

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 996**

51 Int. Cl.:  
**G01S 13/87** (2006.01)  
**G01S 3/48** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06766176 .9**  
96 Fecha de presentación: **25.07.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1910864**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2008**

54 Título: **UN SISTEMA Y UN PROCEDIMIENTO PARA EL POSICIONAMIENTO DE UN TRANSPONDEDOR.**

30 Prioridad:  
**25.07.2005 IL 16985405**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.12.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.12.2011**

73 Titular/es:  
**ELTA SYSTEMS LTD.  
100 SDEROT ITZHAK HANASIE P.O.B. 330  
77102 ASHDOD, IL**

72 Inventor/es:  
**FIEREIZEN, Moshe**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 369 996 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

Un sistema y un procedimiento para el posicionamiento de un transpondedor

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a sistemas y procedimientos de transmisión/recepción y más específicamente a sistemas y procedimientos de posicionamiento

**Antecedentes de la invención**

10 Las siguientes publicaciones de patente se refieren al posicionamiento de transpondedores: la Patente de los Estados Unidos N° 6.876.326 desvela un sistema de búsqueda y seguimiento de alta precisión que usa un esquema de retardo de ida y vuelta de mensajes en el cual se determina con precisión el Tiempo de Llegada (TOA) de las señales a intervalos para obtener las estimaciones de intervalos entre un dispositivo de comunicaciones objetivo y uno o más dispositivos de comunicaciones de búsqueda. Las estimaciones a intervalos sucesivos se usan por un dispositivo de búsqueda para el detalle local sobre el dispositivo objetivo. El sistema de comunicaciones para el apuntamiento de la localización física puede usarse solo, o en combinación con otros sistemas de estimación de localización que pueden usarse inicialmente, o a lo largo del procedimiento de búsqueda y seguimiento para el apuntamiento de la localización física del dispositivo objetivo. La radio de búsqueda transmite señales a intervalos a la radio objetivo que responde transmitiendo señales a intervalos de respuesta. Una vez recibida la señal a intervalos de respuesta, la radio de búsqueda determina el intervalo para la radio de referencia a partir del tiempo de propagación de la señal. Los errores en las estimaciones de TOA pueden minimizarse usando técnicas de procesamiento avanzado, si se requiere.

20 La Patente de los Estados Unidos N° 6.270.433 desvela un sistema para la localización de reproductores en un campo incluyendo antenas de exploración direccional primera y segunda adyacentes al campo. El transpondedor transportado por los reproductores detecta la radiación procedente de cada una de las antenas y transmite señales de temporización. Las señales de temporización se reciben en una estación central y se comparan con señales de temporización de referencia sincronizadas con la exploración de las antenas para proporcionar una indicación de la posición angular de cada uno de los reproductores a partir de las localizaciones de las antenas de exploración. De este modo puede calcularse la posición de campo real de los reproductores. El sistema también puede localizar la posición de un objeto reproductor, tal como una pelota.

30 Las siguientes publicaciones de patentes se refieren a sistemas y procedimientos de posicionamiento y no están limitadas al posicionamiento de un transpondedor. La Patente de los Estados Unidos N1 3.981.015 desvela un sistema de navegación de radio por comparación de fase en el cual una estación de transmisión principal y una o más estaciones de transmisión secundarias radian señales fijadas en fase a la misma frecuencia en una secuencia de tiempo compartido. La fijación de fase en la estación o estaciones secundarias se efectúa usando un comparador común de fase común tanto para la fijación de un oscilador de memoria de fase para la recepción de las señales principales como para la fijación de las señales secundarias en la antena con el oscilador de memoria de fase.

35 La Patente de los Estados Unidos N° 4.975.710 desvela procedimientos, algoritmos y aparatos para la medición / cálculo de la Dirección de Llegada (DOA) en base a la longitud de la línea base, la diferencia de fase, interferometría de antenas pareadas y algoritmos de procesamiento de disposiciones de cálculo de DOA. Específicamente, se describen los procedimientos y algoritmos basados en una estimación directa, sin ambigüedades de forma cíclica del coseno de la DOA resolviendo las ambigüedades cíclicas en la longitud de la línea base, las diferencias de fase de los interferómetros de antenas pareadas, y para conducir los cálculos a las proximidades de las soluciones en algoritmos de procesamiento de disposiciones de cálculo intensivo, reduciendo por lo tanto la carga y el tiempo de cálculo.

45 La Patente de los Estados Unidos N° 4.197.542 desvela una estación terrestre de un sistema de navegación electrónica, que puede ser una baliza de intervalo omnidireccional (tal como el VOR) o un buscador de dirección pasivo. Una disposición circular de elementos de antena tiene una disposición de alimentación que incluye una programación conmutada de al menos un conjunto discreto de dispositivos de desplazamiento de fase para efectuar la rotación de fase de campos cambiada sucesivamente para minimizar los efectos adversos de las señales multi-trayectoria entre la estación terrestre y una estación remota, a bordo, por ejemplo de una aeronave.

50 Las Patentes de los Estados Unidos N° 6.573.865 y 5.084.709 desvelan un grupo de antenas multi-elemento o disposiciones para la recepción y transmisión de ondas de radio para propósitos de búsqueda de dirección, ayuda a la navegación y localización de emisor y/o receptor. En particular, se refiere a disposiciones de múltiples antenas por lo que la dirección de propagación (llegada y salida) de un frente de onda se determina a partir de una combinación de amplitudes de diferencias de los fasores (o la salida total de antenas individuales) entre pares de antenas, estando dichas disposiciones a lo largo de ciertos patrones geométricos, tales como un círculo, una elipse, un polígono, una línea recta abierta, etc., con al menos una medida de la dimensión más larga que una longitud de onda de la onda incidente o de salida.

55 La Patente de los Estados Unidos N° 3.967.277 desvela un sistema de navegación de radio que incluye un primer

par de estaciones fijas de transmisión, un segundo par de estaciones fijas de transmisión y una estación móvil. La estación móvil incluye un receptor que tiene un primer medio para deducir una primera señal indicativa de la diferencia en las distancias entre la estación móvil y cada una del primer par de estaciones fijas y un segundo medio para deducir una segunda señal indicativa de la diferencia en las distancias entre la estación móvil y cada una del segundo par de estaciones fijas. Se proporcionan medios de suma para añadir las señales primera y segunda para obtener una tercera señal indicativa de una primera línea de posición sobre la cual está localizada la estación móvil, y se proporciona un medio de diferencia para restar una de las señales primera y segunda de la otra para obtener una cuarta señal indicativa de una segunda línea de posición sobre la cual está localizada la estación móvil.

El documento WO 86/00716 desvela un procedimiento para determinar una posición mutua entre dos objetos, que comprende la transmisión de una señal de microondas desde el primer objeto hacia al segundo objeto, causando que el segundo objeto reciba la señal de transmisión y retransmita una señal, que causa su recepción por el primer objeto. De acuerdo con la invención el primer objeto incluye una unidad de transmisor / receptor (unidad S/M), que transmite la señal mencionada anteriormente (fo) desde una antena del transmisor. Se causa que el segundo objeto (T) retransmita la señal mencionada anteriormente, modulada con una señal (fm), haciéndose que el primer objeto reciba la señal transmitida a través de al menos dos antenas (M1, M2) situadas de forma simétrica sobre el lado respectivo de la antena del transmisor (S) y en un plano de antena común con la antena del transmisor (S). Se determina el ángulo ( $\theta$ ) entre el plano de la antena y el segundo objeto, al menos en una dimensión, por una comparación de fase o una comparación de amplitud de las señales recibidas, dependiendo de si el segundo objeto (T) está localizado o no en la llamada zona de proximidad del primer objeto. La invención también se refiere a un aparato para realizar el procedimiento.

El documento DE 28 43 253 A1 desvela un sistema de navegación para la medición de direcciones y distancias. La estación de medición determina la dirección, lo cual facilita los cambios (electrónicos y mecánicos). Por ejemplo, la estación de medición puede estar a bordo de un vehículo de navegación o puede ser una estación de monitorización del tráfico. Esto es, los datos pueden generarse en una estación fija o en una estación móvil. La evaluación de los ángulos y las distancias puede hacerse bien por medio de un transpondedor o por medio de una estación de medición.

Existe una necesidad en la técnica de un sistema y un procedimiento de posicionamiento que permita el posicionamiento de un objeto equipado con un transpondedor y una antena. También existe necesidad en la técnica de un sistema y un procedimiento de posicionamiento que no pueda interferirse fácilmente. Existe una necesidad adicional en la técnica de un sistema de posicionamiento capaz de proporcionar una tasa de actualización de más de 50-100 Hz.

