

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 974**

51 Int. Cl.:
G01S 5/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06824890 .5**
96 Fecha de presentación: **01.09.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **2057478**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.05.2009**

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA EL POSICIONAMIENTO RELATIVO DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.02.2012

73 Titular/es:
**The Boeing Company
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:
HREHA, Mark, A.

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 374 974 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para el posicionamiento relativo de un vehículo autónomo.

5 La presente invención se refiere a métodos para navegación y guiado, y más concretamente, a métodos y sistemas para determinar una posición de un vehículo de referencia en relación con un vehículo autónomo.

10 Un método para determinar una posición de un punto de referencia en relación con un vehículo como se define en el preámbulo de la reivindicación 1 se conoce a partir de la US 6.577.272 B1. Este método conocido se basa en la diferencia de tiempo de las mediciones de llegada. Usa un emisor en un punto de referencia que envía señales de radiofrecuencia a un vehículo, por ejemplo una aeronave. La aeronave se dota con múltiples antenas. La posición relativa entre el vehículo y el punto de referencia se puede determinar usando la diferencia de tiempo de las mediciones de llegada realizadas por estas antenas.

15 Un vehículo autónomo tiene un sistema de navegación u guiado independiente que no está controlado directamente por otro vehículo. El posicionamiento preciso de vehículos autónomos, tales como aeronaves, embarcaciones y automóviles, en relación con una o más referencias estacionarias o en movimiento se requiere comúnmente para operaciones en el espacio, aire, y superficie tales como el aterrizaje basado en cancel o tierra, repostaje de aeronaves en vuelo, maniobras de formación de aeronaves, acoplamiento de aeronaves, y elusión de colisiones. Las técnicas convencionales para determinar una posición de un vehículo en relación a una referencia estacionaria o en movimiento incluyen el procesamiento digital de imágenes, las técnicas de sensor activas (por ejemplo, técnicas de radar o láser), y las técnicas de posicionamiento global (GPS). Las técnicas de procesamiento de imágenes digitales y de sensor activas típicamente requieren equipos sensores caros y sofisticados e interacción de piloto humano con el vehículo autónomo, la cual puede ser problemática en ciertas operaciones tal como el repostaje de aeronaves o las maniobras de formación. Las técnicas de GPS convencionales requieren cuatro transmisores de satélite GPS, que son susceptibles de interrupciones accidentales o abiertas en las transmisiones a un vehículo autónomo, provocando retardos y errores en la determinación de la posición del vehículo autónomo en relación con los satélites GPS.

20 25 30 Un objeto de la presente invención es proporcionar una solución que supere los problemas señalados anteriormente y otros previamente experimentados para la determinación de la posición de un vehículo autónomo.

35 De acuerdo con los métodos consistentes con una implementación de la presente invención, se proporciona un método para determinar una posición de un punto de referencia en relación con un vehículo de acuerdo con la reivindicación 1.

40 De acuerdo con los artículos de fabricación consistentes con una implementación de la presente invención, se proporciona un medio legible por ordenador que contiene la instrucción que provoca que un vehículo tenga un programa para realizar un método para determinar una posición de un punto de referencia en relación con el vehículo de acuerdo con la reivindicación 6.

45 De acuerdo con los sistemas consistentes con una implementación de la presente invención, se proporciona un sistema de posicionamiento de vehículos de acuerdo con la reivindicación 7.

Otros sistemas, métodos, rasgos, y ventajas de la presente invención serán o llegarán a ser evidente a uno con experiencia en la técnica tras el examen de las figuras y la descripción detallada siguientes. Se pretende que todos de tales sistemas, métodos, rasgos, y ventajas adicionales sean incluidos dentro de esta descripción, estén dentro del alcance de la invención, y sean protegidos por las reivindicaciones anexas.

50 Los dibujos anexos, los cuales se incorporan en y constituyen una parte de esta especificación, ilustran una implementación de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar las ventajas y los principios de la invención. En los dibujos:

55 La Figura 1 es un diagrama de un vehículo de control que tiene un sistema para determinar la posición relativa de un vehículo de referencia consistente con una implementación de la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama de bloques ejemplar del sistema de posicionamiento relativo de la Figura 1;

La Figura 3 representa una forma de onda de evento ejemplar y una forma de onda de medición ejemplar detectadas por al menos tres receptores del sistema de posicionamiento relativo para determinar la posición relativa del vehículo de referencia de acuerdo con la presente invención; y

60 Las Figuras 4A-B son un diagrama de flujo de un proceso ejemplar realizado por el sistema de posicionamiento relativo para determinar la posición relativa del vehículo de referencia.

65 Se hará ahora referencia en detalle a una implementación de acuerdo con los métodos, sistemas, y productos consistentes con una implementación de la presente invención como se ilustra en los dibujos anexos. Los métodos, sistemas, y artículos de fabricación consistentes con una implementación de la presente invención determinan una

posición o situación de un vehículo de referencia o punto estacionario en relación con un vehículo autónomo (o de control), que permite al vehículo autónomo mantener un perfil de distancia, alcance, o guiado predeterminado en relación con el vehículo o punto de referencia sin que el vehículo o punto de referencia comunique la información de posición al vehículo autónomo.

5 La Fig. 1 representa un diagrama de un sistema de posicionamiento de vehículos 100 que incluye una referencia o primer vehículo 102 y un segundo vehículo autónomo o de control 104. El vehículo autónomo 104 incluye un sistema de posicionamiento relativo 200 como se muestra en la Fig. 2 para determinar la posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo de control 104 de acuerdo con los métodos y sistemas consistentes con una implementación de la presente invención. El vehículo de referencia 102 incluye un transmisor 106 y el sistema de posicionamiento relativo 200 del vehículo autónomo 104 incluye una pluralidad de receptores 110, 112, 114, y 116 y un sistema informático 118 conectado operativamente a cada receptor. El transmisor 106 del vehículo de referencia 102 se configura operativamente para emitir una primera forma de onda o de evento 302 y una segunda forma de onda o de medición 304 que tiene una relación con la forma de onda de evento 302 como se representa en la Fig. 3. Aunque la forma de onda de medición 304 puede tener otras relaciones con la forma de onda de evento 302, en una implementación de la presente invención, la forma de onda de medición tiene un número fijo y conocido de ciclos para cada ciclo de forma de onda de evento cuando se emite por el transmisor 106. La forma de onda de evento 302 y la forma de onda de medición 304 se pueden detectar por al menos tres receptores 110, 112, 114, y 116 del sistema de posicionamiento relativo 200 para determinar la posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo autónomo 104 de acuerdo con la presente invención.

