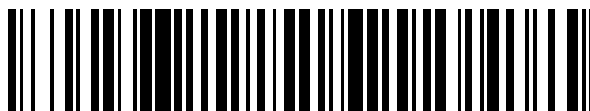


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 286**

51 Int. Cl.:

G01S 13/58 (2006.01)

G01S 7/35 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2005 PCT/DK2005/000230**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2005 WO05098471**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2005 E 05715148 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2019 EP 1735637**

54 Título: **Sistema y método para detección por radar de un objeto**

30 Prioridad:

05.04.2004 DK 200400554

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

19.07.2019

73 Titular/es:

WEIBEL SCIENTIFIC A/S (100.0%)

Solvang 30

3450 Allerod, DK

72 Inventor/es:

PEDERSEN, PEDER, RICHARDT y

GALEANO, FERNANDO, CASANOVA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 720 286 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 detección por radar de un objeto

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema y un método para detección por radar de un objeto. Más particularmente, la invención se refiere a detección por radar de un objeto mediante la transmisión simultáneamente de una señal de radar de onda continua, CW, y una señal de onda continua modulada en frecuencia, FM-CW, o una señal de radar multifrecuencia, MF.

Descripción de la técnica anterior

Se conocen un cierto número de sistemas de detección por radar, especialmente dentro del área de proporcionar a los automóviles radares para el control del tráfico en carretera.

En la patente de Estados Unidos N.º 5.731.778 se describe un radar de FM-CW, que es adecuado para sistemas anticolidión en automoción. Este radar produce una señal de radar en la forma de una onda triangular cuya frecuencia se incrementa con un ritmo dado y se disminuye a un ritmo dado. Un receptor recibe una onda reflejada del objetivo para producir una señal de batido y toma la transformada de Fourier de la señal de batido para determinar los componentes de frecuencia de pico de la misma que muestran picos en un espectro de frecuencia. El receptor determina también fases de los componentes de la frecuencia de pico y selecciona al menos uno de los componentes de la frecuencia de pico en un intervalo de ascenso de frecuencia en el que se incrementa la frecuencia de la señal de radar y al menos uno de los componentes de la frecuencia de pico en un intervalo de descenso de frecuencia en el que se reduce la frecuencia de la señal de radar, lo que muestra sustancialmente la misma fase para emparejarlos para determinar la distancia y la velocidad relativa del objetivo basándose en la frecuencia de los componentes de frecuencia de pico emparejados. Sin embargo, para el sistema descrito en la Patente de Estados Unidos N.º 5.731.778 no hay transmisión de una señal de radar de CW, por lo que el sistema se basa en el emparejamiento de componentes de frecuencia de pico desde el intervalo de ascenso de frecuencia y el intervalo de descenso de frecuencia que conducen a una ambigüedad cuando se determina la distancia al objetivo y la velocidad.

En la Patente de Estados Unidos N.º 5.325.097 se describe un sistema de radar para vehículos de carretera para discriminar entre objetivos peligrosos y no peligrosos dentro de una zona determinada. El sistema descrito usa un par de ciclos de radar de onda continua modulada en frecuencia, FM-CW, y un único ciclo de onda continua, CW, en la generación de las cantidades de radar para medir el alcance al objetivo y la velocidad del objetivo aparente. Se prefiere el uso de una onda de radar de FM-CW triangular con un incremento en la frecuencia durante un primer ciclo y una disminución en la frecuencia durante un segundo ciclo. Puede determinarse una cantidad Doppler de FM-CW a partir de las señales de radar de FM-CW recibidas y puede determinarse una cantidad Doppler de CW a partir de la señal de radar de CW recibida. Las cantidades Doppler corresponden a velocidades del objetivo y a partir de las cantidades Doppler de FM-CW y CW se determina si el objetivo es un objetivo peligroso o no peligroso. En la Patente de Estados Unidos N.º 5.325.097, se usan tanto una señal de CW, que da información solamente sobre la velocidad del objetivo, como una de FM-CW, que contiene información con relación a la velocidad del objetivo y la distancia, reduciendo de ese modo la ambigüedad cuando se determinan velocidad y distancia del objetivo. Sin embargo, las señales de FM-CW y CW se transmiten con diferentes ciclos de tiempo, de modo que la observación del objetivo debe dividirse en tres ciclos de tiempo, reduciendo de ese modo la sensibilidad del sistema de radar. El problema de determinar el alcance y velocidad de múltiples objetos simultáneamente no se acometió tampoco, dado que el sistema estaba dirigido a proporcionar la detección solamente del objeto más prominente a la vista.

El documento US 3.120.659 describe un sistema de radar de objeto móvil en el que se transmiten simultáneamente una señal de radar de FM-CW y una señal de radar de CW.

El documento GB 2 380 682 A describe un sistema de radar de CW que tiene tres receptores en el que al menos dos receptores se disponen a lo largo de la primera dirección del receptor y al menos dos receptores se disponen a lo largo de una segunda dirección del receptor diferente de la primera dirección del receptor, para determinar velocidad y desviación angular de un objetivo.

El documento US 6.104.336 describe un sistema de radar en lóbulo secuencial FM-CW que sigue diversos objetivos en un dominio de la frecuencia para cada haz de la antena.

Así, existe la necesidad de un sistema de detección por radar capaz de proporcionar mediciones de alcance y velocidad no ambiguas para uno o más objetos, especialmente para aquellos que viajan a velocidades supersónicas, mientras al mismo tiempo usa un mínimo de ciclos de tiempo para incrementar la sensibilidad del sistema. Una solución para dicho sistema de detección por radar se proporciona por el sistema de la presente invención.

Sumario de la invención

De acuerdo con la presente invención se proporciona un sistema de radar para la detección de uno o más objetos de acuerdo con la reivindicación 1.

5 En este caso, dentro de un primer aspecto de la invención, se prefiere que: el transmisor de ondas de radar esté adaptado para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW; un primer receptor de ondas de radar esté adaptado para recibir señales de radar de CW y FM-CW reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección del sistema de radar; el primer mezclador de CW es un mezclador para
10 mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y el primer mezclador de FM-CW o MF es un primer mezclador de FM-CW para la mezcla de las señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de FM-CW que se refieren a la distancia o y a la velocidad de un objeto.

15 Por lo tanto, de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención se proporciona un sistema de radar para detección de uno o más objetos, comprendiendo dicho sistema: un transmisor de ondas de radar para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW; un primer receptor de ondas de radar para la recepción de señales de radar de CW y de FM-CW reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance
20 de detección del sistema de radar; un primer mezclador de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y un primer mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada primera señal de batido de FM-CW a la
25 distancia a, y la velocidad de, un objeto.

Para sistemas de la invención en los que el transmisor de ondas de radar está adaptado para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW, la señal de radar de FM-CW puede ser una señal modulada en dientes de sierra o rampa. En este caso, la señal modulada en rampa puede tener una forma
30 de onda de rampa de ascenso con un incremento en la frecuencia durante el periodo de rampa de ascenso o una forma de onda de rampa de descenso con una disminución en la frecuencia durante el periodo de rampa de descenso. Como alternativa, la señal de radar de FM-CW puede tener una forma de onda de figura triangular con periodos de rampa de ascenso que tienen un incremento en la frecuencia y periodos de rampa de descenso que tienen una disminución en la frecuencia.

35 De acuerdo con un segundo ejemplo, se prefiere que: el transmisor de ondas de radar esté adaptado para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de MF; el primer receptor de ondas de radar está adaptado para recibir señales de radar de CW y MF reflejadas desde un objeto presente en un alcance de detección del sistema de radar; el primer mezclador de CW es un mezclador para mezcla de señales de transmisión de CW y
40 señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y el primer mezclador de FM-CW o MF es un primer mezclador de MF para mezcla de señales de transmisión de MF y señales de MF reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de MF, refiriéndose cada primera señal de batido de MF a la distancia a, y la velocidad de, un objeto.

45 Por lo tanto, de acuerdo con el segundo ejemplo se proporciona un sistema de radar para detección de uno o más objetos, comprendiendo dicho sistema: un transmisor de ondas de radar para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de MF; un primer receptor de ondas de radar para la recepción de señales de radar de CW y de MF reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección del sistema de radar; un primer mezclador de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por
50 el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y un primer mezclador de MF para mezcla de señales de transmisión de MF y señales de MF reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de MF, refiriéndose cada primera señal de batido de MF a la distancia a, y la velocidad de, un objeto.

55 Se prefiere que el sistema de radar de la invención comprenda además un segundo receptor de ondas de radar para la recepción de señales de radar de CW y FM-CW reflejadas. En este caso, el primer y segundo receptores pueden disponerse en el mismo plano. Está también dentro de una realización preferida que al menos el primer y segundo receptores de ondas de radar se dispongan a lo largo de una primera dirección del receptor. También se prefiere que
60 el sistema de radar de la invención comprenda además un tercer receptor de ondas de radar para recibir señales de radar de CW y FM-CW reflejadas, en el que el primer, el segundo y el tercer receptores pueden disponerse en el mismo plano. El sistema de radar puede comprender también un cuarto receptor de ondas de radar para recibir señales de radar de CW y FM-CW reflejadas, en el que el primer, el segundo, el tercer y el cuarto receptores pueden disponerse en el mismo plano.

65 Para un sistema de radar de la invención que tenga más de un receptor está dentro de una realización preferida que al menos dos de los receptores se dispongan a lo largo de la primera dirección del receptor y al menos dos receptores

se dispongan a lo largo de una segunda dirección del receptor, siendo dicha primera dirección del receptor diferente de la segunda dirección del receptor. En este caso, la primera y segunda direcciones del receptor pueden ser sustancialmente perpendiculares entre sí.

5 Debería entenderse también que está también dentro de la presente invención que cuando el sistema de radar comprende dos o más receptores de ondas de radar, el sistema puede comprender además mezcladores de CW y mezcladores de FM-CW correspondientes.

10 Así, cuando el sistema tiene un primer mezclador de CW, un primer mezclador de FM-CW y un segundo receptor, el sistema puede comprender además un segundo mezclador de CW para la mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas por el segundo receptor para producir una o más señales de batido de CW, refiriéndose cada segunda señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y un segundo mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el segundo receptor para producir una o más segundas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada segunda señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto. Cuando el sistema tiene también un tercer receptor, puede comprender además un tercer mezclador de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el tercer receptor para producir una o más terceras señales de batido de CW, refiriéndose cada tercera señal de partida de CW a la velocidad de un objeto y un tercer mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el tercer receptor para producir una o más terceras señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada tercera señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto. Cuando el sistema tiene además un cuarto receptor, puede comprender también un cuarto mezclador de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de CW, refiriéndose cada cuarta señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y un cuarto mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada cuarta señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto.

30 Para sistemas de la invención que comprenden un mezclador de CW para producir una señal de batido de CW, el sistema puede comprender además medios para determinar una velocidad del objeto o una velocidad del objeto relativa de uno o más objetos basándose en al menos parte de las señales de batido de CW producidas. Está dentro de una realización preferida del sistema que para cada mezclador de CW hay medios de transformación correspondientes para tomar la transformada de Fourier de la(s) señal(es) de batido desde dicho mezclador de CW. En este caso, el sistema puede comprender además medios para sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de CW y para determinar un número de frecuencias de pico de CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de CW sumadas. El sistema puede comprender además medios para determinar una velocidad del objeto CW basándose en una frecuencia de pico de CW seleccionada, correspondiendo dicha velocidad del objeto CW a la velocidad o la velocidad relativa de un objeto que proporciona una frecuencia Doppler correspondiente a la frecuencia de pico de CW seleccionada.

40 Para sistemas de la invención que comprenden uno o más mezcladores de FM-CW para producir señales de batido de FM-CW correspondientes, se prefiere que para cada mezclador de FM-CW haya medios de transformación correspondientes para tomar la transformada de Fourier de la(s) señal(es) de batido desde dicho mezclador de FM-CW. También en este caso, el sistema puede comprender además medios para sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de FM-CW y para determinar un número de frecuencias de pico de FM-CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de FM-CW sumadas.

50 De acuerdo con una realización del sistema de la invención, el transmisor de ondas de radar está adaptado para transmitir una señal de radar de FM-CW que tiene una forma de onda triangular incrementándose la frecuencia a un primer ritmo dado y disminuyendo a dicho primer ritmo y en el que el sistema de radar comprende: medios para seleccionar a partir de las frecuencias de pico de FM-CW seleccionadas un par de frecuencias de pico de FM-CW correspondientes a rampas de ascenso y descenso consecutivas de la señal de FM-CW transmitida; medios para determinar una velocidad del objeto FM-CW basándose en el par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW; medios para comparar la velocidad del objeto FM-CW determinada con una o más velocidades del objeto CW determinadas para de ese modo obtener una frecuencia de pico de CW correspondiente al par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW; y medios para determinar una distancia del objeto a partir del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW o a partir de la frecuencia de pico de CW correspondiente y al menos uno del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW.

60 Para sistemas de la invención que tienen al menos dos receptores de ondas de radar, el sistema puede comprender además medios para detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por al menos dos receptores de ondas de radar diferentes.

65 Para sistemas de la invención que tienen receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, el sistema puede comprender además uno o más detectores de fase para detectar, basándose al menos parcialmente en las señales de radar correspondientes recibidas por los receptores a lo largo de la primera dirección del receptor, una o más diferencias de tiempos o de fase con relación a una primera dirección angular del objeto. Para sistemas de

la invención que tengan receptores dispuestos a lo largo de la primera y segunda direcciones del receptor, el sistema puede comprender además uno o más detectores de fase para detectar, basándose al menos parcialmente en las señales de radar correspondientes recibidas por los receptores a lo largo de la segunda dirección del receptor, una o más diferencias de tiempos o de fase con relación a una segunda dirección angular del objeto. Para sistemas de la invención que tengan uno o más detectores de fase, uno o más de dichos detectores de fase pueden adaptarse para determinar una diferencia de fase basándose en al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan las señales de radar recibidas correspondientes a al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, correspondiendo dichas señales de radar recibidas a la misma señal de radar transmitida.

De acuerdo con una realización del sistema de radar de la invención se disponen al menos dos receptores horizontalmente uno junto al otro. Por ello, una diferencia de tiempo o fase detectada entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos horizontalmente puede referirse a una diferencia de fase de azimut. Está también dentro de una realización de la invención que se dispongan al menos dos receptores verticalmente uno encima del otro. Por ello, una diferencia de tiempo o fase detectada entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos verticalmente puede referirse a una diferencia de fase de elevación. Así, se prefiere que el sistema de radar pueda tener al menos tres receptores de radar, un primer y un segundo receptor dispuestos horizontalmente uno junto al otro y un tercer receptor dispuesto verticalmente por debajo del primer o segundo receptor. Se prefiere adicionalmente que el sistema de radar pueda tener al menos cuatro en receptores, con el primer y segundo receptores dispuestos horizontalmente uno junto al otro, disponiéndose el tercer y cuarto receptores horizontalmente uno junto al otro y disponiéndose el tercer y cuarto receptores verticalmente por debajo del primer y segundo receptores, respectivamente.

Para sistemas de la invención que tienen receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, a continuación al menos dos receptores pueden disponerse a lo largo de la primera dirección del receptor y los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una primera diferencia de fase entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, refiriéndose dicha primera diferencia de fase a una primera dirección angular del objeto. En este caso, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar la primera diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformadas de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor.

Cuando el sistema tiene dos receptores dispuestos horizontalmente uno junto al otro, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una diferencia de fase de azimut entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos dos receptores de ondas de radar dispuestos horizontalmente. En este caso, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una diferencia de fase de azimut entre dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los dos receptores horizontalmente alineados.

Para sistemas de la invención que tengan receptores dispuestos a lo largo de la primera y segunda direcciones del receptor, a continuación al menos dos receptores pueden disponerse a lo largo de la segunda dirección del receptor y los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una segunda diferencia de fase entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor, refiriéndose dicha segunda diferencia de fase a una segunda dirección angular del objeto. En este caso, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar la segunda diferencia de fase desde al menos dos salidas de transformadas de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor.

