos de la señal reflejada de otros objetos, y se eliminan los dos términos de la señal reflejada modulada desde el dispositivo de RFID, y queda:

$$0,5 \cdot a_m \cdot H_r(t) \cdot R_r(t) \cdot \cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$$

30 Esta señal filtrada por paso de banda se puede expresar además como:

$$K_m(t) \cdot \cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$$

35 El término $K_m(t)$ es una función de amplitud dependiente del tiempo que contiene tanto los efectos de atenuación de la señal y la modulación impuesta por RFID $H_r(t)$, es decir, de modo que es bipolar. La señal incluye además la función de amplitud periódica $\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)$, que también es bipolar y depende únicamente de la frecuencia Doppler.

40 La modulación se puede eliminar después de la señal reflejada descendientemente convertida filtrada por paso de banda mediante la aplicación de una función de transferencia de amplitud no lineal 112. Los ejemplos de la función de transferencia de amplitud no lineal 112 incluyen una función de la ley cuadrática o una función de magnitud absoluta. La función de transferencia de amplitud no lineal 112 aborda el hecho de que ambos contribuyentes de fase tienen magnitudes bipolares. Al eliminar el comportamiento bipolar de término $K_m(t)$, la modulación se elimina eficazmente como un contribuyente de fase de la señal con el fin de analizar el efecto Doppler.

45 Un ejemplo se describe a continuación con respecto a la función de la ley cuadrática. La salida unipolar después de elevar al cuadrado la señal descendientemente convertida filtrada por paso de banda es:

$$\begin{aligned} & (K_m(t))^2 \cdot \cos^2(w_r(t) \cdot t - \theta) \\ &= (K_m(t))^2 \cdot (1 + \cos(2w_r(t) \cdot t - 2\theta)) \\ &= (K_m(t))^2 + (K_m(t))^2 \cdot \cos(2w_r(t) \cdot t - 2\theta) \end{aligned}$$

A partir de la definición anterior de $K_m(t)$, se pueden hacer las siguientes observaciones:

5
$$(K_m(t))^2 \propto (L_r(t))^4 \cdot (O_r(t))^2 \cdot (H_r(t))^2$$

Pero a partir de la definición de $H_r(t)$, el cuadrado de la misma será igual a 1. En consecuencia:

10
$$(K_m(t))^2 \propto (L_r(t))^4 \cdot (O_r(t))^2$$

Un filtro 114 se aplica después a la señal cuadrada resultante. El filtro 114 puede incluir un filtro de paso bajo que suprime cualquier frecuencia de modulación o contenido de ruido residual. Un filtro de paso de banda también se puede utilizar para suprimir el término independiente $(K_m(t))^2$. Debido a que la frecuencia más alta que el filtro 114 tiene que pasar es la frecuencia Doppler, el ancho de banda del filtro será mucho menor que cualquier filtro necesario para la demodulación y, por lo tanto, una SNR alta se puede obtener incluso cuando la SNR en la anchura de banda de modulación es pobre. El efecto del filtro será el de promediar la función de amplitud $(K_m(t))^2$ de modo que lo que sale del filtro 114 es la señal:

20
$$K_a(t) \cdot \cos(2w_r(t) \cdot t - 2\theta)$$

En esta expresión, $K_a(t)$ es una función de amplitud media que varía relativamente lenta dependiente de $(L_r(t))^4 \cdot (O_r(t))^2$. Por tanto, es unipolar y no es cero. El término $\cos(2w_r(t) \cdot t - 2\theta)$ es una función de amplitud periódica al doble de la frecuencia Doppler, y es bipolar. Como resultado, la frecuencia Doppler a continuación, se puede determinar a partir de una etapa de frecuencia de medición 116, por ejemplo, la detección de los cruces por cero de la señal cuadrada filtrada.

En otro ejemplo, la función de transferencia de amplitud no lineal 112 se implementa utilizando una función de magnitud absoluta. En este ejemplo, en una implementación la polaridad se descarta de la salida de señal del filtro de paso de banda 110. El resultado de una operación de este tipo es:

30
$$\begin{aligned} & |K_m(t)| \cdot |\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)| \\ &= |(L_r(t))^2 \cdot O_r(t)| \cdot |H_r(t)| \cdot |\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)| \end{aligned}$$

Al igual que en el caso de la ley cuadrática, la magnitud de la función de modulación $H_r(t)$ es igual a 1, por lo que se puede eliminar del análisis.

La aplicación del filtro 114 para suprimir la frecuencia de modulación residual o contenido de ruido mejora la SNR. El efecto de tal filtrado es promediar la función de amplitud $|K_m(t)|$ de tal manera que la magnitud de la señal filtrada viene dada por:

40
$$K_b(t) \cdot |\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)|$$

El término $K_b(t)$ es una función de amplitud media que varía lentamente dependiente de $|(L_r(t))^2 \cdot O_r(t)|$, y es, por tanto, unipolar y no nula si una señal de RFID está presente. Se apreciará que el componente Doppler, $|\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)|$, presenta dos mínimos de amplitud en cada período de $f_r(t)$. Por, por ejemplo, midiendo el tiempo entre los mínimos se obtiene directamente de la frecuencia Doppler.

Se puede también observar que el término $|\cos(w_r(t) \cdot t - \theta)|$ ofrece la misma respuesta para desplazamientos Doppler negativos o positivos. Esta ambigüedad puede resolverse a través de múltiples observaciones de la frecuencia Doppler para evaluar si está aumentando o disminuyendo, lo que se corresponde a que el dispositivo de RFID se aleja o se mueve hacia la antena de recepción 106, respectivamente.

En algunas realizaciones, la función de modulación $H_r(t)$ no se restringe al conjunto $(-1, 1)$. Por ejemplo, la función puede tener bits en forma de tiempo. Sin embargo, los procesos descritos anteriormente todavía se pueden aplicar,

siempre que la amplitud media de los estados positivos y negativos sean iguales y, siempre y cuando la tasa de modulación siga siendo mucho mayor que la velocidad Doppler para permitir el proceso de filtrado.

5 En algunas realizaciones, la señal de transmisión se puede modular en fase (o amplitud bipolar) y el proceso todavía dará lugar a la frecuencia Doppler siempre de que la modulación se haga pasar a través del filtro de conversión descendente y se elimine (promedie) después por la función de transferencia de amplitud no lineal después de la conversión descendente.

10 Se apreciará que el método anteriormente descrito requiere solo una única trayectoria de recepción, *es decir*, que no requiere terminar con la fase de la señal entrante y elimina la modulación para la determinación directa de la desviación Doppler.

15 El procedimiento descrito anteriormente se puede modificar, en algunas realizaciones, mediante el uso de la conversión descendente por cuadratura. Por ejemplo, tanto las trayectorias en fase como de cuadratura se pueden procesar de forma independiente (filtrarse por paso de banda, modificarse por la función de transferencia no lineal, y filtrarse), utilizando *por ejemplo* el enfoque de función de magnitud, para dar como resultado señales tales como:

$$I = K_b(t) \cdot |\cos(w_r(t) \cdot t)|$$

$$Q = K_b(t) \cdot |\sin(w_r(t) \cdot t)| = K_b(t) \cdot |\cos(\pi/2 - w_r(t) \cdot t)|$$

20 El componente en fase tendrá mínimos en $w_r(t) \cdot t = 0 + n \cdot \pi$, y el componente de cuadratura tendrá mínimos en $w_r(t) \cdot t = \pi/2 + n \cdot \pi$. Mediante la comparación de la diferencia de tiempo entre los mínimos en los dos canales, una fracción conocida del periodo de Doppler se determina y, por lo tanto, la frecuencia Doppler.

25 La medición de la frecuencia Doppler no se limita a la utilización de los mínimos. Dado que la frecuencia es la tasa de cambio de fase en el tiempo, mediante la determinación del cambio de fase a través de cualquier parte de una transmisión y conociendo el tiempo, la frecuencia se puede medir.

30 **Determinación de ubicación**

35 Como se ha descrito anteriormente, el sistema de ETC puede determinar la tasa de variación de alcance (velocidad del dispositivo de RFID en relación con la antena del lector) utilizando Señales reflejadas moduladas de RFID para cada una de las señales. Estos datos se pueden utilizar para la determinación de, *es decir*, estimación, de la velocidad vehicular y es probable que la posición del vehículo y dispositivo de RFID en los tiempos en los que se envían las señales reflejadas y, basándose en dichos datos, la posición probable del vehículo en otros puntos de tiempo.