La forma de onda de evento 302 señala el inicio y el final de un periodo de medición al sistema de posicionamiento relativo 200 del vehículo autónomo 104 como se describe en más detalle más adelante. En una implementación, la forma de onda de evento 302 señala el inicio del periodo de medición al sistema de posicionamiento relativo 200 cuando un primer receptor (por ejemplo, el receptor 110) del sistema de posicionamiento relativo 200 detecta la forma de onda de evento 302 y señala el final del periodo de medición cuando un último de al menos tres receptores 112, 114, y 116 detecta la forma de onda de evento 302. La forma de onda de evento 302 puede ser un pulso único o una forma de onda periódica o continua que tiene una primera frecuencia. El frente 108 de la forma de onda de evento 302 se muestra en la Fig. 1 como se detecta por el sistema de posicionamiento relativo 200 del vehículo autónomo 104 en una primera de las ubicaciones del receptor (por ejemplo, la ubicación del receptor 110). Cuando el frente de la forma de onda de evento 108 alcanza el primer receptor 110, la posición del vehículo de referencia 102 o punto de referencia (es decir, el transmisor 106) se representa por las coordenadas desconocidas (R_x , R_y , R_z). El alcance R desde el vehículo de referencia 102 o el transmisor 106 al primer receptor 110 se da por la Ecuación (1). La distancia desde el vehículo de referencia 102 o el transmisor 106 a cada receptor 112, 114, y 116 distinto del primer receptor es igual al alcance desconocido R más la distancia respectiva d_1 , d_2 , y d_3 , cada una de las cuales se deriva de acuerdo con métodos y sistemas consistentes con una implementación de la presente invención.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (1)$$

El sistema de posicionamiento relativo 200 se configura operativamente para derivar las coordenadas desconocidas (R_x , R_y , R_z) en base a la Ecuación (1) y la relación geométrica entre el vehículo de referencia 102 y los receptores 110, 112, 114, y 116 como se refleja en la Ecuación (2)

$$(R_x - \tilde{x}_i)^2 + (R_y - \tilde{y}_i)^2 + (R_z - \tilde{z}_i)^2 = (R + d_i)^2 \quad (2)$$

45 donde las diferencias \tilde{x}_i , \tilde{y}_i , y \tilde{z}_i entre las coordenadas respectivas del primer receptor 110 y cada uno de los otros receptores 112, 114, y 116 se deriva como sigue:

$$\tilde{x}_i = x_i - x_0, \quad \tilde{y}_i = y_i - y_0, \quad \tilde{z}_i = z_i - z_0 \quad \text{para } i=1,2,3 \quad (3)$$

50 Como se muestra en la Fig. 3, la forma de onda de medición 304 tiene una segunda frecuencia y una pluralidad de ciclos 306 que se usan por el sistema de posicionamiento relativo 200 para derivar la posición relativa del vehículo de referencia 102 después de que se detecta la forma de onda de evento 302 por el sistema 200 para iniciar la operación de medición. En una implementación, la segunda frecuencia de la forma de onda de medición 304 es mayor que la primera frecuencia de la primera forma de onda 302 de manera que cada distancia d_1 , d_2 , y d_3 se

puede derivar por el sistema de posicionamiento relativo 200 contando los ciclos 306 de la forma de onda de medición 304 según se detecta por cada receptor 112, 114, y 116 distinto del primer receptor 110 para un periodo predeterminado (por ejemplo, el periodo = $t_1 - t_0$ para el receptor 112 en la Fig.3) después de que se detecta inicialmente el frente 108 de la forma de onda de evento por el sistema de posicionamiento relativo 200 hasta que se detecta el frente 108 por el respectivo receptor 112, 114, o 116. La precisión de la determinación de la distancia se puede aumentar mediante el aumento de la frecuencia (por ejemplo, disminuyendo la longitud de onda) de la forma de onda de medición 304 en relación con la frecuencia de la forma de onda de evento 302.

En otra implementación, el vehículo de referencia 102 se puede sustituir por un punto de referencia estacionario que tiene el transmisor 106. Además, aunque el vehículo de referencia 102 se representa como un aeroplano en la Fig. 1, el vehículo de referencia 102 puede ser un automóvil, tanque, barco, u otro vehículo o buque.

En una implementación, cada receptor 110, 112, 114, y 116 se configura operativamente para detectar la forma de onda de evento 302 y la forma de onda de medición 304 y para contar un número respectivo de ciclos de la forma de onda 306 después de que se detecta la forma de onda de evento 302 por uno primero de los receptores (por ejemplo, el receptor 110 o el receptor más cercano al transmisor 106 dependiendo de la orientación del vehículo autónomo 104) hasta que se detecta la forma de onda de evento 302 por el receptor respectivo (por ejemplo, el receptor 112). Cada receptor se puede desencadenar para iniciar simultáneamente el recuento de los ciclos 306 de la forma de onda de medición 304 en un tiempo t_1 como se muestra en la Fig. 3, para informar de cada cuenta incremental o fraccional al sistema informático 118, y notificar un tiempo respectivo (por ejemplo, t_0 , t_1 , t_2 , y t_3 en la Fig. 3) al sistema informático 118 cuando se detecta la forma de onda de evento 302 por el receptor respectivo 110, 112, 114, y 116. El sistema informático 118 se configura operativamente para reconocer el primero de los receptores (por ejemplo, el receptor 110) para detectar la forma de onda de evento 302 en base al tiempo respectivo (t_0 , t_1 , t_2 , y t_3 en la Fig. 3) notificado por cada receptor 110, 112, 114, y 116. El sistema informático 118 también se configura operativamente para derivar el número de ciclos 306 contados por otro de los receptores (por ejemplo, el receptor 112) en base a la cuenta total de ciclos 306 y la fracción de ciclos recibida desde el otro receptor 112 después de que el primer detector 110 detecte la forma de onda de evento 302 hasta que el otro receptor detecte la forma de onda de evento 302.

Cada receptor 110, 112, 114, y 116 se dispone en una de una pluralidad de ubicaciones dentro de un sistema de coordenadas 120 en relación con el vehículo autónomo 104. El sistema de coordenadas 120 tiene un eje x 122, un eje y 124, y un eje z 126. En la implementación mostrada en la Fig. 1, el origen del sistema de coordenadas 120 se sitúa arbitrariamente a lo largo del eje longitudinal del conjunto (es decir, el eje x 122) del vehículo autónomo 104. No obstante el origen del sistema de coordenadas 120 se puede situar en otro punto en o en relación con el vehículo autónomo 104. En esta implementación, el eje x 122 y el eje z 126 forman un plano de simetría a lo largo del eje longitudinal del conjunto del vehículo autónomo 104. El eje y 124 es ortogonal al eje x 122 y al eje z 126. Las ubicaciones de los receptores 110, 112, 114, y 116 en el sistema de coordenadas 120 se indican como (x_0, y_0, z_0) , (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , y (x_3, y_3, z_3) , respectivamente. Como se muestra en la Fig. 2, cada receptor 110, 112, 114, y 116 puede incluir un descodificador 202, 204, 206, o 208, respectivamente, para descodificar la forma de onda de evento 302 y la forma de onda de medición 304 si cualquiera de las dos formas de onda están cifradas, moduladas, o codificadas usando una técnica de codificación conocida tal como la modulación de pulsos, el salto de frecuencias, o la codificación de espectro expandido.