Cuando el sistema tiene dos receptores dispuestos verticalmente uno encima del otro, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una diferencia de fase de elevación entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos dos receptores de ondas de radar dispuestos verticalmente. En este caso, los medios de detección de fase pueden adaptarse para determinar una diferencia de fase de elevación entre dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los dos receptores verticalmente alineados.

para sistemas de la invención que tienen al menos dos receptores de ondas de radar y medios para detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dos receptores de ondas de radar diferentes, se prefiere que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar una diferencia de fase entre dos salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para determinar una diferencia de fase entre dos salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

Para sistemas de la invención que tienen cuatro receptores de ondas de radar disponiéndose el primer y segundo receptores horizontalmente uno junto al otro, disponiéndose el tercer y cuarto receptores horizontalmente uno junto al otro y disponiéndose el tercer y cuarto receptores verticalmente por debajo del primer y segundo receptores, respectivamente, se prefiere que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar una diferencia de

fase de azimut entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y tercer receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al segundo y cuarto receptores. Se prefiere adicionalmente que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar una diferencia de fase de elevación entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y segundo receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al tercer y cuarto receptores.

Para sistemas de la invención que tienen medios de detección de fase y receptores dispuestos a lo largo de la primera y segunda direcciones del receptor se prefiere que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar primera y segunda diferencias de fase para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

Para sistemas de la invención que tienen medios de detección de fase, se prefiere que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar diferencias de fase de azimut y elevación para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y/o para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

Para sistemas de la invención que tienen medios de detección de fase, el sistema puede comprender además medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes o manteniendo adicionalmente información de ángulos de azimut y elevación en función del tiempo determinados a partir de las mediciones de fase de azimut y elevación correspondientes.

Está dentro de una realización de la invención que el sistema comprenda adicionalmente medios de predicción para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Está también dentro de una realización de la invención que el sistema comprenda medios de predicción para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Se prefiere también que el sistema comprenda además medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de FM-CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de FM-CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes o manteniendo adicionalmente información de ángulos de azimut y elevación en función del tiempo determinados a partir de las mediciones de fase de azimut y elevación correspondientes.

Está dentro de una realización de la invención que el sistema comprenda adicionalmente medios de predicción para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Está también dentro de una realización de la invención que el sistema comprenda además medios de predicción para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

El sistema puede comprender adicionalmente medios para seleccionar de entre los registros de seguimiento de CW y los registros de seguimiento de FM-CW uno o más pares de frecuencias de pico de CW y FM-CW que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes o ángulos de azimut y elevación correspondientes y para determinar a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW obtenidas una velocidad del objeto y una distancia al objeto correspondiente.

Para sistemas que tengan medios para determinar velocidades del objeto y distancias al objeto correspondientes, el sistema puede comprender además medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y/o FM-CW previamente medidas que tengan velocidades correspondientes. En este caso, el sistema puede comprender además medios de predicción para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

El sistema puede comprender también o alternativamente medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información de primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes. En este caso, el sistema puede comprender además medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

El sistema puede comprender también o alternativamente medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan ángulos de elevación y azimut correspondientes. En este caso, el sistema puede comprender medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

De acuerdo con la presente invención se proporciona también un método de detección por radar de uno o más objetos de acuerdo con la reivindicación 27.

En este caso, de acuerdo con el primer aspecto de la invención, se prefiere que las señales de radar de CW se transmitan simultáneamente con una señal de radar de FM-CW; la etapa de recepción comprende recibir señales de radar de CW y FM-CW reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección de radar; las señales de transmisión de CW y las señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor se mezclan, a través del primer receptor de CW, para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y las señales de transmisión de FM-CW y las señales de FM-CW reflejadas recibidas por el primer receptor se mezclan, a través de un primer receptor de FM-CW, para producir una o más primeras señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada primera señal de batido de FM-CW a la distancia a , y la velocidad de, un objeto.

Por lo tanto, de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención se proporciona un método de detección por radar de uno o más objetos, comprendiendo dicho método: transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW; recibir, a través de un primer receptor de radar, señales de radar de CW y de FM-CW reflejadas desde un objeto presente en un alcance de detección de radar; mezclar, a través de un primer mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y mezclar, a través de un primer receptor de FM-CW, señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas para producir una o más primeras señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada primera señal de batido de FM-CW a la distancia a , y la velocidad de, un objeto.

Para métodos de la invención que tienen simultáneamente transmisión de una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW, la señal de radar de FM-CW transmitida puede ser una señal modulada en diente de sierra o rampa. En este caso, la señal modulada en rampa puede tener una forma de onda de rampa de ascenso con un incremento en la frecuencia durante el periodo de rampa de ascenso o una forma de onda de rampa de descenso con una disminución en la frecuencia durante el periodo de rampa de descenso. Como alternativa, la señal de radar de FM-CW transmitida puede tener una forma de onda de figura triangular con periodos de elevación en rampa que tienen un incremento en la frecuencia y periodos de disminución en rampa que tienen una disminución en la frecuencia.

De acuerdo con el segundo ejemplo, se prefiere que las señales de radar de CW se transmitan simultáneamente con una señal de radar de MF; la etapa de recepción comprende recibir señales de radar de CW y de MF reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección del sistema de radar; las señales de transmisión de CW y las señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor se mezclan, a través del primer receptor de CW, para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y las señales de transmisión de MF y las señales de MF reflejadas recibidas por el primer receptor se mezclan, a través de un primer mezclador de MF, para producir una o más primeras señales de batido de MF, refiriéndose cada primera señal de batido de MF a la distancia a , y a la velocidad de, un objeto.

Por lo tanto, de acuerdo con el segundo ejemplo se proporciona un método de detección por radar de uno o más objetos, comprendiendo dicho método: transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de MF; recibir, a través de un primer receptor de ondas de radar, señales de radar de CW y de MF reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección de radar; mezclar, a través de un primer mezclador de CW, de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de CW, refiriéndose cada primera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y mezclar, a través de un primer mezclador de MF, de señales de transmisión de MF y señales de MF reflejadas recibidas por el primer receptor para producir una o más primeras señales de batido de MF, refiriéndose cada primera señal de batido de MF a una distancia a , y a la velocidad de, un objeto.

Se prefiere que el método de la invención comprenda adicionalmente recibir, a través de un segundo receptor de radar, dichas señales de radar de CW y FM-CW reflejadas. También en este caso, el primer y segundo receptores pueden disponerse en el mismo plano. Se prefiere que al menos el primer y segundo receptores se dispongan a lo largo de una primera dirección del receptor. También se prefiere que el método de la invención comprenda adicionalmente recibir, a través de un tercer receptor de ondas de radar, dichas señales de radar de CW y FM-CW reflejadas, en el que el primer, el segundo y el tercer receptores pueden disponerse en el mismo plano. El método puede también comprender adicionalmente recibir, a través de un cuarto receptor de ondas de radar, dichas señales de radar de CW y FM-CW reflejadas, en el que el primer, el segundo, el tercer y el cuarto receptores pueden disponerse en el mismo plano.

De acuerdo con una realización de la invención, el método puede usar al menos dos receptores que se disponen a lo largo de la primera dirección del receptor y al menos dos receptores que se disponen a lo largo de una segunda dirección del receptor, siendo dicha primera dirección del receptor diferente de la segunda dirección del receptor. También en este caso, la primera y segunda direcciones del receptor pueden ser sustancialmente perpendiculares entre sí.

Para un método de acuerdo con el primer aspecto de la invención que usa un primer mezclador de CW, un primer mezclador de FM-CW y un segundo receptor, dicho método puede comprender además: mezclar, a través de un segundo mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el segundo receptor para producir una o más segundas señales de batido de CW, refiriéndose cada segunda señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y mezclar, a través de un segundo mezclador de FM-CW, señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el segundo receptor para producir una o más segundas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada segunda señal de batido de FM-CW a la distancia a , y a la velocidad de, un objeto. Para un método que use adicionalmente un tercer receptor, dicho método puede comprender además: mezclar, a través de un tercer mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el tercer receptor para producir una o más terceras señales de batido de CW, refiriéndose cada tercera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y mezclar, a través de un tercer mezclador de FM-CW, señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el tercer receptor para producir una o más terceras señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada tercera señal de batido de FM-CW a la distancia a , y a la velocidad de, un objeto. Para un método que use un cuarto receptor, el método puede comprender además: mezclar, a través de un cuarto mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de CW, refiriéndose cada señal de batido de CW a la velocidad de un objeto; y un cuarto mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada cuarta señal de FM-CW a la distancia a , y a la velocidad de, un objeto.

Para un método de la invención que usa uno o más mezcladores de CW para producir señales de batido de CW correspondientes, el método puede comprender además determinar una velocidad del objeto o una velocidad del objeto relativa de uno o más objetos basándose en al menos parte de las señales de batido de CW producidas. Se prefiere también que para un método de la invención que use uno o más mezcladores de CW para producir señales de batido de CW correspondientes el método pueda comprender tomar la transformada de Fourier de las señales de batido para cada mezclador de CW. En este caso, el método puede comprender además sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de CW y determinar un número de frecuencias de pico de CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de CW sumadas. Está dentro de una realización de la invención que el método comprende además determinar una velocidad del objeto CW basándose en una frecuencia de pico de CW seleccionada, correspondiendo dicha velocidad del objeto CW a la velocidad o la

velocidad relativa de un objeto que proporciona una frecuencia Doppler correspondiente a la frecuencia de pico de CW seleccionada.

5 Para un método de la invención que usa uno o más mezcladores de FM-CW para producir señales de batido de FM-CW correspondientes, el método puede comprender además tomar la transformada de Fourier de las señales de batido para cada mezclador de FM-CW. También en este caso, el método puede comprender además sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de FM-CW y determinar un número de frecuencias de pico de FM-CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de FM-CW sumadas.

10 De acuerdo con una realización de un método del primer aspecto de la invención, la señal de radar de FM-CW transmitida tiene una forma de onda triangular incrementándose la frecuencia a un primer ritmo dado y disminuyendo a dicho primer ritmo y el método comprende además: seleccionar a partir de las frecuencias de pico de FM-CW seleccionadas un par de frecuencias de pico de FM-CW correspondientes a rampas de ascenso y descenso consecutivas de la señal de FM-CW transmitida; determinar una velocidad del objeto FM-CW basándose en el par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW; comparar la velocidad del objeto FM-CW determinada con una o más velocidades del objeto CW determinadas para de ese modo obtener una frecuencia de pico de CW correspondiente al par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW; y determinar una distancia del objeto a partir del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW o a partir de la frecuencia de pico de CW correspondiente y al menos uno del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW.

15 Para un método de la invención que usa al menos dos receptores de radar está dentro de una realización de la invención que el método comprende además detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dos receptores de ondas de radar diferentes.

20 Para un método de la invención que use al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, dicho método puede comprender además detectar una diferencia de tiempo o de fase entre señales de radar correspondientes recibidas por al menos dos de los receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, refiriéndose dicha diferencia de tiempo o de fase a una primera dirección angular. Para un método de la invención que use al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor, dicho método puede comprender además detectar una diferencia de tiempo o de fase entre señales de radar correspondiente recibidas por al menos dos de los receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor, refiriéndose dicha diferencia de tiempo o de fase a una segunda dirección angular. Se prefiere que la detección de una diferencia de tiempo o de fase se base en al menos dos salidas de transformada de Fourier que representen señales de radar recibidas correspondientes a al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la misma dirección del receptor, correspondiendo dichas señales de radar recibidas a la misma señal de radar transmitida.

25 De acuerdo con una realización preferida, el método puede usar al menos dos receptores que se disponen horizontalmente uno junto al otro y el método puede comprender además: detectar una diferencia de tiempo o fase entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos horizontalmente, mediante lo que la diferencia de tiempo o de fase de los receptores dispuestos horizontalmente puede referirse a una diferencia de fase de azimut. Está también dentro de una realización del método de la invención que se dispongan al menos dos receptores verticalmente uno encima del otro y el método comprende además: detectar una diferencia de tiempo o fase entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos verticalmente, mediante lo que la diferencia de tiempo o de fase de los receptores dispuestos verticalmente puede referirse a una diferencia de fase de elevación. Así, se prefiere que el sistema de radar usado para el método de la invención pueda tener al menos tres receptores de radar, un primer y un segundo receptor dispuestos horizontalmente uno junto al otro y un tercer receptor dispuesto verticalmente por debajo del primer o segundo receptor. Se prefiere adicionalmente que el sistema de radar pueda tener al menos cuatro en receptores, con el primer y segundo receptores dispuestos horizontalmente uno junto al otro, disponiéndose el tercer y cuarto receptores horizontalmente uno junto al otro y disponiéndose el tercer y cuarto receptores verticalmente por debajo del primer y segundo receptores, respectivamente.

30 Para un método de la invención que usa al menos dos receptores de radar, al menos dos receptores pueden disponerse a lo largo de la primera dirección del receptor y la detección de diferencias de fase puede comprender determinar una primera diferencia de fase entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor, refiriéndose dicha primera diferencia de fase a una primera dirección angular del objeto. En este caso, la detección de las diferencias de fase puede comprender determinar la primera diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a al menos dos de los receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor.

35 El método de la invención también cubre realizaciones en las que dos receptores pueden disponerse horizontalmente uno junto al otro y la detección de las diferencias de fase puede comprender determinar una diferencia de fase de azimut entre las señales de radar de CW o FM-CW correspondientes recibidas por dichos dos receptores de ondas de radar dispuestos horizontalmente. Se prefiere que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar una diferencia de fase de azimut entre dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los dos receptores alineados horizontalmente.

5 Para un método de la invención que use al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor, la detección de diferencias de fase puede comprender determinar una segunda diferencia de fase entre las señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor, refiriéndose dicha segunda diferencia de fase a una segunda dirección angular del objeto. En este caso, la detección de las diferencias de fase puede comprender determinar la segunda diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a al menos dos de los receptores a lo largo de la segunda dirección.

10 Está también dentro de la presente invención que dos receptores se dispongan verticalmente uno encima del otro y la detección de las diferencias de fase comprende determinar una diferencia de fase de elevación entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos dos receptores de ondas de radar dispuestos verticalmente. En este caso, la detección de las diferencias de fase puede comprender determinar una diferencia de fase de elevación entre dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los dos receptores alineados verticalmente.

15 Para un método de la invención que use al menos dos receptores de radar y que comprende detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dos receptores de ondas de radar diferentes, se prefiere que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar una diferencia de fase entre dos salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y determinar una diferencia de fase entre dos salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

20 Para métodos de la invención que usen cuatro receptores de ondas de radar disponiéndose el primer y segundo receptores horizontalmente uno junto al otro, disponiéndose el tercer y cuarto receptores horizontalmente uno junto al otro y disponiéndose el tercer y cuarto receptores verticalmente por debajo del primer y segundo receptores, respectivamente, se prefiere que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar una diferencia de fase de azimut entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y tercer receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al segundo y cuarto receptores. Se prefiere adicionalmente que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar una diferencia de fase de elevación entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y segundo receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al tercer y cuarto receptores.

25 Para métodos de la invención que comprenden la detección de diferencias de fase, está dentro de la realización de la invención que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar primera y segunda diferencias de fase para salidas de transformada de Fourier que corresponden a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para salidas de transformada de Fourier que corresponden a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

30 Para métodos de la invención que comprenden la detección de diferencias de fase, está también dentro de la realización de la invención que la detección de las diferencias de fase comprenda determinar diferencias de fase de azimut y elevación para salidas de transformada de Fourier que corresponden a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para salidas de transformada de Fourier que corresponden a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

35 En este caso, el método puede comprender además establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes o manteniendo adicionalmente información de ángulos de azimut y elevación en función del tiempo determinados a partir de las mediciones de fase de azimut y elevación correspondientes.