40 El caso más sencillo es aquel en el que el vehículo se limita a viajar en una trayectoria longitudinal conocida sin una amplia variación de su posición lateral. Esto puede ocurrir en el caso de un conjunto de vías de ferrocarril o en el caso de un solo carril de la autopista o carretera.

45 A continuación, se hace referencia a la Figura 3, que ilustra una vista lateral de un sistema de ETC 200 ejemplar, en el que los vehículos están restringidos a viajar en un solo carril. La restricción es tal que el sistema se moldea en 2-dimensiones con un vehículo 202 que recorre un vector fijo que pasa por debajo de una antena elevada 204. El vehículo 202 está equipado con un transpondedor 206 montado en el parabrisas. En otras realizaciones, el transpondedor 206 se puede montar en otra parte en el vehículo 202. En general, los transpondedores se encuentran normalmente entre aproximadamente 3 a 8 pies por encima de la superficie de la carretera.

50 La antena 204 es una antena direccional que define un área de cobertura 208 (*es decir*, zona de captura) dentro de la que se puede comunicar generalmente con y recibir señales de respuesta de los transpondedores 206.

55 Se apreciará que a medida que el vehículo 202 se desplaza a través del área de cobertura 208 a la velocidad de la carretera vehicular, el transpondedor 206 recibe las señales transmitidas desde la antena 204 y responde mediante la modulación de una señal reflejada. Como se ha descrito anteriormente, el lector (no ilustrado) puede determinar una tasa de variación de alcance para el transpondedor 206 basándose en la señal reflejada modulada recibida en la antena 204. Basándose en una o más mediciones de tasa de variación de alcance, la velocidad de la carretera del vehículo 202 se puede estimar. Con una posición estimada en un punto de tiempo y un vector de velocidad estimado, la posición del transpondedor 206, y por lo tanto, del vehículo 202, se puede estimar después en otros puntos de tiempo.

60 Por consiguiente, el sistema 100 determina (*es decir*, estima) la posición del transpondedor 206 en un momento dado de tiempo. Un punto que se puede utilizar en algunas realizaciones es el punto en el que el transpondedor 206 pasa directamente debajo de la antena 204. En este punto, la tasa de variación de alcance cruza por cero. En otras

realizaciones, se pueden utilizar diferentes posiciones. Por ejemplo, un sensor de detección de vehículos, tal como un detector de bucle, cortina de luz o un escáner se puede utilizar para la determinación de la ubicación del vehículo en un punto dado de tiempo. Tenga en cuenta que las últimas técnicas todavía necesitarían correlacionarse con las comunicaciones del transpondedor para asociar las mediciones de tasa de variación de alcance de la posición del vehículo, mientras que el enfoque de cruzar por cero de la tasa de variación de alcance ya está correlacionado con un transpondedor 206 determinado.

La tasa de variación de alcance en cualquier punto de tiempo a funciona con cuatro variables: la velocidad del vehículo (v); la altura (h) entre la antena y el transpondedor; la distancia ($d(t)$) del transpondedor a lo largo de la trayectoria del vehículo; y la frecuencia portadora de comunicación (f_T) del sistema de retrodispersión RFID.

Supongamos que en el tiempo $t = 0$, $d(t) = 0$. A continuación, las siguientes expresiones aplican generalmente:

$$d(t) = t \cdot v$$

$$r(t1) = \sqrt{d(t1)^2 + h^2}$$

$$f_d(t1) = -2 \cdot \frac{f_T}{c} \cdot \frac{d(r(t1))}{dt}$$

En la expresión anterior, $r(t1)$ es el intervalo en el tiempo $t1$, $f_d(t1)$ es la medición Doppler en el tiempo $t1$, y c es la velocidad de propagación de RF. En consecuencia, se apreciará que, con la medición Doppler en el tiempo $t1$ calculada a partir de la señal de respuesta del transpondedor, el sistema 100 puede determinar después la tasa de cambio de $r(t1)$, es decir, la tasa de variación de alcance.

El tamaño z del área de cobertura 208 es generalmente conocido. No es un valor fijo ya que, dependiendo de la edad del transpondedor 206, de su configuración de montaje, de factores ambientales, etc., diferentes transpondedores 206 pueden ser capaces de comunicarse con la antena 206 a través de áreas con tamaños ligeramente diferentes. No obstante, un intervalo limitado z de valores de posición razonables es conocido para una instalación determinada. Por ejemplo, un área de cobertura 208 que tiene nominalmente 12 pies de largo, se puede considerar prácticamente como teniendo entre aproximadamente 8 y 15 pies de largo.

La longitud de tiempo que el transpondedor 206 está en comunicación con la antena 204 es también conocida. Por tanto, el tiempo que tarda el vehículo 202 en atravesar el área de cobertura 208 se conoce. Por lo tanto, basándose en el intervalo de valores de tamaño z , existe un intervalo de posibles valores de v para el vehículo 202. Esto da un conjunto razonable de estimaciones acotadas para la velocidad v , que después se prueban de forma iterativa para un ajuste con la medición o mediciones Doppler.

A modo de ejemplo, supongamos que en el tiempo $t1$, una tasa de variación de alcance de 12,89 m/s se calcula a partir de la medición Doppler. La antena 204 se monta 17 pies por encima de la carretera y la altura del transpondedor se supone que es de 4 pies. El tamaño z del área de cobertura 208 es entre 8 y 15 pies. El transpondedor 206 está en comunicación durante 115,5 ms. El punto de cruce por cero e la tasa de variación de alcance se produce en el tiempo $t0 = T1 + 80,85$ ms. Basándose en un intervalo limitado de velocidades v entre 80 y 150 kilómetros por hora, las velocidades se pueden probar para determinar qué velocidad da como resultado una tasa de variación de alcance de 12,89 m/s en el tiempo $t1$. La velocidad estimada resultante v en esta situación ejemplar es de 96,5 kph.

En consecuencia, con esta velocidad estimada, y las posiciones estimadas del vehículo 202 en los tiempos $T0$ y $T1$, la posición del vehículo en otros tiempos, como $T2$ o $T3$, se pueden estimar a continuación.

Se ha determinado empíricamente que la altura del transpondedor tiene un impacto casi insignificante en las estimaciones de la posición puesto que la altura de la antena tiende a ser mucho mayor que la altura del transpondedor. Sin embargo, la altura del transpondedor se puede tratar como un intervalo limitado, lo que da como resultado un intervalo de valores de velocidad estimados.

Con más de una medición de tasa de variación de alcance, se puede obtener más de una estimación de velocidad. Las velocidades obtenidas de este modo se pueden promediar, o una curva se puede ajustar a las estimaciones de velocidad para tener en cuenta los posibles cambios de velocidad a medida que el vehículo atraviesa el área de cobertura 208.

Un problema más complejo es la determinación de la posición de un vehículo en un entorno de varios carriles en los que no se puede suponer que el vehículo se desplaza en una trayectoria limitada. A continuación, se hace referencia a la Figura 4, que muestra una vista superior de un sistema de ETC 250 ejemplar. Tres vehículos denotados como 202, 202a, 202b, y 202c se muestran. Cada vehículo 202 se muestra en una primera posición (Pos1) y una segunda

posición (Pos2). Una antena 204 se muestra en este ejemplo.

El primer vehículo 202a se muestra desplazándose paralelo al borde de la carretera sin desplazamiento lateral con respecto a la antena 204, como en el ejemplo de desplazamiento limitado ilustrado previamente. El segundo vehículo 202b muestra desplazándose paralelo al borde de la carretera desplazado con respecto a la antena 204. La distancia del desplazamiento es una distancia de desplazamiento lateral x . La relación entre el intervalo de r , la altura h , la distancia d , y distancia de desplazamiento lateral x puede expresarse a continuación como:

$$r(t1) = \sqrt{d(t1)^2 + h^2 + x^2}$$

Tenga en cuenta que todavía hay un mínimo de tasa de variación de alcance que se produce cuando la dirección de movimiento/trayectoria del vehículo es ortogonal a la antena.

El tercer vehículo 202c se muestra desplazándose a un ángulo θ de la paralela a la línea central de la carretera y desplazado con respecto a la antena 204 por la distancia de desplazamiento lateral x .