El sistema de posicionamiento relativo 200 también puede incluir un sistema informático de control de actuador 210 configurado operativamente para recibir, a través del sistema informático, una posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo autónomo 104 como se deriva de acuerdo con los métodos y sistemas consistentes con una implementación de la presente invención y controlar uno o más actuadores 212a-212n del vehículo autónomo 104 de manera que el vehículo autónomo 104 mantiene un perfil de distancia o guiado predeterminado. Por ejemplo, cuando el vehículo autónomo 104 es un aeroplano, el sistema informático de control del actuador 210 puede corresponder a un ordenador de control de vuelo que controla los actuadores 212a- 212n configurados para mover las superficies de control de vuelo tales como un timón o un alerón.

Volviendo a la Fig. 2, el sistema informático 118 comprende un procesamiento central (CPU) o procesador 214 y una unidad de entrada/salida (I/O) 216 configurados operativamente para permitir al procesador 214 comunicar o hacer de interfaz con los receptores 110, 112, 114, y 116 y el sistema informático de control de actuador 210 sobre una red o canal principal 218. El sistema informático 118 también puede incluir un dispositivo de almacenamiento secundario 220 y una memoria 222.

La memoria 222 comprende un programa de posicionamiento relativo 224 para determinar la posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo autónomo 104. Como se describe en más detalle más adelante, el programa de posicionamiento relativo 224 del sistema informático 118 se configura operativamente para: identificar uno primero de los receptores (por ejemplo, el receptor 110) para detectar la forma de onda de evento 302; identificar un número respectivo de ciclos de forma de onda de medición 306 contado por cada uno de al menos tres de los otros receptores 112, 114, y 116 durante un periodo respectivo después de que se detecte la forma de onda de evento 302 por el primer receptor 110 y hasta que la forma de onda de evento se detecta posteriormente por el

otro receptor respectivo 112, 114, o 116; convertir el número respectivo de ciclos de forma de onda de medición 306 contado durante el periodo respectivo dentro de una distancia correspondiente d_1 , d_2 , y d_3 ; y para determinar la posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo autónomo 104 en base a las distancias correspondientes d_1 , d_2 , y d_3 y las ubicaciones respectivas 226, 228, 230, y 232 de al menos tres receptores dentro del sistema de coordenadas 120 del vehículo autónomo 104 (por ejemplo, las ubicaciones (x_0, y_0, z_0) , (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , y (x_3, y_3, z_3)).

En una implementación, las ubicaciones 226, 228, 230, y 232 de los receptores 110, 112, 114, y 116 dentro del sistema de coordenadas 120 del vehículo autónomo 104 se almacenan en el almacenamiento secundario 220 para el acceso por el programa 224. El tiempo respectivo 234, 236, 238, y 240 (por ejemplo, t_0 , t_1 , t_2 , y t_3 en la Fig. 3) cuando cada receptor 110, 112, 114, y 116 detecta la forma de onda de evento 302 como se notifica al sistema informático 118 también se puede almacenar en el almacenamiento secundario 220. Los tiempos de detección 234, 236, 238, y 240 cada uno se puede almacenar en asociación con una cuenta de ciclo respectivo 242, 244, 246, y 248 que refleja un número de ciclos de forma de onda 306 y las fracciones de ciclo detectadas independientemente por el receptor 110, 112, 114, y 116 durante el periodo respectivo después de que se detecta la forma de onda de evento por el primer receptor (por ejemplo, después del tiempo t_0) y hasta que la forma de onda de evento 302 se detecte posteriormente por el receptor respectivo (por ejemplo, el tiempo t_1 , t_2 o t_3). Alternativamente, las ubicaciones 226, 228, 230, y 232, los tiempos 234, 236, 238, y 240 y las cuentas de ciclo asociadas 242, 244, 246, y 248 se pueden almacenar en la memoria 222.

Uno que tenga experiencia en la técnica apreciará que el programa de posicionamiento relativo 224 puede residir en la memoria en un sistema distinto del sistema de procesamiento de datos 200. El programa 224 puede comprender o se puede incluir en una o más secciones de código que contienen instrucciones para realizar sus operaciones respectivas. Mientras que el programa 224 se describe como que se implementa como soporte lógico, el programa se puede implementar como una combinación de componentes físicos y soporte lógico o solo componentes físicos.

Aunque los aspectos de los métodos, sistemas, y artículos de fabricación consistentes con una implementación de la presente invención se representan como que se almacenan en memoria, un que tenga experiencia en la técnica apreciará que estos aspectos se pueden almacenar en o leer desde otro medio legible por ordenador, tal como dispositivos de almacenamiento secundarios, como discos duros, discos flexibles, y CD-ROM; una onda portadora recibida desde una red tal como Internet; u otras formas de ROM o RAM o bien conocidas actualmente o bien desarrolladas más tarde. Además, aunque se han descrito los componentes específicos del sistema de posicionamiento relativo 200, uno que tenga experiencia en la técnica apreciará que un sistema de posicionamiento relativo u otro sistema de procesamiento de datos adecuado para usar con los métodos, sistemas, y artículos de fabricación consistentes con una implementación de la presente invención pueden contener componentes adicionales o diferentes.

Cada receptor 110, 112, 114, y 116 y el sistema informático de control de actuador 210 cada uno puede comprender componentes similares a aquellos descritos anteriormente con respecto al sistema informático 118, tales como una CPU, una I/O, una memoria, y un almacenamiento secundario.

Las Fig. 4A-B representan un diagrama de flujo de un proceso ejemplar 400 realizado por el programa de posicionamiento relativo 224 para determinar la posición del vehículo de referencia en relación con el vehículo autónomo (en lo sucesivo "la posición de referencia relativa"). Inicialmente, el programa 224 recibe una secuencia respectiva de la forma de onda de medición 304 detectada por cada receptor 110, 112, 114, y 116 (paso 402). En una implementación, cada receptor 110, 112, 114, y 116 puede proporcionar una secuencia de la forma de onda de medición 304 al programa 224 mediante la digitalización de la forma de onda de medición 304 en fracciones de ciclos 306 como la forma de onda 304 que se detecta por el receptor respectivo después del tiempo t_{-1} y notificando la secuencia de forma de onda de medición 304 digitalizada al programa 224 a través de uno o más mensajes en la red 218. En esta implementación, cuando un primer receptor (por ejemplo, el receptor 110) detecta la forma de onda de evento 302 en el tiempo t_0 , el programa 224 es capaz de derivar a partir de la secuencia de forma de onda de medición 304 digitalizada la cuenta de ciclos respectiva 242, 244, 246, y 248 detectada por el receptor 110, 112, 114, y 116 después del tiempo t_0 y hasta que la forma de onda de evento 302 se detecta posteriormente por el receptor respectivo (por ejemplo, el tiempo t_1 , t_2 , y t_3). En otra implementación, cada receptor 110, 112, 114, y 116 puede informar al programa 224 de cada recuento de ciclos 306 incremental o fraccional detectado después del tiempo t_{-1} de manera que el programa 224 es capaz de derivar la cuenta de ciclo respectiva 234, 236, 238, y 240 detectada por el receptor 110, 112, 114, y 116 entre el tiempo t_0 y el tiempo cuando la forma de onda de evento 302 se detecta posteriormente por el receptor respectivo (por ejemplo, el tiempo t_1 , t_2 o t_3).