40 Está dentro de una realización de la invención que el método comprenda además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

45 Está también dentro de una realización de la invención que el método comprenda además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto, objeto que corresponde a dicho registro de seguimiento seleccionado, frecuencias de pico de CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

65

Se prefiere también que el método comprenda establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de FM-CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de FM-CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes o manteniendo adicionalmente información de ángulos de azimut y elevación en función del tiempo determinados a partir de las mediciones de fase de azimut y elevación correspondientes.

El método puede comprender además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Está también dentro de una realización de la invención que el método pueda comprender además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto, objeto que corresponde a dicho registro de seguimiento seleccionado, frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

El método puede comprender adicionalmente seleccionar de entre los registros de seguimiento de CW y los registros de seguimiento de FM-CW uno o más pares de frecuencias de pico de CW y FM-CW que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes o ángulos de azimut y elevación correspondientes y determinar a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW obtenidas una velocidad del objeto y una distancia al objeto correspondiente.

Para un método que comprende la determinación de velocidades del objeto y distancias del objeto correspondientes, el método puede comprender además establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y/o FM-CW previamente medidas que tengan velocidades correspondientes. En este caso, el método puede comprender además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada en función del tiempo, predecir para un objeto, objeto que corresponde a dicho registro de seguimiento seleccionado, frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

El método puede comprender también o alternativamente establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información de primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes. En este caso, el método puede comprender además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Además, el método puede comprender también o alternativamente establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan ángulos de elevación y azimut correspondientes. En este caso, el método puede comprender además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información del ángulo de azimut y elevación en función del tiempo, predecir para un objeto, objeto que corresponde a dicho registro de seguimiento seleccionado, frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información del ángulo de azimut y elevación en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

Otros objetos, características y ventajas de la presente invención serán más claramente evidentes a partir de la descripción detallada de las realizaciones preferidas expuestas a continuación, tomada en conjunto con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

las Figs. 1a, 1b y 1c son diagramas de bloques que ilustran un transmisor y receptor para un sistema de radar de CW y FM-CW combinados de acuerdo con una realización de la presente invención,

la Fig. 2 muestra un receptor de ondas de radar de acuerdo con una realización de la invención que tiene 4 canales de antena de recepción,

5 las Figs. 3a y 3b son gráficos que muestran el espectro de frecuencia relativo de ondas de radar transmitidas y recibidas de acuerdo con una realización de la invención,

10 las Figs. 4a y 4b son gráficos que muestran relaciones entre ondas transmitidas y recibidas por un sistema de radar y señales de batido para un objetivo estático y un objetivo móvil, cuando la señal transmitida es una señal de radar de FM-CW modulada en rampa,

15 las Figs. 5a y 5b son gráficos que muestran relaciones entre ondas transmitidas y recibidas por un sistema de radar y señales de batido para un objetivo estático y un objetivo móvil, cuando la señal transmitida es una señal de radar de FM-CW modulada en triángulo,

las Figs. 6a y 6b son diagramas de bloques que ilustran el procesamiento de señales de radar recibidas usando un sistema de radar con 4 antenas de recepción de acuerdo con una realización de la presente invención,

20 las Figs. 7a y 7b ilustran frecuencias de pico para señales de CW recibidas y señales de FM-CW obtenidas mediante el procesamiento ilustrado en la Fig. 6,

la Fig. 8 ilustra un comparador de fase para determinar diferencias de fase de elevación y azimut a partir de las señales de radar recibidas de acuerdo con una realización de la presente invención,

25 la Fig. 9 muestra una tabla de velocidad del objeto que es parte del procesamiento de las ondas de radar de FM-CW recibidas para una forma de onda FM-CW de forma triangular de acuerdo con una realización de la presente invención,

30 la Fig. 10 es un diagrama de flujo de un programa para determinar distancias y velocidad de objetos detectados por radar para una forma de onda FM-CW de forma triangular de acuerdo con una realización de la presente invención y

35 la Fig. 11 es un diagrama de flujo que ilustra una rutina para obtener un registro de seguimiento para objetos detectados por radar que mantiene información de frecuencias de pico de CW y FM-CW detectadas y diferencias de fase de azimut y elevación detectadas.

Descripción detallada de la invención

40 La Fig. 1 es un diagrama de bloques que muestra un transmisor 110, Fig. 1a, y un receptor 120, Fig. 1b, de un sistema de radar de CW y FM-CW combinados de acuerdo con una realización de la presente invención. El transmisor 110 tiene dos moduladores, MOD₁ y MOD₂, que controlan la frecuencia de salida de dos osciladores controlados por tensión, VCO₁ y VCO₂. La salida del primer modulador, MOD₁, es fija y por lo tanto la frecuencia de salida de VCO₁ es también fija a una frecuencia próxima a 10 GHz. La salida del segundo modulador, MOD₂, es o bien una rampa de ascenso, una rampa de descenso o una señal triangular. El segundo oscilador controlado por tensión VCO₂ produce la salida de una señal modulada en frecuencia correspondiente próxima a 10 GHz, en donde las frecuencias de la señal de salida oscilan en un intervalo de 1-150 MHz. Las frecuencias de salida de VCO₁ y VCO₂ están separadas en al menos 1 MHz. La señal VCO₂ tiene un tiempo de oscilación o periodo de repetición de rampa T_r en el intervalo de 10-100 ms. La señal de salida modulada en frecuencia de VCO₂ puede ser una señal modulada en rampa, una señal de forma triangular que tiene periodos de tiempo de rampa de ascenso y rampa de descenso iguales o la señal de VCO₂ puede tener diferentes periodos de tiempo de rampa de ascenso y rampa de descenso. De acuerdo con una primera realización preferida, la señal de VCO₂ es una señal modulada en rampa que tiene un periodo de repetición de rampa T_r de 20 ms, un ancho de banda BW de 50 MHz y una frecuencia central de 50 MHz. De acuerdo con segunda una realización preferida, la señal de salida del VCO₂ es una señal modulada triangular que tiene un periodo de rampa de ascenso y rampa de descenso T_r de 20 ms, un ancho de banda BW de 50 MHz y una frecuencia central de 50 MHz.

60 La salida del primer oscilador controlado por tensión, VCO₁, se alimenta a un filtro paso banda, BPF₁, para eliminar componentes de frecuencia no deseados. la señal de salida del BPF₁, LO₁, es una onda continua, CW, señal de radiofrecuencia, que se alimenta a través de un sumador 101 y se amplifica por un amplificador, 102 y se emite como una señal de radar de CW a través de una antena 103.

65 La salida del segundo oscilador controlado por tensión, VCO₂, se alimenta a un filtro paso banda, BPF₂, para eliminar componentes de frecuencia no deseados. la señal de salida del BPF₂, LO₂, es una onda continua modulada en frecuencia, FM-CW, señal de radiofrecuencia, que se alimenta a través del sumador 101 y se amplifica por el amplificador, 102 y se emite como una señal de radar de FM-CW a través de una antena 103.

El canal del receptor 120 incluye una antena 121 para recibir señales de radar reflejadas siendo suministrada la salida de la antena a un filtro paso banda 122, en donde la salida del filtro 122 se amplifica a través de un amplificador 123. La señal de salida del amplificador 123 es una señal de radiofrecuencia, RF, de aproximadamente 10 MHz, que se suministra a dos mezcladores, IQ MIX₁ y IQ MIX₂. En este caso, IQ MIX₁ es un mezclador de CW, que mezcla la señal de CW transmitida, LO₁ con la señal de RF recibida. Los componentes de baja de frecuencia de la salida contienen las señales de batido relativas a las velocidades de los objetos que reflejan la señal de CW. Otros componentes de frecuencia se eliminan por los siguientes filtros paso banda 124, 125. El IQ MIX₂ es un mezclador de FM-CW, que mezcla la señal de FM-CW transmitida, LO₂, con la señal de RF recibida. Los componentes de baja de frecuencia de la salida contienen las señales de batido relativas a la distancia y velocidad de los objetos que reflejan la señal de FM-CW. Otros componentes de frecuencia se eliminan por los siguientes filtros paso banda 126, 127.

Un ejemplo de un mezclador de IQ se muestra más en detalle en la Fig. 1c. En este caso, el mezclador de IQ 130 tiene dos mezcladores 131, 132, cada uno de los cuales tiene como entrada la señal de RF recibida y la señal de CW o FM-CW transmitida. Además, el mezclador de IQ 130 tiene una entrada LO, que es o bien la señal LO₁ o bien la señal LO₂, y a través de un cambiador de fase 133 la entrada LO se desplaza en fase aproximadamente en 90 grados antes de ser introducida al mezclador 132, cuando se compara con la entrada LO en fase al mezclador 131. Las salidas resultantes son la salida en fase I desde el mezclador 131 y la salida en cuadratura Q desde el mezclador 132. Los mezcladores 131 y 132 cambian las señales de entrada desde el intervalo de radiofrecuencia reduciéndola a bajas frecuencias, de modo que las señales de salida I y Q estén en el intervalo de 0 a 1 MHz.

Para el mezclador de CW, IQ MIX₁ y el mezclador de FM-CW, IQ MIX₂, del receptor 120, las salidas I y Q se filtran todas ellas mediante los filtros paso banda correspondientes, 124, 125 y 126, 127, para obtener de ese modo las salidas I₁, Q₁ y I₂, Q₂.

Cada uno de los componentes de frecuencia de las señales de las salidas I₁ y Q₁ corresponde a una señal de batido resultante de la diferencia de frecuencia entre la señal de CW transmitida y la señal reflejada por un objeto con una velocidad radial v con respecto a la antena.

Esta diferencia de frecuencia se origina por el efecto Doppler inducido por la velocidad del objeto, que es la relación entre esta velocidad y la frecuencia de la señal de batido dada por:

$$f_{cw} = 2 \cdot \frac{v}{\lambda_{cw}} \quad (1)$$

en la que f_{cw} es la frecuencia de la señal de batido (el desplazamiento Doppler) y λ_{cw} la longitud de onda de la señal de CW transmitida.

Un análisis espectral de las señales en las salidas I₁ y Q₁ sirve para determinar la cantidad y valores de frecuencia de las señales de batido contenidas en ellas. Esto se consigue en la realización preferida de la invención mediante la digitalización de las señales en las salidas I₁ y Q₁, agrupándolas en bloques (posiblemente) solapados de igual cantidad de muestras y realizando una FFT (transformada de Fourier rápida) a cada bloque de muestras. Los picos de frecuencia observados en el espectro discreto resultante corresponden a cada una de las señales de batido presentes.

Cada uno de los componentes de frecuencia de las señales en las salidas I₂ y Q₂ corresponde a una señal de batido resultante de la diferencia de frecuencia entre la señal de FM-CW transmitida y la señal reflejada por un objeto con una velocidad radial v y una distancia R con respecto a la antena.

Esta diferencia de frecuencia se origina por la modulación de frecuencia lineal de la señal transmitida y el efecto Doppler inducido por la velocidad del objeto, que es la relación entre la velocidad y alcance del objeto y la frecuencia de la señal de batido dada por:

$$f_{fm-desc} = \frac{2 \cdot R}{c} \cdot \frac{BW}{T_r} + 2 \cdot \frac{v}{\lambda_{FM}} \quad (2)$$

para una modulación de frecuencia de rampa ascendente y:

$$f_{fm-desc} = -\frac{2 \cdot R}{c} \cdot \frac{BW}{T_r} + 2 \cdot \frac{v}{\lambda_{FM}} \quad (3)$$

para una modulación de frecuencia de rampa descendente, en la que f_{fm-asc} y $f_{fm-desc}$ son las frecuencias de las señales de batido con respectivamente modulación de frecuencia de rampa ascendente y rampa descendente, BW/T_r es la tasa de oscilación de la rampa, λ_{FM} es la longitud de onda correspondiente a la frecuencia central de la oscilación generada y c es la velocidad de la luz.

Un análisis espectral de las señales en las salidas I_2 y Q_2 sirve para determinar la cantidad y valores de frecuencia de las señales de batido contenidas en ellas. Esto se consigue en la realización preferida de la invención mediante la digitalización de las señales en las salidas I_2 y Q_2 , agrupándolas en bloques (posiblemente) solapados de igual cantidad de muestras y realizando una FFT (transformada de Fourier rápida) a cada bloque de muestras. Los picos de frecuencia observados en el espectro discreto resultante corresponden a cada una de las señales de batido presentes.

Cuando se usa una forma de onda triangular, es posible calcular la distancia y velocidad radial de un objeto si las frecuencias de las señales de batido de FM-CW originadas por este objeto en una sección de rampa de ascenso y una de rampa de descenso de la forma de onda transmitida se conocen simultáneamente. En tal caso, la velocidad radial y alcance del objeto pueden evaluarse como:

$$v = \frac{\lambda_{FM}}{2} \cdot (f_{fm-asc} + f_{fm-desc}) \quad (4)$$

$$R = \frac{T_r}{BW} \cdot \frac{c}{2} \cdot (f_{fm-asc} - f_{fm-desc}) \quad (5)$$

Las expresiones 4 y 5 suponen que la velocidad radial y alcance del objeto permanecen constantes para ambas rampas, lo que ya no es verdad para el alcance si la velocidad radial del objeto no es nula. Es por lo tanto que, cuando se trata con objetos con velocidades radiales muy altas, se prefiere evaluar su alcance haciendo uso de la expresión:

$$R = \frac{T_r}{BW} \cdot \frac{c}{2} \cdot \left(f_{fm-asc} - \frac{\lambda_{CW}}{\lambda_{FM}} \cdot f_{cw} \right) \quad (6)$$

cuando las frecuencias de las señales de batido originadas por el objeto en los canales de CW y FM-CW durante y rampa de ascenso son conocidas simultáneamente o:

$$R = \frac{T_r}{BW} \cdot \frac{c}{2} \cdot \left(-f_{fm-desc} + \frac{\lambda_{CW}}{\lambda_{FM}} \cdot f_{cw} \right) \quad (7)$$

en el caso de una rampa de descenso. La velocidad radial se calcula entonces como:

$$v = \frac{\lambda_{CW}}{2} \cdot f_{cw} \quad (8)$$

para ambas clases de rampa.

Las expresiones anteriores son especialmente adecuadas para un sistema como el de la presente invención, en el que una señal de CW y una de FM-CW se transmiten, reciben y procesan simultáneamente y conducen a resultados significativamente más precisos cuando los objetos bajo observación presentan velocidades radiales muy altas con respecto al sistema.

Debería observarse que el transmisor 110 y el receptor 120 pueden tener antenas separadas 103, 121, pero también pueden compartir una única antena común. En la Fig. 1 se muestra un canal de antena de recepción 120 que tiene una antena de recepción 121, pero que tiene varios canales de antena de recepción, con las antenas de recepción correspondientes dispuestas en el mismo plano, es posible detectar diferencias de fase entre señales de radar reflejadas correspondientes recibidas por diferentes antenas de recepción. Para un sistema de radar preferido de acuerdo con la presente invención, hay dos antenas de recepción dispuestas horizontalmente una junto a la otra y dos antenas de recepción dispuestas verticalmente una encima de la otra. Esto requiere 3 canales de antena de recepción. Sin embargo, en otra realización preferida hay 4 canales de antena de recepción con las antenas de recepción 1, 2, 3, 4 dispuestas como se ilustra en la Fig. 2. En la Fig. 2, las diferencias de fase de azimut pueden detectarse a partir de las señales recibidas por las antenas 1 y 2 dispuestas horizontalmente y similarmente a partir de las señales recibidas por las antenas 3 y 4. Por consiguiente, las diferencias de fase de elevación pueden detectarse a partir de las señales recibidas por las antenas 1 y 3 dispuestas verticalmente y similarmente a partir de las señales recibidas por las antenas 2 y 4. Las 4 antenas de recepción 1, 2, 3, 4 de la Fig. 2 pueden usarse como una única antena de transmisión 103 para el transmisor 110.