Se ha observado experimentalmente que, al igual que la altura de la antena h , la distancia de desplazamiento lateral para intervalos x razonables tiene un impacto casi insignificante sobre la correlación entre las mediciones de tasas de variación de alcance y estimaciones de velocidad/distancia. Sin embargo, un intervalo limitado de distancias de desplazamiento lateral x se puede suponer, lo que da como resultado un intervalo limitado de las estimaciones de velocidad/distancia para una medición de tasa de variación de alcance dada.

Hay que recordar que en un sistema de varios carriles, hay múltiples antenas que abarcan la carretera, y que el sistema selecciona la antena con las mejores (por ejemplo, mayor número de) comunicaciones con el transpondedor a bordo del vehículo. Esa antena tiende, por lo general, a ser la antena con respecto a la que el vehículo pasa más de cerca, aunque este no es necesariamente el caso en función de factores ambientales, la edad de la antena y anomalías, y reflexiones de trayectorias múltiples. Por lo tanto, hay un límite superior de valores de x razonables a cada lado de una antena, por encima de los que se puede suponer que el vehículo se comunicaría mejor con otra antena. Del mismo modo, en un entorno de carretera abierta de varios carriles, existe un límite superior en el ángulo θ al que un vehículo es capaz de viajar en relación con la línea central de la carretera sin desviarse de la carretera. En una realización, los límites del ángulo θ se pueden relacionar con el tiempo en la zona de captura, puesto que el vehículo que se está desplazando más rápido, es menos probable que se desplace a un gran ángulo θ en relación con la línea central.

De acuerdo con ello, dado un mínimo de tasa de variación de alcance a momento t_0 y una medición de tasa de variación de alcance en uno o más de otros tiempos, t_1 , podemos estimar una región limitada en la que es probable que el vehículo se sitúa en un tercer momento.

A continuación, se hace referencia a la Figura 5, que muestra esquemáticamente una vista de arriba de un sistema de ubicación de vehículos 300. El sistema 300 incluye una antena 302. Un mínimo de tasa de variación de alcance se detecta en el tiempo t_0 , que corresponde a una ubicación bajo la antena 302 o a lo largo de un desplazamiento lateral x de la antena ortogonal a la dirección de marcha. En un momento t_1 , una tasa de variación de alcance se calcula basándose en una medición Doppler. El conjunto limitado de posibles ubicaciones se indica con el número 304 basándose en un conjunto limitado de las velocidades correspondientes y de los posibles desplazamientos laterales x correspondientes y ángulos θ correspondientes a esas velocidades. Cada ubicación dentro del conjunto limitado de ubicaciones 304 se corresponde con una combinación única de velocidad v , desplazamiento lateral x y ángulo θ . Entonces cada uno (suponiendo una velocidad constante y dirección de marcha), corresponde a una ubicación predicha en el tiempo t_n . Por tanto, el sistema 300 es capaz de predecir las posibles ubicaciones del vehículo en un tiempo t_n . En este ejemplo, en el tiempo t_n , el intervalo de posibles ubicaciones se indica mediante el número de referencia 306.

En otra realización, el sistema 300 evalúa si es posible que el vehículo se encuentre en una ubicación particular en un tiempo t_n basándose en si esa ubicación cae dentro del conjunto limitado de posibles ubicaciones. Esta realización se puede utilizar para la determinación de si un vehículo detectado físicamente se puede correlacionar con un vehículo equipado con transpondedor con el que el sistema 300 se ha comunicado. En otra realización adicional, el sistema 300 predice un intervalo de posibles tiempos en los que el vehículo llega a una línea de detección de vehículos, basándose en el intervalo de posibles velocidades v y trayectorias (x y θ).

A continuación, se hace referencia a la Figura 6, que muestra esquemáticamente una vista desde arriba de un sistema de ubicación de vehículos 400 en un entorno de varios carriles que incluye una pluralidad de antenas 402a, 402b, 402c, 402d, y 402e. En esta realización, múltiples mediciones de tasa de variación de alcance se calculan, correspondiente a los tiempos t_1 , t_2 y t_3 . El intervalo de velocidades y posiciones correspondientes basándose en la primera medición de tasa de variación de alcance en el tiempo t_1 se indica mediante el número de referencia 406. El intervalo de velocidades y posiciones correspondientes basándose en la segunda medición de tasa de variación de

alcanza en el tiempo t_2 se indica mediante el número de referencia 408. La pluralidad de las mediciones de tasa de variación de alcance ayuda en la reducción de intervalo de posibles velocidades que cumplan los criterios (de velocidad, ángulo y desplazamiento) en ambos conjuntos de datos y , por lo tanto, el intervalo de posibles ubicaciones en el tiempo t_n . Como resultado se determina un intervalo más estrecho de posibles ubicaciones 410 en el tiempo t_n .

En algunas realizaciones, las mediciones de tasa de variación de alcance se pueden promediar o combinarse de otra manera. En algunos casos, el conjunto de velocidades limitado y calculado (y sus valores x y θ) para medición de tasa de variación de alcance se combina con el correspondiente conjunto de velocidades limitado (y sus valores x y θ correspondientes) de otras mediciones de tasa de variación de alcance para alcanzar un subconjunto de posibles velocidades y sus y y sus valores x y θ correspondientes. La combinación puede tener en cuenta la posible aceleración o desaceleración razonable entre dos puntos de tiempo.

A continuación, se hace referencia a la Figura 7, que muestra un gráfico 500 de la tasa de variación de alcance calculada en función del tiempo. Se entenderá que los cálculos de tasa de variación de alcance se corresponden con puntos (casi) discretos en el tiempo en los que se recibe una señal de respuesta por el sistema de un transpondedor. En este ejemplo, cinco cálculos de la tasa de variación de alcance se muestran en los tiempos t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 y. También en este ejemplo, se presume que el signo del desplazamiento de fase no se conoce a partir del análisis medición anterior, dejando el sistema 300 con una magnitud de tasa de variación de alcance única en los puntos específicos de tiempo. Se entenderá que los tiempos de medición no incluyen necesariamente una medición exactamente en el tiempo t_0 durante el que la tasa de variación de alcance es cero.

Un enfoque, ilustrado en la Figura 7, es para ajustar una curva a las magnitudes de tasa de variación de alcance medidas y , habiendo encontrado una mejor curva de ajuste, para identificar el tiempo en que esta curva está en un mínimo. A continuación, este se identifica como el tiempo t_0 . El ajuste de la curva se puede basar en el ajuste de un polinomio de segundo grado, en este ejemplo. Mínimos cuadrados pueden ser la base para la búsqueda de un mejor ajuste, en algunas implementaciones.

Otro enfoque, que se ilustra con el gráfico 502 mostrado en la Figura 8, es cambiar iterativamente, comenzando con la última medición, la magnitud negativa de tasa de variación de alcance medida e intentar ajustar una curva a los puntos de datos. Esta iteración se realiza hasta que se realice el mejor ajuste. El punto de cruce por cero y la pendiente se pueden determinar después a partir de la curva. Se observará que la curva puede ser un polinomio de primer grado en algunas implementaciones. En algunas implementaciones, el sistema 300 puede intentar ajustarse a un polinomio de tercer grado para los puntos de datos en lugar de a un polinomio de primer grado. Con el polinomio de tercer grado, el punto de inflexión puede corresponder al punto de cruce por cero. Se pueden utilizar mínimos cuadrados para identificar el mejor ajuste.

A continuación con referencia a la Figura 9, que muestra otra vista aérea de un sistema de ubicación de vehículos 600, se observará que el intervalo de posibles ubicaciones puede ser aún menor en el caso en que se presume que el vehículo se encuentra a un lado de una antena 602, reduciendo de este modo el intervalo de desplazamientos laterales x a un lado de la antena 602. Esta determinación se puede basar, por ejemplo, en las comunicaciones recibidas por una antena adyacente 604 en comparación con las comunicaciones recibidas por una antena adyacente 606 al otro lado de la antena 602. La determinación se puede basar en los recuentos de acuses de recibo relativos, mediciones de RSSI, u otros datos.

Como se ilustra en la Figura 9, las mediciones de tasa de variación de alcance tomadas por ambas antenas se pueden utilizar para limitar las posibles ubicaciones, trayectorias y velocidades, dando lugar a una estimación más precisa de la ubicación del equipo en el tiempo t_n .