Volviendo a la Fig. 4A, el programa 224 entonces determina si la forma de onda de evento 302 se ha detectado por uno primero de los receptores (paso 404). Si la forma de onda de evento 302 no se ha detectado, el programa 224 continúa el procesamiento en el paso 402 para recibir la secuencia respectiva de la forma de onda de medición 304 detectada por cada receptor 110, 112, 114 y 116. Si se ha detectado la forma de onda de evento 302, el programa 224 identifica el tiempo t_0 cuando la forma de onda de evento 302 se detectó por el primero de los receptores (paso 406). En el ejemplo representado en la Fig. 1, el receptor 110 es el más cercano al vehículo de referencia 102 y, de

esta manera, es el primero que detecta la forma de onda de evento 302 según el frente 108 de la forma de onda de evento 302 pasa al receptor 110. Por consiguiente, en este ejemplo, el receptor 110 es el primero en informar un tiempo respectivo (por ejemplo, t_0 en la Fig. 3) al programa 224 del sistema informático 118 para identificar cuando la forma de onda de evento 302 se detectó por el receptor 110.

A continuación, el programa 224 determina si la forma de onda de evento 302 se ha detectado por un siguiente receptor (paso 408). En el ejemplo representado en la Fig. 1, después de que el primer receptor 110 ha identificado el tiempo t_0 cuando se detectó primero el frente 108 de la forma de onda de evento 302, el programa 224 puede esperar un mensaje o indicación desde el siguiente receptor 112, 114, o 116 del tiempo respectivo 236, 238, y 240 (por ejemplo, t_1 , t_2 , y t_3 en la Fig. 3) cuando el siguiente receptor 112, 114, y 116 detectó la forma de onda de evento 302. Si la forma de onda de evento 302 no se ha detectado aún por un siguiente receptor, el programa 224 puede continuar para recibir la secuencia de forma de onda de medición respectiva detectada por cada receptor aún para detectar la forma de onda de evento 302 (paso 410). Dependiendo de la primera frecuencia de la forma de onda de evento 302, el ancho de banda de la red 218, y la velocidad de procesamiento de la CPU 214, el siguiente receptor 112, 114, y 116 en el paso 402 puede detectar una secuencia de forma de onda respectiva que incluye ciclos 306 entre el tiempo t_0 cuando se detecta primero la forma de onda de evento 302 por el primer receptor 110 y el tiempo t_1 , t_2 , o t_3 cuando la forma de onda de evento 302 se detecta por el siguiente receptor 112, 114, o 116. No obstante, en una implementación en la cual la velocidad de procesamiento de la CPU 214 está cerca o es más rápida que la primera frecuencia de la forma de onda de evento 302, el programa 224 en el paso 408 puede continuar para recibir ciclos adicionales 306 en la secuencia de forma de onda de medición 304 desde cada receptor aún para detectar la forma de onda de evento 302.

Después de que la forma de onda de evento 302 se ha detectado por un siguiente receptor (por ejemplo, el receptor 112, 114, o 116), el programa 224 identifica el número de ciclos o cuenta de ciclos en la secuencia de forma de onda de medición detectada por el siguiente receptor entre el tiempo (t_0) y el tiempo (por ejemplo, t_1 , t_2 , o t_3) que el siguiente receptor detectó la forma de onda de evento 302 (paso 412). Como se trató anteriormente, el programa 224 puede almacenar la cuenta de ciclos identificada 244, 246, y 248 detectada por el siguiente receptor 112, 114, y 116 en el almacenamiento secundario 220 o la memoria 222. En otra implementación, el siguiente receptor 112, 114, y 116 se puede dotar con el tiempo t_0 para reflejar la primera detección de la forma de onda de evento 302 y en respuesta informa la cuenta de ciclos respectiva 244, 246, y 248 al programa 224.

A continuación, el programa 224 convierte el número de ciclos o la cuenta de ciclos del siguiente receptor en una distancia correspondiente d_1 , d_2 , y d_3 (paso 414). La distancia desde el punto de referencia (transmisor) a cada receptor es igual al alcance desconocido R más la distancia medida.

En una implementación, el programa de posicionamiento relativo 224 convierte la cuenta de ciclos 244, 246, o 248 del siguiente receptor en una distancia correspondiente d_1 , d_2 , o d_3 , multiplicando la cuenta de ciclos 244, 246, y 248 por la longitud de onda (λ) de la forma de onda de medición 304, que se puede derivar a partir de la segunda frecuencia ($f = 1/\lambda$) de la forma de onda de medición 304.

El programa 224 entonces determina si hay más receptores que tienen aún que detectar la forma de onda de evento o que tiene una cuenta de ciclos aún a ser convertidos (paso 416). Si hay más receptores, el programa 224 identifica el siguiente receptor como el siguiente receptor aún para detectar la forma de onda de evento 302 (paso 418) y continúa el procesamiento en el paso 410 de manera que el programa 224 es capaz de obtener una cuenta de ciclos 236, 238, o 240 para cada uno de los tres receptores 112, 114, y 116 distintos del primer receptor 110 para detectar la forma de onda de evento 302.

Si no hay más receptores, el programa 224 entonces recupera las coordenadas de ubicación 226, 228, 230, y 232

para cada receptor 110, 112, 114, y 116 (paso 420) y calcula las diferencias \tilde{x}_i , \tilde{y}_i , y \tilde{z}_i entre las coordenadas respectivas del primer receptor 110 y cada uno de los otros receptores 112, 114, y 116 (paso 422) como se muestra en la Ecuación (3) anterior.