### **Sumario de la invención**

La invención es lo que se reivindica en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones se especifican en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con una realización de la invención, se proporciona un sistema para el posicionamiento de un transpondedor, comprendiendo el sistema una disposición de antenas de al menos dos antenas espaciadas entre sí acopladas a una unidad común de generación y conmutación, dicha unidad de generación y conmutación está configurada para generar una señal periódica y conmutar la señal entre dichas al menos dos antenas, constituyendo una señal de posicionamiento transmitida al transpondedor; el sistema comprende un receptor para recibir una señal devuelta y un estimador de la diferencia de fase acoplado al receptor y operable para medir diferencias de fase entre porciones de la señal devuelta; comprendiendo el sistema además una utilidad de posicionamiento acoplada a dicho estimador de diferencias de fase y configurado para determinar la posición del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.

De acuerdo con una realización de la invención, la determinación de la posición del transpondedor incluye la determinación de la dirección del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento. De acuerdo con otra realización, la determinación de la posición del transpondedor incluye la determinación del intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento en base a la comparación del TOA (Tiempo de Llegada) entre la señal de posicionamiento transmitida por el sistema y la señal devuelta por el transpondedor. De acuerdo con otra realización más de la invención, la determinación de la posición del transpondedor incluye la determinación del intervalo del transpondedor en relación con el sistema de posicionamiento, en base a la información recibida desde una fuente externa al sistema, acerca del intervalo del transpondedor con relación al sistema. De acuerdo con otra realización más de la invención, el sistema de posicionamiento está configurado además, en base a la determinación de la posición del transpondedor, para transmitir la información relacionada con la posición del transpondedor (por ejemplo, las instrucciones de navegación).

De acuerdo con otra realización de la invención, se proporciona un procedimiento para el posicionamiento de un transpondedor, comprendiendo el procedimiento:

- generar una señal periódica y conmutar la señal periódica entre una disposición de antenas de al menos dos antenas espaciadas entre sí de localizaciones conocidas acopladas a una unidad común de generación y

- conmutación;
- transmitir la señal al transpondedor y recibir la señal devuelta;
- en base a las mediciones de las diferencias de fase entre las porciones de la señal devuelta, determinar la orientación del transpondedor con relación al sistema,

5 permitiendo, por lo tanto, la determinación de la posición del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.

**Breve descripción de los dibujos**

Para el entendimiento de la invención y ver cómo se realiza en la práctica, se describirán ahora realizaciones específicas, sólo a modo de un ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 la **Fig. 1** es una ilustración esquemática de una arquitectura simplificada de un sistema de posicionamiento de acuerdo con una realización de la invención;  
 la **Fig. 2** es otra ilustración de un sistema de posicionamiento para la realización de la invención mostrada en la Fig. 1;  
 la **Fig. 3** es una arquitectura simplificada de un sistema de posicionamiento de acuerdo con otra realización de  
 15 la invención;  
 las **Fig. 4a – 4c** ilustran esquemáticamente configuraciones de disposiciones de antenas de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;  
 la **Fig. 5** es un diagrama de flujo que muestra una secuencia de operaciones realizadas por un receptor que recibe una señal de posicionamiento transmitida de acuerdo con una realización de la invención;  
 20 la **Fig. 6** ilustra una señal generada por el sistema de posicionamiento de acuerdo con una realización de la invención;  
 la **Fig. 7** es un diagrama de bloques que muestra un sistema de posicionamiento de acuerdo con una realización de la invención; y  
 la **Fig. 8** es un diagrama de flujo que muestra una secuencia de operaciones realizadas por un sistema de  
 25 posicionamiento de acuerdo con una realización de la invención.

**Descripción detallada de realizaciones específicas de la invención**

La **Fig. 1** es una ilustración esquemática de una arquitectura simplificada de un sistema de posicionamiento **10** de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de posicionamiento **10** incluye una estación base **110** de una posición conocida, que tiene una disposición de dos antenas de transmisión **de RF 120 y 130** espaciadas entre sí, y una unidad común de generación y conmutación **140** acoplada a las antenas. El sistema **10** comprende además una antena de recepción **125** y un estimador de diferencias de tiempo y de fase **145**. El sistema **10** radia (transmite) una señal de posicionamiento **TS**, que puede recibirse en una cierta zona local **Z**. Un objeto **100** de una posición desconocida (una plataforma de tierra en este ejemplo no limitativo), equipado con un receptor/transmisor de **RF** (transpondedor) y una antena (no mostrada en la Fig. 1), recibe la señal **TS** y la devuelve (señal **RS**) a la estación base **140**, a través de la antena de recepción **125**. La señal devuelta **RS** transporta información acerca de la posición relativa del objeto **100** con respecto a la estación base **140**. La señal devuelta se analiza para el propósito de posicionamiento del transpondedor. También se muestra en la Fig. 1 otro objeto **102** (otro gran vehículo) viajando dentro de la zona **Z**, que recibe la señal de posicionamiento **TS** desde la estación base **140** y que devuelve una señal que transporta información acerca de la posición del vehículo **102**.

40 La Señal de Posicionamiento **TS** es una señal periódica (por ejemplo una señal sinusoidal de 1GHz) generada por la unidad **140** y conmutada entre la antena **120** y la antena **130**. En otras palabras, la señal **TS** incluye porciones de la señal emitida por la antena **120** que alterna con porciones de la señal emitida por la antena **130** (véase la exposición más adelante con relación a las Fig. 5-6). La señal devuelta **RS** transporta información acerca de la orientación y la fluctuación del objeto **100** con relación a la estación base: Usando el estimador de diferencias de tiempo y de fase para la estimación de la frecuencia y fase de la señal recibida, la estación base es capaz de estimar las diferencias de fase  $\phi$  entre las porciones de la señal de posicionamiento emitida por las antenas **120** y **130** según se reciben por el objeto **100**. Las diferencias de fase detectadas en un punto dentro de la zona **Z** (por ejemplo, por el objeto **100**) difieren de las detectadas en otro punto (por ejemplo, por el objeto **102**), y corresponden a la disposición geométrica del receptor con respecto a las antenas **120** y **130**. Usando el estimador de diferencias de tiempo y de fase para la estimación del retardo de tiempo entre la señal transmitida **TS** y la señal devuelta **RS**, la estación base puede determinar el intervalo para el objeto.

El concepto de la presente invención, de acuerdo con ciertas realizaciones, se explicará ahora con mayor detalle con referencia a las **Fig. 2-3** y las **Fig. 4a-4c**, en las cuales los mismos elementos se marcan con los mismos números de referencia. Volviendo ahora a la **Fig. 2**, se presenta otra ilustración del sistema de posicionamiento **10**, que muestra la disposición geométrica del sistema de posicionamiento que opera en la zona **Z** (la zona **Z** no se muestra en la Fig. 2) y un objeto **100** localizado dentro de la zona **Z**.

Las porciones de la señal **TS** que se emiten por la antena **120** viajan una distancia de inclinación **R<sub>1</sub>**, que es más larga en una cantidad  $\Delta R$  en comparación con las porciones emitidas por la antena **130**, que viajan una distancia **R<sub>2</sub>**.

Midiendo  $f$  y  $\varphi$ , podría determinarse  $\Delta R$  usando las siguientes relaciones conocidas (1) y (2):

$$(1) 2\pi N + \varphi = 2\pi f \Delta t$$

$$(2) \Delta R = c \Delta t$$

por lo tanto,

$$(3) \Delta R = c(2\pi N + \varphi) / 2\pi f$$

en donde:

$f$  es la frecuencia de la señal TS;

$\varphi$  es la diferencia de fase entre porciones de la señal de posicionamiento transmitida por las antenas **120** y **130**, como se detecta en el punto **100** (véase también la Fig. 3 y el texto inferior);

$\Delta t$  es el retardo de tiempo entre porciones de la señal de posicionamiento emitida por las antenas **120** y **130** espaciadas entre sí, como se reciben en el punto **100** (obsérvese que por simplicidad, el **retardo D** que caracterizó la operación del estimador de la diferencia de fase, y que es un parámetro predefinido y conocido, no se incluye en la relación (1));

$N$  es un número entero que indica el número de ciclos de la señal **TS** a lo largo de  $\Delta R$  (por simplicidad, la discusión con relación a la Fig. 2 continuará en base a asumir que  $N$  es conocido. La ambigüedad de  $N$  se trata adicionalmente más adelante, con referencia a la Fig. 5); y

$c$  es la velocidad de la luz.