Debería entenderse que cuando se realiza una detección por radar de un objeto de acuerdo con la presente invención usando un sistema de radar que tiene una antena de transmisión y una o más antenas de recepción dispuestas en el mismo plano y que se disponen relativamente próximas entre sí, entonces una velocidad del objeto determinada mediante el uso de dicho sistema de radar se refiere a una velocidad radial del objeto. Además, si el sistema de radar está en movimiento, entonces la velocidad del objeto se refiere a la velocidad relativa, radial del objeto. La velocidad

radial del objeto puede darse como la velocidad sustancialmente en la dirección de una línea que va desde el centro del objeto al centro del sistema de antena.

5 La relación entre el ángulo de llegada de una señal reflejada y la diferencia de fase entre las señales recibidas por las dos antenas separadas en una distancia conocida, viene dada por la expresión:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \text{sen}(\theta) \quad (9)$$

10 en la que φ es la diferencia de fase entre las señales recibidas por cada antena, d es la distancia entre las antenas y θ es el ángulo de incidencia de la señal entrante con respecto al eje a lo largo del que están alineadas las antenas. La diferencia de fase entre las señales recibidas por los dos conjuntos de antenas dispuestas horizontalmente conducirá a la localización de azimut con respecto al sistema del objeto que origina dicha señal. La diferencia de fase entre los dos conjuntos de antenas dispuestos verticalmente proporcionará la localización de elevación con respecto al sistema del objeto referido.

15 Las Figs. 3a y 3b son gráficos que muestran el espectro de frecuencia relativo de la señal de radar transmitida por el transmisor 110 y recibida por el receptor 120 para un objetivo u objeto estático, véase la Fig. 3a, y un objetivo u objeto en movimiento, véase la Fig. 3b. El espectro transmitido consiste en dos señales, una señal CW y una FM-CW, cuyas frecuencias centrales se indican por f_1 y f_2 en la figura. La señal CW es un senoide de amplitud y frecuencia constantes. Cuando esta señal incide sobre un objetivo móvil, la señal reflejada recogida por el receptor estará desplazada en frecuencia con respecto a la señal transmitida en una cantidad f_d relacionada con la velocidad radial del objetivo con respecto al sistema. Esto se indica en la figura por el tono discontinuo representado en la Fig. 3b. La señal FM-CW es un senoide de amplitud constante cuya frecuencia se modula por o bien una señal en diente de sierra o bien con forma de triángulo, como se muestra en las Figs. 4 y 5. Si el producto del intervalo de oscilación de la frecuencia y el tiempo de oscilación es suficientemente alto, el espectro de frecuencia de la señal transmitida se aproxima a un pedestal cuyo ancho es el intervalo de oscilación de frecuencia. Cuando la señal incide sobre un objetivo móvil, el espectro de la señal recibida también estará desplazado en frecuencia en una cantidad similar a la experimentada por la señal CW. En la Fig. 3b, el espectro de FM-CW transmitido se traza por una línea continua, mientras que el de la señal recibida se traza por una línea discontinua.

20 Las Figs. 4a y 4b son gráficos que muestran relaciones entre ondas transmitidas y recibidas por el sistema de radar 110, 120 y señales de batido para un objetivo estático, véase la Fig. 4a, y un objetivo en movimiento, véase la Fig. 4b, cuando la señal transmitida es una señal de radar de FM-CW modulada en rampa. Para el objetivo u objeto en movimiento de la Fig. 4b hay una frecuencia Doppler tal como se indica por f_d y la frecuencia de la señal de batido de rampa ascendente f_{fm-asc} se cambia de acuerdo con la frecuencia Doppler f_d . En las Figs. 4a y 4b el ancho de banda de la señal FM-CW se indica por BW y el periodo de repetición se indica por T_r .

25 Las Figs. 5a y 5b son gráficos que muestran relaciones entre ondas transmitidas y recibidas por el sistema de radar 110, 120 y señales de batido para un objetivo estático, véase la Fig. 5a, y un objetivo en movimiento, véase la Fig. 5b, cuando la señal transmitida es una señal de radar de FM-CW modulada en triángulo. Para el objetivo u objeto en movimiento de la Fig. 5b hay una frecuencia Doppler tal como se indica por f_d y la frecuencia de la señal de batido de rampa ascendente f_{fm-asc} se reduce de acuerdo con la frecuencia Doppler f_d , mientras la frecuencia de la señal de batido de rampa descendente $f_{fm-desc}$ se incrementa de acuerdo con la frecuencia Doppler. En las Figs. 5a y 5b el ancho de banda de la señal FM-CW se indica por BW y el periodo de repetición de rampa ascendente, que es igual al periodo de rampa descendente, se indica por T_r .

30 Cuando se detecta un único objetivo u objeto, un único componente de frecuencia de la señal de batido parece para la señal CW y un único componente de frecuencia de la señal de batido aparece para cada uno de los intervalos de frecuencia ascendente y frecuencia descendente de la señal FM-CW. Sin embargo, cuando se detecta una pluralidad de objetos, los componentes de frecuencia de la señal de batido de un número igual al número de objetos aparece para la señal CW y tanto para los intervalos de frecuencia ascendente como de frecuencia descendente de la señal FM-CW.

35 Las Figs. 6a y 6b son diagramas de bloques que ilustran el procesamiento de señales de radar recibidas usando un sistema de radar con 4 antenas de recepción y 4 canales de recepción correspondientes, estando dispuestas las 4 antenas como se ilustra en la Fig. 2. En la Fig. 6a, las señales $Ch1 I_1$ y $Ch1 Q_1$ son las salidas I_1 y Q_1 del primer canal receptor, que tiene componentes de frecuencia correspondientes a señales de batido resultantes de la diferencia de frecuencia entre la señal CW transmitida y las señales de CW reflejadas por el primer receptor de señal de radar. De la misma manera, las señales $Ch2 I_1$ y $Ch2 Q_1$ son las salidas I_1 y Q_1 del segundo canal receptor, las señales $Ch3 I_1$ y $Ch3 Q_1$ son las salidas I_1 y Q_1 desde el tercer canal receptor y las señales $Ch4 I_1$ y $Ch4 Q_1$ son las salidas I_1 y Q_1 del cuarto canal receptor. Cada una de las señales de los 4 pares de señales I_1 y Q_1 se digitalizan mediante convertidores A/D correspondientes y la señal Q_1 digitalizada se lleva a la forma imaginaria jQ_1 mediante una multiplicación unitaria "x j" correspondiente. Cada par de señales digitales I_1 y jQ_1 correspondiente se suma a través de una unidad de suma y se realiza una FFT (transformada de Fourier rápida) sobre cada una de las 4 señales $I_1 + jQ_1$ sumadas, para obtener de ese modo 4 salidas de señal FFT correspondientes. Estas 4 salidas FFT se suman y

la señal FFT sumada, que contiene información de los desplazamientos de frecuencia Doppler de CW sumadas, se suministra a un detector de pico. La salida del detector de pico, que corresponde a los picos de frecuencia de las señales de batido de CW, se almacena en una unidad de almacenamiento.

5 Usando la ecuación (8) anteriormente dada, puede determinarse una velocidad del objeto de pico de CW y se almacena para cada frecuencia de pico de CW almacenada.

10 Las 4 salidas FFT para las señales de radar de CW se suministran adicionalmente a un comparador de fase, véase la Fig. 8, para determinar las diferencias de fase de azimut y elevación a partir de las señales de radar recibidas por las 4 antenas receptoras correspondientes a las frecuencias de pico de CW detectadas y almacenadas.

15 De modo similar al procesamiento de la señal de CW ilustrado en la Fig. 6a, el procedimiento de las señales de radar de FM-CW recibidas se ilustra en la Fig. 6b. En la Fig. 6b, las señales Ch1 I₂ y Ch1 Q₂ son las salidas I₂ y Q₂ del primer canal receptor, que tiene componentes de frecuencia correspondientes a señales de batido resultantes de la diferencia de frecuencia entre la señal FM-CW transmitida y las señales de FM-CW reflejadas por el primer receptor de señal de radar. De la misma manera, las señales Ch2 I₂ y Ch2 Q₂ son las salidas I₂ y Q₂ del segundo canal receptor, las señales Ch3 I₂ y Ch3 Q₂ son las salidas I₂ y Q₂ desde el tercer canal receptor y las señales Ch4 I₂ y Ch4 Q₂ son las salidas I₂ y Q₂ del cuarto canal receptor. Cada una de las señales de los 4 pares de señales I₂ y Q₂ se digitalizan mediante convertidores A/D correspondientes y la señal Q₂ digitalizada se lleva a la forma imaginaria jQ₂ mediante una multiplicación unitaria "x j" correspondiente. Cada par de señales digitales I₂ y jQ₂ correspondiente se suma a través de una unidad de suma y se realiza una FFT (transformada de Fourier rápida) sobre cada una de las 4 señales I₂ + jQ₂ sumadas, para obtener de ese modo 4 salidas de señal FFT correspondientes. Estas 4 salidas FFT se suman y la señal FFT sumada, que contiene información de los desplazamientos de frecuencia Doppler de FM-CW sumadas, se suministra a un detector de pico. También en este caso, la salida del detector de pico, que corresponde a los picos de frecuencia de las señales de batido de FM-CW, se almacena en una unidad de almacenamiento.

20 De nuevo, las 4 salidas de FFT para las señales de radar de FM-CW se suministran adicionalmente a un comparador de fase para determinar las diferencias de fase de azimut y elevación a partir de las señales de radar recibidas por las 4 antenas receptoras correspondientes a las frecuencias de pico de FM-CW detectadas y almacenadas.

30 En la Fig. 7a se muestran frecuencias de pico correspondientes a las señales de CW recibidas, mientras que en la Fig. 7b se muestran las frecuencias de pico correspondientes a las señales de FM-CW recibidas.

35 La operación del comparador de fase de las Figs. 6a y 6b se ilustra en la Fig. 8. En este caso, las salidas de los 4 canales FFT se indican por Ch1 FFT, Ch2 FFT, Ch3 FFT y Ch4 FFT, respectivamente. Las señales Ch1 FFT y Ch2 FFT se suman 81, proporcionando la señal sumada una primera entrada a un comparador de fase de elevación 83 y las señales Ch3 FFT y Ch4 FFT se suman 82, proporcionando de ese modo una segunda entrada al comparador de fase de elevación 83. El comparador resta los argumentos de los resultados FFT añadidos de cada entrada correspondiente al mismo almacén de frecuencia y obtiene para cada frecuencia una diferencia de fase que se relaciona con el ángulo de incidencia medido en elevación de cada señal recibida de acuerdo con la ecuación (9) (que es la distancia entre los dos conjuntos de antena a lo largo del eje vertical cuyas salidas se suman). La salida del comparador de fase de elevación se suministra a una unidad de selección de pico 84, que adicionalmente tiene como entrada la localización de frecuencia de los picos de CW o picos de FM-CW correspondientes. Desde la unidad 84 las diferencias de fase de elevación correspondientes a las frecuencias, para las que se ha detectado un pico, se obtienen, diferencias de elevación de fase que se almacenan a continuación en una unidad de almacenamiento. De la misma manera, las señales Ch1 FFT y Ch3 FFT se suman 85, proporcionando la señal sumada una primera entrada a un comparador de fase de azimut 87 y las señales Ch2 FFT y Ch4 FFT se suman 86, proporcionando de ese modo una segunda entrada al comparador de fase de azimut 87. El comparador resta los argumentos de los resultados FFT añadidos de cada entrada correspondiente al mismo almacén de frecuencia y obtiene para cada frecuencia una diferencia de fase que se relaciona con el ángulo de incidencia medido en azimut de cada señal recibida de acuerdo con la ecuación (9) (que es la distancia entre los dos conjuntos de antena a lo largo del eje vertical cuyas salidas se suman). La salida del comparador de fase de azimut se suministra también a la unidad de selección de pico 84, a partir de la unidad 84 las diferencias de fase de elevación correspondientes a las frecuencias de pico detectadas se obtienen para ser almacenadas en una unidad de almacenamiento.

55 A partir del procesamiento de señal ilustrado en las Figs. 6a, 6b y 8, los valores almacenados se obtienen para las señales de pico de CW y las velocidades de objeto CW correspondiente y diferencias de fase de elevación y azimut de CW. Los valores almacenados se obtienen también para las señales de pico de FM-CW y las diferencias de fase de elevación y azimut correspondientes. Sin embargo, aún se necesita determinar el intervalo de o distancia a objetos detectados.

60 Un método de determinación del alcance del objeto R cuando se transmite una forma de onda de FM-CW conformada triangular se ilustra en la Fig. 9. En la Fig. 9 se muestra una tabla de velocidad, que sobre la escala horizontal tiene frecuencias de pico f_{fm-asc} correspondientes a las frecuencias de rampa ascendente de FM-CW y sobre la escala vertical tiene frecuencias de pico $f_{fm-desc}$ correspondientes a las frecuencias de rampa descendente de FM-CW. Para cada par de frecuencias $f_{fm-asci}$ y $f_{fm-descj}$, se determina una velocidad del objeto v_{ij} correspondiente mediante el uso de

la ecuación (4) y se almacena. Las velocidades v_{ij} almacenadas se comparan ahora con velocidades del objeto CW previamente almacenadas. Estas velocidades se calculan como el promedio de las velocidades asociadas a frecuencias de pico de CW originadas durante cada rampa a partir del mismo objeto u objetivo. Cuando hay una coincidencia entre la velocidad de FM-CW v_{ij} y una velocidad de CW, las frecuencias de pico de rampa ascendente y descendente $f_{fm-asci}$ y $f_{fm-descj}$ correspondientes a la velocidad coincidente v_{ij} , se consideran entonces como originadas por el mismo objetivo, que es el objetivo que da lugar a la velocidad de CW de coincidencia y el alcance R y velocidad v pueden determinarse mediante el uso de las ecuaciones (5) o (6)/(7) y (8). El alcance R y velocidad v se almacenan entonces como un pico mezclado, que resume la información de los canales CW y FM-CW relativos a ese objetivo.

El método anteriormente descrito de determinación de alcances R del objeto para una forma de onda de FM-CW conformada triangular se ilustra adicionalmente en el diagrama de flujo de la Fig. 10. Describe una rutina, que está indicada como una etapa de preprocesamiento para picos originados cuando se emplea una forma de onda de FM-CW triangular antes de que se envíen a una rutina de seguimiento 13. Su objetivo es proporcionar una solución para la ambigüedad alcance-velocidad haciendo uso de las propiedades de la clase de forma de onda descrita por las ecuaciones (4) a (8). Se supone que las frecuencias de pico de CW y FM-CW se han detectado y almacenado previamente. Si se está usando una forma de onda FM-CW conformada como rampa o diente de sierra, todos los picos se envían directamente a la rutina de seguimiento 13. En la etapa 1, se recuperan las frecuencias de pico de FM-CW a partir de la rampa inmediatamente previa (tanto una rampa ascendente como una rampa descendente). A continuación, en la etapa 2, se construye una tabla de velocidad basándose en las frecuencias de los picos de FM-CW a partir de la rampa actual e inmediatamente previa. Para que la tabla tenga algún sentido, el signo de las dos rampas debe ser opuesto. En las etapas 3 y 4, las velocidades asociadas a las frecuencias de pico de CW detectadas durante la rampa inmediatamente previa se recuperan y se comparan a las velocidades asociadas a las frecuencias de pico de CW detectadas durante la rampa actual. En la etapa 5, se forman pares de velocidades con aquellas velocidades asociadas a picos de CW de diferentes rampas, que son suficientemente similares, definiéndose el criterio de similitud por el período de la rampa y la aceleración máxima esperada de los objetivos. El promedio de las velocidades de CW en cada par, etapa 6, define una velocidad candidato, esto es, una velocidad, que se supone corresponde a un objetivo firme. En la etapa 7, las velocidades de CW candidatas se comparan con las velocidades de FM-CW en la tabla de velocidades y, en la etapa 8, se seleccionan los pares de frecuencias de pico de CW y FM-CW correspondientes a velocidades de FM-CW y CW coincidentes. En la etapa 9 pares correspondiente de picos de frecuencia de FM-CW y CW para la rampa actual se mezclan en un único pico con una velocidad y alcance no ambiguos calculados haciendo uso de las ecuaciones (6)/(7), dependiendo del signo de la rampa actual y de la ecuación (8). Finalmente, etapa 10, las frecuencias de pico de CW y FM-CW actuales se almacenan para la siguiente iteración y se envían a la rutina de seguimiento 13 junto con los picos mezclados (que sustituyen el par original de picos de CW y FM-CW y no se usarán por la rutina de seguimiento).