A continuación, el programa 224 calcula las coordenadas R_x , R_y , R_z del vehículo de referencia 102 que usa una

técnica de triangulación en base a las distancias d_1 , d_2 , o d_3 y las diferencias \tilde{x}_i , \tilde{y}_i , y \tilde{z}_i entre las coordenadas respectivas del primer receptor 110 y cada uno de los otros receptores 112, 114, y 116. En una implementación, el programa 224 puede calcular las coordenadas (R_x , R_y , R_z) mediante la expansión de los términos cuadráticos en la Ecuación (2) y combinando con la Ecuación (1) para derivar un conjunto de ecuaciones de triangulación (4A-C) representado por f_1 , f_2 , y f_3 :

$$f_1 : d_1 \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} + R_x \tilde{x}_i + R_y \tilde{y}_i + R_z \tilde{z}_i - \frac{1}{2}(p_1) = 0 \quad (4A)$$

$$f_2 : d_2 \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} + R_x \tilde{x}_2 + R_y \tilde{y}_2 + R_z \tilde{z}_2 - \frac{1}{2}(p_2) = 0 \quad (4B)$$

$$f_3 : d_3 \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} + R_x \tilde{x}_3 + R_y \tilde{y}_3 + R_z \tilde{z}_3 - \frac{1}{2}(p_3) = 0 \quad (4C)$$

5 donde $p_i = \tilde{x}_i^2 + \tilde{y}_i^2 + \tilde{z}_i^2 - d_i^2$ para $i = 1, 2, 3$.

El programa 224 entonces puede resolver las tres ecuaciones para derivar las coordenadas R_x, R_y, R_z por la técnica de triangulación de gradiente de Newton-Raphson tridimensional mostrada más adelante en la Ecuación (5) o por otra técnica conocida para el procesamiento de las ecuaciones de triangulación.

10

$$\begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix}_k - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial R_x} & \frac{\partial f_1}{\partial R_y} & \frac{\partial f_1}{\partial R_z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial R_x} & \frac{\partial f_2}{\partial R_y} & \frac{\partial f_2}{\partial R_z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial R_x} & \frac{\partial f_3}{\partial R_y} & \frac{\partial f_3}{\partial R_z} \end{bmatrix}_k^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}_k \quad (5)$$

15

El programa 224 entonces puede identificar la posición del vehículo de referencia 102 en relación con el vehículo autónomo 104 en base a las coordenadas (R_x, R_y, R_z) del vehículo de referencia 102 y las coordenadas de ubicación 226 (x_0, y_0, z_0) del primer receptor (paso 426). En una implementación, el programa 224 puede calcular la posición precisa del vehículo de referencia 102 (o el punto de referencia estacionario) en el sistema de coordenadas de conjunto de ejes 120 del vehículo autónomo 104 como se muestra en la Ecuación (6).

$$(R_x + x_0), \quad (R_y + y_0), \quad (R_z + z_0) \quad (6)$$

20

La posición del vehículo de referencia 102 en el sistema de coordenadas del conjunto de ejes 120 se puede usar como realimentación para una ley de control de guiado (no se muestra en las Fig.) implementada en el sistema informático 118 o el sistema informático de control de actuador 210 para mantener el vehículo autónomo 104 en una posición deseada en relación con el vehículo o punto de referencia 102. Si se requiere, la información de la tasa (es decir, la velocidad relativa) también se puede calcular por el programa 224 mediante la diferenciación de manera numérica de los datos de posición correlacionados en el tiempo, por ejemplo, como se deriva usando la Ecuación 6. Por lo tanto, los métodos, sistemas, y artículos de fabricación consistentes con una implementación de la presente invención determinan la posición o ubicación de un vehículo de referencia o punto estacionario en relación con un vehículo autónomo (o de control) que permite al vehículo autónomo mantener un perfil de distancia, alcance, o guiado predeterminado en relación con el vehículo o punto de referencia sin que el vehículo o punto de referencia comunique la información de posición al vehículo autónomo.

25

30

35

40

La descripción anteriormente mencionada de una implementación de la invención se ha presentado para propósitos de ilustración y descripción. La descripción no es exhaustiva y no limita la invención a la forma precisa revelada. Son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores modificaciones y variaciones o se pueden adquirir a partir de la práctica de la invención. Por ejemplo, la implementación descrita incluye el soporte lógico (por ejemplo, el programa de posicionamiento relativo 224) pero la presente implementación se puede implementar como una combinación de componentes físicos y soporte lógico o solo componentes físicos. Además, los pasos de procesamiento ilustrativos realizados por el programa 224 se pueden ejecutar en un orden diferente que el descrito anteriormente, y se pueden incorporar pasos de procesamiento adicionales. La invención se puede implementar tanto con sistemas de programación orientados a objeto como no orientados a objeto. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones.

45

Cuando se introducen elementos de la presente invención o la(s) realización(es) preferente(s) de la misma, los artículos "un", "el" y "dicho" se pretende que signifiquen que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende", "que incluye" y "que tiene" se pretende que sean inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales distintos de los elementos enumerados.