Como la distancia  $R_3$  entre las antenas **120** y **130** es conocida, y asumiendo que  $N$  es también conocido (la resolución de la ambigüedad con relación a  $N$  se trata más adelante con referencia a la Fig. 5), es ahora posible calcular el ángulo espacial  $\alpha$  como sigue:

$$(4) \cos \alpha = \Delta R / R_3$$

De este modo, midiendo los parámetros  $f$  y  $\varphi$  que caracterizan la señal TS transmitida desde puntos conocidos (los puntos **120** y **130**) en el modo conmutado como se ha descrito anteriormente, como se reciben en un punto desconocido (por ejemplo el punto **100** mostrado en las Fig. 1 y 2), se define una superficie CS, que es la superficie de un cono generado por el ángulo  $\alpha$ , dentro del cual están localizados los puntos **100**, **120** y **130**. Esto proporciona información que indica la orientación del punto **100** con relación a los puntos **120** y **130**. La orientación del punto **100** con relación a los puntos **120** y **130** podría determinarse usando información adicional, por ejemplo información recogida en el modo que se detalla más adelante con referencia a la Fig. 3, o procedimientos de eliminación conocidos per se en el campo de la interferometría (incluyendo, pero sin limitarnos a este, el uso de la altura medida o asumida del punto **100**).

Volviendo ahora a la Fig. 3, se ilustra la disposición geométrica del punto **100** con relación al sistema de posicionamiento de acuerdo con otra realización de la invención, en la cual el sistema **110** incluye además una tercera antena **150**, localizada a una distancia  $R_4$  desde la antena **120**. De acuerdo con esta realización, la señal TS se genera por la unidad común **140** y se conmuta entre las tres antenas espaciadas entre sí, **120**, **130** y **150**. En otras palabras, la señal de posicionamiento TS incluye porciones de señal que se transmiten alternativamente por las antenas **120**, **130** y **150**.

De forma similar a la descrita anteriormente con referencia a las Fig. 1 y 2, se determinan los dos ángulos espaciales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ :  $\alpha_1$  se determina con respecto a las antenas **120**, **130** y **100**; y  $\alpha_2$  se determina con respecto a las antenas **120**, **150** (la otra antena) y **100**. En consecuencia, se definen las dos superficies,  $CS_1$  (que representa la superficie de un cono dentro del cual están situados los puntos **100**, **120** y **130**) y  $CS_2$  (que representa la superficie de un cono dentro del cual están situados los puntos **100**, **120** y **150**).  $CS_1$  y  $CS_2$  se cortan entre sí, y la línea de intersección representa el vector de apuntamiento **PV** (orientación) entre la antena **120** y el punto desconocido **100**. En otras palabras, midiendo los parámetros  $f$  y  $\varphi$  de la señal devuelta, que indican las diferencias de fase entre las porciones de la señal de posicionamiento como se reciben por el transpondedor, podría determinarse la orientación del transpondedor.

Para resumir lo tratado con relación a las Fig. 2-3: la señal de posicionamiento **TS**, transmitida por la estación base **140** (conmutada entre las antenas **120** y **130**), como se recoge en el punto **100**, transporta información acerca de la dirección del punto **100** con relación a la estación base. El objeto **100** está configurado para devolver la señal de posicionamiento (señal **RS**) a la estación base y por lo tanto la información de posición transportada por la señal **RS** está ahora disponible para la estación base, permitiéndola determinar la orientación del objeto con relación a la misma. Para simplificar el análisis de la señal del enlace ascendente / enlace descendente, **RS** puede tener una frecuencia diferente que la señal **TS**. Adicionalmente, de acuerdo con los procedimientos TOA/DTOA (Tiempo de Llegada / Diferencia de Tiempos de Llegada) conocidos per se, podría determinarse el intervalo del punto **100** con

relación a la estación base comparando la señal TS con la señal RS.

Las Fig. **4a - 4c** ilustran esquemáticamente las configuraciones de disposiciones de antenas de acuerdo con diversas realizaciones de la invención. La Fig. **4a** ilustra esquemáticamente una disposición de antenas **400** de acuerdo con una realización de la invención ilustrada en la Fig. 2. La disposición de antenas **400** comprende dos antenas de transmisión espaciadas entre sí, (a saber las antenas **120** y **130**, mostradas en la Fig. 2). Las antenas **120** y **130** están acopladas a una unidad común de generación y conmutación de la señal **140**. La unidad **140** genera una señal periódica (por ejemplo una señal sinusoidal) y conmuta la señal entre las antenas **120** y **130**. Las antenas están acopladas a la unidad de conmutación **140** a través de líneas de alimentación sustancialmente idénticas (obsérvese que también podrían usarse líneas de alimentación no idénticas, con un medio apropiado para la compensación de los retardos consecuentes), de modo que la salida de la unidad **140** alimenta a las antenas de una forma conmutada, dando lugar por lo tanto a una señal de posicionamiento que incluye porciones de la señal transmitida alternativamente desde las antenas.

La configuración mostrada en las Fig. **4a** permite la determinación de la orientación del punto **100** con relación al sistema de posicionamiento sólo en dos dimensiones. Esto es más adecuado para aplicaciones planas (por ejemplo, cuando el objeto **100**, mostrado en la Fig. 1, viaja en una trayectoria sustancialmente plana). Si la altitud del objeto **100** es conocida, por ejemplo usando otros dispositivos (por ejemplo, un altímetro), entonces podría definirse su orientación de tres dimensiones de un modo conocido por se usando la determinación del vector de apuntamiento **PV** entre la plataforma y la antena **120** (mostrado en la Fig. 2), en combinación con las lecturas del altímetro en el punto **100**.

Una disposición de antenas **410** de acuerdo con otra realización de la invención se muestra en la Fig. **4b**. La disposición **410** comprende tres antenas **120**, **130** y **150** que están acopladas a una unidad común de generación y conmutación **145**. Esta configuración se refiere a la realización de la invención mostrada en la Fig. 3, que permite la determinación de la orientación del objeto (vector de apuntamiento **PV**) en tres dimensiones.

Otra disposición de antenas **420** de acuerdo con otra realización más de la invención, se ilustra en la Fig. **4c**. La disposición **420** comprende cuatro antenas (**120**, **130**, **150**, y **170**), acopladas a una unidad común de generación y conmutación **145**. La disposición de antenas **420** está dispuesta en una forma de tetraedro, en el cual las antenas **120**, **130** y **150** están situadas sobre el mismo plano, y la antena **170** está situada fuera de ese plano. Obsérvese que la disposición de tres dimensiones de la disposición de antena afecta a la directividad y la forma de la Zona Z (la zona en la cual puede recibirse la señal de posicionamiento TS). En el caso de que se mantenga una total simetría (es decir una disposición de antenas de una forma de tetraedro) el sistema de posicionamiento resultante es sustancialmente omnidireccional. Obsérvese que la exposición anterior con relación a las Fig. 4a - 4c se centra en la disposición de antenas para la transmisión. Para la recepción de la señal devuelta, podría dedicarse otra antena (por ejemplo, el elemento **125** mostrado en la Fig. 1), o estar integrada con al menos una de las antenas de transmisión.

Como se ha observado anteriormente con referencia a la Fig. 2, por simplicidad, la exposición anterior no incluyó una exposición acerca de la ambigüedad con relación a la determinación del parámetro **N**, que indica el número entero de ciclos de señal **TS** a lo largo de  $\Delta R$ . Se conocen en la técnica, varios procedimientos para resolver la ambigüedad de **N** y la invención no está limitada a ninguno de ellos. De acuerdo con una realización de la invención, la ambigüedad de **N** se resuelve del siguiente modo, expuesto con referencia a las Fig. **5** y **6** junto con la Fig. 2:

Para determinar **N**, la señal de posicionamiento **TS** puede incluir porciones de señal que tienen una primera frecuencia  $f_1$ , y porciones de señal que tienen una segunda frecuencia  $f_2$ . Las porciones de señal que tienen la frecuencia  $f_1$  se conmutan entre las antenas y se emiten por todas las antenas en la disposición de antenas (dos antenas **120** y **130** en el ejemplo mostrado en la Fig. **2**), así como las que tienen la frecuencia  $f_2$ . Por lo tanto, podrían medirse una primera diferencia de fase  $\varphi_1$  correspondiente a la primera frecuencia  $f_1$ , y una segunda diferencia de fase  $\varphi_2$ , correspondiente a la segunda frecuencia  $f_2$ . La diferencia entre los valores detectados de  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  se usa para determinar **N**, del modo siguiente:

Las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  se seleccionan de tal modo que  $N_1$  y  $N_2$ , que indican el número entero de ciclos de la señal TS a lo largo de  $\Delta R$ , seguirán la relación:

$$(5) N_1 = N_2 + k, \text{ en donde } k \text{ es un número entero que tiene valores de ley de un conjunto limitado de valores (por ejemplo, } 1, 2, \dots n)$$

Por ejemplo, si  $f_1 = 1$  GHz y  $f_2 = 1,1$  GHz, entonces **k** tendría un valor de un conjunto predefinido y limitado de valores, por ejemplo  $k = 1, 2, \text{ ó } 3$ . Obsérvese que  $k > 0$  si  $f_1 < f_2$ .