Con referencia de nuevo a las Figuras 1 y 2, el lector 17, el módulo de RF 24, un controlador 30 en el borde de la carretera, el sistema 100, o partes del mismo, se pueden implementar por medio de componentes de circuitos integrados programables, circuitos integrados de aplicación específica, dispositivos analógicos, o combinaciones de estos componentes. En algunos casos, las funciones o las operaciones descritas en la presente memoria se pueden implementar por medio de instrucciones ejecutables por procesador almacenadas en una memoria legible por el procesador que, cuando se ejecutan, hacen que uno o más procesadores realicen las funciones u operaciones. Algunas de las funciones descritas anteriormente se pueden implementar por el lector 17 y algunas por el controlador 30 en el borde de la carretera, en función de la aplicación elegida.

En particular, la presente invención puede comprender una o más de las siguientes características:

Cláusula 1: Un método de estimación de ubicación de vehículos en una carretera (12) utilizando un sistema automático de identificación de vehículos, incluyendo el sistema una antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) que define una área de cobertura (26, 208) para su comunicación con un transpondedor (20, 206) a bordo del vehículo (22, 202) en la carretera (12), comprendiendo el método:

recibir un conjunto de señales de respuesta procedentes del transpondedor (20, 206) en los puntos de tiempo (t1-t5) y determinar una tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) en cada punto de tiempo (t1-t5);

5 identificar unos mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance;

estimar una primera posición (pos0) del transpondedor (20, 206) en un primer tiempo (t0) que corresponde a la ocurrencia de los mínimos;

10 estimar una velocidad (v) del vehículo (22, 202) basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinada; y

15 estimar una segunda posición (pos1, pos2, pos3) del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos0) y en la velocidad (v).

20 Cláusula 2: El método de la cláusula 1, en el que la tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) comprende la tasa de cambio de una distancia (r) entre el transpondedor (20, 206) y la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), y en el que la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) se eleva por encima de la carretera (12).

25 Cláusula 3: El método de la cláusula 1 o la cláusula 2, en el que la determinación de la tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) en cada punto de tiempo (t1-t5) comprende medir la desviación Doppler en la señal de respuesta en cada punto de tiempo (t1-t5).

30 Cláusula 4: El método de cualquiera de las cláusulas 1 a 3, en el que la identificación de unos mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance comprende la búsqueda de una mejor curva de ajuste utilizando las tasas de variación de alcance determinadas.

35 Cláusula 5: El método de la cláusula 4, en el que la búsqueda de la mejor curva de ajuste incluye el uso de error de mínimos cuadrados para seleccionar la mejor curva de ajuste, y en el que la identificación de los mínimos en la magnitud incluye la búsqueda de un punto de cruce por cero de la mejor curva de ajuste.

40 Cláusula 6: El método de cualquiera de las cláusulas 1 a 5, en el que la estimación de la velocidad (v) comprende la selección de un conjunto limitado de velocidades y la selección de la velocidad (v) dentro del conjunto limitado que corresponde a las tasas de variación de alcance determinadas que se han producido.

45 Cláusula 7: El método de la cláusula 6, en el que la selección del conjunto limitado de velocidades incluye determinar el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), determinar un intervalo limitado de longitudes posibles para el área de cobertura (26, 208), y determinar el conjunto limitado de velocidades basándose en el intervalo limitado de longitudes posibles y el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606).

50 Cláusula 8: El método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 7, en el que la estimación de la segunda posición (pos1, pos2, pos3) se basa además en un intervalo limitado de desplazamientos transversales a la trayectoria, en el que el desplazamiento transversal a la trayectoria es una distancia (x), en un plano paralelo a la carretera (12), entre una trayectoria del transpondedor (20, 206) y un centro de la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), en el que la distancia (x) es ortogonal a la trayectoria.

55 Cláusula 9: El método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 8, en el que la estimación de la segunda posición (pos1, pos2, pos3) se basa además en un intervalo limitado de posibles ángulos (θ) de una trayectoria del transpondedor (20, 206) con respecto a una línea central de la carretera (12).

60 Cláusula 10: El método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 9, en el que la estimación de la velocidad (v) comprende la estimación de la velocidad (v) en un segundo punto de tiempo, y en el que el método comprende además estimar una segunda velocidad del vehículo (22, 202) en otro momento basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinada, y estimar la tercera posición del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos0) y la segunda velocidad.

65 Cláusula 11: El método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 10, que comprende además determinar una posición probable del transpondedor (20, 206) en un tiempo seleccionado basándose en las estimaciones de la velocidad (v), la primera posición (pos0) y la segunda posición (pos1, pos2, pos3).

Cláusula 12: El método de la cláusula 11, en el que la posición probable del transpondedor (20, 206) se encuentra fuera del área de cobertura (26, 208).

Cláusula 13: El método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 10, que comprende además determinar un tiempo y una ubicación en la que el transpondedor (20, 206) ha pasado probablemente por la línea de detección (44) de vehículos (22, 202) a través de la carretera (12), basándose en las estimaciones de la velocidad (v), la primera posición (pos_0) y la segunda posición (pos_1 , pos_2 , pos_3).

Cláusula 14: Un sistema automático de identificación de vehículos para identificar la posición en una carretera (12) de un vehículo (22, 202), comprendiendo el sistema:

una antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) para su comunicación con un transpondedor (20, 206) a bordo del vehículo (22, 202) en la carretera (12);

un transceptor para transmitir una señal de onda continua sobre la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) y para recibir señales de respuesta procedentes del transpondedor (20, 206);

una memoria que almacena las instrucciones de ubicación de la posición del vehículo; y

un procesador, que cuando se ejecuta las instrucciones de ubicación de la posición del vehículo, se configura para:

determinar una tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) basándose en señales de respuesta recibidas en los puntos de tiempo (t_1 - t_5),

identificar unos mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance,

estimar una primera posición (pos_0) del transpondedor (20, 206) en un primer tiempo (t_0) que corresponde a la ocurrencia de los mínimos,

estimar una velocidad (v) del vehículo (22, 202) basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinadas, y

estimar una segunda posición (pos_1 , pos_2 , pos_3) del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos_0) y en la velocidad (v).

Cláusula 15: El sistema de la cláusula 14, en el que la tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) comprende la tasa de cambio de una distancia (r) entre el transpondedor (20, 206) y la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), y en el que la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) se eleva por encima de la carretera (12).

Cláusula 16: El sistema de la cláusula 14 o la cláusula 15, en el que el procesador se configura para la determinación de la tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) en cada punto de tiempo (t_1 - t_5) midiendo la desviación Doppler en la señal de respuesta en cada punto de tiempo (t_1 - t_5).

Cláusula 17: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 16, en el que el procesador se configura para identificar unos mínimos en la magnitud de la tasa de variación de alcance mediante la búsqueda de una mejor curva de ajuste utilizando las tasas de variación de alcance determinadas.

Cláusula 18: El sistema de la cláusula 17, en el que la búsqueda de la mejor curva de ajuste incluye el uso de error cuadrado mínimo para seleccionar la mejor curva de ajuste, y en el que el procesador identifica los mínimos en la magnitud mediante la búsqueda de un punto de cruce por cero de la mejor curva de ajuste.

Cláusula 19: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 18, en el que el procesador se configura para estimar la velocidad (v) mediante la selección de un conjunto limitado de velocidades y la selección de la velocidad (v) dentro del conjunto limitado que corresponde a las tasas de variación de alcance determinadas que se han producido.

Cláusula 20: El sistema de la cláusula 19, en el que la selección del conjunto limitado de velocidades incluye determinar el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), determinar un intervalo limitado de longitudes posibles para la área de cobertura (26, 208), y determinar el conjunto limitado de velocidades basándose en el intervalo limitado de longitudes posibles y el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606).

Cláusula 21: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 20, en el que el procesador se configura para estimar la segunda posición (pos1, pos2, pos3) basándose además en un intervalo limitado de desplazamientos transversales a la trayectoria, en el que el desplazamiento transversal a la trayectoria es una distancia (x), en un plano paralelo a la carretera (12), entre una trayectoria del transpondedor (20, 206) y un centro de la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), y en el que la distancia (x) es ortogonal a la trayectoria.

Cláusula 22: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 21, en el que el procesador se configura para estimar la segunda posición (pos1, pos2, pos3) posteriormente basándose en un intervalo limitado de posibles ángulos (θ) de una trayectoria del transpondedor (20, 206) con respecto a una línea central de la carretera (12).