Ya que se podrían hacer varios cambios en las construcciones anteriores sin salirse del alcance de la invención, se pretende que toda materia contenida en la descripción anterior o mostrada en los dibujos anexos deberá ser interpretada como ilustrativa y no en un sentido limitativo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar una posición de un punto de referencia (102) en relación con un vehículo (104), el punto de referencia (102) que tiene un transmisor (100) y el vehículo (104) que tiene un primer receptor (110), el transmisor (100) que se configura operativamente para transmitir una primera forma de onda, el vehículo (104) que tiene al menos otros tres receptores (112, 114, 116), cada receptor (110, 112, 114, 116) que está dispuesto en una ubicación conocida en relación con el vehículo (104); **caracterizado porque**, el transmisor (100) se configura operativamente además para transmitir una segunda forma de onda, dicha segunda forma de onda que tiene una frecuencia y un número de ciclos fijo y conocido para cada primer ciclo de forma de onda, el método que además comprende:
- detectar la primera forma de onda por cada uno de los receptores (110, 112, 114, 116);
 detectar la segunda forma de onda por dichos al menos otros tres receptores (112, 114, 116);
 identificar un primer momento cuando se detecta la primera forma de onda por dicho primer receptor (110);
 identificar, para cada uno de dichos al menos otros tres receptores (112, 114, 116), un número de ciclos respectivo de la segunda forma de onda detectada por el otro receptor respectivo (112, 114, 116) entre el primer momento y cuando se detecta la primera forma de onda por el otro receptor respectivo (112, 114, 116);
 convertir cada número de ciclos respectivo identificado a una distancia correspondiente respectiva (d1, d2, d3), dicha distancia (d1, d2, d3) que corresponde a la distancia entre el punto de referencia (102) y el otro receptor respectivo (112, 114, 116) menos la distancia entre el punto de referencia (102) y el primer receptor (110); y
 calcular la posición del punto de referencia (102) usando una técnica de triangulación en base a dichas distancias correspondientes respectivas (d1, d2, d3) y las ubicaciones conocidas en relación con el vehículo de cada receptor (110, 112, 114, 116).
2. El método como se establece en adelante en la reivindicación 1, en el que el primer receptor (110) se posiciona el más cercano de los receptores (110, 112, 114, 116) al punto de referencia (102).
3. El método como se establece en adelante en la reivindicación 1 o 2, en el que la segunda forma de onda tiene una frecuencia más alta que la primera forma de onda.
4. El método como se establece en adelante en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el paso de conversión comprende multiplicar el número de ciclos para cada uno de los otros receptores (112, 114, 116) por una longitud de onda (λ) de la segunda forma de onda.
5. El método como se establece en adelante en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el paso de calcular la posición del punto de referencia (102) además comprende calcular las coordenadas (R_x , R_y , R_z) del punto de referencia (102) en relación con el vehículo (104) usando tres ecuaciones de triangulación, las tres ecuaciones de triangulación que se derivan de un alcance (R) desde el punto de referencia (102) al primer receptor (110) y una relación geométrica entre el punto de referencia (102) y cada uno de los otros receptores (112, 114, 116).
6. Un medio legible por ordenador que contiene instrucciones legibles por ordenador que, cuando se ejecutan en un sistema informático (118), provocan que el sistema informático (118) realice el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5.
7. Un sistema de posicionamiento de vehículos que comprende:
- un primer vehículo que tiene un punto de referencia (102) dotado con un transmisor (100) configurado operativamente para emitir una primera forma de onda; y
 un segundo vehículo (104) que tiene un primer receptor (110), el segundo vehículo (104) que comprende al menos otros tres receptores (112, 114, 116), y un sistema informático (118) conectado operativamente a cada receptor (110, 112, 114, 116), cada receptor (110, 112, 114, 116) que se dispone en una ubicación conocida en relación con el vehículo (104), y cada receptor (110, 112, 114, 116) que se configura operativamente para detectar la primera forma de onda **caracterizada porque**, el transmisor se configura operativamente además para emitir una segunda forma de onda, dicha segunda forma de onda que tiene una frecuencia y un número de ciclos fijo y conocido para cada ciclo de la primera forma de onda, en el que dichos al menos otros tres receptores (112, 114, 116) se configuran operativamente para identificar para el sistema informático (118) un número de ciclos de la segunda forma de onda respectivos detectados entre un primer momento en el cual se detecta la primera forma de onda por dicho primer receptor (110) y cuando se detecta la primera forma de onda por el otro receptor respectivo (112, 114, 116);
 en el que el sistema informático (118) está configurado operativamente para convertir el respectivo número de ciclos de la segunda forma de onda contado por cada uno de los otros receptores (112, 114, 116) en una distancia correspondiente respectiva (d1, d2, d3), dicha distancia (d1, d2, d3) que corresponde a la distancia entre el punto de referencia (102) y el otro receptor respectivo (112, 114, 116) menos la distancia entre el

punto de referencia (102) y el primer receptor (110), y para determinar una posición del primer vehículo en relación con el segundo vehículo (104) usando una técnica de triangulación en base a dichas distancias correspondientes respectivas (d_1 , d_2 , d_3) y las ubicaciones conocidas en relación con el vehículo de cada receptor (110, 112, 114, 116).

- 5
8. El sistema de posicionamiento de vehículos como se establece en adelante en la reivindicación 7, en el que el primer receptor (110) se posiciona el más cercano de los receptores (110, 112, 114, 116) al punto de referencia (102).
- 10
9. El sistema de posicionamiento de vehículos como se establece en adelante en la reivindicación 7 u 8, en el que la segunda frecuencia de la segunda forma de onda es más alta que la primera frecuencia de la primera forma de onda.
- 15
10. El sistema de posicionamiento de vehículos como se establece en adelante en cualquiera de las reivindicaciones 7-9, en el que el paso de conversión comprende multiplicar el número de ciclos para cada uno de los otros receptores (112, 114, 116) por una longitud de onda (λ) de la segunda forma de onda.
- 20
11. El sistema de posicionamiento de vehículos como se establece en adelante en cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en el que la posición del primer vehículo (102) se determina calculando las coordenadas (R_x , R_y , R_z) del punto de referencia (102) en relación con el segundo vehículo (104) usando tres ecuaciones de triangulación, las tres ecuaciones de triangulación que se derivan a partir de un alcance (R) desde el punto de referencia (102) al primer receptor (110) y una relación geométrica entre el segundo vehículo (102) y cada uno de los otros receptores (112, 114, 116).