De acuerdo con la relación conocida (1)  $2\pi N + \varphi = 2\pi f \Delta t$  y dividiendo:

$$(6) (2\pi N_1 + \varphi_1) / (2\pi N_2 + \varphi_2) = 2\pi f_1 \Delta t / 2\pi f_2 \Delta t$$

y siguiendo simples procedimientos aritméticos, se determina  $N_1(k)$  como:

$$(7) N_1(k) = (f_1 \varphi_1 + f_2 \varphi_2) / 2\pi(f_2 - f_1) + f_1 k / (f_2 - f_1)$$

Usando la relación (7) con los valores medidos de  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  junto con el conjunto predefinido y limitado de valores para  $k$  (por ejemplo,  $k = 1, 2, \text{ ó } 3$ ),  $N_1$  se determina como la solución óptima de la relación (7) (por ejemplo, cuando se consigue el mínimo de  $\text{trunc } N_1$  o  $(1 - \text{trunc } N_1)$ ). En otras palabras, para resolver la ambigüedad de  $N$ , la señal periódica incluye dos frecuencias de una diferencia predefinida (por ejemplo 1 MHz); la diferencia predefinida da lugar a un conjunto limitado de valores para  $k$ , y por lo tanto el valor de  $N$  podría determinarse fácilmente midiendo los parámetros  $f$  y  $\varphi$  de las porciones de señal de ambas frecuencias (esto es,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$ ).

La **Fig. 5** es un diagrama de flujo que muestra una secuencia de operaciones **500** realizada para la determinación del parámetro  $N$ ;

En la operación **510**: recibir los parámetros medidos  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $\varphi_1$ , y  $\varphi_2$ ;

10 En la operación **520**: proporcionar un conjunto de valores para el parámetro  $k$ , por ejemplo  $k$  podría proporcionarse a partir de una tabla de referencia de acuerdo con la diferencia entre  $f_1$  y  $f_2$  (por ejemplo, para una diferencia de 100 MHz, el conjunto de valores para  $k$  incluye los valores 1, 2, y 3);

En la operación **530**: se determina el conjunto de valores de  $N_1(k)$ , usando la relación (7) anterior para los diversos valores de  $k$  proporcionados en la operación 520;

15 En la operación **540**: se selecciona el valor óptimo de  $N_1(k)$ , y

En la operación **550**, se determina el valor de  $N_1(k)$  seleccionado como el parámetro  $N$ .

20 Siguiendo la descripción anterior con respecto a la definición del parámetro  $N$ , debería observarse que la señal de posicionamiento TS como se ha tratado anteriormente con referencia a las Fig. 1-3 y 4a-4c, pueden incluir porciones de señal que tienen una primera frecuencia  $f_1$ , y porciones de señal que tienen una segunda frecuencia  $f_2$ . Una ilustración esquemática de la señal de posicionamiento TS como se genera, por ejemplo, por el sistema de posicionamiento 410 mostrado en la Fig. 4b, se ilustra en la **Fig. 6**: Las porciones de señal que tienen la frecuencia  $f_1$  se conmutan entre las antenas y se emiten por todas las antenas de la disposición de antenas, así como las que tienen la frecuencia  $f_2$ .

25 Se observará que no se necesita que las porciones transmitidas por una antena sean idénticas en longitud que las transmitidas por las otras antenas. La temporización y la duración de la conmutación de la señal entre las antenas de transmisión pueden cambiarse a lo largo de la transmisión de la señal de posicionamiento. Además, no hay necesidad de secuenciar porciones de  $f_2$  después de cada una de las porciones de señal de  $f_1$ , y son posibles otras combinaciones. Además, podrían incorporarse porciones de señal adicionales que transportasen información adicional (por ejemplo, la identidad de la estación base, y más) en la señal periódica. La señal periódica necesita transmitirse mientras que se está conmutando alternativamente entre las antenas, constituyendo por lo tanto la señal de posicionamiento.

30 Debería entenderse que la diferencia de fase entre las porciones de la señal de posicionamiento transmitidas alternativamente por las diferentes antenas (de acuerdo con las diversas arquitecturas como se ha descrito anteriormente), está afectada por la disposición geométrica de las antenas. Además, la diferencia de fase detectada para el posicionamiento se deduce comparando una porción de la señal de posicionamiento devuelta RS con una porción retardada de la misma señal de posicionamiento devuelta.

35 La **Fig. 7** es un diagrama de bloques que muestra un sistema de posicionamiento **700** de acuerdo con una realización de la invención. Por simplicidad, el sistema **700** se presenta de modo que tiene una parte de 'transmisión' que comprende una disposición de antenas (por ejemplo, una disposición de antenas de dos antenas **120** y **130**, como se muestra en la Fig. 4a) y una unidad común de generación y conmutación **140**, todas ellas responsables de la transmisión de la señal de posicionamiento TS; y una parte de 'recepción' que comprende una antena de recepción **125**, un estimador de la diferencia de tiempo y de fase **145** y una utilidad de posicionamiento **180**, que es una utilidad de procesamiento hardware/software, responsable de la recepción y el análisis de la señal de posicionamiento devuelta RS.

45 El estimador de la diferencia de fase **145** puede realizarse en base a cualesquiera dispositivos y procedimientos conocidos en la técnica para la estimación de las diferencias de fase. Por ejemplo, el estimador de la diferencia de fase **145** puede incluir un comparador digital para comparar una porción de la señal recibida actualmente con una porción recibida anteriormente de la misma señal (una porción alimentada a través de un componente de retardo, por ejemplo una memoria intermedia FIFO (Primero en Entrar Primero en Salir) que proporciona 0,5  $\mu\text{s}$  de retardo).  
50 Por ejemplo, el estimador de la diferencia de fase **145** puede realizarse en base a un dispositivo de Modulación por Pulsos, conocido en la técnica.

55 La utilidad de posicionamiento **180** comprende, entre otros un módulo de determinación de  $f/\varphi$  **185** para determinar la frecuencia  $f$  y la fase  $\varphi$  de las diversas porciones de la señal recibida, el módulo de determinación de  $N$  **190** para la determinación del parámetro  $N$  (véase la exposición anterior con referencia a la Fig. 5), y un módulo de determinación de la posición **195** para calcular la posición del transpondedor. No mostrado en la Fig. 7 están los convertidores de Analógico a Digital, que pueden requerirse. El sistema de posicionamiento 700 podría comprender

también una utilidad de fluctuación (no mostrada en la Fig. 7) operable para determinar el intervalo del transpondedor con relación al sistema en base a las mediciones de TOA/DTOA y comparaciones de las señales transmitidas y devueltas, o para recibir la información de un intervalo desde una fuente externa (por ejemplo una unidad externa que realiza el análisis de TOA/DTOA). El módulo de determinación de la posición 195 también puede configurarse para la determinación de la posición con el transpondedor en base a la orientación y el intervalo del transpondedor con relación al sistema.

Debería observarse que la antena de recepción 125 podría estar integrada con una de las antenas de transmisión. Además, todos los elementos podrían estar integrados para formar un dispositivo de posicionamiento compacto en tamaño y en peso. Además, la operación de la unidad de generación y conmutación 145 podría controlarse por la utilidad de procesamiento 180. El sistema 700 se ilustra en la Fig. 7 de un modo no limitante como un sistema independiente. Sin embargo, debería entenderse que el sistema puede integrarse con un hardware y software adicional sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, de acuerdo con una realización, el sistema de posicionamiento está integrado con un sistema para proporcionar el objeto a posicionar con información basada en la posición, por ejemplo información de navegación.

La Fig. 8 ilustra un procedimiento de posicionamiento de acuerdo con una realización de la invención, que muestra una secuencia de operaciones 800 realizada por un sistema de posicionamiento para determinar la posición de un transpondedor desconocido. El procedimiento de posicionamiento comprende la siguiente operación:

En la operación 810:

Generar una señal periódica y conmutar la señal periódica entre al menos dos antenas espaciadas entre sí de localizaciones conocidas acopladas a una unidad común de generación y conmutación. La señal periódica puede incluir una frecuencia (el parámetro  $f$  como se trató con referencia a las Fig. 2 y 3), o puede tener porciones que tienen una primera frecuencia y porciones que tienen una segunda frecuencia (parámetros  $f_1$  y  $f_2$ , como se trató con relación a las Fig. 5 y 6).