La Fig. 11 es un diagrama de flujo que ilustra una rutina de seguimiento correspondiente a la rutina de seguimiento 13 de la Fig. 10. La rutina de la Fig. 11 está encargada de obtener registros de seguimiento para objetos detectados por radar, manteniendo los registros el histórico del alcance, velocidad, mediciones de azimut y elevación proporcionadas por los picos de CW y FM-CW asignados a cada seguimiento, Tal como se determina por la rutina. La rutina toma como datos de entrada el último conjunto de picos extraído por las etapas previas del sistema de procesamiento. Comienza comprobando, etapa 1, si hay registros de seguimiento actualmente que se mantengan por la rutina, correspondiendo a objetos que sean seguidos por el radar. En este caso, etapa 2, se determina para cada registro de seguimiento cuánto tiempo ha transcurrido desde que el último seguimiento recibió una actualización de medición. Si ese tiempo es más largo que un tiempo de borrado predefinido, típicamente unos pocos segundos, el registro de seguimiento ya no se considera como representativo de un objeto real que se esté siguiendo por el sistema y se elimina de la lista de registros de seguimiento activos mantenida por la rutina.

Para cada uno de los seguimientos restantes, etapa 4, se calculan los valores de las frecuencias, en donde se espera que aparezcan los siguientes picos de CW y FM-CW a ser asignados al registro de seguimiento. Este cálculo se realiza basándose en la historia de las mediciones previamente recibidas por el seguimiento por medio de un filtro de Kalman o cualquier otro procedimiento de estimación. Como resultado del procedimiento de estimación, se obtiene un valor central para cada una de las frecuencias esperadas junto con una precisión esperada. Las frecuencias centrales estimadas y sus precisiones asociadas se usan para construir compuertas de asociación de pico de cada seguimiento activo. Cada compuerta define el intervalo de frecuencias de pico de CW o FM-CW en donde se espera que aparezcan los siguientes picos al ser asignados a un seguimiento. Como resultado del procedimiento de estimación, se dará a cada seguimiento hasta dos compuertas de asociación, una para la frecuencia de pico de CW esperada y la otra para la frecuencia de pico de FM-CW esperada.

En la realización preferida de la invención se emplean filtros de Kalman como medios para mejorar la precisión de la estimación de velocidad y alcance y permitir el cálculo de las compuertas de asociación de velocidad y alcance. Un filtro de Kalman se define por los siguientes elementos:

- Un vector de estado $x(t)$, que contienen los valores de las magnitudes a ser estimadas (alcance, velocidad y sus derivadas) en un instante t.
- Una matriz de covarianza $P(t)$, que describe la covarianza estimada de las estimaciones contenidas en el vector de estado en un instante t.

- Una matriz de propagación $\Phi(\Delta T)$, que sirve para estimar los valores del vector de estado después de un tiempo ΔT dado.
- Un vector de medición z , que representa las magnitudes de entrada medidas para las que se extraen las estimaciones del filtro de Kalman (las frecuencias de CW y FM-CW medidas).
- Una matriz de medición H , que relaciona las magnitudes medidas esperadas con un valor dado del vector de estado.
- Una covarianza R del error de medición que representa los errores cuadráticos medios esperados de las frecuencias medidas.
- Una covarianza de mediciones S que representa la covarianza final de las frecuencias medidas estimadas en z .

Dado el vector de estado correspondiente a un registro de seguimiento en un instante t determinado, los valores esperados del vector de estado después de un tiempo ΔT se calculan como:

$$x(t + \Delta T^-) = \Phi(\Delta T) \cdot x(t) \quad (10)$$

en el que el superíndice $-$ indica que los valores estimados del vector de estado se calculan antes de la suma de posibles nuevas mediciones incorporadas al registro de seguimiento en el instante $t + \Delta T$. La covarianza estimada del vector de estado propagado se calcula como:

$$P(t + \Delta T^-) = \Phi(\Delta T) \cdot P(t) \cdot \Phi^T(\Delta T) \quad (11)$$

en la que el superíndice T indica transposición de matriz. A partir del vector de estado propagado, se estiman los valores de las magnitudes medidas esperadas y su covarianza como:

$$\begin{aligned} z(t + \Delta T^-) &= H \cdot x(t + \Delta T^-) \\ S(t + \Delta T^-) &= H \cdot P(t + \Delta T^-) \cdot H^T + R \end{aligned} \quad (12)$$

La diagonal de la matriz de covarianza S contiene la varianza esperada de las frecuencias estimadas y se usa para definir el intervalo de los valores de frecuencia que cubrirán la compuerta de asociación correspondiente. Siendo z_1 el primer elemento del vector de medición z y S_{11} el primer elemento de la diagonal de S (la varianza esperada de la medición z_1), el intervalo de frecuencias que debe cubrirse por la compuerta de asociación será:

$$(z_1 - k \cdot \sqrt{S_{11}}, z_1 + k \cdot \sqrt{S_{11}}) \quad (13)$$

en la que k tomará el valor 2,6 si la medición ha de hallarse dentro de la compuerta con un 99 % de probabilidad cuando se supone una distribución gaussiana para la variable estimada. Si se encuentra una nueva medición dentro de la compuerta de asociación, se incorporará para el estado actual del filtro mediante el uso de:

$$\begin{aligned} x(t + \Delta T) &= x(t + \Delta t^-) + P(t + \Delta t^-) \cdot H^T \cdot S^{-1} \cdot (m - H \cdot x(t + \Delta t^-)) \\ P(t + \Delta T) &= P(t + \Delta t^-) - P(t + \Delta t^-) \cdot H^T \cdot S^{-1} \cdot H \cdot P(t + \Delta t^-) \end{aligned} \quad (14)$$

en la que m representa el vector que contiene las frecuencias de pico nuevamente halladas que se incorporan al registro de seguimiento y que sirven para actualizar las estimaciones contenidas en el vector de estado.

Cuando solo están disponibles frecuencias de pico de CW, el vector de estado puede consistir solamente en la velocidad radial del objeto y su aceleración radial, mientras que el vector de medición contendrá únicamente la frecuencia de pico de CW esperada. En este caso, la forma de la propagación necesaria y la matriz de medición serán:

$$\begin{aligned} \Phi(\Delta T) &= \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ H &= \begin{bmatrix} \frac{2}{\lambda_{CW}} & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

cuando solo estén disponibles frecuencias de pico de FM-CW, el vector de estado solo puede contener el intervalo en pendiente al objeto y su velocidad radial. En este caso, el vector de medición consistirá en la frecuencia de pico de FM-CW esperada y las matrices de propagación y medición serán de la forma:

$$\Phi(\Delta T) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$H = \left[\pm \frac{2}{c} \cdot \frac{BW}{T_r} \frac{2}{\lambda_{FM}} \right]$$

en la que el signo del primer elemento de H será que corresponde al signo de la siguiente rampa de frecuencia transmitida, de acuerdo con las ecuaciones (2) y (3).

Quando están disponibles ambas frecuencias de pico de CW y FM-CW, el vector de estado puede representar un alcance en pendiente, velocidad radial y aceleración radial del objeto. El vector de medición contendrá ambas frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas y las matrices de propagación y medición se convertirán en:

$$\Phi(\Delta T) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T & \Delta T^2/2 \\ 0 & 1 & \Delta T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$H = \begin{bmatrix} \pm \frac{2}{c} \cdot \frac{BW}{T_r} & \frac{2}{\lambda_{FM}} & 0 \\ 0 & \frac{2}{\lambda_{CW}} & 0 \end{bmatrix}$$

El centro y apertura de la compuerta de asociación para la frecuencia de pico de FM-CW vendrán dados respectivamente por el primer elemento del vector de medición y el primer elemento de la diagonal de la matriz de covarianza de asociación de medición resultante. El centro y apertura de la compuerta de asociación para la frecuencia de pico de CW vendrán dados respectivamente por el segundo elemento del vector de medición y el segundo elemento de la diagonal de la matriz de covarianza de asociación de medición resultante.

Habrà en general tres clases de registros de seguimiento mantenidos por la rutina de seguimiento: registros que tienen solo asignados picos de CW, registros que tienen solo asignados picos de FM-CW y registros que tienen asignados tanto picos de CW como de FM-CW. Como resultado de esto, aquellos registros con solamente picos de CW o FM-CW solo se les puede proporcionar una compuerta de asociación correspondiente a la siguiente frecuencia de picos de CW o FM-CW esperada. En general, ninguno de estos registros de seguimiento contendrà mediciones de alcance y velocidad precisas dado que ninguno de sus picos podrìa asociarse con el pico de CW o FM-CW complementario, que sirve para resolver la ambigüedad alcance-velocidad. Esto es verdad especialmente cuando se emplea en el sistema una forma de onda de FM-CW conformada como diente de sierra o rampa, dado que no puede emplearse el procedimiento de asociación descrito en el diagrama de flujo de la Fig. 10. Sin embargo, si se tiene en cuenta que un objeto real que se observe por el radar darà lugar en general a un registro de seguimiento de picos de CW y a otro de picos de FM-CW, el problema puede ser eludido como se explica a continuación.

En la etapa 5 de la rutina, los picos de CW y de FM-CW se asignan a los seguimientos correspondientes de acuerdo con la localización de sus compuertas de asociación. Si dentro de la compuerta de asociación de los seguimientos solo aparece un pico, el pico y sus mediciones asociadas se asignarán al seguimiento y el registro de seguimiento se actualizarà. Si uno o más picos caen dentro de las compuertas de uno o más seguimientos, la asociación final de picos a seguimientos tendrà que determinarse por medio de un criterio adicional, tal como asignar a cada seguimiento el pico localizado más próximo al centro de su compuerta de asociación o similar. Los picos que no caen dentro de la compuerta de asociación de cualquier seguimiento se usan posteriormente para iniciar nuevos registros de seguimiento, etapas 9 a 11, atendiendo a si son picos de CW, picos de FM-CW o picos resultantes de la mezcla de un pico de CW y de FM-CW tal como se determina por el algoritmo descrito en el diagrama de flujo de la Fig. 10. Habrà de recibirse una mínima cantidad de actualizaciones por aquellos nuevos seguimientos para ser declarados como seguimientos firmes.

Como se ha indicado previamente, los registros de seguimiento, que solo contienen un tipo de picos, tanto picos de CW como de FM-CW, solo recibirán una compuerta de asociación y por lo tanto solo recibirán una actualización desde la clase de pico correspondiente. A los registros de seguimiento que consisten tanto en CW como FM-CW se les daràn dos compuertas de asociación y pueden así actualizarse tanto por CW como por FM-CW. Cuando se asignan ambas clases de picos al seguimiento, las mediciones no ambiguas de alcance y velocidad pueden deducirse de acuerdo con las ecuaciones (6)/(7) y (8). Si solo se recibe una clase de pico por el seguimiento, aún será posible deducir una medición no ambigua de alcance y velocidad para la iteración dada mediante el uso, como una estimación para la frecuencia de pico faltante, de la frecuencia de pico empleada para construir la compuerta de asociación, que resume el histórico pasado de las frecuencias de pico de CW y FM-CW asignadas al seguimiento. Al hacer eso, puede conseguirse más robustez y un uso eficiente de la potencia transmitida. En este punto, etapa 6, la actualización de los registros de seguimiento que contienen tanto picos de CW como de FM-CW se finalizarà.

5 Con relación a aquellos registros de seguimiento que consisten solamente en picos de un tipo, la rutina tratará de
hallar en cualquier punto qué par de registros de seguimiento de CW y FM-CW se originan desde el mismo objeto.
Para conseguir esto, los históricos de mediciones de los registros de seguimiento que consisten exclusivamente en
picos de CW se compararán con aquellos de los registros de seguimiento que consisten exclusivamente en picos de
FM-CW, etapa 7. En principio, solo los históricos de las mediciones de azimut y elevación, que serán los mismos si se
generan dos seguimientos por el mismo objeto, pueden compararse, pero dependiendo del grado del acoplamiento
alcance-velocidad que existe en el sistema (que es función de los parámetros de la forma de onda de FM-CW, esto
es, la duración de la rampa y oscilación de frecuencia) podría ser también factible comparar directamente el histórico
de mediciones de velocidad del seguimiento de CW con el del seguimiento de FM-CW deducido de la primera derivada
de su histórico de frecuencias de pico.
10

Si de acuerdo con el criterio anterior, se encuentra que un par de registros de seguimiento que consisten
respectivamente en picos solamente de CW y de FM-CW corresponden al mismo objeto, sus mediciones de
seguimiento se mezclan en la etapa 8 de la misma manera que anteriormente y se crea un nuevo registro de
seguimiento con mediciones de alcance y velocidad no ambiguas, lo que sustituye a las dos previas. En la siguiente
iteración del algoritmo, este nuevo registro de seguimiento será capaz de generar ambas compuertas de asociación
de CW y de FM-CW y por lo tanto aceptar ambos picos de CW y de FM-CW.
15

Una vez se han actualizado todos los seguimientos, la rutina puede enviar las mediciones actualizadas de cada
seguimiento firme a otro dispositivo o algoritmo para procesamiento adicional o presentación a un usuario, etapa 12.
En principio solo la información de seguimientos firmes que contienen picos tanto de CW como de FM-CW se
considerarán como válidos, dado que solo serán estos los que tengan mediciones de alcance y velocidad no ambiguas
precisas.
20

Aunque la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a realizaciones particulares, se
entenderá por los expertos en la materia que pueden realizarse diversos cambios en forma y detalles en ella sin
apartarse del alcance de la invención y se pretende que dichos cambios estén dentro del alcance de las
reivindicaciones que siguen.
25

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de radar para detección de uno o más objetos, comprendiendo dicho sistema:

5 un transmisor de ondas de radar (110) para transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW, primer, segundo y tercer receptor de ondas de radar (120) para la recepción de señales de radar de CW y de FM-CW reflejadas desde uno o más objetos presentes en un alcance de detección del sistema de radar,
 primer, segundo y tercer mezcladores de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el primer, segundo y tercer receptores, respectivamente, para producir una o más de primera, segunda y tercera señales de batido de CW, refiriéndose cada primera, segunda y tercera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y
 primer, segundo y tercer mezcladores de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el primer, segundo y tercer receptores, respectivamente, para producir una o más de primera, segunda y tercera señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada primera, segunda y tercera señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto,
 en el que se disponen al menos dos receptores a lo largo de la primera dirección del receptor y se disponen al menos dos receptores a lo largo de una segunda dirección del receptor, siendo dicha primera dirección del receptor diferente de la segunda dirección del receptor, comprendiendo además dicho sistema de radar medios de detección de fase para detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes, en el que
 los medios de detección de fase están adaptados para determinar una primera diferencia de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar a lo largo de la primera dirección del receptor, refiriéndose dicha primera diferencia de fase a una primera
 25 dirección angular del objeto y
 los medios de detección de fase están adaptados para determinar una segunda diferencia de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar a lo largo de la segunda dirección del receptor, refiriéndose dicha segunda diferencia de fase a una segunda dirección angular del objeto,
 30 comprendiendo además dicho sistema de radar medios adaptados para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes y/o
 35 comprendiendo además dicho sistema de radar medios adaptados para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de FM-CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de FM-CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes.
 40

2. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:

45 un cuarto receptor de ondas de radar para recibir señales de radar de CW y FM-CW reflejadas,
 un cuarto mezclador de CW para mezcla de señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de CW, refiriéndose cada cuarta señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y un cuarto mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada cuarta señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la
 50 velocidad de, un objeto.

3. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que para cada mezclador de CW hay medios de transformación correspondientes para llevar la transformada de Fourier a la(s) señal(es) de batido desde dicho mezclador de CW y para cada mezclador de FM-CW hay medios de transformación correspondientes para llevar la transformada de Fourier a la(s) señal(es) de batido desde dicho mezclador de FM-CW.
 55

4. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 3, comprendiendo además medios para sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de CW y para determinar un número de frecuencias de pico de CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de CW sumadas.
 60

5. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, comprendiendo además medios para sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de FM-CW y para determinar un número de frecuencias de pico de FM-CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de FM-CW sumadas.
 65

6. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que los medios de detección de fase están adaptados para determinar la primera diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada

- de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor y en el que los medios de detección de fase están adaptados para determinar la segunda diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor.
- 5
7. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que la primera y segunda direcciones del receptor pueden ser sustancialmente perpendiculares entre sí.
- 10
8. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que se disponen al menos dos receptores horizontalmente uno junto al otro, mediante lo que una diferencia de tiempo o fase detectada entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos horizontalmente se refiere a una diferencia de fase de azimut.
- 15
9. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que se disponen al menos dos receptores verticalmente uno encima del otro, mediante lo que una diferencia de tiempo o fase detectada entre señales de radar correspondientes recibidas por los dos receptores dispuestos verticalmente se refiere a una diferencia de fase de elevación.
- 20
10. Un sistema de radar de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 9, en el que el primer y segundo receptores se disponen horizontalmente uno junto al otro, el tercer y cuarto receptores se disponen horizontalmente uno junto al otro, con el tercer y cuarto receptores dispuestos verticalmente por debajo del primer y segundo receptores, respectivamente.
- 25
11. Un sistema de radar de acuerdo con las reivindicaciones 6 y 10, en el que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar una diferencia de fase de azimut entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y tercer receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al segundo y cuarto receptores.
- 30
12. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 6 y la reivindicación 10 u 11, en el que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar una diferencia de fase de elevación entre la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al primer y segundo receptores y la suma de las dos salidas de transformada de Fourier correspondientes al tercer y cuarto receptores.
- 35
13. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en el que los medios de detección de fase estén adaptados para determinar primera y segunda diferencias de fase para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.
- 40
14. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en el que la señal de radar de FM-CW es una señal modulada en rampa.
- 45
15. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la señal modulada en rampa tiene una forma de onda de rampa de ascenso con un incremento en la frecuencia durante el periodo de rampa de ascenso o una forma de onda de rampa de descenso con una disminución en la frecuencia durante el período de rampa de descenso.
- 50
16. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-15, en el que la señal de radar de FM-CW tiene una forma de onda de figura triangular con periodos de rampa de ascenso que tienen un incremento en la frecuencia y periodos de rampa de descenso que tienen una disminución en la frecuencia.
- 55
17. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-16, que comprende además medios para determinar una velocidad del objeto o una velocidad del objeto relativa de uno o más objetos basándose en al menos parte de las señales de batido de CW producidas.
- 60
18. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-17, que comprende además medios para determinar una velocidad del objeto CW basándose en una frecuencia de pico de CW seleccionada, correspondiendo dicha velocidad del objeto CW a la velocidad o la velocidad relativa de un objeto que proporciona una frecuencia Doppler correspondiente a la frecuencia de pico de CW seleccionada.
- 65
19. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-18, en el que el transmisor de ondas de radar está adaptado para transmitir una señal de radar de FM-CW que tiene una forma de onda triangular incrementándose la frecuencia a un primer ritmo dado y disminuyendo a dicho primer ritmo y en el que el sistema de radar comprende:
- medios para seleccionar a partir de las frecuencias de pico de FM-CW seleccionadas un par de frecuencias de pico de FM-CW correspondientes a rampa de ascenso y descenso consecutivas de la señal de FM-CW transmitida,

- medios para determinar una velocidad del objeto FM-CW basándose en el par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW,
 medios para comparar la velocidad del objeto FM-CW determinada con una o más velocidades del objeto CW determinadas para de ese modo obtener una frecuencia de pico de CW correspondiente al par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW y
 medios para determinar una distancia del objeto a partir del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW o a partir de la frecuencia de pico de CW correspondiente y al menos uno del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW.
20. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-19, que comprende además medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW esperadas e información primera y segunda angular en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.
21. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-20, que comprende además medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información primera y segunda angular en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.
22. Un sistema de radar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-21, que comprende además medios para seleccionar de entre los registros de seguimiento de CW y los registros de seguimiento de FM-CW uno o más pares de frecuencias de pico de CW y FM-CW que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes o ángulos de azimut y elevación correspondientes y para determinar a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW obtenidas una velocidad del objeto y una distancia al objeto correspondiente.
23. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 19 o 22, que comprende además medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y/o FM-CW previamente medidas que tengan velocidades correspondientes.
24. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 23, que comprende además medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.
25. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 22, que comprende además medios para establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información de primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes.
26. Un sistema de radar de acuerdo con la reivindicación 25, que comprende además medios para, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.
27. Un método de detección por radar de uno o más objetos, comprendiendo dicho método:
 transmitir simultáneamente una señal de radar de CW y una señal de radar de FM-CW,
 recibir, a través de un primer, un segundo y un tercer receptor de radar (120), señales de radar de CW y de FM-CW reflejadas desde un objeto presente en un alcance de detección de radar, mezclar, a través de un primer, un segundo y un tercer mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el primer, segundo y tercer receptores, respectivamente, para producir una o más de primera, segunda y tercera señales de batido de CW, refiriéndose cada primera, segunda y tercera señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y
 mezclar, a través de un primer, un segundo y un tercer mezclador de FM-CW, señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el primer, segundo y tercer receptores, respectivamente, para producir una o más de primera, segunda y tercera señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada primera, segunda y tercera señal de batido de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto,

en el que se disponen al menos dos receptores a lo largo de la primera dirección del receptor y se disponen al menos dos receptores a lo largo de una segunda dirección del receptor, siendo dicha primera dirección del receptor diferente de la segunda dirección del receptor,
 5 comprendiendo además dicho método detectar diferencias de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por al menos dos receptores de ondas de radar diferentes,
 en el que dicha detección de diferencias de fase comprende determinar una primera diferencia de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar a lo largo de la primera dirección del receptor, refiriéndose dicha primera diferencia de fase
 10 a una primera dirección angular del objeto y
 en el que dicha detección de diferencias de fase comprende determinar una segunda diferencia de fase entre señales de radar de CW o FM-CW reflejadas correspondientes recibidas por dichos al menos dos receptores de ondas de radar a lo largo de la segunda dirección del receptor, refiriéndose dicha segunda diferencia de fase a una segunda dirección angular del objeto,
 15 comprendiendo además dicho método
 establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes y/o
 20 establecer y mantener uno o más registros de seguimiento de FM-CW correspondientes a uno o más objetos, comprendiendo cada registro de seguimiento un número de frecuencias de pico de FM-CW detectadas en función del tiempo y manteniendo adicionalmente información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo determinadas a partir de mediciones de primera y segunda diferencias de fase correspondientes.
 25

28. Un método de acuerdo con la reivindicación 27, que comprende además

30 recibir, a través de un cuarto receptor de ondas de radar, dichas señales de radar de CW y FM-CW reflejadas, mezclar, a través de un cuarto mezclador de CW, señales de transmisión de CW y señales de CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de CW, refiriéndose cada señal de batido de CW a la velocidad de un objeto y
 35 mezclar a través de un cuarto mezclador de FM-CW para mezcla de señales de transmisión de FM-CW y señales de FM-CW reflejadas recibidas por el cuarto receptor para producir una o más cuartas señales de batido de FM-CW, refiriéndose cada cuarta señal de FM-CW a la distancia a, y la velocidad de, un objeto.

29. Un método de acuerdo con la reivindicación 27 o 26, que comprende además: determinar una velocidad del objeto o una velocidad del objeto relativa de uno o más objetos basándose en al menos parte de las señales de batido de CW producidas.
 40

30. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-29, que comprende además: tomar la transformada de Fourier de las señales de batido desde cada mezclador de CW y tomar la transformada de Fourier de las señales de batido desde cada mezclador de FM-CW.
 45

31. Un método de acuerdo con la reivindicación 30, que comprende además:

sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de CW y determinar un número de frecuencias de pico de CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de CW sumadas y
 50 sumar las salidas de transformada de Fourier correspondientes a cada uno de dichos mezcladores de FM-CW y determinar un número de frecuencias de pico de FM-CW a partir de las transformadas de Fourier de las señales de FM-CW sumadas.

32. Un método de acuerdo con la reivindicación 31, que comprende además:
 55 determinar una velocidad del objeto CW basándose en una frecuencia de pico de CW seleccionada, correspondiendo dicha velocidad del objeto CW a la velocidad o la velocidad relativa de un objeto que proporciona una frecuencia Doppler correspondiente a la frecuencia de pico de CW seleccionada.

33. Un método de acuerdo con la reivindicación 32, en el que la señal de radar de FM-CW transmitida tiene una forma de onda triangular incrementándose la frecuencia con un primer ritmo dado y disminuyendo a dicho primer ritmo, comprendiendo además dicho método:
 60

seleccionar a partir de las frecuencias de pico de FM-CW seleccionadas un par de frecuencias de pico de FM-CW correspondientes a rampas de ascenso y descenso consecutivas de la señal de FM-CW transmitida,
 65 determinar una velocidad del objeto FM-CW basándose en el par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW,

comparar la velocidad del objeto FM-CW determinada con una o más velocidades del objeto CW determinadas para de ese modo obtener una frecuencia de pico de CW correspondiente al par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW y

5 determinar una distancia del objeto a partir del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW o a partir de la frecuencia de pico de CW correspondiente y al menos uno del par seleccionado de frecuencias de pico de FM-CW.

10 34. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-33, en el que dicha detección de diferencias de fase comprende determinar la primera diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la primera dirección del receptor y comprende además determinar la segunda diferencia de fase a partir de al menos dos salidas de transformada de Fourier que representan señales de CW o FM-CW correspondientes a los al menos dos receptores dispuestos a lo largo de la segunda dirección del receptor.

15 35. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-34, en el que dicha detección de diferencias de fase comprende determinar primera y segunda diferencias de fase para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de CW seleccionada y para salidas de transformada de Fourier correspondientes a una frecuencia de pico de FM-CW seleccionada.

20 36. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-35, que comprende además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

25 37. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-36, que comprende además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de FM-CW e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

30 38. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 27-37, que comprende además:
35 seleccionar de entre los registros de seguimiento de CW y los registros de seguimiento de FM-CW uno o más pares de frecuencias de pico de CW y FM-CW que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes y determinar a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW obtenidas una velocidad del objeto y una distancia al objeto correspondiente.

40 39. Un método de acuerdo con la reivindicación 33 o 38, que comprende además:
45 establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y/o FM-CW previamente medidas que tengan velocidades correspondientes.

50 40. Un método de acuerdo con la reivindicación 39, que comprende además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

55 41. Un método de acuerdo con la reivindicación 38, que comprende además:
establecer y mantener uno o más registros de seguimiento que contengan información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinadas e información de primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo para uno o más objetos que tengan una velocidad y distancia determinadas a partir de un par de frecuencias de pico de CW y FM-CW previamente medidas que tengan primera y segunda direcciones angulares correspondientes.

60 42. Un método de acuerdo con la reivindicación 41, que comprende además, basándose en un registro de seguimiento seleccionado que mantiene la información de frecuencia de pico de CW y FM-CW combinada e información de la primera y segunda direcciones angulares en función del tiempo, predecir para un objeto correspondiente a dicho registro de seguimiento seleccionado frecuencias de pico de CW y FM-CW esperadas e información de la primera y segunda direcciones angulares en un tiempo requerido posterior al tiempo de la última información de frecuencia de pico almacenada de dicho registro de seguimiento seleccionado.

65

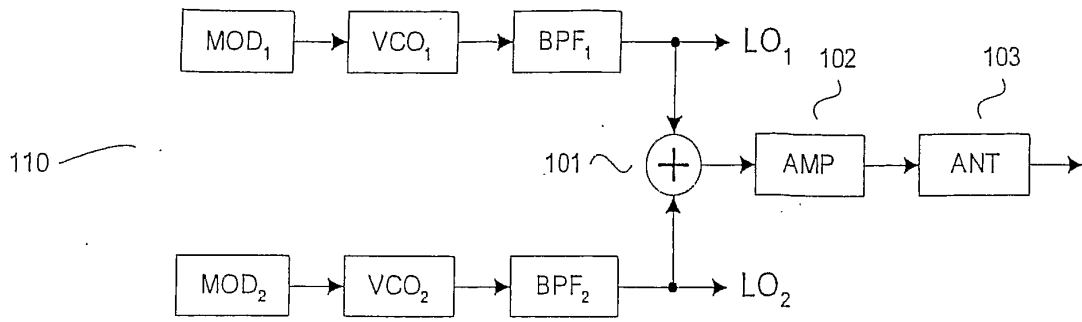


Fig. 1a Transmisor

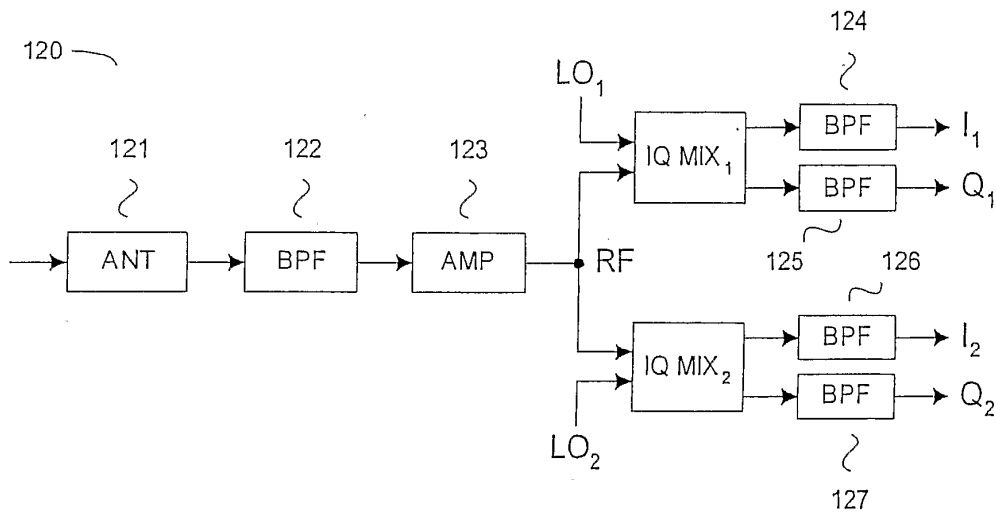


Fig. 1b Receptor (un canal)

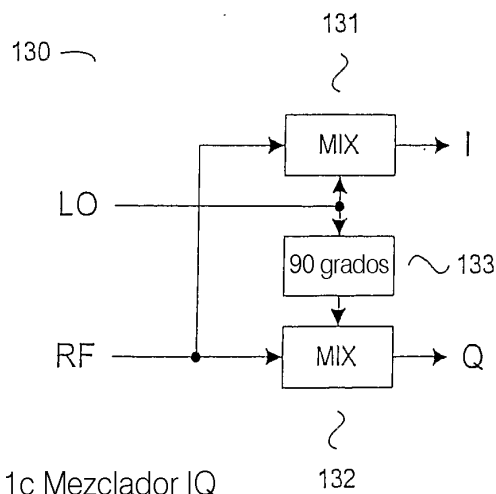


Fig. 1c Mezclador IQ

Localización relativa de los canales
de antena de recepción
(tal como se ven detrás de la antena)