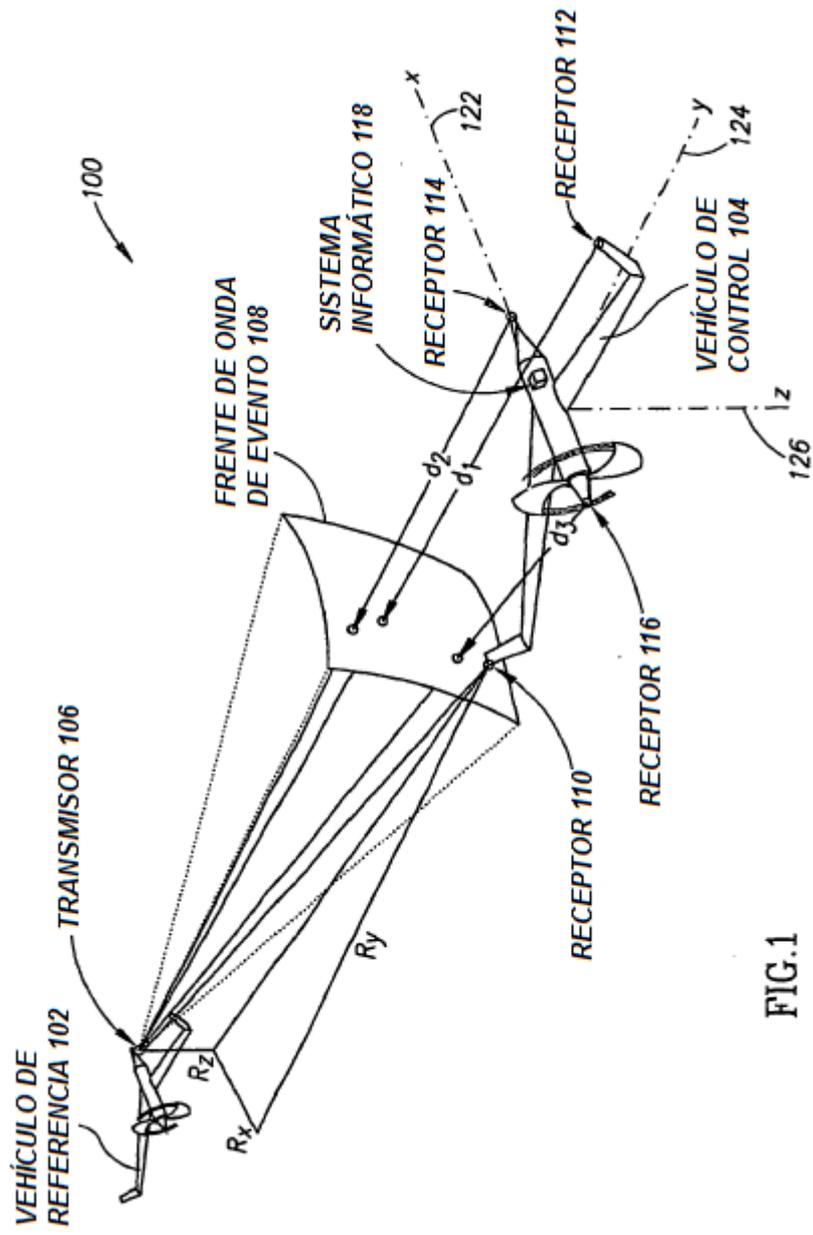


FIG.1

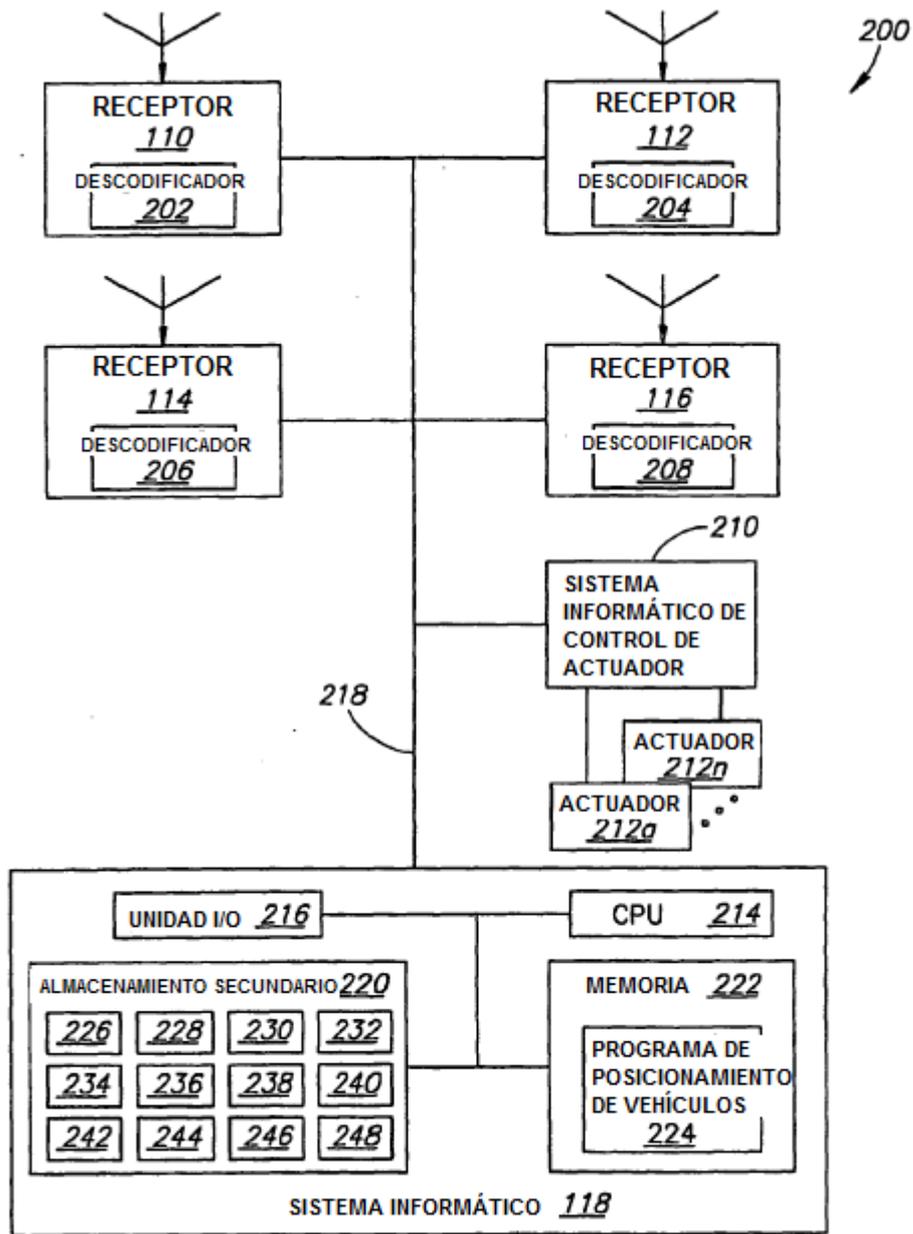


FIG.2

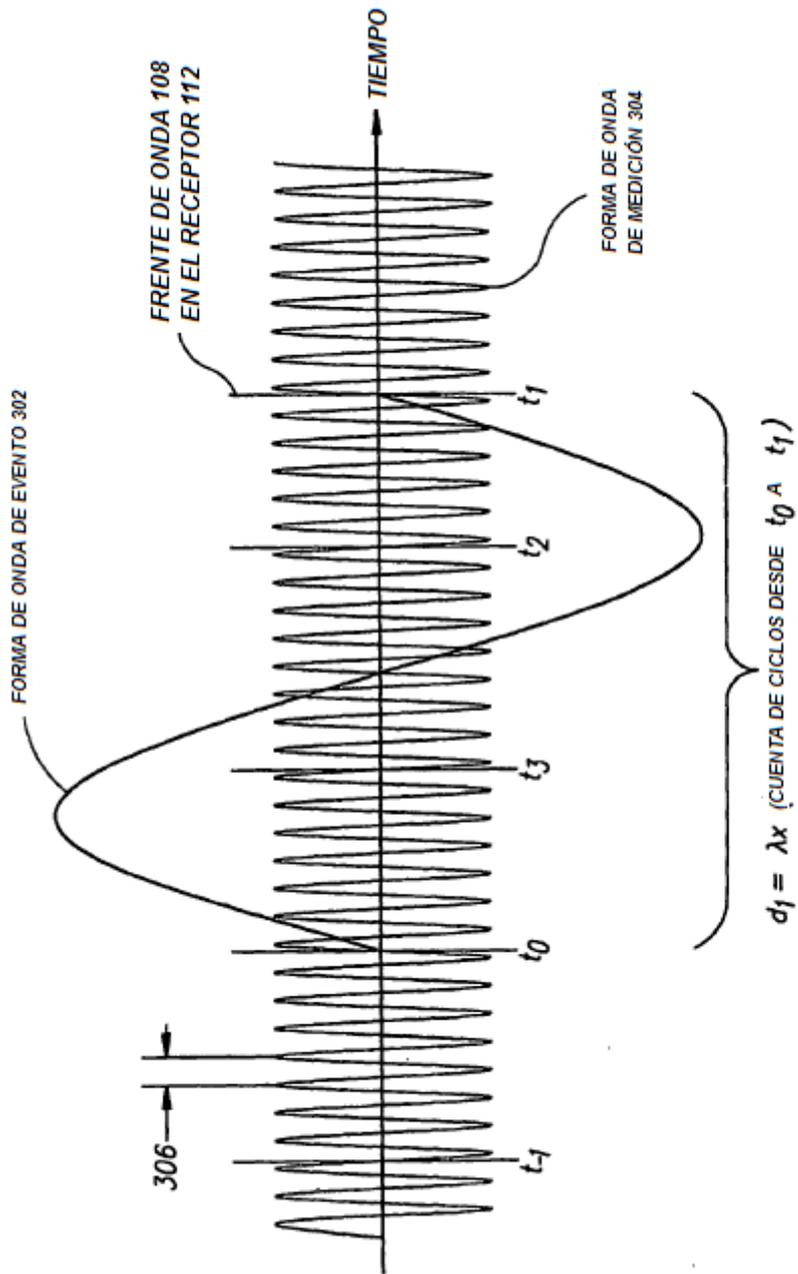