En la operación 820:

Transmitir la señal al transpondedor y recibir la señal devuelta. Como se ha detallado anteriormente, el transpondedor recibe una señal de posicionamiento que tiene porciones de señal transmitidas alternativamente por cada una de las antenas espaciadas entre sí (dos, tres o más, como puede ser el caso). El transpondedor devuelve la señal con la misma o con una frecuencia diferente, y la señal devuelta transporta las diferencias de fase entre porciones de la señal transmitida por las diferentes antenas según se reciben por el transpondedor (esto se trató anteriormente principalmente con referencia a la Fig. 2).

En el caso de que la señal periódica incluya dos frecuencias (o más) de modo que las porciones que tienen la misma frecuencia se conmutan entre las antenas, la señal de posicionamiento transmitida al transpondedor incluye porciones de la primera frecuencia transmitidas alternativamente por todas las antenas, y porciones de la segunda frecuencia transmitidas alternativamente por todas las antenas (esto se ilustra en la Fig. 6). La señal devuelta, por lo tanto, transporta diferencias de fase correspondientes a las frecuencias primera y segunda.

En la operación 830:

En base a las mediciones de las diferencias de fase entre porciones de la señal devuelta, determinación de la orientación del transpondedor con relación al sistema. El estimador de la diferencia de fase (elemento 145 mostrado en la Fig. 7) mide las diferencias de fase mencionadas anteriormente (se miden los parámetros  $f$  y  $\varphi$  o  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ , como se ha tratado con referencia a las Fig. 2, 3, 5 y 6). La utilidad de posicionamiento (elemento 180 mostrado en la Fig. 7) determina la orientación del transpondedor con relación al sistema. En el caso de que haya información disponible acerca del intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento (por ejemplo por comparación TDO / DTOA de la señal transmitida y la señal devuelta, o desde una fuente externa), la posición del transpondedor puede determinarse fácilmente en base al procedimiento conocido per se.

La secuencia de operaciones 800 puede también comprender una o todas de las operaciones siguientes:

- en base a la comparación de TOA (Tiempo de Llegada) entre la señal transmitida por el sistema y la señal devuelta por el transpondedor, determinar el intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.

- recibir desde una fuente externa, información acerca del intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento y determinar la posición del transpondedor.

- comparar la posición del transpondedor con la información de posición del transpondedor establecida usando los sistemas GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y/o INS (Sistema de Navegación Inercial), permitiendo por lo tanto la evaluación de la precisión de dicha información de posición.

La invención se ha descrito principalmente con referencia a una plataforma de tierra. Debería observarse que la



invención también es aplicable a vehículos aerotransportados o marítimos, con las alteraciones y modificaciones requeridas. La invención también podría realizarse como un dispositivo móvil de mano.

La presente invención podría estar integrada con una red de comunicaciones celular, por ejemplo para soportar servicios basados geográficamente. Típicamente, una red de comunicaciones celular está formada como una cuadrícula de células que cubren un área de servicio. En cada una de las células hay provistos componentes de red (por ejemplo sitios de célula o estaciones base, que incluyen un equipo de transmisión/recepción), que dan servicio a los dispositivos de comunicaciones móviles localizados actualmente dentro de la célula y comunicaciones con otros componentes de red (por ejemplo, otros sitios de célula, componentes centrales, etc.). Cada uno de los dispositivos móviles de comunicaciones comunica en un modo puntual con su sitio de célula, recibiendo y devolviendo una señal de control, proporcionando por lo tanto a la red con información que indica el intervalo actual entre el dispositivo móvil y el sitio de célula en servicio. Sin embargo, típicamente la posición específica (orientación) del dispositivo móvil dentro de una célula es desconocida para la red. Por ejemplo, como está claro, a la luz de la exposición detallada anterior, la prueba de un sitio de célula que tiene dos antenas y la conmutación de la señal de control entre ambas, puede establecerse la información acerca de la dirección del dispositivo móvil con relación al sitio de célula.

La presente invención podría integrarse con otros sistemas de posicionamiento (por ejemplo el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) o el INS (Sistema de Navegación Inercial), para validar las lecturas de los otros sistemas de posicionamiento y evaluar su precisión. Por ejemplo, comparando la posición de un objeto determinado de acuerdo con la invención con una posición basada en GPS, es posible determinar si la señal GPS está interferida o es engañosa. Proporcionando información de posicionamiento preciso, la presente invención podría usarse también para correlacionar la información de tiempo entre sistemas diferentes y remotos, y para calibrar dispositivos de INS.

El sistema de posicionamiento, de acuerdo con las diversas configuraciones descritas anteriormente, proporciona mediciones de posición de alta precisión. La precisión está afectada por el intervalo de frecuencias, y es claro que a altas frecuencias, se obtiene una mejor precisión. Sin embargo, para proporcionar un mayor intervalo del sistema, se requieren frecuencias más bajas. Obsérvese que mientras que en el intervalo de frecuencias de aproximadamente 1 GHz se requiere la transmisión de la Línea del Sitio (LOS), esta limitación disminuye a frecuencias más bajas. La precisión está afectada además por la geometría de la disposición de antenas que están acopladas a un conmutador común. Se consigue una precisión adicional promediando las mediciones de fase sobre un periodo de tiempo (por ejemplo sobre 1 mseg.) Los errores del sistema son mínimos ya que no hay necesidad de compensar los errores del receptor y correlacionar las lecturas de diferentes receptores.

El sistema de posicionamiento, de acuerdo con las diversas configuraciones descritas anteriormente, proporciona una tasa de actualización elevada. La tasa de actualización está afectada por el ancho de la señal periódica así como por la longitud del ciclo de conmutación (es decir, la magnitud de tiempo necesario para la transmisión de la señal periódica por todas las antenas en la disposición de antenas). Por ejemplo, estableciendo el ancho de una señal periódica de 1 GHz a 1 mseg., y la longitud del ciclo de conmutación a 4 mseg., se mantiene una tasa de actualización de 100 KHz. Obsérvese que la tasa de actualización elevada proporciona una mejor precisión de navegación y mejor proporción de señal a ruido, y consecuentemente, un mayor área de cobertura.

El sistema de posicionamiento de acuerdo con la presente invención está mejor protegido frente a interferencias. La señal de posicionamiento disponible para los transpondedores localizados dentro del área de cobertura del sistema de posicionamiento es más fuerte que la señal GPS disponible en la mayor parte de las áreas cubiertas por el sistema GPS, y por lo tanto se requiere una señal más fuerte para la interferencia.

La invención se ha descrito con referencia a la radiación de RF, y principalmente para la radiación de RF de frecuencias de aproximadamente 1 GHz. Se observará que la invención no está limitada a las frecuencias de ejemplo, y podrían emplearse a lo largo de otras porciones del espectro de radio así como otros espectros de radiación electromagnética. Además la invención no está limitada a la radiación electromagnética y es aplicable a cualquier forma de propagación de energía transmitida por ondas, tal como las ondas acústicas, ultrasónicas, etc.