Cláusula 23: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 22, en el que el procesador se configura para estimar la velocidad (v) mediante la estimación de la velocidad (v) en un segundo punto de tiempo, y en el que el procesador se configura además para estimar una segunda velocidad del vehículo (22, 202) en otro momento basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinadas, y estimar la tercera posición del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos0) y en la segunda velocidad.

Cláusula 24: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 23, en el que el procesador se configura además para la determinación de una posición probable del transpondedor (20, 206) en un tiempo seleccionado basándose en las estimaciones de la velocidad (V), la primera posición (pos0) y la segunda posición (pos1, pos2, pos3).

Cláusula 25: El sistema de la cláusula 24, en el que la posición probable del transpondedor (20, 206) se encuentra fuera del área de cobertura (26, 208).

Cláusula 26: El sistema de una cualquiera de las cláusulas 14 a 23, en el que el procesador se configura además para la determinación de un tiempo y una ubicación en el que el transpondedor (20, 206) ha pasado probablemente por una línea de detección de vehículos (44) a través de la carretera (12), basándose en las estimaciones de la velocidad (v), la primera posición (pos0) y la segunda posición (pos1, pos2, pos3).

Cláusula 27: Un medio legible por ordenador no transitorio que almacena instrucciones ejecutables por procesador que, al ejecutarse, hacen que un procesador realice el método de una cualquiera de las cláusulas 1 a 14.

Cláusula 28: Un método para la determinación de una tasa de variación de alcance de un transpondedor de retrodispersión (20, 206) a bordo del vehículo en una carretera (12) utilizando un sistema automático de identificación de vehículos, incluyendo el sistema una antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) que define un área de cobertura (26, 208) para su comunicación con el transpondedor de retrodispersión (20, 206), la tasa de variación de alcance que es una tasa de cambio de una distancia (r) entre el transpondedor (20, 206) y la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), comprendiendo el método:

transmitir una señal de onda continua a través de la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) que tiene una frecuencia portadora;

recibir una señal de respuesta reflejada modulada procedente del transpondedor (20, 206), en el que la modulación es a una frecuencia de modulación;

convertir la señal de respuesta reflejada modulada en una señal descendentemente convertida mediante la mezcla de la señal de respuesta reflejada modulada con la frecuencia portadora;

filtrar por paso de banda la señal descendentemente convertida para hacer pasar una señal filtrada por paso de banda que contiene, al menos, la frecuencia de modulación;

aplicar una función de transferencia de amplitud no lineal a la señal filtrada por paso de banda para eliminar la modulación y producir una señal de modulación suprimida;

medir la frecuencia de la señal de modulación suprimida; y

determinar la tasa de variación de alcance basándose en una desviación Doppler correspondiente a la frecuencia medida de la señal de modulación suprimida.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de estimación de ubicación de vehículos en una carretera (12) con una dirección de marcha que utiliza un sistema automático de identificación de vehículos, incluyendo el sistema una antena direccional (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) que define un área de cobertura (26, 208) para comunicación con un transpondedor (20, 206) a bordo del vehículo (22, 202) en la carretera (12), estando el método **caracterizado por**:

10 transmitir una señal de onda continua a lo largo de la antena;
 recibir un conjunto de señales de respuesta moduladas que contienen información de comunicación por medio de modulación de retrodispersión de la señal de onda continua procedente del transpondedor (20, 206) en los puntos de tiempo (t1-t5) y determinar una tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) en cada punto de tiempo (t1-t5) midiendo la desviación Doppler en la señal de respuesta en cada punto de tiempo (t1-t5), siendo dicha tasa de variación de alcance una velocidad del transpondedor en relación con la antena;

15 identificar un valor mínimo de la tasa de variación de alcance;
 estimar una primera posición (pos0) del transpondedor (20, 206) en un primer tiempo (t0) correspondiente a la aparición del valor mínimo;
 estimar una velocidad (v) del vehículo (22, 202) basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinadas; y

20 estimar una segunda posición (pos1, pos2, pos3) del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos0) y en la velocidad (v).
- 25 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la identificación de un valor mínimo de la tasa de variación de alcance comprende la búsqueda de una mejor curva de ajuste utilizando las tasas de variación de alcance determinadas.
- 30 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la estimación de la velocidad (v) comprende la selección de un conjunto limitado de velocidades y la selección de la velocidad (v) dentro del conjunto limitado que corresponde a las tasas de variación de alcance que se ha determinado que se han producido.
- 35 4. El método reivindicado en la reivindicación 3, en el que la selección del conjunto limitado de velocidades incluye determinar el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), determinar un intervalo limitado de longitudes posibles para la área de cobertura (26, 208) y determinar el conjunto limitado de velocidades basándose en el intervalo limitado de longitudes posibles y el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606).
- 40 5. El método reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la estimación de la segunda posición (pos1, pos2, pos3) se basa además en un intervalo limitado de los desplazamientos transversales a la trayectoria, en donde el desplazamiento transversal a la trayectoria es una distancia (x), en un plano paralelo a la carretera (12), entre una trayectoria del transpondedor (20, 206) y un centro de la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a- 402e, 602, 604, 606), en donde la distancia (x) es ortogonal a la trayectoria.
- 45 6. El método reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la estimación de la segunda posición (pos1, pos2, pos3) se basa además en un intervalo limitado de posibles ángulos (θ) de una trayectoria del transpondedor (20, 206) con respecto a una línea central de la carretera (12).
- 50 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además la determinación de una posición probable del transpondedor (20, 206) en un tiempo seleccionado basándose en las estimaciones de la velocidad (v), la primera posición (pos0) y la segunda posición (pos1, pos2, pos3).
- 55 8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la posición probable del transpondedor (20, 206) se encuentra fuera del área de cobertura (26, 208).
- 60 9. Un sistema automático de identificación de vehículos para identificar la posición de un vehículo (22, 202) en una carretera (12) con una dirección de marcha, comprendiendo el sistema:

una antena direccional (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) para comunicación con un transpondedor (20, 206) a bordo del vehículo (22, 202) en la carretera (12);

65 un tranceptor para transmitir una señal de onda continua sobre la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) y para recibir señales de respuesta moduladas que contienen información de comunicación por medio de la modulación de retrodispersión de la onda continua señal del transpondedor (20, 206);
 una memoria que almacena la posición del vehículo para localizar las instrucciones; y

estando **caracterizado por** que comprende además:

un procesador, que cuando ejecuta las instrucciones de ubicación de la posición del vehículo, se configura para:

- 5 determinar una tasa de variación de alcance del transpondedor (20, 206) en relación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606) basándose en señales de respuesta recibidas en los puntos de tiempo (t1-t5) midiendo la desviación Doppler en la señal de respuesta en cada punto de tiempo (t1-t5), siendo dicha tasa de variación de alcance una velocidad del transpondedor en relación con la antena,
- 10 identificar un valor mínimo de la tasa de variación de alcance,
- estimar una primera posición (pos0) del transpondedor (20, 206) en un primer tiempo (t0) correspondiente a la aparición del valor mínimo,
- estimar una velocidad (v) del vehículo (22, 202) basándose en una o más de las tasas de variación de alcance determinadas, y
- estimar una segunda posición (pos1, pos2, pos3) del transpondedor (20, 206) basándose en la primera posición (pos0) y la velocidad (v).
- 15 10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el procesador está configurado para identificar un valor mínimo de la tasa de variación de alcance mediante la búsqueda de una mejor curva de ajuste utilizando las tasas de variación de alcance determinadas.
- 20 11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que el procesador está configurado para estimar la velocidad (v) mediante la selección de un conjunto limitado de velocidades y la selección de la velocidad (v) dentro del conjunto limitado que corresponde a las tasas de variación de alcance que se ha determinado que se han producido.
- 25 12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la selección del conjunto limitado de velocidades incluye determinar el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), determinar un intervalo limitado de longitudes posibles para el área de cobertura (26, 208), y determinar el conjunto limitado de velocidades basándose en el intervalo limitado de longitudes posibles y el tiempo durante el que el transpondedor (20, 206) ha estado en comunicación con la antena
- 30 (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606).
13. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que el procesador está configurado para estimar la segunda posición (pos1, pos2, pos3) basándose además en un intervalo limitado de los desplazamientos transversales a la trayectoria, en donde el desplazamiento transversal a la trayectoria es una
- 35 distancia (x), en un plano paralelo a la carretera (12), entre una trayectoria del transpondedor (20, 206) y un centro de la antena (18, 104, 106, 204, 302, 402a-402e, 602, 604, 606), y en donde la distancia (x) es ortogonal a la trayectoria.
- 40 14. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que el procesador está configurado para estimar la segunda posición (pos1, pos2, pos3) basándose además en un intervalo limitado de posibles ángulos (θ) de una trayectoria del transpondedor (20, 206) con respecto a una línea central de la carretera (12).
- 45 15. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que el procesador está configurado además para la determinación de una posición probable del transpondedor (20, 206) en un tiempo seleccionado basándose en las estimaciones de la velocidad (V), la primera posición (pos0) y la segunda posición (pos1, pos2, pos3).
- 50 16. El sistema de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la posición probable del transpondedor (20, 206) se encuentra fuera del área de cobertura (26, 208).
- 55 17. En medio legible por ordenador no transitorio **caracterizado por** almacenar instrucciones ejecutables por procesador que, cuando se ejecutan, hacen que un procesador realice el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