FIG.3

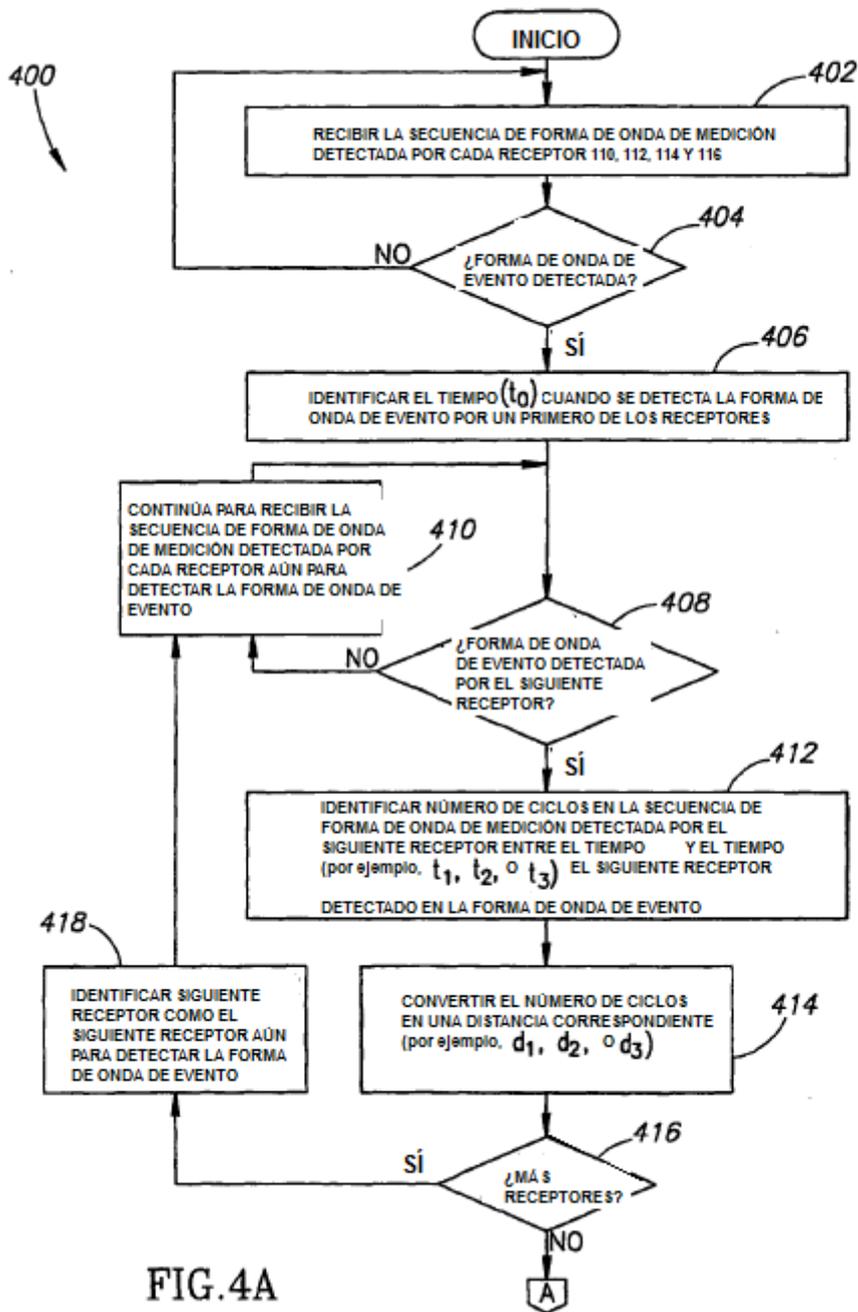


FIG.4A

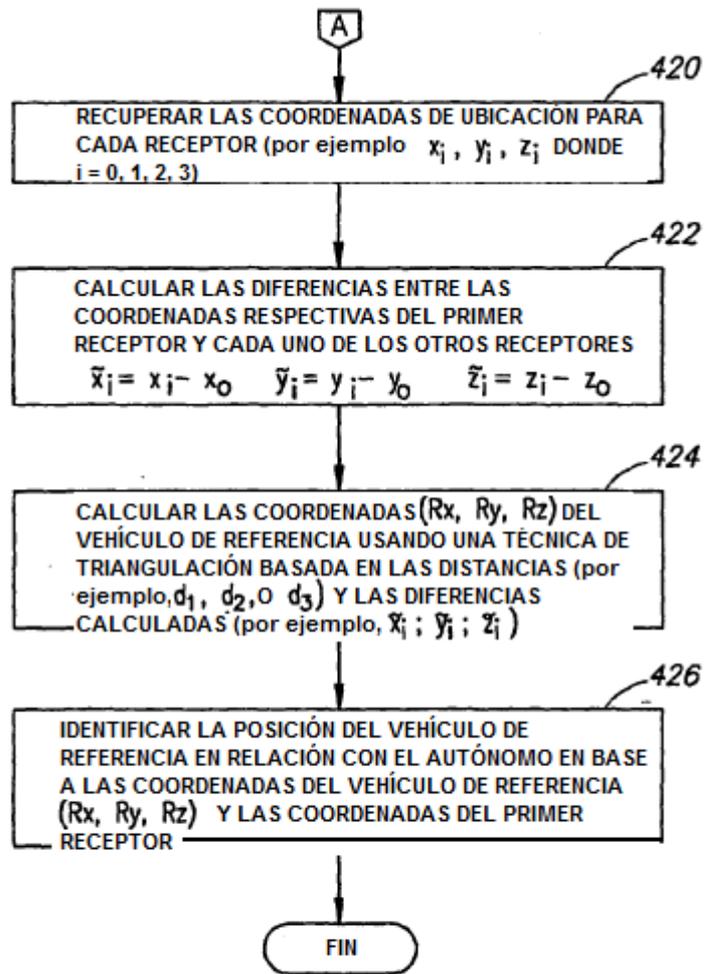


FIG.4B