Por simplicidad, los sistemas de posicionamiento, de acuerdo con las diversas realizaciones de la invención, se han descrito como sistemas independientes. Se observará que un sistema de posicionamiento, de acuerdo con la invención, podría integrarse con otros sistemas, por ejemplo otros sistemas de posicionamiento, buscadores de dirección, sistemas de radar y muchos más, con las alteraciones y modificaciones requeridas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un sistema para el posicionamiento de un transpondedor, comprendiendo el sistema una disposición de antenas de al menos dos antenas espaciadas entre sí (120, 130, 150, 170) acopladas a una unidad común de generación y conmutación (140), estando configurada dicha unidad de generación y conmutación para generar una señal periódica (TS) y conmutar la señal entre dichas, al menos dos, antenas constituyendo una señal de posicionamiento transmitida al transpondedor; comprendiendo el sistema un receptor para recibir una señal devuelta (RS) y un estimador de diferencias de fase (145) acoplado al receptor y operable para medir diferencias de fase entre las porciones de la señal devuelta; comprendiendo el sistema además una utilidad de posicionamiento (180) acoplada a dicho estimador de diferencias de fase y configurado para determinar la posición del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.
- 10 2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación de la posición del transpondedor incluye la dirección del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.
- 15 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la determinación de la posición del transpondedor incluye la determinación del intervalo del transpondedor en relación con el sistema de posicionamiento, en base a la comparación de TOA (Tiempo de Llegada) entre la señal de posicionamiento transmitida por el sistema y la señal devuelta por el transpondedor.
- 20 4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la determinación de la posición del transpondedor incluye la determinación del intervalo del transpondedor en relación con el sistema de posicionamiento, en base a la información recibida desde una fuente externa al sistema, acerca del intervalo del transpondedor con relación al sistema.
- 25 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha señal periódica incluye porciones que tienen una primera frecuencia y porciones que tienen una segunda frecuencia; las porciones que tienen la misma frecuencia se conmutan entre dichas, al menos dos, antenas espaciadas entre sí.
- 30 6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5 en el que dicha primera frecuencia está en el intervalo de aproximadamente 1 GHz o más y la segunda frecuencia difiere de la primera frecuencia en aproximadamente 1 MHz.
- 35 7. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas antenas espaciadas entre sí están acopladas a dicha unidad de generación y conmutación a través líneas de alimentación sustancialmente idénticas.
- 40 8. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición de antenas comprende cuatro antenas en una forma de tetraedro.
- 45 9. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 configurada además, en base a la determinación de la posición del transpondedor, para transmitir la información relacionada con la posición del transpondedor.
- 50 10. Un procedimiento para el posicionamiento de un transpondedor, comprendiendo el procedimiento: generar (810) una señal periódica y conmutar la señal periódica entre una disposición de antenas de al menos dos antenas espaciadas entre sí, de localizaciones conocidas acopladas a una unidad común de generación y conmutación; transmitir (820) la señal al transpondedor y recibir la señal devuelta; en base a mediciones de las diferencias de fase entre las porciones de la señal devuelta, determinar (830) la dirección del transpondedor con relación al sistema, permitiendo por lo tanto la determinación de la posición del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.
11. Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 10 que comprende además: en base a la comparación de TOA (Tiempo de Llegada) entre la señal transmitida por el sistema y la señal devuelta por el transpondedor, determinar el intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento.
12. Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 10 que comprende además: recibir desde una fuente externa, información acerca del intervalo del transpondedor con relación al sistema de posicionamiento, y determinar la posición del transpondedor.
13. Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 10 que comprende además: comparar la posición del transpondedor con la información de posición del transpondedor establecida usando los sistemas GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y/o INS (Sistemas de Navegación Inercial), permitiendo por lo tanto evaluar la precisión de dicha información de posición.
14. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 10 a 13, en el que dicha señal periódica incluye porciones que tienen una primera frecuencia y porciones que tienen una segunda frecuencia, las porciones que tienen la misma frecuencia se conmutan entre dichas, al menos dos, antenas espaciadas entre sí.
15. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 10 a 14 en el que dicha primera

frecuencia está en el intervalo de aproximadamente 1GHz o más y la segunda frecuencia difiere de la primera frecuencia en aproximadamente 1 MHz.

16. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 10 a 15, en el que dicha disposición de antenas comprende cuatro antenas en una forma de tetraedro.