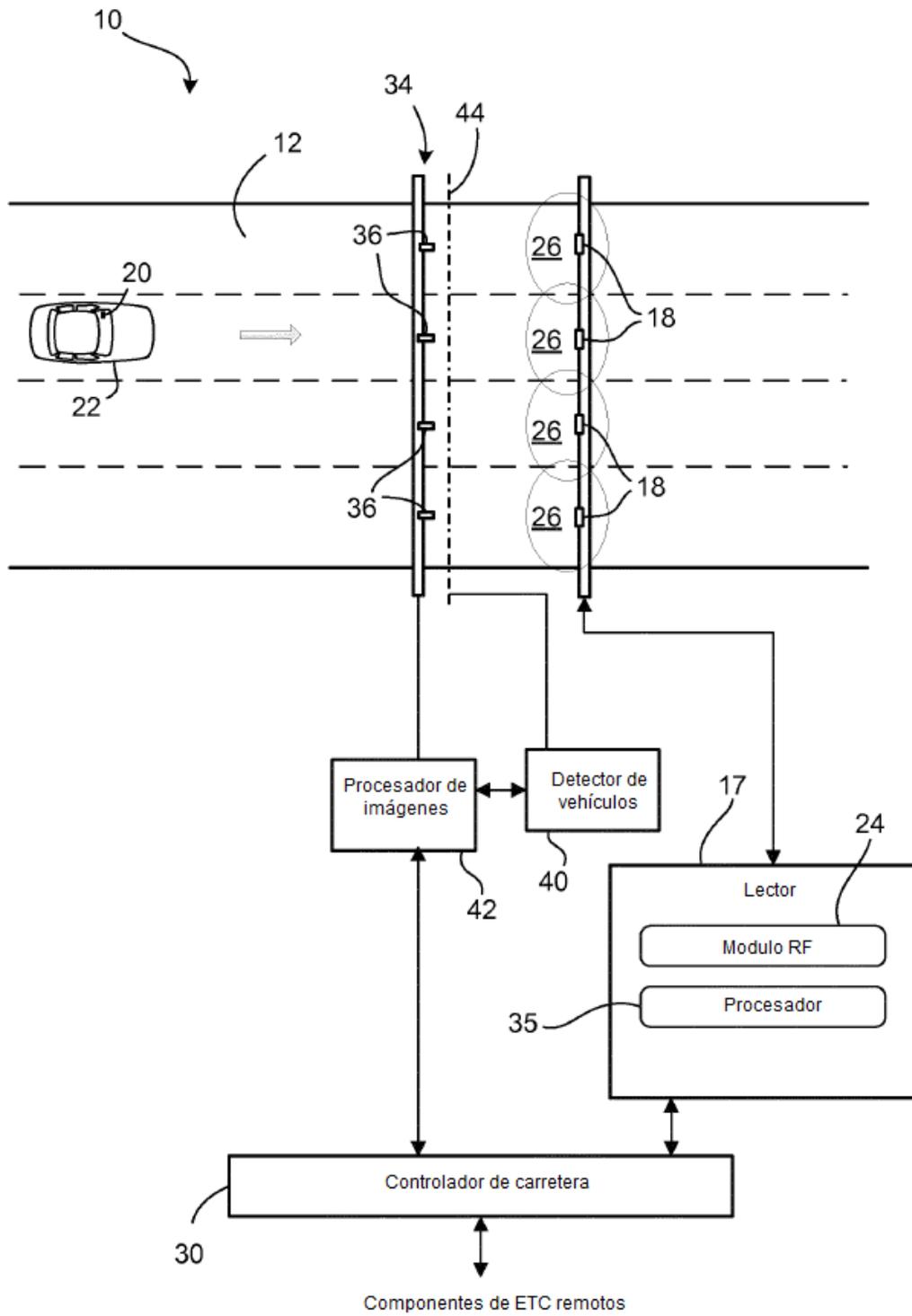


FIG. 1

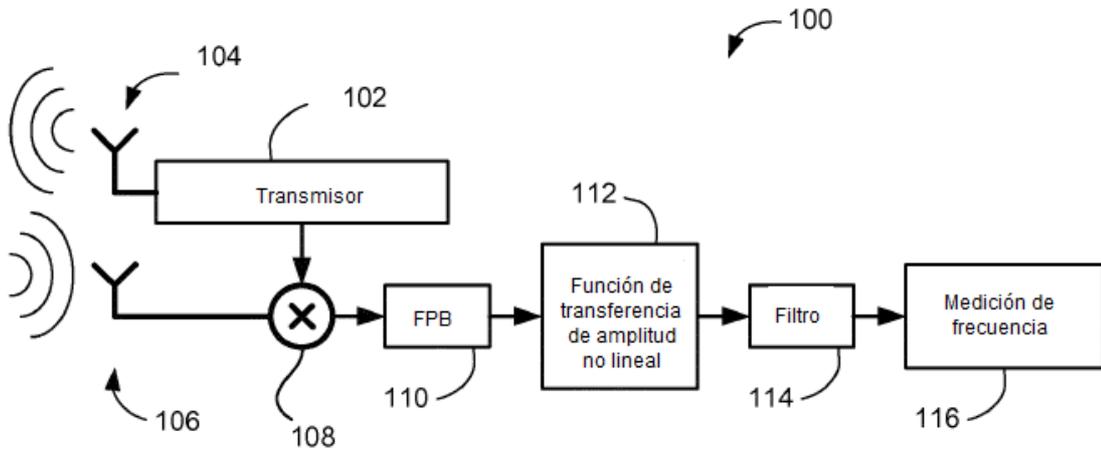


FIG. 2

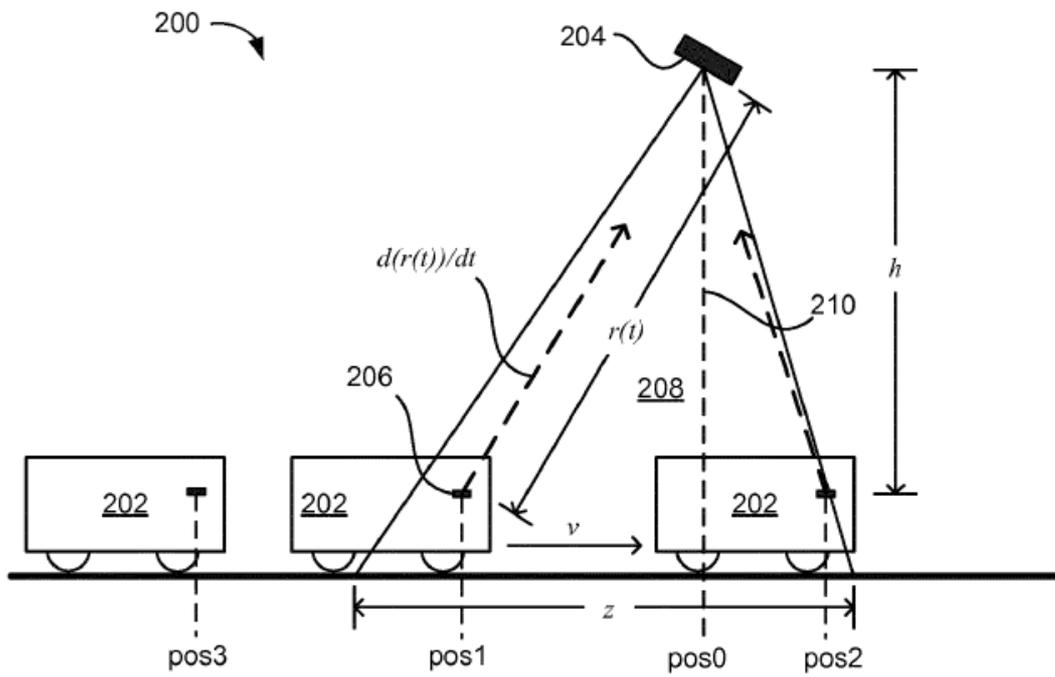


FIG. 3