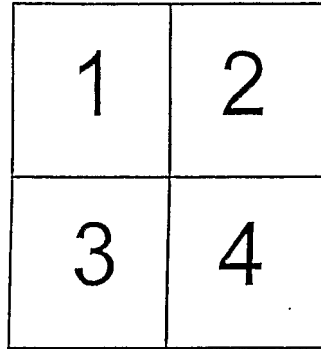


Figura 2

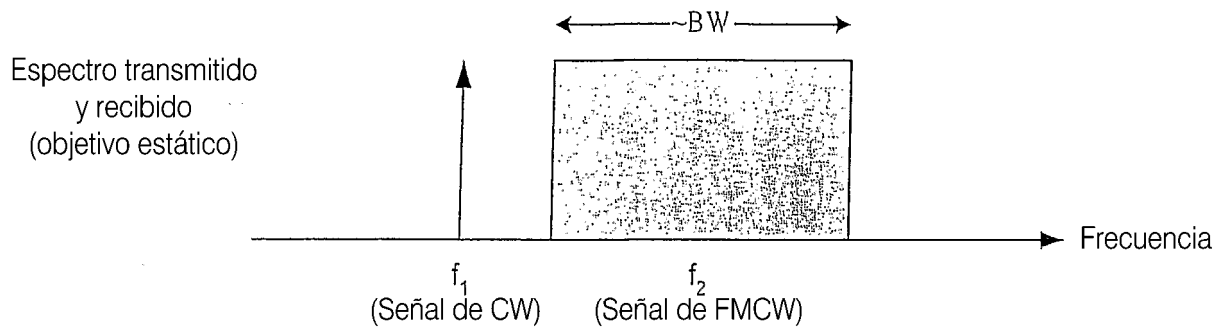


Figura 3a

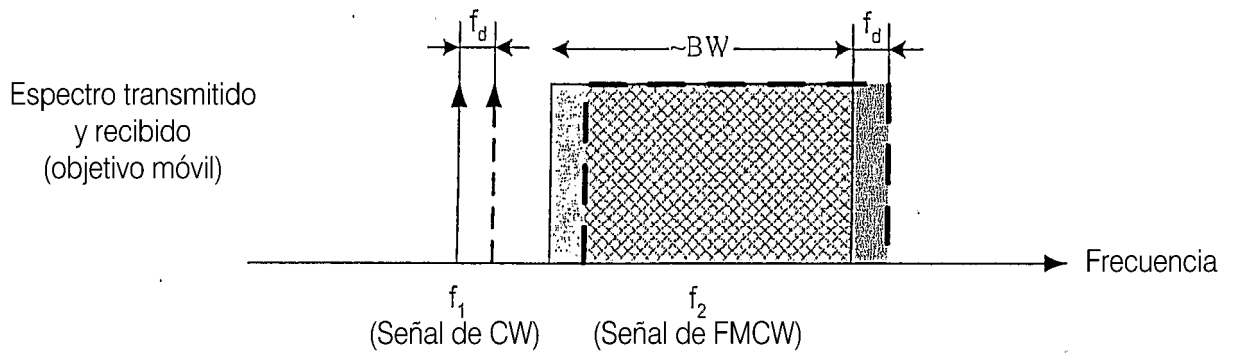


Figura 3b

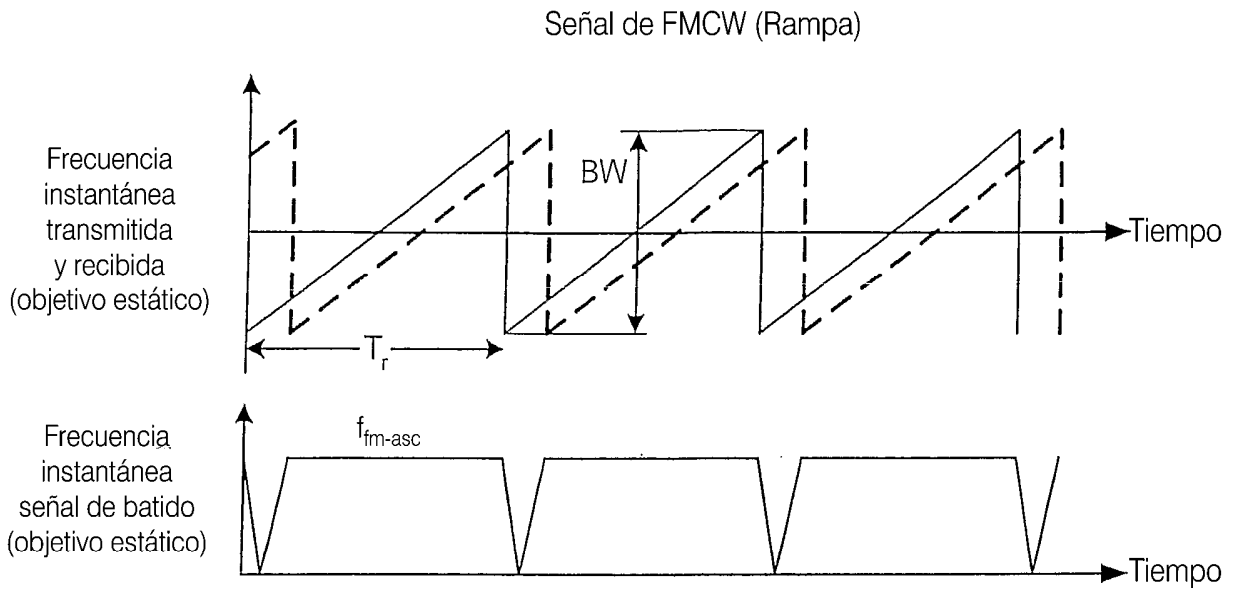


Figura 4a

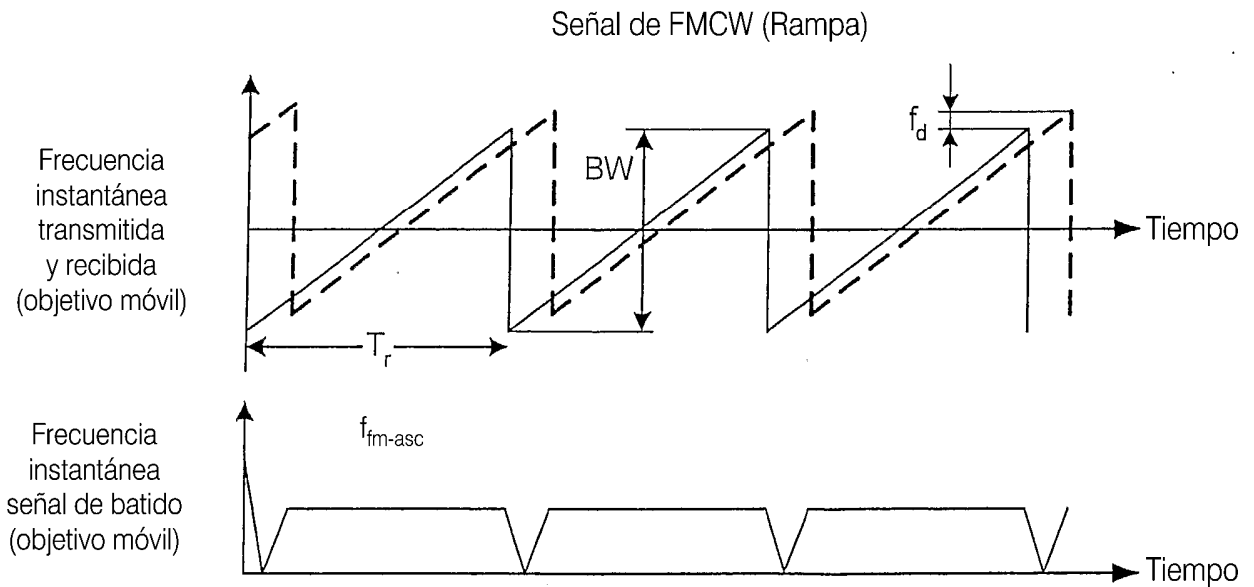


Figura 4b

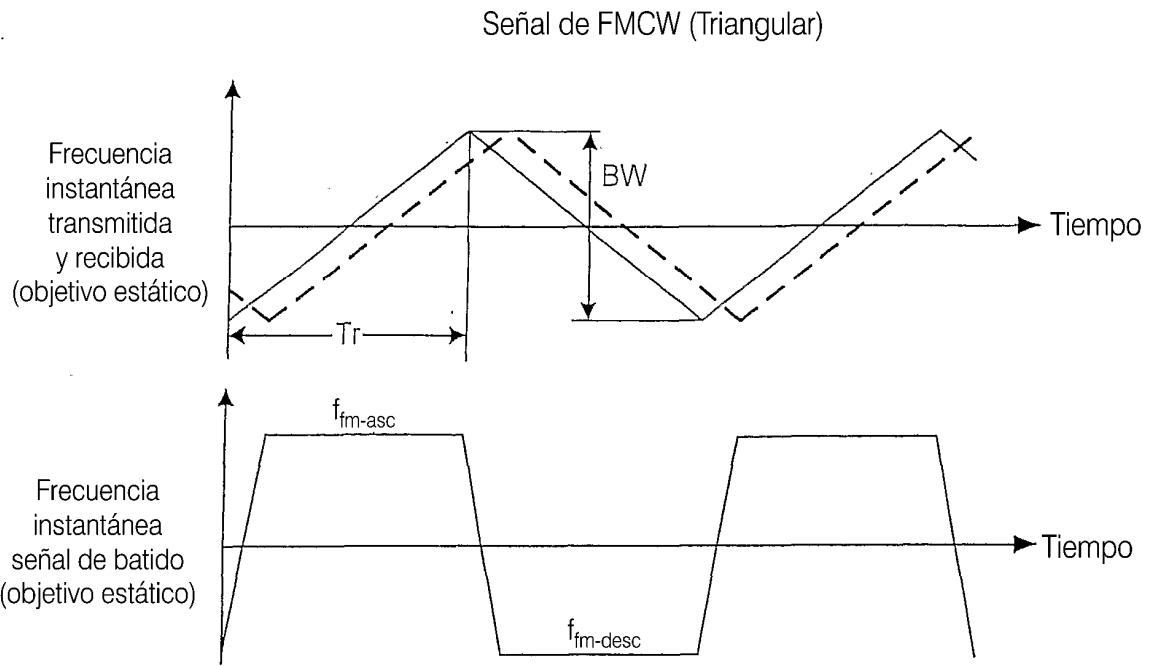


Figura 5a

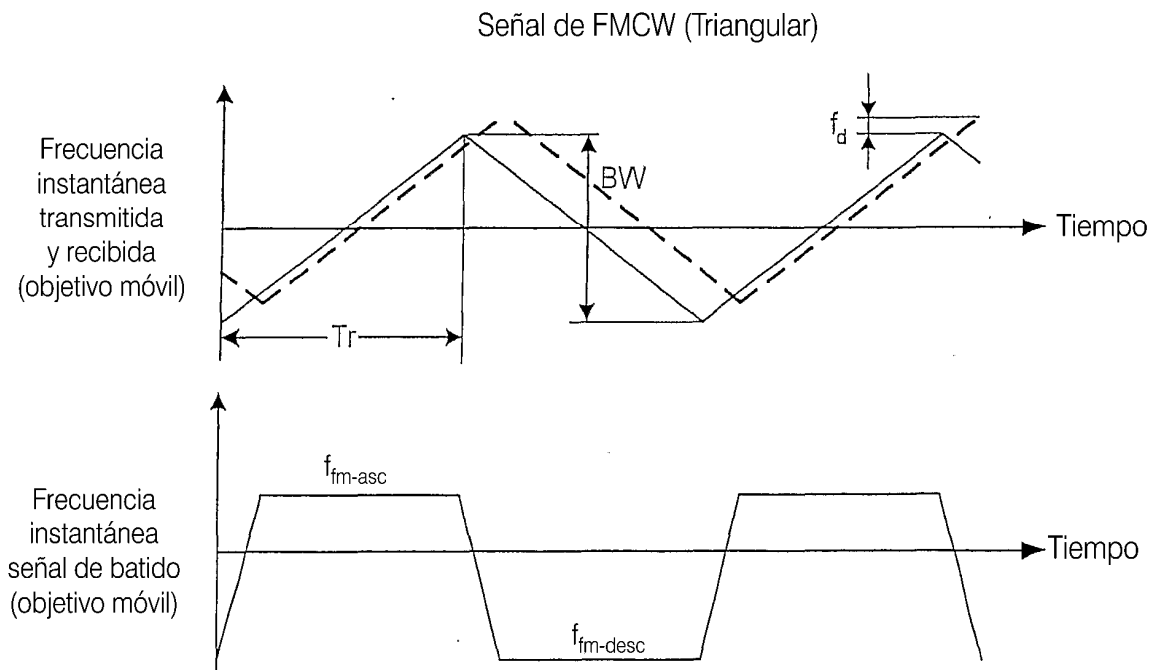


Figura 5b

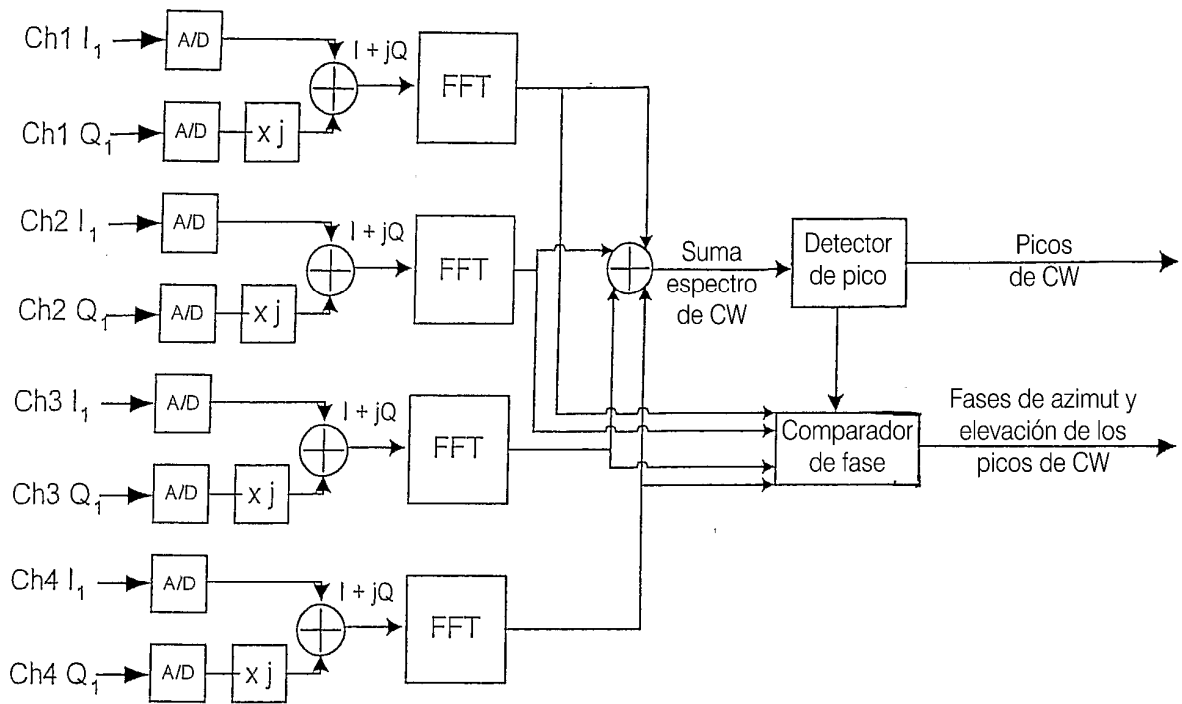


Figura 6a

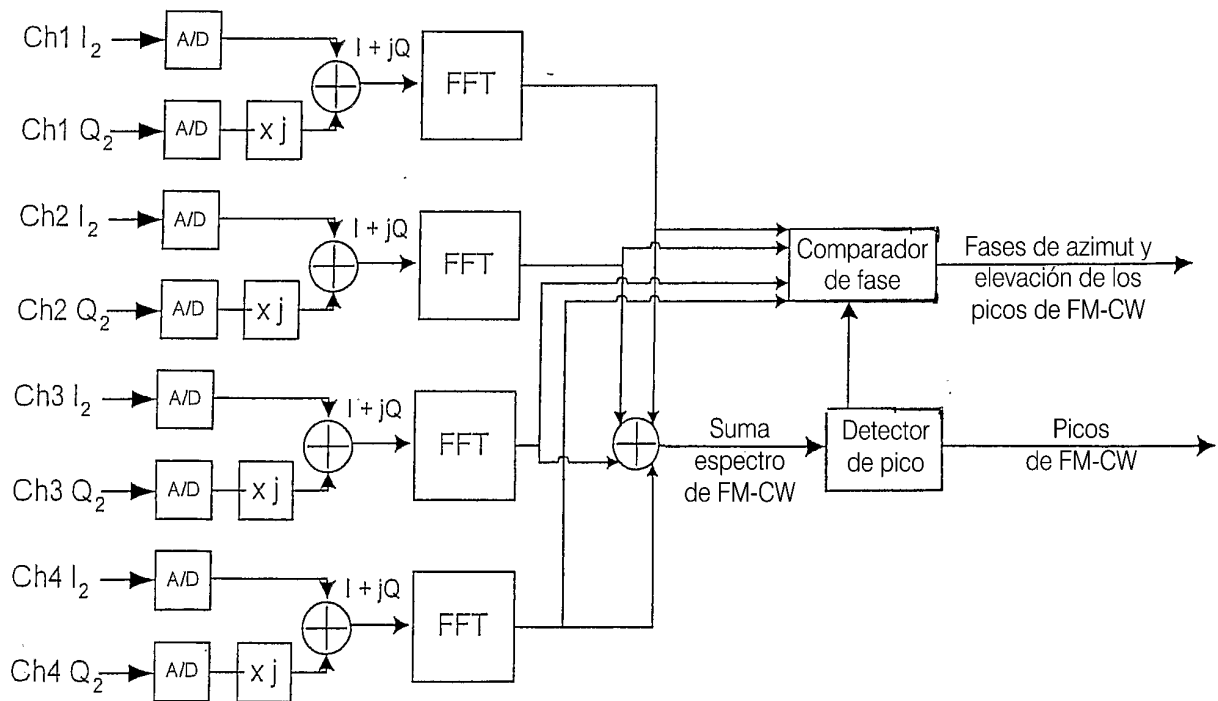


Figura 6b

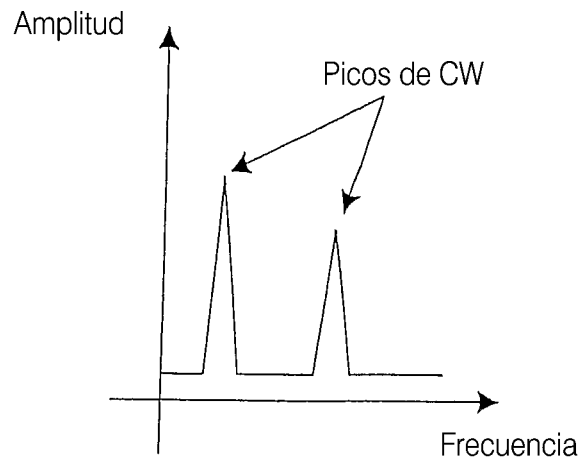


Figura 7a

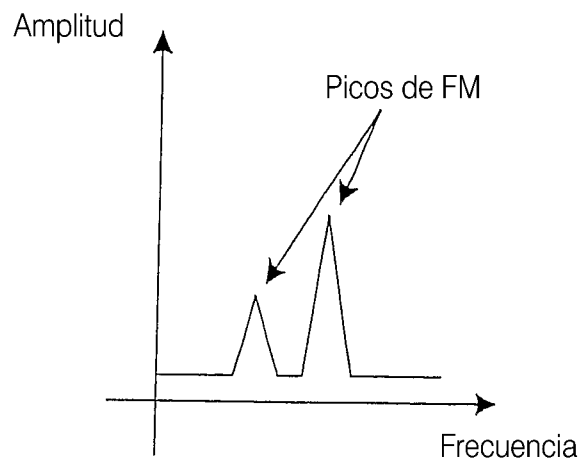


Figura 7b

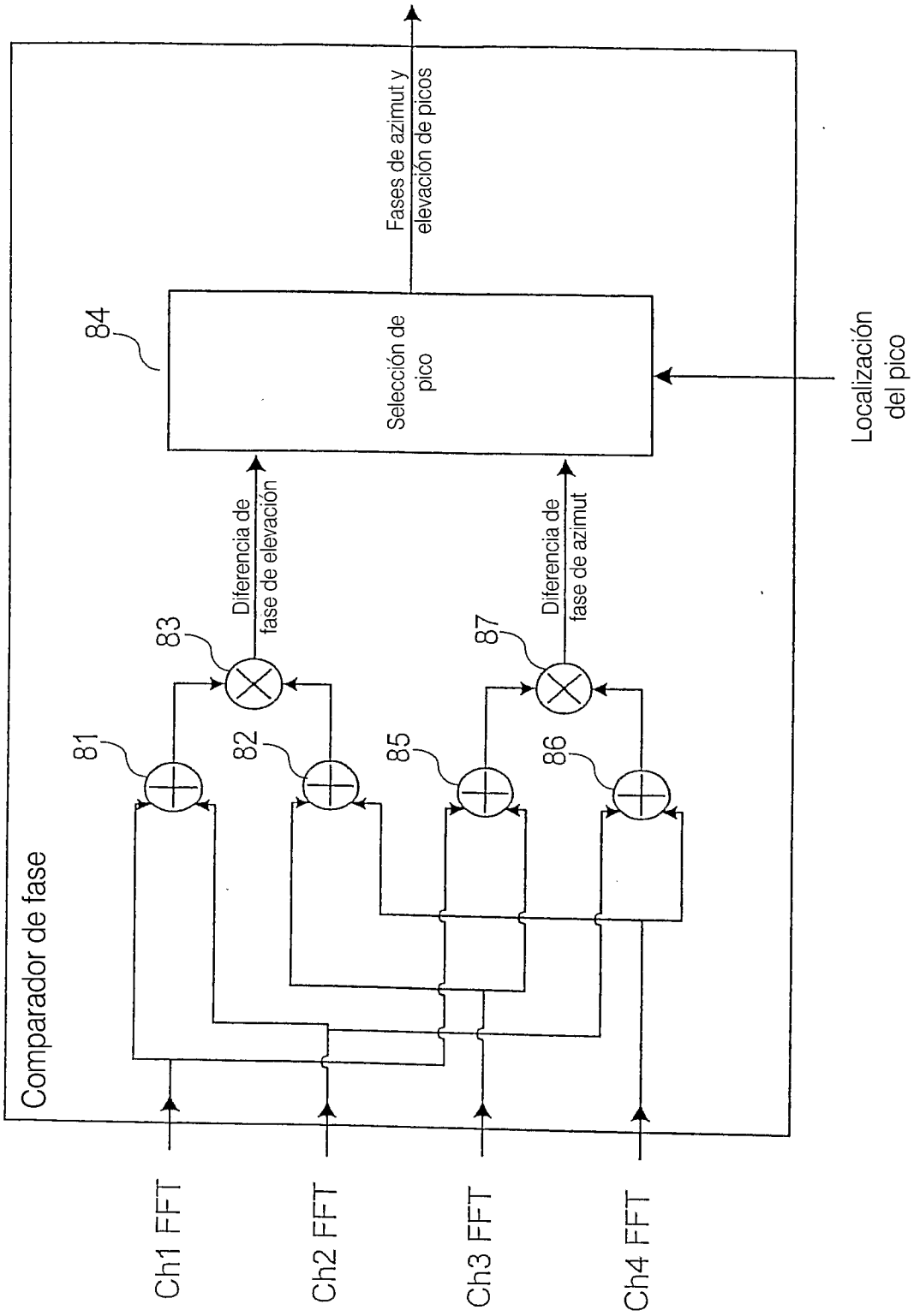