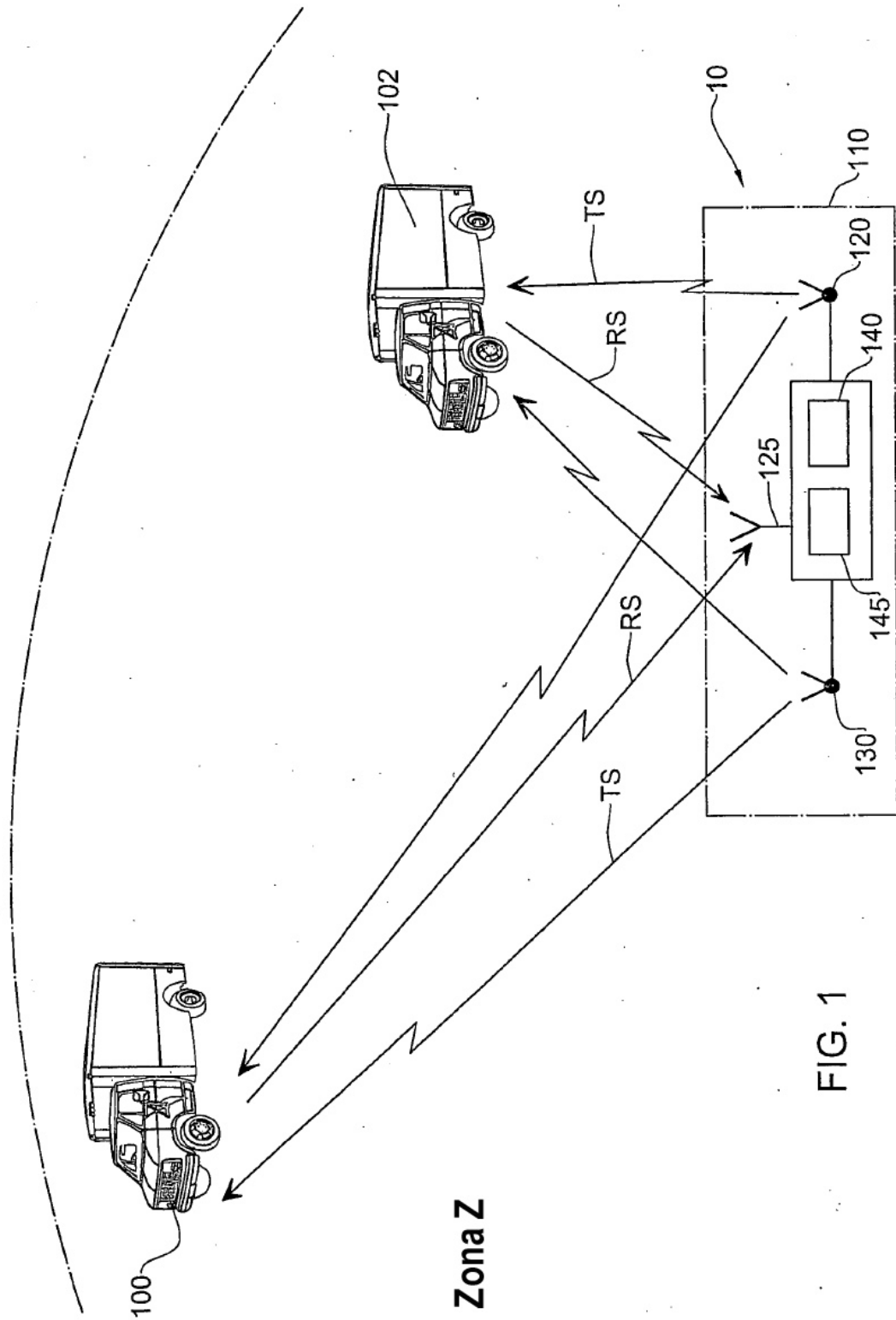


FIG. 1

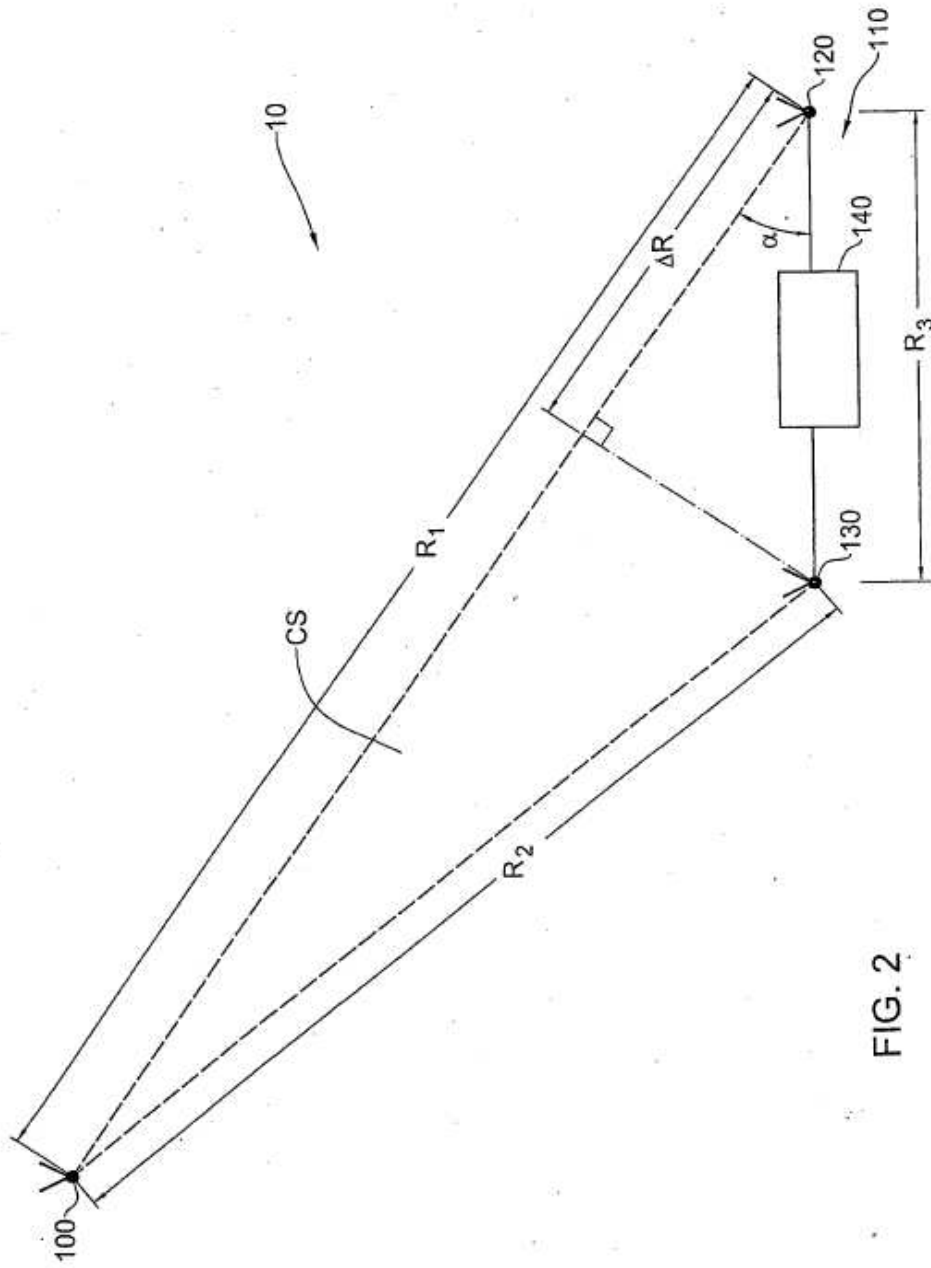


FIG. 2



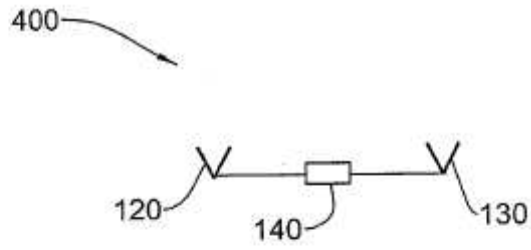


FIG. 4a

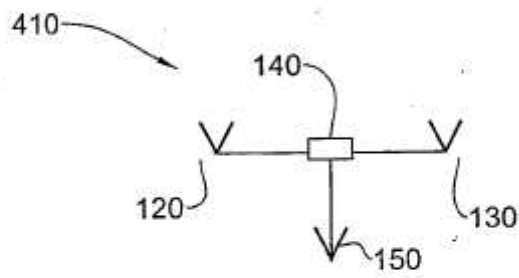


FIG. 4b

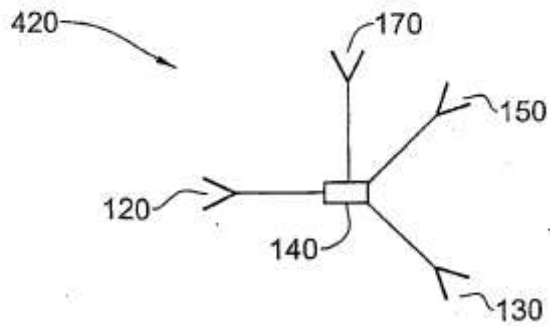