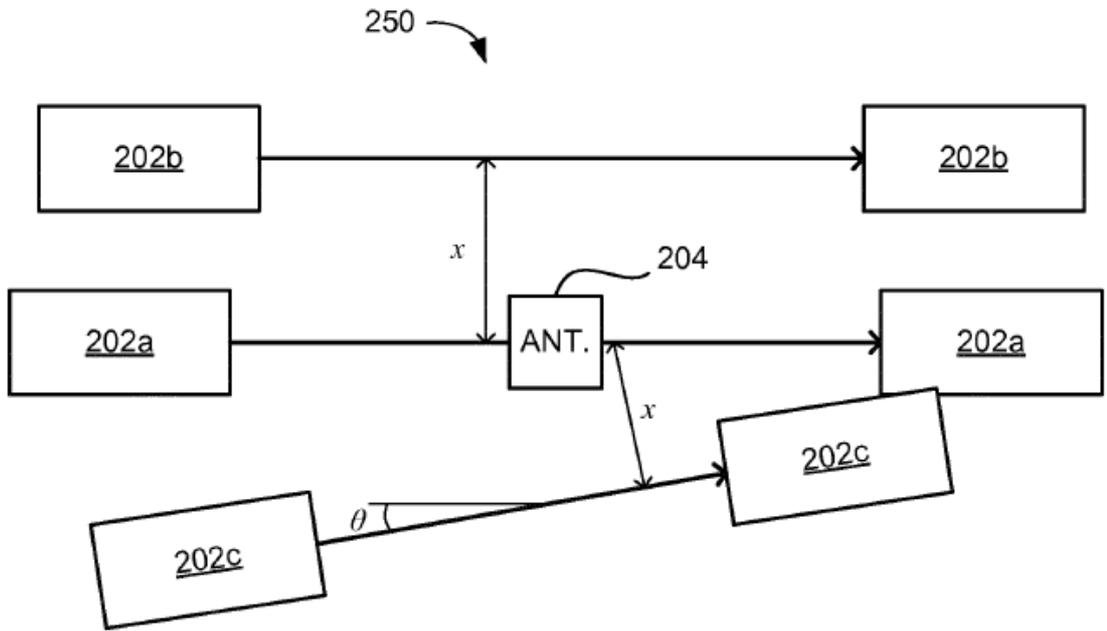


FIG. 4

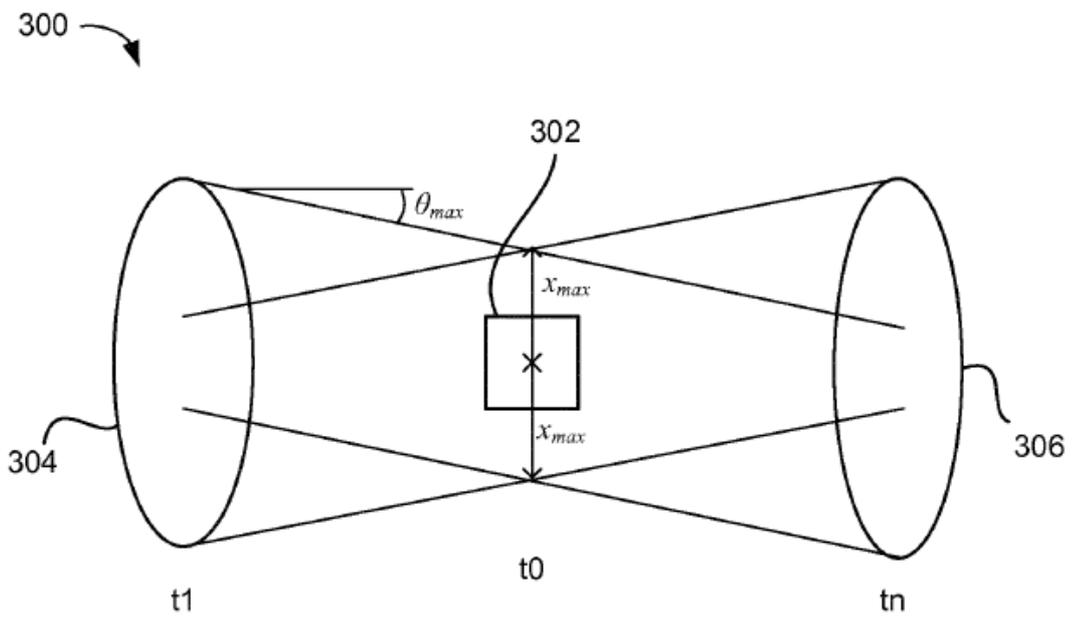


FIG. 5

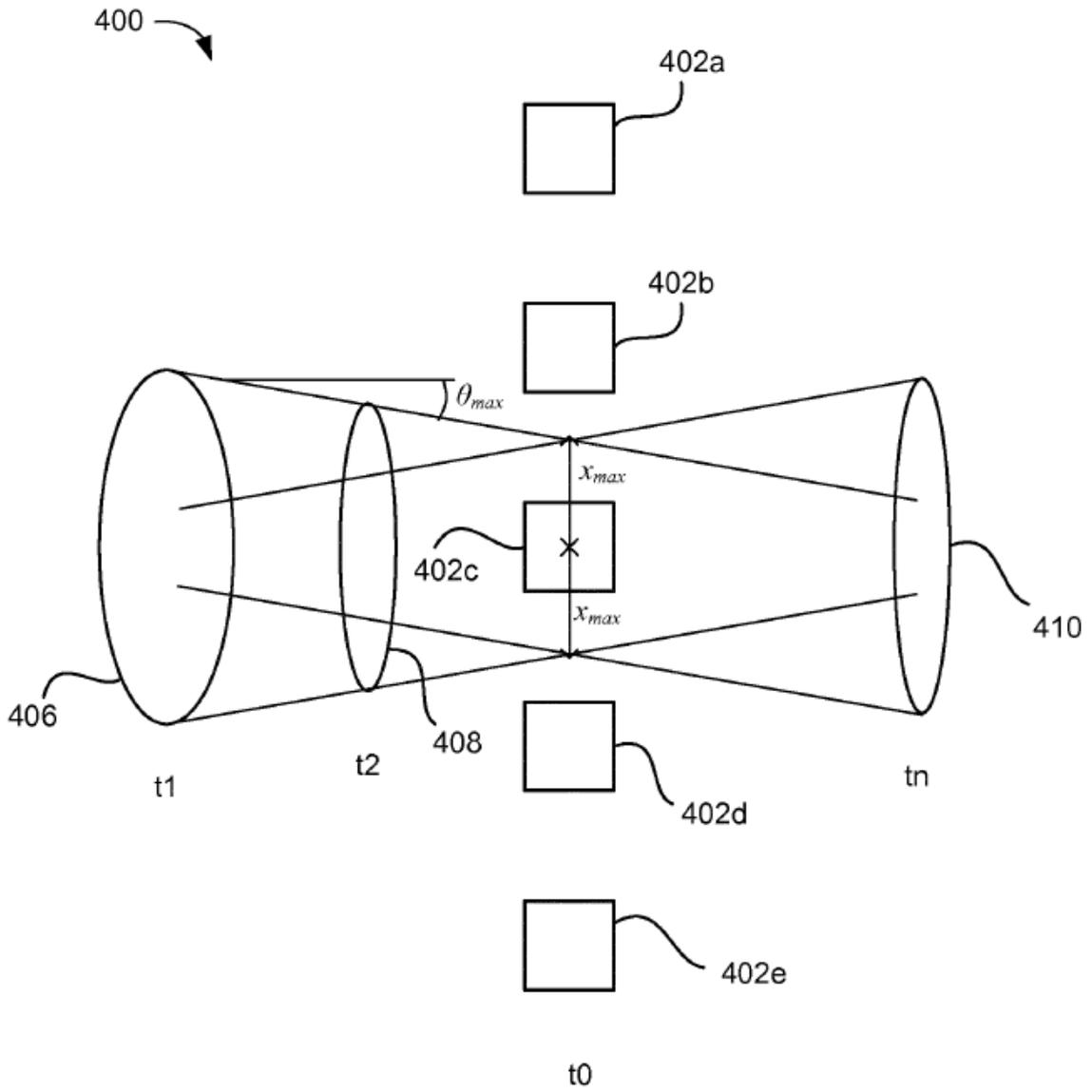


FIG. 6