Figura 8

Frecuencias de picos de rampa ascendente de FM

Frecuencias de picos de rampa descendente de FM

	$f_{fm-asc1}$	$f_{fm-asc2}$	$f_{fm-asc i}$					
$f_{fm-desc1}$	v_{11}	v_{21}						
$f_{fm-desc2}$	v_{12}	v_{22}						
$f_{fm-desc j}$				v_{ij}				

- $f_{fm-asc i}$: Frecuencia de pico de rampa ascendente i
- $f_{fm-desc j}$: Frecuencia de pico de rampa descendente j
- v_{ij} : Medición de velocidad derivada del par seleccionado de picos de rampa ascendente y descendente

Figura 9

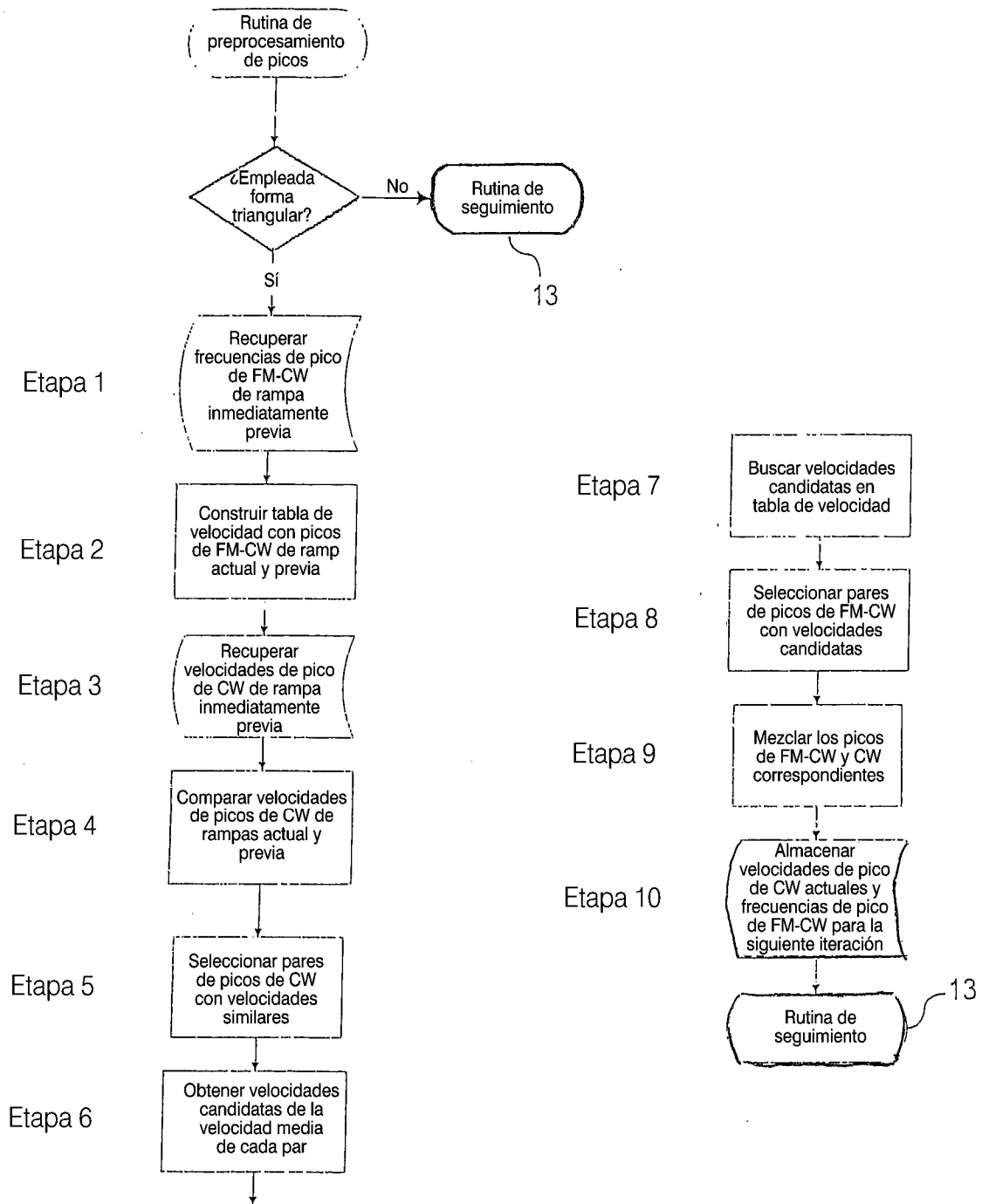


Figura 10

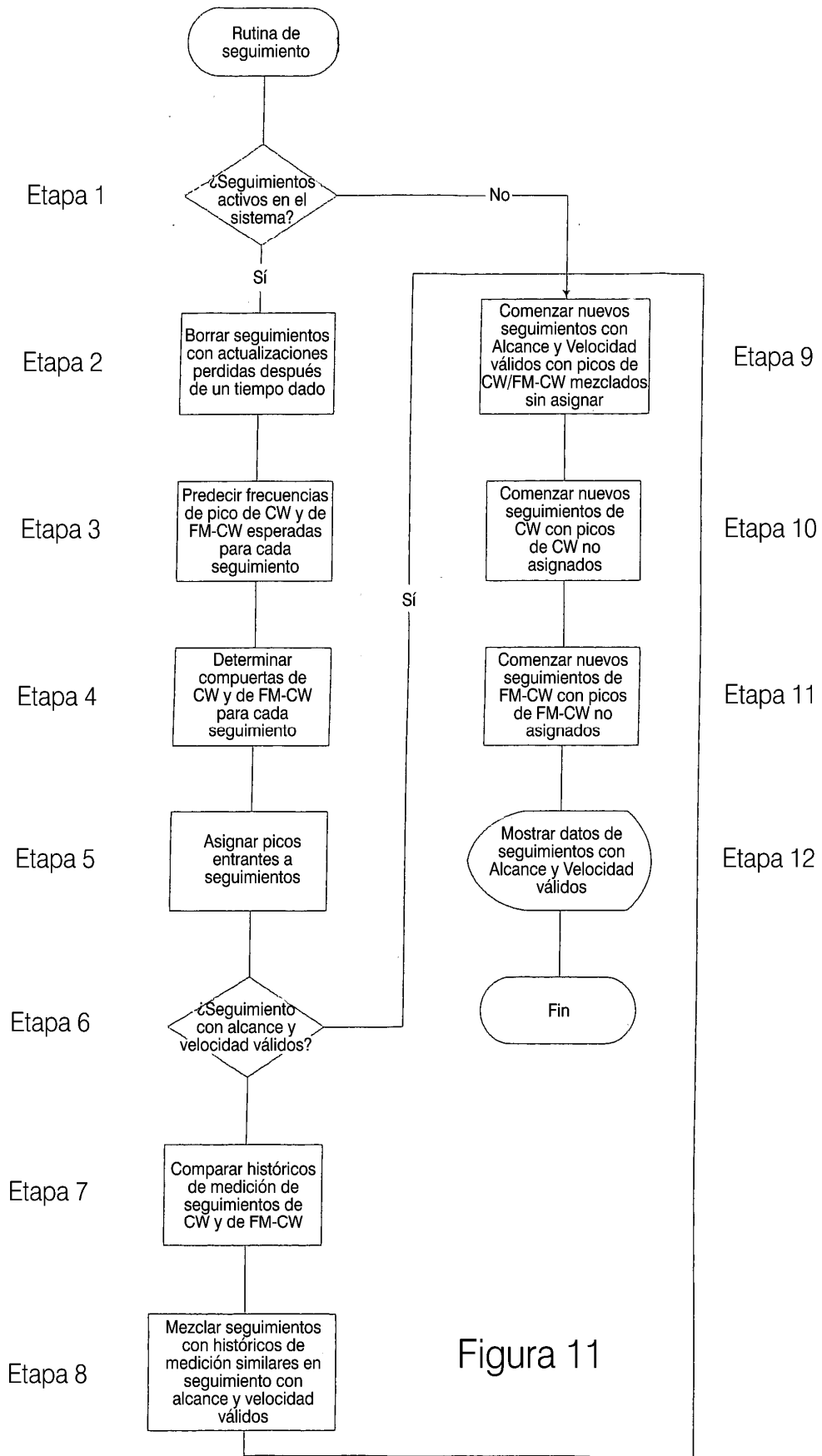


Figura 11