FIG. 4c

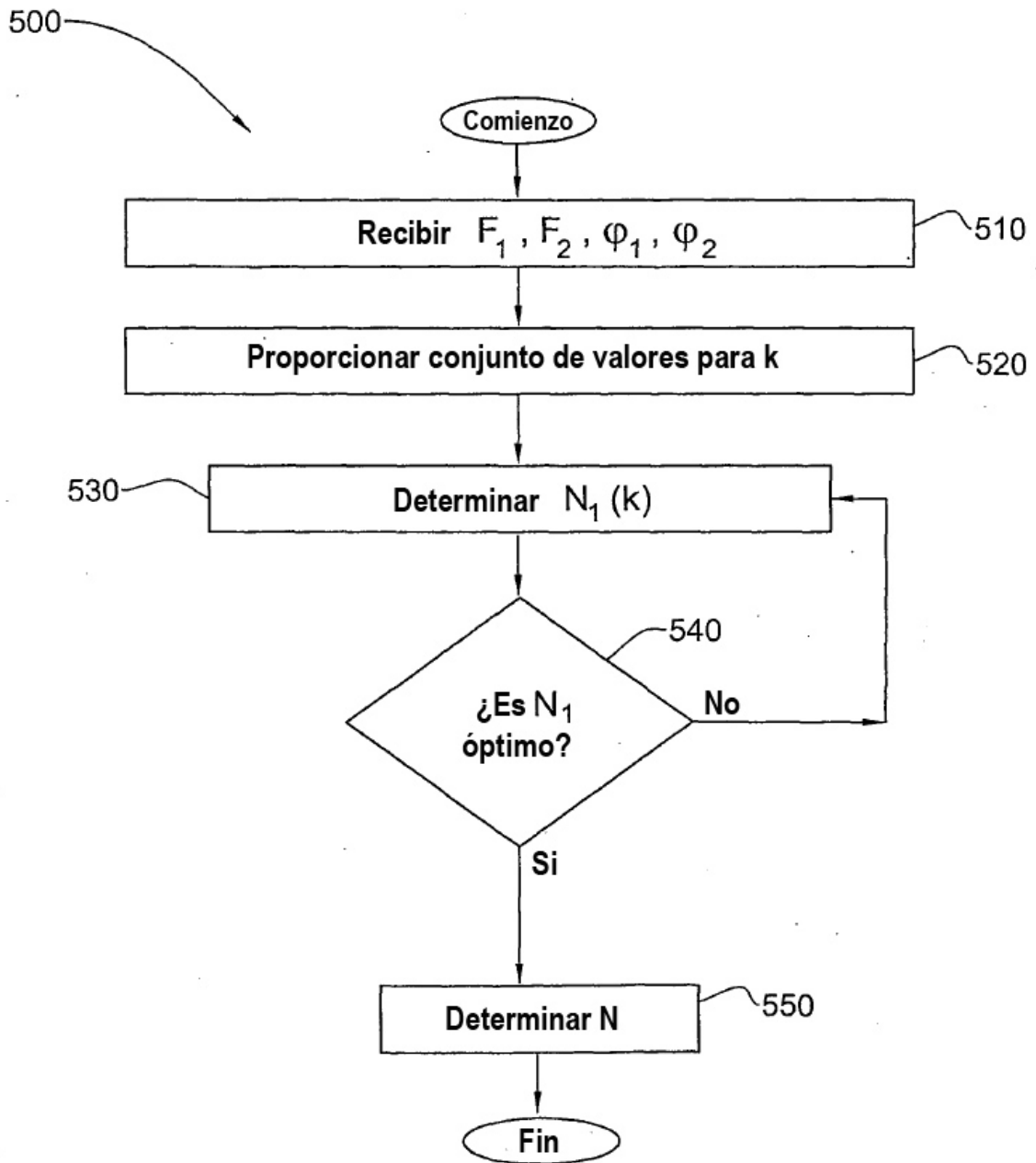


FIG. 5



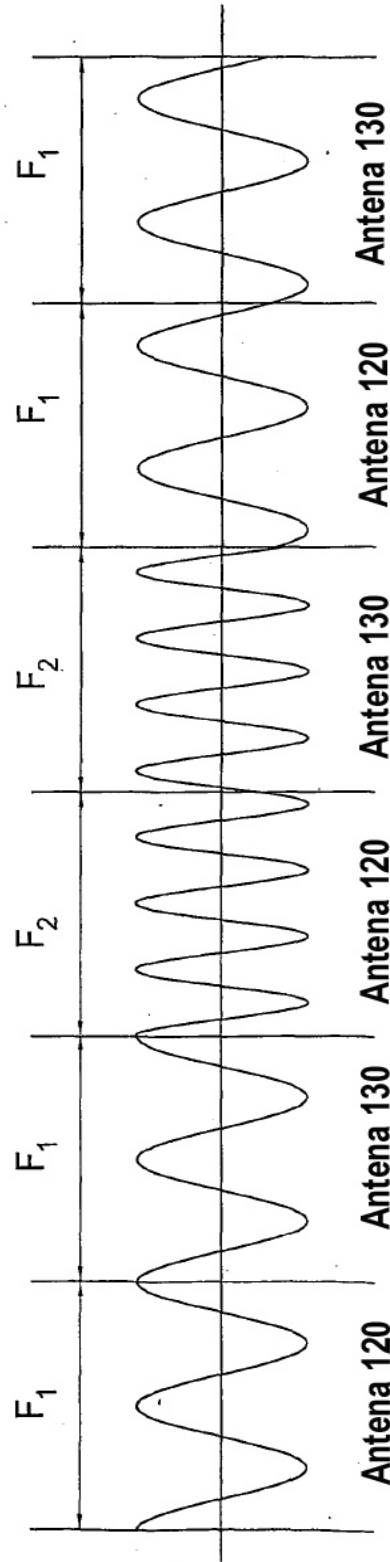


FIG. 6

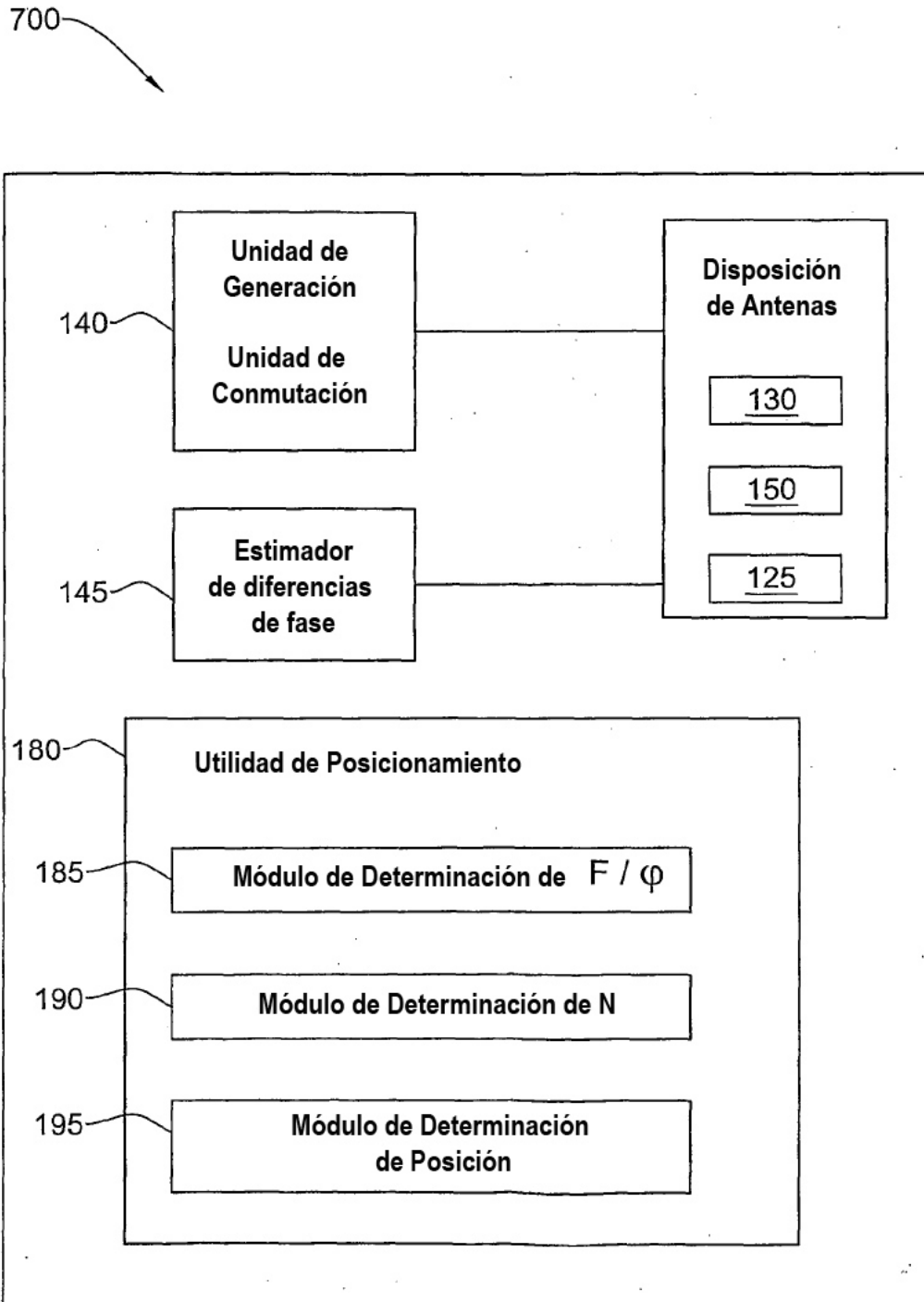


FIG. 7

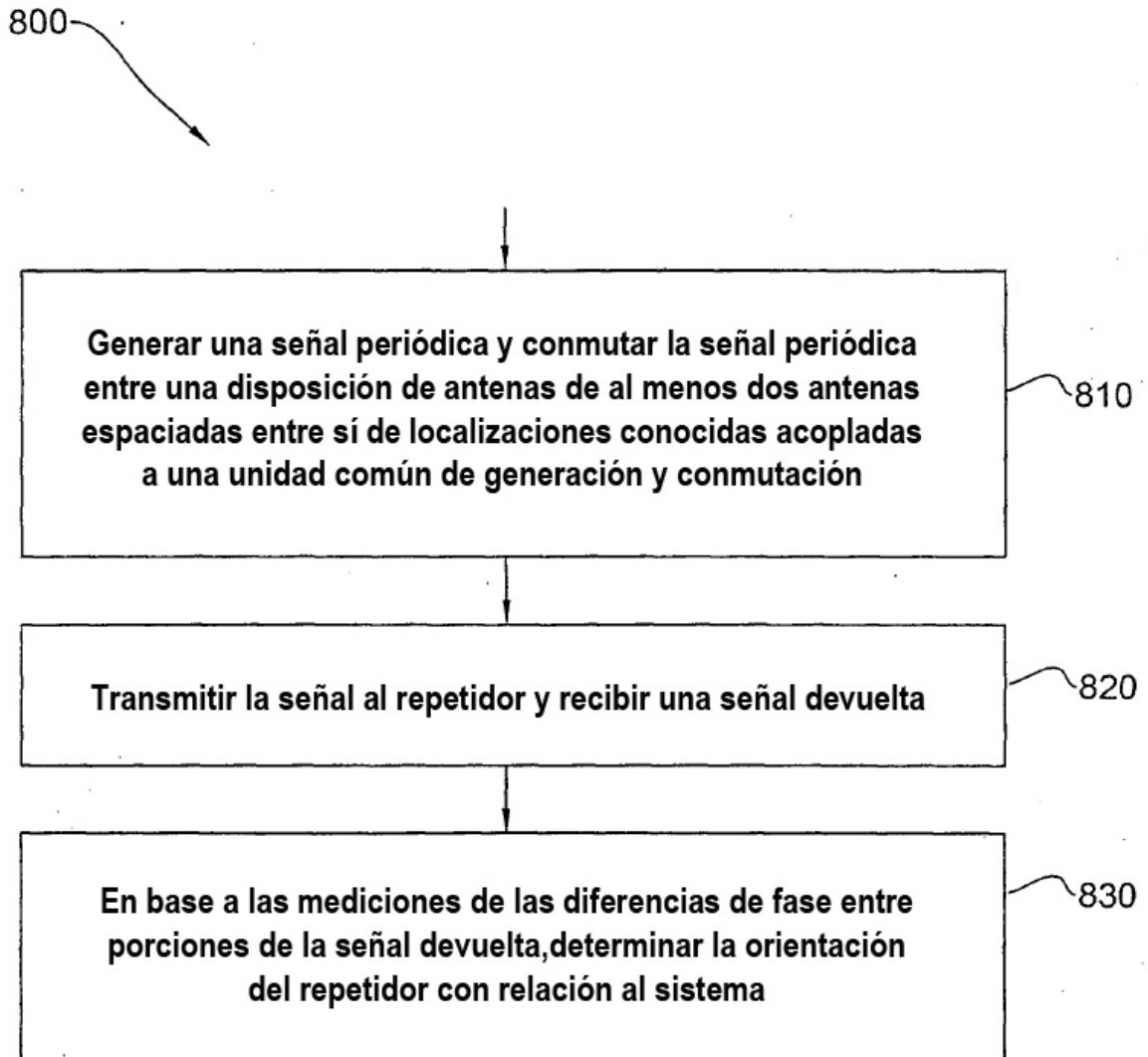


FIG. 8