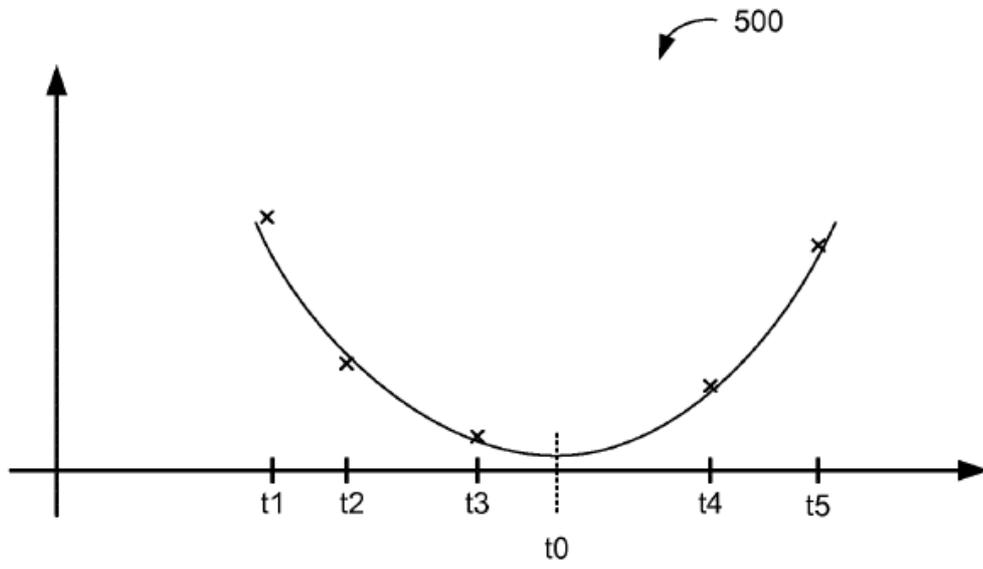


FIG. 7

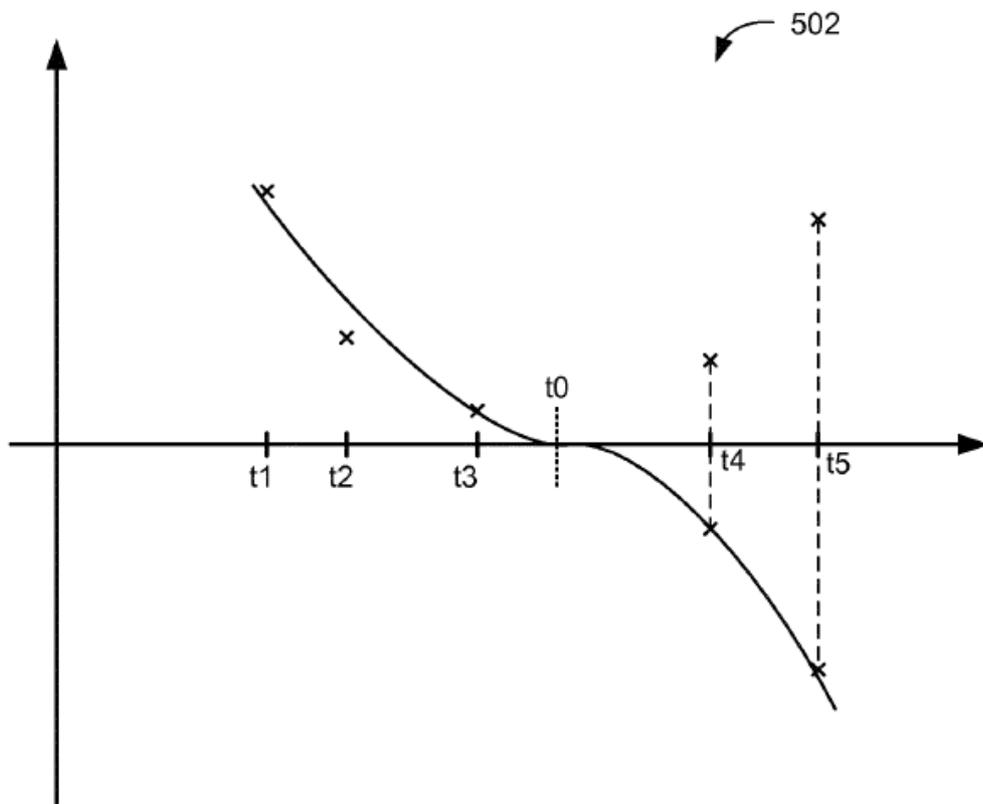


FIG. 8

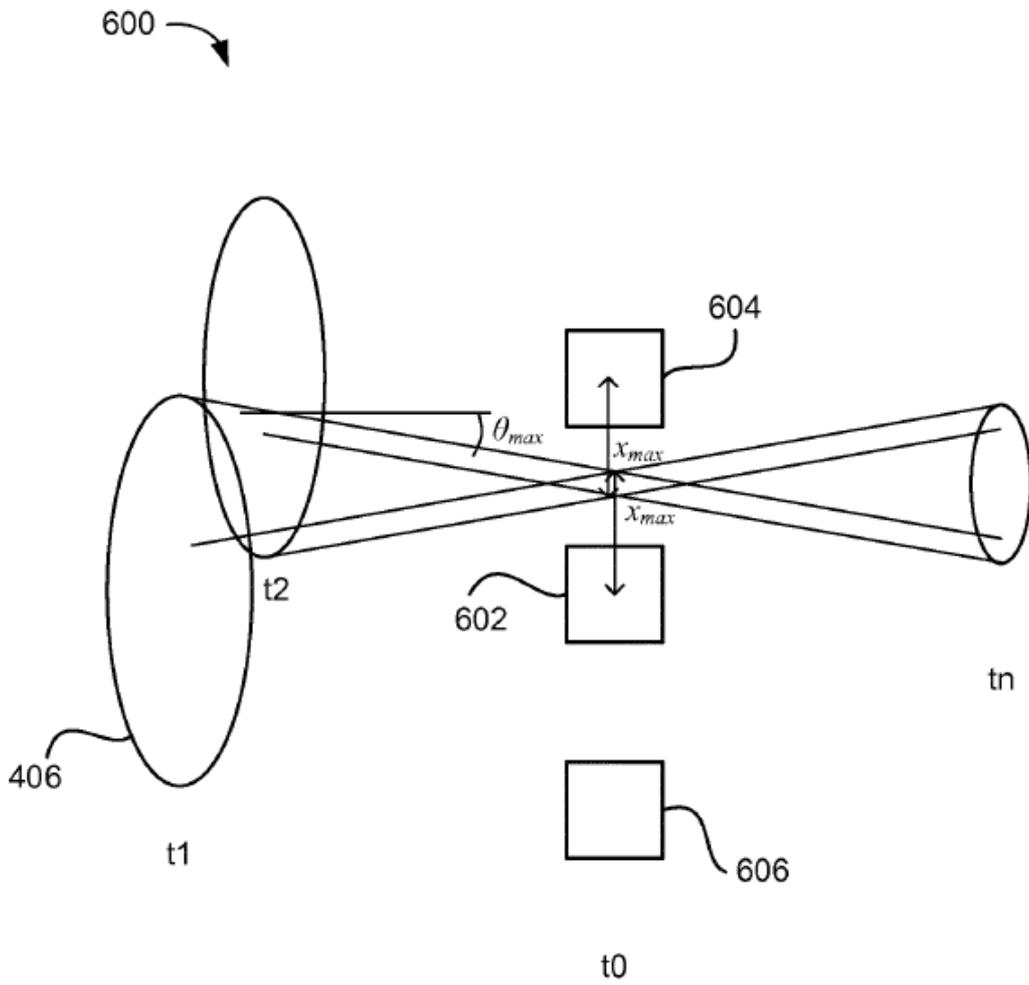


FIG. 9